

LEHRBUCH

Beat Akeret

Rechnen im Labor

mit zahlreichen Aufgaben
und Lösungswegen aus dem
biologisch-technischen Alltag



Springer Spektrum

Rechnen im Labor

Beat Akeret

Rechnen im Labor

mit zahlreichen Aufgaben und
Lösungswegen aus dem
biologisch-technischen Alltag

Beat Akeret
Berufsbildungsschule Winterthur (BBW)
Winterthur, Schweiz

ISBN 978-3-662-58661-7

ISBN 978-3-662-58662-4 (eBook)

<https://doi.org/10.1007/978-3-662-58662-4>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Spektrum

© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature 2019

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Planung und Lektorat: Sarah Koch

Springer Spektrum ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH, DE und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

Einleitung

Auch wenn in modernen Biologielaboratorien heute oft mit fertigen Kitts oder streng nach SOP-Vorgaben gearbeitet wird und Messgeräte oftmals direkt an einen Computer angeschlossen sind, sodass gleich fertig aufgearbeitete Messresultate zur Verfügung stehen, gibt es in der Berufspraxis immer wieder Situationen, in denen eine Laborantin/ein Laborant bzw. ein Biologe/eine Biologin etwas berechnen oder überprüfen muss:

- Wie viel Wirksubstanz wird zur Herstellung einer Lösung benötigt?
- Wie viele Sporen, Zelle oder Bakterien enthält eine Suspension?
- Was bedeuten die Ergebnisse, die ein Fotometer, ein pH-Meter oder ein anderes Messgerät liefert?
- Welche Konzentration hat eine Lösung, Suspension, Säure oder Lauge?

Damit im Biologielabor tätige Personen im Berufsalltag in der Lage sind, solche Fragen zu beantworten, benötigen sie ein Rüstzeug an mathematischen Grundfertigkeiten sowie Rezepte, d. h. Formeln und andere Vorgaben, zur Berechnung gesuchter Werte.

Auf Anregung des Zürcher Laborpersonalverbandes, einer Sektion des Fachverbandes für Labor und Betrieb (FLB), wurde hierfür das vorliegende Fachrechnungsbuch von Dr. Beat Akeret ausgearbeitet. Er ist Biologe und unterrichtet seit mehr als 25 Jahren Laboranten an der Berufsbildungsschule Winterthur (BBW) in Angewandter Mathematik, Biologie, Biochemie und anderen berufskundlichen Fächern.



Das Buch enthält, aufgeteilt in elf Themenbereiche, die notwendige Theorie, Rechenbeispiele sowie mehr als 600 Übungsaufgaben. Nach einer kurzen Repetition der wichtigsten, fürs Rechnen im Labor benötigten Mathematik- und Geome-

triegrundlagen werden alle relevanten Fachrechnungsthemen in aufbauender Reihenfolge abgehandelt. Um es den Schülern und Studenten zu ermöglichen, mit dem jeweiligen Thema vertraut zu werden und die nötige Sicherheit bzw. Routine beim Lösen der verschiedenen Aufgaben zu erlangen, wurden die Aufgaben nach Schwierigkeitsgrad geordnet. Jedes Kapitel beginnt mit leichten Aufgaben, gekennzeichnet durch einen Stern (*). Diese Aufgaben können meist analog zu den aufgeführten Beispielen gelöst werden. Etwas anspruchsvoller sind die Zweistern-Aufgaben (**). Bei diesen muss das aktuelle Thema mit anderen Themen kombiniert werden. Oder es sind bei der Berechnung mehrere Rechnungsschritte nötig. Besonders anspruchsvoll sind jeweils am Ende eines Kapitels die Dreistern-Aufgaben (***). Um diese lösen zu können, benötigt man Zeit, Geduld und oftmals ein gewisses Maß an mathematischer Kreativität, denn hier wurden jeweils unterschiedliche Themenbereiche zu einer einzigen Aufgabe kombiniert.

Das Buch wurde so aufgebaut, dass es prinzipiell möglich ist, den gesamten Stoff autodidaktisch zu erarbeiten. Um dies zu erleichtern, wurden in einem speziellen Kapitel von allen Übungsaufgaben nicht nur die Resultate, sondern jeweils der komplette Lösungsweg aufgeführt. Das Buch soll es Studierenden ermöglichen, sich sorgfältig auf Prüfungen vorzubereiten. Als Vorbereitung auf die Abschlussprüfung wurden in Kap. 12 insgesamt 176 Zusatzaufgaben ohne besonderen Themenbezug und ohne Angaben zum Schwierigkeitsgrad bunt gemischt. So kann gegen Ende der Ausbildung nochmals geübt werden, um für unterschiedliche Arten von Aufgaben die jeweils beste Lösungsstrategie zu finden.

Das vorliegende Buch soll es darüber hinaus Dozenten und anderen Ausbildnern erleichtern, Studenten in angewandter Mathematik für die Biologie zu unterrichten bzw. sie bei den Prüfungsvorbereitungen optimal zu unterstützen. Weiter sollen Prüfungsexperten und Prüfungsexpertinnen eine umfangreiche Aufgabensammlung in die Hände bekommen, die es ihnen ermöglicht, Prüfungsaufgaben zu formulieren. Und nicht zuletzt soll es Lehrpersonen und Professoren in ihrem Bestreben unterstützen, einen Unterricht mit gutem Praxisbezug zu gewährleisten.

Als Grundlage für die Zusammenstellung dieses Buches diente der seit einigen Jahren vergriffene „Rechentypenkatalog für Biologielaboranten“ des Schweizerischen Laborpersonalverbandes von 1982. Die daraus entnommenen Aufgaben wurden teilweise umformuliert, um die Verständlichkeit zu verbessern, bzw. sie wurden aktualisiert und wo nötig korrigiert. Zusätzlich wurden Aufgaben aus alten Prüfungen übernommen und alles mit der nötigen Theorie sowie einer großen Zahl von vom Autor selbst neu formulierten Aufgaben und Beispielen ergänzt.

Im Rechentypenkatalog von 1982 fehlte eine Reihe von Themengebieten, die seither Einzug ins moderne Biologielabor gehalten oder an Bedeutung gewonnen haben. So etwa die Fotometrie, die Enzymkinetik oder Pufferberechnungen. Diese und weitere Themen wurden deshalb zusätzlich ins vorliegende Buch aufgenommen, um angehenden Biologen, Pharmakologen oder Biologielaboranten eine zeitgemäße Labormathematik zu vermitteln.

Inhaltsverzeichnis

1	Grundlagen	1
1.1	Einführung	1
1.2	Mathematische Grundoperationen	1
1.3	Potenzen	3
1.4	Komplexe Formeln	4
1.5	Umformen von Gleichungen	6
1.6	Genauigkeit und Formate	9
1.6.1	Festkommaformat (FIX- bzw. FX-Format)	10
1.6.2	Wissenschafts- oder Science-Format (SCI- bzw. SC-Format)	11
1.6.3	Ingenieur- oder Engineering-Format (ENG- bzw. EN-Format)	11
1.7	SI-Einheiten, Basisgrößen und abgeleitete Größen	12
1.8	Volumen-, Massen- und Teilchenstrom	19
1.9	Rechnen mit Faktoren	23
2	Anteile, Konzentrationen und Dichte	29
2.1	Einleitung	29
2.2	Massenanteil (w) und Volumenanteil (σ)	29
2.3	Massenkonzentration (β)	33
2.4	Stoffmengenkonzentration (c)	37
2.5	Dichte (ρ)	45
2.5.1	Dichtebestimmung von Flüssigkeiten	47
2.5.2	Dichtebestimmung von Festkörpern	51
3	Dosis und Applikationsvolumen	55
3.1	Grundlagen	55
3.2	Formulierungen in der Agrobiologie	61
4	Mischen und Verdünnen	67
4.1	Mischen	67

4.2	Mischungen mit Stoffmengenkonzentrationen (c)	74
4.3	Verdünnungen	77
4.3.1	Verdünnungsmischungen	79
4.3.2	Volumenkontraktion	80
4.4	Geometrische Verdünnungsreihen	84
5	Massenanteile in Verbindungen	95
5.1	Massenanteile	95
5.2	Kristallwasser	100
6	Fotometrie	105
6.1	Licht und Farben	105
6.1.1	Additive Farbmischung/Lichtfarben	106
6.1.2	Subtraktive Farbmischung/Körperfarben	107
6.2	Spektrofotometrie	107
6.2.1	Absorptionsmessungen	109
6.2.2	Konzentrationsbestimmungen	110
6.3	Enzyme	116
6.3.1	Enzymaktivitätsbestimmungen	118
7	Säuren und Basen	123
7.1	Grundlagen der Säure-Basen-Chemie	123
7.2	Säure- und Basenkonstante (pK_S und pK_B)	124
7.3	pH-Wert	125
7.3.1	pH-Werte von Lösungen starker Säuren ($pK_s < 0$)	127
7.3.2	pH-Werte von Lösungen schwacher Säuren ($pK_s \geq 0$)	128
7.3.3	pH-Werte von Basen	134
7.4	Pufferlösungen	136
7.4.1	Wirkungsweise einer Pufferlösung	136
7.5	Säure/Basen-Titration	140
7.5.1	Titration einwertiger Säuren und Basen	140
7.5.2	Titration mehrwertiger Säuren und Basen	143
7.5.3	Rücktitration	149
7.5.4	Enzymaktivitätsbestimmung mittels Titration	149
8	Chemisches Rechnen	151
8.1	Einführung	151
8.2	Chemische Berechnungen	152
9	Gase	161
9.1	Einführung	161
9.2	Molvolumen idealer Gase	162
9.3	Allgemeines Gasgesetz	164
10	Statistik	169
10.1	Einführung	169

10.2	Mittelwert und Median	170
10.3	Varianz und Standardabweichung	171
10.4	Lineare Regression	177
10.4.1	Lineare Regression mit Taschenrechner und Computer	180
11	Grafische Darstellungen	183
11.1	Einführung	183
11.2	Diagrammtypen	183
11.3	Daten mit sehr großem Streubereich	187
11.4	Bestimmung von Werten mittels grafischer Darstellungen	189
12	Aufgaben zu gemischten Themen	197
13	Lösungen	229
13.1	Lösungen zu Kap. 1 – Mathematische Grundlagen	229
13.1.1	Lösungen Abschn. 1.4 – Komplexe Formeln	229
13.1.2	Lösungen Abschn. 1.5 – Umformen von Gleichungen	230
13.1.3	Lösungen Abschn. 1.6 – Genauigkeit und Formate	232
13.1.4	Lösungen zu Abschn. 1.7 – SI-Einheiten, Basisgrößen und abgeleitete Größen	233
13.1.5	Lösungen Abschn. 1.8 – Volumen- und Massenstrom	250
13.1.6	Lösungen Abschn. 1.9 – Rechnen mit Faktoren	258
13.2	Lösungen zu Kap. 2 – Massenanteil, Konzentration und Dichte	270
13.2.1	Lösungen Abschn. 2.2 – Massen- und Prozentanteil (w)	270
13.2.2	Lösungen Abschn. 2.3 – Massenkonzentration (β)	276
13.2.3	Lösungen Abschn. 2.4 – Stoffmengenkonzentration (c)	289
13.2.4	Lösungen Abschn. 2.5 – Dichte (ρ)	300
13.3	Lösungen Kap. 3 – Dosis und Applikationsvolumen	319
13.3.1	Lösungen Abschn. 3.1 Grundlagen	319
13.3.2	Lösungen Abschn. 3.2 – Formulierungen in der Agrobiologie	338
13.4	Lösungen Kap. 4 – Mischen und Verdünnen	355
13.4.1	Lösungen Abschn. 4.1 – Mischen	355
13.4.2	Lösungen Abschn. 4.2 – Mischungen mit Stoffmengenkonzentrationen (c)	364
13.4.3	Lösungen Abschn. 4.3 – Verdünnungen	376
13.4.4	Lösungen Abschn. 4.4 – Geometrische Verdünnungsreihen	394
13.5	Lösungen Kap. 5 – Massenanteile in Verbindungen	412
13.5.1	Lösungen Abschn. 5.1 – Massenanteile	412
13.5.2	Lösungen Abschn. 5.2 – Kristallwasser	426
13.6	Lösungen Kap. 6 – Fotometrie	436
13.6.1	Lösungen Abschn. 6.2 – Spektrofotometrie	436
13.6.2	Lösungen Abschn. 6.3 – Enzyme	458
13.7	Lösungen Kap. 7 – Säuren und Basen	467

13.7.1	Lösungen Abschn. 7.3 – pH-Wert	467
13.7.2	Lösungen Abschn. 7.4 – Pufferlösungen	477
13.7.3	Lösungen Abschn. 7.5 – Säuren und Basen/Titration	487
13.8	Lösungen Kap. 8 – Chemisches Rechnen	509
13.8.1	Lösungen Abschn. 8.2 – Chemische Berechnungen	509
13.9	Lösungen Kap. 9 – Gase	527
13.9.1	Lösungen Abschn. 9.2 – Molvolumen idealer Gase	527
13.9.2	Lösungen Abschn. 9.3 – Allgemeines Gasgesetz	530
13.10	Lösungen Kap. 10 – Statistik	546
13.10.1	Lösungen Abschn. 10.2 – Mittelwert und Median	546
13.11	Lösungen Kap. 11 – Grafische Darstellungen	552
13.11.1	Lösungen Abschn. 11.4 – Bestimmung von Werten mittels grafischer Darstellungen	552
13.12	Lösungen Kap. 12 – Gemischte Themen	556
Anhang		575
A.1	Tabellen	575
A.2	Formeln und Symbole	578

1.1 Einführung

In der Physik und den Ingenieurwissenschaften ist es heute üblich, mit Formeln zu rechnen. Auch im Biologielabor lassen sich die meisten Berechnungen relativ einfach mithilfe von Formeln durchführen. Nur in einzelnen Fällen bedient man sich anderer Hilfsmittel wie z. B. grafischer Bestimmungsmethoden.

1.2 Mathematische Grundoperationen

Mit den mathematischen Grundoperationen „Addition“ (Zusammenzählen), „Subtraktion“ (Abziehen), „Multiplikation“ (Malrechnen) und „Division“ (Teilen) sind Sie sicher noch aus der Grundschule vertraut. Deshalb hier nur kurz eine einfache Repetition.

- Addition

$$\begin{aligned}2 + 3 &= \underline{\underline{5}} \\3 + 35 + 83 &= \underline{\underline{121}} \\534,61 + 6,49 + 94,06 &= \underline{\underline{635,16}}\end{aligned}$$

- Subtraktion

$$\begin{aligned}20 - 7 &= \underline{\underline{13}} \\645 - 41 - 183 &= \underline{\underline{421}} \\6,41 - 1,46 - 5,39 &= \underline{\underline{-0,44}}\end{aligned}$$

- Multiplikation

$$3 \cdot 5 = 5 + 5 + 5 = \underline{\underline{15}}$$

$$41 \cdot 33 = \underline{\underline{1353}}$$

$$4,29 \cdot 4,81 \cdot 0,51 = \underline{\underline{10,523799}}$$

- Division

$$12 : 3 = \underline{\underline{4}}$$

$$705 : 15 = \underline{\underline{47}}$$

$$10.582 : 2,5 = \underline{\underline{4232,8}}$$

Bei gemischten Berechnungen ist zu beachten, dass Multiplikation und Division einen höheren Stellenwert haben als Addition und Subtraktion. Das heißt, bei der Berechnung muss immer erst multipliziert bzw. dividiert und erst anschließend die Zwischenresultate miteinander addiert bzw. voneinander subtrahiert werden. Merke: „Punkt vor Strich“!

Beispiele

$$3 \cdot 5 - 8 : 2 = 15 - 4 = \underline{\underline{11}}$$

$$53 \cdot 2,5 + 81 : 9 + 0,2 \cdot 8 = 132,5 + 9 + 1,6 = \underline{\underline{143,1}}$$

$$0,31 \cdot 1,37 - 0,8 + 9,1 : 0,2 = 0,4247 - 0,8 + 45,5 = \underline{\underline{45,1247}}$$

Neben diesen vier Grundoperationen gibt es drei weitere, die Sie beim Rechnen immer wieder mal brauchen. Es sind dies Potenzieren („hoch“ Rechnen), Wurzelziehen (Radizieren) und Logarithmieren („Hochzahl“ Berechnen).

- Potenzieren

$$2^6 = 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 = \underline{\underline{64}}$$

$$12^3 = \underline{\underline{1728}}$$

$$0,41^{1,27} = \underline{\underline{0,32228}}$$

- Wurzelziehen (Radizieren)

$$\sqrt[2]{9} = \underline{\underline{3}}$$

$$\sqrt[3]{64} = \underline{\underline{4,021}}$$

- Logarithmieren

$$10^x = 1000$$

$$x = \log 1000 = 3$$

$$2^x = 4096$$

$$x = \log_2 4096$$

$$= \frac{\log 4096}{\log 2}$$

$$= \frac{3,612359948}{0,301029996}$$

$$= \underline{\underline{12}}$$

$$\log 10.391 = \underline{\underline{4,0167}}$$

$$\log_3 243 = \underline{\underline{5}}$$

1.3 Potenzen

Insbesondere sehr große oder sehr kleine Werte werden meist mithilfe von Potenzen angegeben. In der Regel handelt es sich dabei um Zehnerpotenzen (z. B. $10^6 = 1.000.000$). Dabei verschiebt sich die Kommastelle:

- Bei positiven Zehnerpotenzen nach rechts \Rightarrow die Zahl wird größer.
- Bei negativen Zehnerpotenzen nach links \Rightarrow die Zahl wird kleiner.

Beispiele

$$10^4 = \underline{\underline{10.000}}$$

$$3,5 \cdot 10^6 = \underline{\underline{3.500.000}}$$

$$0,839 \cdot 10^3 = \underline{\underline{839}}$$

$$5,412 \cdot 10^{-2} = \underline{\underline{0,05412}}$$

$$192,7 \cdot 10^{-3} = \underline{\underline{0,1927}}$$

Bei Zehnerpotenzen gibt die negative Potenz an, um wie viele Stellen das Komma nach links verschoben wird.

Beispiele

$$6 \cdot 10^{-3} = \frac{6}{10^3}$$

$$= \underline{\underline{0,006}}$$

$$\begin{aligned}
 3,918 \cdot 10^{-6} &= \frac{3,918}{10^6} \\
 &= \underline{\underline{0,000003918}}
 \end{aligned}$$

1.4 Komplexe Formeln

Bei komplexeren Berechnungen ergeben sich häufig mehrfach verschachtelte Brüche. Oft ist es sinnvoll, zunächst den komplexen Bruch so zu vereinfachen, dass er auf einen einzigen Bruchstrich geschrieben werden kann. So erkennen Sie auch Möglichkeiten zum Kürzen. Eine in diesem Zusammenhang wichtige Operation ist die Multiplikation mit dem Kehrwert.

Beispiele

$$\begin{aligned}
 \frac{a \cdot b}{1/b} &= a \cdot b \cdot b/1 \\
 &= \underline{\underline{a \cdot b^2}} \\
 \frac{5 \cdot 12,03 \cdot 10^2}{3,2} &= 5 \cdot 12,03 \cdot 10^2 \cdot \frac{5,02 \cdot 10^{-5}}{3,2} \\
 \frac{5 \cdot 12,03 \cdot 10^2}{5,02 \cdot 10^{-5}} &= \frac{5 \cdot 12,03 \cdot 10^2 \cdot 5,02 \cdot 10^{-5}}{3,2} \\
 &= \frac{5 \cdot 12,03 \cdot 5,02}{3,2 \cdot 10^3} \\
 &= \frac{301,053}{3200} \\
 &= \underline{\underline{0,0943603125}}
 \end{aligned}$$

Kürzen von Einheiten

$$\begin{aligned}
 \frac{12 \text{ g} \cdot 0,75 \text{ g/mL}}{35,2 \text{ cm}^3 \cdot 14 \text{ g}} &= \frac{12 \text{ g} \cdot 0,75 \text{ g/mL}}{35,2 \text{ cm}^3} \cdot \frac{25 \text{ mL}}{14 \text{ g}} \\
 &= \frac{12 \cancel{\text{ g}} \cdot 0,75 \cancel{\text{ g/mL}} \cdot 25 \cancel{\text{ mL}}}{35,2 \text{ cm}^3 \cdot 14 \cancel{\text{ g}}} \\
 &= \underline{\underline{0,4566 \text{ g/cm}^3}} \\
 &= \underline{\underline{0,4566 \text{ g/mL}}}
 \end{aligned}$$

Aufgaben

$$1.4.1^* \quad \frac{8,935 \cdot 3,785 \cdot 10^{-1} \cdot 10^3}{5 \cdot 18,97 \cdot 2 \cdot 10^2} =$$

$$1.4.2^* \quad \frac{1,005 \cdot 5,050 \cdot 10^4 \cdot 5}{10^6 \cdot 1,562 \cdot 10^{-2}} =$$

$$1.4.3^* \quad \frac{1}{67,45 \cdot 10^{-2} \cdot 34,35} =$$

$$1.4.4^* \quad \frac{10^{-2}}{10^2 \cdot 3,879 \cdot 10^{-6} \cdot 567,9} =$$

$$1.4.5^* \quad \frac{3,895 \cdot 34,92 \cdot 45,89}{10^3 \cdot 10^2} =$$

$$1.4.6^* \quad \frac{45,25 \cdot 10^{-6} \cdot 3,983 \cdot 10^2}{4,624 \cdot 10^3 \cdot 67,38 \cdot 2 \cdot 10^{-4}} =$$

$$1.4.7^* \quad \frac{0,06724 \cdot 10^3 \cdot 87,23 \cdot 10^2}{43,79 \cdot 8,453 \cdot 10^2 \cdot 5,675} =$$

$$1.4.8^* \quad \frac{10^{-2} \cdot 6,983 \cdot 567,1 \cdot 5}{10^2 \cdot 3 \cdot 0,006784} =$$

$$1.4.9^* \quad \frac{2383 \cdot 8,146 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-2}}{0,05621 \cdot 6,563 \cdot 10^2} =$$

$$1.4.10^* \quad \frac{10^{-5} \cdot 10^3 \cdot 64,38}{10^{-2} \cdot 0,005239 \cdot 123,1} =$$

$$1.4.11^* \quad \frac{1}{10^5 \cdot 10^2 \cdot 0,06751} =$$

1.5 Umformen von Gleichungen

Im Alltag müssen Sie physikalische oder mathematische Formeln oft nach einer bestimmten Variablen auflösen. Hierbei sind einige Grundregeln zu beachten:

- Links und rechts des Gleichheitszeichens muss immer dieselbe Operation durchgeführt werden.

Beispiel (allgemeine Gasgleichung)

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

Gesucht wird das Volumen V . Vorgehen:

1. Teilen durch p (Druck):

$$\begin{aligned} p \cdot V &= n \cdot R \cdot T \\ \frac{p \cdot V}{p} &= \frac{n \cdot R \cdot T}{p} \end{aligned}$$

2. p kann auf der linken Seite der Gleichung weggekürzt werden:

$$\begin{aligned} \frac{\cancel{p} \cdot V}{\cancel{p}} &= \frac{n \cdot R \cdot T}{p} \\ V &= \frac{n \cdot R \cdot T}{p} \end{aligned}$$

Etwas anspruchsvoller wird das Umformen bei komplexeren Gleichungen.

Beispiel (Mischungsgleichung)

$$c_1 \cdot V_1 + c_2 \cdot V_2 = c_{\text{total}} \cdot (V_1 + V_2)$$

Gesucht wird das Volumen V_2 .

Hier besteht das Problem darin, dass V_2 auf beiden Seiten des Gleichheitszeichens vorliegt und in der Gleichung sowohl Multiplikationen als auch Additionen vorkommen. Für solche Fälle kann folgendes Lösungsschema angewandt werden:

1. Ausmultiplizieren sämtlicher Klammern
2. Sortieren der Multiplikationsblöcke, sodass diejenigen mit der gesuchten Variablen auf der einen, alle anderen auf der anderen Seite des Gleichheitszeichens liegen
3. Ausklammern der gesuchten Variablen
4. Division durch den Term in der Klammer

Beispiel

$$c_1 \cdot V_1 + c_2 \cdot V_2 = c_{\text{total}} \cdot (V_1 + V_2)$$

1. Ausmultiplizieren der Klammer:

$$c_1 \cdot V_1 + c_2 \cdot V_2 = c_{\text{total}} \cdot V_1 + c_{\text{total}} \cdot V_2$$

2. Sortieren der Multiplikationsblöcke:

$$c_2 \cdot V_2 - c_{\text{total}} \cdot V_2 = c_{\text{total}} \cdot V_1 - c_1 \cdot V_1$$

3. Ausklammern der gesuchten Variablen:

$$V_2 \cdot (c_2 - c_{\text{total}}) = c_{\text{total}} \cdot V_1 - c_1 \cdot V_1$$

4. Teilen:

$$V_2 = \frac{c_{\text{total}} \cdot V_1 - c_1 \cdot V_1}{c_2 - c_{\text{total}}}$$

Aufgaben

1.5.1* Lösen Sie die folgende Gleichung nach v_2 (v = Geschwindigkeit) auf (a = Beschleunigung, t = Zeit):

$$a = \frac{v_1 - v_2}{t}$$

1.5.2* Lösen Sie die folgende Gleichung nach I (Stromstärke) auf (P = Leistung, R = elektrischer Widerstand):

$$P = R \cdot I^2$$

1.5.3* Lösen Sie die folgende Gleichung nach T (Temperatur) auf (p = Druck, V = Volumen, n = Anzahl Gasteilchen, R = Gaskonstante):

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

1.5.4* Lösen Sie die folgende Gleichung nach R_2 (elektrischer Widerstand) auf (U = Spannung, I = Stromstärke):

$$U = (R_1 + R_2) \cdot I$$

1.5.5* Lösen Sie die folgende Gleichung nach v (Geschwindigkeit) auf (m = Masse, g = Gravitationskonstante, h = Höhe):

$$m \cdot g \cdot h = \frac{m}{2} \cdot v^2$$

1.5.6* Lösen Sie die folgende Gleichung nach β (Massenkonzentration) auf (E = Extinktion, ε_{sp} = spezifischer Extinktionskoeffizient):

$$E = \beta \cdot \varepsilon_{\text{sp}} \cdot d$$

1.5.7* Lösen Sie die folgende Gleichung nach $c_{\text{Säure}}$ (Stoffmengenkonzentration) auf (V = Volumen, n = Säurewertigkeit):

$$c_{\text{Säure}} \cdot V_{\text{Säure}} \cdot n_{\text{Säure}} = c_{\text{Base}} \cdot V_{\text{Base}}$$

1.5.8** Lösen Sie die folgende Gleichung nach V_2 (Volumen) auf (c = Stoffmengenkonzentration):

$$c_1 \cdot V_1 = c_{\text{total}} \cdot (V_1 + V_2)$$

1.5.9** Lösen Sie die folgende Gleichung nach V_2 (Volumen) auf (β = Massenkonzentration, V = Volumen, c = Stoffmengenkonzentration, M = molare Masse):

$$\beta_1 \cdot V_1 + c_2 \cdot M_2 \cdot V_2 = \beta_{\text{total}} \cdot (V_1 + V_2)$$

1.5.10** Lösen Sie die folgende Gleichung nach r_{Kugel} (Kugeldurchmesser) auf (F_{Auftrieb} = Auftriebskraft, r_{Kugel} = Kugelradius, $\rho_{\text{Flüssigkeit}}$ = Dichte der Flüssigkeit, ρ_{Kugel} = Dichte der Kugel):

$$F_{\text{Auftrieb}} = \frac{4}{3} \cdot (r_{\text{Kugel}})^3 \cdot \pi \cdot (\rho_{\text{Flüssigkeit}} - \rho_{\text{Kugel}})$$

1.5.11** Lösen Sie die folgende Gleichung nach b auf (b = Kathete; eine der beiden kurzen Seiten im rechtwinkligen Dreieck, a = zweite Kathete, \sin = Winkelfunktion, α = Winkel):

$$\sqrt{a^2 + b^2} = \frac{a}{\sin \alpha}$$

1.6 Genauigkeit und Formate

Bei der Berechnung von Werten müssen Sie darauf achten, dass nicht eine Genauigkeit vorgetäuscht wird, die in Wirklichkeit mit dieser Messgenauigkeit gar nicht erreicht werden kann. Werden Größen miteinander multipliziert bzw. dividiert, so ist das Resultat nie genauer als das ungenaueste Glied der Kette.

Beispiel

Ein Quader hat eine Seitenlänge von 195,4 cm, eine Breite von 25,8 cm und eine Höhe von 55,2 cm. Welches Volumen hat der Quader?

$$\begin{aligned}
 \text{Volumen} &= \text{Länge} \cdot \text{Breite} \cdot \text{Höhe} \\
 &= 195,4 \text{ cm} \cdot 25,8 \text{ cm} \cdot 55,2 \text{ cm} \\
 &= 278.280,864 \text{ cm}^3 \\
 &= 278.280,864 \text{ mL} \\
 &= \underline{\underline{278,280864 \text{ L}}}
 \end{aligned}$$

Dieses Resultat ist unsinnig! Sechs Stellen nach dem Komma, bei einem Wert von über 278 L, entsprechen einer Genauigkeit im Mikroliter-Bereich (μL) – also weniger als ein Tropfen Flüssigkeit in knapp zwei gefüllten Badewannen. Eine solch hohe Genauigkeit lässt sich mit den gemessenen Werten gar nicht erreichen. In der Praxis hat es sich bewährt, mit einer Genauigkeit von 3–4 Ziffern zu arbeiten. Eine sinnvolle Genauigkeit wäre deshalb folgender Wert:

$$\begin{aligned}
 \text{Volumen} &= \text{Länge} \cdot \text{Breite} \cdot \text{Höhe} \\
 &= 195,4 \text{ cm} \cdot 25,8 \text{ cm} \cdot 55,2 \text{ cm} \\
 &= 278.280,864 \text{ cm}^3 \\
 &= 278.280,864 \text{ mL} \\
 &= \underline{\underline{278,3 \text{ L}}}
 \end{aligned}$$

In der Folge werden die meisten Resultate der Beispiele und Aufgaben konsequent mit einer Genauigkeit von vier Ziffern angegeben. Ausnahmen sind Präzisionsmessungen, wie z. B. Dichtebestimmungen mithilfe von Pyknometern, welche eine höhere Genauigkeit erlauben. Umgekehrt macht es keinen Sinn, pH-Werte auf mehr als zwei Nachkommastellen genau anzugeben. Eine solch hohe Genauigkeit kann mit den im Labor üblichen pH-Messgeräten nicht erreicht werden. Auch grafisch ermittelte Werte können nicht so genau bestimmt werden, weshalb deren Angabe mit einer geringeren Genauigkeit erfolgt.

Bei Multiplikationen und Divisionen ist das Resultat nie genauer als das schwächste Glied der Kette. Das heißt: Geben Sie ein Resultat nie auf drei Stellen genau an, wenn in der Rechnung ein Wert nur auf eine Stelle genau vorliegt.

Beispiel

$$25,85 \cdot 111,63 \cdot 0,130 = 375,132615 \quad (\text{gemäß Taschenrechner})$$

$$= 375,13 \quad (\text{maximale Genauigkeit})$$

Bei Messungen oder Berechnungen wird manchmal die Genauigkeit durch einen Ungenauigkeitsfaktor angegeben. Dieser wird mit dem Zeichen „ \pm “ eingeleitet. Dieser Faktor gibt an, in welchem Bereich der effektive Wert liegt.

Beispiele

$$m = 175,15 \text{ g} \pm 0,05 \text{ g} \quad (\pm 0,03 \%)$$

$$V = 0,0021 \text{ L} \pm 0,0001 \text{ L} \quad (\pm 0,5 \%)$$

Aufgaben

1.6.1* Welche der folgenden Werte haben eine Genauigkeit von vier Ziffern?

- a. 0,041 cm
- b. 7,145 g
- c. $1,112 \cdot 10^5 \text{ L}$
- d. 4,4197 L
- e. $15,41 \cdot 10^{-6} \text{ s}$
- f. 12,14 h
- g. $47,00 \cdot 10^5 \text{ A}$
- h. 2,011 mg
- i. 0,004175 g
- j. 1,002104 kg
- k. 0,0094 g
- l. 5473,0 s

Gemessene oder berechnete Werte können Sie auf unterschiedliche Art und Weise angeben. Im Allgemeinen unterscheidet man zwischen drei unterschiedlichen Formaten:

1.6.1 Festkommaformat (FIX- bzw. FX-Format)

Dies ist das meist gebrauchte Format. Es wird im Allgemeinen für Zahlen zwischen 0,01 und 9999 gebraucht.

Beispiele

1,503 km
 32,59 μm
 0,0256 s
 184,8 kg

1.6.2 Wissenschafts- oder Science-Format (SCI- bzw. SC-Format)

Dieses Format zeigt nur eine Ziffer von 1–9 vor dem Komma an. Diese Zahl wird dann mit einer Zehnerpotenz multipliziert, um den effektiven Wert anzugeben.

Beispiele

$1,571 \cdot 10^2 \text{ m}$ (= 157,1 m)
 $5,103 \cdot 10^{-4} \text{ g}$ (= 0,5103 mg)

1.6.3 Ingenieur- oder Engineering-Format (ENG- bzw. EN-Format)

Dieses Format ist ähnlich wie das Science-Format. Im Unterschied zu diesem werden aber nur Zahlen der Dreierreihe für die Zehnerpotenzen benutzt, d. h. 10^0 , 10^3 , 10^6 , 10^9 usw.

Beispiele

$1,571 \cdot 10^3 \text{ m}$ (= 1571 m = 1,571 km)
 $51,03 \cdot 10^{-3} \text{ g}$ (= 0,05103 g = 51,03 mg)

Zehnerpotenzen der Dreierreihe eignen sich besonders gut zum Umrechnen von Einheiten. Denn viele Untereinheiten von Grundeinheiten wie Kilogramm ($1 \text{ kg} = 10^3 \text{ g}$), Milliliter ($1 \text{ mL} = 10^{-3} \text{ L}$) oder Mikrometer ($1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$) basieren auf Zehnerpotenzen der Dreierreihe, wie sie für das Ingenieur-Format charakteristisch sind.

Vorsilben für Zehnerpotenzen der Dreierreihe

Kilo = 1000 = 10^3	(kg)
Milli = $1/1000 = 10^{-3}$	(mm, mL)
Mikro = $1/1.000.000 = 10^{-6}$	(μm , μL)
Nano = $1/1.000.000.000 = 10^{-9}$	(ng, nL)

Aufgabe

1.6.2* Kreuzen Sie an, in welchem Format die folgenden Werte angegeben sind.

	FIX	SCI	ENG
0,1467 s	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
$22,03 \cdot 10^{-6}$ m	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
$1,093 \cdot 10^8$ g	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
0,337 cm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1251 km ²	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
$0,315 \cdot 10^{-9}$ mol	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
$8,404 \cdot 10^{-2}$ g/L	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
98,00 km	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
$71,44 \cdot 10^{12}$ N	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

1.7 SI-Einheiten, Basisgrößen und abgeleitete Größen

Im Labor wie auch im Alltag sind Sie oft darauf angewiesen etwas zu messen. Das im Mittelalter übliche Chaos, das sich durch unterschiedliche Maße (Meile, Elle, Fuß, Zoll, Faden, Pfund, Unze usw.) ergab, wird heute durch ein international vereinheitlichtes System physikalischer Größen verhindert. Länge, Zeit und Masse sind neben einigen weiteren Einheiten die SI-Basiseinheiten. Aus diesen werden alle übrigen Größen abgeleitet. Die Flächenmessung beispielsweise lässt sich auf die Längenmessung zurückführen. Die Geschwindigkeitsmessung läuft auf eine Längenmessung und eine Zeitmessung hinaus. Das heute gebräuchliche Einheitensystem baut auf sieben SI-Basiseinheiten auf (Tab. 1.1).

Aus diesen sieben Basisgrößen lassen sich alle anderen Größen ableiten, wie Fläche, Volumen, Geschwindigkeit, Beschleunigung, Druck, Energie usw.

Beispiele

Fläche (A):

$$A = \text{Länge} \cdot \text{Breite} \\ = l \cdot b$$

Einheiten: $[\text{m}^2] = [\text{m}] \cdot [\text{m}]$

Volumen (V):

$$V = \text{Länge} \cdot \text{Breite} \cdot \text{Höhe} \\ = l \cdot b \cdot h$$

Einheiten: $[\text{m}^3] = [\text{m}] \cdot [\text{m}] \cdot [\text{m}]$

Tab. 1.1 Die sieben Basis-SI-Einheiten

	Einheit	Definition
1	Meter (Länge)	Länge der Strecke, die das Licht im Vakuum während der Dauer von $1/299.792.458$ s zurücklegt.
2	Kilogramm (Masse)	Ursprünglich war das Kilogramm definiert durch die Masse des internationalen Kilogramm-Prototyps in Paris. Seit 2018 ist diese Basiseinheit gekoppelt ans Plancksche Wirkungsquantum (h), wobei $1 \text{ kg} = (h/(6,62607015 \cdot 10^{34})) \text{ s m}^{-2}$
3	Sekunde (Zeit)	Das 9.192.631.770-Fache der Periodendauer der dem Übergang zwischen den beiden Hyperfeinstrukturniveaus des Grundzustandes von Atomen des Cäsium-Isotopes ^{133}Cs entsprechenden Strahlung.
4	Kelvin (Temperatur)	Die Neudefinition des Kelvins als Einheit der thermodynamischen Temperatur beruht seit 2018 auf den Konstanten von Boltzmann und Planck: $1 \text{ K} = (1,380649 \times 10^{-23} / \text{k}) \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-2}$
5	Candela (Lichtstärke)	Die Lichtstärke in einer bestimmten Richtung einer Strahlungsquelle, die monochromatische Strahlung der Frequenz $540 \cdot 10^{12}$ Hz aussendet und deren Strahlstärke in dieser Richtung $1/683$ W pro Steradian beträgt.
6	Ampere (Stromstärke)	Nach der alten Definition war Ampère definiert durch die Stärke eines konstanten elektrischen Stromes, der durch zwei parallele, geradlinige, unendlich lange und im Vakuum im Abstand von 1 m voneinander angeordnete Leiter von vernachlässigbar kleinem, kreisförmigem Querschnitt fließend, zwischen diesen Leitern pro Meter Leiterlänge die Kraft von $2 \cdot 10^{-7}$ N hervorrufen würde. Die Neudefinition (seit 2018) des Ampère basiert auf der elektrischen Ladung (e): $1 \text{ A} = e/(1,602176634 \cdot 10^{19}) \text{ s}^{-1}$
7	Mol (Stoffmenge)	Die Stoffmenge eines Systems, das aus ebenso vielen Einzelteilchen besteht, wie Atome in 12,00 g des Kohlenstoff-Isotopes ^{12}C in ungebundenem Zustand enthalten sind. Bei Benutzung des Mol müssen die Einzelteilchen spezifiziert sein und können Atome, Moleküle, Ionen, Elektronen sowie andere Teilchen oder Gruppen solcher Teilchen sein. $1 \text{ mol} = 6,022140857 \cdot 10^{23}$ Teilchen

Dichte (ρ):

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{\text{Masse}}{\text{Volumen}} \\ &= \frac{m}{V} \end{aligned}$$

Einheiten: $[\text{kg}/\text{m}^3] = \frac{[\text{kg}]}{[\text{m}^3]}$

Geschwindigkeit (v , engl. *velocity*):

$$\begin{aligned} v &= \frac{\text{Strecke}}{\text{Zeit}} \\ &= \frac{s}{t} \end{aligned}$$

Einheiten: $[m/s] = \frac{[m]}{[s]}$

Beschleunigung:

$$a = \frac{\text{Geschwindigkeitsänderung}}{\text{Zeit}}$$

$$= \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Einheiten: $[m/s^2] = \frac{[m/s]}{[s]}$ (Δ – der griechische Buchstabe „Delta“ – bezeichnet jeweils eine Differenz.)

Zur Berechnung vieler Aufgaben benötigen Sie noch einige weitere Formeln. Lernen Sie diese Formeln auswendig, denn Sie benötigen Sie immer wieder!

Kreisfläche:

$$A_{\text{Kreis}} = r^2 \cdot \pi$$

Kugelvolumen:

$$V_{\text{Kugel}} = \frac{4}{3} \cdot r_{\text{Kugel}}^3 \cdot \pi$$

Kugeloberfläche:

$$A_{\text{Kugel}} = d^2 \cdot \pi$$

$$= 4 \cdot r^2 \cdot \pi$$

Zylindervolumen:

$$V_{\text{Zylinder}} = A_{\text{Kreis}} \cdot h$$

$$= r^2 \cdot \pi \cdot h$$

Beispiel

Eine Petrischale hat einen Durchmesser von 12 cm und eine Höhe von 2 cm. Wie groß ist ihr Volumen?

gegeben:

$$\emptyset = 12 \text{ cm} \Rightarrow r = 6 \text{ cm}$$

$$h = 2 \text{ cm}$$

gesucht:

$$V_{\text{Zylinder}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Zylinder}} &= A_{\text{Kreis}} \cdot h \\
 &= r^2 \cdot \pi \cdot h \\
 &= (6 \text{ cm})^2 \cdot \pi \cdot 2 \text{ cm} \\
 &= 36 \text{ cm}^2 \cdot \pi \cdot 2 \text{ cm} \\
 &= \underline{\underline{226,2 \text{ cm}^3}}
 \end{aligned}$$

Im Labor ist es oft nötig, dass Sie Einheiten umrechnen. Sind der Durchmesser und die Höhe eines Zylinders in Zentimetern angegeben, so ergibt sich sein Volumen in Kubikzentimetern (cm^3). In der Praxis verwendet man anstelle des Kubikzentimeters (cm^3) jedoch häufig Milliliter (mL), wobei $1 \text{ cm}^3 = 1 \text{ mL}$. Auch andere Volumina werden im Laboralltag meist nicht als Kubikmeter, Kubikmillimeter etc. angegeben, sondern als Hohlmaß-Einheit, abgeleitet vom Liter (L).

Wichtige Volumina

$$\begin{aligned}
 1 \text{ m}^3 &= 1000 \text{ L} && (\text{m}^3 = \text{Kubikmeter}) \\
 &= 10.000 \text{ dL} \\
 &= 1.000.000 \text{ mL} \\
 1 \text{ dm}^3 &= 1 \text{ L} && (\text{L} = \text{Liter}) \\
 &= 1000 \text{ mL} \\
 &= 1.000.000 \mu\text{L} \\
 1 \text{ cm}^3 &= 1 \text{ mL} && (\text{mL} = \text{Milliliter}) \\
 &= 1000 \mu\text{L} \\
 &= 1.000.000 \text{ nL} \\
 1 \text{ mm}^3 &= 1 \mu\text{L} && (\mu\text{L} = \text{Mikroliter}) \\
 &= 1000 \text{ nL} && (\text{nL} = \text{Nanoliter}) \\
 1 \mu\text{m}^3 &= 10^{-9} \mu\text{L} \\
 &= 10^{-12} \text{ mL} \\
 &= 10^{-15} \text{ L}
 \end{aligned}$$

Im Biologielabor wird häufig mit sehr kleinen Objekten wie Zellen, Bakterien, Sporen etc. gearbeitet. Typische Einheiten zur Angabe der Größe dieser Objekte sind:

- Mikrometer ($1 \mu\text{m} = 10^{-3} \text{ mm} = 10^{-6} \text{ m}$)
- Nanometer ($1 \text{ nm} = 10^{-3} \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ mm} = 10^{-9} \text{ m}$)

Wird aus diesen Einheiten das Volumen der Objekte berechnet, so müssen Sie darauf achten, dass es bei der Umrechnung in Hohlmaß-Einheiten nicht zu Stellenfehlern kommt! Bei der linearen Umrechnung von Mikrometer (μm) in Millimeter

(mm) verschiebt sich das Komma um drei Stellen, also um den Faktor 1000.

$$1 \mu\text{m} = 10^{-3} \text{ mm}$$

Werden nun aber Volumina umgerechnet, so kommt es zu einer Kommaverschiebung um neun Stellen (Faktor $1000^3 = 10^9 = 1.000.000.000$). Ein Mikroliter hat somit ein Volumen von einer Milliarde Kubikmikrometern:

$$\begin{aligned} (1 \mu\text{m})^3 &= (10^{-3} \text{ mm})^3 \\ &= 10^{-9} \text{ mm}^3 \\ &= \underline{\underline{10^{-9} \mu\text{L}}} \\ &= \underline{\underline{10^{-12} \text{ mL}}} \\ &= \underline{\underline{10^{-15} \text{ L}}} \end{aligned}$$

Aufgaben

1.7.1* Formen Sie die folgenden Werte in die verlangten Einheiten um.

$$152,0 \text{ dL} = ? \text{ L}$$

$$1,231 \text{ m}^3 = ? \text{ L}$$

$$0,5396 \text{ L} = ? \text{ mL}$$

$$142,8 \text{ cm}^3 = ? \text{ dL}$$

$$1250 \text{ mm}^3 = ? \text{ mL}$$

$$12,50 \cdot 10^8 \mu\text{L} = ? \text{ L}$$

$$0,8911 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 = ? \mu\text{L}$$

$$1,539 \cdot 10^{10} \mu\text{m}^3 = ? \text{ mL}$$

$$8,994 \cdot 10^{12} \text{ nL} = ? \text{ L}$$

$$678,1 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 = ? \text{ dL}$$

$$36,00 \text{ km/h} = ? \text{ m/s}$$

1.7.2* 100,0 mL Nähragar werden in eine Petrischale mit einem Durchmesser von 12,00 cm gegossen. Wie dick wird der Nährboden?

1.7.3* Ein 112,0 g schwerer Messzylinder wird mit 100,0 mL Alkohol gefüllt und erneut gewogen. Messzylinder und Alkohol haben zusammen eine Masse von 190,9 g. Welche Dichte (ρ) hat der Alkohol?

1.7.4* Ein Reagenzglas mit einem Innendurchmesser von 1,80 cm wird 10 cm hoch mit einer Zuckerlösung gefüllt. Wie viele Milliliter Zuckerlösung enthält das Reagenzglas?

1.7.5* 1,000 L einer Zellsuspension enthalten 8.259.354 Zellen. Die kugelförmigen Zellen haben im Durchschnitt einen Durchmesser von 214,0 μm . Wie groß ist der Anteil der Zellen am Gesamtvolumen der Suspension in Promille (‰ bzw. mL/L)?

1.7.6* Ein erwachsener Mensch hat durchschnittlich $3,5 \cdot 10^{11}$ Thrombozyten pro Liter Blut. Das mittlere Volumen eines Thrombozyten wird mit $16,20 \mu\text{m}^3$ angegeben. Welches Volumen (in cm^3) haben die in 5,500 L Blut enthaltenen Thrombozyten?

1.7.7* Leukozyten (weiße Blutzellen) haben annähernd die Form einer Kugel mit dem Durchmesser von 10,00 μm . In 1,000 μL Blut sind 10^4 Leukozyten enthalten. Wie groß ist die Gesamtoberfläche (in m^2) der Leukozyten in 6,000 L Blut?

1.7.8* Ein 2,500 m langer Infusionsschlauch hat einen Innendurchmesser von 1,500 mm. Wie viele Milliliter physiologischer Kochsalzlösung passen in diesen Schlauch?

1.7.9* In einem Sekret wird die Anzahl der darin vorkommenden Keime bestimmt. Dazu werden 2,000 μL Sekret auf einer Fläche von 1,000 cm^2 ausgestrichen und mikroskopiert. In 25 runden Blickfeldern mit einem Durchmesser von jeweils 200,0 μm zählt man insgesamt 116 Keime. Wie viele Keime sind in 1,000 mL Sekret enthalten?

1.7.10* Sie füllen eine Zählkammer mit einer Zellsuspension und zählen unter dem Mikroskop die Zellen in vier Quadraten mit einer Seitenlänge von je 0,25 mm aus. In der 0,10 mm tiefen Zählkammer finden Sie insgesamt 60 Zellen. Wie viele Zellen sind in 100,0 mL dieser Zellsuspension enthalten?

1.7.11* 1,000 μL einer Zellsuspension werden auf einem Objektträger auf einer Fläche von 80,00 mm^2 ausgestrichen und zur Bestimmung der Zellenzahl mikroskopiert. In 40 kreisrunden Gesichtsfeldern mit einem Durchmesser von jeweils 250,0 μm zählt man insgesamt 81 Zellen. Wie viele Zellen sind in 1,000 mL Zellsuspension enthalten?

1.7.12* Eine kugelförmige Bakterienzelle hat einen Durchmesser von 3,150 μm .

- Wie groß ist das Volumen (in μm^3) einer solchen Zelle?
- Welches Gesamtvolumen (in μL) haben $5 \cdot 10^9$ Bakterien?

1.7.13* Während eines Gewitters fielen 56,50 mm Regen. Wie viele Liter Wasser kamen pro m^2 vom Himmel?

1.7.14* Ein Flüssigmedium enthält 50,00 mg eines Antibiotikums pro Liter.

- a. Wie viele Gramm Antibiotikum enthält ein Fermenter ($\varnothing = 60,00$ cm), der 0,80 m hoch mit antibiotikumhaltigem Flüssigmedium gefüllt ist?
- b. Was kostet das Antibiotikum im Fermenter, wenn Sie für 50,00 g € 895,00 bezahlen mussten?

1.7.15* Eine Spritze hat einen Kolbendurchmesser von 5,000 mm. Wie viele Millimeter Hub entsprechen einem Volumen von 1,000 mL?

1.7.16* Ein Silo mit einem Durchmesser von 4,80 m und einer Höhe von 12,00 m wird zu 95 % mit Maissilage gefüllt. Wie viele Kubikmeter Mais (Schüttvolumen) können in den Silo gefüllt werden?

1.7.17* Wie groß ist die Drehgeschwindigkeit der Erde am Äquator? ($r_{\text{Erde}} = 6378$ km)

1.7.18* Ein Raum ist 12,00 m lang, 7,00 m breit und 2,50 m hoch. Wie viele Kilogramm Luft enthält der Raum? ($\rho_{\text{Luft}} = 1,205$ g/L)

1.7.19* Ein Gewächshaus mit symmetrischem Giebedach ist 6,00 m lang und 3,60 m breit. Die Seitenhöhe beträgt 2,20 m. Der Giebel liegt 3,80 m über dem Boden. Welches Volumen hat das Gewächshaus?

1.7.20* Zum Verdrängen der Eingeweide bei der Endoskopie einer 32,57 g schweren Maus (*Mus musculus*) wird mit dem 10,00 cm langen und 2,50 mm dicken Endoskop ein Ballon in die operativ geöffnete Körperhöhle geschoben und anschließend aufgeblasen. Der aufgeblasene Ballon soll einen Durchmesser von 12,50 mm erreichen. Wie viele Milliliter Luft enthält der aufgeblasene Ballon?

1.7.21* In einer Zählkammer (1,0 mm · 1,0 mm · 0,2 mm) zählen Sie 829 kugelförmige Bakterien mit einem mittleren Durchmesser von 890,0 nm. Wie viele Mikroliter Bakterien sind in einem Liter Bakterienlösung enthalten?

1.7.22* Zur Vorbereitung eines Versuches werden zwei zylinderförmige Bassins mit einem Durchmesser von 4,500 m und einer Randhöhe von 60 cm aufgestellt. Während eines starken Gewitters fallen 57 mm Niederschlag. Wie viele Liter Wasser befinden sich nun in jedem der beiden Bassins?

1.7.23** Das Herz eines Menschen schlägt im Ruhezustand rund 72 Mal pro Minute. Pro Schlag werden dabei 110 mL Blut transportiert. Während eines 6-stündigen Arbeitsprozesses erhöhte sich die Frequenz auf durchschnittlich 105 Schläge pro Minute und das Schlagvolumen auf 130 mL. Wie viele Kubikmeter Blut durchströmten das Herz an diesem Tage? (6 h Arbeit + 18 h Ruhe = 24 h)

1.7.24** Der Inhalt des großen Vormagens einer Kuh beträgt 120 L. Darin sind $5 \cdot 10^5$ Protozoen (einzellige Tiere) pro Milliliter enthalten. Die Gestalt dieser Protozoen ist kugelförmig und sie besitzen einen Durchmesser von $20 \mu\text{m}$. Wie viele Gramm Protozoen enthält der große Vormagen dieser Kuh, wenn die Dichte der Protozoen $1,100 \text{ g/mL}$ beträgt?

1.7.25** In einer Staphylokokken-Reinkultur wurden $2 \cdot 10^9$ Zellen pro Milliliter gezählt. Diese kugelförmigen Zellen haben einen Durchmesser von $1,20 \mu\text{m}$ und besitzen eine Dichte (ρ) von $1,050 \text{ g/mL}$. Wie viele Gramm Bakterienmasse sind in $1,000 \text{ L}$ Kultur enthalten?

1.7.26** Eine SOCOREX™-Pipette hat eine Genauigkeit von $\pm 0,050 \%$. Sie sollen mit einer solchen Pipette $20,00 \text{ mL}$ Zuckerlösung abmessen. In welchem Bereich kann das Volumen der Zuckerlösung maximal liegen?

1.7.27** Für einen Ökotoxikologieversuch werden in einem See sogenannte Limnocoralls installiert. Dabei handelt es sich um riesige, einseitig verschlossene Kunststoffolienschläuche mit einem Durchmesser von $3,000 \text{ m}$ und einer Länge von $10,00 \text{ m}$. Schwimmkörper am oberen und Gewichte am unteren Ende stabilisieren die Schläuche senkrecht in der Wassersäule. Um die Menge der in den Limnocoralls vorhandenen Plankton-Organismen zu bestimmen, werden darin Planktonnetze mit einer kreisförmigen Öffnung ($\emptyset = 20,00 \text{ cm}$) bis auf den Boden hinuntergelassen, anschließend bis zur Oberfläche hochgezogen und die gefangenen planktischen Kleinkrebse (Wasserflöhe, Hüpferlinge usw.) ausgezählt. Bei fünf Wiederholungen wurden insgesamt 6438 Kleinkrebse gefangen. Wie viele Kleinkrebse enthält ein Limnocorall aufgrund dieser Messungen?

1.7.28** Ein rechteckiger Tank ($l/b/h = 2,20 \text{ m}/1,05 \text{ m}/0,65 \text{ m}$) ist $24,50 \text{ cm}$ hoch mit verschmutztem Wasser gefüllt. Sie sollen den Tank mithilfe einer Bilgenpumpe (Kolbenhubpumpe) entleeren. Wie viele Pumpenstöße sind mindestens nötig, um das gesamte Wasser aus dem Tank zu pumpen, wenn die Bilgenpumpe einen Kolbendurchmesser von $5,5 \text{ cm}$ und einen maximalen Hub von $43,0 \text{ cm}$ hat?

1.8 Volumen-, Massen- und Teilchenstrom

Im Labor müssen oftmals Flüssigkeiten durch Rohre oder Schläuche geleitet werden. Hierbei kann es wichtig sein, die Durchflussmenge auf einen vorgegebenen Wert einzustellen. Das heißt, es muss z. B. ein genau definiertes Flüssigkeitsvolumen in einer bestimmten Zeit durch die Leitung fließen (z. B. 1 mL/min). Den Fluss einer bestimmten Menge eines Stoffes bezeichnet man in der Physik als „Strom“. Dies kann z. B. ein Volumen (Volumenstrom, Symbol Q), eine Masse (Massenstrom, Symbol q_m) oder eine Anzahl Teilchen (Teilchenstrom, Symbol \dot{n}) sein.

Volumenstrom:

$$Q = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

Massenstrom:

$$q_m = \frac{\Delta m}{\Delta t}$$

Teilchenstrom:

$$\dot{n} = \frac{\Delta \dot{n}}{\Delta t}$$

Aus dem Volumen- bzw. Massenstrom können Sie nun die Fließgeschwindigkeit berechnen. Hierzu müssen Sie wissen, welche Querschnittsfläche das strömende Volumen an der Stelle hat, an der Sie die Fließgeschwindigkeit kennen möchten. In einem runden Rohr oder Schlauch ist dies sehr einfach. Man teilt dazu den Volumenstrom Q durch die Querschnittsfläche A ($A_{\text{Kreis}} = r^2 \cdot \pi$).

Fließgeschwindigkeit:

$$\begin{aligned} v &= \frac{Q}{A} \\ &= \frac{\Delta V}{\Delta t \cdot A} \\ &= \frac{\Delta V}{\Delta t \cdot r^2 \cdot \pi} \end{aligned}$$

Beispiel

Um ein großes Fischzuchtbecken ($V = 12 \text{ m}^3$) zu füllen, benötigen Sie 3 h 36 min. Wie groß ist die Strömungsgeschwindigkeit im Schlauch (Innendurchmesser = 2,5 cm)?

gegeben:

$$V = 12 \text{ m}^3$$

$$t = 3,6 \text{ h}$$

$$\varnothing_{\text{Schlauch}} = 2,5 \text{ cm} = 0,025 \text{ m}$$

gesucht:

$$v_{\text{Wasser}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 v &= \frac{\Delta V}{\Delta t \cdot r^2 \cdot \pi} \\
 &= \frac{12 \text{ m}^3}{3,6 \text{ h} \cdot (0,0125 \text{ m})^2 \cdot \pi} \\
 &= 6791 \text{ m/h} \\
 &= \underline{\underline{6,791 \text{ km/h}}}
 \end{aligned}$$

Aufgaben

1.8.1* Ein Patient erhält mittels Infusion eine Antibiotikallösung. Pro Minute fließen 0,550 mL Lösung durch den Infusionsschlauch mit einem Innendurchmesser von 2,50 mm. Wie groß ist die Fließgeschwindigkeit (in mm/s) der Antibiotikallösung im Schlauch?

1.8.2* Ein 3,20 m langer Infusionsschlauch (Innendurchmesser = 2,80 mm) wird mit physiologischer Kochsalzlösung (0,9 % NaCl) gefüllt. Wie viele Milliliter Kochsalzlösung fasst der Schlauch?

1.8.3* Durch eine Röhre (Innendurchmesser = 25,00 mm) fließen in einer Stunde 1500 kg Flüssigkeit ($\rho_{\text{Flüssigkeit}} = 0,786 \text{ g/mL}$). Wie groß ist die mittlere Fließgeschwindigkeit?

1.8.4* Das Herz eines erwachsenen Menschen pumpt pro Minute rund 5,00 L Blut. Wie groß ist die mittlere Fließgeschwindigkeit des Blutes durch die Aorta (vom Herzen wegführendes Blutgefäß), wenn diese einen Durchmesser von 3,0 cm hat?

1.8.5* Wie viele Zentimeter legt eine Lösung in einem Schlauch mit einem Durchmesser von 3,00 cm in 45 min zurück, wenn sie mit einer Förderleistung von 0,70 mL/min in den Schlauch gepumpt wird?

1.8.6* Eine Tube mit Fischfutter enthält 250,0 mL Fischfutterpaste. Wie viele Pellets mit einer Länge von 10 mm können Sie aus der Tube pressen, wenn deren Öffnung einen Durchmesser von 6 mm hat?

1.8.7** Durch einen Gartenschlauch (Innen- $\emptyset = 1,3 \text{ cm}$), der an einen Rasensprenger angeschlossen ist, fließen pro Minute 42,50 L Wasser.

- Mit welcher Durchschnittsgeschwindigkeit (in m/s) schießt das Wasser aus den zehn Löchern ($\emptyset = 3,0 \text{ mm}$) des Rasensprengers?
- Wie hoch schießt das Wasser maximal in die Höhe?

Benutzen Sie zur Berechnung folgende Formel:

$$m \cdot g \cdot h = \frac{m}{2} \cdot v^2$$

m = Masse (in kg)

g = Erdbeschleunigung = 9,81 m/s²

h = Höhe (in m)

v = Geschwindigkeit (in m/s)

1.8.8** Eine Schlauchquetschpumpe hat einen Rotor mit zehn Quetschrollen, die in einem Silikonschlauch (Innendurchmesser = 3,500 mm) jeweils 0,1200 mL Flüssigkeit fördern. Die Pumpe läuft mit einer Rotorfrequenz von 1,200 Umdrehungen/min. Wie groß ist die Tropffrequenz (in Tropfen/min), wenn ein (kugelförmiger) Tropfen einen Durchmesser von 2,300 mm hat?

1.8.9** Sie untersuchen die Wirkung verschiedener Stoffe auf das Schwimmverhalten von Forellen. Hierfür erzeugen Sie in einem 3,50 m langen, 40,0 cm breiten und 50,0 cm hoch mit Wasser gefüllten Strömungskanal eine Fließgeschwindigkeit des Wassers von 0,40 m/s. Wie viele Kubikmeter Wasser muss die Pumpe pro Stunde durch den Kanal pumpen?

1.8.10** Lässt man die komprimierte Luft aus einer Druckflasche mit einem Volumen von 20,00 L und einem Druck von 200,0 bar entweichen, so dehnt sich das Gasgemisch auf ein Volumen von 4,000 m³ aus. Mit welcher Durchschnittsgeschwindigkeit (in km/h) strömt die Luft durch das Ventil ($\varnothing = 5,500$ mm), wenn es 25,40 min dauert, bis die Flasche vollständig entleert ist?

1.8.11** Aus einem Druckstollen fließt Wasser mit einer Geschwindigkeit von 65,50 km/h durch eine Turbine ($\varnothing = 85$ cm) und von dort weiter in ein Ausgleichsbecken. Dieses hat ein Fassungsvermögen von $4,530 \cdot 10^6$ m³. Wie viele Tage lang kann das Ausgleichsbecken das Wasser aus der Turbine auffangen, bis es überläuft?

1.8.12** Durch eine Umkehrosmoseanlage fließt Wasser in einen Vorratsbehälter mit einem Fassungsvermögen von 100,2 L. Wie groß ist die Strömungsgeschwindigkeit im Schlauch ($\varnothing = 6,500$ mm), der das entmineralisierte Wasser von der Anlage in den Tank leitet, wenn es 29,53 h dauert, um den Tank bis zum Rand zu füllen?

1.8.13** Eine Hochdruckpumpe fördert pro Minute 14,23 L Wasser durch insgesamt 45 Sprühdüsen, mit denen die Luftfeuchtigkeit in einem Gewächshaus erhöht werden kann. Mit welcher Geschwindigkeit (in m/s) fließt das Wasser durch die Austrittsöffnungen ($\varnothing = 0,65$ mm) der Sprühdüsenköpfe?

1.8.14** In einem Windkanal soll das Flugverhalten von Vögeln erforscht werden. Für den nötigen Wind sorgt ein großer Ventilator ($\varnothing = 2,550$ m). Wie viele Kubikmeter Luft stößt der Ventilator pro Minute aus, wenn die Windgeschwindigkeit unmittelbar nach dem Ventilator 60,00 km/h beträgt?

1.9 Rechnen mit Faktoren

Wie bereits ausgeführt, ist es in der Physik wie auch in Ingenieurwissenschaften üblich, komplexe Berechnungen mithilfe von Gleichungen zu lösen. Ein wichtiges Hilfsmittel zur Berechnung von Werten sind Faktoren.

Beispiel

Sie wissen, dass Sie für 1 kg Mehl € 1,50 bezahlen müssen. Nun wollen sie aber wissen, wie viel 20 kg Mehl kosten. Wie gehen Sie vor?

Sie können sagen: Pro € 1,50 bekomme ich 1 kg Mehl. Mathematisch ausgedrückt bedeutet dies:

$$\text{€ 1,50 pro 1 kg Mehl} = \frac{\text{€ 1,50}}{1 \text{ kg}}$$

Um auszurechnen, wie teuer 20 kg Mehl sind, müssen Sie den Preis (€ 1,50/kg) mit der Mehlmenge (20 kg) multiplizieren:

$$\begin{aligned} \text{Kosten} &= \text{Preis} \cdot \text{Menge} \\ &= \frac{\text{€ 1,50}}{1 \text{ kg}} \cdot 20 \text{ kg} \\ &= \underline{\underline{\text{€ 30,00}}} \end{aligned}$$

Kontrollieren Sie Ihr Ergebnis, indem Sie die Einheiten kürzen! Sie haben in diesem Beispiel sowohl oberhalb als auch unterhalb des Bruchstriches die Einheit „kg“. Diese kürzt sich weg und übrig bleibt die Einheit „€“.

$$\begin{aligned} \text{Kosten} &= \frac{\text{€ 1,50}}{1 \cancel{\text{kg}}} \cdot 20 \cancel{\text{kg}} \\ &= \underline{\underline{\text{€ 30,00}}} \end{aligned}$$

Dies entspricht der Einheit auf der anderen Seite des Gleichheitszeichens (€). Falls Sie bei dieser Kontrolle auf unterschiedliche Einheiten kommen, so haben Sie irgendwo einen Fehler gemacht.

Vermutlich haben Sie solche Berechnungen bisher immer mit Dreisätzen gelöst. An sich ist die Faktorenberechnung ein abgekürztes Dreisatzverfahren. Vermutlich sind Sie gewohnt, einen Dreisatz wie folgt aufzuschreiben:

Kosten

$$1 \text{ kg} \Rightarrow \text{€ } 1,50$$

$$20 \text{ kg} \Rightarrow \text{€ } X$$

In eine mathematische Gleichung umgeschrieben, ergibt das folgendes Verhältnis:

$$1 \text{ kg} : 20 \text{ kg} = \text{€ } 1,50 : \text{€ } X$$

$$\frac{1 \text{ kg}}{20 \text{ kg}} = \frac{\text{€ } 1,50}{\text{€ } X}$$

$$\begin{aligned} X \text{ (Kosten)} &= \frac{\text{€ } 1,50 \cdot 20 \text{ kg}}{1 \text{ kg}} \\ &= \underline{\underline{\text{€ } 30,00}} \end{aligned}$$

Bei diesem Vorgehen wird jeweils die mathematische Gleichung mit recht viel Aufwand hergeleitet. Versuchen Sie in Zukunft, möglichst alle Berechnungen mit Faktoren durchzuführen. Eventuell wird dies am Anfang etwas ungewohnt sein. Sobald Sie aber komplexere Berechnungen durchführen müssen, sind Faktorberechnungen erheblich einfacher.

Beispiel

Eine 5-kg-Dose Hefeextrakt-Nährboden kostet € 32,00. Für einen mikrobiologischen Nährboden benötigen Sie 12 g Hefeextrakt. Wie viel kosten diese 12 g Hefeextrakt?

gegeben:

$$m_{\text{Dose}} = 5 \text{ kg} = 5000 \text{ g}$$

$$m_{\text{Hefe}} = 12 \text{ g}$$

$$\text{Preis} = \text{€ } 32/\text{Dose}$$

gesucht: Kosten von 12 g Hefe

Berechnung:

$$\text{Preis} = \text{€ } 32/\text{Dose}$$

$$= \frac{\text{€ } 32}{5000 \text{ g}}$$

$$= \text{€ } 0,0064 \text{ pro g}$$

$$= 0,0064 \text{ €}/\text{g}$$

$$\begin{aligned}\text{Kosten von 12 g Hefe} &= \text{Preis pro g} \cdot m_{\text{Hefe}} \\ &= 0,0064 \text{ €/g} \cdot 12 \text{ g} \\ &= \text{€ } 0,0768 \\ &= \underline{\underline{7,68 \text{ Cent}}}\end{aligned}$$

Aufgaben

1.9.1* Zur Herstellung eines 0,5 cm dicken Elektrophoresegels (12,00 cm · 25,00 cm) benötigen Sie 4,000 g Gelpulver, das Sie mit destilliertem Wasser anrühren. Wie viele Gramm Pulver benötigen Sie für ein 2,3 cm dickes Gel?

1.9.2* In einem Herbizidversuch sollen pro Hektar 5,400 kg Wirksubstanz ausgebracht werden. Ihr Versuchsfeld hat eine Größe von 0,24 ha. Wie viele Kilogramm Wirksubstanz benötigen Sie?

1.9.3* Ein erwachsener Mensch besitzt durchschnittlich $3,5 \cdot 10^{11}$ Thrombozyten pro Liter Blut. Das mittlere Volumen eines Thrombozyten wird mit $16,20 \mu\text{m}^3$ angegeben. Welches Volumen (cm^3) haben die in 5,50 L Blut enthaltenen Thrombozyten insgesamt?

1.9.4* 2,000 kg Agar kosten € 14,80. Zur Herstellung eines Nährbodens benötigen Sie pro Petrischale 1,500 g Agar. Sie sollen nun ein Nährmedium für 50 Petrischalen herstellen. Wie teuer ist der Agar für diese 50 Petrischalen?

1.9.5* Ein 54 m langes und 24 m breites Feld soll mit einem Herbizid behandelt werden. Dabei müssen pro Hektar 5150 g Herbizid zu einem Preis von € 132,00 pro kg ausgebracht werden. Wie viele Euro kostet das Herbizid für die Behandlung des Feldes?

1.9.6* In einem Fütterungsversuch erhalten Ratten eine Vitaminlösung. Gemäß Versuchsanleitung müssen Sie jeder Ratte pro kg Körpergewicht 510,0 mg Vitaminlösung verabreichen. Wie viele Milligramm Vitaminlösung erhält eine 256 g schwere Ratte?

1.9.7* Jeweils 1,000 mL einer verdünnten Sporensuspension wurden auf 20 mit einem Vollmedium gefüllten Petrischalen ausplattiert. Insgesamt entwickelten sich daraus nach einer siebentägigen Inkubation 126 Pilzkolonien. Wie viele Sporen enthält die verdünnte Suspension pro Liter?

1.9.8* Eine Maus bringt durchschnittlich sechs Junge pro Wurf zur Welt. Sie kann alle vier Wochen werfen. Wie viele junge Mäuse bringt ein Mäuseweibchen in einem Jahr durchschnittlich zur Welt?

1.9.9* In einer Zählkammer ($1,0 \text{ mm} \cdot 1,0 \text{ mm} \cdot 0,2 \text{ mm}$) zählen Sie 829 kugelförmige Bakterien mit einem mittleren Durchmesser von 890 nm. Wie viele Mikroliter Bakterien sind pro Liter Bakterienlösung vorhanden?

1.9.10* Auf einem Feld soll auf 95 m Länge und 40 m Breite Mais ausgesät werden. Der ideale Abstand zwischen den Maispflanzen beträgt 20 cm. Wie viele Kilogramm Maissaatgut benötigen Sie, wenn 1000 Samen eine Masse von 286,5 g haben?

1.9.11* Patienten müssen unter ärztlicher Aufsicht von einem neu entwickelten Medikament gegen rheumatische Beschwerden während 200 Tagen drei Mal täglich jeweils zwei Tabletten zu sich nehmen. 46 Personen nehmen an einer abschließenden Studie teil. Diese ist nötig, um das neue Mittel – sollte die Studie die gewünschten Ergebnisse liefern – von der Heilmittelkontrollbehörde genehmigen zu lassen.

- a. Wie viele Tabletten werden für den Test insgesamt benötigt?
- b. Wie viele Tabletten müssen Sie pro Patient an den behandelnden Arzt schicken?

1.9.12** In einem Sekret wird die Keimzahl bestimmt. Dazu werden $2,000 \mu\text{L}$ Sekret auf einer Fläche von $1,000 \text{ cm}^2$ ausgestrichen und mikroskopiert. In 25 kreisrunden Blickfeldern mit einem Durchmesser von je $200,0 \mu\text{m}$ zählen Sie insgesamt 116 Keime. Wie viele Keime sind in $1,000 \text{ mL}$ Sekret enthalten?

1.9.13** Sie bestellen in den USA $5,000 \text{ kg}$ eines Antibiotikums. $1,000 \text{ kg}$ kosten $\$5320$. Wie viele € kostet (auf Cent genau) das Antibiotikum, wenn ein US-Dollar € 1,155 kostet, der Versand mit $\$42,00$ zu stehen kommt und Sie auch noch 19 % Mehrwertsteuer bezahlen müssen?

1.9.14** Ein $84,50 \text{ kg}$ schwerer Mensch besitzt $6,190 \text{ L}$ Blut. In jedem Liter Blut sind $5 \cdot 10^{12}$ Erythrozyten (rote Blutzellen) enthalten. Als mittlere Lebenszeit eines Erythrozyten werden 100 Tage angenommen. Wie viele Erythrozyten müssen pro Sekunde neu in die Blutbahn eingeschleust werden, damit die Anzahl unverändert bleibt?

1.9.15** Eine Zuckerlösung zur Ernährung von Fliegen enthält die folgenden drei Zucker in den angegebenen Konzentrationen:

Fructose: $8,5 \text{ g/L}$

Glucose: $12,0 \text{ g/L}$

Maltose: $4,5 \text{ g/L}$

Wie viele Milligramm Maltose sind in einem zylindrischen Futterröhrchen mit einem Durchmesser von $2,0 \text{ cm}$ und einer Länge von $8,0 \text{ cm}$ enthalten?

1.9.16** Maispflanzen sollen gegen den Maiszünsler (*Ostrinia nubilalis*) mit einem *Bacillus-thuringiensis*-Endosporenpräparat behandelt werden. Jede Pflanze soll durchschnittlich mit 250.000 Sporen besprüht werden. Wie viele Liter Lösung müssen Sie zur Behandlung von 100 jungen Maispflanzen anrühren, wenn das zur Verfügung stehende Fertigpräparat eine Sporenkonzentration von 8.550.000 Sporen pro Liter enthält?

1.9.17** Die Pflanzen in einem Gewächshaus sollen mit einem Fungizid gegen einen Rostpilz behandelt werden. Gemäß Vorschrift muss das Fungizid so dosiert werden, dass in jedem Kubikmeter 4,500 g des Mittels vorhanden sind. Das Gewächshaus mit symmetrischem Giebedach hat folgende Maße: Länge: 20,50 m, Breite: 5,50 m, Firsthöhe: 5,50 m, Seitenhöhe: 4,00 m. Wie viele Kilogramm Fungizid benötigen Sie?

1.9.18** Sie sollen für einen Versuch junge Reispflanzen (*Oryza sativa*) heranziehen. Ein Vorversuch hat ergeben, dass die Keimrate des Saatgutes bei 86,3 % liegt, das heißt von 1000 Körnern keimten 863. Sie sähen 53,65 g Saatgut aus und pikieren die daraus gekeimten Pflanzen in 20 cm · 20 cm große, rechteckige Töpfe. Jeder Topf bietet Platz für 25 Pflanzen. Für wie viele Töpfe reicht das Saatgut, wenn 100 Samen 1,167 g schwer sind?

1.9.19** Einem 1,540 kg schweren Kaninchen muss ein Medikament mittels Infusion, mit einer Tropfgeschwindigkeit von 25 Tropfen pro Minute, verabreicht werden. 1,000 mL entsprechen 239 Tropfen. Wie viele Stunden dauert es, um dem Kaninchen 14,00 mL Infusionslösung zu applizieren?

1.9.20** Der maximal zulässige Grenzwert für coliforme Bakterien im Wasser von Badeseen liegt bei 2000 Keimen pro 100,0 mL Wasser. Sie filtrieren 25,00 mL einer Wasserprobe durch einen bakteriedichten Membranfilter und inkubieren anschließend auf einem selektiven Lactose-TTC-Agar. Kann das Gewässer zum Baden freigegeben werden, wenn Sie in Ihrer Probe 253 coliforme Keime nachweisen konnten?

1.9.21** Die Leber ($m = 5,850$ g) eines Kaninchens wird auf ihren Eisengehalt untersucht. Dazu wird sie homogenisiert und in destilliertem Wasser suspendiert. Das Volumen der Suspension beträgt 80,00 mL. In 1,000 mL Suspension sind gemäß Analysenbericht 8,817 ng Eisen enthalten. Wie viele Mikrogramm Eisen sind insgesamt in der Kaninchenleber enthalten?

2.1 Einleitung

Im Labor kommt es oft vor, dass man keine Reinsubstanzen zur Verfügung hat. Stattdessen arbeitet man mit Gemischen oder Lösungen, in denen die gewünschten Stoffe nur einen Teil der Gesamtmenge ausmachen.

2.2 Massenanteil (w) und Volumenanteil (σ)

Ein typisches Produkt aus dem Alltag, bei dem zwei Stoffe miteinander gemischt wurden, ist der Zimtzucker. Darin machen die beiden Komponenten Zimt und Zucker jeweils nur noch einen Teil des gesamten Zimtzuckers aus. Bei der Herstellung wird jeweils wenig Zimtpulver mit recht viel Zucker gemischt. Der Zimtanteil im Gemisch beträgt – je nach persönlicher Vorliebe – nur wenige Prozent.

Um anzugeben, wie groß der Anteil eines bestimmten Stoffes in einem Stoffgemisch ist, verwendet man bei Feststoffgemischen den Buchstaben w . Dieser steht für den Massenanteil.

$$\text{Massenanteil} = \frac{\text{Masse des Wirkstoffs}}{\text{Gesamtmasse}}$$
$$w_{\text{Wirkstoff}} = \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{m_{\text{total}}}$$

Einheiten

$$\text{g/g} = \frac{\text{g}}{\text{g}} \quad (\text{Massenanteil})$$

$$\% = \frac{\text{g}}{100 \text{ g}} \quad (\text{prozentualer Massenanteil, Prozentanteil})$$

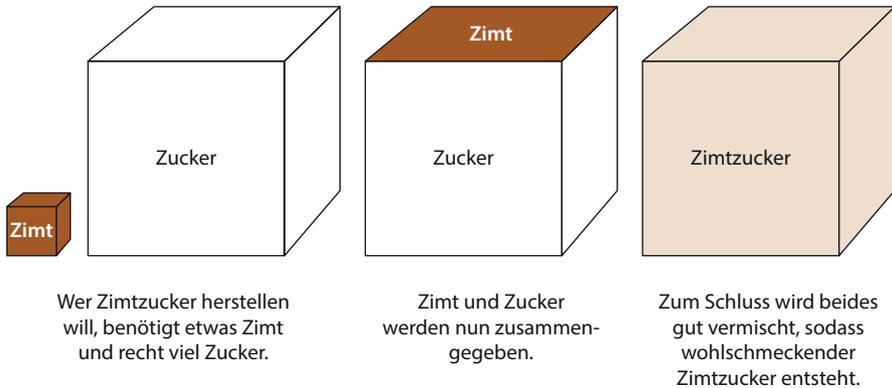


Abb. 2.1 Zimt und Zucker werden zu Zimtzucker vermischt

Mischen wir 2 g Zimt mit 98 g Zucker, so ergibt das zusammen 100 g Zimtzucker. Der Massenanteil (w) des Zimtpulvers macht dabei 2 % aus (Abb. 2.1):

$$\begin{aligned}
 w_{\text{Zimt}} &= \frac{m_{\text{Zimt}}}{m_{\text{Zimtzucker}}} \\
 &= \frac{2 \text{ g}}{100 \text{ g}} \\
 &= 2 \text{ g}/100 \text{ g} \\
 &= \underline{\underline{2 \%}}
 \end{aligned}$$

Beispiel

Ein pulverförmiges Medikament enthält 2,000 % eines Antibiotikums ($w_{\text{Antibiotikum}} = 2 \%$). Wie viele Milligramm Antibiotikum sind in einer 2,200 g schweren Tablette enthalten?

gegeben:

$$\begin{aligned}
 w_{\text{Antibiotikum}} &= 2 \% = 2 \text{ g}/100 \text{ g} \\
 m_{\text{Tablette}} &= 2,200 \text{ g}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{Antibiotikum}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 w_{\text{Antibiotikum}} &= \frac{m_{\text{Antibiotikum}}}{m_{\text{Tablette}}} \\
 m_{\text{Antibiotikum}} &= w_{\text{Antibiotikum}} \cdot m_{\text{Tablette}} \\
 &= 2\% \cdot 2,2 \text{ g} \\
 &= \frac{2 \text{ g}}{100 \text{ g}} \cdot 2,2 \text{ g} \\
 &= 0,04400 \text{ g} \\
 &= \underline{\underline{44,00 \text{ mg}}}
 \end{aligned}$$

Liegen Flüssigkeiten nicht rein, sondern in einer verdünnten Form vor, so wird anstelle des Massenanteils oft der Volumenanteil (σ , griech. Buchstabe sigma) angegeben. Solche Angaben findet man häufig auf alkoholischen Getränken wie Wein, Bier oder Spirituosen. Angegeben ist hierbei, wie viele Milliliter Ethanol in 100 mL Getränk enthalten sind. Meist erfolgt die Angaben mit der Einheit Volumen-% oder abgekürzt Vol.-%.

Einheiten

$$\begin{aligned}
 \text{Volumenanteil} &= \frac{\text{Wirkstoffvolumen}}{\text{Gesamtvolumen}} \\
 \sigma_{\text{Wirkstoff}} &= \frac{V_{\text{Wirkstoff}}}{V_{\text{total}}} \\
 [\text{Vol.-%}] &= [\text{mL}/100 \text{ mL}]
 \end{aligned}$$

Beispiel

Auf einer Weinflasche ist der Alkoholgehalt mit 12,5 Vol.-% angegeben. Wie viele Milliliter Ethanol enthält die Weinflasche mit einem Volumen von 7,0 dL?

gegeben:

$$\begin{aligned}
 \sigma_{\text{Ethanol}} &= 12,5 \text{ Vol.-%} = 12,5 \text{ mL}/100 \text{ mL} \\
 V_{\text{Flasche}} &= 0,7 \text{ L}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$V_{\text{Ethanol}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 \sigma_{\text{Ethanol}} &= \frac{V_{\text{Ethanol}}}{V_{\text{Flasche}}} \\
 V_{\text{Ethanol}} &= \sigma_{\text{Ethanol}} \cdot V_{\text{Flasche}} \\
 &= 12,5 \text{ mL}/100 \text{ mL} \cdot 700 \text{ mL} \\
 &= \underline{\underline{87,50 \text{ mL}}}
 \end{aligned}$$

Aufgaben

2.2.1* 25,00 kg Herbizidpulver enthalten 850,0 g Wirkstoff. Wie groß ist der prozentuale Massenanteil (w) des Wirkstoffes?

2.2.2* Eine Fruchtzucker/Milchzuckermischung hat einen Massenanteil von 12,40 % Fruchtzucker. Wie viele Gramm Milchzucker sind in 0,8000 kg der Mischung enthalten?

2.2.3* Sie lösen 11,50 g Natriumhydroxid (NaOH) in 39,00 g Wasser. Wie groß ist der Massenanteil des Natriumhydroxides (w_{NaOH}) in dieser Lösung?

2.2.4* Sie sollen 12,50 kg Fungizidgranulat mit einem Wirkstoff-Massenanteil von 8,500 % herstellen. Wie viele Gramm Wirkstoff müssen Sie einwiegen?

2.2.5* Einem Nährmedium zur Kultur von *Escherichia coli* (Darmbakterien) müssen Sie Agarose beimischen. Gemäß Ihrer Anleitung benötigen Sie für 1,250 kg Medium 43,75 g Agarose. Wie groß ist der prozentuale Massenanteil der Agarose in diesem Medium?

2.2.6** 720,0 g Kochsalzlösung mit $w_{\text{NaCl}} = 8,000 \%$ sollen durch Eindampfen auf einen Massenanteil von $w_{\text{NaCl}} = 30,00 \%$ gebracht werden. Wie viele Gramm Wasser müssen abgedampft werden?

2.2.7** Gemäß Analysebericht enthält ein tablettenförmiges Medikament einen Wirkstoff-Massenanteil von 0,2300 %. Jede Tablette hat eine Masse von 1,850 g. Wie viele Mikrogramm Wirkstoff sind in einer einzelnen Tablette enthalten?

2.2.8** Bei der Qualitätskontrolle eines Medikamentenpulvers ermitteln Sie einen Wirkstoffgehalt von 2,500 %. Eine Kapsel dieses Medikaments soll 53,17 μg Wirkstoff enthalten. Wie viele Milligramm Medikamentenpulver benötigen Sie pro Kapsel?

2.2.9** Bei einer Temperatur von 50 °C beträgt der maximal mögliche Massenanteil von Kochsalz (NaCl) in Wasser 27,00 % ($w_{\text{NaCl}} = 0,2700 \text{ g/g}$). Wie viele Kilogramm Kochsalz sind in 2500 kg gesättigter Salzlösung (Temperatur = 50 °C) enthalten?

2.2.10** Der Massenverlust beim Trocknen einer Droge beträgt 32,50 %. Die Analyse der getrockneten Probe ergibt einen Wirkstoff-Massenanteil von $w = 0,032 \text{ g/g}$. Wie viele Gramm Wirkstoff sind in 100,0 g ungetrockneter Droge enthalten?

2.2.11** Sie müssen Insektizid-Rückstände in Kirschen bestimmen. Ihnen wurde hierfür eine Probe mit 200,0 g behandelten Kirschen geschickt. Die Methode

erfasst durchschnittlich 90,00 % des effektiv vorhandenen Insektizidgehaltes. Sie finden im Extrakt 4,000 μg Insektizid. Wie groß ist der effektive Insektizid-Massenanteil ($\mu\text{g}/\text{kg}$) in den Kirschen?

2.2.12** Die Nachweisgrenze einer spezifischen Analysenmethode für ein Insektizid beträgt 2,000 μg . Von der amtlichen Prüfstelle wird eine Erfassungsgrenze für Rückstände im Erntegut von 0,050 $\mu\text{g}/\text{g}$ (0,050 ppm) verlangt. Mit der genannten Methode ist es möglich, durchschnittlich 80,00 % des effektiv vorhandenen Insektizid-Rückstandes zu bestimmen. Wie viele Gramm Erntegut müssen mindestens untersucht werden, um die Grenze von 0,050 $\mu\text{g}/\text{g}$ (0,050 ppm) sicher zu erreichen?

2.3 Massenkonzentration (β)

Im Labor arbeitet man häufig mit Lösungen, das heißt mit Flüssigkeiten (Lösungsmittel), in denen die Wirk-, Nähr-, Farb- oder sonstigen Stoffe gelöst oder suspendiert sind (Abb. 2.2). Die Menge einer Flüssigkeit wird in den meisten Fällen jedoch nicht als Masse, sondern als Volumen bestimmt. Deshalb gibt man den Anteil eines Stoffes in einer Lösung in der Regel nicht als Massenanteil, sondern als Massenkonzentration an. Das Symbol für die Massenkonzentration ist β (griech. Buchstabe beta). Mit der Massenkonzentration gibt man an, welche Massen (z. B. g oder kg) eines Stoffes in einem bestimmten Volumen (z. B. l, mL oder m^3) gelöst oder suspendiert sind.

$$\text{Massenkonzentration} = \frac{\text{Masse}}{\text{Volumen}}$$

$$\beta_{\text{Wirkstoff}} = \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{V_{\text{total}}}$$

Einheiten

g/L, g/mL, kg/m^3

Beispiel

Eine Traubenzuckerlösung zur Fütterung von Fliegen hat eine Traubenzucker-Massenkonzentration $\beta_{\text{Traubenzucker}}$ von 25,00 g/L. Wie viele Gramm Traubenzucker sind in 340,0 mL Traubenzuckerlösung enthalten?

gegeben:

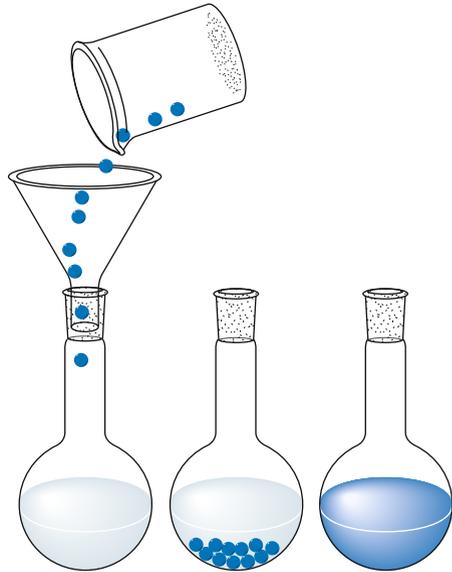
$$\beta_{\text{Traubenzucker}} = 25,00 \text{ g/L}$$

$$V_{\text{Lösung}} = 340 \text{ mL} = 0,34 \text{ L}$$

gesucht:

$$m_{\text{Traubenzucker}}$$

Abb. 2.2 Wird ein Feststoff in einer Flüssigkeit gelöst oder suspendiert, so lässt sich die Massenkonzentration (β) berechnen, indem Sie die Masse (m) des Feststoffes durch das Volumen (V) der Lösung teilen



Berechnung:

$$\beta_{\text{Traubenzucker}} = \frac{m_{\text{Traubenzucker}}}{V_{\text{Lösung}}}$$

$$m_{\text{Traubenzucker}} = \beta_{\text{Traubenzucker}} \cdot V_{\text{Lösung}}$$

$$= 25,00 \text{ g/L} \cdot 0,34 \text{ L}$$

$$= \underline{\underline{8,500 \text{ g}}}$$

Aufgaben

2.3.1* Eine Milchzuckerlösung hat eine Milchzucker-Massenkonzentration $\beta = 4,580 \text{ g/L}$. Wie viele Gramm Milchzucker sind in 240,0 mL Milchzuckerlösung enthalten?

2.3.2* Sie benötigen 800,0 mL Natronlauge (NaOH-Lösung) mit einer NaOH-Massenkonzentration von 50,00 g/L. Wie viele g NaOH müssen Sie einwiegen?

2.3.3* Einer 285,0 g schwere Ratte sollen 25,50 μg eines Wirkstoffes gegen Muskelzittern verabreicht werden. Ihnen steht ein Flüssigpräparat mit einer Wirkstoff-Massenkonzentration von 12,50 mg/L zur Verfügung. Wie viele Milliliter dieses Präparates müssen Sie abmessen, um der Ratte die verlangte Wirkstoffmenge applizieren zu können?

2.3.4** 4,750 g Lebergewebe werden in destilliertem Wasser suspendiert. Das Volumen der Suspension beträgt 50,00 mL. Laut Analysenbericht enthalten 0,5000 mL der Suspension $1,920 \cdot 10^{-5}$ g Eisen. Wie viele Milligramm Eisen sind in 100,0 g Leber enthalten?

2.3.5** Aus 1,000 mL Urinprobe wird ein Wirkstoff mit einer Extraktionsausbeute von 62,20 % extrahiert. Im Extrakt werden $17,30 \cdot 10^{-10}$ g Wirkstoff gemessen. Wie viele Mikrogramm Wirkstoff enthalten 197,0 mL dieser Urinprobe?

2.3.6** 20 Getreideblätter, die durchschnittlich 37 Sori (Gruppen von Sporenbältern) eines Rostpilzes aufweisen, werden in 80,00 mL Wasser homogenisiert, um die Sporen freizusetzen. Vier Proben ergaben pro $0,2000 \text{ mm}^3$ der Suspension die folgenden durchschnittlichen Sporenzahlen: 3,75; 3,21; 4,01 und 3,78. Wie viele Sporen enthält ein Sorus durchschnittlich?

2.3.7** In einem Bienenfütterungsversuch werden pro Tier $5 \mu\text{L}$ Honigwasser verfüttert. Der Wirkstoff wird als acetonische Lösung mit einer Massenkonzentration von 17,50 g/100 mL dem Honigwasser beigegeben. Wie viele Milliliter der acetonischen Lösung müssen pipettiert werden, wenn 1,000 L Futterlösung herzustellen ist und 5,000 μg Wirkstoff pro Tier verfüttert werden sollen?

2.3.8** Für einen Bodeninsektizidversuch stehen 25,00 g Präparat mit einem Wirkstoffanteil $w = 87\%$ zur Verfügung. Wie viele Quadratmeter kann man mit diesen 25,00 g behandeln, wenn eine Bodenkonzentration von 5,000 mg/L Wirkstoff bei einer Einarbeitungstiefe von 10 cm verlangt wird?

2.3.9** Eine Zuckerlösung zur Ernährung von Bienen enthält Fruchtzucker (Fructose), Traubenzucker (Glucose) und Malzzucker (Maltose) mit den folgenden Massenkonzentrationen:

$$\beta_{\text{Fructose}} = 8,5 \text{ g/L}$$

$$\beta_{\text{Glucose}} = 12,0 \text{ g/L}$$

$$\beta_{\text{Maltose}} = 4,5 \text{ g/L}$$

Wie viele Milligramm Malzzucker sind in einem zylindrischen Futterröhrchen mit einem Durchmesser von 2,0 cm und einer Länge von 8,0 cm enthalten?

2.3.10** Ein zylinderförmiger Inkubator mit einem Innendurchmesser von 80,00 cm soll 1,250 m hoch mit einer Salzlösung ($\beta_{\text{Salzlösung}} = 28,50 \text{ g/L}$) gefüllt werden. Wie viele Kilogramm Salz müssen Sie einwiegen?

2.3.11** Für einen Medikamentenversuch müssen Sie Rattenurin untersuchen. Sie bestimmen eine Massenkonzentration des Umwandlungsproduktes (Metabolit) dieses Medikamentes im Rattenurin von $26,48 \mu\text{g/mL}$. Gemäß Vorversuchen können mit dem gewählten Verfahren allerdings nur 72,50 % des Stoffes vom

Urin getrennt und demzufolge nachgewiesen werden. Wie viele Mikrogramm des Metaboliten sind in 5,000 mL Rattenurin enthalten?

2.3.12*** Bei einem Nierenfunktionstest (Clearance) wurde eine Kreatininkonzentration von $11,00 \mu\text{g pro mL}$ Blutplasma ermittelt. Im Urin sind $1,270 \text{ g/L}$ gefunden worden. Binnen 24 h wurden $1,200 \text{ L}$ Urin ausgeschieden. Wie viele Milliliter Blutplasma werden pro Minute vollständig von Kreatinin befreit?

2.3.13*** Der Blutspiegel einer 100%ig harnpflichtigen Substanz beträgt $25,50 \mu\text{g/mL}$. 6 h später ist der Blutspiegel dieses Stoffes auf $22,00 \mu\text{g/mL}$ abgefallen. In dieser Zeitspanne wurden $125,9 \text{ mL}$ Urin ausgeschieden. Das Versuchstier hat eine Gesamtblutmenge von $0,80 \text{ L}$. Wie groß ist die Massenkonzentration ($\mu\text{g/mL}$) der Substanz im Urin?

2.3.14*** In einem Herbizidversuch wurden je $5,340 \text{ L}$ Erde in 72 Töpfe abgefüllt und in eine Betonwanne ($2,40 \text{ m}$ lang, $1,20 \text{ m}$ breit und $0,30 \text{ m}$ tief) gestellt. Die Erde, die in diese Töpfe gefüllt wurde, hat eine maximale Wasserhaltekapazität von $40 \text{ g Wasser pro } 100 \text{ mL Erde}$. Die momentane Bodenfeuchtigkeit beträgt $30 \text{ g Wasser pro } 100 \text{ mL Erde}$ ($\rho_{\text{Wasser}} = 1,000 \text{ kg/L}$). Wie viele Liter freies Wasser befinden sich nach einem Regen von $17,40 \text{ L/m}^2$ in der Wanne?

2.3.15*** Eine Bohnenpflanze mit 360 cm^2 Blattfläche wurde mit $20,00 \text{ mL}$ einer Spritzbrühe eines Bakterienpräparates mit der Massenkonzentration von $1,000 \text{ g/L}$ behandelt. $1,000 \text{ mg}$ des Bakterienpräparats enthält $3,600 \cdot 10^7$ Bakterien. In der Analyse wurden $1,875 \cdot 10^5$ Bakterien pro Quadratcentimeter Blattfläche gefunden. Wie viele Milliliter Spritzbrühe blieben an der Pflanze haften?

2.3.16*** Eine Raupe frisst pro Tag $40,00 \text{ cm}^2$ Blattfläche. Auf den Blättern leben durchschnittlich $5,500 \cdot 10^4$ Bakterien pro Quadratcentimeter. Nun soll einer Raupe die gleiche Bakterienmenge, die sie normalerweise pro Tag durch den Blattfraß aufnimmt, in $3,000 \mu\text{L}$ einer Futterlösung verfüttert werden. Die Analyse hat ergeben, dass in $1,000 \text{ mg}$ Bakterienpräparat $3,600 \cdot 10^7$ lebensfähige Keime enthalten sind. Wie viele Milligramm Bakterienpräparat müssen zur Herstellung von $10,00 \text{ mL}$ Suspension eingewogen werden?

2.3.17*** Auf einem Objektträger werden in eine kreisförmige Umgrenzung von $7,00 \text{ mm}$ Durchmesser $10,00 \mu\text{L}$ einer Acetonlösung gegeben. Diese Lösung enthält $20,00 \text{ mg}$ Wirkstoff eines Fungizides pro Liter ($20,00 \text{ ppm}$). Sie lassen nun das Aceton verdunsten und fügen dem zurückbleibenden Belag $50,00 \mu\text{L}$ einer wässrigen Sporensuspension zu, die den Fungizidbelag auflöst. Wie groß ist die Fungizid-Massenkonzentration auf die zugefügte Sporensuspension in mg/L und in $\mu\text{g/cm}^2$?

2.3.18*** Sie kultivieren eine Baumwollpflanze als Hydrokultur in einem zylindrischen Gefäß mit einem Durchmesser von 15,0 cm und einem Volumen von 6,000 L. Zur Nährstoffversorgung verwenden Sie „Knop’sche Lösung“. 1,000 L Knop’sche Nährlösung enthält die folgenden Salze in der jeweils angegebenen Menge:

$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	1,00 g
KNO_3	0,25 g
KH_2PO_4	0,25 g
MgSO_4	0,25 g
FeSO_4	0,01 g

Die Pflanze nimmt durchschnittlich 117,5 mg Nährsalz pro Tag auf. Der Flüssigkeitstank sank während den letzten drei Tagen um 38 mm. Wie viele Gramm Nährsalz enthält 1,000 L Nährlösung nach drei Tagen?

2.4 Stoffmengenkonzentration (c)

Nicht immer ist es sinnvoll, die Menge eines Stoffes abzuwiegen. In manchen Fällen ist es besser, die Anzahl der vorhandenen Objekte wie z. B. Zellen, Bakterien, Sporen oder Samen zu zählen. Um in mathematischen Gleichungen die Anzahl der vorhandenen Objekte anzugeben, wird der Buchstaben „ n “ verwendet. Sind diese Objekte in einer Flüssigkeit suspendiert, so verwendet man hierfür den Begriff der Stoffmengenkonzentration. Diese gibt an, wie viele Teilchen eines Stoffes oder wie viele Objekte in einem bestimmten Volumen dieser Flüssigkeit vorhanden sind.

$$\text{Stoffmengenkonzentration} = \frac{\text{Anzahl Teilchen}}{\text{Volumen}}$$

$$c = \frac{n}{V}$$

Einheiten

Anzahl/L, Anzahl/mL

Beispiel

Eine Pilzsporen-Suspension hat eine Konzentration von $8,550 \cdot 10^6$ Sporen pro Liter. Wie viele Milliliter müssen Sie abmessen, um 100.000 Sporen in eine sterile Nährlösung zu übertragen?

gegeben:

$$c_{\text{Sporen}} = 8,550 \cdot 10^6 \text{ Sporen/L}$$

$$n_{\text{Sporen}} = 100.000$$

gesucht:

$$V_{\text{Übertrag}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} c_{\text{Sporen}} &= \frac{n_{\text{Sporen}}}{V_{\text{Übertrag}}} \\ &= \frac{n_{\text{Sporen}}}{c_{\text{Sporen}}} \\ V_{\text{Übertrag}} &= \frac{100.000 \text{ Sporen}}{8,550 \cdot 10^6 \text{ Sporen/L}} \\ &= 0,00117 \text{ L} \\ &= \underline{\underline{11,79 \text{ mL}}} \end{aligned}$$

Doch nicht nur bei Bakterien, Sporen oder Samen gibt man die vorhandene Menge oft als Anzahl (n) an. Auch in der Chemie ist es üblich, die Menge einer Substanz als Anzahl der darin enthaltenen Teilchen anzugeben. Nun kann man aber diese Anzahl nicht einfach abzählen. Und selbst wenn dies möglich wäre, ergäbe dies gigantische Anzahlen. Denn 12,00 g reiner Kohlenstoff enthält ca. 602.214.129.270.000.000.000.000 Kohlenstoffatome.

Weil es aber sehr unpraktisch ist, mit solch riesigen Zahlen zu rechnen, wurde der Begriff „Mol“ definiert:

$$1 \text{ mol} = 6,0221412927 \cdot 10^{23} \text{ Teilchen}$$

Es handelt sich beim Mol um eine Zahl – vergleichbar mit dem Begriff „Dutzend“ (= 12). Das Mol ist immer an eine Substanz oder etwas anderes „gebunden“. Das heißt, Sie müssen immer angeben, worauf sich das Mol bezieht; also z. B. 1 mol C-Atome oder 3,5 mol Traubenzuckermoleküle. Definiert ist das Mol über die Anzahl der C-Atome in 12,00 g reinem Kohlenstoff (vgl. SI-Einheiten).

Die folgenden Aufgaben sollen veranschaulichen, wie groß 1 mol ist.

Aufgaben

2.4.1* Ein Sandhaufen besteht aus 1 mol kleiner Körner. Nehmen wir an, dass jedes Sandkorn ein winziger Würfel mit einer Kantenlänge von 0,1 mm ist und dass diese Würfel optimal aufeinander geschichtet wurden.

- Welches Volumen hätte ein solcher Sandhaufen?
- Wie dick wäre die Sandschicht, wenn man mit diesem Sand die gesamte Schweiz ($A = 41.285 \text{ km}^2$) gleichmäßig bedecken würde?

2.4.2* Wenn Katholiken in ihrem Leben gesündigt haben, so kommen sie nach dem Tod bekanntlich ins Fegefeuer. Laboranten und andere Personen, die in

einem Labor gearbeitet hatten, erwartet ein etwas anderes Schicksal. Da sich der Begriff „Laborant“ bzw. „Labor“ vom lateinischen Wort *laborare* ableitet, was „arbeiten“ bedeutet, müssen verstorbene Labormitarbeiter als Strafe für ihre Sünden noch einige Zeit weiterarbeiten. Sie bekommen hierfür an der Himmlspforte von Petrus 1 L Wasser und den Auftrag, dieses Wasser Molekül für Molekül zu einer langen Kette aufzureihen. Erst wenn sie diese Arbeit erledigt haben, sind sie von ihren Sünden befreit und erhalten Einlass ins Paradies.

1 L Wasser hat eine Masse von rund 1 kg ($\rho_{\text{Wasser}} = 1000 \text{ g/L}$). 1 mol Wasser hat eine Masse von näherungsweise 18 g: $M_{\text{Wasser}} = 18 \text{ g/mol}$.

$$\begin{aligned} c_{\text{Wasser}} &= \frac{\rho_{\text{Wasser}}}{M_{\text{Wasser}}} \\ &= \frac{1000 \text{ g/L}}{18 \text{ g/mol}} \\ &= \underline{\underline{55,56 \text{ mol/L}}} \end{aligned}$$

Nehmen wir nun mal an, dass Sie ein sehr fleißiger Laborant oder eine fleißige Laborantin sind und ausgesprochen flink arbeiten. So können Sie pro Sekunde zehn Wassermoleküle aufreihen. Wie lange dauert es, bis Sie Ihre Aufgabe erfüllt haben?

Da wir heute wissen, welche Massen die verschiedenen Elemente des Periodensystems haben, können wir sehr einfach den Zusammenhang zwischen der Masse (m) einer chemischen Substanz und der darin enthaltenen Anzahl (n) Moleküle (bzw. bei elementaren Stoffen die Anzahl der Atome) ermitteln (s. Tab. 2.1). Man verwendet hierfür die sogenannte „Molmasse“ oder „molare Masse“. Das Symbol für die molare Masse ist der Buchstaben „ M “.

Um die molare Masse einer Substanz zu bestimmen, addieren wir die molaren Massen der darin enthaltenen Atome. Am Beispiel eines Traubenzuckermoleküls soll dies gezeigt werden:

Summenformel: $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$

$$M_{\text{C}} = 12,011 \text{ g/mol}$$

$$M_{\text{H}} = 1,0079 \text{ g/mol}$$

$$M_{\text{O}} = 15,9994 \text{ g/mol}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{Glucose}} &= 6 \cdot 12,011 \text{ g/mol} + 12 \cdot 1,00794 \text{ g/mol} + 6 \cdot 15,9994 \text{ g/mol} \\ &= \underline{\underline{180,15768 \text{ g/mol}}} \end{aligned}$$

Tab. 2.1 Molmassen der wichtigsten Elemente

Element	Symbol	Molare Masse (M ; in g/mol)	Element	Symbol	Molare Masse (M ; in g/mol)
Aluminium	Al	26,98154	Lithium	Li	6,941
Arsen	As	74,9216	Magnesium	Mg	24,305
Barium	Ba	137,328	Mangan	Mn	54,938
Blei	Pb	207,210	Natrium	Na	22,98977
Bor	B	10,812	Nickel	Ni	58,693
Brom	Br	79,904	Phosphor	P	30,97376
Cadmium	Cd	112,412	Platin	Pt	195,078
Calcium	Ca	40,078	Quecksilber	Hg	200,592
Chlor	Cl	35,453	Sauerstoff	O	15,9994
Chrom	Cr	51,996	Schwefel	S	32,066
Cobalt	Co	58,933	Silber	Ag	107,888
Eisen	Fe	55,847	Silicium	Si	28,0855
Fluor	F	18,998	Strontium	Sr	87,621
Helium	He	4,0026	Stickstoff	N	14,0067
Iod	I	126,9045	Wasserstoff	H	1,0079
Kalium	K	39,0983	Zink	Zn	65,38
Kohlenstoff	C	12,011	Zinn	Sn	118,69
Kupfer	Cu	63,546			

Aufgabe

2.4.3* Berechnen Sie mithilfe der Molmassentabelle (Tab. 2.1) die molaren Massen der folgenden Stoffe:

- Kochsalz (NaCl)
- Ethanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)
- Essigsäure ($\text{H}_3\text{C}-\text{COOH}$)
- Natriumpropionat ($\text{C}_2\text{H}_5-\text{COONa}$)

Insbesondere bei organischen Substanzen braucht es etwas Übung, um aus Struktur- bzw. Skelettformeln die korrekte molare Masse zu ermitteln. Dabei ist zu beachten, dass gerade bei Skelettformeln in der Regel weder Kohlenstoff- noch Wasserstoffatome angegeben werden. Vielmehr verwendet man Striche für C-C-Bindungen und verbindet diese in Form von Zickzacklinien. Dabei symbolisiert jede Ecke eine CH_2 -, jedes Ende eine CH_3 -Gruppe. Anhand der Buttersäure (Abb. 2.3) wird dies veranschaulicht.

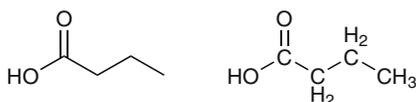
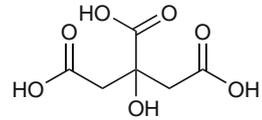
**Abb. 2.3** Strukturformeln der Buttersäure (Butansäure). In der Skelettschreibweise (links) werden die Kohlenstoffatome und die daran gebundenen Wasserstoffatome nicht explizit geschrieben

Abb. 2.4 Strukturformel von Citronensäure



Um die molare Masse einer organischen Substanz zu berechnen, bestimmen Sie anhand der Skelett- oder Strukturformel in einem ersten Schritt die Summenformel, das heißt die Anzahl der Atome von jedem Element. Die Summenformel von Buttersäure lautet $C_4H_8O_2$. Zuletzt berechnen Sie nun daraus die molare Masse gemäß der oben beschriebenen Vorgehensweise.

Beispiel

Welche molare Masse hat Citronensäure (Abb. 2.4)?

Summenformel: $C_6H_8O_7$

gegeben:

$$M_C = 12,011 \text{ g/mol}$$

$$M_O = 15,9994 \text{ g/mol}$$

$$M_H = 1,00794 \text{ g/mol}$$

gesucht:

$$M_{\text{Citronensäure}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} M_{\text{Citronensäure}} &= 6 \cdot 12,011 \text{ g/mol} + 8 \cdot 1,00794 \text{ g/mol} + 7 \cdot 15,9994 \text{ g/mol} \\ &= \underline{\underline{192,12532 \text{ g/mol}}} \end{aligned}$$

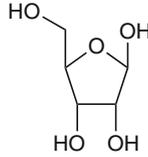
Beachten Sie, dass die molare Masse in der Regel mit allen verfügbaren Ziffern angegeben wird!

Aufgaben

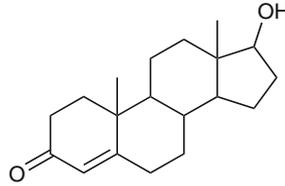
2.4.5* Welche molaren Massen haben die folgenden Stoffe?



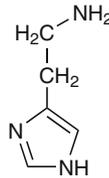
Aceton



Ribose



Testosteron



Histamin

Genau wie bei anderen „zählbaren“ Objekten wird auch bei gelösten chemischen Substanzen die Stoffmengenkonzentration (c) verwendet, um anzugeben, wie viele Teilchen pro Volumeneinheit vorhanden sind.

$$\text{Stoffmengenkonzentration} = \frac{\text{Anzahl mol Teilchen}}{\text{Volumen}}$$

$$c_{\text{Substanz}} = \frac{n_{\text{Substanz}}}{V_{\text{Lösung}}}$$

Einheiten

Anzahl/L, mol/L, mmol/L, mmol/mL

Oft wird die Stoffmengenkonzentration (c) als sogenannte „Molarität“ angegeben. 1 M = 1 molar bedeutet dabei nichts anderes als 1 mol/L.

Mithilfe der Molmasse (M) lassen sich Massenkonzentrationen (β) leicht in Stoffmengenkonzentrationen umrechnen, indem man die Massenkonzentration mit der Molmasse multipliziert.

$$\text{Massenkonzentration} = \text{Stoffmengenkonzentration} \cdot \text{Molmasse}$$

$$\beta_{\text{Substanz}} = c_{\text{Substanz}} \cdot M_{\text{Substanz}}$$

bzw.

$$\text{Stoffmengenkonzentration} = \frac{\text{Massenkonzentration}}{\text{Molmasse}}$$

Um die Anzahl mol Teilchen zu bestimmen, teilen Sie die Masse eines Stoffes durch dessen Molmasse.

$$\begin{aligned} \text{Anzahl Teilchen} &= \frac{\text{Masse}}{\text{Molmasse}} \\ n_{\text{Substanz}} &= \frac{m_{\text{Substanz}}}{M_{\text{Substanz}}} \end{aligned}$$

Beispiel

Sie müssen 250,0 mL Traubenzuckerlösung (Glucoselösung) herstellen. Diese soll eine Stoffmengenkonzentration von 0,1000 mol/L haben. Traubenzucker hat eine Molmasse von 180,1572 g/mol. Wie viele Gramm Traubenzucker müssen Sie einwiegen?

gegeben:

$$\begin{aligned} V_{\text{Lösung}} &= 250,0 \text{ mL} = 0,25 \text{ L} \\ c_{\text{Glucose}} &= 0,1 \text{ mol/L} \\ M_{\text{Glucose}} &= 180,1572 \text{ g/mol} \end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{Glucose}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} c_{\text{Glucose}} &= \frac{n_{\text{Glucose}}}{V_{\text{Lösung}}} \\ n_{\text{Glucose}} &= c_{\text{Glucose}} \cdot V_{\text{Lösung}} \\ &= 0,1 \text{ mol/L} \cdot 0,25 \text{ L} \\ &= 0,025 \text{ mol} \\ n_{\text{Glucose}} &= \frac{m_{\text{Glucose}}}{M_{\text{Glucose}}} \\ m_{\text{Glucose}} &= n_{\text{Glucose}} \cdot M_{\text{Glucose}} \\ &= 0,025 \text{ mol} \cdot 180,1572 \text{ g/mol} \\ &= \underline{\underline{4,504 \text{ g}}} \end{aligned}$$

Aufgaben

2.4.6* Sie benötigen für einen Versuch 500,0 mL Natronlauge (wässrige NaOH-Lösung) mit einer Stoffmengenkonzentration von 10,00 mmol/L. Wie viele mg NaOH müssen Sie zur Herstellung dieser Lösung einwiegen?

2.4.7* Sie geben 100,0 g Glucose ($C_6H_{12}O_6$) in einen Messkolben und füllen diesen mit destilliertem Wasser auf 250,0 mL auf. Wie groß ist die Stoffmengenkonzentration (c) dieser Glucoselösung?

2.4.8* Man gibt 0,2000 mL einer Papaverinlösung mit einer Massenkonzentration von 200,0 $\mu\text{g/mL}$ in einen 50,00 mL Messkolben und füllt ihn mit destilliertem Wasser bis zur Strichmarke auf. Welche Stoffmengenkonzentration $c_{\text{Papaverin}}$ besitzt die verdünnte Papaverinlösung (Papaverin: $C_{20}H_{21}NO_4$).

2.4.9** Eine Erythrocyte (rote Blutzelle) wiegt durchschnittlich 10^{-10} g. Sie besteht zu einem Drittel aus Hämoglobin, dessen Fe-Massenanteil $w_{\text{Fe}} = 3,000$ g/kg beträgt. Wie viele Fe-Atome enthält eine Erythrocyte im Durchschnitt?

2.4.10** Für eine Analyse benötigen Sie 185,0 mL HCl-Lösung mit einer Stoffmengenkonzentration von $c_{\text{HCl}} = 2,100$ mol/L. Um diese Lösung herstellen zu können, steht eine HCl-Lösung mit einem Massenanteil $w_{\text{HCl}} = 37,00\%$ zur Verfügung. Wie viele Gramm dieser Salzsäure benötigen Sie zur Herstellung der gewünschten Lösung?

2.4.11** Eine Lösung soll Albumin mit $\beta_{\text{Albumin}} = 5,000$ g/L und NaCl mit $c_{\text{NaCl}} = 50,00$ mmol/L enthalten. Von beiden Substanzen stehen Stammlösungen mit Massenkonzentrationen (β) von jeweils 150,0 g/L zur Verfügung. Wie viele Milliliter jeder Stammlösung benötigen Sie für die Herstellung von 150,0 mL Standardlösung?

2.4.12** Sie müssen eine Substrat-Stammlösung herstellen. Durch Zugabe weiterer Komponenten soll daraus auf einfache Art ein Inkubationsansatz gemischt werden können. Dieser besteht aus folgenden Teilen:

- 10 Volumenteile Enzymlösung
- 1 Volumenteil Substrat-Stammlösung
- 4 Volumenteile Pufferlösung
- 5 Volumenteile Wasser

Im gebrauchsfertigen Inkubationsansatz soll die Substratkonzentration $2,000 \cdot 10^{-4}$ mol/L betragen. Das Substrat hat eine molare Masse von 325,0 g/mol. Wie viele mg Substrat müssen Sie zur Herstellung von 10,00 mL Substrat-Stammlösung einwiegen?

2.4.13** Zur Durchführung einer Kombinationstherapie ist eine Lösung herzustellen, die das Antibiotikum Isoniazid in der Massenkonzentration $\beta_{\text{Isoniazid}} = 1,370 \cdot 10^{-5}$ g/mL enthält. Die zur Verfügung stehende Isoniazid-Stammlösung hat eine Stoffmengenkonzentration von $5,000 \cdot 10^{-2}$ mol/L. Wie viele Milliliter

der Isoniazid-Stammlösung werden zur Herstellung von 500,0 mL der verlangten Lösung benötigt ($M_{\text{Isoniazid}} = 124,0 \text{ g/mol}$)?

2.4.14** Sie verfügen über eine Stammlösung eines Hormons ($M = 1590,2 \text{ g/mol}$) mit einer Stoffmengenkonzentration von $3,140 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L}$. Wie viele Liter Lösung mit einer Massenkonzentration von $1,000 \mu\text{g/mL}$ könnten Sie aus 25,00 mL der Stammlösung herstellen?

2.4.15*** In einem Organbad mit einem Volumen von 60,00 mL muss Histamin mit der Stoffmengenkonzentration von $2,000 \cdot 10^{-6} \text{ mmol/mL}$ enthalten sein. Wie viele Milligramm Histamin-Dihydrochlorid sollen für die Herstellung von 100,0 mL Stammlösung eingewogen werden, wenn von dieser Lösung 1,000 mL ins Organbad pipettiert wird ($M_{\text{Histamin}} = 111,2 \text{ g/mol}$, $M_{\text{Histamin-dihydrochlorid}} = 184,1 \text{ g/mol}$)?

2.4.16*** Proteine werden im Körper zu Harnstoff, $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, abgebaut. Zur Kontrolle des Proteinstoffwechsels werden bei einer Patientin während 24 Stunden 1,650 L Urin gesammelt. 3,000 mL dieses Mischurins enthalten 65,00 mg Harnstoff. Wie viele Gramm Protein wurden während des Untersuchungstages abgebaut, wenn 1,000 g Protein 160,0 mg Stickstoff ($w_{\text{N}} = 0,1600 \text{ g/g}$) enthalten?

2.5 Dichte (ρ)

Bei Flüssigkeiten ist es unüblich, deren Masse anzugeben. Vielmehr bestimmt man in den meisten Fällen das Volumen der Flüssigkeit. Für Umrechnungen zwischen Volumen und Masse einer Flüssigkeit benötigt man deren Dichte. Das international übliche Zeichen für die Dichte ist der griechische Buchstabe ρ (sprich „roh“). Statt Dichte wird umgangssprachlich oft auch der Begriff „spezifisches Gewicht“ verwendet.

$$\text{Dichte} = \frac{\text{Masse der Lösung}}{\text{Volumen der Lösung}}$$

$$\rho_{\text{Lösung}} = \frac{m_{\text{Lösung}}}{V_{\text{Lösung}}}$$

Einheiten

kg/m^3 , kg/L , g/L , g/mL

Die SI-Einheit der Dichte ist kg/m^3 , meist wird die Dichte aber in g/mL , g/cm^3 oder kg/L angegeben.

Beispiel

In Meerwasser aus der Bucht von Genua messen Sie eine Dichte von $1,026 \text{ g/mL}$. Nach dem Eindampfen von 240,0 mL Meerwasser bleiben 8,250 g Salz übrig. Wie groß ist der prozentuale Massenanteil des Salzes in dieser Probe?

gegeben:

$$\rho_{\text{Meerwasser}} = 1,026 \text{ g/mL}$$

$$V_{\text{Meerwasser}} = 240,0 \text{ mL}$$

$$m_{\text{Salz}} = 8,250 \text{ g}$$

gesucht:

$$w_{\text{Salz}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} \rho_{\text{Meerwasser}} &= \frac{m_{\text{Meerwasser}}}{V_{\text{Meerwasser}}} \\ m_{\text{Meerwasser}} &= \rho_{\text{Meerwasser}} \cdot V_{\text{Meerwasser}} \\ &= 1,026 \text{ g/mL} \cdot 240,0 \text{ mL} \\ &= 246,24 \text{ g} \\ w_{\text{salz}} &= \frac{m_{\text{Salz}}}{m_{\text{Meerwasser}}} \\ &= \frac{8,250 \text{ g}}{246,24 \text{ g}} \\ &= 0,03350 \text{ g/g} \\ &= \underline{\underline{3,350 \%}} \end{aligned}$$

Aufgaben

2.5.1* Blattläuse saugen zuckerhaltigen Pflanzensaft (Phloemsaft) mit einem Massenanteil $w_{\text{Zucker}} = 1,200 \%$. Der Pflanzensaft hat eine Dichte von $1,010 \text{ g/mL}$. Wie viele Mikrogramm Zucker enthalten $5,000 \mu\text{L}$ Pflanzensaft, die eine Blattlaus pro Tag ihrer Wirtspflanze entzieht?

2.5.2* Eine Herbizidlösung enthält $28,40 \text{ g}$ Wirkstoff pro Liter. Dies entspricht einem Massenanteil $w = 2,800 \%$. Wie groß ist die Dichte (ρ) dieser Herbizidlösung?

2.5.3* Ein $84,50 \text{ kg}$ schwerer Mann besitzt $5,000 \cdot 10^{12}$ Erythrozyten pro Liter Blut. Die Blutmenge beträgt $1/13$ der Körpermasse. Als mittlere Lebenszeit eines Erythrozyten werden 100 Tage angenommen. Wie viele Erythrozyten müssen pro Sekunde neu in die Blutbahn eingeschleust werden, damit die Anzahl unverändert bleibt ($\rho_{\text{Blut}}(37^\circ\text{C}) = 1,050 \text{ g/mL}$)?

2.5.4* Sie mischen $2,500 \text{ dL}$ Ethanol ($\rho_{\text{Ethanol}} = 0,7890 \text{ g/mL}$) mit $12,00 \text{ g}$ Traubenzucker. Wie groß ist der prozentuale Zucker-Massenanteil?

2.5.5* In einer Staphylokokken-Reinkultur wurden $2,000 \cdot 10^9$ Zellen pro Milliliter gezählt. Die kugelförmigen Zellen dieser Bakterien haben einen Durchmesser von $1,200 \mu\text{m}$ und eine Dichte von $\rho = 1,050 \text{ g/cm}^3$. Wie viele Gramm Bakterien sind in 1000 mL dieser Kultur enthalten?

2.5.6** 1,000 kg Schwefelsäurelösung enthalten 980,0 g H_2SO_4 ($w_{\text{Schwefelsäure}} = 98,00 \%$). 1,000 kg dieser Lösung nehmen ein Volumen von 515,0 mL ein. Wie groß ist die Stoffmengenkonzentration (c) dieser H_2SO_4 -Lösung in mol/L?

2.5.7** Sie benötigen eine NaCl-Lösung mit $w_{\text{NaCl}} = 0,2000 \text{ g/g}$ und $\rho = 1,148 \text{ g/mL}$. Zur Verfügung steht technisches NaCl mit 5,000 g Verunreinigung auf 100,0 g Gemisch. Wie viele Gramm technisches NaCl müssen Sie zur Herstellung von 250,0 mL NaCl-Lösung einwiegen?

2.5.8** Sie bestimmen in frisch gepresstem Karottensaft einen β -Carotingehalt von 12,80 mg/mL. Die Dichte (ρ) des Karottensaftes beträgt bei 20°C 1,0106 kg/L. Wie groß ist der prozentuale Massenanteil w des β -Carotins im Karottensaft bei 20°C ?

2.5.9** Eine Fungizidlösung zur Behandlung von Kartoffeln gegen einen Befall durch den pathogenen Pilz *Phytophthora infestans* hat eine Dichte $\rho = 1,011 \text{ g/mL}$, bei einem Massenanteil des Wirkstoffes von $w_{\text{Wirkstoff}} = 2,780 \%$. Wie groß ist die Massenkonzentration β des Wirkstoffes in der Fungizidlösung?

2.5.10*** Einem Ferkel von 2,60 kg werden 2,000 mL eines Medikamentes mit einer Wirkstoff-Massenkonzentration von 100,0 g/L injiziert. Nach 4 h findet man 52,00 mg Wirkstoff pro 100,0 mL Blutplasma. Die Blutmenge beträgt 1/13 der Körpermasse und der Hämatokritwert (Anteil der zellulären Bestandteile im Blut) liegt bei 0,30 ($\sigma_{\text{Zellen}} = 30,00 \%$, $\rho_{\text{Vollblut}} = 1,050 \text{ g/mL}$). Wie viele Prozent der applizierten Wirkstoffmenge befinden sich nach 4 h im Vollblut, wenn angenommen wird, dass sich der Wirkstoff nur im Serum verteilt?

2.5.1 Dichtebestimmung von Flüssigkeiten

Um im Labor die Dichte einer Flüssigkeit zu bestimmen, benötigen Sie Gefäße, bei denen das Volumen möglichst genau bekannt ist. Für solche Messungen eignen sich sogenannte „Pyknometer“ (Abb. 2.5). Es handelt sich hierbei um Glasflaschen mit einem engen, langen Hals. Wegen des engen Halses führen Volumenveränderungen beim gefüllten Pyknometer zu starken Schwankungen des Flüssigkeitspegels. So kann das Volumen mit einer großen Genauigkeit bestimmt werden.

Abb. 2.5 Pyknometer sind Gefäße mit genau bestimmtem Volumen, die zur Dichtebestimmung von Flüssigkeiten und Festkörpern genutzt werden



Zur Dichtebestimmung von Flüssigkeiten wird wie folgt vorgegangen:

1. Zuerst bestimmen Sie mit einer Waage die Masse (m) des leeren Pyknometers. Anschließend füllen Sie es mit destilliertem Wasser bis zur Marke. Wichtig ist, dass Sie dabei sehr genau arbeiten. Nun wird das gefüllte Pyknometer erneut gewogen. Aus diesen beiden Messwerten lässt sich die Masse des Wassers als Differenz zwischen gefülltem und leerem Pyknometer berechnen.

$$m_{\text{Wasser}} = m_{\text{Pyknometer voll}} - m_{\text{Pyknometer leer}}$$

Aus einer Tabelle können Sie die Dichte von Wasser bei der entsprechenden Temperatur ablesen und so das Volumen des Pyknometers ermitteln (Tab. 2.2).

$$\rho_{\text{Wasser}} = \frac{m_{\text{Wasser}}}{V_{\text{Pyknometer}}}$$

$$V_{\text{Pyknometer}} = \frac{m_{\text{Wasser}}}{\rho_{\text{Wasser}}}$$

2. Sobald das genaue Volumen des Pyknometers bekannt ist, können Sie mit der Dichtebestimmung von weiteren Flüssigkeiten beginnen. Hierzu füllen Sie das Pyknometer mit der zu bestimmenden Testflüssigkeit und bestimmen die Masse des gefüllten Pyknometers. Nun subtrahieren Sie von diesem Wert die Masse des leeren Pyknometers und erhalten als Resultat die Masse der Testflüssigkeit.

$$m_{\text{Testflüssigkeit}} = m_{\text{total}} - m_{\text{Pyknometer leer}}$$

Tab. 2.2 Dichte von Wasser bei unterschiedlichen Temperaturen

°C	g/L	°C	g/L	°C	g/L
0	999,84	10	999,70	20	998,20
1	999,90	11	999,60	21	997,99
2	999,94	12	999,50	22	997,77
3	999,96	13	999,38	23	997,54
4	999,97	14	999,24	24	997,29
5	999,96	15	999,10	25	997,04
6	999,94	16	998,94	26	996,78
7	999,90	17	998,77	27	996,51
8	999,85	18	998,59	28	996,23
9	999,78	19	998,40	29	995,94

3. Nun können Sie die Dichte der Testflüssigkeit bestimmen, indem Sie die gemessene Masse durch das Volumen des Pyknometers teilen.

$$\rho_{\text{Testflüssigkeit}} = \frac{m_{\text{Testflüssigkeit}}}{V_{\text{Pyknometer}}}$$

Beispiel

Sie sollen mithilfe eines Pyknometers die Dichte einer Proteinlösung bestimmen. Das Pyknometer fasst 10,62 mL. Leer wiegt es 26,38 g, gefüllt mit der Proteinlösung 36,01 g. Welche Dichte hat die Proteinlösung?

gegeben:

$$\begin{aligned} V_{\text{Flüssigkeit}} &= 10,62 \text{ mL} \\ m_{\text{Pyknometer leer}} &= 26,38 \text{ g} \\ m_{\text{Pyknometer voll}} &= 36,01 \text{ g} \end{aligned}$$

gesucht:

$$\rho_{\text{Flüssigkeit}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} \rho_{\text{Testflüssigkeit}} &= \frac{m_{\text{Testflüssigkeit}}}{V_{\text{Pyknometer}}} \\ &= \frac{m_{\text{Pyknometer voll}} - m_{\text{Pyknometer leer}}}{V_{\text{Flüssigkeit}}} \\ &= \frac{36,01 \text{ g} - 26,38 \text{ g}}{10,62 \text{ mL}} \\ &= \frac{9,63 \text{ g}}{10,62 \text{ mL}} \\ &= \underline{\underline{0,90678 \text{ g/mL}}} \end{aligned}$$

Weil es sich bei Dichtebestimmungen mithilfe von Pyknometern um Präzisionsmessungen handelt, werden die Resultate mit einer Genauigkeit von mindestens fünf relevanten Ziffern angegeben.

Aufgaben

2.5.11* Ein Pyknometer fasst 49,9075 g Wasser von 20 °C. Bei derselben Temperatur kann man 41,0553 g eines organischen Lösemittels einfüllen. Welche Dichte hat das Lösemittel bei 20 °C, wenn Wasser bei dieser Temperatur eine Dichte von 0,9982 g/mL hat?

2.5.12* Ein Pyknometer wiegt leer 31,4334 g, mit Wasser von 20 °C gefüllt 56,3987 g und mit einem Lösemittel von 20 °C gefüllt 54,0579 g. Die Dichte von Wasser bei 20 °C beträgt 0,9982 g/mL. Welche Dichte hat das Lösemittel bei 20 °C?

2.5.13* Berechnen Sie aus folgenden Wägedaten (bei 20 °C) die Dichte der untersuchten Natronlauge.

Pyknometer leer:	12,1741 g
Pyknometer mit Wasser:	37,2256 g
Pyknometer mit Natronlauge:	41,9183 g
Dichte von Wasser bei 20 °C:	0,9982 g/mL

2.5.14* Sie sollen von einer Salzlösung die Dichte bestimmen. Das leere Pyknometer hat eine Masse von 23,510 g. Gemäß Aufschrift fasst es 24,93 mL. Wie groß ist die Dichte der Salzlösung, wenn das gefüllte Pyknometer eine Masse von 49,080 g hat? Geben Sie das Resultat in kg/L und auf vier Stellen nach dem Komma an!

2.5.15* Sie sollen mithilfe eines Pyknometers die Dichte einer Proteinlösung bestimmen. Das Pyknometer fasst 10,620 mL Flüssigkeit. Leer wiegt es 26,380 g, gefüllt mit der Flüssigkeit 36,010 g. Welche Dichte hat die Proteinlösung?

2.5.16* Ein Pyknometer hat leer eine Masse von 13,843 g. Mit Wasser ($\rho = 0,9982 \text{ g/mL}$) gefüllt beträgt die Gesamtmasse bei 20 °C 64,054 g. Welche Dichte hat eine Zuckerlösung, wenn das Pyknometer, gefüllt mit dieser Lösung, eine Masse von 66,898 g hat?

2.5.17** Berechnen Sie die Dichte eines Gasgemisches in kg/m³ bei 20 °C.

Gasbehälter evakuiert:	123,0673 g
Gasbehälter mit Wasser:	246,5598 g
Gasbehälter mit Gasgemisch:	123,2081 g
Dichte von Wasser bei 20 °C:	0,9982 g/mL

2.5.2 Dichtebestimmung von Festkörpern

Mittels eines Pyknometers lässt sich nicht nur die Dichte von Flüssigkeiten bestimmen, sondern auch diejenige von Festkörpern. Die Schwierigkeit liegt zunächst darin, das exakte Volumen des Festkörpers zu ermitteln. Liegt dieser als mehr oder weniger feines Granulat vor, das man in ein Pyknometer einfüllen kann, so ist eine exakte Volumenbestimmung jedoch recht einfach (Abb. 2.6).

1. Der erste Arbeitsschritt ist analog zur Dichtebestimmung von Flüssigkeiten. Das heißt, Sie bestimmen zunächst die Masse des leeren Pyknometers, füllen es anschließend mit destilliertem Wasser bis zur Marke und bestimmen dann die Masse des gefüllten Pyknometers. Wie bereits oben beschrieben, berechnen Sie aus diesen Werten das Pyknometervolumen.

$$m_{\text{Wasser}} = m_{\text{Pyknometer voll}} - m_{\text{Pyknometer leer}}$$

$$V_{\text{Pyknometer}} = \frac{m_{\text{Wasser}}}{\rho_{\text{Wasser}}}$$

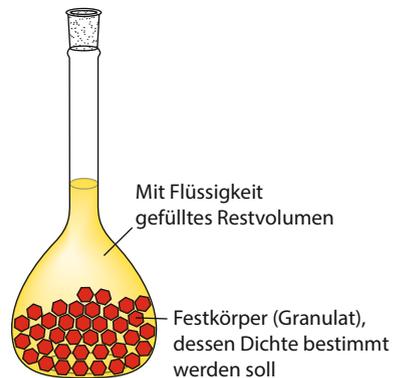
2. Nun leeren Sie das Wasser wieder aus und sorgen dafür, dass das Pyknometer innen und außen trocken ist. Dann können Sie das Granulat einfüllen, dessen Dichte Sie bestimmen wollen. Dazu wird das damit gefüllte Pyknometers gewogen. Die Differenz zwischen leerem und mit Granulat gefülltem Pyknometer entspricht der Masse des eingefüllten Granulates.

$$m_{\text{Granulat}} = m_{\text{Pyknometer voll mit Granulat}} - m_{\text{Pyknometer leer}}$$

3. Zwischen den Körnern hat es nun jedoch noch Luft, deren Volumen Sie zunächst nicht kennen. Damit Sie wissen, welches Volumen das eingefüllte Granulat hat, müssen Sie im nächsten Schritt das Restvolumen ermitteln und dieses dann vom Pyknometervolumen abziehen.

Hierzu füllen Sie zusätzlich zum Granulat eine Flüssigkeit mit bekannter Dichte ins Pyknometer. Wichtig ist, dass der Festkörper darin unlöslich ist! Das heißt,

Abb. 2.6 Dichtebestimmung eines Festkörpers. Dieser wird in ein weithalsiges Pyknometer gefüllt. Mithilfe einer Flüssigkeit kann das Restvolumen bestimmt und daraus das Volumen des Festkörpergranulates berechnet werden



bei einem Zucker oder einem in Wasser gut löslichen Salz müssen Sie statt Wasser ein dünnflüssiges Öl, Hexan, Benzin oder eine andere unpolare Flüssigkeit einfüllen, um zu verhindern, dass sich der Festkörper darin löst. Diese Flüssigkeit füllen Sie bis zur Pyknometermarke auf, wobei darauf geachtet werden muss, dass zwischen den Körnern keine Luftblasen vorhanden sind. Danach wird das mit Granulat und Flüssigkeit gefüllte Pyknometer erneut gewogen. Die Differenz zwischen vollständig gefülltem und nur mit Granulat gefülltem Pyknometer entspricht der Masse der Flüssigkeit.

$$m_{\text{Flüssigkeit}} = m_{\text{Pyknometer ganz voll}} - m_{\text{Pyknometer voll mit Granulat}}$$

4. Mithilfe der Flüssigkeitsdichte und -masse können Sie deren Volumen ($V_{\text{Restflüssigkeit}}$) berechnen.

$$V_{\text{Restflüssigkeit}} = \frac{m_{\text{Restflüssigkeit}}}{\rho_{\text{Restflüssigkeit}}}$$

5. Ziehen Sie nun dieses Restvolumen vom Gesamtvolumen des Pyknometers ab, so ergibt dies das Volumen des Granulates.

$$V_{\text{Granulat}} = V_{\text{Pyknometer}} - V_{\text{Restflüssigkeit}}$$

6. Teilen Sie die Masse des Granulats durch dessen Volumen, bekommen Sie die gesuchte Festkörperdichte.

$$\rho_{\text{Granulat}} = \frac{m_{\text{Granulat}}}{V_{\text{Granulat}}}$$

Beispiel

Aus folgenden Wägedaten bei 20 °C ist die Dichte von Marmor zu ermitteln:

Pyknometer leer:	13,6590 g
Pyknometer mit Wasser:	63,7025 g
Pyknometer mit Marmor:	18,6830 g
Pyknometer mit Marmor und Wasser:	66,8658 g
Dichte von Wasser bei 20 °C:	0,9982 g/mL

gegeben:

$$\begin{aligned} m_{\text{Pyknometer}} &= 13,6590 \text{ g} \\ m_{\text{Pyknometer} + \text{Wasser}} &= 63,7025 \text{ g} \\ m_{\text{Pyknometer} + \text{Marmor}} &= 18,6830 \text{ g} \\ m_{\text{Pyknometer} + \text{Marmor} + \text{Wasser}} &= 66,8658 \text{ g} \\ \rho_{\text{Wasser}} &= 0,9982 \text{ g/mL} \end{aligned}$$

gesucht:

$$\rho_{\text{Marmor}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} m_{\text{Wasser}} &= m_{\text{Pyknometer voll}} - m_{\text{Pyknometer leer}} \\ &= 63,7025 \text{ g} - 13,6590 \text{ g} \\ &= 50,0435 \text{ g} \\ V_{\text{Pyknometer}} &= \frac{m_{\text{Wasser}}}{\rho_{\text{Wasser}}} \\ &= \frac{50,0435 \text{ g}}{0,9982 \text{ g/mL}} \\ m_{\text{Marmor}} &= m_{\text{Pyknometer mit Marmor}} - m_{\text{Pyknometer leer}} \\ &= 18,6830 \text{ g} - 13,6590 \text{ g} \\ &= 5,024 \text{ g} \\ m_{\text{Restwasser}} &= m_{\text{Pyknometer mit Marmor und Wasser}} - m_{\text{Pyknometer mit Wasser}} \\ &= 66,8658 \text{ g} - 18,6830 \text{ g} \\ &= 48,1828 \text{ g} \\ V_{\text{Restwasser}} &= \frac{m_{\text{Restwasser}}}{\rho_{\text{Wasser}}} \\ &= \frac{48,1828 \text{ g}}{0,9982 \text{ g/mol}} \\ &= 48,26968543 \text{ mL} \\ V_{\text{Marmor}} &= V_{\text{Pyknometer}} - V_{\text{Restwasser}} \\ &= 50,1337 \text{ mL} - 48,2697 \text{ mL} \\ &= 1,864055 \text{ mL} \\ \rho_{\text{Marmor}} &= \frac{m_{\text{Marmor}}}{V_{\text{Marmor}}} \\ &= \frac{5,024 \text{ g}}{1,864055 \text{ mL}} \\ &= \underline{\underline{2,6952 \text{ g/mL}}} \end{aligned}$$

Aufgaben

2.5.18** Berechnen Sie die Dichte eines wasserunlöslichen Pulvers aus folgenden Messwerten bei 20 °C.

Pyknometer leer:	17,8276 g
Pyknometer mit Wasser:	42,7842 g
Pyknometer mit Pulver:	28,2122 g

Pyknometer mit Pulver und Wasser:	46,9465 g
Dichte von Wasser bei 20 °C:	0,9982 g/mL

2.5.19** Berechnen Sie die Dichte eines Salzes bei 20 °C.

Pyknometer leer:	33,0681 g
Pyknometer mit Wasser:	57,9262 g
Pyknometer mit Benzin:	49,9823 g
Pyknometer mit Benzin und Salz:	69,4934 g
Salz allein:	27,6011 g
Dichte von Wasser bei 20 °C:	0,9982 g/mL

2.5.20** Aus den nachfolgenden Wägedaten bei 20 °C ist die Dichte eines Pulvers (ρ_{Pulver} in g/mL) bei 20 °C zu berechnen.

Pyknometer leer:	20,3750 g
Pyknometer mit Wasser:	40,7280 g
Pyknometer mit <i>n</i> -Hexan:	33,8290 g
Pyknometer mit <i>n</i> -Hexan und Pulver:	39,8525 g
Pulver allein:	12,8596 g
Dichte von Wasser bei 20 °C:	0,9982 g/mL

2.5.21** Aus folgenden Wägedaten bei 20 °C ist die Dichte von Marmor zu ermitteln.

Pyknometer leer:	13,6590 g
Pyknometer mit Wasser:	63,7025 g
Pyknometer mit Marmor:	18,6830 g
Pyknometer mit Marmor und Wasser:	66,8658 g
Dichte von Wasser bei 20 °C:	0,9982 g/mL

2.5.22*** Sie sollen die Dichte eines in Hexan unlöslichen Proteins bestimmen. Dabei ermitteln Sie folgende Messwerte:

Pyknometer leer:	20,3750 g
Pyknometer mit Wasser:	40,7280 g
Pyknometer mit <i>n</i> -Hexan:	33,8290 g
Pyknometer mit <i>n</i> -Hexan und Protein:	37,5823 g
Protein allein:	12,8596 g
Dichte von Wasser bei 20 °C:	0,9982 g/mL

3.1 Grundlagen

Im Biologielabor gibt es immer wieder Situationen, in denen Sie einem Versuchstier eine bestimmte Menge eines Stoffes verabreichen oder auf einer Versuchsfläche eine definierte Menge einer Substanz ausbringen müssen. In der Regel stehen Sie dabei vor dem Problem, dass jedes Versuchstier unterschiedlich schwer oder die Versuchsflächen unterschiedlich groß sind. Um miteinander vergleichbare Resultate zu erhalten, müssen diese unterschiedlichen Voraussetzungen standardisiert werden. In der Regel geschieht dies, indem Sie definieren, welche Masse oder welches Volumen einem Versuchstier pro Kilogramm appliziert wird oder welche Menge eines Stoffes Sie pro Quadratmeter oder pro Hektar einsetzen müssen. Solch standardisierte Mengen werden als Dosis (d) bezeichnet.

$$\begin{aligned} \text{Dosis} &= \frac{\text{Wirkstoffmasse}}{\text{Masse des Versuchstieres}} \\ d_{\text{Wirkstoff}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{m_{\text{Versuchstier}}} \\ \text{Dosis} &= \frac{\text{Wirkstoffmasse}}{\text{Versuchsfläche}} \\ d_{\text{Wirkstoff}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{A_{\text{Versuch}}} \end{aligned}$$

Liegt ein Präparat in flüssiger Form vor, so spricht man anstelle von Dosis vom Applikationsvolumen.

$$\begin{aligned} \text{Applikationsvolumen} &= \frac{\text{Präparatvolumen}}{\text{Masse des Versuchstieres}} \\ \alpha_{\text{Präparat}} &= \frac{V_{\text{Präparat}}}{m_{\text{Versuchstier}}} \end{aligned}$$

$$\text{Applikationsvolumen} = \frac{\text{Präparatvolumen}}{\text{Versuchsfläche}}$$

$$\alpha_{\text{Präparat}} = \frac{V_{\text{Wirkstoff}}}{A_{\text{Versuch}}}$$

Um zu berechnen, welche Menge eines Stoffes Sie im konkreten Fall einsetzen müssen, wird die Dosis mit der Körpermasse des Versuchstieres oder der Größe der Versuchsfläche multipliziert.

Beispiele

- a. Einem 1,325 kg schweren Kaninchen müssen 250,0 mg eines Antibiotikums pro kg Körpergewicht verabreicht werden. Wie viele Milligramm Antibiotikum werden dem Tier appliziert?

gegeben:

$$m_{\text{Kaninchen}} = 1,325 \text{ kg}$$

$$d_{\text{Antibiotikum}} = 250,0 \text{ mg/kg}$$

gesucht:

$$m_{\text{Antibiotikum}}$$

Berechnung:

$$d_{\text{Antibiotikum}} = \frac{m_{\text{Antibiotikum}}}{m_{\text{Kaninchen}}}$$

$$m_{\text{Antibiotikum}} = d_{\text{Antibiotikum}} \cdot m_{\text{Kaninchen}}$$

$$= 250 \text{ mg/kg} \cdot 1,325 \text{ kg}$$

$$= \underline{\underline{331,3 \text{ mg}}}$$

- b. Sie müssen auf einem 12,50 m langen und 1,20 m breiten Versuchsfeld Sonnenblumensamen aussäen. Gemäß Versuchsanleitung sollen 2000 Sonnenblumen pro Ar (10 × 10 m) wachsen. Wie viele Gramm Sonnenblumensamen benötigen Sie für den Versuch, wenn 100 Kerne 87,30 g schwer sind und Sie davon ausgehen können, dass 100 % des frischen Saatgutes keimt?

gegeben:

$$l = 12,5 \text{ m}$$

$$b = 1,2 \text{ m}$$

$$d = 2000 \text{ Pflanzen/100 m}^3$$

$$m_{\text{Einzelkern}} = 0,873 \text{ g}$$

gesucht:

$$m_{\text{Kerne}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} A_{\text{Feld}} &= l_{\text{Feld}} \cdot b_{\text{Feld}} \\ &= 12,5 \text{ m} \cdot 1,2 \text{ m} \\ &= 15 \text{ m}^2 \\ n_{\text{Kerne}} &= A_{\text{Feld}} \cdot d \\ &= 15 \text{ m}^2 \cdot \frac{2000 \text{ Pflanzen}}{100 \text{ m}^2} \\ &= 300 \text{ Pflanzen} \\ &= 300 \text{ Kerne} \\ m_{\text{Kerne}} &= n_{\text{Kerne}} \cdot m_{\text{Einzelkern}} \\ &= 300 \text{ Kerne} \cdot 0,873 \text{ g/Kern} \\ &= \underline{\underline{261,9 \text{ g}}} \end{aligned}$$

Aufgaben

3.1.1* Einer 153,0 g schweren Ratte soll ein flüssiges Medikament in einer Dosis von 2,500 g/kg Körpermasse appliziert werden. Ihre Stammlösung hat eine Konzentration von 30,00 g/L. Wie viele Milliliter Stammlösung müssen Sie abmessen?

3.1.2* Der Calcium-Tagesbedarf einer erwachsenen Person beträgt 800,0 mg. 1000 mL Kuhmilch enthalten durchschnittlich 1,250 g Calcium (Ca). Wie viele Milliliter Kuhmilch muss eine erwachsene Person trinken, um den Tagesbedarf an Calcium abzudecken?

3.1.3* Einem 27,40 kg schweren Basset (Hunderasse) wird während 24 h mittels Infusion (Tropfgeschwindigkeit = 15 Tropfen/min) ein Vitamin ($\beta_{\text{Vitamin}} = 500,0 \mu\text{g/mL}$) verabreicht. Welche Vitamindosis (mg/kg) erhält der Hund, wenn ein Tropfen ein Volumen von 28,00 μL hat?

3.1.4* Einer 258,0 g schweren Ratte sollen binnen 24 h 50,00 mg eines Wirkstoffes pro kg Körpermasse verabreicht werden. Die Infusionsgeschwindigkeit wird auf 0,5000 mL/h festgelegt. Welche Massenkonzentration (β) muss der Wirkstoff haben (in mg/mL)?

3.1.5* Für einen Herbizidversuch sollen Samen in runde Töpfe ($\emptyset = 12 \text{ cm}$) ausgesät werden. Jede Pflanze soll für den Versuch eine durchschnittliche Bodenfläche von 4 cm^2 zur Verfügung haben. Wie viele Samenkörner müssen Sie

pro Topf aussähen, wenn in einem Vorversuch eine Keimfähigkeit von 82,50 % ermittelt wurde?

3.1.6* Um eine Ratte mit Urethan zu narkotisieren, beträgt die Dosis 1,200 g/kg. Zur Verfügung steht eine Urethanlösung mit der Massenkonzentration von 250,0 g/L. Wie viele Milliliter dieser Lösung braucht es für die Narkose einer 220,0 g schweren Ratte?

3.1.7** In einem Analgesieversuch (Schmerztherapie) an Mäusen wird eine Morphinlösung mit einer Massenkonzentration von 1,000 mg/mL verabreicht. Das Applikationsvolumen beträgt 10,00 mL/kg. Wie viele Mol pro Kilogramm beträgt die Morphin-Dosierung (Summenformel Morphin: $C_{17}H_{19}NO_3$)?

3.1.8* Ratten sollen täglich 12,00 mmol/kg einer Wirksubstanz mit dem Futter aufnehmen. Die molare Masse der Wirksubstanz beträgt 250,0 g/mol. Welchen Wirkstoff-Massenanteil (w) in g/100 g muss das Rattenfutter haben, wenn der tägliche Futtermittelverbrauch der Ratten 100,0 g/kg beträgt?

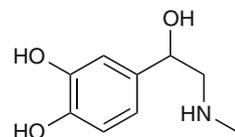
3.1.9* Einer 153,0 g schweren Ratte soll ein flüssiges Medikament in einer Dosis von 2,500 g/kg Körpermasse appliziert werden. Die zur Verfügung stehende Stammlösung hat eine Konzentration von 30,00 g/L. Wie viele Milliliter Stammlösung müssen Sie abmessen?

3.1.10* 25 Ratten mit einer Durchschnittsmasse von 225,0 g werden mit einer Dosis von 1,200 g/kg narkotisiert. Wie viele Milliliter einer Narkoselösung mit einer Wirkstoff-Massenkonzentration von 250,0 g/L werden theoretisch benötigt?

3.1.11* In einem Versuch gegen Blattläuse wurde in einer Dosierung von 4,000 kg Wirkstoff pro Hektar gespritzt. Dieser Versuch wird im Labor nachgeprüft. Es steht aber nur eine Spritzfläche von 1600 cm² zur Verfügung. Wie viele Milligramm müssen eingewogen werden, damit die Dosierung von 4,000 kg Wirkstoff pro Hektar eingehalten werden kann?

3.1.12** Einer 210,0 g schweren Ratte werden 0,2100 mL einer Adrenalinlösung mit der Stoffmengenkonzentration von 0,0200 μ mol/mL verabreicht. Welche Dosis (in μ g/kg) wurde appliziert ($M_{\text{Adrenalin}} = 183,20$ g/mol)?

Adrenalin



3.1.13** Je sechs Mäusen wird ein Wirkstoff in den folgenden Dosierungen verabreicht:

Gruppe 1: 100 mg/kg (Tiermassen: 26,0; 23,0; 24,0; 21,0; 23,0 und 20,0 g)

Gruppe 2: 500 mg/kg (Tiermassen: 19,0; 24,0; 22,0; 24,0; 23,0 und 21,0 g)

Gruppe 3: 1200 mg/kg (Tiermassen: 21,0; 18,0; 23,0; 21,0; 25,0 und 22,0 g)

Zur Verfügung steht eine Wirkstofflösung mit einer Massenkonzentration von 30,00 g/L. Wie viele Milliliter Injektionslösung werden theoretisch benötigt?

3.1.14** Ein 8,372 kg schwerer Affe erhält in einem Skinner-Box-Experiment beim Drücken einer Taste jeweils ein 1,500 g schweres Futterpellet. In Laufe des Versuches frisst der Affe insgesamt 536 Pellets. Welche Wirkstoffdosis hat der Affe aufgenommen, wenn der Wirkstoff-Massenanteil der Pellets 14,55 % beträgt?

3.1.15** Einer 2,600 kg schweren Katze soll über eine Infusion während 24 h eine Vitaminlösung mit einer Geschwindigkeit von 4 Tropfen/min verabreicht werden. Die Tropfen haben ein durchschnittliches Volumen von 0,040 mL. Die Massenkonzentration der Vitaminlösung beträgt $1,600 \cdot 10^{-4}$ g/mL. Welche Dosis (in mg/kg) wurde der Katze während 24 Stunden pro kg verabreicht?

3.1.16** Eine 230,0 g schwere Ratte kann sich durch Drücken einer Taste selbst mit Futter versorgen. In einem 48 h dauernden Experiment drückt die Ratte insgesamt 1762 Mal die Futtertaste und erhält pro Tastendruck jeweils 25,00 mg Futter. Dieses enthält ein Präparat mit einem Massenanteil von 20,00 g/kg. Nicht gefressenes Futter wird jeweils nach 20 s automatisch entfernt und am Ende des Experimentes gewogen. Sie ermitteln dabei 22,85 g nicht gefressenes Futter. Welche Wirkstoffmenge (in mg) hat die Ratte pro kg Körpermasse und Tag (24 h) durchschnittlich aufgenommen?

3.1.17** Einer 330,0 g schweren Ratte wird Kalium (K) in der Dosierung von 57,00 mg/kg als KCl-Lösung mit der Stoffmengenkonzentration von 0,3200 mol/L infundiert. Wie lange dauert die Infusion bei einer Infusionsgeschwindigkeit von 0,2000 mL/min?

3.1.18** Einem Versuchstier von 2,100 kg Körpermasse muss Heparin in der Dosierung von 5000 IE/L Blut verabreicht werden. Die Blutmenge beträgt theoretisch 7,000 % der Körpermasse ($\rho_{\text{Blut}} = 1,051$ g/mL). 1000 mL Lösung enthalten 16,67 g Heparin ($w_{\text{Heparin}} = 135$ IE/mg). Wie viele Milliliter dieser Lösung müssen injiziert werden?

3.1.19** Einem 741,0 g schweren Kaninchen soll ein Flüssigpräparat intravenös verabreicht werden. Die benötigte Dosis beträgt 5,000 g/kg Körpermasse und die Applikationszeit soll 8,0 h betragen. Wie viele Milliliter müssen pro Minute

verabreicht werden, um die Vorgaben zu erfüllen, wenn das Präparat in einer Massenkonzentration von 50,00 g/L vorliegt?

3.1.20** Im Rahmen einer Testreihe sollen Ratten mit einem flüssigen Sulfonamid behandelt werden. Für Ratten beträgt die Applikationsdosis 500,0 mg Wirkstoff/kg und das Applikationsvolumen 45,00 mL/kg. Ihre Stammlösung hat eine Sulfonamid-Massenkonzentration von 18,50 g/L. Wie viele Milliliter Stammlösung müssen Sie mit physiologischer Kochsalzlösung ($\beta_{\text{NaCl}} = 4,0 \text{ g/L}$) verdünnen, um eine 385,0 g schwere Ratte mit der verlangten Sulfonamidmenge zu behandeln?

3.1.21** Gerstensaatzgut soll gegen Gersten-Hartbrand (*Ustilago hordei*) mit einem Fungizid gebeizt werden. Gemäß Herstellerangaben müssen 200,0 g des pulverförmigen Beizmittels mit Wasser auf 100,0 L aufgefüllt und das Saatgut zehn Tage vor der Aussaat während 1–2 h darin gebeizt werden. 100,0 L Beizmittellösung reichen zur Behandlung von 80,00 kg Saatgut. Wie viele Kilogramm Beizmittelpulver müssen Sie einwiegen, wenn Sie auf ihrem 45,00 m × 120,0 m großen Gerstenversuchsfeld 450 Körner/m² einsäen möchten und 1000 Körner 123,5 g schwer sind?

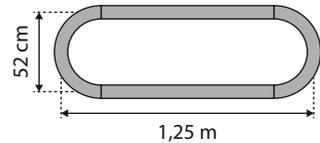
3.1.22** Ein Weizen-Versuchsfeld mit einer Fläche von 10,20 m × 15,50 m soll gegen Schwarzrost (*Puccinia graminis f. sp. tritici*) behandelt werden. Sie benötigen einen Applikations-Massenanteil von 54,00 g Wirkstoff/10,00 kg einsatzfähiges Fungizidpulver. Im Handel erhältlich ist jedoch nur ein pulverförmiges Fungizidkonzentrat mit einem Wirkstoff-Massenanteil von 25,00 %. Dieses müssen Sie für den Versuch erst auf die erforderliche Applikationskonzentration verdünnen. Wie viele Gramm Fungizidkonzentrat benötigen Sie, um das Feld mit 75,90 g einsatzfähigem Fungizid pro Quadratmeter zu behandeln?

3.1.23** Ein Nährmedium soll 100,0 mg eines Sulfonamides pro Liter enthalten. Ihre Sulfonamid-Stammlösung hat eine Massenkonzentration von 25,00 g/L. Wie viele Liter Stammlösung benötigen Sie, um einen Fermenter ($\varnothing = 80 \text{ cm}$) 1,250 m hoch mit Nährmedium in der gewünschten Sulfonamidkonzentration zu füllen?

3.1.24*** Eine Substanz wird in der Dosis von 50,00 mg Wirkstoff pro kg bei einem Applikationsvolumen von 1,000 mL/kg Körpergewicht injiziert. Wie viele Gramm Substanz, mit einem Wirkstoffgehalt von 85,00 %, müssen zur Herstellung von 100,0 mL Lösung eingewogen werden?

3.1.25*** In einem Versuch soll ermittelt werden, wie sich der Glucosegehalt im Blut von Ratten unter körperlicher Anstrengung verändert. Hierfür wird zehn Ratten (durchschnittl. Masse der Tiere = 352,0 g) jeweils ca. 1 mL Blut entnommen und darin eine Glucose-Massenkonzentration von durchschnittlich 820,4 mg/L Blut ermittelt. Nun lassen Sie die Ratten in einer Schwimmrinne

Abb. 3.1 Form und Größe der Schwimmrinne



(Abb. 3.1) vier Runden schwimmen und bestimmen anschließend einen Blutzuckergehalt von 798,8 mg/L. Wie viele Mikrogramm Blutzucker verbraucht eine 352,0 g schwere Ratte pro geschwommenem Meter, unter der Annahme, dass sie 70,00 mL Blut pro kg Körpergewicht besitzt?

3.1.26*** In einem Versuch soll die Wirkung eines Beruhigungsmittels untersucht werden. Der Wirkstoff soll in einer Dosis von 35,00 mg/kg Körpermasse über 10 h appliziert werden. Das zur Verfügung stehende Flüssigpräparat hat eine Wirkstoff-Massenkonzentration von 2,500 g/L. Auf welche Drehzahl (Umdrehungen/h) muss eine zweirollige Schlauchquetschpumpe eingestellt werden, um einer 31,50 kg schweren Ziege das Mittel in der gewünschten Geschwindigkeit und Dosis zu verabreichen, wenn jede der beiden Rollen pro Umdrehung 1,520 mL fördert?

3.2 Formulierungen in der Agrobiologie

In der Agrobiologie ist es üblich, Massenanteile (w) und Massenkonzentrationen (β) mittels einer Kombination aus spezifischen Abkürzungen und Zahlen anzugeben (Tab. 3.1). Die Abkürzung gibt dabei jeweils an, in welcher Form ein Wirkstoff vorliegt (z. B. als Flüssigkeit, Granulat, Pulver oder Staub) und ob dieser emulgiert, gelöst oder Teil eines Festkörpergemisches ist. So bezeichnet die Abkürzung GR ein „Granulat“, WP ein „wasserdispergierbares Pulver“ oder EC steht für ein „Emulsionskonzentrat“. Die Zahl hinter dieser sogenannten Formulierung gibt an, in welcher Massenkonzentration bzw. mit welchem Massenanteil der Wirkstoff im Präparat vorliegt. Hierbei ist zu beachten, dass die Einheiten unterschiedlich sind – je nachdem, ob die Formulierung für einen Massenanteil (w) oder aber eine Massenkonzentration (β) steht! Massenanteile werden in den Agronomie-Formulierungen angegeben in g/100 g (%), Massenkonzentration (β) dagegen in g/L.

Massenanteile werden immer mit zwei Vorkommaziffern geschrieben:

- WP 20 = 20 g/100 g
- SG 05 = 5 g/100 g

Bei Flüssigformulierungen erfolgt die Angabe immer mit drei Vorkommaziffern:

- EC 200 = 200 g/L
- SC 050 = 50 g/L
- SL 008 = 8 g/L

Tab. 3.1 In der Agronomie gebräuchliche Formulierungen

Formulierung	Abk.	Einheit
Emulsionskonzentrat	EC	g/L
Emulsion Wasser in Öl	ED	g/L
Emulsion Öl in Wasser	EW	g/L
Suspensionskonzentrat	SC	g/L
Wasserlösliches Konzentrat	SL	g/L
ULV-Lösung	UL	g/L
ULV-Suspensionskonzentrat	SU	g/L
Wasserlösliches Pulver	SP	g/100 g
Wasserlösliches Granulat	SG	g/100 g
Wasserdispergierbares Pulver	WP	g/100 g
Wasserdispergierbares Granulat	WG	g/100 g
Staub	DP	g/100 g
Granulat	GR	g/100 g
Streupulver	TP	g/100 g
Trockenbeize/Saatgutpuder	DS	g/100 g
Aerosoldose	AE	g/100 g

Beispiele

Sie benötigen eine Spritzbrühe mit einer Wirkstoff-Massenkonzentration von $\beta_{\text{Wirkstoff}} = 1,000 \text{ g/L}$. Wie viele Gramm Spritzpulver WP 25 sind für 50,00 mL Spritzbrühe bereitzustellen?

gegeben:

$$\begin{aligned}\beta_{\text{Wirkstoff}} &= 1,000 \text{ g/L} \\ w_{\text{Wirkstoff}} &= 25 \text{ g/100 g} = 0,25 \text{ g/g} \quad (\text{WP 25}) \\ V_{\text{Spritzbrühe}} &= 50,00 \text{ mL}\end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{Spritzpulver}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}\beta_{\text{Wirkstoff}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{V_{\text{Spritzbrühe}}} \\ m_{\text{Wirkstoff}} &= \beta_{\text{Wirkstoff}} \cdot V_{\text{Spritzbrühe}} \\ &= 1 \text{ g/L} \cdot 0,05 \text{ L} \\ &= 0,05 \text{ g} \\ w_{\text{Wirkstoff}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{m_{\text{Spritzpulver}}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Spritzpulver}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{w_{\text{Wirkstoff}}} \\
 &= \frac{0,005 \text{ g}}{0,25 \text{ g/g}} \\
 &= 0,2 \text{ g} \\
 &= \underline{\underline{200,0 \text{ mg}}}
 \end{aligned}$$

Aufgaben

3.2.1* In einem Versuch soll ein Präparat EC 250 mit der Dosis von 75,00 mg Wirkstoff in Wasser pro Meter Pflanzenreihe appliziert werden. Das Präparat wurde in vier Parzellen mit vier Reihen zu jeweils 2,0 m Länge angewendet. Wie viele Milliliter Präparat müssen für diesen Versuch pipettiert werden?

3.2.2* Ein Kartoffelacker (120 m × 35 m) soll mit dem neuen Fungizid „Infestakill®“ gegen *Phytophthora infestans* behandelt werden. Es müssen 500,0 mg Wirkstoff pro Quadratmeter ausgebracht werden. Das Handelspräparat „Infestakill®“ liegt als Emulsionskonzentrat EC 020 vor. Wie viele Liter Infestakill® benötigen Sie zur Behandlung des Kartoffelackers?

3.2.3* Ein Feld (45,50 m × 12,40 m) soll mit einem Präparat TP 02,5 in einer Wirkstoffdosis von 40,00 mg/m² behandelt werden. Wie viele Gramm Präparat müssen Sie zur Behandlung des Feldes bereitstellen?

3.2.4* Für die Spritzung einer Hochstamm-Apfelanlage werden pro Baum 22,50 g eines Präparates in der Formulierung WP 40 benötigt. Wie viele Gramm Wirkstoff werden pro Hektar ausgebracht, wenn die Baumabstände 9,00 m × 11,0 m (= Standfläche) betragen?

3.2.5* Ein zylindrischer Getreidesilo (Ø = 10,0 m, Höhe = 9,0 m) wird zu 60 % mit Weizen gefüllt. Die Schüttmasse pro Volumen beträgt 800,0 g/L. Der Weizen muss mit einem Spritzpulver WP 50 in der Dosierung von 2,000 g/kg Getreide trocken gebeizt werden. Wie viele Kilogramm Spritzpulver benötigen Sie hierfür?

3.2.6* Ein Laborversuch hat gezeigt, dass eine Dosis von 10⁻⁶ g Wirkstoff pro Gramm Weizen für eine volle Wirkung ausreicht. In einem weiteren Versuch sollen auf Parzellen jeweils 25,00 kg Weizen ausgesät werden, wobei die erwähnte Labordosierung zur Anwendung kommt. Wie viele Milligramm eines Trockenbeizmittels DS 03 müssen Sie pro Parzelle abwiegen?

3.2.7* Für einen Versuch zur Bekämpfung von Mückenlarven benötigen Sie 10,00 L einsatzfähiges Insektizid mit einer Wirkstoff-Massenkonzentration von 10⁻⁴ g/L. Wie viele Milligramm des Insektizides in der Formulierung WP 25 müssen eingewogen werden?

3.2.8** Ein Granulat GR 05 wird als 5 cm breites Band über die Saatzeilen gestreut. Dabei werden 2 g Granulat pro Meter Saatzreihe ausgebracht. Der Reihenabstand beträgt 40 cm. Wie viele Kilogramm Wirkstoff werden benötigt, um die angesäte Fläche von 1 ha zu behandeln?

3.2.9** Ein Sprühflugzeug fliegt mit 90 km/h. Es versprüht 40,00 L Brühe pro Minute auf einem Streifen von 30 m Breite. Berechnen Sie die Massenkonzentration (in g/L) des Präparates WP 80, um eine Dosis von 0,3 kg Wirkstoff pro Hektar zu erreichen.

3.2.10** Berechnen Sie die Dosis in Gramm Wirkstoff pro Hektar aufgrund der folgenden Angaben:

$$\begin{aligned} w_{\text{Präparat}} &= \text{WP 45} \\ \beta_{\text{Präparat in der Spritzbrühe}} &= 0,500 \text{ g/L} \\ Q_{\text{Spritzbrühe}} &= 60 \text{ L/min} \\ v_{\text{Traktor}} &= 3,60 \text{ km/h} \\ \text{Balkenbreite} &= 18,0 \text{ m} \end{aligned}$$

3.2.11** Ein Präparat, das sich in Wasser mit einer Halbwertszeit von 18 Tagen zersetzt, soll gegen Mückenlarven eingesetzt werden. Die Grenzkonzentration der Wirkung liegt bei 0,020 mg/L. Es soll ein zylinderförmiges Wasserbecken behandelt werden, das eine Wassertiefe von 80 cm und einen Durchmesser von 3,00 m aufweist. Wie viele Milliliter Präparat EC 800 müssen zugesetzt werden, um während sechs Monaten eine Larvenentwicklung zu unterbinden (1 Monat = 30 Tage)?

3.2.12** Ein Spritzgerät mit einer Balkenbreite von 4,00 m fährt mit einer Geschwindigkeit von 7 km/h und bringt in 28 Sekunden 31 L Spritzbrühe aus. Die Massenkonzentration des Präparates WP 80 beträgt 2,000 g/L. Wie viele Gramm Wirkstoff werden pro Quadratmeter ausgebracht?

3.2.13** Bei einem Versuch zur Prüfung der systemischen Wirkung des Präparates WP 25 ist die zur Verfügung stehende Menge äußerst knapp. Prüfkonzentration sind 50, 10 und 1 μg Wirkstoff pro Milliliter. Mit jeder Konzentration werden zwei Töpfe mit jeweils 50,00 mL begossen. Wie groß ist die minimale Präparatmenge in Milligramm, die abgewogen werden muss, damit in der letzten Konzentration kein Brüherest entsteht?

3.2.14** Auf einem trapezförmigen Feld ($l = 75 \text{ m}$, $b_{\text{groß}} = 80 \text{ m}$, $b_{\text{klein}} = 50 \text{ m}$) wird ein Parzellenversuch zur Bekämpfung von Gelbrost angelegt. Der Versuch umfasst 75 Parzellen zu jeweils 15,00 m^2 , welche nicht behandelt werden. Der Rest des Feldes wird mit einem Fungizid WP 25 in einer Dosierung

von 62,50 g Wirkstoff pro Hektar behandelt. Wie viele Gramm Fungizid müssen für den Versuch abgewogen werden?

3.2.15** Ein Gewächshaus ($l = 19,40$ m, $b = 3,25$ m, $h_{\text{First}} = 2,65$ m, $h_{\text{Seitenwand}} = 1,35$ m) soll mit einem flüchtigen Phosphorsäureester begast werden. Wie viele Gramm Sprayflüssigkeit AE 02 müssen versprüht werden, um eine Dosis von 20,00 mg Wirkstoff pro Kubikmeter Gewächshaus zu erreichen?

3.2.16** In einem Raum von 200 cm \times 300 cm \times 300 cm soll eine Fliegenpopulation bekämpft werden. Sie nehmen dazu eine Sprayflüssigkeit in der Formulierung AE 03. Durch Vorversuche wurde festgestellt: Wird das Ventil für 2 s betätigt, so entweichen in dieser Zeit 0,6 g Sprayflüssigkeit. Pro Kubikmeter wird eine Dosierung von 50,00 mg Wirkstoff vorgeschrieben. Wie viele Sekunden muss das Ventil betätigt werden, damit die gewünschte Dosierung erreicht wird?

3.2.17** Zur Bekämpfung von Bodenpilzen soll Komposterde mit einem fungiziden Wirkstoff mit der Massenkonzentration von 200 g/m³ behandelt werden. Die Erde füllt eine Wanne von $1,24$ m \times $0,90$ m Grundfläche bis zu einer Höhe von 90 cm. Wie viele Gramm eines Fungizides mit der Formulierung WP 80 müssen für die Behandlung abgewogen werden?

3.2.18** Bei einem Bodeninsektizidtest sollen in Zylindern von 12 cm Durchmesser und einer Höhe von 10 cm die Wirksubstanz in Granulatform unter die Erde gemischt werden. Die Massenkonzentration beträgt 75,00 mg/L Wirkstoff. Wie viele Gramm eines Granulates GR 05 benötigt man für einen dreifachen Testansatz?

3.2.19*** Für einen Algizidversuch werden zylinderförmige Bassins mit einem Durchmesser von 1,80 m verwendet. Die Wassertiefe beträgt 50 cm. In eines dieser Bassins werden 3,000 g eines Algizides WP 75 gegeben. In drei Tagen sinkt der Wasserspiegel durch Verdunsten des Wassers um 4,2 cm. Am Abend des dritten Tages bringt ein Gewitter 15 mm Niederschlag. Wie groß ist nach dem Gewitter die relative Abweichung (in %) der Wirkstoff-Ausgangskonzentration, wenn Sie annehmen, dass kein Algizid mitverdunstet?

4.1 Mischen

Beim Mischen von Stoffen werden diese zusammengeschüttet. Sofern keine chemischen Reaktionen stattfinden, enthält die Mischung beide Stoffe in einem unveränderten Verhältnis. Die Menge des Gemisches entspricht der Summe aus den gemischten Einzelstoffen.

Beispiel aus dem Alltag

Mischen Sie 3 g Zimt mit 50 g Zucker, so erhalten Sie 53 g Zimtzuckermischung. Die beiden Stoffe sind dabei im Massenverhältnis 3 g Zimt + 50 g Zucker enthalten. Mathematisch lässt sich das Mischen von Zimt und Zucker mit folgender Gleichung beschreiben:

$$m_{\text{Zimtzucker}} = m_{\text{Zimt}} + m_{\text{Zucker}}$$

Allgemein gilt:

$$\begin{aligned} m_{\text{total}} &= m_1 + m_2 + \dots + m_{n-1} + m_n \\ &= \sum_{i=1}^n m_i \end{aligned}$$

Beim Mischen von Zimt und Zucker enthält die Mischung die beiden Stoffe im ursprünglichen Verhältnis. Die Gesamtmasse ist gleich der Summe der Einzelmassen. Wie groß sind nun aber die Massenanteile von Zimt (w_{Zimt}) bzw. Zucker (w_{Zucker}) in der Mischung?

gegeben:

$$\begin{aligned} m_{\text{Zimt}} &= 3 \text{ g} \\ m_{\text{Zimtzucker}} &= 53 \text{ g} \end{aligned}$$

gesucht:

$$w_{\text{Zimt}} \text{ und } w_{\text{Zucker}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} w_{\text{Zimt}} &= \frac{m_{\text{Zimt}}}{m_{\text{Zimtzucker}}} \\ &= \frac{3 \text{ g Zimt}}{53 \text{ g Zimtzucker}} \\ &= 5,660377 \text{ g}/100 \text{ g} \\ &= \underline{\underline{5,66 \%}} \\ w_{\text{Zucker}} &= \frac{m_{\text{Zucker}}}{m_{\text{Zimtzucker}}} \\ &= \frac{50 \text{ g Zucker}}{53 \text{ g Zimtzucker}} \\ &= 94,339623 \text{ g}/100 \text{ g} \\ &= \underline{\underline{94,33 \%}} \end{aligned}$$

Mischen Sie nun aber nicht reine Substanzen, sondern Mischungen oder Lösungen, so wird die Sache etwas komplexer. Bei obigem Beispiel war der Massenanteil (w) sowohl von Zimt als auch von Zucker vor dem Mischen 100 % bzw. 100 g/100 g.

Mischen Sie nun aber Stoffe, bei denen der Anteil einer bestimmten Substanz <100 % ist, so muss dies berücksichtigt werden. Vermischt man z. B. zwei Zimtzuckermischungen, so liegt der Zimt-Massenanteil der neuen Mischung zwischen den Massenanteilen der beiden ursprünglichen Mischungen.

Beispiel

Sie besitzen 10 g einer Zimtzuckermischung mit einem Zimt-Massenanteil von 2 %. Von einer zweiten Mischung mit 10 % Zimt-Massenanteil sind noch 20 g vorhanden. Wie groß ist der Zimt-Massenanteil (w_{Zimt}), wenn Sie diese beiden Zimtzucker mischen?

gegeben:

$$\begin{aligned} m_1 &= 10 \text{ g} \\ w_1 &= 2 \% \\ m_2 &= 20 \text{ g} \\ w_2 &= 10 \% \end{aligned}$$

gesucht:

$$w_{\text{Zimt total}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} m_{\text{Zimt 1}} &= w_{\text{Zimt 1}} \cdot m_{\text{Zimtzucker 1}} \\ &= 2\% \cdot 10 \text{ g} \\ &= 0,2 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_{\text{Zimt 2}} &= w_{\text{Zimt 2}} \cdot m_{\text{Zimtzucker 2}} \\ &= 10\% \cdot 20 \text{ g} \\ &= 2 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_{\text{Zimt total}} &= m_{\text{Zimt 1}} + m_{\text{Zimt 2}} \\ &= 0,2 \text{ g} + 2 \text{ g} \\ &= 2,2 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_{\text{Zimtzucker total}} &= m_{\text{Zimtzucker 1}} + m_{\text{Zimtzucker 2}} \\ &= 10 \text{ g} + 20 \text{ g} \\ &= 30 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w_{\text{Zimt im Gemisch}} &= \frac{m_{\text{Zimt total}}}{m_{\text{Zimtzucker total}}} \\ &= \frac{2,2 \text{ g}}{30 \text{ g}} \\ &= 0,07333 \text{ g/g} \\ &= 7,333 \text{ g/100 g} \\ &= \underline{\underline{7,333\%}} \end{aligned}$$

Diese vielen einzelnen Rechenschritte lassen sich in einer einzigen Gleichung – der sogenannten Mischungsgleichung – zusammenfassen.

Mischungsgleichung für Massenanteile (w)

$$w_1 \cdot m_1 + w_2 \cdot m_2 = w_{\text{total}} \cdot (m_1 + m_2)$$

Lösen Sie die Mischungsgleichung nach der gesuchten Variablen auf, in obigem Beispiel also nach w_{total} , so erhalten Sie direkt den gesuchten Massenanteil:

$$w_{\text{total}} = \frac{w_1 \cdot m_1 + w_2 \cdot m_2}{m_1 + m_2}$$

Beispiel

400,0 g Zuckerlösung mit einem Massenanteil w_1 von 1,200 % wird mit 800,0 g einer Zuckerlösung mit einem Massenanteil w_1 von 3,000 % gemischt.

- Wie viele Gramm Zimtzucker wurden hergestellt?
- Wie groß ist der prozentuale Massenanteil (w) des Zuckers im Gemisch?

gegeben:

$$\begin{aligned} m_1 &= 400 \text{ g} \\ w_1 &= 1,2 \% = 1,2 \text{ g}/100 \text{ g} \\ m_2 &= 800 \text{ g} \\ w_2 &= 3 \% = 3 \text{ g}/100 \text{ g} \end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{total}} \text{ und } w_{\text{total}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} m_{\text{total}} &= m_1 + m_2 \\ &= 400 \text{ g} + 800 \text{ g} \\ &= \underline{\underline{1200 \text{ g}}} \\ w_1 \cdot m_1 + w_2 \cdot m_2 &= w_{\text{total}} \cdot (m_1 + m_2) \\ w_{\text{total}} &= \frac{w_1 \cdot m_1 + w_2 \cdot m_2}{m_1 + m_2} \\ &= \frac{1,2 \% \cdot 400 \text{ g} + 3 \% \cdot 800 \text{ g}}{400 \text{ g} + 800 \text{ g}} \\ &= \underline{\underline{2,400 \%}} \end{aligned}$$

Die Mischungsgleichung kann – etwas abgewandelt – auch für Flüssigkeiten verwendet werden. Hierzu wird anstelle des Massenanteils (w) die Massenkonzentration (β) in die Gleichung eingesetzt. Und anstelle der Masse (m) wird die Menge der Flüssigkeit als Volumen (V) angegeben. Daraus ergibt sich folgende Gleichung.

Mischungsgleichung für Massenkonzentrationen (β)

$$\beta_1 \cdot V_1 + \beta_2 \cdot V_2 = \beta_{\text{total}} \cdot (V_1 + V_2)$$

Beispiel

Sie mischen 50,00 mL einer Glucoselösung ($\beta_1 = 20,00 \text{ g/L}$) mit 120,0 mL einer zweiten Glucoselösung ($\beta_2 = 25,00 \text{ g/L}$). Wie groß ist die Glucose-Massenkonzentration dieser Mischung?

gegeben:

$$\begin{aligned} V_1 &= 50 \text{ mL} \\ \beta_1 &= 20 \text{ g/L} \\ V_2 &= 120 \text{ mL} \\ \beta_2 &= 25 \text{ g/L} \end{aligned}$$

gesucht:

$$\beta_{\text{total}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}\beta_1 \cdot V_1 + \beta_2 \cdot V_2 &= \beta_{\text{total}} \cdot (V_1 + V_2) \\ \beta_{\text{total}} &= \frac{\beta_1 \cdot V_1 + \beta_2 \cdot V_2}{V_1 + V_2} \\ &= \frac{20 \text{ g/L} \cdot 50 \text{ mL} + 25 \text{ g/L} \cdot 120 \text{ mL}}{50 \text{ mL} + 120 \text{ mL}} \\ &= \underline{\underline{23,53 \text{ g/L}}}\end{aligned}$$

Bei Zellen, Bakterien, Sporen oder anderen zählbaren Objekten kann anstelle des Massenanteils (w) oder der Massenkonzentration (β) auch die Anzahl der Teilchen pro Volumeneinheit, das heißt die Mengenkonzentration (c), eingesetzt werden. Daraus ergibt sich dann eine weitere Mischungsgleichung.

Mischungsgleichung mit Mengenkonzentrationen (c):

$$c_1 \cdot V_1 + c_2 \cdot V_2 = c_{\text{total}} \cdot (V_1 + V_2)$$

Beispiel

120,0 mL einer Sporensuspension ($c_1 = 5,548 \cdot 10^6$ Sporen/L) werden mit einer zweiten Sporensuspension ($c_2 = 8,410 \cdot 10^6$ Sporen/L) auf 400,0 mL aufgefüllt. Wie groß ist die Sporenkonzentration der gemischten Lösung?

gegeben:

$$\begin{aligned}c_1 &= 5,548 \cdot 10^6 \text{ Sporen/L} \\ V_1 &= 120 \text{ mL} \\ c_2 &= 8,410 \cdot 10^6 \text{ Sporen/L} \\ V_{\text{total}} &= 400 \text{ mL}\end{aligned}$$

gesucht:

$$c_{\text{total}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}V_2 &= V_{\text{total}} - V_1 \\ &= 400 \text{ mL} - 120 \text{ mL} \\ &= 280 \text{ mL} \\ c_1 \cdot V_1 + c_2 \cdot V_2 &= c_{\text{total}} \cdot (V_1 + V_2) \\ &= c_{\text{total}} \cdot V_{\text{total}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c_{\text{total}} &= \frac{c_1 \cdot V_1 + c_2 \cdot V_2}{V_{\text{total}}} \\
 &= \frac{5,548 \cdot 10^6 \text{ Sporen/L} \cdot 120 \text{ mL} + 8,410 \cdot 10^6 \text{ Sporen/L} \cdot 280 \text{ mL}}{400 \text{ mL}} \\
 &= \underline{\underline{7,551 \cdot 10^6 \text{ Sporen/L}}}
 \end{aligned}$$

Aufgaben

4.1.1* 10,00 g konzentrierte Schwefelsäure ($w = 100\%$) werden mit 500,0 g Schwefelsäurelösung mit einem Massenanteil von 5,000 % gemischt. Wie groß ist der prozentuale Massenanteil der Schwefelsäure im Gemisch?

4.1.2* 200,0 g Kochsalzlösung (NaCl) mit einem Massenanteil $w = 25,00 \text{ g/kg}$ werden mit 700,0 g Kochsalzlösung mit einem Massenanteil $w = 40,00 \text{ g/kg}$ gemischt. Wie groß ist w_{Kochsalz} im Gemisch?

4.1.3* Sie mischen 250,0 mL einer Citronensäurelösung mit einer Massenkonzentration $\beta = 10,00 \text{ g/L}$ mit 180,0 mL einer zweiten Citronensäurelösung. Letztere hat eine Massenkonzentration von 2,500 g/100 mL. Wie groß ist die Citronensäure-Massenkonzentration (in g/L) in der Mischung?

4.1.4* Sie haben aus Versehen ein Amoxicillin-Präparat mit $w = 2,250 \mu\text{g/kg}$ anstelle von $w = 2,250 \text{ mg/kg}$ hergestellt. Wie viele Milligramm Amoxicillin-Stammpreparat müssen Sie zu den bereits vorhandenen 50,00 mg falschem Präparat zugeben, um den gewünschten Massenanteil zu erhalten, wenn der Massenanteil des Stammpreparates 5,000 mg/kg beträgt?

4.1.5* 300,0 mL einer Zellsuspension mit $1,250 \cdot 10^3 \text{ Zellen/L}$ werden mit 250,0 mL Zellsuspension mit $0,8250 \cdot 10^4 \text{ Zellen/L}$ gemischt und anschließend mit Nährlösung auf 800,0 mL aufgefüllt. Wie groß ist die Zellkonzentration (in Zellen/L) in dieser neuen Lösung?

4.1.6** Eine im Labor vorhandene Zuckerlösung enthält 5,000 % Fructose (Fruchtzucker). Wie viele Gramm Zucker müssen zu 2,000 kg dieser Lösung zugegeben werden, um eine 8,000 %ige Fructoselösung herzustellen?

4.1.7** 35,00 g WP 80 und 13,00 g Substanz mit einem Wirkstoffanteil von $w = 0,9400 \text{ g/g}$ sollen zusammengemischt und mit Trägermaterial gestreckt werden, damit eine Formulierung mit einem Massenanteil von $w = 0,2500 \text{ g/g}$ entsteht. Wie viele Gramm Trägermaterial (Leerformulierung, das heißt wirkstofflos) müssen zugefügt werden?

4.1.8** Ein mit Drahtwürmern verseuchtes Maisfeld von 182,0 m Länge und 48,0 m Breite soll mit einem Insektizid behandelt werden. Vorgeschrieben ist eine Wirkstoffdosis von 1,000 kg/ha. Zur Verfügung steht ein Rest von 230,0 mL

der Formulierung EC 200. Wie viele Liter EC 400 müssen abgemessen werden, wenn der Rest des EC 200 zuerst aufgebraucht werden muss?

4.1.9** Ein pulverförmiges, wasserlösliches Insektizidkonzentrat enthält 12,00 % Wirkstoff. Eine optimale Wirkung wird erreicht, wenn die ausgebrachte Wirkstoffmenge $0,5000 \text{ g/m}^2$ beträgt. Der zur Verfügung stehende Spritzmitteltank hat ein Volumen von 510,0 L. Sie können damit die Hälfte eines $30 \text{ m} \times 75 \text{ m}$ großen Feldes behandeln. Wie viele Kilogramm Insektizidkonzentrat müssen Sie in den Spritzmitteltank geben, um damit den halben Acker zu behandeln?

4.1.10** Eine Zellsuspension enthält $4,912 \cdot 10^5$ Zellen/L. Sie sollen nun die Zellkonzentration auf $5,000 \cdot 10^5$ Zellen/L erhöhen. Ihnen steht hierfür eine zweite Zellsuspension mit $1,051 \cdot 10^6$ Zellen/L zur Verfügung. Wie viele Milliliter der ersten und der zweiten Zellsuspension müssen Sie abmessen, um 1,000 L mit der gewünschten Zellenkonzentration zu erhalten?

4.1.11** Sie benötigen für einen Fütterungsversuch von Honigbienen (*Apis mellifera*) 10,00 g Fructoselösung (Fruchtzuckerlösung) mit einem Massenanteil von 8,500 % Fructose. Sie haben jedoch fälschlicherweise bloß eine 8,000 %ige Fructoselösung hergestellt. Wie viele Milligramm reine Fructose müssen Sie den 10,00 g falscher Lösung noch hinzufügen, um den gewünschten Massenanteil zu erhalten?

4.1.12** 200,0 g eines Insektizids WP 20 werden mit 500,0 mL einer Lösung mit demselben Wirkstoff ($\beta_{\text{Wirkstoff}} = 125,0 \text{ g/l}$) gemischt und mit Wasser auf 100,0 L zu einer gebrauchsfertigen Lösung aufgefüllt. Wie gross ist die Wirkstoff-Massenkonzentration in der fertigen Lösung?

4.1.13** Ein käufliches Komplexmedium zur Kultur von Clostridien enthält 12,00 mg Casein pro 100,0 g Nährmedium. Sie sollen den Casein-Massenanteil nun auf 0,1800 % erhöhen. Wie viele Milligramm reines Casein-Pulver müssen sie zu 150,0 g Stammmedium hinzufügen, um den gewünschten Massenanteil zu erhalten?

4.1.14** *Clostridium*-Zellen aus zwei Vorkulturen mit je 5,200 L Inhalt und einer Zellenkonzentration von $1,263 \cdot 10^6$ bzw. $1,479 \cdot 10^6$ Zellen/L werden in einen großen Inkubator geschüttet und dieser mit einem Nährmedium, das neben einer Reihe weiterer Stoffe 12,60 g Glucose/L enthält, auf $1,250 \text{ m}^3$ aufgefüllt. Wie groß ist die *Clostridium*-Konzentration (Bakterien/L) nach dem Auffüllen des Inkubators mit Nährmedium?

4.1.15*** Sie besitzen in ihrem Chemikalienlager noch einen Rest von 24,16 kg eines Herbizidpulvers mit einem Wirkstoff-Massenanteil von 12,50 %. Diese Menge reicht jedoch nicht für die Behandlung einer Versuchsfläche von $52,00 \text{ a}$ (Ar), die mit einer Wirkstoffmenge von $10,00 \text{ g/m}^2$ behandelt werden

müssen. Wie viele Kilogramm eines Ersatzpräparates mit demselben Wirkstoff müssen Sie der noch vorhandenen Menge des alten Herbizides beimischen, damit das neue Präparat einen Wirkstoffmassenanteil von 10,00 % enthält?

4.2 Mischungen mit Stoffmengenkonzentrationen (c)

Nicht nur die Anzahl Zellen, Bakterien oder Sporen in einer Lösung gibt man üblicherweise als Mengenkonzentrationen (c) an. Auch bei Konzentrationsangaben chemischer Stoffe erfolgt die Angabe häufig als Anzahl Teilchen pro Volumeneinheit, das heißt als Stoffmengenkonzentration (c). Entsprechend kann die Mischungs-gleichung mit Mengenkonzentrationen auch verwendet werden, wenn Angaben als Stoffmengenkonzentrationen vorliegen.

Mischungsgleichung mit Stoffmengenkonzentrationen (c)

$$c_1 \cdot V_1 + c_2 \cdot V_2 = c_{\text{total}} \cdot (V_1 + V_2)$$

Beispiel

200,0 mL einer Milchzuckerlösung (Lactoselösung) mit einer Stoffmengenkonzentration $c = 400,0$ mmol/L werden mit 500,0 mL einer Lactoselösung gemischt, deren Stoffmengenkonzentration $c = 250,0$ mmol/L beträgt. Wie groß ist die Lactosekonzentration im Gemisch?

gegeben:

$$\begin{aligned} V_1 &= 200 \text{ mL} \\ c_1 &= 400 \text{ mmol/L} \\ V_2 &= 500 \text{ mL} \\ c_2 &= 250 \text{ mmol/L} \end{aligned}$$

gesucht:

$$c_{\text{total}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} c_1 \cdot V_1 + c_2 \cdot V_2 &= c_{\text{total}} \cdot (V_1 + V_2) \\ c_{\text{total}} &= \frac{c_1 \cdot V_1 + c_2 \cdot V_2}{V_1 + V_2} \\ &= \frac{200 \text{ mL} \cdot 400 \text{ mmol/L} + 500 \text{ mL} \cdot 250 \text{ mmol/L}}{200 \text{ mL} + 500 \text{ mL}} \\ &= \underline{\underline{292,9 \text{ mmol/L}}} \end{aligned}$$

Aufgaben

4.2.1* 15,00 mL einer Ameisensäurelösung mit einer Stoffmengenkonzentration $c_1 = 200,0$ mmol/L werden mit 40,00 mL einer zweiten Ameisensäurelösung ($c_2 = 600,0$ mmol/L) gemischt. Wie groß ist die Stoffmengenkonzentration (c_{total}) der Ameisensäure im Gemisch?

4.2.2* Durch einen Irrtum wurden 135,0 mL Salzsäurelösung (HCl) mit $c_1 = 200,0$ mmol/L mit einer zweiten HCl-Lösung mit $c_2 = 90,00$ mmol/L gemischt. Sie bestimmen im Gemisch eine HCl-Konzentration von $c_{\text{total}} = 147,5$ mmol/L. Wie viele Milliliter der zweiten Lösung wurden dem Gemisch hinzugefügt?

4.2.3* Sie mischen 120,0 mL Glucoselösung ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) mit einer Konzentration von 25,00 mmol/L mit 80,00 mL Glucoselösung ($\beta = 8,000$ g/L). Wie groß ist die Glucose-Stoffmengenkonzentration (c_{Glucose}) der Mischung?

4.2.4** Sie geben 250,0 mL einer NaOH-Lösung mit $c_{\text{NaOH}} = 0,1000$ mol/L in einen Messkolben. Anschließend werden weitere 15,00 g NaOH-Plätzchen zugegeben und mit Wasser auf 1,000 L aufgefüllt. Wie groß ist die NaOH-Stoffmengenkonzentration der neuen Lösung?

4.2.5** Sie besitzen im Labor eine KOH-Lösung ($c_{\text{KOH}} = 50,00$ mmol/L). Daraus sollen Sie durch Mischen mit einer 0,1000 molaren KOH-Lösung 500,0 mL Kalilauge mit 80,00 mM herstellen. Wie viele Milliliter der ersten und der zweiten Lösung benötigen Sie?

4.2.6** Sie benötigen für die Konzentrationsbestimmung von insgesamt 50 Schwefelsäureproben (H_2SO_4) eine größere Menge Kalilauge mit einer Stoffmengenkonzentration $c_{\text{KOH}} = 0,5000$ mmol/L. Hierzu müssen Sie wasserfreies Kaliumhydroxidsalz mit destilliertem Wasser mischen und das Salz lösen. Wie viele Milligramm KOH-Salz müssen Sie einwiegen, um 1,500 L KOH-Lösung mit der gewünschten Konzentration herstellen zu können?

4.2.7** Wie viele Milliliter Salzsäure mit einer Massenkonzentration von 18,25 mg/mL müssen mit wie vielen Millilitern HCl_{konz} ($c_{\text{HCl}} = 1,000$ mol/L) gemischt werden, um 1,000 L HCl-Lösung mit einer Stoffmengenkonzentration von $c_{\text{HCl}} = 800,0$ mmol/L zu erhalten?

4.2.8** Zu acht Volumenteilen Natronlauge mit einer Stoffmengenkonzentration von $c_{\text{NaOH}} = 0,5000$ mol/L geben Sie 50 Volumenteile Natronlauge mit der Massenkonzentration von $\beta_{\text{NaOH}} = 0,06$ g/mL. Wie groß ist die Natriumhydroxid-Stoffmengenkonzentration c_{NaOH} (mol/L) im Laugengemisch?

4.2.9** Es sind 1,000 L HCl-Lösung mit der Stoffmengenkonzentration von 0,1000 mol/L herzustellen. Wie viele Milliliter HCl-Lösung mit der Stoffmen-

genkonzentration von $c_{\text{HCl}} = 950,0 \text{ mmol/L}$ und wie viele Milliliter destilliertes Wasser sind miteinander zu mischen?

4.2.10** Es werden 100,0 mL einer Keimsuspension mit 1000 Keimen pro 50,00 μL benötigt. Zur Verfügung stehen eine Stammsuspension mit $1,600 \cdot 10^6$ Keimen/mL und isotonische Kochsalzlösung als Verdünnungsmittel. Wie viele Milliliter Stammsuspension und wie viele Milliliter isotonische Kochsalzlösung müssen zur Herstellung der Keimsuspension gemischt werden?

4.2.11** 15 Volumenteile Kalilauge ($c_{\text{KOH}} = 10,00 \text{ mmol/L}$) werden mit fünf Volumenteilen KOH-Lösung mit einer Massenkonzentration $\beta = 10,00 \text{ g/L}$ gemischt. Welche Stoffmengenkonzentration (mmol/L) hat das Gemisch?

4.2.12** Durch einen Irrtum sind zwei Zellkulturlösungen mit jeweils 250,0 mL Volumen miteinander vermischt worden. Sie wissen, dass die eine Kultur unmittelbar vor dem Vermischen 432,8 Zellen/mL enthielt. Beim sofortigen Nachzählen finden Sie in der Mischung 549,1 Zellen/mL. Wie viele Zellen waren in der fälschlicherweise hinzugefügten Zellkultur pro Milliliter enthalten?

4.2.13*** Ein kombiniertes Spritzmittel enthält pro Liter 6,000 g Dodine und 12,00 g Dinocap als Fungizide. Von diesem kombinierten Spritzmittel wird eine Gebrauchslösung mit der Volumenkonzentration von 10,00 mL/L hergestellt. Wie viele Gramm der Handelspräparate Melprex[®] WP 50 (Dodine) und Karathane WP 25 (Dinocap) müssen eingewogen werden, um 5,000 L Gebrauchslösung mit gleichen Wirkstoffanteilen zu erhalten?

4.2.14*** Ein Viehbad ist mit 6,250 L Insektizid EC 400 und Wasser gefüllt worden. Nach dem Baden von Schafen enthält das Bad noch 4350 L, die gemäß Analyse eine Massenkonzentration von 0,3000 g/L Wirkstoff enthalten. Wie viele Liter formuliertes Insektizid müssen zusammen mit Wasser zugegeben werden, um die Ausgangsbedingungen wieder herzustellen?

4.2.15*** Sie mischen drei Galactoselösungen ($\beta_1 = 20,00 \text{ g/L}$, $c_2 = 12,50 \text{ mmol/L}$, $c_3 = 8,200 \text{ mmol/L}$). Von der ersten Lösung nehmen Sie 250,0 mL, von der zweiten Lösung 1,250 L und von der dritten Lösung 50,00 mL (Galactose: $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$). Welche Galactose-Massenkonzentration (g/L) hat das Gemisch?

4.2.16*** Sie benötigen für einen Versuch einige Tropfen Pilocarpinlösung. Pilocarpin ($M_{\text{Pilocarpin}} = 208,2596 \text{ g/mol}$) wird in Ampullen zu je 2,000 mL geliefert. Erhältlich sind Stoffmengenkonzentrationen von 1,000 mmol/L und 5,000 mmol/L. Sie benötigen jedoch eine Pilocarpin-Massenkonzentration von 250,0 mg/L. Wie viele Mikroliter der 5,000 mmol/L-Lösung müssen Sie zu den 2,000 mL der 1,000 mmol/L-Lösung hinzupipettieren, um die verlangte Massenkonzentration zu erhalten?

4.3 Verdünnungen

Im Labor sind viele Stoffe als Konzentrate vorhanden, die vor der Anwendung verdünnt werden müssen. Sie kennen dies sicher aus dem Alltag, wenn Sie aus Sirupkonzentrat und Wasser ein Getränk mixen. Dabei wird das Konzentrat meist in einem ganz bestimmten Verhältnis gemischt, z. B. indem der Hersteller angibt, dass 1 Teil Sirupkonzentrat mit 7 Teilen Wasser verdünnt werden soll.

$$1 \text{ Teil Konzentrat} + 7 \text{ Teile Wasser} = 8 \text{ Teile Sirup}$$

In 8 Teilen trinkfertigem Sirup ist somit 1 Teil Sirupkonzentrat enthalten. Das heißt, das Konzentrat wurde um den Faktor 8 verdünnt. Dies gibt man auch als Verdünnungsverhältnis von 1 : 8 an.

Berechnungsbeispiel aus dem Alltag

Sie wollen 3 dL Sirup herstellen, indem Sie 1 Volumenteil Sirupkonzentrat mit 7 Volumenteilen Wasser verdünnen. Wie viele Milliliter Sirupkonzentrat benötigen Sie?

gegeben:

$$\begin{aligned} V_{\text{total}} &= 3 \text{ dDL} \\ n_{\text{Sirupkonzentrat}} &= 1 \\ n_{\text{Wasser}} &= 7 \end{aligned}$$

gesucht:

$$V_{\text{Sirupkonzentrat}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} n_{\text{total}} &= n_{\text{Sirupkonzentrat}} + n_{\text{Wasser}} \\ &= 1 + 7 \\ &= 8 \\ \frac{n_{\text{Sirupkonzentrat}}}{n_{\text{total}}} &= \frac{V_{\text{Sirupkonzentrat}}}{V_{\text{total}}} \\ V_{\text{Sirupkonzentrat}} &= \frac{n_{\text{Sirupkonzentrat}} \cdot V_{\text{total}}}{n_{\text{total}}} \\ &= \frac{1 \cdot 3 \text{ dL}}{8} \\ &= 0,375 \text{ dL} \\ &= \underline{\underline{37,50 \text{ mL}}} \end{aligned}$$

Im Labor arbeitet man in der Regel nicht mit Sirup, sondern mit allerlei Lösungen, Zell-, Bakterien- oder Sporensuspensionen. Diese werden jeweils mit Wasser, einem anderen Lösungsmittel wie Ethanol, Hexan etc. oder mit Nährlösungen verdünnt. Das Berechnungsprinzip bleibt dabei aber dasselbe wie beim Sirup.

Beispiel

1 Teil Natronaugenlösung ($c_{\text{NaOH}} = 10,00 \text{ mmol/L}$) wird mit 9 Teilen Wasser verdünnt. Welche Konzentration hat die verdünnte Lösung?

gegeben:

$$c_{\text{NaOH}} = 10 \text{ mmol/L}$$

$$n_{\text{NaOH}} = 1 \text{ Teil}$$

$$n_{\text{Wasser}} = 9 \text{ Teile}$$

gesucht:

$$c_{\text{total}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} n_{\text{total}} &= n_{\text{NaOH}} + n_{\text{Wasser}} \\ &= 1 \text{ Teil} + 9 \text{ Teile} \\ &= 10 \text{ Teile} \\ c_{\text{total}} &= \frac{c_{\text{NaOH}} \cdot n_{\text{NaOH}}}{n_{\text{total}}} \\ &= \frac{10 \text{ mmol/L} \cdot 1 \text{ Teil}}{10 \text{ Teile}} \\ &= \underline{\underline{1,000 \text{ mmol/L}}} \end{aligned}$$

Auf eine Zeile zusammengefasst ergibt dies folgende Gleichung:

$$c_{\text{total}} = \frac{c_1 \cdot n_1}{n_1 + n_2}$$

Aufgaben

4.3.1* 1 Teil einer 0,2000 molaren Salzsäurelösung wird mit 5 Teilen destilliertem Wasser verdünnt. Wie groß ist die Konzentration der HCl-Lösung nach der Verdünnung in mmol/L?

4.3.2* 250,0 mL einer Traubenzuckerlösung ($\beta_{\text{Zucker}} = 50,00 \text{ g/L}$) werden mit physiologischer Kochsalzlösung so verdünnt, dass 2 Volumenteile Zuckerlösung in 3 Volumenteilen verdünnter Lösung enthalten sind. Von dieser Lösung werden einem Patienten 200,0 mL mittels einer Infusion intravenös appliziert. Wie viele Gramm Glucose werden dem Patienten verabreicht?

4.3.3* 20,00 mL einer Antibiotikum-Stammlösung werden in einen Messkolben gegeben und mit physiologischer Kochsalzlösung auf 250,0 mL aufgefüllt. Wie viele Teile Kochsalzlösung kommen auf 1 Teil Antibiotikum-Stammlösung?

4.3.4*** Eine Tankmischung soll aus 1 Teil Wirkstoff A und 6 Teilen Wirkstoff B bestehen. Zur Verfügung stehen EC_A 400 und EC_B 500. Sie benötigen insgesamt 100,0L Brühe mit einer Massenkonzentration der beiden Wirkstoffe von zusammen 0,5000 g/L. Wie viele Milliliter der Präparate A und B müssen abgemessen werden?

4.3.1 Verdünnungsmischungen

Im Laboralltag stellt sich häufig das Problem, dass die Verdünnung nicht als Verdünnungsverhältnis angegeben ist, sondern nur die Konzentration der Stammlösung und diejenige der benötigten Lösung. Dabei ist zu berechnen, mit welcher Menge Lösungsmittel die Stammlösung gemischt werden muss, um die gewünschte Endkonzentration zu erhalten. Die benötigte Lösungsmittelmenge wird mithilfe der schon bekannten Mischungsgleichung berechnet:

$$c_1 \cdot V_1 + c_2 \cdot V_2 = c_{\text{total}} \cdot (V_1 + V_2)$$

Wie bereits erwähnt, ist beim Verdünnen die Konzentration des Inhaltsstoffes im Lösungsmittel gleich null ($c_2 = 0$), sodass die Gleichung wie folgt vereinfacht werden kann:

$$\begin{aligned} c_1 \cdot V_1 + 0 \cdot V_2 &= c_{\text{total}} \cdot (V_1 + V_2) \\ c_1 \cdot V_1 + 0 &= c_{\text{total}} \cdot (V_1 + V_2) \\ c_1 \cdot V_1 &= c_{\text{total}} \cdot (V_1 + V_2) \end{aligned}$$

Falls die Konzentration der zu verdünnenden Lösung nicht als Stoffmengen- (c), sondern als Massenkonzentration (β) vorliegt, muss die Gleichung entsprechend angepasst werden. Dasselbe gilt, falls die Angabe als Massenanteil (w) angegeben ist. Entsprechend kommt jeweils eine der folgenden drei Verdünnungsgleichungen zur Anwendung:

$$\begin{aligned} c_1 \cdot V_1 &= c_{\text{total}} \cdot (V_1 + V_2) \\ \beta_1 \cdot V_1 &= \beta_{\text{total}} \cdot (V_1 + V_2) \\ w_1 \cdot m_1 &= w_{\text{total}} \cdot (m_1 + m_2) \end{aligned}$$

Beispiel

Sie benötigen eine Milchzuckerlösung mit einer Massenkonzentration von $\beta_{\text{total}} = 5,000$ g/L. Die im Labor vorhandene Stammlösung hat eine Massenkonzentration von $\beta_1 = 50,00$ g/L. Mit wie vielen Millilitern Wasser müssen Sie 100,0 mL der Stammlösung verdünnen, um die gewünschte Konzentration zu erhalten?

gegeben:

$$\begin{aligned}\beta_1 &= 50 \text{ g/L} \\ \beta_{\text{total}} &= 5 \text{ g/L} \\ V_1 &= 100 \text{ mL} = 0,1 \text{ L}\end{aligned}$$

gesucht:

$$V_2$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}\beta_1 \cdot V_1 &= \beta_{\text{total}} \cdot (V_1 + V_2) \\ &= \beta_{\text{total}} \cdot V_1 + \beta_{\text{total}} \cdot V_2 \\ \beta_{\text{total}} \cdot V_2 &= \beta_1 \cdot V_1 - \beta_{\text{total}} \cdot V_1 \\ V_2 &= \frac{\beta_1 \cdot V_1 - \beta_{\text{total}} \cdot V_1}{\beta_{\text{total}}} \\ &= \frac{50 \text{ g/L} \cdot 100 \text{ mL} - 5 \text{ g/L} \cdot 100 \text{ mL}}{5 \text{ g/L}} \\ &= \underline{\underline{900,0 \text{ mL}}}\end{aligned}$$

4.3.2 Volumenkontraktion

In manchen Fällen kann es beim Mischen unterschiedlicher Lösungsmittel zu einer sogenannten Volumenkontraktion kommen. Dies ist etwa der Fall, wenn Wasser und Alkohole gemischt werden. Hierbei gilt:

$$V_{\text{Wasser}} + V_{\text{Alkohol}} > V_{\text{Gemisch}}$$

Werden wässrige Lösungen mit einem Alkohol verdünnt, so muss diese Volumenkontraktion bei der Berechnung berücksichtigt werden. Das Problem wird am einfachsten umgangen, indem man als Endvolumen nicht die Summe der Teilvolumina berechnet, sondern bereits bei der Versuchsplanung bzw. -durchführung die Lösung auf ein bestimmtes Volumen (V_{total}) auffüllt.

$$\beta_1 \cdot V_1 = \beta_{\text{total}} \cdot V_{\text{total}}$$

Aufgaben, bei denen dieses Problem auftreten könnte, wurden in diesem Buch entsprechend formuliert.

Aufgaben

4.3.5* Im Labor steht eine Vitamin-C-Lösung mit einer Konzentration von 50,00 g/L. Für einen Versuch benötigen Sie jedoch eine Vitamin-C-Lösung mit einer Konzentration von 12,00 g/L. Mit wie viel Wasser müssen Sie 50,00 mL der Stammlösung verdünnen, um die gewünschte Konzentration zu erhalten?

4.3.6* Eine 200,0 millimolare Essigsäurelösung soll so verdünnt werden, dass eine 30,00 millimolare entsteht. Wie viele Milliliter Essigsäurelösung müssen Sie mit wie vielen Millilitern Wasser verdünnen, um 100,0 mL Lösung mit der gewünschten Konzentration zu erhalten?

4.3.7* Ein Sack mit 5,000 kg eines Fungizidpulvers gegen Mehltau enthält 400,0 g Wirkstoff. Für die Applikation benötigen Sie jedoch nur eine Wirkstoffkonzentration von 5,000 g/100,0 kg Pulver. Wie viele Gramm Kalkstaub müssen Sie mit wie vielen Gramm Fungizidpulver mischen, um 10,00 kg einsatzfähiges Fungizid zu erhalten?

4.3.8* Eine Bakteriensuspension enthält 1350 Keime/Tropfen (1 Tropfen = 0,050 mL). Daraus sind 24,00 mL Suspension mit der Konzentration von 10^6 Keimen/L herzustellen. Wie viele Milliliter unverdünnte Suspension benötigen Sie?

4.3.9* Ein Konzentrat mit dem Duftstoff α -Janon soll verdünnt werden. α -Janon riecht unverdünnt nach Zedernholz und mit Ethanol verdünnt nach Veilchen. Ihre Stammlösung enthält eine α -Janon-Massenkonzentration von 35,00 g/L. Wie viele Mikroliter Stammlösung müssen Sie abmessen und mit Ethanol verdünnen, um 800,0 mL gebrauchsfertige Veilchenduflösung mit einer α -Janon-Massenkonzentration von 18,50 mg/L herzustellen?

4.3.10* Sie besitzen im Labor eine Fruchtzucker-Stammlösung mit einer Massenkonzentration $\beta = 20,00$ g/L. Für einen Fliegenfütterungsversuch benötigen Sie jedoch eine Massenkonzentration $\beta = 12,00$ g/L. Mit wie vielen Millilitern Wasser müssen Sie 400,0 mL Stammlösung verdünnen, um die gewünschte Konzentration zu erhalten?

4.3.11* Sie geben 25,00 mL einer Polyethylenglycollösung ($c_{\text{PEG}} = 2,000$ mmol/L) in einen Messkolben und füllen diesen mit H_2O auf 500,0 mL auf. Welche PEG-Stoffmengenkonzentration (mmol/L) hat die verdünnte Lösung?

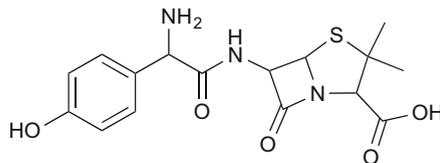
4.3.12* Sie benötigen für einen Versuch 120,0 mL β -Carotinlösung mit einer Massenkonzentration $\beta = 2,500$ g/L. Sie besitzen 2,500 L Stammlösung mit einer Massenkonzentration des β -Carotins von 8,000 g/L. Wie viele Milliliter Stammlösung müssen Sie abmessen und auf 120,0 mL auffüllen?

4.3.13** Eine Karzinomzellen-Suspension mit einer Konzentration von $3,215 \cdot 10^9$ Zellen/L soll für einen Versuch so stark verdünnt werden, dass die Versuchslösung noch 25.000 Zelle/mL enthält. Sie benötigen für den Versuch insgesamt 400.000 Zellen. Wie viele Milliliter Stammlösung müssen Sie mit wie vielen Millilitern physiologischer Kochsalzlösung mischen, um die benötigte Zellsuspension herzustellen?

4.3.14** Für einen Tropical-Test steht eine Stammlösung mit einer Massenkonzentration von 0,5000 mg/mL (500,0 ppm) zur Verfügung. Wie viele Milliliter sind von dieser Stammlösung zu pipettieren, um 5,000 mL einer Gebrauchslösung mit der Massenkonzentration von 0,1000 μ g Wirkstoff pro Mikroliter herzustellen?

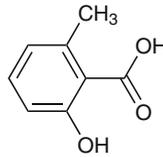
4.3.15** Messungen haben ergeben, dass eine Epstein-Barr-Viren-Lösung (EB-Viren können humane Lymphocyten transformieren und herpesähnliche Symptome hervorrufen) $2,421 \cdot 10^7$ Viren/L enthält. Sie benötigen zur Infektion einer B-Lymphocyten-Zellkultur 10,00 mL EB-Virenlösung mit einer Konzentration von 2500 Viren/mL. Wie viele Milliliter Stammlösung müssen Sie mit wie vielen Millilitern physiologischer Kochsalzlösung verdünnen?

4.3.16** Sie benötigen für einen Versuch 80,00 mL einer Amoxicillinderivat-Lösung mit einer Massenkonzentration von 1,250 mg/L. Ihre Stammlösung hat eine Stoffmengenkonzentration von 0,2000 mmol/L. Wie viele Milliliter Stammlösung müssen Sie mit wie vielen Millilitern H_2O verdünnen, um die benötigte Amoxicillinderivat-Lösung herzustellen?



Amoxicillin

4.3.17** Sie besitzen im Labor eine 6-Methylsalicylsäurelösungen mit $c = 0,1000$ mol/L. Für einen Versuch benötigen Sie eine Lösung mit einem 6-Methylsalicylsäure-Massenanteil von 250,0 mg/L. Mit welcher Menge Wasser müssen Sie Ihre Stammlösung verdünnen, um 100,0 mL Lösung mit der gewünschten Konzentration zu erhalten?



6-Methylsalicylsäure

4.3.18** 35,00 g WP 80 und 13,00 g Substanz mit einem Wirkstoffanteil von $w = 0,940$ g/g sollen zusammengemischt und mit Trägermaterial gestreckt werden, damit eine Formulierung mit einem Massenanteil von $w = 0,25$ g/g entsteht. Wie viele Gramm Trägermaterial (Leerformulierung) müssen zugefügt werden?

4.3.19** Sie haben aus Versehen ein Streptomycinpräparat mit $w = 2,250$ $\mu\text{g}/\text{kg}$ hergestellt anstelle von 2,250 mg/kg. Wie viele Milligramm Streptomycin-Stammpräparat müssen Sie zu den bereits vorhandenen 50,00 mg falschem Präparat hinzufügen, um den gewünschten Massenanteil zu erhalten, wenn der Massenanteil des Stammpräparates 5,000 mg/kg beträgt?

4.3.20** Ein Nährmedium soll 0,1000 mg eines Sulfonamides pro Milliliter zur Unterdrückung von unerwünschten Bakterien enthalten. Ihre Sulfonamid-Stammlösung hat eine Massenkonzentration von 25,00 g/L. Wie viele Liter Stammlösung müssen Sie mit Wasser verdünnen, um einen Fermenter ($\emptyset = 80,0$ cm) 1,250 m hoch mit dem Nährmedium zu füllen?

4.3.21** Der Pansen (Gärmagen) einer Kuh hat ein Volumen von ca. 180 L. Sie entnehmen dem Pansen einer Versuchskuh mittels einer Schlauchsonde etwa 50 mL Inhalt. Aus 40,00 mL Mageninhalt waschen Sie die noch unverdauten Pflanzenfasern aus, fangen die Waschflüssigkeit auf, geben 1,000 mL einer Konservierungsflüssigkeit zu und füllen mit Wasser auf 400,0 mL auf. Hierin bestimmen Sie mittels einer Neubauer-Zählkammer durchschnittlich 0,083 Ciliaten pro Zählfeld ($A_{\text{Zählfeld}} = 0,0025$ mm², $h_{\text{Zählfeld}} = 0,1$ mm). Wie groß ist die Ciliatenkonzentration (Ciliaten pro Liter) im Pansen der untersuchten Kuh?

4.3.22** Sie besitzen noch 250,0 mL einer Sporensuspension ($c_1 = 4,619 \cdot 10^9$ Sporen/L). Für einen Versuch benötigen Sie jedoch eine Konzentration von $8,000 \cdot 10^{10}$ Sporen/L. Wie viele Milliliter einer zweiten Sporensuspension ($c_2 = 9,502 \cdot 10^{11}$ Sporen/L) müssen Sie zu den 250,0 mL der ersten Suspension hinzufügen, um die gewünschte Sporenkonzentration zu erreichen?

Vor dem Lösen der Aufgaben 4.3.23–4.3.26: Kap. 5 „Massenanteile in Verbindungen“ bearbeiten!

4.3.23*** 200,0 g einer Calciumchlorid-Lösung ($w_{\text{CaCl}_2} = 3,000\%$) sollen durch Zugabe von Calciumchlorid-Hexahydrat ($\text{CaCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$) auf einen Massenanteil $w_{\text{CaCl}_2} = 5,000\%$ gebracht werden. Wie viele Gramm $\text{CaCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ müssen Sie zugeben?

4.3.24*** Sie verdünnen eine Abwasserprobe, indem Sie 20,00 mL Abwasser in einem Messkolben mit Wasser auf 1000 mL auffüllen. Dieser verdünnten Lösung entnehmen Sie 5,000 mL und bestimmen einen Stickstoffgehalt von 0,1539 mg N pro Liter. Sie wissen, dass 92,50 % des Stickstoffs als Ammonium (NH_4^+) vorliegen. Wie hoch ist die Ammonium-Massenkonzentration in dieser Abwasserprobe?

4.3.25*** Sie mischen 1,500 L Wasser ($\rho = 0,9980 \text{ g/mL}$) mit Essigsäure ($\text{H}_3\text{C}-\text{COOH}$, $w_{\text{Essigsäure}} = 60,00 \text{ g/100 g}$). Wie viele Liter Essigsäurelösung mit einer Stoffmengenkonzentration von $c = 8,000 \text{ mol/L}$ und einer Dichte von $\rho = 1,054 \text{ g/mL}$ stellen Sie hierbei her?

4.3.26*** Sie geben 12,55 mg MgSO_4 und 83,41 mg K_2SO_4 in einen Messkolben und füllen diesen mit H_2O auf 500,0 mL auf. 20,00 mL werden dieser Mischung entnommen und erneut mit H_2O auf 500,0 mL aufgefüllt. Wie groß ist die Sulfat- (SO_4^-)-Massenkonzentration?

4.4 Geometrische Verdünnungsreihen

Bei Studien zur Wirksamkeit von Antibiotika, Fungiziden, antiviralen und anderen Wirksubstanzen werden diese Stoffe oft in unterschiedlichen Konzentrationen getestet. Das heißt, die Stammlösung wird unterschiedlich stark verdünnt und die Verdünnungen werden dann bezüglich ihrer Wirksamkeit getestet. Dabei gehen Sie meist so vor, dass Sie die Stammlösung zunächst in einem bestimmten Verhältnis verdünnen (Abb. 4.1).

Beispiel

1 Teil Stammlösung + 4 Teile Lösungsmittel = 5 Teile verdünnte Lösung

Verhältnis der beteiligten Stoffe = 1 : 4

Verdünnung der Stammlösung = 1 : 5

⇒ Verdünnungsfaktor ($f_{\text{Verd.}}$) = 5

Sie stellen mit dieser Vorgehensweise die erste Verdünnung her. Diese benutzen Sie wiederum als neue „Stammlösung“, welche Sie ein weiteres Mal auf dieselbe

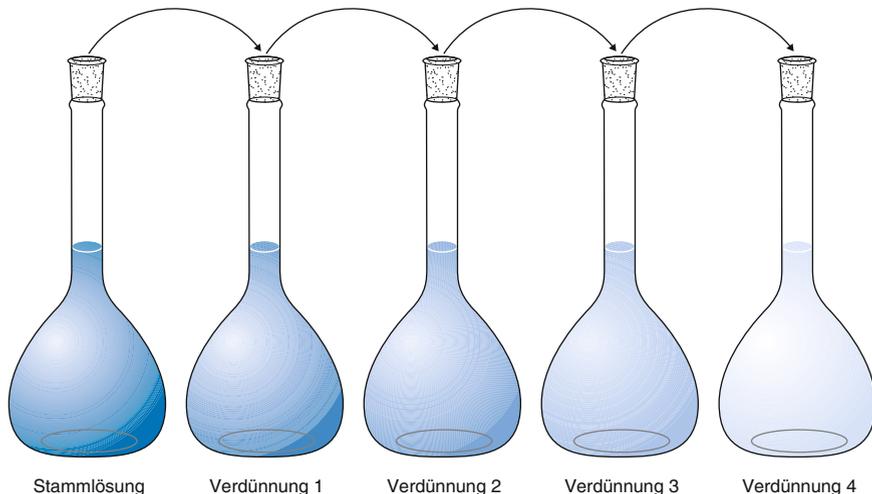


Abb. 4.1 Bei geometrischen Verdünnungen wird – ausgehend von einer Stammlösung – jeweils ein bestimmtes Volumen in ein neues Gefäß übertragen, dieses mit einem Lösungsmittel (z. B. Wasser) auf das gewünschte Endvolumen aufgefüllt und somit verdünnt. Von dieser ersten Verdünnung wird erneut Flüssigkeit übertragen und mit Lösungsmittel aufgefüllt. Dieses Vorgehen wird bis zur benötigten Endverdünnung wiederholt. Bei jedem Verdünnungsschritt wird die Lösung dadurch stärker verdünnt

Weise verdünnen und so die zweite Verdünnung herstellt. Nun gehen Sie mit dieser wiederum gleich vor wie zuvor und erhalten so eine Reihe von Verdünnungen, die immer im gleichen Verdünnungsverhältnis zur vorhergehenden Lösung stehen. Diesen Typ von Verdünnungsreihen bezeichnet man als „geometrische Verdünnungsreihe“ – im Gegensatz zur „arithmetischen Verdünnungsreihe“, bei welcher jeweils ein bestimmtes Stammlösungsvolumen mit unterschiedlichen Volumina des Lösungsmittels verdünnt und so die benötigten Verdünnungen hergestellt werden.

Zur Berechnung der Konzentration der jeweils nächsten Verdünnung wird die Grundkonzentration durch die Gesamtzahl der Teil in der verdünnten Lösung geteilt:

$$\beta_{\text{Verdünnung 1}} = \frac{\beta_{\text{Stammlösung}}}{f_{\text{Verdünnung}}}$$

$$\beta_{\text{Verdünnung 2}} = \frac{\beta_{\text{Verdünnung 1}}}{f_{\text{Verdünnung}}}$$

$$\beta_{\text{Verdünnung 3}} = \frac{\beta_{\text{Verdünnung 2}}}{f_{\text{Verdünnung}}}$$

Anstelle der Massenkonzentration (β) kann in diese Formel auch die Stoffmengenkonzentration (c) oder der Stoffmengenanteil (w) eingesetzt werden.

Beispiel

Eine Aminosäurelösung mit einer Massenkonzentration $\beta = 50,00 \text{ g/L}$ soll 4 Mal hintereinander so verdünnt werden, dass jeweils auf 1 Teil Aminosäurelösung 4 Teile Lösungsmittel kommen. Welche Massenkonzentrationen haben die vier Verdünnungen?

gegeben:

$$\begin{aligned}\beta_{\text{Aminosäurelösung}} &= 50 \text{ g/L} \\ \text{Verhältnis} &= 1 \text{ Teil} + 4 \text{ Teile} \\ \text{Verdünnung} &= 1 : 5 \\ f_{\text{Verd.}} &= 5\end{aligned}$$

gesucht:

$$\beta_{\text{Verdünnung 4}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}\beta_{\text{Verdünnung 1}} &= \frac{\beta_{\text{Stammlösung}}}{f_{\text{Verdünnung}}} \\ &= \frac{50 \text{ g/L}}{5} \\ &= \underline{\underline{10,00 \text{ g/L}}} \\ \beta_{\text{Verdünnung 2}} &= \frac{\beta_{\text{Verdünnung 1}}}{f_{\text{Verdünnung}}} \\ &= \frac{10 \text{ g/L}}{5} \\ &= \underline{\underline{2,000 \text{ g/L}}} \\ \beta_{\text{Verdünnung 3}} &= \frac{\beta_{\text{Verdünnung 2}}}{f_{\text{Verdünnung}}} \\ &= \frac{2 \text{ g/L}}{5} \\ &= 0,4 \text{ g/L} \\ &= \underline{\underline{400,0 \text{ mg/L}}} \\ \beta_{\text{Verdünnung 4}} &= \frac{\beta_{\text{Verdünnung 3}}}{f_{\text{Verdünnung}}} \\ &= \frac{400 \text{ mg/L}}{5} \\ &= \underline{\underline{80,00 \text{ mg/L}}}\end{aligned}$$

Erfolgt die Verdünnung mehrfach mit demselben Faktor, so kann die Konzentration einer bestimmten Verdünnung auch direkt berechnet werden, das heißt, ohne von sämtlichen vorhergehenden Verdünnungsschritten die jeweilige Konzentration einzeln zu bestimmen. Hierzu potenzieren Sie den Verdünnungsfaktor mit der Anzahl Verdünnungsschritte bis zur gewünschten Verdünnung:

$$\begin{aligned}\beta_{\text{Verdünnung}^n} &= \frac{\beta_{\text{Stammlösung}}}{(f_{\text{Verdünnung}})^n} \\ c_{\text{Verdünnung}^n} &= \frac{c_{\text{Stammlösung}}}{(f_{\text{Verdünnung}})^n} \\ w_{\text{Verdünnung}^n} &= \frac{w_{\text{Stammlösung}}}{(f_{\text{Verdünnung}})^n}\end{aligned}$$

Beispiel

Bei der oben erwähnten Aminosäurelösung ergibt dies für die vierte Verdünnung eine Konzentration von:

$$\begin{aligned}\beta_{\text{Verdünnung } 4} &= \frac{\beta_{\text{Stammlösung}}}{(f_{\text{Verdünnung}})^4} \\ &= \frac{50 \text{ g/L}}{5^4} \\ &= 0,08 \text{ g/L} \\ &= \underline{\underline{80,00 \text{ mg/L}}}\end{aligned}$$

Geometrische Verdünnungsreihen kommen auch in der Homöopathie zur Anwendung. Allerdings bezeichnet man die Verdünnung (+ besondere Art der Mischung) in der Homöopathie als „Potenzierung“. Der Verdünnungsfaktor wird durch die Buchstaben „D“ ($f = 10$) oder „C“ ($f = 100$) angegeben. Bei einer D12-Verdünnung wird die Stammlösung 12 Mal um den Faktor 10 verdünnt.

Beispiel

Das homöopathische Hautpräparat Selomida[®] wird als lösliches Pulver in Portionen zu je 7,5 g Inhalt verkauft. Davon sind 16,67 % Calciumfluorid (CaF₂) in der Potenz D12.

- Wie viele Mikrogramm Calciumfluorid enthält das Präparat?
- Wie viele Calciumfluorid-Moleküle enthält eine Portion Selomida[®]?

gegeben:

$$\begin{aligned}m_{\text{Präparat}} &= 7,5 \text{ g} \\ w_{\text{Calciumfluorid}} &= 16,67 \% \\ f_{\text{Verdünnung}} &= 10 \\ n &= 12 \\ w_{\text{Calciumfluorid}} &= 78,0748 \text{ g/mol}\end{aligned}$$

gesucht: a) $m_{\text{Calciumfluorid}}$; b) Anzahl der Calciumfluorid-Moleküle

Berechnung:

a.

$$\begin{aligned} m_{\text{Calciumfluorid}} &= \frac{m_{\text{Präparat}} \cdot w_{\text{Calciumfluorid}}}{(f_{\text{Verdünnung}})^n} \\ &= \frac{7,5 \text{ g} \cdot 0,1667 \text{ g/g}}{10^{12}} \\ &= 0,00000000000125 \text{ g} \\ &= \underline{\underline{1,25 \text{ pg}}} \end{aligned}$$

b.

$$\begin{aligned} n_{\text{Calciumfluorid}} &= \frac{m_{\text{Calciumfluorid}}}{M_{\text{Calciumfluorid}}} \\ &= \frac{0,25 \text{ pg}}{78,0748 \text{ pg/pmol}} \\ &= 0,01601028757038 \text{ pmol} \\ &= 0,01601028757038 \text{ pmol} \cdot 6,022 \cdot 10^{23} \text{ Moleküle/mol} \\ &= 0,01601028757038 \text{ pmol} \cdot 6,022 \cdot 10^{11} \text{ Moleküle/pmol} \\ &= \underline{\underline{9,641 \cdot 10^9 \text{ Moleküle}}} \end{aligned}$$

Aus naturwissenschaftlicher Sicht interessant wird die Sache bei besonders stark „potenzierten“ Produkten wie manchen homöopathischen Arnikapräparaten, die in der Potenz C200 erhältlich sind. Hierfür werden die aus den Blüten der Arnika gewonnenen Ausgangssubstanzen 200 Mal um den Faktor 100 verdünnt ($f^n = 100^{200}$). Ein solch stark verdünntes Präparat enthält somit gar keinen Wirkstoff mehr.

In manchen Fällen werden bei Verdünnungsreihen unterschiedliche Verdünnungsfaktoren verwendet. Um die Konzentration einer beliebigen Verdünnung zu berechnen, teilen Sie die Konzentration der Stammlösung durch die diversen Faktoren und erhalten so das gesuchte Resultat.

$$c_{\text{Verdünnung } n} = \frac{c_{\text{Stammlösung}}}{(f_1)^{n_1} \cdot (f_2)^{n_2}}$$

Beispiel

Eine Stammlösung mit $5,624 \cdot 10^6$ Zellen/L wird in einem ersten Schritt um den Faktor 10 verdünnt. Von dieser 1. Verdünnung stellen Sie eine Verdünnungsreihe her, wobei in jedem weiteren Verdünnungsschritt um den Faktor 5 verdünnt wird. Welche Zellkonzentration hat die vierte Verdünnung?

gegeben:

$$\begin{aligned}c_{\text{Stammlösung}} &= 5,624 \cdot 10^6 \text{ Zellen/L} \\f_1 &= 10 \\f_2 &= 5 \\n_1 &= 1 \\n_2 &= 3\end{aligned}$$

gesucht:

$$c_{\text{Verdünnung 4}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}c_{\text{Verdünnung 4}} &= \frac{c_{\text{Stammlösung}}}{(f_1)^{n_1} \cdot (f_2)^{n_2}} \\&= \frac{5,624 \cdot 10^6 \text{ Zellen/L}}{10^1 \cdot 5^3} \\&= \underline{\underline{4499 \text{ Zellen/L}}}\end{aligned}$$

Manchmal wird eine Verdünnungsreihen mithilfe von Potenzen angegeben, wobei sich die Potenz von der einen Verdünnung zur nächsten um jeweils denselben Faktor ändert.

Beispiel

$$\begin{aligned}\beta_{\text{Stammlösung}} &= 10^{-2,0} \text{ g/L} \\ \beta_{\text{Verdünnung 1}} &= 10^{-2,2} \text{ g/L} \\ \beta_{\text{Verdünnung 2}} &= 10^{-2,4} \text{ g/L} \\ \beta_{\text{Verdünnung 3}} &= 10^{-2,6} \text{ g/L} \\ \beta_{\text{Verdünnung 4}} &= 10^{-2,8} \text{ g/L usw.}\end{aligned}$$

Das Verdünnungsverhältnis wird berechnet, indem die Gleichung für die Verdünnungsreihe nach dem Verdünnungsfaktor (f) aufgelöst wird:

$$\begin{aligned}\beta_{\text{Verdünnung 1}} &= \frac{\beta_{\text{Stammlösung}}}{f_{\text{Verdünnung}}} \\ f_{\text{Verdünnung}} &= \frac{\beta_{\text{Stammlösung}}}{\beta_{\text{Verdünnung 1}}}\end{aligned}$$

Für obiges Beispiel ergibt dies folgenden Verdünnungsfaktor:

$$\begin{aligned}
 f_{\text{Verdünnung}} &= \frac{\beta_{\text{Stammlösung}}}{f_{\text{Verdünnung 1}}} \\
 &= \frac{10^{-2,0} \text{ g/L}}{10^{-2,2} \text{ g/L}} \\
 &= 1,585 \\
 &= \underline{\underline{1:1,585}}
 \end{aligned}$$

Bei Anleitungen und Vorschriften zur Verdünnung von Lösungen ist es manchmal schwierig, eindeutig herauszulesen, wie genau verdünnt werden muss. Insbesondere dann, wenn der Begriff „Verdünnungsverhältnis“ verwendet wird. Was bedeutet es, wenn steht, dass eine Lösung im Verdünnungsverhältnis von 1 : 4 verdünnt werden muss? Grundsätzlich sind bei einer solchen Angabe zwei Verdünnungsvarianten möglich:

- 1 Teil Stammlösung + 4 Teile Lösungsmittel = Verdünnung 1 : 5
- Verdünnung 1 : 4 = 1 Teil Stammlösung + 3 Teile Lösungsmittel

Im ersten Fall wurde das Verhältnis angegeben, im zweiten Fall die Verdünnung. Oftmals kann man leider nur raten, welche der beiden Varianten im Einzelfall gemeint ist – oder Sie gebrauchen den gesunden Menschenverstand: Soll etwa im Verdünnungsverhältnis 1 : 9 verdünnt werden, ist mit allergrößter Wahrscheinlichkeit das Verhältnis von Stammlösung zu Lösungsmittel angegeben, das heißt 1 Teil Stammlösung + 9 Teile Lösungsmittel. Die Stammlösung muss somit um den Faktor 10 verdünnt werden, denn kaum jemand würde eine Verdünnungsreihe mit einem Verdünnungsfaktor 9 vorschreiben.

Diese sprachlichen Probleme sollten Sie umschiffen, indem Sie auf den Begriff „Verdünnungsverhältnis“ verzichten. Entsprechend wird in der Folge entweder die Verdünnung angegeben, oder die Angabe erfolgt als Summe von $n_{\text{Stammlösung}} + n_{\text{Lösungsmittel}}$ bzw. $V_{\text{Stammlösung}} + V_{\text{Lösungsmittel}}$.

Aufgaben

4.4.1* Eine 1,000 molare Stammlösung wird 5 Mal hintereinander wie folgt verdünnt: 1 Teil Stammlösung + 9 Teile Lösungsmittel. Welche Konzentration hat die letzte Verdünnung?

4.4.2* Eine Zellsuspension wird 5 Mal hintereinander im Verhältnis 1 Teil Zellsuspension + 4 Teile physiologische Kochsalzlösung verdünnt. Die letzte Verdünnung enthält noch 35 Zellen/mL. Welche Zellenkonzentration hat die Stammlösung?

4.4.3* Eine Natriumacetatlösung ($\text{H}_3\text{C}-\text{COO}^- \text{Na}^+$, $c = 0,2000 \text{ mol/L}$) wird 4 Mal hintereinander so verdünnt, dass 5 Teile der Verdünnung jeweils 2 Tei-

le Natriumacetatlösung enthalten. Wie groß ist die Acetat-Massenkonzentration ($\text{H}_3\text{C}-\text{COO}^-$) in mg/L in der letzten Lösung?

4.4.4** Sie sollen eine 1,000 molare Traubenzucker-Stammlösung ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) mit destilliertem Wasser so verdünnen, dass die Konzentration in der zweiten Verdünnung noch 2,000 g Traubenzucker pro Liter beträgt. Welchen Verdünnungsfaktor müssen Sie wählen?

4.4.5** Nach 6-maliger Verdünnung einer Bakteriensuspension in den Mischungsanteilen 1 + 9 werden in vier Wiederholungen jeweils 0,1000 mL der Suspension auf einer Petrischale ausplattiert und folgende Anzahl Kolonien pro Platte gezählt: 38, 28, 30, 41. Wie viele Bakterien sind in 1,000 mL der unverdünnten Suspension enthalten?

4.4.6** Eine Virensuspension soll in einer geometrischen Verdünnungsreihe verdünnt werden. Das Volumen der Verdünnungen soll jeweils 20,00 mL betragen. Wie groß ist das jeweilige Übertragungsvolumen, wenn die folgenden Virenkonzentrationen erreicht werden sollen?

$$\text{Stammlösung} = 10^{4,0} \text{ Viren/mL}$$

$$\text{Verdünnung 1} = 10^{3,5} \text{ Viren/mL}$$

$$\text{Verdünnung 2} = 10^{3,0} \text{ Viren/mL}$$

$$\text{Verdünnung 3} = 10^{2,5} \text{ Viren/mL}$$

4.4.7* Eine HAMS-F12-Lösung mit 10,00 mmol/L HEPES (4-[2-Hydroxyethyl]-1-piperazin-ethansulfonsäure, Puffer für Zellkulturen) wird 5 Mal hintereinander mit Glucoselösung ($c = 100,0 \mu\text{mol/L}$) verdünnt, sodass auf 1 Teil HAMS-F12-Lösung 4 Teile Glucoselösung kommen. Welche HEPES-Stoffmengenkonzentration ($\mu\text{mol/L}$) hat die letzte Verdünnung?

4.4.8* Von einer Virensuspension mit einer Virenkonzentration von $9,821 \cdot 10^{12}$ Viren/L soll eine Verdünnungsreihe hergestellt werden. Hierzu füllen Sie 10 Mal hintereinander jeweils 2,500 mL Suspension mit Wasser auf 20,00 mL auf. Wie groß ist die Virenkonzentration (Viren/L) in der zehnten Verdünnung?

4.4.9* Ein pulverförmiges Fungizid mit einem Wirkstoff-Massenanteil von 18,39 g/kg soll mit Kalksteinmehl um den Faktor 8 verdünnt werden.

- Wie viele Kilogramm Fungizid müssen Sie mit wie vielen Kilogramm Kalksteinmehl mischen, um 150,0 kg einsatzfähiges Präparat mit dem gewünschten Wirkstoff-Massenanteil zu erhalten?
- Wie viele Gramm Wirkstoff sind in 150,0 kg einsatzfähigem Präparat enthalten?

4.4.10* Sie verdünnen eine Blutprobe fünf Mal hintereinander so, dass jeweils 1 Teil Blut mit 4 Teilen Lösungsmittel gemischt werden. In der letzten Verdünnung ermitteln Sie eine Erythrocytenkonzentration von 37 Zellen/mL. Wie hoch ist die ursprüngliche Erythrocytenkonzentration (Zellen/mL) im Blut?

4.4.11* 100,0 mL einer Antibiotikumlösung mit einem Massenanteil von 25,00 mg/L sollen 3 Mal hintereinander verdünnt werden, indem jeweils 1 Teil Lösung mit 19 Teilen Lösungsmittel gemischt wird. Wie hoch ist die Massenkonzentration des Antibiotikums in der dritten Verdünnung?

4.4.12** Eine Stammlösung mit der Stoffmengenkonzentration von 10,00 mmol/L ist in einer geometrischen Verdünnungsreihe zu verdünnen. Das Restvolumen nach Entnahme des Übertragungsvolumens soll jeweils 10,00 mL betragen. Wie viele Milliliter beträgt das Übertragungsvolumen (V_x), wenn die Verdünnungen folgende Stoffmengenkonzentrationen aufweisen müssen?

$$c_{\text{Verdünnung 1}} = 10^{-2,3} \text{ mol/L}$$

$$c_{\text{Verdünnung 2}} = 10^{-2,6} \text{ mol/L}$$

$$c_{\text{Verdünnung 3}} = 10^{-2,9} \text{ mol/L}$$

usw.

4.4.13** Eine Na_2HPO_4 -Lösung ($c_{\text{Natriumphosphat}} = 24,30 \text{ mmol/L}$) wird 5 Mal hintereinander im Verhältnis 1 Teil Lösung + 0,5 Teile Wasser verdünnt. Welche Na-Massenkonzentration (mg/L) hat die fünfte Verdünnung?

4.4.14** Sie geben 1,000 g einer Bodenprobe in einen Erlenmeyerkolben, füllen diesen mit Wasser auf 50,00 mL auf und schlämmen die Probe darin homogen auf. Anschließend verdünnen Sie die Probe mittels einer Verdünnungsreihe, indem Sie 5 Mal jeweils 2,000 mL in ein neues Reagenzglas übertragen und auf 10,00 mL auffüllen. Von der letzten Verdünnung plattieren Sie 1,000 mL auf ein Vollmedium aus, inkubieren für 48 h bei 25 °C und zählen die in der Petrischale ($\varnothing = 12,00 \text{ cm}$) gewachsenen Kolonien. Sie ermitteln dabei 37 Kolonien. Wie viele Bakterien sind in 1,000 g Bodenprobe enthalten?

4.4.15** Eine Zellsuspension ($c = 3,264 \cdot 10^6 \text{ Zellen/L}$) soll nacheinander wie folgt verdünnt werden:

1:10 (Verdünnung 1 = 1 Teil Suspension + 9 Teile Nährmedium)

1:8 (Verdünnung 2 = 1 Teil der Verdünnung 1 + 7 Teile Nährmedium)

2:5 (Verdünnung 3 = 2 Teile der Verdünnung 2 + 3 Teile Nährmedium)

Wie groß ist die Zellkonzentration (Zellen/L) in der dritten Verdünnung?

4.4.16** Eine Acetylcholin-Stammlösung ($M_{\text{Acetylcholin}} = 146,0 \text{ g/mol}$) mit einer Massenkonzentration $\beta_{\text{Acetylcholin}} = 1,000 \text{ mg/mL}$ wird in drei Schritten verdünnt:

1. Schritt: 1,000 mL Stammlösung auf 10,00 mL auffüllen.
2. Schritt: 1,000 mL der Verdünnung 1 auf 5,00 mL auffüllen.
3. Schritt: 1,000 mL der Verdünnung 2 auf 250 mL auffüllen.

Welche Stoffmengenkonzentration $c_{\text{Acetylcholin}}$ besitzt die letzte Verdünnung?

4.4.17** Sie verdünnen eine Bakteriensuspension in einer geometrischen Verdünnungsreihe, indem Sie jeweils 2,000 mL Suspension mit destilliertem Wasser auf 25,00 mL auffüllen. Von der Verdünnung 5 plattieren Sie 1,000 mL auf eine Blutagar-Platte aus, inkubieren diese für 24 h bei 37°C und zählen dann 42 Bakterienkolonien. Wie groß ist die Bakterienkonzentration (Bakterien/L) in der Stammlösung?

4.4.18*** 5,000 mL von der Substanzlösung A mit der Massenkonzentration von $15,00 \text{ mg/mL}$ werden mit 15,00 mL Substanzlösung B mit einem Massenanteil von $w = 0,03 \text{ g/g}$ und $\rho = 1,161 \text{ g/mL}$ gemischt. Die entstandene Mischung wird nacheinander 1 : 5, 1 : 8 und 2 : 5 verdünnt. Wie viele Mikrogramm Substanz A und Substanz B sind in 1,000 mL der letzten Verdünnung enthalten?

4.4.19*** Ein Laborant hat 1 Volumenteil Stammlösung + 5 Volumenteil Wasser verdünnt. Gemäß Arbeitsvorschrift hätte er aber die Stammlösung um den Faktor 5 mit Wasser verdünnen müssen. Wie viele Volumenteil der unsachgemäß hergestellten Lösung müssen nun zu 1 Volumenteil Stammlösung geben werden, damit eine Verdünnung mit der verlangten Konzentration entsteht?

4.4.20** Sie mischen 50,00 mL einer Sporensuspension ($c_1 = 4,541 \cdot 10^6$ Sporen/L) mit 80,00 mL einer zweiten Sporensuspension ($c_2 = 3,950 \cdot 10^5$ Sporen/L). Anschließend verdünnen Sie die Mischung in einer Verdünnungsreihe, indem Sie jeweils 1,000 mL Suspension auf 20,00 mL auffüllen. Wie groß ist die Sporenkonzentration in der dritten Verdünnung?

4.4.21** Eine Zählkammer weist Quadrate von 0,05 mm Seitenlänge und 0,10 mm Tiefe auf. Zur Bestimmung der Erythrozytenzahl wird Blut mit Hayem'scher-Lösung im Verhältnis 1:200 verdünnt. Pro Quadrat werden durchschnittlich 6,5 Erythrozyten gezählt. Wie viele Erythrozyten enthält 1,000 μL unverdünntes Blut?

4.4.22*** Einem Hund ($m = 14,80 \text{ kg}$) soll während 2 h ein Wirkstoff mit der Gesamtdosis von $150,0 \text{ mg/kg}$ infundiert werden. Der Wirkstoff ist in einer Lösung mit der Massenkonzentration $\beta = 50,00 \text{ g/L}$ vorhanden. Welches Verdünnungsverhältnis wird benötigt, wenn die Infusionsgeschwindigkeit $30,00 \text{ mL/h}$ beträgt?

4.4.23*** In einem Versuch sollen Ratten mit dem antibiotisch wirkenden Streptomycin ($M_{\text{Streptomycin}} = 580,591 \text{ g/mol}$) gegen eine neu entdeckte, gramnegative Bakterienart behandelt werden. Streptomycin wird vom Hersteller in $5,000\text{-mL}$ -Ampullen ($c_{\text{Streptomycin}} = 5,000 \text{ mmol/L}$) geliefert. Sie verdünnen die Stammlösung zunächst in einer Verdünnungsreihe. Dazu füllen Sie $4,000 \text{ mL}$ Streptomycin-Stammlösung mit physiologischer Kochsalzlösung auf $20,00 \text{ mL}$ auf. Für die weiteren Verdünnungen übertragen Sie jeweils ebenfalls $4,000 \text{ mL}$ aus der vorhergehenden Verdünnung und füllen anschließend mit Kochsalzlösung erneut auf $20,00 \text{ mL}$ auf. Von der sechsten Verdünnung sollen Sie einer $1,152 \text{ kg}$ schweren Ratte so viel verdünnte Streptomycin-Lösung intravenös in die Schwanzvene applizieren, dass das Tier $2,500 \mu\text{g}$ Streptomycin pro kg Körpergewicht erhält. Wie viele Milliliter müssen Sie dem Tier spritzen?

4.4.24*** Eine Stammlösung ($\beta_{\text{Wirkstoff}} = 50,00 \text{ g/L}$) ist in einer geometrischen Verdünnungsreihe so zu verdünnen, dass die Wirksubstanz-Massenkonzentration der zweiten Verdünnung $8,000 \text{ g/L}$ beträgt.

Wie viele Milliliter beträgt das Übertragungsvolumen V_x , das von Reagenzglas zu Reagenzglas übertragen werden muss, wenn pro Verdünnungsstufe $15,00 \text{ mL}$ Wasser vorgelegt werden?

5.1 Massenanteile

Im Laboralltag interessieren oft nicht nur die Massenanteile von ganzen Molekülen oder Ionen. In vielen Fällen muss man wissen, wie groß β bestimmter Teile von Molekülen oder sogar nur einzelner Elemente ist.

Beispiel Nitratstickstoff

Nitrat (NO_3^-) ist ein wichtiger Pflanzenwuchsstoff. Dieser Stoff ist sowohl im Boden als auch in Seen, Flüssen, Bächen und im Grundwasser in unterschiedlichen Konzentrationen vorhanden. Durch die Bestimmung des Nitratgehaltes lassen sich – zusammen mit Mengenangaben weiterer Stoffe – oft Aussagen über die Boden- oder Gewässerqualität machen.

In der Schweizer Gewässerschutzverordnung sind deshalb die maximal zulässigen Nitratwerte tabelliert (Tab. 5.1). So z. B. in folgendem Auszug aus § 12:

§ 12 Zusätzliche Anforderungen an Fließgewässer

1. Die Wasserqualität muss so beschaffen sein, dass:
 - b. die Nitrit- und Ammoniak-Konzentrationen die Fortpflanzung und Entwicklung empfindlicher Organismen, wie Salmoniden, nicht beeinträchtigen.
5. Die nachfolgenden numerischen Anforderungen gelten bei jeder Wasserführung nach weitgehender Durchmischung des eingeleiteten Abwassers im Gewässer; besondere natürliche Verhältnisse wie Wasserzufluss aus Moorgebieten, seltene Hochwasserspitzen oder seltene Niederwasserereignisse bleiben vorbehalten.

Tab. 5.1 Stickstoff-Grenzwerte gemäß Schweizer Gewässerschutzverordnung

Nr.	Parameter	Anforderungen
3	Ammonium (Summe von $\text{NH}_4^+\text{-N}$ und $\text{NH}_3\text{-N}$)	Bei Temperaturen: – über $10\text{ }^\circ\text{C}$: $0,2\text{ mg/L N}$ – unter $10\text{ }^\circ\text{C}$: $0,4\text{ mg/L N}$
4	Nitrat ($\text{NO}_3^- \text{-N}$)	Für Fließgewässer, die der Trinkwassernutzung dienen: $5,6\text{ mg/L N}$

Wie dieser Tabelle zu entnehmen ist, wird hier allerdings nicht der Ammonium- bzw. Nitratgehalt angegeben, sondern der Massenanteil des Ammonium- und Nitrat-Stickstoffs. Bestimmt man nun aber bei einer Wasseranalyse den Massenanteil des Nitrates, so muss dieser Wert in den Massenanteil des Nitrat-Stickstoffs umgerechnet werden, um einen Vergleich mit der Gewässerschutzverordnung zu ermöglichen.

Wie gehen Sie dabei vor?

- Zunächst müssen Sie die Zusammensetzung von Nitrat (NO_3^-) kennen: Jedes Nitrat-Ion setzt sich zusammen aus einem Stickstoff- und drei Sauerstoffatomen (sowie einem zusätzlichen, bei der Berechnung allerdings aufgrund der minimalen Masse vernachlässigbaren Elektron).
- Nun berechnen Sie die molare Masse des Nitrats:

$$\begin{aligned} M_{\text{Nitrat}} &= 1 \cdot M_{\text{N}} + 3 \cdot M_{\text{O}} \\ &= 1 \cdot 14,0067\text{ g/mol} + 3 \cdot 15,9994\text{ g/mol} \\ &= 62,0049\text{ g/mol} \end{aligned}$$

- Der Massenanteil w_{N} des Stickstoffs am Nitrat beträgt:

$$\begin{aligned} w_{\text{N pro Nitrat}} &= \frac{M_{\text{N}}}{M_{\text{Nitrat}}} \\ &= \frac{14,0067\text{ g/mol}}{62,0049\text{ g/mol}} \\ &= \underline{\underline{22,59\%}} \end{aligned}$$

Kennt man die Nitrat-Massenkonzentrationen (z. B. $\beta_{\text{Nitrat}} = 25,00\text{ mg/L}$) einer Wasserprobe, so wird die entsprechende Massenkonzentration des Stickstoffs (β_{N}) wie folgt bestimmt:

$$\begin{aligned} \beta_{\text{N}} &= w_{\text{N}} \cdot \beta_{\text{Nitrat}} \\ &= 22,59\% \cdot 25,00\text{ mg/L} \\ &= \underline{\underline{5,647\text{ g/L}}} \end{aligned}$$

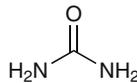
Um den Massenanteil eines Elements in einer Verbindung zu bestimmen, teilen Sie das Produkt aus der Anzahl Atome und der Molmasse ($n_{\text{Element}} \cdot M_{\text{Element}}$) dieses Elements durch die Molmasse des Gesamtmoleküls ($M_{\text{Molekül}}$).

$$w_{\text{Element pro Molekül}} = \frac{n_{\text{Element}} \cdot M_{\text{Element}}}{M_{\text{Molekül}}}$$

Aufgaben

5.1.1* Wie viele Gramm Sauerstoff (O) sind in 50,00 g Traubenzucker (Glucose, $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) enthalten?

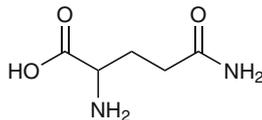
5.1.2* In einer Urinprobe bestimmen Sie einen Harnstoffgehalt von 8,271 g/400,0 mL. Wie viele Gramm Harnstickstoff scheidet diese Person pro Liter Urin aus?



Harnstoff

5.1.3* Sie sollen für einen Düngerversuch eine Nitratlösung (NO_3^-) mit einer Nitrat-Massenkonzentration von 500,0 mg/L herstellen. Sie haben im Labor Nitrat in Form von Kaliumnitrat (KNO_3) vorliegen. Wie viele Gramm Kaliumnitrat müssen Sie für 200,0 L Düngelösung einwiegen?

5.1.4* Glutamin ist ein Bestandteil vieler Proteine. Wie groß ist der prozentuale Massenanteil des Stickstoffs in der Aminosäure Glutamin?



Glutamin

5.1.5* Im Rotsee bei Luzern (Schweiz) wurde eine Stickstoff-Massenkonzentration von $\beta_{\text{N}} = 660,0$ mg Stickstoff pro Kubikmeter gemessen. Wie hoch war die Nitrat-Massenkonzentration, wenn der gemessene Stickstoff zu gleichen Teilen (Anzahl) als Nitrat (NO_3^-) bzw. Ammonium (NH_4^+) vorlag?

5.1.6** Chlorophyll b hat eine Molmasse von 895,475 g/mol. Sie bestimmen den Sauerstoff- und Stickstoffgehalt von Chlorophyll b:

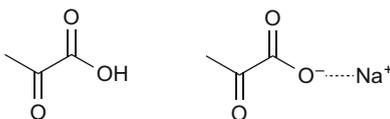
$$w_{\text{O}} = 8,966 \%$$

$$w_{\text{N}} = 6,257 \%$$

Wie viele Sauerstoff- bzw. Stickstoffatome enthält ein Chlorophyll-b-Molekül?

5.1.7** Eine Erythrocyte wiegt durchschnittlich 10^{-10} g. Ein Drittel ihrer Masse ist Hämoglobin, dessen Eisen-Massenanteil $w_{\text{Fe}} = 3,000$ g/kg beträgt. Wie viele Fe-Atome enthält eine Erythrocyte im Mittel?

5.1.8** Ein Medium zur Kultur von Kardiocyten (Herzzellen) soll 0,1761 g Brenztraubensäure pro Liter enthalten. Sie besitzen in Ihrem Labor anstelle reiner Brenztraubensäure nur das Natriumsalz der konjugierten Base der Brenztraubensäure (Natriumpyruvat). Wie viele Milligramm Natriumpyruvat müssen Sie für 2,500 L Nährmedium einwiegen?

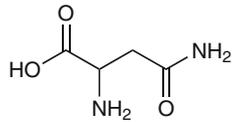


Brenztraubensäure und Natriumpyruvat

5.1.9** Sie sollen in einem Pflanzennährmedium die Ammonium-Massenkonzentration (NH_4^+) bestimmen. Sie entnehmen dem Flüssigmedium 50,00 mL und füllen mit destilliertem Wasser auf 1,000 L auf. In einer Probe dieser verdünnten Lösung bestimmen Sie eine Stickstoff-Massenkonzentration von 309,8 $\mu\text{g/L}$. Wie hoch ist die Ammonium-Massenkonzentration im unverdünnten Medium, wenn 93,88 % des gemessenen Stickstoffs als Ammonium vorliegt?

5.1.10** Eine rote Blutzelle (Erythrocyte) enthält durchschnittlich 29,98 pg Hämoglobin. In $1,000 \text{ mm}^3$ Blut hat es $5,011 \cdot 10^6$ Erythrocyten ($1 \text{ pg} = 10^{-12} \text{ g}$). Wie viele Gramm Eisen sind in den 5,213 Liter Blut eines erwachsenen Mannes enthalten, wenn der Massenanteil an Eisen im Hämoglobin 0,3470 % beträgt?

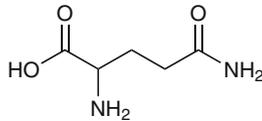
5.1.11** Ein Nährmedium zur Zucht von *Pseudomonas aeruginosa* enthält als einzige Stickstoffquelle Asparagin ($C_4H_8N_2O_3$). Sie bestimmen im Medium einen Stickstoffgehalt von 84,51 mg/L. Wie viele Milligramm Asparagin enthält das Medium pro Liter?



Asparagin

5.1.12** Man weiß, dass in einem Antibiotikum als einzige stickstoffhaltige Verbindung die Wirksubstanz Cycloserin ($C_3H_6N_2O_2$) vorkommt. Eine analytische Stickstoffbestimmung des Antibiotikums ergab einen Stickstoffgehalt von 8,000 mg/mL. Wie viele Gramm Cycloserin enthält das Antibiotikum pro Liter?

5.1.13** Ein Stärkungsmittel enthält neben anderen, nicht stickstoffhaltigen Substanzen die Aminosäure Glutamin. Bei der Analyse dieses Gemischs betrug der Stickstoff-Massenanteil $w_N = 0,036$ g/g. Wie viele Gramm Glutamin sind in 100,0 g des Stärkungsmittels enthalten?



Glutamin

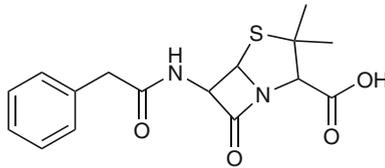
5.1.14** Eine Mischung aus Glucose ($C_6H_{12}O_6$) und Phenacetin ($C_{10}H_{13}NO_2$) ergab bei der Analyse einen Stickstoffgehalt von $w_N = 0,03900$ g/g. Wie viele Gramm Glucose sind in 100,0 g des Gemischs enthalten?

5.1.15** In einem Pflanzenwachstumsversuch erhielten Sie aus einer Tabakpflanze 7,500 g Trockenmaterial. Davon waren 17,20 % Pflanzenasche, welche 7,400 % MgO enthielt. Wie viele Milligramm Magnesium hatte die Pflanze aufgenommen?

5.1.16** 12,00 L einer Eisen(II)-hydrogenphosphat-Lösung ($FeHPO_4$) mit einer Massenkonzentration von 24,00 g/L werden mit 25,00 L Eisenhydroxid-Lösung ($Fe(OH)_3$) mit einer Massenkonzentration von 6,000 g/L gemischt. Welche Eisen-Stoffmengenkonzentration (mmol/L) hat das Gemisch?

5.1.17** Sie sollen in einem tablettenförmigen Medikament den Penicillingehalt bestimmen. Hierzu zerstoßen Sie 20 Tabletten zu je 8,520 g mit einem Mörser und bestimmen den Schwefelgehalt des Pulvers. Gemäß Analyseergebnis

enthält das untersuchte Pulver insgesamt 89,51 mg Schwefel. Wie groß ist der prozentuale Massenanteil des Penicillins in den Tabletten?



Penicillin

5.1.18** Die „Allgemeine Gewässerschutzverordnung der Schweiz“ schreibt aufgrund der bewirtschafteten Fläche die maximal zulässige Anzahl Nutztiere vor, weil der von ihnen ausgeschiedenen und als Mist oder Jauche ausgebrachte Stickstoff (N) bzw. Phosphor (P) in einem ausgewogenen Verhältnis zur bewirtschafteten Fläche stehen muss. In diesem Zusammenhang wurde der Begriff „Düngergrößenveinheit“ (DGVE) definiert. Es handelt sich dabei um einen Wert, der angibt, wie viel N bzw. P eine „standardisierte Kuh“ durchschnittlich ausscheidet. Mittels eines weiteren Umrechnungsfaktors können dann auch die entsprechenden Werte für andere Nutztiere ermittelt werden. Die Gewässerschutzverordnung gibt in Art. 32a für eine DGVE 105 kg N und 15 kg P an. Welchen Ammonium- (NH_4^+) bzw. Phosphatmengen (PO_4^{3-}) entspricht eine solche DGVE?

5.1.19*** Sie geben 12,55 mg MgSO_4 und 83,41 mg K_2SO_4 in einen Messkolben und füllen diesen mit H_2O auf 500,0 mL auf. 20,00 mL werden dieser Mischung entnommen und erneut mit H_2O auf 500,0 mL aufgefüllt. Wie groß ist die Sulfat (SO_4^-)-Massenkonzentration?

5.2 Kristallwasser

Manchmal macht bei der Berechnung von Massenanteilen in Verbindungen, aber auch bei der Herstellung von Lösungen, die Tatsache Schwierigkeiten, dass gewisse Salze in ihrer Kristallstruktur Wasser einlagern. Dieses Wasser bezeichnet man als „Kristallwasser“. Es ist bei der Berechnung der Molmassen bzw. der Massenanteile einzelner Bestandteile dieser Salze zu berücksichtigen. Insbesondere beim Lösen solcher Salze in Wasser müssen Sie beachten, dass sie bereits einen oftmals beträchtlichen Anteil Wasser enthalten!

Beispiel Calciumsulfat

Calciumsulfat kann in drei unterschiedlichen Formen vorliegen, die sich in ihrem Wassergehalt unterscheiden:

- Anhydrit (CaSO_4), wasserfreies Calciumsulfat
- Basanit ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$)
- Gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$)

Molmasse von Gips:

$$\begin{aligned}
 M_{\text{Gips}} &= M_{\text{Calciumsulfat}} + 2 \cdot M_{\text{Wasser}} \\
 &= (1 \cdot M_{\text{Ca}} + 1 \cdot M_{\text{S}} + 4 \cdot M_{\text{O}}) \\
 &\quad + 2 \cdot (2 \cdot M_{\text{H}} + 1 \cdot M_{\text{O}}) \\
 &= 40,08 \text{ g/mol} + 32,06 \text{ g/mol} + 4 \cdot 15,9994 \text{ g/mol} \\
 &\quad + 2 \cdot (2 \cdot 1,0079 \text{ g/mol} + 15,9994 \text{ g/mol}) \\
 &= \underline{\underline{172,168 \text{ g/mol}}}
 \end{aligned}$$

Der in der Bauindustrie verwendete Schnellbindegips wird gemahlen und auf 120°C erhitzt. Dadurch verliert er einen Teil des Wassers und es bildet sich Basanit, auch als Stuckaturgips bekannt ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$). Die Molmasse von Basanit beträgt $145,1452 \text{ g/mol}$. Wasserfreier Gips (Anhydrit; *anhydrisch* = ohne Wasser) hat durch das fehlende Wasser mit $136,1376 \text{ g/mol}$ eine noch etwas geringere Molmasse.

Um den Massenanteil des reinen Salzes in einer kristallwasserhaltigen Form zu berechnen, dividieren Sie die Molmasse des Reinstoffs durch die Gesamt molmasse (inklusive Kristallwasser):

$$w_{\text{wasserfreies Salz}} = \frac{M_{\text{Salz ohne Kristallwasser}}}{M_{\text{Salz mit Kristallwasser}}}$$

Beispiel

Wie groß ist der Massenanteil des Wassers (w_{Wasser}) in Zinksulfat-Heptahydrat ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$)?

gegeben:

$$\begin{aligned}
 M_{\text{Zinksulfat}} &= 287,53898 \text{ g/mol} \\
 M_{\text{Wasser}} &= 18,01534 \text{ g/mol}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$w_{\text{Wasser}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 w_{\text{Wasser}} &= \frac{7 \cdot M_{\text{Wasser}}}{M_{\text{Zinksulfat-Heptahydrat}}} \\
 &= \frac{7 \cdot 18,01534 \text{ g/mol}}{287,53898 \text{ g/mol}} \\
 &= 0,4386 \text{ g/g} \\
 &= \underline{\underline{43,86 \%}}
 \end{aligned}$$

Aufgaben

5.2.1* 128,0 g Cobaltsulfat-Heptahydrat $\text{CoSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ werden in 525,0 g Wasser gelöst. Wie groß ist der prozentuale Massenanteil des Cobaltsulfats?

5.2.2* Es sind 2,000 L einer Trinatriumcitratlösung in der Stoffmengenkonzentration $c_{\text{Trinatriumcitrat}} = 500,0 \text{ mmol/L}$ herzustellen. Zur Verfügung steht Trinatriumcitrat-Dihydrat $\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7\text{Na}_3 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$. Wie viele Gramm Trinatriumcitrat-Dihydrat sind einzuwiegen?

5.2.3* Es ist eine CaCl_2 -Lösung mit der Stoffmengenkonzentration $c_{\text{Calciumchlorid}} = 2,000 \text{ mol/L}$ herzustellen. Zur Verfügung steht $\text{CaCl}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$. Wie viele Gramm $\text{CaCl}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ sind einzuwiegen, wenn 5,000 L CaCl_2 -Lösung mit der vorgeschriebenen Stoffmengenkonzentration benötigt werden?

5.2.4* Sie müssen 20,00 mL MgCl_2 -Lösung mit einer Stoffmengenkonzentration $c_{\text{Magnesiumchlorid}} = 120,0 \text{ mmol/L}$ herstellen. Wie viele Milligramm $\text{MgCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ sind zur Herstellung dieser Lösung einzuwiegen?

5.2.5* 1,000 L Stammlösung soll 100,0 mg Eisen enthalten. Zur Verfügung steht die Substanz $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$. Wie viele Gramm dieser Substanz sind einzuwiegen?

5.2.6** Bei einem Applikationsvolumen von 1,000 mL/kg hemmt Atropin ($\text{C}_{17}\text{H}_{23}\text{NO}_3$) in der Dosierung von $0,5000 \mu\text{mol/kg}$ die Wirkung von Acetylcholin. Nun sollen 50,00 mL Atropin-Hemmlösung hergestellt werden. Als Reinsubstanz steht Atropinsulfat-Monohydrat $(\text{C}_{17}\text{H}_{23}\text{NO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ zur Verfügung. Wie viele Milligramm Atropinsulfat-Monohydrat werden benötigt?

5.2.7** 9,550 g $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ werden in einen 250,0 mL Messkolben gegeben und mit destilliertem Wasser auf die Strichmarke eingestellt. Wie groß ist die Natrium-Massenkonzentration (β_{N}) dieser Lösung?

5.2.8** Das Nervengift Atropin ($\text{C}_{17}\text{H}_{23}\text{NO}_3$) ist ein Acetylcholinhemmer. Einem 2,3 kg schweren Hund müssen für eine ausreichende Wirkung $1,150 \mu\text{mol}$ Atropin intravenös appliziert werden. Sie sollen nun 50,00 mL Atropin-Stamm-

lösung herstellen, in der die benötigten $1,150 \mu\text{mol}$ Atropin gelöst sind. Wie viele Milligramm Atropinsulfat-Monohydrat $(\text{C}_{17}\text{H}_{23}\text{NO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ müssen Sie einwiegen?

5.2.9** Im Trockenschrank verlieren $7,380 \text{ g}$ kristallwasserhaltiges Aluminiumsulfat $3,590 \text{ g}$ Kristallwasser (kristallwasserhaltiges Aluminiumsulfat = $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot x \text{ H}_2\text{O}$). Wie viele Wassermoleküle (x) sind pro Aluminiumsulfat im kristallwasserhaltigen Salz enthalten?

5.2.10** $15,00 \text{ g}$ kristallines Soda ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot x \text{ H}_2\text{O}$) verloren bei der Kristallwasserbestimmung $9,450 \text{ g}$ Wasser. Wie viele Wassermoleküle (x) sind pro Natriumcarbonat in kristallinem Soda enthalten?

5.2.11*** $500,0 \text{ g}$ Zinksulfatlösung mit einem Massenanteil $w_{\text{Zinksulfat}} = 2,000 \%$ sollen durch Zugabe von $\text{ZnSO}_4 \cdot 7 \text{ H}_2\text{O}$ auf einen Massenanteil $w_{\text{Zinksulfat}} = 6,000 \%$ gebracht werden. Wie viele Gramm $\text{ZnSO}_4 \cdot 7 \text{ H}_2\text{O}$ müssen zugegeben werden?

5.2.12*** Eine Magnesiumaspartatlösung soll die gleiche Massenkonzentration Magnesium (β_{Mg}) enthalten wie eine MgCl_2 -Lösung mit der Massenkonzentration von $2,800 \text{ g/L}$. Wie viele Gramm Magnesiumaspartat $\text{C}_8\text{H}_{12}\text{N}_2\text{O}_8\text{Mg} \cdot 4 \text{ H}_2\text{O}$ müssen für die Herstellung von $1,000 \text{ L}$ der verlangten Lösung abgewogen werden?

5.2.13*** $160,0 \text{ g}$ einer Natriumcitrat-Lösung mit $w_{\text{Natriumcitrat}} = 3,200 \%$ werden durch Zugabe von kristallinem Natriumcitrat $\text{C}_6\text{H}_5\text{Na}_3\text{O}_7 \cdot 5\frac{1}{2} \text{ H}_2\text{O}$ auf $w_{\text{Natriumcitrat}} = 3,500 \%$ gestellt. Wie viele Milligramm kristallines Natriumcitrat werden zusätzlich benötigt?

5.2.14*** Ein zur Herstellung von Tabletten bestimmtes Gemisch aus Glutamin $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{N}_2\text{O}_3$ und Methylamphetamin $\text{C}_{10}\text{H}_{15}\text{N}$ ergab bei der Analyse einen Stickstoff-Massenanteil $w_{\text{N}} = 0,1673 \text{ g/g}$. Wie viele Gramm Glutamin und wie viele Gramm Methylamphetamin sind in $100,0 \text{ g}$ Gemisch enthalten?

Lösen Sie nun auch die Aufgaben 4.3.23. bis 4.3.26.

6.1 Licht und Farben

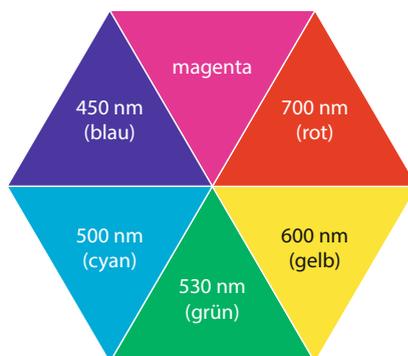
Aufgrund des Baus und der Funktion des menschlichen Auges setzen sich alle für uns sichtbaren Farben aus den drei Grundfarben Blau, Grün und Rot zusammen (Abb. 6.1).

Weißes Licht ist eine bestimmte Mischung aller Farben zwischen etwa 400 und 750 nm Wellenlänge. Das heißt, hierbei werden alle drei Sorten von Farbsehzellen (Stäbchen) auf der Netzhaut in einem bestimmten Verhältnis erregt, sodass der Eindruck von weißem Licht entsteht. Weiß lässt sich deshalb durch additive Mischung der drei Grundfarben Blau, Grün und Rot erreichen oder aber auch, indem man zwei komplementäre Lichtfarben mischt

Komplementäre Farben sind solche, die sich im Farbkreis gegenüber stehen. Beispiele für komplementäre Farben sind:

- Rot und Cyan
- Grün und Magenta
- Blau und Gelb

Abb. 6.1 Farbkreis mit den drei Grundfarben und drei Zwischenfarben



Absorbiert ein Farbstoff aus weißem Licht eine Farbe, so sieht unser Auge das restliche, reflektierte Licht in der Komplementärfarbe.

Beispiel

Absorbiert ein Farbstoff aus dem weißen Sonnenlicht den blauen Bereich, so werden alle restlichen Farben reflektiert. Es sind dies: Cyan, Grün, Gelb und Rot.

Unser Auge reagiert jedoch nur auf die beiden verbleibenden Grundfarben Grün und Rot. Das heißt, in der Netzhaut werden die Sehzäpfchen gereizt, die auf rotes bzw. grünes Licht reagieren. Sie senden Nervensignale zum Hirn, wo die Kombination der ankommenden Reize als Gelb interpretiert wird.

Allgemein gilt: Werden zwei Typen von Farbsinneszellen in der Netzhaut gleich stark gereizt, so entsteht der Farbeindruck, der im Farbkreis zwischen den Grundfarben liegt.

- Wenn die rot codierenden und die blau codierenden Zäpfchen etwa gleich stark gereizt werden, so entsteht der Farbeindruck Magenta.
- Werden blau und grün codierende Zäpfchen gereizt, so nehmen wir dies als Cyan wahr.

Unser Auge kann nicht zwischen spektralreinen Farben und Farbgemischen unterscheiden. Erst das Spektroskop oder das Spektrofotometer gibt Aufschluss.

6.1.1 Additive Farbmischung/Lichtfarben

Mischt man farbige Lichter, so entstehen andere Farben, als wir dies etwa vom Mischen von Wasser- oder anderen Malfarben kennen (Tab. 6.1).

Bei verschiedenen Lampen nutzt man die additiven Farbmischungen zur Erzeugung von farbigem oder weißem Licht mit unterschiedlichen Farbcharakteristika:

- Leuchtstoff- oder Fluoreszenzlampen
- Halogenlampen
- weiße LEDs
- Metaldampflampen

Tab. 6.1 Additive Farbmischung

Gemischte Farben			Resultat
Rot	Grün	Blau	⇒ Weiß
Zwei Komplementärfarben			⇒ Weiß
Rot	Grün		⇒ Gelb (<i>yellow</i>)
	Grün	Blau	⇒ Türkis (<i>cyan</i>)
Rot		Blau	⇒ Purpur (<i>magenta</i>)

Tab. 6.2 Subtraktive Farbmischung

Absorbierte Farben			Resultat
Rot	Grün	Blau	⇒ Schwarz
Zwei Komplementärfarben			⇒ Schwarz
Gelb	Türkis		⇒ Grün
	Türkis	Purpur	⇒ Blau
Gelb		Purpur	⇒ rot

6.1.2 Subtraktive Farbmischung/Körperfarben

Farbige Körper senden normalerweise selbst kein eigenes Licht aus, vielmehr reflektieren sie Licht, das auf sie einstrahlt (Tab. 6.2). Dabei wird oft nur ein Teil des gesamten auf den Körper auftreffenden Lichtes reflektiert. Der Rest wird absorbiert und erwärmt den Körper.

Beispiel

Ein gelber Körper reflektiert nur die Lichtfarben Rot und Grün, während Blau absorbiert wird. Die beiden reflektierten Farben Rot und Grün werden von unserem Auge als Gelb interpretiert. Anwendungen dieser subtraktiven Farbmischung sind:

- hintereinander geschaltete Farbfilter bei Scheinwerfern
- Dias
- Farbstoffgemische
- übereinander gedruckte, lasierte Farbschichten beim Vierfarbendruck (Tintenstrahl- und Farblaserdrucker)

6.2 Spektrofotometrie

Im Labor nutzt man die Eigenschaft, dass viele Stoffe Licht bestimmter Wellenlängen absorbieren bzw. reflektieren (Abb. 6.2; 6.3). Wichtigstes Einsatzgebiet im (bio-)chemischen bzw. medizinischen Labor ist die Analytik. So kann man mithilfe spektrofotometrischer Messungen die Konzentration eines bestimmten Stoffes in einer Lösung ermitteln. Mehrfachmessungen über einen bestimmten Zeitraum lassen darüber hinaus Rückschlüsse auf den Verlauf chemischer Reaktionen zu, wie sie im Biochemie- oder Molekularbiologielabor etwa zur Bestimmung der Enzymkinetik von Bedeutung sind. Ein weiterer Anwendungsbereich ist die Strukturaufklärung von chemischen und biochemischen Substanzen.

Bei der Spektrofotometrie wird aufgrund des verwendeten Lichtes zwischen drei unterschiedlichen Typen unterschieden:

- UV-Spektrofotometrie: $\lambda = 190\text{--}400\text{ nm}$
- VIS-Spektrofotometrie: $\lambda = 400\text{--}700\text{ nm}$
- IR-Spektrofotometrie: $\lambda = 700\text{--}900\text{ nm}$

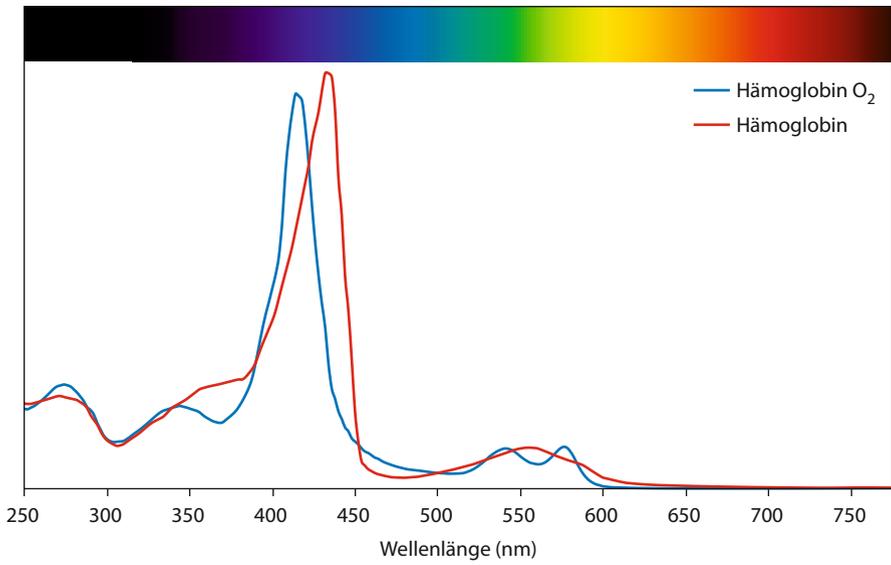


Abb. 6.2 Absorptionsspektren von menschlichem Hämoglobin (*blau* = sauerstoffgesättigt, *rot* = sauerstofffrei)

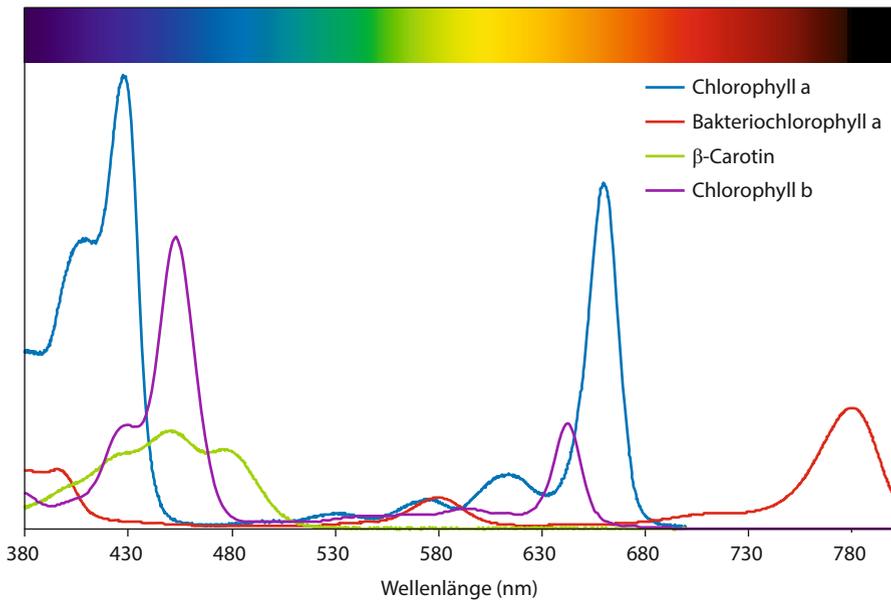
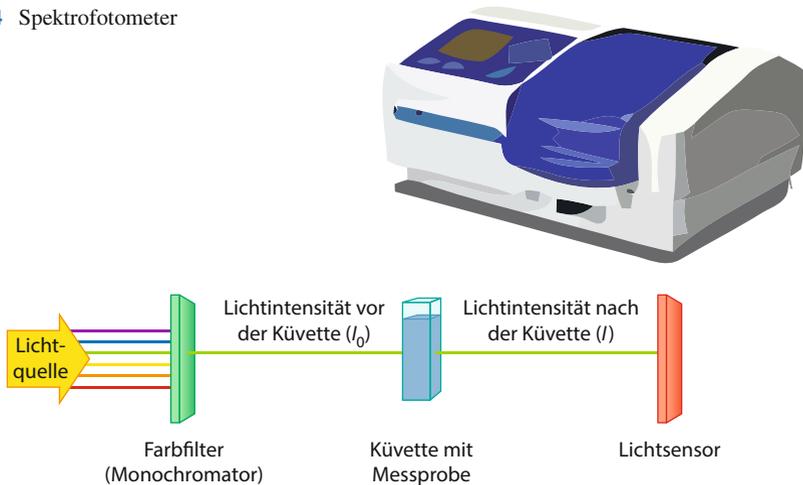


Abb. 6.3 Absorptionsspektren pflanzlicher Pigmente

Abb. 6.4 Spektrofotometer**Abb. 6.5** Funktionsprinzip eines Spektrofotometers

Alle diese drei Geräte funktionieren prinzipiell gleich: Eine Lichtquelle sendet Licht im Bereich der gewünschten Wellenlänge aus. Dies kann z. B. eine Wolfram-(VIS) oder eine Xenonlampe (VIS + UV) sein. Das Licht wird nun zunächst durch einen Monochromator (Farbfilter) geschickt, um die gewünschte Wellenlänge zu erzeugen. Anschließend passiert das nun monochrome (einfarbige) Licht eine Küvette mit der Messlösung. Dahinter wird mittels eines Fotometers (Lichtintensitätssensor) das Licht analysiert, das die Messlösung durchdringen konnte (Abb. 6.4; 6.5).

- Lichtintensität vor der Küvette = I_0
- Lichtintensität nach der Küvette = I

Transmission (T = Lichtanteil, der durch die Probe durchgelassen wird = fotometrische Durchlässigkeit τ)

$$T = \frac{I_0}{I}$$

6.2.1 Absorptionsmessungen

Meist bestimmt man die Transmission eines Stoffes in Abhängigkeit der Wellenlänge (λ). Weil nun aber nicht nur der zu messende Stoff Licht absorbiert, sondern auch die Küvette und das Lösungsmittel, muss dieser „Fehler“ korrigiert werden. Hierzu misst man die Absorption von Küvette und Lösungsmittel mittels einer Blindprobe (Küvette, gefüllt mit reinem Lösungsmittel) und rechnet den Wert in die Analyse ein. Moderne Zweistrahl-Fotometer machen diese Abgleichung selbstständig, so dass sie für die automatische Aufnahme von Spektren geeignet sind. Für den UV-

und den IR-Bereich sind Quarzküvetten notwendig. Als Lösungsmittel sind für den UV-Bereich folgende Stoffe üblich:

- Wasser (H_2O)
- Ethanol
- Methanol
- 2,2,4-Trimethylpentan (TMP)
- Hexan
- Cyclohexan
- Benzen (= Benzol)
- Toluol (= Toluol)

Bei Messungen im UV-Bereich bei Wellenlängen von <210 nm muss das Gerät mit Stickstoff (N_2) gespült werden, weil der Luftsauerstoff einen erheblichen Teil des UV-Lichts absorbieren würde.

6.2.2 Konzentrationsbestimmungen

Mittels Absorptionsmessungen können, wie erwähnt, Konzentrationen von Stoffen in Lösungsmitteln bestimmt werden. Hierfür müssen die Messdaten jedoch in eine Stoffmengenkonzentration umgerechnet werden. Dabei gehen Sie wie folgt vor:

1. Zunächst ermitteln Sie das Absorptionsmaximum der zu messenden Substanz anhand eines Spektrums (Abb. 6.2; 6.3).
1. Bei dieser Wellenlänge wird nun die fotometrische Durchlässigkeit τ bestimmt, weil hier die größte Messgenauigkeit als Folge der höchsten Empfindlichkeit und des geringsten Wellenlängenfehlers vorliegt.
2. Nun wird eine Eichkurve aufgenommen (Abb. 6.6). Dabei wird von einer Stammlösung eine Verdünnungsreihe hergestellt und die Extinktion (E) für sämtliche Konzentrationen fotometrisch bestimmt.
3. Die Extinktion E wird in Abhängigkeit der Stoffkonzentration (c bzw. β) aufgetragen. Ist die Funktion eine Gerade, so sind die Voraussetzungen für die Berechnung erfüllt. Besonders bei hohen Konzentrationen können jedoch Abweichungen auftreten (Abb. 6.6).

Falls die Funktion eine Gerade ist, so kann die Stoffmengenkonzentration mittels Lambert-Beer-Gesetz berechnet werden. Dabei werden zunächst die Extinktion (E) des Stoffs und daraus die Konzentration (c bzw. β) berechnet.

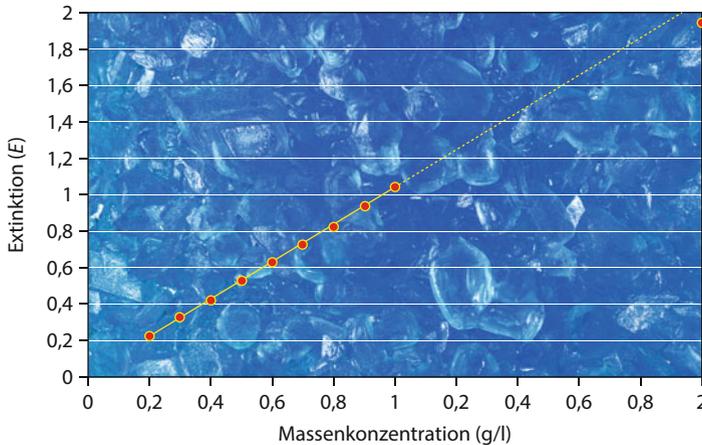


Abb. 6.6 Fotometrische Eichkurve von Kupfer(II)-Ionen in Wasser bei einer Wellenlänge von $\lambda = 628 \text{ nm}$ in einer 1-cm-Küvette. Deutlich ist zu erkennen, dass der Messpunkt für $\beta = 2,0 \text{ g/L}$ von der ansonsten annähernd linearen Messreihe abweicht. Für die neun Messwerte $\beta = 0,2$ bis $1,0 \text{ g/L}$ ergibt sich ein mittlerer spezifischer Extinktionskoeffizient $\varepsilon_{\text{sp}} = 1,046 \text{ L}/(\text{g} \cdot \text{cm})$

Lambert-Beer-Gesetz

$$\begin{aligned}
 E &= \varepsilon \cdot c \cdot d \\
 &= \varepsilon_{\text{sp}} \cdot \beta \cdot d \\
 E &= \text{Extinktion (Messwert; sollten zwischen 0 und 1 liegen)} \\
 &= \frac{\log 1}{\tau} \\
 &= -\log \tau
 \end{aligned}$$

τ = fotometrische Durchlässigkeit

ε = Extinktionskoeffizient (Stoffkonstante, in $\text{L}/(\text{mol} \cdot \text{cm})$)

ε_{sp} = spezifischer Extinktionskoeffizient (Stoffkonstante, in $\text{L}/(\text{g} \cdot \text{cm})$)

c = Stoffmengenkonzentration (in mol/L)

β = Massenkonzentration (in g/L)

d = Schichtdicke der Probe, Küvetten-Innendurchmesser (cm)

Der molare Extinktionskoeffizient ε übersteigt im VIS- und UV-Bereich vielfach $10.000 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm})$. Deshalb sind geringe Stoffkonzentrationen messbar – dies im Gegensatz zum IR-Bereich, wo ε selten >1 ist.

Beispiel

Bei der fotometrischen Bestimmung der Wirkstoffkonzentration eines flüssigen Medikamentes messen Sie mit einer 1-cm-Küvette eine Extinktion von 0,462. Wie groß ist die molare Konzentration des Wirkstoffs, wenn $\varepsilon_{\text{Wirkstoff}} = 46,30 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm})$ beträgt?

gegeben:

$$\begin{aligned}d_{\text{Küvette}} &= 1 \text{ cm} \\ E &= 0,462 \\ \varepsilon_{\text{Wirkstoff}} &= 46,30 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm})\end{aligned}$$

gesucht:

$$c$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}E &= \varepsilon \cdot c \cdot d \\ c &= \frac{E}{\varepsilon \cdot d} \\ &= \frac{0,462}{46,30 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm}) \cdot 1 \text{ cm}} \\ &= \underline{\underline{9,978 \text{ mmol/L}}}\end{aligned}$$

Aufgaben

6.2.1* Mit einem ungiftigen, wasserlöslichen Farbstoff ($\varepsilon = 154,2 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm})$) soll das Fließ- und Mischungsverhalten eines Grundwasserstroms untersucht werden. Hierzu werden über eine Grundwasserbohrung 5,000 L Farbstoff ins Grundwasser eingeleitet. Acht Kilometer weiter talwärts wird die Extinktion bei einer Quelle mittels eines Fotometers im Minutentakt automatisch gemessen und die Daten mittels eines Loggers gespeichert. Die maximal ermittelte Extinktion (E) des Farbstoffes beträgt 0,7216. Welcher Stoffmengenkonzentration entspricht diese Maximaextinktion (Schichtdicke = 5 cm)?

6.2.2* Von einer organischen Substanz sollen Sie den molaren Extinktionskoeffizienten bestimmen. Hierfür stellen Sie fünf Eichlösungen mit 1,000, 2,000, 4,000, 6,000 und 8,000 $\mu\text{mol/L}$ her. Von diesen messen Sie jeweils die Extinktion mittels einer 1-cm-Küvette. Die Messwerte betragen 0,01481; 0,02962; 0,05924; 0,08886 bzw. 0,11848. Wie groß ist der molare Extinktionskoeffizient ε ?

6.2.3* Freies Chlor (Cl_2) kann in Trinkwasser durch Umsetzen mit *o*-Tolidin fotometrisch bestimmt werden. Bei einer Schichtdicke von 2 cm ist $E = 0,5520$. Der spezifische Extinktionskoeffizient beträgt $1260 \text{ L}/(\text{g} \cdot \text{cm})$. Wie groß ist die Massenkonzentration β_{Chlor} im Trinkwasser in (mg/L)?

6.2.4* Die fotometrische Bestimmung einer Substanzlösung ergab in einer 0,2-cm-Küvette eine Extinktion von 0,7760. Die Substanz hat eine molare Masse von

286,4 g/mol und der molare Extinktionskoeffizient ε beträgt 24.788 L/(mol · cm). Wie viele Milligramm Substanz sind in 1,000 Liter Lösung enthalten?

6.2.5* In einer Abwasserprobe wird das Schwermetall Cadmium fotometrisch bestimmt. Hierzu werden 25,00 mL Abwasserprobe in einen Messkolben zugegeben und das Gemisch anschließend mit H₂O auf 250,0 mL aufgefüllt. Die Messung in einer 1-cm-Küvette ergibt eine Extinktion von 0,478. Wie groß ist die Massenkonzentration des Cadmiums in der Abwasserprobe ($\varepsilon_{\text{sp Cd}} = 9585 \text{ L/g} \cdot \text{cm}$)?

6.2.6* Einem Fungizidpulver werden 200,0 mg entnommen, in einen Messkolben gegeben, mit H₂O auf 100,0 mL aufgefüllt und das Pulver vollständig aufgelöst. Das Fotometer misst bei einer Schichtdicke von 1 cm eine Extinktion von 0,658 ($\varepsilon_{\text{sp Wirkstoff}} = 86,90 \text{ L/(g} \cdot \text{cm)}$). Wie groß ist der prozentuale Massenanteil (w) des Wirkstoffs im Fungizidpulver?

6.2.7** In einer Fliegenzucht produzieren die Larven im Laufe ihrer Entwicklung Ammoniak. Zur Bestimmung des Ammoniakgehalts in der Zucht werden unter ständiger Kühlung 10,00 g Substrat entnommen. Dieses wird in einen Kolben gegeben, mit destilliertem Wasser auf 200,0 mL aufgefüllt und aufgeschlämmt, sodass der darin enthaltene Ammoniak in Lösung geht. Nach 1 h Absetzzeit werden 50,00 mL Lösung entnommen und der Ammoniakgehalt fotometrisch in einer 2-cm-Küvette bestimmt. Die Extinktion beträgt 0,783 ($\varepsilon_{\text{sp. Ammoniak}} = 125,3 \text{ L/(g} \cdot \text{cm)}$). Wie viel Ammoniak ist in 100,0 g Zuchtsubstrat enthalten?

6.2.8** Einem Insektizidpulver werden 250,0 mg entnommen, in einen Messkolben gegeben, mit Ethanol auf 200,0 mL aufgefüllt und das Pulver darin vollständig aufgelöst. Eine fotometrische Bestimmung ergibt bei einer Schichtdicke von 5 mm eine Extinktion (E) von 0,5580 ($\varepsilon_{\text{sp Wirkstoff}} = 89,61 \text{ L/(g} \cdot \text{cm)}$). Wie groß ist der prozentuale Massenanteil (w) des Wirkstoffs im Insektizidpulver?

6.2.9** 502,6 mg einer organischen Substanz ($M = 190,1504 \text{ g/mol}$) werden in einem Messkolben gelöst und auf 1000 mL aufgefüllt. 10,00 mL davon verdünnt man weiter auf 250,0 mL. Diese Lösung hat in einer 1-cm-Küvette eine Extinktion von 0,447. Wie groß ist der molare Extinktionskoeffizient ε ?

6.2.10** Sie sollen mit einem sehr teuren Farbstoff ein histologisches Präparat einfärben. Hierzu muss die Farbstoffkonzentration 5,556 mg/L betragen. Ihre Urlaubsvertretung hat leider eine falsche, zu hoch konzentrierte Lösung hergestellt. Um die Kosten für neuen Farbstoff zu sparen, verdünnen Sie die Lösung um den Faktor 10.000 und messen in einer 1-cm-Küvette eine Extinktion von 0,104. Wie viele mL Aceton müssen Sie zu 95,00 mL der falschen Lösung hinzufügen, um die gewünschte Massenkonzentration von 5,556 mg/L zu erhalten? ($\varepsilon_{\text{sp Farbstoff}} = 187,2 \text{ L/(g} \cdot \text{cm)}$).

6.2.11** Der molare Extinktionskoeffizient ε einer Substanz beträgt $4018 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm})$. Wie groß ist ε_{sp} , wenn die Substanz eine molare Masse von $281,2531 \text{ g/mol}$ hat?

6.2.12** Der molare Extinktionskoeffizient ε beträgt für eine Substanz mit einer molaren Masse von $288,6 \text{ g/mol}$ $10.750 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm})$. $102,4 \text{ mg}$ verunreinigte Substanz werden mit Methanol auf $500,0 \text{ mL}$ aufgefüllt und $5,000 \text{ mL}$ davon mit Methanol weiter auf $100,0 \text{ mL}$ verdünnt. Bei einer Schichtdicke von 1 cm wird eine Extinktion von $0,3550$ gemessen. Wie groß ist der prozentuale Massenanteil (w) der Reinsubstanz?

6.2.13** ε von Diphenylether ($\text{H}_5\text{C}_6\text{-O-C}_6\text{H}_5$) beträgt $11.000 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm})$. Von einem diphenyletherhaltigen Muster werden $95,04 \text{ mg}$ eingewogen und auf $500,0 \text{ mL}$ aufgefüllt und gelöst. $10,00 \text{ mL}$ dieser Lösung werden weiter auf $250,0 \text{ mL}$ verdünnt. Die Extinktion dieser Lösung beträgt bei einer Schichtdicke von 2 cm $0,638$. Wie groß ist der prozentuale Massenanteil $w_{\text{Diphenylether}}$ des Musters?

6.2.14** Von einem pharmazeutischen Präparat werden zehn Tabletten von insgesamt $6,240 \text{ g}$ pulverisiert. Zur Extraktion des Wirkstoffs werden $3,120 \text{ g}$ Pulver in einem $100,0\text{-mL}$ -Messkolben gelöst und bis zur Marke mit Ethanol aufgefüllt. $10,00 \text{ mL}$ dieser Lösung werden mit Ethanol auf $100,0 \text{ mL}$ verdünnt. In einer 1-cm -Küvette beträgt die Extinktion $0,366$. Wie groß ist der Wirkstoffgehalt (in mg) einer Tablette ($\varepsilon_{\text{sp Wirkstoff}} = 47,50 \text{ L}/(\text{g} \cdot \text{cm})$)?

6.2.15** Der Wirkstoffgehalt einer Medikamentenkapsel soll durch UV-Messung bestimmt werden. Der Inhalt von 20 Kapseln mit einer Gesamtmasse von $6,090 \text{ g}$ wird hierfür pulverisiert. $203,0 \text{ mg}$ des Pulvers werden mit Salzsäure gelöst und auf $200,0 \text{ mL}$ verdünnt. $20,00 \text{ mL}$ dieser Lösung werden nochmals auf $100,0 \text{ mL}$ verdünnt. Die Extinktion dieser Lösung beträgt bei 1 cm Schichtdicke $0,498$. Wie viele Milligramm Wirkstoff enthält eine Kapsel, wenn ε_{sp} des Wirkstoffes $3110 \text{ L}/(\text{g} \cdot \text{cm})$ beträgt?

6.2.16** Die Massenkonzentration an Ammoniak im Urin kann fotometrisch bestimmt werden. Hierfür müssen $2,000 \text{ mL}$ Urin nach Zusatz der Reagenzien auf $100,0 \text{ mL}$ aufgefüllt werden. Diese Lösung hat in einer 5-mm -Küvette eine Extinktion von $0,6220$. Der molare Extinktionskoeffizient ε von NH_3 beträgt $2130 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm})$. Wie groß ist Ammoniak-Massenkonzentration (β_{Ammoniak}) in mg/L ?

6.2.17** Der Massenanteil w_{Cu} einer Legierung soll mit Dithizon fotometrisch bestimmt werden. $224,7 \text{ mg}$ der Legierung werden mit Säure gelöst und auf $500,0 \text{ mL}$ verdünnt. $10,00 \text{ mL}$ dieser Lösung verdünnt man weiter auf $250,0 \text{ mL}$. In einer 2-cm -Küvette beträgt $E = 0,723$. Wie groß ist der prozentuale Massenanteil des Kupfers in dieser Legierung ($\varepsilon_{\text{sp Cu}} = 820,0 \text{ L}/(\text{g} \cdot \text{cm})$)?

6.2.18** Sie müssen von einem Medikamentenwirkstoff die molare Extinktion bestimmen. Hierzu zerstoßen Sie zehn Tabletten zu je 100,0 mg mit einer Wirkstoffkonzentration von 0,2000 % ($w = 0,2000 \text{ g}/100 \text{ g}$), geben diese in einen Messkolben, füllen mit Ethanol auf 100,0 mL auf und lösen das Pulver. Dieser Lösung entnehmen Sie 10,00 mL und bestimmen in einer 1-cm-Küvette eine Extinktion von 0,0417. Wie groß ist der molare Extinktionskoeffizient (ε), wenn der Wirkstoff eine molare Masse von 12.658 g/mol besitzt?

6.2.19** Ein Präparat zur Bekämpfung von Mücken wird mit einer Konzentration von 1,250 mg/L Teichwasser in einem Versuchsteich ausgebracht. Nach 48 h wird die Konzentration des Präparats ($\varepsilon_{\text{sp}} = 987,2 \text{ L}/(\text{g} \cdot \text{cm})$) fotometrisch bestimmt. Die Extinktion beträgt in einer 1-cm-Küvette $E = 0,5520$. Wie groß ist die mittlere Abbaurrate des Präparats pro Stunde und Liter Teichwasser?

6.2.20** Sie sollen den Eisengehalt einer Bodenprobe bestimmen. Hierzu lösen Sie 215,0 mg Boden mit Salpetersäure auf. Das freigesetzte Fe^{3+} wird mit einem Reduktionsmittel zu Fe^{2+} reduziert. Nach Zugabe eines Chelatbildners bildet das Eisen einen roten Chelatkomplex mit einem molaren Extinktionskoeffizienten $\varepsilon = 21.500 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm})$. Vor der fotometrischen Extinktionsbestimmung wird die Probe mit destilliertem Wasser auf 250,0 mL aufgefüllt. Die Extinktion der Lösung in einer 1-cm-Küvette beträgt 0,1155. Wie groß ist der Eisen-Massenanteil des Bodens in Promille ($\%_c$)?

6.2.21** Eine Sporensuspension ($\varepsilon = 3,417 \cdot 10^{-9} \text{ L}/(\text{Sporen} \cdot \text{cm})$) wird fünf Mal hintereinander verdünnt, indem jeweils 5,000 mL Lösung mit Wasser auf 20,00 mL aufgefüllt werden. Von der Verdünnung 5 werden 2,000 mL in eine 1-cm-Küvette gefüllt und fotometrisch die Sporenkonzentration bestimmt. Dabei wird eine Extinktion von $E = 0,8104$ gemessen. Wie groß ist die Sporenkonzentration der unverdünnten Lösung?

6.2.22** Dansylchlorid (DNSC) reagiert mit primären Aminogruppen zu einem stabilen, blau oder blaugrün fluoreszierenden Sulfonamid. DNSC wird deshalb in der Proteinanalytik eingesetzt. Sie sollen nun mithilfe von Dansylchlorid fotometrisch die Konzentration von Ovalbumin ($M = 42,8 \text{ kDa}$, $\varepsilon_{\text{DNSC-Ovalbumin-Komplex}} = 3300 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm})$; $\lambda = 330 \text{ nm}$) in einer Probe bestimmen. DNSC bindet ausschließlich an der primären Aminogruppe am N-Terminus des Proteins. Die entsprechende Messung in einer 1-cm-Küvette ergibt eine Extinktion von 0,07964. Wie groß ist die Ovalbumin-Massenkonzentration dieser Probe?

6.2.23*** In einer Abwasserprobe soll ein Schwermetall fotometrisch bestimmt werden. Um den Schwermetallgehalt bestimmen zu können, muss zunächst eine Eichlösung hergestellt und gemessen werden. Hierzu werden 3,000 mL Schwermetalllösung ($\beta_{\text{Schwermetall}} = 20,00 \text{ mg/L}$) mit 8,000 mL einer Lösung aus Dithizon, welches in Dichlorethan gelöst ist, gemischt. Das Metall geht dabei als

farbiger Komplex in Lösung. In einer 1-cm-Küvette beträgt die Extinktion 0,757. Zur Bestimmung des Schwermetalls im Abwasser werden 50,00 mL Abwasser mit 8,000 mL Dithizon gemischt. Die gemessene Extinktion beträgt 0,3070 ($d_{\text{Küvette}} = 1 \text{ cm}$). Wie viele Kilogramm des gemessenen Schwermetalls gelangen mit 10.000 m^3 Abwasser in die Kanalisation?

6.2.24*** Sie sollen einen 9,56 kg schweren Hund mit Vitamin B₂ ($\epsilon_{\text{Vit. B}_2} = 11.498 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm})$, $M_{\text{Vit. B}_2} = 376,36 \text{ g/mol}$) in einer Dosis von $50,00 \mu\text{g/kg}$ behandeln. Weil nicht ganz klar ist, welche Konzentration die zur Verfügung stehende Lösung hat, wird diese fotometrisch bestimmt: $E = 0,5351$. Wie viele Milliliter Vitamin-B₂-Lösung müssen Sie zur Behandlung des Hundes bereitstellen?

6.2.25*** Sie müssen im Urin weiblicher Ratten die Konzentration des Geschlechtshormones Estradiol ($M_{\text{Estradiol}} = 272,39 \text{ g/mol}$) bestimmen. Sie mischen 5,000 mL Urin, der mithilfe eines Katheters direkt aus der Blase gewonnen wurde, mit einigen Tropfen *para*-Azobenzoesäure (PABA; gelöst in HCl), lagern die Probe für 5 min auf Eis, fügen 10,00 mg NaNO₂ hinzu und füllen auf 10,00 mL auf. Die Temperatur darf während der ganzen Zeit 5 °C keinesfalls übersteigen. Das Estradiol verbindet sich nun mit der PABA zu gelblicher Estradiol-Azobenzoesäure. Bei der fotometrischen Messung störendes PABA und NaNO₂ werden durch eine geeignete Nachbearbeitung der Probe eliminiert. Wie groß ist die Estradiol-Massenkonzentration im Rattenurin in ng/mL, wenn bei der fotometrischen Bestimmung der Estradiol-Azobenzoesäure ($\epsilon = 1460 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm})$) in Methanol bei pH = 8,2 und $\lambda = 350 \text{ nm}$ in einer 10-cm-Küvette eine Extinktion von $E = 0,001106$ gemessen wird?

6.3 Enzyme

Im Biologielabor nutzt man sehr häufig Enzyme. Diese biologischen Katalysatoren erlauben es, sehr spezifische und oftmals hochkomplexe chemische und biochemische Reaktionen mit einem relativ geringen Aufwand ablaufen zu lassen.

Wie bei anderen Katalysatoren auch, laufen enzymatisch beeinflusste Reaktionen in den seltensten Fällen direkt vom Edukt zum Produkt. Vielmehr erfolgt der Reaktionsweg über Zwischenstufen.

Enzyme üben ihre aktivierende Wirkung meist unter besonderen Verhältnissen aus, die den katalytischen Effekt beeinflussen können. In der Regel ist dabei die chemische Zusammensetzung der Umgebung sehr komplex. Trotzdem sind Enzyme in der Lage, in dieser komplexen Umgebung nur ganz bestimmte Reaktionen zu katalysieren.

Enzyme sind entweder reine oder zusammengesetzte Proteine. Letztere wirken erst im Zusammenspiel mit anderen organischen Verbindungen oder mit Metallen katalytisch. Solche zusätzlichen Reaktionspartner werden als Cofaktoren bezeich-

net. Substanzen, deren Veränderung ein Enzym katalysiert, bezeichnet man als Substrat des betreffenden Enzyms.

Von besonderer Bedeutung für die Funktion eines Enzyms ist das aktive Zentrum. Dessen Bau schränkt die Anzahl der möglichen Substrate stark ein. Substanzen, die einen Enzym-Substrat-Komplex eingehen können, erfüllen folgende Voraussetzungen:

- Sie passen der räumlichen Struktur nach genau ins aktive Zentrum.
- Sie werden aufgrund elektrostatischer Wechselwirkungen von funktionellen Gruppen des aktiven Zentrums angezogen.

Diese Voraussetzungen wirken derart einschränkend, dass oft selbst bei Stereoisomeren nur die eine Form ans Enzym binden kann. Enzyme sind somit substratspezifisch. Das heißt, sie katalysieren nur die Reaktionen ganz bestimmter Substanzen. Fast alle Enzyme vermögen nur eine ganz bestimmte Reaktion zu katalysieren, das heißt, sie sind wirkungsspezifisch.

Mit der Geschwindigkeit, mit der ein Enzym eine bestimmte biochemische Reaktion ablaufen lässt, beschäftigt sich die Enzymkinetik. Dabei ist es nur selten möglich, das Enzym selber „bei der Arbeit“ zu beobachten. In der Regel ist es wesentlich einfacher, die Wirkung des Enzyms zu erfassen. Man lässt also das Enzym unter geeigneten Bedingungen seine Reaktion katalysieren und verfolgt dann über eine gewisse Zeit, wie rasch das Substrat verschwindet oder wie schnell das Reaktionsprodukt auftritt. Aus solchen Messungen des Umsatzes pro Zeiteinheit kann dann auf die Enzymarbeit, das heißt auf die Reaktionsgeschwindigkeit, geschlossen werden.

Grundsätzlich gibt es zwei Faktoren, welche die Umsatzrate bestimmen:

- Bei kleinen Substratkonzentrationen werden nicht alle Enzymteile einen Enzym-Substrat-Komplex ausbilden können. Die Substratmenge wirkt als limitierender Faktor.
- Bei hohen Substratkonzentrationen sind praktisch alle Enzyme an ein Substrat gebunden. Dadurch wird die Enzymmenge zum begrenzenden Faktor.

Es muss deshalb beachtet werden, dass sich das Verhältnis zwischen Enzym und Substrat während der Reaktion laufend ändert!

Die Wirksamkeit von Enzymen ist stark von äußeren Faktoren abhängig. Einer dieser Faktoren ist die Temperatur. Bis etwa 40 °C folgen enzymatisch katalysierte Reaktionen der sogenannten RGT-Regel. Diese besagt, dass sich die Geschwindigkeit chemischer Reaktionen bei einer Temperaturerhöhung um 10 °C verdoppelt. Bei höheren Temperaturen geht die katalytische Wirkung vieler Enzyme verloren, weil die Proteine durch Hitze denaturieren und ihre Enzymwirkung dadurch inaktiviert wird. Deshalb sinkt die Reaktionsgeschwindigkeit wieder ab. Enzymhaltige Waschmittel können deshalb meist nur bis zur Waschtemperatur von ca. 60 °C wirksam sein.

Die katalytische Wirksamkeit vieler Enzyme ist außerdem pH-abhängig. Folgende Ursachen können dafür verantwortlich sein:

- Das aktive Zentrum besitzt Gruppen, die deprotoniert bzw. protoniert werden können.
- Durch Deprotonierung bzw. Protonierung von Aminosäureseitenketten des übrigen Enzyms verändert sich die 3D- Struktur des Enzyms, wodurch auch das aktive Zentrum räumlich beeinflusst wird.
- Am Substrat können ebenfalls Protolysereaktionen auftreten. Dadurch ändern sich die Wechselbeziehungen mit dem aktiven Zentrum.

Die pH-Optima der Enzyme liegen meistens im pH-Bereich ihrer natürlichen Umgebung. Die katalytische Wirksamkeit wird so am besten ausgenützt. Dies wird etwa bei Verdauungsenzymen deutlich:

- pH-Wert des Speichels: 6–7 (Speichelamylase spaltet im Mund Kohlenhydrate)
- pH-Wert des Magensaftes: 1–2 (Pepsin spaltet im Magen Proteine)
- pH-Wert im Dünndarm: 8 (Trypsin spaltet im Dünndarm Proteine)

Recht häufig wird die Wirksamkeit von Enzymen zusätzlich durch Stoffe aus der Umgebung beeinflusst. Diese als Inhibitoren bezeichneten Substanzen hemmen die Enzymaktivität. Der Wirkungsmechanismus dieser Stoffe kann sehr unterschiedlich sein. Im Allgemeinen wird unterschieden zwischen Hemmstoffen, die als Pseudosubstrate direkt das aktive Zentrum des Enzyms blockieren (kompetitive Hemmung) und solchen, die an einer anderen Stelle des Enzyms binden, dabei aber das aktive Zentrum so verändern, dass das eigentliche Substrat nicht mehr binden und somit auch nicht mehr verändert werden kann (allosterische Hemmung).

6.3.1 Enzymaktivitätsbestimmungen

Um die Aktivität zu ermitteln, das heißt die Reaktionsgeschwindigkeit, mit der ein Enzyme sein Substrat umsetzt, benötigen Sie die folgenden drei Angaben:

1. Enzymmenge (n_{Enzym})
2. Substratmenge (n_{Substrat}) zum Zeitpunkt t_0
1. Substratmenge (n_{Substrat}) zum Zeitpunkt t_1

Nun berechnet sich daraus die vom Enzym umgesetzte Substratmenge:

$$\Delta n_{\text{Substrat}} = n_{\text{Substrat } t_0} - n_{\text{Substrat } t_1}$$

Die Enzymaktivität ergibt sich dann, indem Sie die Menge des umgesetzten Substrates ($\Delta n_{\text{Substrat}}$) durch die Enzymmenge (n_{Enzym}) und die Zeit (Δt) teilen, während der das Enzym aktiv war.

$$v_{\text{Enzym}} = \frac{\Delta n_{\text{Substrat}}}{n_{\text{Enzym}} \cdot \Delta t}$$

Beispiel

Das Enzym Ethanol-Dehydrogenase oxidiert Ethanol zu Ethanal (Acetaldehyd). In einem Experiment werden 1,000 mL einer Ethanoldehydrogenaselösung ($c_{\text{Enzym}} = 1,500 \text{ nmol/L}$) in einen Messkolben gegeben und mit Ethanol ($c_{\text{Ethanol}} = 25,00 \text{ mmol/L}$) auf 100,0 mL aufgefüllt. Nach 30 min wird das Enzym durch Zugabe eines Inhibitors deaktiviert und eine Ethanolkonzentration von $c_{\text{Ethanol } 30 \text{ min}} = 13,52 \text{ mmol/L}$ bestimmt. Wie viele Ethanolmoleküle werden von der Ethanol-Dehydrogenase pro Minute zu Ethanal oxidiert?

gegeben:

$$\begin{aligned} V_{\text{Enzym}} &= 1 \text{ mL} \\ c_{\text{Enzym}} &= 1,500 \text{ nmol/L} \\ c_{\text{Ethanol}} &= 25,00 \text{ mmol/L} \\ V_{\text{Lösung}} &= 100 \text{ mL} \\ t &= 30 \text{ min} \\ c_{\text{Ethanol } 30 \text{ min}} &= 13,52 \text{ mmol/L} \end{aligned}$$

gesucht:

$$v_{\text{Enzym}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} n_{\text{Enzym}} &= c_{\text{Enzym}} \cdot V_{\text{Enzym}} \\ &= 1,5 \text{ nmol} \\ &= 1,5 \text{ pmol} \\ n_{\text{Ethanol } t_0} &= c_{\text{Ethanol } t_0} \cdot V_{\text{Ethanol}} \\ &= c_{\text{Ethanol } t_0} \cdot (V_{\text{Lösung}} - V_{\text{Enzym}}) \\ &= 25,00 \text{ mmol/L} \cdot (100 \text{ mL} - 1 \text{ mL}) \\ &= 2,475 \text{ mmol} \\ n_{\text{Ethanol } 30 \text{ min}} &= c_{\text{Ethanol } 30 \text{ min}} \cdot V_{\text{Lösung}} \\ &= 13,52 \text{ mmol/L} \cdot 0,1 \text{ L} \\ &= 1,352 \text{ mmol} \\ \Delta n_{\text{Ethanol}} &= n_{\text{Ethanol } t_0} - n_{\text{Ethanol } 30 \text{ min}} \\ &= 2,475 \text{ mmol} - 1,352 \text{ mmol} \\ &= 1,123 \text{ mmol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 v_{\text{Enzym}} &= \frac{\Delta n_{\text{Ethanol}}}{n_{\text{Enzym}} \cdot \Delta t} \\
 &= \frac{1,123 \text{ mmol}}{1,5 \text{ pmol} \cdot 30 \text{ min}} \\
 &= \frac{1,123 \cdot 10^9 \text{ pmol}}{1,5 \text{ pmol} \cdot 30 \text{ min}} \\
 &= 24,96 \cdot 10^6 \frac{\text{Ethanolmoleküle}}{\text{Enzym} \cdot \text{Minute}}
 \end{aligned}$$

Aufgabe

6.3.1** Zur Messung der Aktivität von Alkohol-Dehydrogenase in Leberzellen werden einer Leberzellkultur 10,00 g Zellen entnommen, homogenisiert, in physiologischer Kochsalzlösung suspendiert und auf 250,0 mL aufgefüllt. 10,00 mL dieser Lösung werden nun mit einer Ethanollösung ($\beta_{\text{Ethanol}} = 2,500 \text{ g/L}$) auf 250,0 mL aufgefüllt und gut gemischt. Nach 1 h hat sich die Ethanolkonzentration in der Lösung auf 2,297 g/L vermindert. Wie viele Mikromol Ethanol setzt die Dehydrogenase in 1,000 g Leberzellen pro Minute um?

Um die Substratkonzentration zu verschiedenen Zeitpunkten zu ermitteln, eignen sich in vielen Fällen fotometrische Messungen. Das heißt, Sie messen die Extinktion (E), bevor Sie das Enzym der Lösung zugeben und dann wieder nach Ablauf der gewünschten Zeit. Mithilfe der Lambert-Beer-Gleichung ($E = \varepsilon \cdot c \cdot d$; Abschn. 6.2.2) berechnen Sie die Substratkonzentration zum jeweiligen Zeitpunkt und daraus, gemäß obigem Beispiel, die Enzymaktivität. Grundsätzlich gibt es hierbei zwei Möglichkeiten zur Bestimmung der Enzymaktivität:

- Messung der Verminderung der Substratkonzentration
- Messung der Zunahme der Produktkonzentration

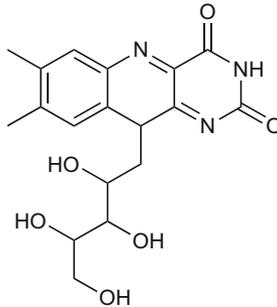
Welche der beiden Möglichkeiten in der Praxis gewählt wird, hängt von den Nachweismöglichkeiten des Substrats und des Produkts ab. Da das Substrat meist in hohen Konzentrationen vorliegt, ist die Bestimmung der Zunahme des gebildeten Produkts in der Regel genauer als die Messung der Abnahme des Substrats.

Aufgaben

6.3.2* In einem Versuch soll die Aktivität des Enzyms Phosphatase getestet werden. Phosphatase hydrolysiert den farblosen Ester Nitrophenylphosphat zu gelbem Nitrophenol ($\varepsilon_{\text{Nitrophenol}} = 18.800 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm})$) und Phosphorsäure. In einer 10-cm-Küvette nimmt die Extinktion des Reaktionsgemisches in 1 min um 0,3830 zu. Wie viele Nanomol (10^{-9} mol) Nitrophenol entstehen pro Minute in 1,000 mL Lösung?

6.3.3** Sie sollen die Aktivität eines Riboflavin (Vitamin B₂) abbauenden Enzyms testen. Hierzu füllen Sie eine Küvette (Schichtdicke = 1 cm) mit

4,000 mL Riboflavinlösung ($\beta_{\text{Riboflavin}} = 20,00 \text{ g/L}$). Anschließend pipettieren Sie 1,000 mL Enzymlösung hinzu ($c_{\text{Enzym}} = 2,500 \text{ nmol/L}$). Nun schütteln Sie die Küvette kurz und stellen sie ins Fotometer, welches auf eine Temperatur von 37°C temperiert wurde. Nach 30 min ermitteln Sie eine Extinktion von 0,4215 ($\varepsilon_{\text{Riboflavin}} = 11.500 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm})$). Wie groß ist die Abbaurrate des Enzyms (Anzahl abgebaute Riboflavine pro Enzym und pro Minute)?



Riboflavin

6.3.4*** Sie sollen bestimmen, in welchem Maße sich die Aktivität eines Enzyms in Abhängigkeit der Temperatur verändert. Als Erstes stellen Sie eine Substratlösung her, von der Sie fotometrisch die Substratkonzentration bestimmen ($\varepsilon_{\text{Substrat}} = 45.714 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm})$). Anschließend geben Sie 2,000 mL Enzymlösung ($c_{\text{Enzym}} = 4,000 \mu\text{mol/L}$) zu 500,0 mL Substratlösung und bestimmen in Abständen von 30, 60 und 120 min fotometrisch die Substratkonzentration bei 32°C bzw. 37°C ($d_{\text{Küvette}} = 1 \text{ cm}$). Wie verändert sich die Enzymaktivität, wenn die Temperatur von 37°C auf 32°C gesenkt wird? Das heißt, wie groß ist die Differenz der pro Minute und Enzymmolekül abgebauten Substratmoleküle bei den beiden getesteten Temperaturen?

$E_t = 0 \text{ min}$	0,4762	0,4762
$E_t = 30 \text{ min}$	0,3760	0,3760
$E_t = 60 \text{ min}$	0,2758	0,2458
$E_t = 120 \text{ min}$	0,1755	0,1755

6.3.5*** Sie sollen bestimmen, mit welcher Geschwindigkeit ein in Leberzellen enthaltenes Enzym Vitamin B_2 abbaut. Hierzu schließen Sie zunächst 5,526 g Leberzellen mittels Ultraschall auf. 531,7 mg dieses Homogenisats pipettieren Sie zu 50,00 mL einer Vitamin- B_2 -Lösung mit einer Massenkonzentration von 50,00 mg/L. Nach 2 h bestimmen Sie fotometrisch in einer 1-cm-Küvette die Massenkonzentration des Vitamin B_2 in der Lösung und messen eine Extinktion von 0,7328 ($\varepsilon_{\text{sp Vitamin B}_2} = 30,56 \text{ L}/(\text{g} \cdot \text{cm})$). Wie viele Mikrogramm Vitamin B_2 bauen die in 1,000 g enthaltenen Enzyme pro Minute ab?

6.3.6*** Sie geben 9,000 mL einer Proteinlösung ($\beta_{\text{Protein}} = 1,000 \text{ g/L}$) in ein Gefäss und fügen 1,000 mL einer proteolytischen Enzymlösung hinzu. Das Enzym spaltet die Proteinketten unter Wasseraufnahme in die freien Aminosäuren. Mit dieser Aminosäurenlösung befüllen Sie fünf 0,5-cm-Küvetten. Die damit durchgeführten fotometrischen Messungen ergeben folgende Extinktionen:

$$E_1 = 0,2465$$

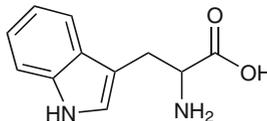
$$E_2 = 0,2463$$

$$E_3 = 0,2464$$

$$E_4 = 0,2467$$

$$E_5 = 0,2466$$

Wie gross ist der Massenanteil (w) der Aminosäure Tryptophan im Protein ($\epsilon_{\text{Tryptophan}} = 5600 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm})$, $M_{\text{Tryptophan}} = 204,228 \text{ g/mol}$)?

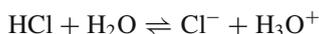


Tryptophan

6.3.7*** Sie sollen bestimmen, wie stark ein kompetitiver Hemmstoff die Aktivität eines Enzymes hemmt. Hierzu lassen Sie in zwei parallelen Ansätzen eine enzymkatalysierte Reaktion ablaufen, wobei Sie dem einen Ansatz einen Hemmstoff zugeben. Ihre Stammlösung für beide Ansätze enthält das Substrat in einer Stoffmengenkonzentration $c_{\text{Substrat}} = 12,00 \text{ mmol/L}$. Zu jeweils 50,00 mL dieser Stammlösung pipettieren Sie 1,000 mL Enzym ($c_{\text{Enzym}} = 5,000 \mu\text{mol/L}$) und fügen dem einen Ansatz noch 1,000 mL Hemmstoff ($c_{\text{Hemmstoff}} = 5,000 \mu\text{mol/L}$) hinzu. Nach 30 min bestimmen Sie fotometrisch das Produkt ($\epsilon_{\text{Produkt}} = 1,631 \cdot 10^5 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm})$) der durch das Enzym katalysierten Reaktion. Im hemmstofflosen Ansatz bestimmen Sie in einer 1-cm-Küvette eine Extinktion von $E_{\text{ohne Hemmstoff}} = 0,4241$, im anderen Ansatz (ebenfalls in einer 1-cm-Küvette) beträgt $E_{\text{mit Hemmstoff}} = 0,08635$. Wie stark wurde die katalytische Wirkung des Enzyms durch den Hemmstoff beeinträchtigt? Das heißt, um wie viele Prozent wurde die Produktbildung durch den Hemmstoff vermindert?

7.1 Grundlagen der Säure-Basen-Chemie

Für Säuren und Basen gibt es unterschiedliche Definitionen. Im Allgemeinen werden Stoffe als Säuren bezeichnet, die Wasserstoff-Ionen (Protonen = H^+) abgeben. Basen sind umgekehrt Verbindungen, die Protonen aufnehmen oder aber Hydroxid-Ionen (OH^-) abgeben können. Wasser verstärkt die sauren oder basischen Eigenschaften gelöster Stoffe, weil es selbst als Säure oder Base wirken kann. So gibt Chlorwasserstoff (HCl) in wässriger Lösung Protonen an das Lösungsmittel Wasser ab. Dabei entstehen Chlorid-Ionen (Cl^-) und protonierte Wassermoleküle = Hydronium-Ionen (H_3O^+). Letztere werden der Einfachheit halber meist nur als Protonen oder H^+ bezeichnet. Der Protonenaustausch zwischen HCl und Wasser ist nahezu quantitativ. HCl wirkt in Wasser als starke Säure, die nahezu vollständig dissoziiert und somit so gut wie alle Protonen abgibt.



In anderen Lösungsmitteln wie z. B. Methanol zerfällt HCl in weit geringerem Umfang in H^+ und Cl^- . HCl ist in dieser Umgebung eine schwache Säure.

Basen wie Ammoniak (NH_3) übernehmen Protonen von Wassermolekülen. Dabei entstehen Hydroxid-Ionen (OH^-) und positiv geladene Ammonium-Ionen (NH_4^+).



An Säure-Basen-Reaktionen sind stets Paare aus einer Säure und der zugehörigen, sogenannten konjugierten Base beteiligt. Je stärker eine Säure oder Base ist, desto schwächer ist die konjugierte Base bzw. Säure. So gehört zur sehr starken Salzsäure (HCl) die sehr schwache Base Chlorid-Ion (Cl^-). Die schwache Säure Ammonium-Ion (NH_4^+) ist mit der mäßig starken Base Ammoniak (NH_3) konjugiert.

Säure		Konjugierte Base
HCl	\rightleftharpoons	Cl ⁻
H ₂ SO ₄	\rightleftharpoons	HSO ₄ ⁻
H ₃ C-COOH	\rightleftharpoons	H ₃ C-COO ⁻
H ₂ O	\rightleftharpoons	OH ⁻
NH ₄ ⁺	\rightleftharpoons	NH ₃

Wirkt Wasser als schwache Säure, so entsteht das Hydroxid-Ion (OH⁻) als extrem starke, konjugierte Base. Wirkt Wasser dagegen als Base, so entsteht das Hydronium-Ion (H₃O⁺) als sehr starke Säure.

7.2 Säure- und Basenkonstante (pK_S und pK_B)

Die Abgabe von Protonen durch eine Säure kann durch folgende Gleichung beschreiben werden:



Je nach Säure-Basen-Paar liegt das Gleichgewicht dieser Reaktion mehr auf der Seite der Säure oder aber auf derjenigen der Base. Wie stark die Säure dazu neigt, ein Proton abzuspalten und dadurch zur konjugierten Base zu zerfallen, beschreibt die Gleichgewichtskonstante K_S (Säurekonstante). Sie ist wie folgt definiert:

$$K_S = \frac{c_{\text{Protonen}} \cdot c_{\text{Base}}}{c_{\text{Säure}}}$$

Die Säurekonstante gibt an, auf welche Seite die Reaktion tendiert. Weil K -Werte sehr groß oder aber auch sehr klein sein können, rechnet man in der Praxis meist mit dem negativen Logarithmus und bezeichnet diesen als pK -Wert.

$$pK = -\log K$$

Für eine Säure ist dies der pK_S -Wert, für eine Base der pK_B -Wert (s. Tab. 7.1–7.3).

$$pK_S = -\log K_S$$

$$pK_B = -\log K_B$$

Je stärker eine Säure ist, desto niedriger ist ihr pK_S -Wert. Ist dieser < 0 , so handelt es sich um eine starke Säure. Das Gleiche gilt bei Basen: Je stärker eine Base, desto niedriger ist ihr pK_B -Wert. Basen mit negativen pK_B -Werten sind starke Basen.

- Starke Säuren: $pK_S < 0$
- Schwache Säuren: $pK_S \geq 0$
- Starke Basen: $pK_B < 0$
- Schwache Basen: $pK_B \geq 0$

In wässrigen Lösungen ist die Summe der Protonen- und Hydroxid-Ionenkonzentration immer 10^{-14} mol/L. Dies bedeutet, dass die Summe von pK_S - und pK_B -Wert immer 14 ist.

$$pK_S + pK_B = 14$$

7.3 pH-Wert

Zur Kennzeichnung der Protonenkonzentration in einer wässrigen Lösung wird im Allgemeinen nicht die Konzentration (c_{Protonen}) selbst angegeben, sondern ihr negativer Logarithmus. Diesen Wert bezeichnet man als pH-Wert.

$$\text{pH} = -\log c_{\text{Protonen}}$$

Beispiele

- a. Die H^+ -Konzentration einer wässrigen Lösung beträgt 0,1000 mmol/L. Welchen pH-Wert hat diese Lösung?

gegeben:

$$c_{\text{Protonen}} = 0,1 \text{ mmol/L} = 10^{-4} \text{ mol/L}$$

gesucht:

pH-Wert

Berechnung:

$$\begin{aligned} \text{pH} &= -\log c_{\text{Protonen}} \\ &= -\log 10^{-4} \text{ mol/L} \\ &= \underline{\underline{4}} \end{aligned}$$

- b. Reines Wasser bei 25°C hat eine Protonenkonzentration von 10^{-7} mol/L. Welchen pH-Wert hat Wasser bei 25°C ?

gegeben:

$$c_{\text{Protonen}} = 10^{-7} \text{ mol/L}$$

gesucht:

pH-Wert

Berechnung:

$$\begin{aligned} \text{pH} &= -\log c_{\text{Protonen}} \\ &= -\log 10^{-7} \text{ mol/L} \\ &= \underline{\underline{7}} \end{aligned}$$

Unterschied zwischen $\text{p}K_{\text{S}}$ und pH

- Der $\text{p}K_{\text{S}}$ -Wert ist eine stoffspezifische Größe und hat für jedes Säure-Basen-Paar einen anderen Wert. Er ist ein Maß für die „Leichtigkeit der Protonenübertragung“.
- Der pH -Wert ist eine lösungsspezifische Größe. Er bezieht sich auf die Lösung eines beliebigen Stoffes und ist ein Maß für die H_3O^+ -Konzentration dieser Lösung.

Aus Tab. 7.1 wird ersichtlich, von welchen Größen die Säurestärke ($\text{p}K_{\text{S}}$) abhängt. Vergleichen Sie die Abfolge der Säuren und Basen in einer Zeile, so fällt auf, dass mit zunehmender Polarität der beteiligten Elemente die Säuren von links nach rechts stärker werden. In vertikaler Richtung nimmt die Länge der Bindung zwischen Wasserstoff und dem Säurepartner der Säurebindung zu. Dadurch steigt die Stärke der Säure ebenfalls.

In der Folge werden nur verdünnte Lösungen betrachtet. Das heißt, die Konzentration der Säuren bzw. Basen ist $\leq 0,1 \text{ mol/L}$.

Tab. 7.1 Im Periodensystem nimmt die Polarität der Nichtmetalle von links nach rechts stetig zu. Entsprechend nimmt auch die Stärke der Säure zu, welche diese Elemente durch Aufnahme von Protonen bilden. Gleichzeitig wird die Bindung zwischen Nichtmetall und Proton länger, sodass die Bindung zwischen den beiden schwächer wird. All dies führt in der Summe dazu, dass die $\text{p}K_{\text{S}}$ -Werte von links oben nach rechts unten stark ab- und die Stärke der Säuren entsprechend stark zunehmen

CH_4 48	NH_3 23	H_2O 15,7	HF 3,1
		H_2S 6,9	HCl -7,4
		H_2Se 3,8	HBr -9,5
		H_2Te 2,6	HI -11

7.3.1 pH-Werte von Lösungen starker Säuren ($pK_s < 0$)

Wie bereits erläutert, ist der pH-Wert wie folgt definiert:

$$\text{pH} = -\log c_{\text{Protonen}}$$

Wenn eine unbekannte Menge (x mol) einer starken Säure in 1 L Wasser gelöst wird, so entstehen dabei praktisch x mol H_3O^+ -Ionen. Dadurch kann der pH-Wert dieser Lösung durch die folgende Näherung angegeben werden:

$$\text{pH} = -\log c_{\text{starke Säure}}$$

Beispiele

- a. Eine Salzsäurelösung hat eine HCl-Konzentration (c_{HCl}) von 10,00 mmol/L. Wie groß ist der pH-Wert dieser Lösung?

gegeben:

$$c_{\text{HCl}} = 10 \text{ mmol/L} = 10^{-2} \text{ mol/L}$$

gesucht:

pH-Wert

Berechnung:

$$\begin{aligned} \text{pH} &= -\log c_{\text{HCl}} \\ &= -\log 10^{-2} \text{ mol/L} \\ &= \underline{\underline{2}} \end{aligned}$$

- b. Eine andere Salzsäurelösung hat eine HCl-Konzentration (c_{HCl}) von 50,00 mmol/L. Wie groß ist der pH-Wert dieser Lösung?

gegeben:

$$c_{\text{HCl}} = 50 \text{ mmol/L} = 0,05 \text{ mol/L}$$

gesucht:

pH-Wert

Berechnung:

$$\begin{aligned} \text{pH} &= -\log c_{\text{HCl}} \\ &= -\log 0,05 \text{ mol/L} \\ &= \underline{\underline{1,3}} \end{aligned}$$

Aufgaben

7.3.1* Welchen pH-Wert hat eine Salzsäure mit einer HCl-Stoffmengenkonzentration von 25,50 mmol/L ($pK_S = -7,4$)?

7.3.2* Wie groß ist der pH-Wert einer Salpetersäurelösung mit $c = 0,1500$ mmol/L ($pK_S = -1,32$)?

7.3.3** Welche Massenkonzentration hat eine Perchlorsäure (HClO_4) mit pH 2,50 ($pK_S = -10$)?

7.3.2 pH-Werte von Lösungen schwacher Säuren ($pK_S \geq 0$)

Mischen Sie eine schwache Säure wie z. B. Ameisensäure mit Wasser, so zerfällt (dissoziiert) nur ein Teil der Säuremoleküle in die konjugierte Base unter Abspaltung von Protonen. Der Rest bleibt als Säure in der Lösung.



Wenn x mol einer schwachen Säure in 1 L Wasser gelöst werden, so entstehen bei schwachen Säuren nur relativ wenige H_3O^+ -Ionen. Das heißt, es sind noch fast x mol Säure vorhanden. Von der konjugierten Base (B^-) und H_3O^+ enthält die Lösung gleich viele bzw. gleich wenige Ionen. Die Menge (x) der entstandenen Ionen lässt sich berechnen, wenn Sie den K_S -Wert der verwendeten Säure kennen (z. B. aus Tab. 7.2 oder 7.3) und wissen, welche Konzentration die Säure hat.

$$K_S = \frac{c_{\text{Protonen}} \cdot c_{\text{Base}}}{c_{\text{Säure}}}$$

Vor Einstellung des Gleichgewichtes:

$$\begin{aligned} c_{\text{Base}} &= 0 \\ c_{\text{Protonen}} &= 0 \\ c_{\text{Säure}} &= \text{ursprüngliche Konzentration} \end{aligned}$$

Im Gleichgewicht:

$$\begin{aligned} c_{\text{Base}} &= x \\ c_{\text{Protonen}} &= x \\ c_{\text{Säure}} &= \text{ursprüngliche Konz.} - x \end{aligned}$$

Setzt man diese Werte in obige Gleichung ein, so ergibt sich:

$$\begin{aligned} K_S &= \frac{c_{\text{Protonen}} \cdot c_{\text{Base}}}{c_{\text{Säure}}} \\ &= \frac{x \cdot x}{c_{\text{Säure}} - x} \\ &= \frac{x^2}{c_{\text{Säure}} - x} \end{aligned}$$

Durch Umformen ergibt sich folgende quadratische Gleichung:

$$\begin{aligned} K_S &= \frac{x^2}{c_{\text{Säure}} - x} \\ K_S \cdot (c_{\text{Säure}} - x) &= x^2 \\ K_S \cdot c_{\text{Säure}} - K_S \cdot x &= x^2 \\ 0 &= x^2 + K_S \cdot x - K_S \cdot c_{\text{Säure}} \end{aligned}$$

Es handelt sich hierbei mathematisch gesehen um eine quadratische Gleichung des folgenden, als abc-Gleichung bezeichneten Formats:

$$0 = a \cdot x^2 + b \cdot x + c$$

x_1 und x_2 können daraus mithilfe der sogenannten Mitternachtsformel berechnet werden:

$$x_1 \text{ bzw. } x_2 = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Bezogen auf die Säure-Basen-Reaktion entsprechen die Variablen a , b und c folgenden Konstanten bzw. Konzentrationen:

$$\begin{aligned} a &= 1 \\ b &= K_S \\ c &= -K_S \cdot c_{\text{Säure}} \end{aligned}$$

Gleichung:

$$\begin{aligned} 0 &= a \cdot x^2 + b \cdot x + c \\ &= 1 \cdot x^2 + K_S \cdot x - K_S \cdot c_{\text{Säure}} \end{aligned}$$

Nun werden diese Werte in die nach x_1 und x_2 aufgelöste Mitternachtsformel eingesetzt:

$$\begin{aligned} x_1 \text{ bzw. } x_2 &= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\ &= \frac{-K_S \pm \sqrt{(K_S)^2 + 4 \cdot K_S \cdot c_{\text{Säure}}}}{2} \end{aligned}$$

Für x_1 und x_2 ergeben sich folgende Gleichungen:

$$x_1 = \frac{-K_S + \sqrt{(K_S)^2 + 4 \cdot K_S \cdot c_{\text{Säure}}}}{2}$$

$$x_2 = \frac{-K_S - \sqrt{(K_S)^2 + 4 \cdot K_S \cdot c_{\text{Säure}}}}{2}$$

Nun liefert aber nur die Gleichung für x_1 einen sinnvollen, positiven Wert und somit eine Angabe über die Menge der dissoziierten Säure bzw. an gebildetem H_3O^+ (c_{Protonen}). Der Wert von x_2 kann dagegen vernachlässigt werden.

$$x_1 = c_{\text{Protonen}}$$

Zum Schluss berechnen Sie den negativen Logarithmus für den x_1 -Wert und erhalten so den pH-Wert:

$$\begin{aligned} \text{pH} &= -\log c_{\text{Protonen}} \\ &= -\log x_1 \end{aligned}$$

Die exakte Gleichung zur Berechnung des pH-Wertes schwacher Säuren lautet:

$$\text{pH} = -\log \left(\frac{-K_S + \sqrt{(K_S)^2 + 4 \cdot K_S \cdot c_{\text{Säure}}}}{2} \right)$$

Als Näherung kann in der Praxis meist eine vereinfachte Gleichung angewandt werden. Diese Berechnung wird in der Regel verwendet, wenn der K_S -Wert größer ist als die Konzentration der Säure.

Näherung zur Berechnung des pH-Wertes schwacher Säuren:

$$\text{pH} = \frac{\text{p}K_S - \log c_{\text{Säure}}}{2} \quad (\text{falls } K_S > c_{\text{Säure}})$$

Verwenden Sie diese Näherung, so müssen Sie sich der Tatsache bewusst sein, dass das Resultat mit abnehmender Säurekonzentration immer ungenauer wird.

Beispiele

Eine Ameisensäurelösung hat eine Stoffmengenkonzentration von 10 mmol/L ($\text{p}K_S = 3,7$). Wie groß ist der pH-Wert dieser Lösung?

gegeben:

$$\begin{aligned} c_{\text{Säure}} &= 10^{-2} \text{ mol/L} \\ \text{p}K_S &= 3,7 \\ K_S &= 10^{-3,7} \end{aligned}$$

gesucht:

pH-Wert

Berechnung:

a. Näherung

$$\begin{aligned} \text{pH} &= \frac{\text{p}K_{\text{S}} - \log c_{\text{Säure}}}{2} \\ &= \frac{3,7 - \log 10^{-2} \text{ mol/L}}{2} \\ &= \frac{3,7 + 2}{2} \\ &= \underline{\underline{2,85}} \end{aligned}$$

b. Exakte Berechnung

$$\begin{aligned} \text{pH} &= -\log \left(\frac{-K_{\text{S}} + \sqrt{(K_{\text{S}})^2 + 4 \cdot K_{\text{S}} \cdot c_{\text{Säure}}}}{2} \right) \\ &= -\log \left(\frac{-10^{-3,7} + \sqrt{(10^{-3,7})^2 + 4 \cdot 10^{-3,7} \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}}}{2} \right) \\ &= \underline{\underline{2,88}} \end{aligned}$$

Eine Ameisensäurelösung hat eine Stoffmengenkonzentration von $100,0 \mu\text{mol/L}$ ($\text{p}K_{\text{S}} = 3,7$). Wie groß ist der pH-Wert dieser Lösung?

gegeben:

$$\begin{aligned} c_{\text{Säure}} &= 10^{-4} \text{ mol/L} \\ \text{p}K_{\text{S}} &= 3,7 \\ K_{\text{S}} &= 10^{-3,7} \end{aligned}$$

gesucht:

pH-Wert

Berechnung:

a. Näherung

$$\begin{aligned} \text{pH} &= \frac{\text{p}K_{\text{S}} - \log c_{\text{Säure}}}{2} \\ &= \frac{3,7 - \log 10^{-4} \text{ mol/L}}{2} \\ &= \frac{3,7 + 4}{2} \\ &= \underline{\underline{3,85}} \end{aligned}$$

b. Exakte Berechnung

$$\begin{aligned}
 \text{pH} &= -\log\left(\frac{-K_S + \sqrt{(K_S)^2 + 4 \cdot K_S \cdot c_{\text{Säure}}}}{2}\right) \\
 &= -\log\left(\frac{-10^{-3,7} + \sqrt{(10^{-3,7})^2 + 4 \cdot 10^{-3,7} \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}}}{2}\right) \\
 &= \underline{\underline{4,14}}
 \end{aligned}$$

Die Angabe von pH-Werten mit einer Genauigkeit von vier Ziffern ist nicht sinnvoll. In der Regel gibt man den pH-Wert in der Praxis deshalb meist auf eine oder zwei Nachkommastellen genau an.

Aus der Gleichung für den pH-Wert der Lösung einer schwachen Säure ist ersichtlich:

- Bei gleichbleibender Konzentration ist der pH-Wert einer Lösung umso niedriger, je stärker die Säure ist.
- Lösungen verschiedener Säuren mit unterschiedlichen pK_S -Werten können denselben pH-Wert besitzen. Dann müssen aber die Konzentrationen unterschiedlich sein. Je schwächer die Säure, desto höher muss bei gleichem pH-Wert die Konzentration sein.

Aufgaben

7.3.4* Wie groß ist der pH-Wert einer Propansäurelösung mit einer Konzentration von 0,2500 mmol/L ($pK_S = 4,87$)?

7.3.5* Welchen pH-Wert hat eine Salpetersäurelösung mit einer Stoffmengenkonzentration von 20,00 mmol/L ($pK_S = -1,32$)?

7.3.6** Sie messen bei der Analyse eines kohlenensäurehaltigen Mineralwassers einen pH-Wert von 4,52. Wie groß ist die Kohlenensäurekonzentration zum Zeitpunkt der Messung ($pK_S = 6,37$)?

7.3.7** Sie füllen einen Messkolben etwa bis zur Hälfte mit destilliertem Wasser, geben 8,000 g Ameisensäure ($pK_S = 3,75$) hinzu (gemäß Vorschrift: „Erst das Wasser, dann die Säure, sonst passiert das Ungeheure“) und füllen zum Schluss mit destilliertem Wasser auf 250,0 mL auf. Welchen pH-Wert hat diese Lösung?

7.3.8** Für einen Versuch benötigen Sie eine Essigsäurelösung mit einem pH-Wert von 4,40. Wie viele Milliliter Essigsäurelösung mit einer Konzentration $c_{\text{Essigsäure}} = 2,000 \text{ mmol/L}$ müssen Sie abmessen und mit destilliertem Wasser verdünnen, um 100,0 mL Lösung mit dem gewünschten pH-Wert herzustellen?

7.3.9** Sie geben 900,0 mg Milchsäure ($\text{H}_4\text{C}_2\text{OH}-\text{COOH}$) in einen Kolben, der bereits 200,0 mL Wasser enthält, und füllen anschließend mit zusätzlichem Was-

Tab. 7.2 pK_S -Werte anorganischer Säure-Basen-Paare

	Name der Säure	Säure	Konjugierte Base	pK_S
Starke Säuren	Iodwasserstoffsäure	HI	I^-	-11
	Perchlorsäure	$HClO_4$	ClO_4^-	-10
	Salzsäure	HCl	Cl^-	-7
	Schwefelsäure	H_2SO_4	HSO_4^-	-3
	Salpetersäure	HNO_3	NO_3^-	-1,32
Schwache Säuren	Schweflige Säure	H_2SO_3	HSO_3^-	1,96
	Phosphorsäure	H_3PO_4	$H_2PO_4^-$	2,12
	Fluorwasserstoffsäure	HF	F^-	3,14
	Salpetrige Säure	HNO_2	NO_2^-	3,37
	Kohlensäure	H_2CO_3	HCO_3^-	6,37
Schwache Basen	Schwefelwasserstoff	H_2S	HS^-	7,06
	Hydrogensulfit	HSO_3^-	SO_3^{2-}	7,20
	Dihydrogenphosphat	$H_2PO_4^-$	HPO_4^{2-}	7,21
	Ammonium	NH_4^+	NH_3	9,21
	Cyanwasserstoff	HCN	CN^-	9,31
	Hydrogencarbonat	HCO_3^-	CO_3^{2-}	10,4
	Wasserstoff-Peroxid	H_2O_2	HO_2^-	11,62
	Hydrogensulfat	HSO_4^-	SO_4^{2-}	12,1
	Hydrogenphosphat	HPO_4^{2-}	PO_4^{3-}	12,32
	Hydrogensulfid	HS^-	S^{2-}	12,9
Starke Basen	Wasser	H_2O	OH^-	15,74
	Ammoniak	NH_3	NH_2^-	23
	Hydroxid	OH^-	O^{2-}	24

Tab. 7.3 pK_S -Werte organischer Säure-Basen-Paare

Name der Säure	Säure	konjugierte Base	pK_S
Trichloressigsäure	$Cl_3C-COOH$	Cl_3C-COO^-	0,52
Oxalsäure	$HOOC-COOH$	$HOOC-COO^-$	1,46
Brenztraubensäure	$H_3CCO-COOH$	$H_3CCO-COO^-$	2,49
Weinsäure	$HOOC-(CHOH)_2-COOH$	$HOOC-(CHOH)_2-COO^-$	2,98
Milchsäure	$H_3CCHOH-COOH$	$H_3CCHOH-COO^-$	3,08
Apfelsäure	$HOOCCH_3-CHOH-COOH$	$HOOCCH_3-CHOH-COO^-$	3,46
Ameisensäure	HCOOH	$HCOO^-$	3,75
Milchsäure	$H_4C_2OHCOOH$	$H_4C_2OHCOO^-$	3,87
Benzoessäure	H_6C_6COOH	$H_6C_6COO^-$	4,19
Tartrat	$HOOC-(CHOH)_2-COO^-$	$^-OOC-(CHOH)_2-COO^-$	4,34
Essigsäure	H_3CCOOH	H_3CCOO^-	4,75
Sorbinsäure	$H_3C-(CH)_4-COOH$	$H_3C-(CH)_4-COOH^-$	4,76
Propionsäure	H_5C_2COOH	$H_5C_2COO^-$	4,87
Malat	$HOOCCH_3-CHOH-COO^-$	$^-OOCCH_3-CHOH-COO^-$	5,10
Phenol	C_6H_5OH	$C_6H_5O^-$	9,89

ser auf 500,0 mL auf. Wie groß ist der pH-Wert dieses Gemischs (pK_S Milchsäure = 3,87)?

7.3.10** Für einen Versuch benötigen Sie eine Ameisensäurelösung mit einem pH-Wert von 5,40. Wie viele Milligramm Ameisensäurelösung mit einem Massenanteil $w_{\text{Ameisensäure}} = 0,1000\%$ müssen Sie für 100,0 mL Lösung mit dem gewünschten pH-Wert einwiegen?

7.3.11** Sie verdünnen 120,0 mL Apfelsäure ($c = 2,000$ mmol/L, $pK_S = 3,46$), indem Sie mit destilliertem Wasser auf 500,0 mL auffüllen. Welchen pH-Wert hat die verdünnte Lösung?

7.3.3 pH-Werte von Basen

Die Berechnung von pH-Werten für Basen verläuft entsprechend der Berechnung der Säuren. Der Unterschied liegt darin, dass anstelle des pK_S -Wertes mit dem pK_B -Wert gerechnet wird.

$$\begin{aligned} pK_S + pK_B &= 14 \\ pK_B &= 14 - pK_S \end{aligned}$$

Anstelle des pH-Wertes ermittelt man bei basischen Lösungen den pOH-Wert, das heißt den negativen Logarithmus der Hydroxid-Ionen-Konzentration. Hierbei gilt:

$$pOH = -\log c_{OH^-}$$

Für wässrige Lösungen gilt:

$$\begin{aligned} pH + pOH &= 14 \\ pH &= 14 - pOH \end{aligned}$$

Wie bei Säuren wird auch bei Basen für die pOH-Berechnung unterschieden zwischen starken und schwachen Basen. Analog zu den Säuren gilt:

$$\begin{aligned} pK_B < 0 &\Rightarrow \text{starke Base} \\ pK_B \geq 0 &\Rightarrow \text{schwache Base} \end{aligned}$$

Zur Berechnung des pOH-Wertes werden dann die folgenden Gleichungen verwendet:

- Starke Base:

$$pOH = -\log c_{\text{starke Base}}$$

- Schwache Base (Näherung):

$$\begin{aligned} \text{pOH} &= \frac{\text{p}K_{\text{B}} - \log c_{\text{Base}}}{2} \quad (\text{falls } K_{\text{B}} > c_{\text{Base}}) \\ \text{pH} &= 14 - \frac{\text{p}K_{\text{B}} - \log c_{\text{Base}}}{2} \end{aligned}$$

- Schwache Base (exakt):

$$\begin{aligned} \text{pOH} &= -\log c_{\text{OH}^-} \\ &= -\log \left(\frac{-K_{\text{B}} + \sqrt{(K_{\text{B}})^2 + 4 \cdot K_{\text{B}} \cdot c_{\text{Base}}}}{2} \right) \\ \text{pH} &= 14 - \text{pOH} \\ &= 14 + \log \left(\frac{-K_{\text{B}} + \sqrt{(K_{\text{B}})^2 + 4 \cdot K_{\text{B}} \cdot c_{\text{Base}}}}{2} \right) \end{aligned}$$

Beispiel

Wie groß ist der pH-Wert einer Ammoniaklösung mit einer Stoffmengenkonzentration von 2,500 mmol/L ($\text{p}K_{\text{S}} = -9,24$)?

gegeben:

$$\begin{aligned} c_{\text{Base}} &= 0,0025 \text{ mol/L} \\ \text{p}K_{\text{B}} &= 9,24 \quad (\text{schwache Base}) \\ \rightarrow \text{p}K_{\text{B}} &= 14 - 9,24 = 5,76 \end{aligned}$$

gesucht:

pH-Wert

Berechnung:

$$\begin{aligned} \text{pOH} &= \frac{\text{p}K_{\text{B}} - \log c_{\text{Ammoniak}}}{2} \\ &= \frac{5,76 - \log 0,0025 \text{ mol/L}}{2} \\ &= 4,18 \\ \text{pH} &= 14 - \text{pOH} \\ &= 14 - 4,18 \\ &= \underline{\underline{9,81}} \end{aligned}$$

Aufgaben

7.3.12* Welchen pH-Wert hat eine KOH-Lösung mit einer Stoffmengenkonzentration von 20,00 mmol/L?

7.3.13* Wie groß ist der pH-Wert einer Ammoniak-Lösung, wenn diese 2,500 g NH_3 pro Liter Lösung enthält ($pK_S = 9,24$)?

7.3.14** Eine Natriumcyanidlösung enthält 35,50 mg NaCN pro Liter Lösung. Welchen pH-Wert hat diese Lösung ($pK_S = 9,31$)?

7.3.15** Sie messen bei einer Ammoniaklösung einen pH-Wert von 10,31. Welche millimolare (mmol/L) Ammoniakkonzentration hat diese Lösung?

7.3.16*** Sie mischen 100,0 mL Natronlauge ($c_{\text{NaOH}} = 2,000$ mmol/L) mit 150,0 mL Kalilauge ($c_{\text{KOH}} = 1,250$ mmol/L). Welchen pH-Wert hat das Gemisch?

7.4 Pufferlösungen

Eine Pufferlösung setzt sich immer zusammen aus einem schwachen konjugierten Säure-Basen-Paar.

Beispiele

- Essigsäure + Acetat
- Dihydrogenphosphat + Hydrogenphosphat
- Hydrogencarbonat + Carbonat

Das Konzentrationsverhältnis von Puffersäure zu Pufferbase sollte möglichst 1 : 1 betragen. Mit einer Pufferlösung können Sie den pH-Wert bis zu einem gewissen Grad konstant halten, auch wenn fremde Säuren oder Basen zugegeben werden.

7.4.1 Wirkungsweise einer Pufferlösung

Wenn Sie einer Pufferlösung eine fremde Säure HX zufügen, so werden die Protonen (H^+) dieser fremden Säure durch die in der Lösung enthaltene Pufferbase (B^-) aufgefangen und somit neutralisiert. Das heißt, die Menge der in der Pufferlösung befindlichen H^+ verändert sich nicht (oder zumindest nur unwesentlich):



Beispiel Carbonatpuffer (Puffersäure = HCO_3^- , Pufferbase = CO_3^{2-}) + fremde Säure HCl:



Trotz Zugabe der fremden Säure HX werden keine Hydronium-Ionen (H_3O^+) gebildet, sodass der pH-Wert stabil bleibt.

Umgekehrt wird eine fremde Base Y^- durch die in der Lösung enthaltene Puffersäure HB neutralisiert. Die fremde Base kann die Protonenkonzentration in der Lösung nicht verändern (oder zumindest nur unwesentlich):



Beispiel Carbonatpuffer (Puffersäure = HCO_3^- , Pufferbase = CO_3^{2-}) + fremde Base OH^- :



Bei der Zugabe fremder Säuren wird die Konzentration der Pufferbase zwar kleiner, weil diese verbraucht wird. Die Konzentration der Puffersäure wird gleichzeitig größer, weil die Pufferbase mit den Protonen (H^+) der fremden Säure zur Puffersäure reagiert. Dies bedeutet, dass das Verhältnis $c_{\text{Base}}/c_{\text{Säure}}$ kleiner wird. Weil der pH-Wert einer Pufferlösung jedoch nur vom Logarithmus dieses Verhältnisses abhängt, verändert er sich nur wenig.

Maßgebend für die Berechnung des pH-Wertes einer Pufferlösung ist folgendes Gleichgewicht:



Daraus ergibt sich folgende Gleichung zur Berechnung des pH-Wertes einer Pufferlösung (vor der Zugabe von Säure oder Base):

$$\begin{aligned} \text{pH} &= \text{p}K_{\text{S}} + \log \frac{c_{\text{Pufferbase}}}{c_{\text{Puffersäure}}} \\ &= \text{p}K_{\text{S}} + \log \frac{n_{\text{Pufferbase}}}{n_{\text{Puffersäure}}} \end{aligned}$$

Durch die Zugabe fremder Säure oder Base verändern sich die Konzentrationen von Puffersäure und Pufferbase, was sich entsprechend auf das Verhältnis von Pufferbase/Puffersäure auswirkt. Solange aber keine der beiden Pufferkomponenten verbraucht ist, kommt es trotz Zugabe einer fremden Säure oder Base nur zu relativ geringen pH-Schwankungen.

$$\text{pH} = \text{p}K_{\text{S}} + \log \frac{n_{\text{Pufferbase}} - n_{\text{H}^+ \text{ zugegeben}}}{n_{\text{Puffersäure}} + n_{\text{H}^+ \text{ zugegeben}}}$$

Daraus folgt:

1. Wenn eine Lösung gleiche Konzentrationen eines konjugierten Säure-Basen-Paares enthält, so ist ihr pH-Wert gleich dem pK_S -Wert dieser Säure.
2. Wenn eine Lösung die Mischung eines konjugierten Säure-Basen-Paares enthält, so ist der pH-Wert dieser Lösung durch die Puffergleichung gegeben. Voraussetzung: Sie müssen das Konzentrationsverhältnis des konjugierten Säure-Basen-Paares kennen.

Beispiel

Eine Lösung enthält 0,01 mol/L HF und 0,01 mol/L NaF. Wie groß ist der pH-Wert dieser Pufferlösung ($pK_S = 3,18$)?

gegeben:

$$\begin{aligned}c_{\text{Puffersäure}} &= 0,01 \text{ mol/L} \\c_{\text{Pufferbase}} &= 0,01 \text{ mol/L} \\pK_S &= 3,18\end{aligned}$$

gesucht:

pH-Wert

Berechnung:

$$\begin{aligned}\text{pH} &= pK_S + \log \frac{c_{\text{Pufferbase}}}{c_{\text{Puffersäure}}} \\&= 3,18 + \log \frac{0,01 \text{ mol/L}}{0,01 \text{ mol/L}} \\&= 3,18 + \log 1 \\&= 3,18 + 0 \\&= \underline{\underline{3,18}}\end{aligned}$$

► **Merke!** Aus Unkenntnis darüber, wie Puffer zusammengesetzt sind und wie sie funktionieren, ist der Umgang mit ihnen leider oftmals unsachgemäß. Gerade in Biologielaboratorien kann man immer wieder beobachten, dass Puffer durch Zugabe von Natronlauge oder Salzsäure eingestellt werden. Damit beschränkt man aber den Wirkungsbereich des Puffers, weil man einen der beiden Partner des Puffersystems zerstört.

Richtigerweise stellen Sie den pH-Wert eines Puffers wie folgt ein:

- Ist der pH-Wert zu tief, so fügen Sie Pufferbase hinzu, bis der gewünschte Wert erreicht ist.
- Ist der pH-Wert zu hoch, so fügen Sie Puffersäure hinzu, bis der gewünschte Wert erreicht ist.

Durch diese Vorgehensweise stärken Sie die Pufferwirkung.

Oder noch besser:

Sie berechnen mithilfe der Puffergleichung das Verhältnis von Pufferbase/-Puffersäure und stellen den Puffer gleich von Beginn weg auf den gewünschten Wert ein.

Aufgaben

7.4.1* Eine Lösung enthält pro Liter 0,1000 mol Essigsäure ($\text{H}_3\text{C}-\text{COOH}$) und 0,1000 mol Natriumacetat ($\text{H}_3\text{C}-\text{COONa}$)

- Wie groß ist der pH-Wert dieser Lösung ($\text{p}K_S = 4,75$)?
- Wie stark verändert sich der pH-Wert, wenn 1,000 L dieser Lösung 1,000 mL Salzsäure ($c_{\text{HCl}} = 1,000 \text{ mol/L}$) zugefügt wird?
- Wie stark verändert sich der pH-Wert, wenn 1,000 L reinem Wasser 1,000 mL Salzsäure ($c_{\text{HCl}} = 1,000 \text{ mol/L}$) zugefügt wird?
- Wie erklären Sie sich diese unterschiedlichen pH-Änderungen?

7.4.2* Sie geben 25,00 mL Essigsäurelösung ($c_{\text{Essigsäure}} = 1,000 \text{ mol/L}$) in einen Messkolben, fügen 2,051 g Natriumacetat hinzu und füllen mit Wasser auf 500,0 mL auf. Welchen pH-Wert hat diese Lösung?

7.4.3* Ein 500,0 mL Messkolben enthält ein Gemisch aus Essigsäure und Natriumacetat. Wie groß ist der pH-Wert der Lösung, wenn in den 500,0 mL Lösung 10,00 g Essigsäure und 12,00 g Natriumacetat enthalten sind?

7.4.4** 1,000 L einer Lösung enthält 1,000 g NaHCO_3 und 1,000 g Na_2CO_3 . Wie groß ist der pH-Wert dieser Lösung ($\text{p}K_S = 10,33$)?

7.4.5** Sie geben 20,00 g Natriumhydrogenoxalat ($\text{HOOC}-\text{COONa}$) zusammen mit 20,00 g Oxalsäure ($\text{HOOC}-\text{COOH}$) in einen Messkolben und füllen diesen mit H_2O auf 250,0 mL auf. Wie groß ist der pH-Wert dieser Mischung ($\text{p}K_{S \text{ Oxalsäure/Hydrogenoxalat}} = 1,23$)?

7.4.6** Eine Pufferlösung mit pH 7,19 enthält als konjugiertes Säure-Basen-Paar Kaliumdihydrogenphosphat (KH_2PO_4) und Kaliumhydrogenphosphat (K_2HPO_4). Wie groß ist die Kalium-Massenkonzentration (g/L), wenn in 1,000 L Lösung 25,00 g K_2HPO_4 und 20,00 g KH_2PO_4 vorhanden sind?

7.4.7** Der pH-Wert von Blut liegt normalerweise zwischen 7,3 und 7,4. Größere Schwankungen sind für den Körper lebensbedrohlich. Damit der pH-Wert im Blut stabil bleibt, enthält es ein Puffersystem aus H_2CO_3 und HCO_3^- . Der $\text{p}K_S$ -Wert dieses Puffersystems beträgt 6,35. Wie groß ist das Verhältnis von Säure zu Base bei einem mittleren Blut-pH-Wert von 7,35?

7.4.8** 1,250 L eines Nährmediums, das als einzige Säure Milchsäure ($\text{H}_3\text{C}-\text{CHOH}-\text{COOH}$) in einer Stoffmengenkonzentration von 3,500 mmol/L enthält, soll durch Zugabe von Natriumlactat ($\text{H}_3\text{C}-\text{CHOH}-\text{COONa}$) auf einen pH-Wert von 4,00 gepuffert werden (pK_S von Milchsäure/Lactat = 3,87). Wie viele Milligramm Natriumlactat müssen Sie zum Nährmedium hinzufügen, um den gewünschten pH-Wert einzustellen? (Volumenzunahme durch Zugabe des Natriumlactats vernachlässigen)

7.4.9*** Sie benötigen für ein Flüssignährmedium, das zur Kultur menschlicher Hautepithelzellen verwendet werden soll, einen Puffer mit pH 6,8. Sie verwenden einen Natriumhydrogensulfit/Natriumsulfit-Puffer ($pK_S = 7,2$). In welchem Massenverhältnis ($\text{NaHSO}_3 : \text{Na}_2\text{SO}_3$) müssen Sie das konjugierte Säure-Basen-Paar einwiegen? Achtung: Geben Sie das Massenverhältnis als 1 : X an!

7.4.10*** In einer Nährlösung zur Kultivierung von Schafs-Milchdrüsenzellen wird der pH-Wert mittels eines Kaliumdihydrogenphosphat/Kaliumhydrogenphosphat-Puffers ($pK_S \text{ H}_2\text{PO}_4^-/\text{HPO}_4^{2-} = 7,2$) stabilisiert. Das konjugierte Säure-Basen-Paar ist in einer Stoffmengen-Konzentration von $c_{\text{Kaliumdihydrogenphosphat}} = c_{\text{Kaliumhydrogenphosphat}} = 25,00 \text{ mmol/L}$ in der gebrauchsfertigen Nährlösung enthalten. Wie viele Mol Protonen haben die Zellen pro Liter ins Nährmedium ausgeschieden, wenn der pH-Wert nach einigen Zellzyklen bei 7,12 liegt?

7.4.11*** Sie müssen 500,0 mL einer Pufferlösung herstellen, die einem Zellkulturmedium zugefügt wird und dafür sorgen kann, dass der pH-Wert möglichst nicht unter 7,0 absinkt. Sie entscheiden sich für einen Puffer mit $\text{KH}_2\text{PO}_4/\text{K}_2\text{HPO}_4$ als konjugiertes Säure-Basen-Paar ($pK_S = 7,2$) und einen Basis-pH-Wert der Pufferlösung von 7,1.

Wie viele Gramm KH_2PO_4 müssen Sie zur Herstellung des Puffers einwiegen, wenn die Kalium-Massenkonzentration 0,1540 g/L nicht überschreiten darf, aber gleichzeitig eine möglichst gute Pufferung erzielt werden soll?

7.5 Säure/Basen-Titration

Die Titration ist ein Verfahren, mit dem die Konzentration einer unbekanntem Lösung mithilfe einer Maßlösung ermittelt wird. Es handelt sich also um ein Verfahren zur Bestimmung von Stoffmengen in Lösungen mit unbekannter Konzentration.

7.5.1 Titration einwertiger Säuren und Basen

Bei der Säure/Basen-Titration messen Sie als Erstes ein bestimmtes Volumen der Säure ab (z. B. 100,0 mL). Anschließend fügen Sie einige Tropfen eines Säure-Basen-Indikators zu. Dabei handelt es sich um einen Farbstoff, der auf die H_3O^+ - bzw. OH^- -Ionenkonzentration in der Lösung reagiert. Bei einem bestimmten Ver-

hältnis dieser beiden Ionen ändert der Indikator seine Farbe (= Farbumschlag). Meist wird ein Indikator verwendet, der die Farbe ändert, wenn die H_3O^+ -Konzentration gleich der OH^- -Konzentration ist.

Nun geben Sie zur Säurelösung Tropfen um Tropfen eine Base (z. B. Natronlauge) mit genau bekannter Konzentration (z. B. 1,000 mmol/L) hinzu. Dadurch verändert sich das Verhältnis der H_3O^+ - bzw. OH^- -Ionen in der Lösung. Sobald dieses Ionenverhältnis den Punkt erreicht hat, bei dem der Säure-Basen-Indikator seine Farbe ändert, stoppen Sie die Basenzugabe und bestimmen die benötigte Basenmenge (in mol). Für einwertige Säuren und Basen gilt:

$$\begin{aligned}n_{\text{Säure}} &= n_{\text{Base}} \\c_{\text{Säure}} \cdot V_{\text{Säure}} &= c_{\text{Base}} \cdot V_{\text{Base}}\end{aligned}$$

Beispiel

200,0 mL einer Salzsäurelösung unbekannter Konzentration werden mit Natronlauge ($c_{\text{NaOH}} = 1,000 \text{ mol/L}$) titriert. Bis zum Farbumschlag werden 12,00 mL Natronlauge verbraucht. Wie viele Mol NaOH wurden für die Titration verbraucht?

gegeben:

$$\begin{aligned}V_{\text{HCl}} &= 200 \text{ mL} \\c_{\text{NaOH}} &= 1 \text{ mol/L} \\V_{\text{NaOH}} &= 12 \text{ mL}\end{aligned}$$

gesucht:

$$n_{\text{NaOH}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}n_{\text{NaOH}} &= c_{\text{NaOH}} \cdot V_{\text{NaOH}} \\&= 1 \text{ mol/L} \cdot 0,012 \text{ L} \\&= 0,012 \text{ mol} \\&= \underline{\underline{12,00 \text{ mmol}}}\end{aligned}$$

Da der verwendete Säure-Basen-Indikator bei gleicher H_3O^+ - wie OH^- -Konzentration seine Farbe ändert, gibt eine zu bestimmende Säure gleich viele H^+ -Ionen ab (die sich dann mit H_2O zu H_3O^+ verbinden) wie OH^- -Ionen bei der Titration zugegeben wurden. Das heißt im oben angeführten Beispiel 12,00 mmol OH^- -Ionen (aus der Natronlauge) und folglich ebenfalls 12,00 mmol H^+ -Ionen (aus der Salzsäure).

$$n_{\text{H}_3\text{O}^+} = n_{\text{OH}^-}$$

Tab. 7.4 Wichtige einprotonige Säuren

Einprotonige anorganische Säuren	Einprotonige organische Säuren
Salzsäure (HCl)	Ameisensäure (HCOOH)
Iodwasserstoffsäure (HI)	Essigsäure (H ₃ C-COOH)
Bromwasserstoffsäure (HBr)	Propansäure (H ₅ C ₂ -COOH)
Perchlorsäure (HClO ₄)	
Salpetersäure (HNO ₃)	

Da bei der Titration das Volumen der titrierten Säure bekannt ist, kann die Stoffmengenkonzentration der Säure leicht bestimmt werden, indem Sie die berechnete Anzahl mol H⁺-Ionen durch das titrierte Volumen teilen:

$$\begin{aligned}
 c_{\text{H}_3\text{O}^+} &= \frac{n_{\text{OH}^-}}{V_{\text{Säure}}} \\
 &= \frac{12 \text{ mmol}}{200 \text{ mL}} \\
 &= \underline{\underline{60,00 \text{ mmol/L}}}
 \end{aligned}$$

Diese Art der Berechnung gilt nicht nur für die Salzsäure, sondern für alle Säuren, die nur ein H⁺-Ion abgeben können (Tab. 7.4).

Aufgaben

7.5.1* 12,00 mL Perchlorsäure (HClO₄) werden mit Natronlauge ($c_{\text{NaOH}} = 200,0 \text{ mmol/L}$) titriert. Dabei werden 5,300 mL Natronlauge verbraucht. Welche Stoffmengenkonzentration hat die Perchlorsäure?

7.5.2* 54,00 mL Salzsäure mit einer Konzentration von 50,00 mmol/L sollen mit Natronlauge ($c_{\text{NaOH}} = 0,1000 \text{ mol/L}$) titriert werden. Wie viele Milliliter Natronlauge werden benötigt?

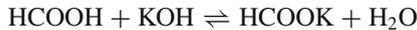
7.5.3* 220,0 mL Kalilauge mit unbekannter Konzentration werden mit Salzsäure titriert. Dabei werden 112,0 mL Salzsäure mit einer Konzentration von 0,1000 mol/L verbraucht. Welche Stoffmengenkonzentration hat die Kalilauge?

7.5.4* 60,00 mL Essig werden mit einer 20,00 mmol/L Kaliumhydroxidlösung (KOH) titriert. Der KOH-Verbrauch beträgt 36,70 mL. Welche Konzentration hat der Essig?

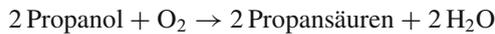
7.5.5* Zur Bestimmung des Ammoniaks in einer Urinprobe werden 250,0 mL Urin zusammen mit 0,5 mL eines Indikators in einen Erlenmeyerkolben gegeben. Anschließend wird Salzsäurelösung ($c_{\text{HCl}} = 0,0500 \text{ mol/L}$) zugegeben. Bis zum Farbumschlag des Indikators werden 85,29 mL HCl-Lösung verbraucht. Wie groß ist die Ammoniakkonzentration in der Urinprobe?

7.5.6** Sie sollen den Essigsäuregehalt ($\text{H}_3\text{C}-\text{COOH}$) eines Speiseessigs bestimmen. Hierzu titrieren Sie 50,00 mL Essig mit Natronlauge ($c_{\text{NaOH}} = 100,0 \text{ mmol/L}$). Bis zum Umschlagpunkt verbrauchen Sie 32,68 mL NaOH-Lösung. Wie groß ist die Massenkonzentration der Essigsäure?

7.5.7** 20,00 mL Ameisensäure (HCOOH) werden mit Kalilauge titriert ($c_{\text{KOH}} = 200,0 \text{ mmol/L}$). Der Kalilaugenverbrauch beträgt 29,20 mL. Wie viele Gramm Ameisensäure enthält 1,000 L Ameisensäurelösung?



7.5.8*** Verschiedene Bakterien sind in der Lage, gemäß folgender Reaktion Propanol ($\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2\text{OH}$) in Propansäure ($\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{COOH}$) zu vergären.

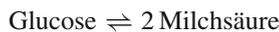


Eine Propanol-Lösung enthielt ursprünglich 120,0 g Propanol pro Liter. Nach 20 Tagen Inkubationszeit wurde der Propansäuregehalt ermittelt. Hierfür wurden 50,00 mL Lösung mit Natronlauge ($c_{\text{NaOH}} = 0,1000 \text{ mol/L}$) titriert, wobei 83,90 mL NaOH verbraucht wurden. Wie groß ist die Massenkonzentration der Propansäure zum Zeitpunkt der Titration?

7.5.9*** Sie sollen in einem Kleinnager-Zuchtraum den Ammoniakgehalt der Luft bestimmen. Hierzu leiten sie $15,50 \text{ m}^3$ Luft durch einen Wassertank mit einem Volumen von 8,500 L, sodass der Ammoniak sich im Wasser löst. Anschließend titrieren Sie 120,0 mL dieser Ammoniaklösung mit Salzsäure ($c_{\text{HCl}} = 50,00 \text{ } \mu\text{mol/L}$) und verbrauchen dabei 4,610 mL HCl-Lösung. Wie viele Mikrogramm Ammoniak enthält die Luft im Zuchtraum pro Kubikmeter?



7.5.10*** Lactobakterien wandeln Traubenzucker ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) gemäß folgender Reaktionsgleichung in Milchsäure ($\text{H}_3\text{C}-\text{CHOH}-\text{COOH}$) um. Dadurch säuert die Milch an und gerinnt zu Joghurt. Sie bestimmen in einem Joghurt den Milchsäuregehalt. Für die Titration von 100,0 mL Joghurt verbrauchen Sie 23,20 mL NaOH ($c_{\text{NaOH}} = 1,000 \text{ mmol/L}$). Wie viele Milligramm Glucose wandelten die Bakterien pro Liter Milch in Milchsäure um?



7.5.2 Titration mehrwertiger Säuren und Basen

Nun gibt es aber nicht nur ein-, sondern auch mehrprotonige Säuren (Tab. 7.5). Diese zeichnen sich dadurch aus, dass sie in der Lage sind, mehrere H^+ -Ionen

Tab. 7.5 Wichtige zwei- und dreiprotonige Säuren

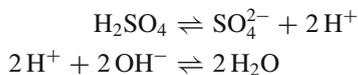
Zweiprotonige anorganische Säuren	Zweiprotonige organische Säuren
Schwefelsäure (H ₂ SO ₄)	Oxalsäure (HOOC–COOH)
	Fumarsäure (HOOC–CH=CH–COOH)
	Bernsteinsäure (HOOC–CH ₂ –CH ₂ –COOH)
Dreiprotonige anorganische Säuren	Dreiprotonige organische Säuren
Phosphorsäure (H ₃ PO ₄)	Citronensäure (C ₆ H ₈ O ₇)
	Isocitronensäure (C ₆ H ₈ O ₇)

abzuspalten. Bei mehrprotonigen Säuren muss berücksichtigt werden, wie viele Protonen die Säure abgibt.

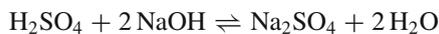
- **Vorsicht!** Unter physiologischen Bedingungen muss die Phosphorsäure (H₃PO₄) meist als zweiprotonige Säure betrachtet werden, da das dritte H⁺ erst bei sehr hohen pH-Werten abgegeben wird. Rechnen Sie deshalb bei Titrationen von Phosphorsäure – falls nichts anderes angegeben ist – so, als ob es sich um eine zweiprotonige Säure handeln würde!

Bei zweiprotonigen Säuren benötigen Sie doppelt so viele OH⁻-Ionen wie bei einer einprotonigen Säure, um die Säure zu neutralisieren, da diese doppelt so viele H⁺-Ionen abgibt.

Reaktionsgleichung:



Titration:



In die allgemeine Titrationsgleichung muss bei mehrprotonigen Säuren ein Korrekturfaktor ($n_{\text{Säure}}$) eingefügt werden. In der Regel entspricht dieser der Anzahl H⁺, die eine Säure abgibt. Bei Basen, die mehrere OH⁻-Ionen abgeben können muss dieser Korrekturfaktor (n_{Base}) entsprechend auf der Seite der Base in die Gleichung eingefügt werden.

Allgemeingültige Titrationsformel

$$c_{\text{Säure}} \cdot V_{\text{Säure}} \cdot n_{\text{Säure}} \cdot t = c_{\text{Base}} \cdot V_{\text{Base}} \cdot n_{\text{Base}}$$

$c_{\text{Säure}}$ = Stoffmengenkonzentration der Säure

c_{Base} = Stoffmengenkonzentration der Base

$n_{\text{Säure}}$ = Anzahl H⁺, die von der Säure abgegeben werden

n_{Base} = Anzahl OH⁻, die von der Base abgegeben werden

t = Titer (Korrekturfaktor für ungenau hergestellte oder verunreinigte Maßlösungen)

Beispiel

25,00 mL Schwefelsäure (H_2SO_4) werden mit Natronlauge ($c_{\text{NaOH}} = 0,100 \text{ mol/L}$) titriert. Dabei werden 50,00 mL Natronlauge verbraucht. Wie groß ist die Schwefelsäurekonzentration?

gegeben:

$$\begin{aligned} V_{\text{Schwefelsäure}} &= 25 \text{ mL} \\ c_{\text{NaOH}} &= 0,1 \text{ mol/L} \\ V_{\text{NaOH}} &= 50 \text{ mL} \\ n_{\text{Säure}} &= 2 \\ n_{\text{Base}} &= 1 \end{aligned}$$

gesucht:

$$V_{\text{Schwefelsäure}}$$

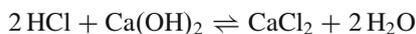
Berechnung:

$$\begin{aligned} c_{\text{Säure}} \cdot V_{\text{Säure}} \cdot n_{\text{Säure}} &= c_{\text{Base}} \cdot V_{\text{Base}} \cdot n_{\text{Base}} \\ c_{\text{Säure}} &= \frac{c_{\text{Base}} \cdot V_{\text{Base}} \cdot n_{\text{Base}}}{V_{\text{Säure}} \cdot n_{\text{Säure}}} \\ &= \frac{0,1 \text{ mol/L} \cdot 50 \text{ mL} \cdot 1}{25 \text{ mL} \cdot 2} \\ &= 0,1 \text{ mol/L} \\ &= \underline{\underline{100,0 \text{ mmol/L}}} \end{aligned}$$

Aufgaben

7.5.11* 25,00 mL Schwefelsäure werden mit Natronlauge ($c_{\text{NaOH}} = 1,000 \text{ mmol/L}$) titriert. Bis zum Farbumschlag des Indikators werden 14,58 mL NaOH-Lösung verbraucht. Welche Stoffmengenkonzentration hat die Schwefelsäure?

7.5.12* 50,00 mL einer $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -Lösung ($c_{\text{Calciumhydroxid}} = 300,0 \text{ mmol/L}$) werden mit Salzsäure ($c_{\text{HCl}} = 200,0 \text{ mmol/L}$) neutralisiert. Wie viele Milliliter Salzsäure werden bei der Neutralisation benötigt?

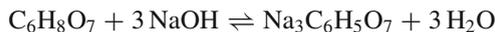


7.5.13* Sie müssen die Konzentration einer Oxalsäurelösung bestimmen. Hierfür steht Ihnen eine KOH-Lösung mit einer Stoffmengenkonzentration von 10,00 mmol/L zur Verfügung. Sie verbrauchen für die Titration von 250,0 mL Oxalsäurelösung 124,8 mL KOH-Lösung.

- Welche Konzentration hat die Oxalsäurelösung?
- Wie viele Gramm Kaliumhydroxid werden für die Titration benötigt?

7.5.14* Pilze der Gattung *Mucor* scheiden Fumarsäure ($\text{HOOC}-\text{CH}=\text{CH}-\text{COOH}$) als Stoffwechselprodukt aus. Sie sollen in einem Flüssignährmedium die Fumarsäurekonzentration bestimmen. Hierzu titrieren Sie 200,0 mL des abfiltrierten Mediums mit Natronlauge $c_{\text{NaOH}} = 10,00 \text{ mmol/L}$ und verbrauchen dabei 84,10 mL Natronlauge. Wie groß ist die Fumarsäure-Stoffmengenkonzentration des Mediums in mmol/L ?

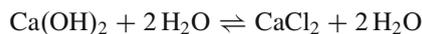
7.5.15** Der Pilz *Aspergillus niger* kann Glucose ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) in Citronensäure ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$) umwandeln. Diese Eigenschaft wird biotechnologisch zur Produktion von Citronensäure genutzt, indem man den Pilz in großen Fermentern züchtet und die ins Medium abgegebene Citronensäure dann aufreingt. Sie entnehmen einem solchen Fermenter 50,00 mL Lösung und titrieren sie mit Natronlauge ($0,1000 \text{ mol/L}$), wobei Sie 15,70 mL NaOH verbrauchen. Wie viele Kilogramm Citronensäure enthält der Fermenter bei einem Volumen von 520,0 L?



7.5.16** 20,00 mL H_3PO_4 -Lösung werden mit H_2O auf 50,00 mL aufgefüllt. Davon entnehmen Sie 10,00 mL und titrieren gegen eine Natronlauge mit $c_{\text{NaOH}} = 500,0 \text{ mmol/L}$ und dem Titer (t) = 1,078. Verbrauch: 27,54 mL. Wie groß ist die Stoffmengenkonzentration (c) der Phosphorsäure?



7.5.17** Für die Aufzucht von marinen Garnelen verwendet man sogenanntes „Kalkwasser“ als Zusatz zum Ersetzen des von den Tieren verbrauchten Calciums (Ca). Es handelt sich hierbei um eine hoch konzentrierte Calciumhydroxidlösung ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), die regelmäßig dem Aufzuchtwasser hinzugefügt wird. Sie sollen von einer solchen Kalkwasserlösung den Calciumgehalt ermitteln. Hierzu titrieren Sie 100,0 mL Kalkwasser mit Salzsäure ($c_{\text{HCl}} = 0,100 \text{ mmol/L}$). Wie groß ist die Massenkonzentration des Ca in der Lösung, wenn Sie 42,16 mL HCl verbrauchen?



7.5.18** Sie bestimmten in einer Pilzkultur den Oxalsäuregehalt des Nährmediums. Dafür entnehmen sie 123,8 mg Nährboden, schlämmen ihn in 50,00 mL Wasser auf und bestimmen titrimetrisch den Oxalsäuregehalt. Dabei verbrauchen Sie 12,90 mL Natronlauge ($c_{\text{NaOH}} = 1,000 \text{ mmol/L}$). Wie groß ist der Oxalsäure-Massenanteil ($\text{HOOC}-\text{COOH}$) in mg/g Nährmedium?

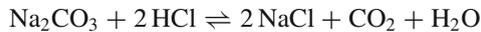
7.5.19** 200,0 mL einer Isocitronensäurelösung ($C_6H_8O_7$) werden mit Natronlauge ($c_{NaOH} = 0,1000 \text{ mmol/L}$) titriert, wobei 45,27 mL NaOH-Lösung verbraucht werden. Wie groß ist die Massenkonzentration der Isocitronensäure in der Lösung?



7.5.20** Eine Lösung sollte eine Bernsteinsäure-Stoffmengenkonzentration ($\text{HOOC}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{COOH}$) von $5,000 \mu\text{mol/L}$ besitzen. Sie vermuten, dass der Bernsteinsäuregehalt nicht exakt stimmt. Deshalb titrieren Sie 150,0 mL Lösung mit Natronlauge ($c_{KOH} = 0,1000 \text{ mmol/L}$) und verbrauchen davon 14,92 mL. Wie groß ist die prozentuale Abweichung der Bernsteinsäure-Stoffmengenkonzentration?



7.5.21** Sie sollen in einer Lösung den Natriumcarbonatgehalt (Na_2CO_3) bestimmen. Dazu titrieren Sie 50,00 mL mit HCl-Lösung ($c_{HCl} = 9,970 \text{ mmol/L}$). Sie verbrauchen 93,21 mL Salzsäure. Wie groß ist die Massenkonzentration des Natriumcarbonates in der untersuchten Lösung?



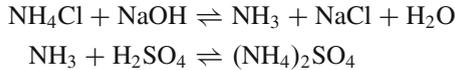
7.5.22** Sie sollen bei der Kontrolle eines künstlichen Süßgetränks, das zur Ansäuerung Citronensäure enthält, den Gehalt dieser Säure bestimmen. Sie titrieren 25,00 mL des Getränkes mit Natronlauge ($c_{NaOH} = 2,000 \text{ mmol/L}$; $t = 0,9724$). Wie groß ist die Citronensäure-Stoffmengenkonzentration, wenn Sie 30,92 mL Natronlauge verbrauchen?



7.5.23*** Sie benötigen für einen Versuch eine fünfstufige Ameisensäure-Verdünnungsreihe. Ihre Ameisensäure-Stammlösung hat eine Stoffmengenkonzentration von $100,0 \text{ mmol/L}$. Die Verdünnung 1 soll eine Ameisensäure-Massenkonzentration von $500,0 \text{ mg/L}$ enthalten. Für die weiteren vier Verdünnungen der Verdünnungsreihe entnehmen Sie jeweils 20,00 mL der jeweils vorhergehenden Lösung und füllen auf 120,0 mL auf. Zur Kontrolle der letzten Verdünnung (Verdünnung 5) entnehmen Sie dieser ebenfalls 20,00 mL und bestimmen die Konzentration mithilfe einer Natronlaugenmesslösung ($c_{NaOH} = 10,00 \mu\text{mol/L}$). Sie verbrauchen dabei 16,94 mL NaOH-Lösung. Wie groß ist die Abweichung der Verdünnung 5 (in Prozent)?

7.5.24*** 1,000 L einer Ammoniumchloridlösung (NH_4Cl) wird Natronlauge zugefügt. Zur Neutralisierung des freigesetzten Ammoniaks (NH_3) werden

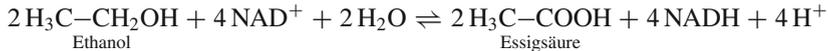
18,41 mL H_2SO_4 -Lösung ($c = 0,5000 \text{ mol/L}$) verbraucht ($t = 1,022$). Wie groß ist die Ammoniumchlorid-Massenkonzentration in der Lösung?



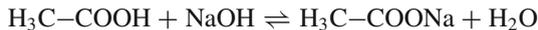
7.5.25*** Smaragdgrüne Schmeißfliegen (*Lucilia caesar*) werden für eine genetische Studie gezüchtet. Die Larven ernähren sich von einem Gemisch aus homogenisiertem Rindfleisch und Rinderblut. Zur Strukturverbesserung enthält der Nährboden 25 % Weizenkleie. Die Fliegenmaden produzieren in diesem Nährmedium große Mengen Ammoniak (NH_3). Zur Bestimmung des Ammoniakgehaltes geben Sie 20,00 g Nährboden in einen Messkolben, füllen mit destilliertem Wasser auf 100,0 mL auf und lösen so den Ammoniak im Wasser. Anschließend dekantieren Sie die Flüssigkeit ab (der Bodensatz bleibt im Kolben) und entnehmen dieser Lösung 50,00 mL. Nun titrieren Sie die verdünnte Ammoniaklösung mit Salzsäure ($c_{\text{HCl}} = 100,0 \text{ mmol/L}$). Sie verbrauchen bis zum Umschlagpunkt 12,91 mL HCl-Lösung. Wie viele Gramm NH_3 sind in 1 kg Nährboden enthalten?



7.5.26*** Ethanol wird von Bakterien gemäß folgender Reaktion zunächst zu Acetaldehyd und dann weiter zu Essigsäure oxidiert.

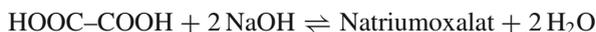


In einer Weinprobe wurde ursprünglich ein Ethanolgehalt von 14,06 Volumenprozent (g/100 mL) ermittelt. Nach 30 Tagen werden 100,0 mL dieser Probe mit Natronlauge ($c_{\text{NaOH}} = 2,000 \text{ mmol/L}$) titriert, wobei 4,013 mL NaOH-Lösung verbraucht wurden. Wie viele Milligramm Ethanol haben die Bakterien pro Liter Wein in Essigsäure umgewandelt?



7.5.27*** Sie sollen den Oxalsäure-Massenanteil in den Blättern des Gefleckten Aronstabes (*Arum maculatum*) bestimmen. Hierfür sammeln Sie 53,57 g Aronstabblätter, zerschneiden sie in kleine Stücke, geben sie in einen Mixer, pressen den Pflanzensaft aus dem Brei und waschen mit etwas Wasser nach. Anschließend filtrieren Sie die Feststoffe ab und füllen das Aliquot mit Wasser auf 200,0 mL auf. 50,00 mL dieser Lösung titrieren Sie mit Natronlauge ($c_{\text{NaOH}} = 10,00 \text{ mmol/L}$).

Wie groß ist der prozentuale Oxalsäure-Massenanteil ($w_{\text{HOOC-COOH}}$) in den Blättern, wenn Sie bis zum Umschlagpunkt 31,59 mL NaOH-Lösung verbrauchen?



7.5.3 Rücktitration

Unter gewissen Bedingungen muss man einer Säure mehr Lauge zugeben (bzw. umgekehrt), als für eine Titration nötig ist. Dies ist etwa in folgenden Fällen nötig:

- Säuren, die in Wasser nicht oder nur schwer, in starken Laugen aber gut löslich sind.
- Salze, die in Wasser nur schlecht, in starken Säuren aber gut löslich sind.

Ersteres ist etwa bei langkettigen Fettsäuren der Fall. Diese lassen sich wegen ihrer langen, unpolaren Kohlenwasserstoffkette kaum in Wasser lösen. Durch Zugabe von Natronlauge werden Fettsäuren verseift und dadurch in Wasser löslich. Weil zur vollständigen Verseifung die Natronlauge im Überschuss zugegeben wird, gibt es in der Lösung eine gewisse Menge an NaOH, das nicht mit den Carbonsäuren reagiert hat.

Nun kann man mithilfe einer sogenannten Rücktitration diese in der Lösung noch vorhandene Natronlaugenmenge bestimmen. Die Menge dieser Überschusslauge wird von der Gesamtmenge der eingesetzten Lauge subtrahiert und damit am Ende die Konzentration der Carbonsäure berechnet.

Aufgaben

7.5.28*** 23,31 g verunreinigte Stearinsäure ($C_{17}H_{35}COOH$) werden mit 25,00 mL Natronlauge ($c_{NaOH} = 1,000 \text{ mol/L}$) gelöst. Der Laugenüberschuss wird mit Salzsäure ($c_{HCl} = 0,9871 \text{ mol/L}$) rücktitriert, wobei 12,81 mL Salzsäure verbraucht werden. Wie groß ist der prozentuale Massenanteil (w) der reinen Stearinsäure?

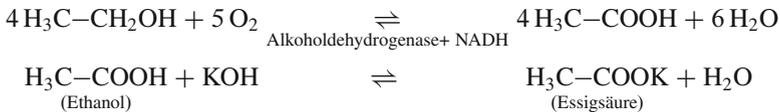


7.5.4 Enzymaktivitätsbestimmung mittels Titration

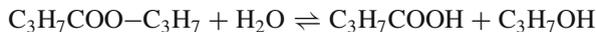
Wie bereits in Kap. 6 Fotometrie beschrieben, kann die Geschwindigkeit, mit der ein Enzym sein Substrat umsetzt, mithilfe geeigneter Messmethoden bestimmt werden. Neben fotometrischen Konzentrationsbestimmungen eignen sich auch titrimetrische Methoden, falls Säuren oder Basen an den enzymatisch katalysierten Reaktionen beteiligt sind. Mithilfe einer Titration wird die Konzentration der betreffenden Säure oder Base zu mehreren Zeitpunkten bestimmt und dann – analog zur fotometrischen Enzymaktivitätsbestimmung – aus den Messwerten die Umsatzgeschwindigkeit des untersuchten Enzyms berechnet.

Aufgaben

7.5.29*** Sie sollen in einem Versuch die Aktivität des Hefe-Enzyms Alkohol-Dehydrogenase bestimmen ($M_{\text{Hefe-Alkoholdehydrogenase}} = \text{ca. } 141.000 \text{ g/mol}$). Hierzu stellen Sie 120,0 mL Ethanollösung mit einer Massenkonzentration von $\beta_{\text{Ethanol}} = 2,500 \text{ g/L}$ her und geben noch 2,000 mL einer NADH-Lösung hinzu. Nachdem Sie dieser Lösung 50,00 mg Hefe-Alkoholdehydrogenase zugegeben haben, inkubieren Sie das Ganze bei 25 °C für 48 h und bestimmen nach dieser Zeit titrimetrisch den Essigsäuregehalt der Lösung. Hierzu titrieren Sie 50,00 mL Lösung mit Kalilauge ($c_{\text{KOH}} = 50,00 \text{ mmol/L}$) und verbrauchen dabei 31,06 mL KOH-Lösung. Wie viele Mol Ethanol werden in jeder Stunde pro Mol Alkohol-Dehydrogenase zu Essigsäure oxidiert?



7.5.30*** Sie sollen die Aktivität einer bakteriellen Buttersäurepropylester-Dehydrogenase bestimmen. Dieses Enzym spaltet den Ester gemäß folgender Reaktionsgleichung:



Sie stellen für den Versuch erst eine Buttersäurepropylester-Lösung mit einer Massenkonzentration von 5,000 g/L her. Zu 100,0 mL dieser Lösung geben Sie 1,000 mL Enzymlösung mit einer Enzym-Stoffmengenkonzentration von 0,5000 nmol/L und mischen die beiden Lösungen gut. Nach 20 min entnehmen Sie 25,00 mL Lösung und bestimmen titrimetrisch die Konzentration der durch das Enzym gebildeten Buttersäure ($\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}$). Sie verbrauchen dabei 3,614 mL Kalilauge ($c_{\text{KOH}} = 2,5000 \text{ mmol/L}$). Wie viele Millimol Buttersäurepropylester werden pro Enzymmolekül in 1,00 min hydrolysiert?

8.1 Einführung

Bei chemischen Reaktionen ist es oft wichtig, dass Sie die zu erwartende Ausbeute oder die Menge der benötigten Komponenten berechnen können. Kennen Sie die Reaktionsgleichung, so können Sie in einem ersten Schritt die Stoffmengenverhältnisse der beteiligten Stoffe ermitteln. Ähnliches kennen Sie mit Sicherheit aus dem Alltag.

Alltagsbeispiel

Sie haben acht Gäste zum Essen eingeladen und wollen Spaghetti Carbonara kochen. Sie müssen für acht Gäste sowie für sich als Gastgeber bzw. Gastgeberin, also insgesamt für neun Personen, kochen. Einem Rezeptbuch entnehmen Sie die folgenden Mengen, bezogen auf vier Personen.

- 2 Eier
- 2 Eigelb
- 50 g Parmesankäse
- 100 g Schinkenwürfel
- 1 Esslöffel Margarine
- 1 dL Sahne
- 120 g Spaghetti/Person

Jede dieser Angaben müssen Sie nun auf neun Personen hochrechnen. Wenn Sie die Mengen durch vier Personen teilen und mit neun Personen multiplizieren, kennen sie die benötigten Mengen.

$$\text{Eier:} \quad \frac{4 \text{ Eier} \cdot 9 \text{ Personen}}{4 \text{ Personen}} = 9 \text{ Eier}$$

$$\text{Käse:} \quad \frac{50 \text{ g Käse} \cdot 9 \text{ Personen}}{4 \text{ Personen}} = 112,5 \text{ g Käse}$$

$$\text{Schinken: } \frac{100 \text{ g Schinken} \cdot 9 \text{ Personen}}{4 \text{ Personen}} = 225 \text{ g Schinken}$$

$$\text{Margarine: } \frac{1 \text{ Esslöffel Margarine} \cdot 9 \text{ Personen}}{4 \text{ Personen}} = 2,25 \text{ Esslöffel Margarine}$$

$$\text{Sahne: } \frac{1 \text{ dL Sahne} \cdot 9 \text{ Personen}}{4 \text{ Personen}} = 2,25 \text{ dL Sahne}$$

Welche Menge Spaghettisauce ergibt das?

$$9 \text{ Eier} \cdot 50 \text{ g/Ei} + 112,5 \text{ g Käse} + 225 \text{ g Schinken} \\ + 2,25 \cdot 20 \text{ g} + 2,25 \text{ dL} \cdot 100 \text{ g/dL} = \underline{\underline{1,058 \text{ kg Sauce}}}$$

Zusätzlich benötigen Sie natürlich noch Spaghetti, die Sie in Salzwasser *al dente* kochen.

$$\text{Spaghetti: } 120 \text{ g Spaghetti} \cdot 9 \text{ Personen} = 1,080 \text{ kg Spaghetti (ungekocht)}$$

Vermutlich würden Sie im Alltag die Zutaten nicht so genau abmessen, wie hier angegeben. Auch mit 250 g Schinken, 2 Esslöffeln Margarine (Esslöffel ist ohnehin eine ungenaue Einheit), 2,5 dL Sahne und 1 kg Spaghetti könnten Sie ein leckeres Abendessen kochen. Im Gegensatz zur Küche müssen im Labor die Vorgaben in der Regel jedoch sehr genau eingehalten werden.

8.2 Chemische Berechnungen

Vergleichbare Berechnungen können auch im Laboralltag angetroffen werden. Nur beziehen sich die Mengenangaben eines Stoffes nicht auf den Verbrauch pro Person. Und Umrechnungen erfolgen nicht über Standardangaben im Rezept, sondern zumeist über die Molmassen (M ; in g/mol) der beteiligten Stoffe.

$$\begin{array}{ccc} \mathbf{Küche} & & \mathbf{Labor} \\ \frac{\text{Mengenangabe im Rezept}}{\text{Anzahl Personen im Rezept}} & & \frac{\text{Masse } (m)}{\text{Molmassen } (M)} \\ \downarrow & & \downarrow \\ = \text{Menge pro Person} & = & \text{Anzahl Teilchen}(n) \end{array}$$

Prinzipiell lassen sich die meisten dieser Berechnungen nach folgendem Schema durchführen:

1. Von der Masse eines Stoffes A (m_A) wird mit dessen Molmasse (M_A) die Anzahl Mol des Stoffes A (n_A) berechnet.

$$n_A = \frac{m_A}{M_A}$$

2. Anschließend wird mithilfe der stöchiometrischen Koeffizienten (k) die Anzahl Mol des Stoffes B (n_B) berechnet.

$$\frac{n_A}{k_A} = \frac{n_B}{k_B}$$

3. Von Stoff B kann nun wiederum mithilfe der Molmasse (M_B) dessen vorhandene oder bei einer chemischen Reaktion gebildete Masse (m_B) berechnet werden.

$$m_B = n_B \cdot M_B$$

Fasst man diese drei Formeln zusammen, so ergibt sich ein U-förmiges Rechnungsschema (Abb. 8.1), bei dem man sich rechnerisch auf zwei Ebenen bewegt. Auf der oberen Ebene liegen die Massen (m) bzw. Massenkonzentrationen (β), auf der unteren die Stoffmengen (n) bzw. Stoffmengenkonzentrationen (c). Zwischen den beiden Ebenen wechseln Sie mithilfe der Molmassen (M) der beteiligten Stoffe:

- Wollen Sie von der oberen Massenebene zur Stoffmengenebene „absteigen“, so teilen Sie durch die Molmasse (M).
- Wollen Sie von der unteren Stoffmengenebene zur Massenebene „aufsteigen“, so multiplizieren Sie mit der Molmasse (M).
- Innerhalb der unteren Stoffmengenebene benutzen Sie das Stoffmengenverhältnis, um von A nach B zu gelangen.

Weil jedes chemische Element und jedes Molekül seine eigene Molmasse (M) hat, ist es nicht möglich, rechnerisch direkt von der Massenebene A (m_A) zur Massenebene B (m_B) zu „springen“. Vielmehr muss man den Umweg über die untere Stoffmengenebene beschreiten. Dort stehen die beteiligten Stoffe in einem

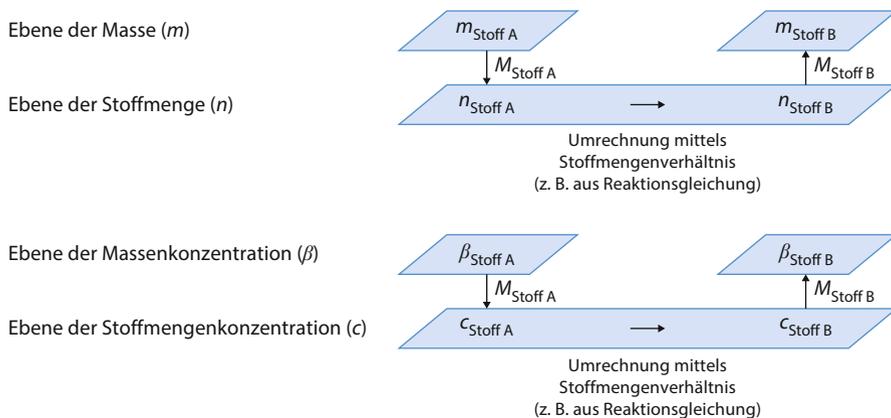


Abb. 8.1 Umrechnungsschema für Massenverhältnisse (*oben*) und Massenkonzentrationen (*unten*)

festgelegten Stoffmengenverhältnis zueinander. Dieses können sie etwa aus den stöchiometrischen Koeffizienten einer Reaktionsgleichung ablesen, oder aus den Angaben zur Anzahl der beteiligten Elemente in einer Summen- oder Strukturformel. Außerdem kann das „U-Schema“ auch abgewandelt und mit anderen Formeln kombiniert werden, in denen Stoffmengen- oder Stoffmengenkonzentrationsangaben vorhanden sind – so etwa mit der allgemeinen Gasgleichung (vergl. Kap. 9).

Beispiel

Einer Nährlösung zur Fütterung von Nektarvögeln soll Sorbinsäure ($C_6H_8O_2$) beigemischt werden. Dieser Stoff verhindert, dass die Nährlösung infolge des zu erwartenden Bakterienwachstums für die Vögel ungenießbar wird. Der Sorbinsäuregehalt der Nährlösung soll 1,400 % betragen. Anstelle von Sorbinsäure gibt es in Ihrem Labor jedoch nur das für Lebensmittel zugelassene Konservierungsmittel Kaliumsorbat ($KC_6H_7O_2$) mit der E-Nummer 202. Wie viele Gramm Kaliumsorbat müssen Sie einwiegen, um die Tagesration an Nährlösung für vier Vögel herzustellen, wenn jeder Vogel täglich 30,00 g Lösung benötigt?

(Sorbinsäure/Sorbat: Als Sorbat bezeichnet man die konjugierte, einfach deprotonierte Base der Sorbinsäure. Zusammen mit Metallen bildet die Base ein Salz, hier das Kaliumsalz der Sorbinsäure, das Kaliumsorbat.)

gegeben:

$$\begin{aligned} M_{\text{Sorbinsäure}} &= 112,12946 \text{ g/mol} \\ M_{\text{Kaliumsorbat}} &= 150,22349 \text{ g/mol} \\ w_{\text{Sorbinsäure}} &= 1,400 \% = 1,400 \text{ g/kg} \\ n_{\text{Vögel}} &= 4 \\ m_{\text{Nahrung}} &= 30,00 \text{ g} \end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{Kaliumsorbat}}$$

Berechnung: Nährlösung, Tagesration für vier Vögel:

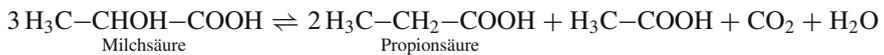
$$\begin{aligned} m_{\text{Lösung}} &= m_{\text{pro Vogel}} \cdot n_{\text{Vögel}} \\ &= 30,00 \text{ g/Vogel} \cdot 4 \text{ Vögel} \\ &= 120,0 \text{ g} \end{aligned}$$

Sorbinsäure, Tagesration für vier Vögel:

$$\begin{aligned} m_{\text{Sorbinsäure}} &= m_{\text{Lösung}} \cdot w_{\text{Sorbinsäure}} \\ &= 0,120 \text{ kg} \cdot 1,400 \text{ g/kg} \\ &= 0,168 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n_{\text{Sorbinsäure}} &= \frac{m_{\text{Sorbinsäure}}}{M_{\text{Sorbinsäure}}} \\
 &= \frac{0,168 \text{ g}}{112,12946 \text{ g/mol}} \\
 &= 1,498269163 \text{ mmol} \\
 n_{\text{Kaliumsorbat}} &= n_{\text{Sorbinsäure}} \\
 &= 1,498269163 \text{ mmol} \\
 m_{\text{Kaliumsorbat}} &= n_{\text{Kaliumsorbat}} \cdot M_{\text{Kaliumsorbat}} \\
 &= 1,498269163 \text{ mmol} \cdot 150,22349 \text{ mg/mol} \\
 &= \underline{\underline{225,1 \text{ mg}}}
 \end{aligned}$$

Propionibakterien können Milchsäure gemäß folgender Reaktion in Propionsäure umwandeln:



Sie bestimmen eine Propionsäurekonzentration des Flüssignährmediums von 131,2 mg/L. Wie viele Milligramm Milchsäure wurden von den Bakterien pro Liter in Propionsäure umgewandelt?

gegeben:

$$\begin{aligned}
 \beta_{\text{Propionsäure}} &= 131,2 \text{ mg/L} \\
 M_{\text{Propionsäure}} &= 74,08007 \text{ g/mol} \\
 M_{\text{Milchsäure}} &= 90,0786 \text{ g/mol} \\
 n_{\text{Milchsäure}} : n_{\text{Propionsäure}} &= 3 : 2
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{Milchsäure}}$$

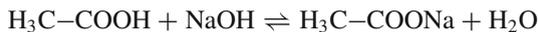
Berechnung:

$$\begin{aligned}
 c_{\text{Propionsäure}} &= \frac{\beta_{\text{Propionsäure}}}{M_{\text{Propionsäure}}} \\
 &= \frac{131,2 \text{ mg/L}}{74,08007 \text{ g/mol}} \\
 &= 1,771056642 \text{ mmol} \\
 \frac{c_{\text{Milchsäure}}}{3} &= \frac{c_{\text{Propionsäure}}}{2}
 \end{aligned}$$

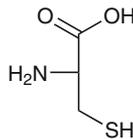
$$\begin{aligned}
 c_{\text{Milchsäure}} &= \frac{3 \cdot c_{\text{Propionsäure}}}{2} \\
 &= \frac{3 \cdot 1,771056642 \text{ mmol}}{2} \\
 &= 2,656584963 \text{ mmol/L} \\
 \beta_{\text{Milchsäure}} &= c_{\text{Milchsäure}} \cdot M_{\text{Milchsäure}} \\
 &= 2,6566 \text{ mmol/L} \cdot 90,079 \text{ mg/mmol} \\
 &= \underline{\underline{239,3 \text{ mg/L}}} \\
 m_{\text{Milchsäure}} &= \beta_{\text{Milchsäure}} \cdot V_{\text{Lösung}} \\
 &= 239,3038714 \text{ mg/L} \cdot 1 \text{ L} \\
 &= \underline{\underline{239,3 \text{ mg}}}
 \end{aligned}$$

Aufgaben

8.2.1* Sie bringen 1,000 mol Essigsäure durch Zugabe von 500,0 mmol NaOH zur Reaktion. Wie viele Gramm Natriumacetat entstehen bei der Reaktion?



8.2.2** Ein Flüssigmedium zur Zucht von Bakterien enthält als einzige Schwefelquelle die Aminosäure Cystein. Ursprünglich betrug der Cystein-Massenanteil $w_{\text{Cys}} = 12,00 \text{ mg}/100,0 \text{ g}$ Medium. Eine Analyse ergab, dass nach einer Inkubationszeit von 24 h noch $0,8600 \mu\text{g}$ Schwefel pro $100,0 \text{ g}$ Medium vorhanden waren. Wie viele Prozent des Cysteins wurden von den Bakterien verwertet, das heißt von ihnen aufgenommen?



Cystein

8.2.3** Bei der Herstellung von Wein lässt man einen Teil des Traubenzuckers (Glucose, $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) zu Ethanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) vergären. Bei einem Rotwein stellte man vor Beginn der Gärung eine Glucose-Massenkonzentration von $163,0 \text{ g/L}$ fest. Nach dem Abschluss der Gärung besitzt der Wein einen Alkoholgehalt von $10,10 \text{ Vol.-%}$ (d. h. $\text{mL}/100 \text{ mL}$). Wie viele Gramm Traubenzucker enthält der Wein jetzt noch pro Liter ($\rho_{\text{Ethanol}} = 0,7890 \text{ kg/L}$)?

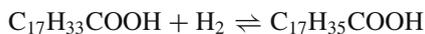


8.2.4** Im Rahmen eines bodenbiologischen Programms soll der Kalkgehalt einer Bodenprobe bestimmt werden. Sie schlämmen deshalb $150,0 \text{ g}$ Boden in

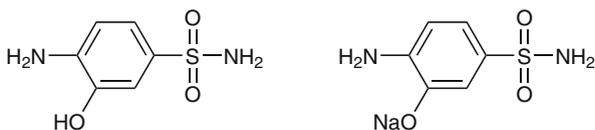
einer HCl-Lösung ($c_{\text{HCl}} = 10,00 \text{ mmol/L}$) auf, sodass Calciumchlorid gebildet wird, wobei Sie HCl im Überschuss zugeben. Zur Bestimmung des CaCl_2 -Gehalts filtrieren Sie die Suspension und füllen anschließend mit destilliertem Wasser auf 500,0 mL auf. Nun bestimmen Sie einen Calciumchloridgehalt von 3,519 g/L. Wie hoch ist der Kalkgehalt des Bodens in g/kg?



8.2.5** Eine Probe enthält als einzige ungesättigte Fettsäure Ölsäure. Zur Bestimmung des Ölsäuregehalts werden 8,419 g dieser Probe katalytisch hydriert, das heißt die Doppelbindungen der Ölsäure mithilfe von Wasserstoffgas (H_2) und einem Katalysator gesättigt. Dabei werden bei Normalbedingungen (0°C und 1,01 bar) 215,9 mL Wasserstoffgas verbraucht. Wie groß ist der prozentuale Ölsäuregehalt dieser Probe (1 mol Gasteilchen haben bei Normalbedingungen ein Volumen von 22,41 L)?

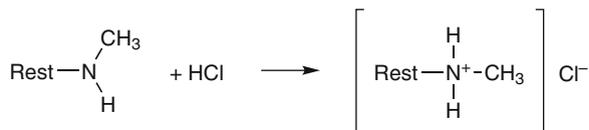


8.2.6** Ratten soll ein Sulfonamid verabreicht werden. Die Injektionsdosierung beträgt 50,00 mg/kg bei einem Applikationsvolumen von 5,000 mL/kg. Zur Herstellung der Lösung wird das besser wasserlösliche Natriumsalz des Sulfonamids verwendet. Wie viele Milligramm Natriumsulfonamid müssen für die Herstellung von 10,00 mL Applikationslösung abgewogen werden?



Sulfonamid (*links*) und das entsprechende Natriumsalz (*rechts*)

8.2.7** 120,0 mg Adrenalin-Base sollen gelöst werden. Dies geschieht durch Addition von HCl an die Adrenalin-Base ($M_{\text{Adrenalin-Base}} = 183,2 \text{ g/mol}$). Wie viele Milliliter Salzsäure mit einer Stoffmengenkonzentration von 100,0 mmol/L sind erforderlich?



Reaktion der Adrenalin-Base

8.2.8** 3,000 L Traubensaft mit einem Glucosegehalt von 160,0 g/L werden vergoren und der entstandene Wein anschließend destilliert („gebrannt“). Wie viele Milliliter Ethanol („Branntwein“) mit einer Massenkonzentration von $\beta_{\text{Ethanol}} = 30,00 \text{ g}/100 \text{ mL}$ werden gewonnen, wenn der gesamte Ethanol ins Destillat übergeht?



8.2.9** Sie lösen 2,000 g Nierensteine in einer HCl-Lösung und erhalten 440,0 mg CaCl_2 . Wie viele Milligramm Kalk (CaCO_3) sind in 1,000 g Nierensteinen enthalten?



8.2.10** Die Knop-Lösung dient als Nährlösung für die erdefreie Anzucht von Pflanzen. Sie enthält nebst anderen Salzen 125,0 mg KCl pro Liter. Um Chlorid auszuschließen, soll Kaliumchlorid durch Kaliumnitrat (KNO_3) ersetzt werden. Wie viele Gramm KNO_3 mit dem Massenanteil von $w_{\text{KNO}_3} = 0,9700 \text{ g/g}$ müssen für 5,000 Liter Nährlösung eingewogen werden?

8.2.11** Einem künstlichen Insektennährmedium wird Sorbinsäure ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_2$) mit dem Massenanteil von $w_{\text{Sorbinsäure}} = 1,500 \text{ g/kg}$ zur Unterdrückung mikrobiellen Wachstums zugesetzt. Zur Verfügung steht Kaliumsorbat mit $w_{\text{Kaliumsorbat}} = 0,9350 \text{ g/g}$. Wie viele Gramm Kaliumsorbat ($\text{C}_6\text{H}_7\text{KO}_2$) müssen eingewogen werden, um 13,70 kg Nährmedium herzustellen?

8.2.12** Bei einer Weingärung wurden folgenden Daten gemessen:

- Glucosegehalt vor der Gärung: 174,0 g/L
- Ethanolgehalt nach der Gärung: 103,0 mL/L

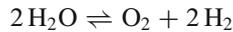
Wie viele Gramm Glucose sind in 1,000 L Wein nach der Gärung noch enthalten ($\rho_{\text{Ethanol}} = 0,7890 \text{ kg/L}$)



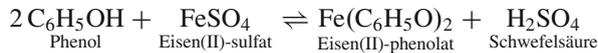
8.2.13** Sie sollen für einen Wachstumsversuch mit genetisch veränderten Reispflanzen eine Nitratlösung (NO_3^-) mit einer Massenkonzentration von 520,0 mg/L herstellen. Nitrat liegt im Labor in Form von Kaliumnitrat KNO_3 vor. Wie viele Gramm Kaliumnitrat müssen für 150,0 L Düngelösung eingewogen werden?

8.2.14** Sie benötigen für einen Versuch 120,0 g Wasserstoffgas (H_2). Sie können dieses Gas mittels Elektrolyse aus Wasser gewinnen. Wie viele Liter Wasser

($\rho_{\text{Wasser}}(20^\circ\text{C}) = 0,9982 \text{ kg/L}$) werden zur Gewinnung der benötigten Menge Wasserstoffgas verbraucht?



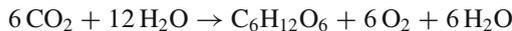
8.2.15** Die Analyse einer Abwasserprobe ergibt eine Phenol-Massenkonzentration von $\beta_{\text{Phenol}} = 1,420 \text{ mg/L}$. Das Phenol soll gemäß folgender Reaktion mithilfe von Eisen(II)-sulfat ausgefällt werden.



Wie viele Gramm Eisensulfat müssen ins Fällungsbecken der Kläranlage gegeben werden, um das in $1,000 \text{ m}^3$ Abwasser enthaltene Phenol auszufällen?

8.2.16** Pflanzen bauen mithilfe von Sonnenlicht aus Kohlendioxid (CO_2) und Wasser (H_2O) Glucose ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) auf. Dabei geben sie Sauerstoff (O_2) in die Atmosphäre ab.

- Wie viele Tonnen CO_2 hat eine Baum mit einer Masse von $5,429 \text{ t}$ der Atmosphäre entzogen, wenn $83,29 \%$ seiner Masse aus Kohlenhydraten (Annahme: Glucose) besteht?
- Wie viele Tonnen Wasser hat der Baum in Form von Kohlenhydraten in seine Biomasse eingebaut?



8.2.17** *Clostridium-propionicum*-Bakterien können durch den Abbau von Milchsäure Propionsäure synthetisieren. Sie bestimmen in einem flüssigen Zuchtmedium eine Propionsäure-Massenkonzentration von $0,2009 \text{ g/L}$. Wie viele Milligramm Milchsäure wurden von den Bakterien pro Liter Medium in Propionsäure umgewandelt?



8.2.18** Sie füllen $50,00 \text{ mL}$ einer KH_2PO_4 -Lösung ($c = 2,000 \text{ mmol/L}$) mit einer KH_2PO_4 -Lösung ($c = 3,500 \text{ mmol/L}$) auf $100,0 \text{ mL}$ auf. Wie groß ist die Kaliumkonzentration im Gemisch?

8.2.19*** $500,0 \text{ mL}$ Kochsalzlösung (NaCl) mit einer Massenkonzentration von $40,00 \text{ mg/L}$ werden mit $120,0 \text{ mL}$ einer Natriumcitratlösung ($\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$) mit einer Massenkonzentration von $25,00 \text{ mg/L}$ gemischt. Wie groß ist die Natrium-Massenkonzentration (β_{Na}) im Gemisch?

8.2.20*** Clostridien und andere anaerobe Bakterien können Glucose ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) nicht vollständig zu CO_2 und Wasser abbauen. Deshalb ist der Energiegewinn

mit nur gerade zwei Mol ATP pro Mol Glucose wesentlich geringer, als bei höheren Lebewesen mit aerobem Stoffwechsel (36 Mol ATP pro Mol Glucose). *Clostridium pasteurianum* kann das gewonnene ATP – trotz der geringen Ausbeute – nutzen, um Luftstickstoff (N_2) zu fixieren. Wie viele Millimol ATP kann *C. pasteurianum* aus der Glucose gewinnen, welche im 8 mm dicken Nährboden einer Petrischale ($\varnothing = 12,00$ cm) enthalten ist, wenn die Massenkonzentration 65,00 g Glucose/Liter Medium beträgt und die Bakterien 95,50 % der Glucose verwerten können?

8.2.21*** Bakterien der Gattung *Acetobacter* vergären Ethanol aerob gemäß folgender Reaktionsgleichung zu Essigsäure:



Sie sollen einen neuen Bakterienstamm bezüglich seiner Fähigkeit zur Essigsäureproduktion testen. Hierfür titrieren Sie 50,00 mL Essigsäurelösung mit 0,1000 mol/L NaOH-Lösung und verbrauchen dabei 36,20 mL Natronlauge-Lösung. Wie viele Gramm Ethanol haben die Bakterien pro Liter in Essigsäure umgewandelt?

8.2.22*** Essigsäurebakterien können Alkohole zu Carbonsäuren abbauen. Sie kultivieren diese Bakterien in einem zylinderförmigen Inkubator ($\varnothing = 40,00$ cm, $h = 60,00$ cm), welchem Sie 800,0 g Propanol zugegeben haben. Nach vier Tagen entnehmen Sie dem Inkubator 50,00 mL filtriertes Kulturmedium, titrieren dieses mit Natronlauge ($c_{NaOH} = 100,0$ mmol/L) und bestimmen die Propionsäure-Stoffmengenkonzentration. Dazu verbrauchen Sie 28,91 mL NaOH-Lösung. Wie viele Gramm Propanol enthält der Inkubator zum Zeitpunkt der Titration?



Oxidation von 1-Propanol zu Propionsäure

9.1 Einführung

Bei einer chemischen Reaktion bleibt die Masse der beteiligten Stoffe erhalten. Für das Volumen gilt dies hingegen nicht. Sehr deutlich sichtbar wird dies bei der Elektrolyse von Wasser. Hierbei werden die H_2O -Moleküle in Wasserstoff- (H_2) und Sauerstoffmoleküle (O_2) aufgespalten. Es entstehen dabei doppelt so viele selbstständige Wasserstoff- wie selbstständige Sauerstoffmoleküle.



Der gasförmige Wasserstoff nimmt bei gleichem Druck und gleicher Temperatur doppelt so viel Raum ein wie der gebildete Sauerstoff (Abb. 9.1). Der Grund hierfür liegt darin, dass das Volumen eines idealen Gases abhängig ist von der Anzahl Gasteilchen – aber nicht davon, um welches Gas es sich handelt. Weil bei der Elektrolyse doppelt so viele Wasserstoffmoleküle gebildet werden wie Sauerstoffmoleküle, beanspruchen erstere ein doppelt so großes Volumen wie letztere.

- Allgemein gilt der **Satz von Avogadro**: Alle idealen Gase enthalten bei gleichem Druck und gleicher Temperatur im selben Volumen die gleiche Anzahl selbstständiger Teilchen.

Es wird allgemein zwischen drei Formen von Gasen unterschieden:

- Edelgase (He, Ne, Ar, Kr, Xe, Rn)
- gasförmige Elemente aus zweiatomigen Molekülen (H_2 , O_2 , N_2 , Cl_2)
- höhermolekulare Gase (CO_2 , CH_4 , C_2H_6 usw.)

Der Satz von Avogadro gilt nicht, wenn ein Gas mit seiner flüssigen Phase in Austausch steht – zum Beispiel Wasserdampf in einem Dampfkochtopf oder einem Autoklaven, in dem auch noch flüssiges Wasser enthalten ist.

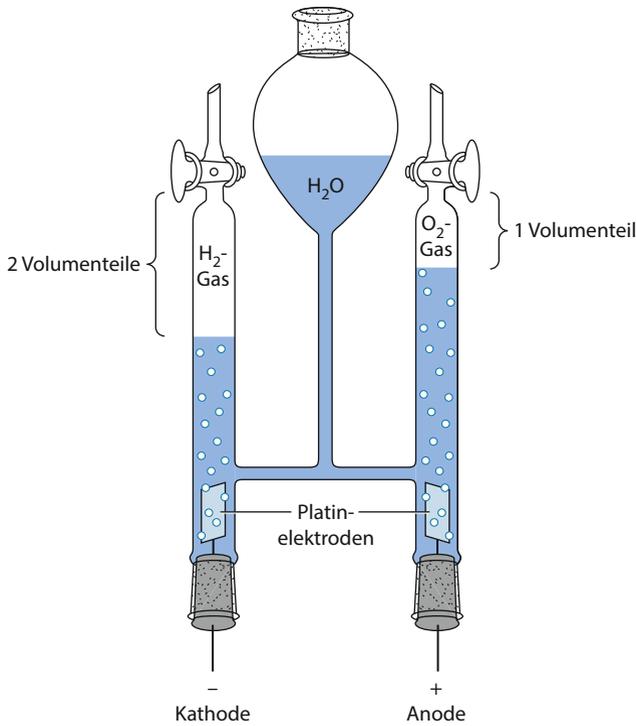


Abb. 9.1 Bei der Elektrolyse von Wasser entstehen zwei Volumenteile Wasserstoffgas (H_2 , links) und ein Volumenteil Sauerstoffgas (O_2 , rechts)

9.2 Molvolumen idealer Gase

Nach dem Satz von Avogadro muss eine bestimmte Anzahl Teilchen eines idealen Gases bei gleichen Bedingungen das gleiche Volumen einnehmen. Bei Normalbedingungen beträgt das Molvolumen V_m eines idealen Gases 22,41 L/mol.

Normalbedingungen

- Temperatur = $0^\circ\text{C} = 273,15\text{ K}$
- Druck = 1,01325 bar

1 mol eines idealen Gases entspricht $6,022 \cdot 10^{23}$ Teilchen, das ist die sogenannte Avogadro-Zahl N_A . Da Edelgase keine Moleküle bilden, enthalten sie folglich $6,022 \cdot 10^{23}$ Atome, die übrigen (mehratomigen) Gase $6,022 \cdot 10^{23}$ Moleküle je Mol bzw. je Liter unter Normalbedingungen. Mithilfe der Avogadro-Zahl lässt sich aus dem Volumen eines Gases die Anzahl der darin enthaltenen Gasteilchen berechnen. Und daraus können dann weitere Werte wie die Masse des Gases ermittelt werden.

Beispiel

Methanbakterien produzieren aus 1 t biologischer Abfälle rund 100 m^3 Biogas (Normalbedingungen). Dieses hat einen Methananteil von 61 %. Wie viele Kilogramm Methan sind unter Normalbedingungen in $100,0 \text{ m}^3$ Biogas enthalten?

gegeben:

$$\begin{aligned} V_{\text{Biogas}} &= 100 \text{ m}^3 \\ \sigma_{\text{Methan}} &= 61 \% \\ V_{\text{m}} &= 22,41 \text{ L/mol} \\ M_{\text{Methan}} &= 16,0426 \text{ g/mol} \end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{Methan}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} V_{\text{Methan}} &= V_{\text{Biogas}} \cdot \sigma_{\text{Methan}} \\ &= 100 \text{ m}^3 \cdot 61 \% \\ &= 61 \text{ m}^3 \\ &= 61.000 \text{ L} \\ n_{\text{Methan}} &= \frac{V_{\text{Methan}}}{V_{\text{m}}} \\ &= \frac{61.000 \text{ L}}{22,41 \text{ L/mol}} \\ &= 2721,9991 \text{ mol} \\ m_{\text{Methan}} &= n_{\text{Methan}} \cdot M_{\text{Methan}} \\ &= 2721,9991 \text{ mol} \cdot 16,0426 \text{ g/mol} \\ &= 43.667,94289 \text{ g} \\ &= \underline{\underline{43,67 \text{ kg}}} \end{aligned}$$

Aufgaben

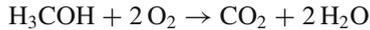
9.2.1* Trockene Luft setzt sich zusammen aus 78 % Stickstoff (N_2), 21 % Sauerstoff (O_2), 0,9 % Argon (Ar), 0,04 % Kohlendioxid (CO_2) sowie verschiedenen weiteren Gasen, die allerdings nur in sehr geringen Mengen vorkommen. Wie viele Kilogramm Stickstoff (N_2) enthält ein $4,0 \text{ m} \times 3,0 \text{ m} \times 2,3 \text{ m}$ großer Raum bei Normalbedingungen?

9.2.2* Beim Verbrennen von Butan (C_4H_{10}) entstehen Kohlendioxid und Wasser gemäß folgender Reaktion:



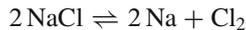
Welches Volumen nimmt das beim vollständigen Verbrennen von 100,0 g Butan freigesetzte Kohlendioxid unter Normalbedingungen ein?

9.2.3* Beim Verbrennen von Methanol (H_3COH) entstehen Kohlendioxid und Wasser gemäß folgender Reaktion:

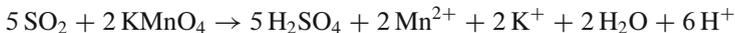


Welches Volumen hat das gebildete Kohlendioxid bei Normalbedingungen, wenn Sie 50,00 mL Methanol vollständig verbrennen ($\rho_{\text{Methanol}} = 0,792 \text{ g/mL}$)?

9.2.4* Durch Schmelzelektrolyse von Kochsalz (NaCl) soll Chlorgas (Cl_2) gewonnen werden. Welches Volumen hat das aus 10,00 kg Kochsalz gewonnene Chlorgas bei Normalbedingungen?



9.2.5*** Sie sollen die Schwefeldioxidkonzentration (SO_2) eines Abgases ermitteln. Hierzu wird das Abgas erst durch ein Gasvolumenmessgerät und anschließend durch 100,0 mL Kaliumpermanganatlösung ($c_{\text{K-Permanganat}} = 50,00 \text{ mmol/L}$) geleitet. Dabei wird Kaliumpermanganat verbraucht und Schwefelsäure (H_2SO_4) gebildet, wobei die zunächst violette Lösung farblos wird. Bis zur vollständigen Entfärbung müssen 65,83 L Abgas durch die Lösung geleitet werden. Wie groß ist der Volumenanteil des Schwefeldioxids im Abgas (Normalbedingungen), wenn 97,70 % mit dem Kaliumpermanganat reagiert haben?



9.3 Allgemeines Gasgesetz

Wenn Sie mit Gasen arbeiten müssen, herrschen in der Praxis in den wenigsten Fällen „Normalbedingungen“. Fast immer weichen sowohl die Temperatur als auch der Druck von den Normalbedingungen ab. Sie benötigen deshalb eine Berechnungsmöglichkeit, die für alle Bedingungen gültig ist. Es ist dies das allgemeine Gasgesetz.

Allgemeines Gasgesetz

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

wobei:

p = Druck (Pa)

V = Volumen (m^3)

N = Anzahl Gasteilchen (mol)
 R = allgemeine Gaskonstante (8,314 J/(mol · K))
 T = Temperatur (K)

Wichtig ist bei der Verwendung der allgemeinen Gasgleichung, dass in SI-Einheiten gerechnet wird! Dies gilt insbesondere für die Temperatur. Temperaturangaben in Grad Celsius (°C) müssen deshalb in jedem Fall in Kelvin (K) umgerechnet werden.

Umrechnen von Temperatur und Druck

- Temperatur in K = Temperatur in °C + 273,15
- Druck in Pa = Druck in Torr · 133,322 (Torr = Millimeter Quecksilbersäule)

Müssen Sie die Anzahl der im System vorhandenen Gasteilchen bestimmen, so müssen das Volumen in Kubikmeter (m³) und der Druck in Pascal (Pa) in die Gleichung eingesetzt werden (Pa = bar · 10⁵).

Solange Sie kein zusätzliches Gas ins System einbringen und auch keines entweichen lassen, kann mit einer vereinfachten Gasgleichung gerechnet werden:

Vereinfachte Gasgleichung falls $n = \text{konstant}$

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$$

Beispiel

Ein Autoreifen hat bei 8 °C einen Innendruck von 2,6 bar und ein Volumen von 28,00 L. Im Sommer steht das Fahrzeug längere Zeit an der prallen Sonne. Die Temperatur im Innern des schwarzen Reifens erhöht sich dabei auf 85 °C und sein Volumen nimmt um 0,40 L zu. Wie groß ist der Innendruck?

gegeben:

$$\begin{aligned}
 T_1 &= 8 \text{ °C} = 281,15 \text{ K} \\
 p_1 &= 2,6 \text{ bar} \\
 V_1 &= 28 \text{ L} \\
 T_2 &= 85 \text{ °C} = 358,15 \text{ K} \\
 \Delta V &= 0,4 \text{ L}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$p_2$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 V_2 &= V_1 + \Delta V \\
 &= 28 \text{ L} + 0,4 \text{ L} \\
 &= 28,4 \text{ L} \\
 \frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} &= \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} \\
 p_2 &= \frac{p_1 \cdot V_1 \cdot T_2}{T_1 \cdot V_2} \\
 &= \frac{2,6 \text{ bar} \cdot 28 \text{ L} \cdot 358,15 \text{ K}}{281 \text{ K} \cdot 28,4 \text{ L}} \\
 &= \underline{\underline{3,265 \text{ bar}}}
 \end{aligned}$$

Aufgaben

9.3.1* Der Druck in einer Heliumgasflasche mit 20,00 L Gasvolumen beträgt bei 20 °C 183,5 bar. Um wie viele Bar nimmt der Druck zu, wenn das Gas auf 65 °C aufgewärmt wird (Ausdehnung der Flasche vernachlässigen)?

9.3.2* Wie viele Milliliter Luft müssen Sie zum Druckausgleich über die Eustachische Röhre aus dem Mittelohr ($V = 4,2 \text{ mL}$) entweichen lassen, wenn Sie von Meereshöhe (1 bar), wo die Temperatur 32 °C beträgt, auf einen 3500 m hohen Berg steigen und dort der Luftdruck bei -29 °C noch 0,75 bar beträgt?

9.3.3* Wie groß ist der Druck in einer 35,00-L-Acetylenflaschen mit einem Innendruck von 200,0 bar bei 25 °C, wenn Sie sie im Sommer an der Sonne stehen lassen und sie sich dadurch auf 85 °C erwärmt?

9.3.4* In einer Spraydose herrscht bei 18 °C ein Innendruck von 4,500 bar. Um wie viele Prozent nimmt der Innendruck zu, wenn sich der gasförmige Inhalt an der Sonne auf 72 °C erwärmt (Annahme: Die Dose dehnt sich nicht aus)?

9.3.5** In einem Labor steht eine CO₂-Flasche mit einem Volumen von 10,00 L. Das Manometer zeigt bei 20 °C einen Innendruck von 126,4 bar an. Wie viele Kilogramm Kohlendioxid sind in der Flasche enthalten?

9.3.6** 5,000 L O₂ werden durch einen Ozonisator geleitet. Ein Volumenanteil an Sauerstoff von 14,00 % wird dabei zu Ozon (O₃) umgesetzt. Wie viele Liter beträgt das Gasvolumen nach der Reaktion, wenn Druck und Temperatur unverändert bleiben?

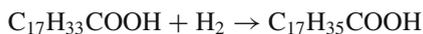
9.3.7** 5,000 L Wasser mit einer Temperatur von 0 °C ($\rho_{\text{Wasser}} = 0,9998 \text{ kg/L}$) werden erhitzt und vollständig verdampft. Wie viele Kubikmeter Wasserdampf mit einer Temperatur von 100 °C entstehen bei einem Druck von 1,000 bar?

9.3.8** Ein 35,00-L-Ethengasflasche hat bei 20 °C einen Innendruck von 162,5 bar. Wie viele Kilogramm Ethen (C₂H₄) enthält die Flasche?

9.3.9** Wie viele Flaschen Helium zu 40,00 L und 200,0 bar bei 20 °C benötigen Sie, um einen Gasballon mit einem Hüllendurchmesser von 10,00 m zu füllen? Sie messen am Startplatz einen Druck von 722 mm Hg (Torr; 1 bar = 750,062 Torr) und eine Temperatur von 16 °C. Die Flaschen dürfen nur bis auf einen Druck von 10 bar geleert werden, um zu verhindern, dass Feuchtigkeit eindringt!

9.3.10** Ein thermisches Kraftwerk emittiert pro Stunde 0,25 · 10⁶ m³ Rauchgas von 960 mbar und 160 °C mit einem Schwefeldioxid-Volumenanteil $\sigma_{\text{SO}_2} = 1,200 \text{ L/m}^3$. Wie viele Kilogramm Schwefel werden in 24 h emittiert?

9.3.11** Zur Ermittlung des Massenanteils an Ölsäure in einem Gemisch aus Ölsäure und gesättigten Fettsäuren werden 5,649 g davon katalytisch hydriert. Dabei werden bei 963 mbar und 0 °C 236,0 mL Wasserstoff (H₂) verbraucht. Wie groß ist $w_{\text{Ölsäure}}$ (in g/kg) im Gemisch?

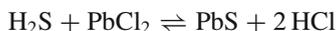


9.3.12*** Die Dichte eines Gases beträgt bei 1,005 bar und 20 °C 2,910 g/L. Wie groß ist die molare Masse M des Gases?

9.3.13*** Ein Taucher benutzt eine Pressluftflasche mit einem Volumen von 15,00 L. Der Innendruck vor Beginn des Tauchgangs beträgt bei 20 °C 210,0 bar. Wie viele Kilogramm Sauerstoff (O₂) konnte der Taucher für seine Atmung nutzen, wenn die Luft während des Tauchganges auf 12 °C abkühlte, das Manometer beim Auftauchen 20 bar anzeigt und der Sauerstoffanteil in der Atemluft 21 % beträgt?

9.3.14*** Eine 12,00-L-Pressluftflasche muss zur Prüfung entleert werden. Bei 20,00 °C beträgt der Druck in der Flasche 125,0 bar, während der Druck der Umgebung bei 0,8800 bar liegt. Wie groß ist die mittlere Gasgeschwindigkeit in km/h unmittelbar am Ventil ($\varnothing = 3 \text{ mm}$), wenn die Flasche 45 min nach Öffnen des Ventils leer ist und sich das Gas beim Austritt auf -5 °C abkühlt?

9.3.15*** Zur Bestimmung der Schwefelwasserstoff-Volumenkonzentration in einem Abgas werden 250,0 L Abgas bei einem Druck von 1240 mbar und 50 °C durch eine Blei(II)-Salzlösung geleitet. Das gebildete Bleisulfid hat eine Masse von 11,25 g. Welchen H₂S-Volumenanteil (in %) hat das Abgas?



9.3.16*** Ein Gasgemisch besteht aus 65,00 g Stickstoff, 27,00 g Sauerstoff und 8,00 g Kohlendioxid. Wie viele Kilogramm wiegen 1,000 m³ dieses Gemisches bei 0,980 bar und 0 °C?

9.3.17*** In einem Versuch werden Archaeen der Gattung *Methanococcales* bezüglich ihrer Fähigkeit zur Methanproduktion untersucht. Die Kultur erfolgt unter anaeroben Bedingungen, wobei 200,0 L Amylose-Suspension ($\beta_{\text{Amylose}} = 50,00 \text{ g/L}$) als Kohlenstoffquelle dienen. Wie viele Kubikmeter Biogas, das Methan und Kohlendioxid im Stoffmengen-Verhältnis 1 : 1 enthält, könnten die Archaeen maximal produzieren ($p = 0,9820 \text{ bar}$, $\tau = 24 \text{ °C}$)?

Amylosespaltung: Amylose + H₂O → n Glucose (C₆H₁₂O₆)

Methanbildung: C₆H₁₂O₆ → 3 H₃C–COOH → 3 CH₄ + 3 CO₂

9.3.18*** In einem zylinderförmigen Lagertank ($\varnothing = 6,5 \text{ m}$, $h = 12,2 \text{ m}$) werden getrocknete Nüsse gelagert. Um das Füllvolumen der Nüsse zu bestimmen, füllen Sie ein Gefäß ($V = 2,000 \text{ Liter}$) vollständig mit Nüssen und giessen so viel Wasser nach, bis dieses überläuft. Die Messung des danach wieder abgegossenen Restwassers ergab ein Volumen von 638,5 mL.

Um die Nüsse vor Insektenbefall zu schützen, soll der bis zur Decke gefüllte Lagertank zusätzlich mit dem gasförmigen Insektizid Sulfurylfluorid (SO₂F₂) geflutet werden. Die maximal zulässige Gaskonzentration beträgt 128 g/m³. Zur Behandlung des Lagertanks steht ihnen Sulfurylfluorid in einer Druckgasflasche mit einem Volumen von 20,00 L zur Verfügung. Das Manometer zeigt bei 18 °C einen Gasdruck von 204,4 bar an. Bis zu welchem minimalen Druck dürfen Sie das Sulfurylfluorid in den Tank einströmen lassen, ohne den gesetzlichen Grenzwert zu überschreiten?



10.1 Einführung

Statistik ist eine Teildisziplin der Mathematik, in der es um Methoden zum Umgang mit quantitativen Informationen geht, das heißt Daten aller Art. Dabei werden die Daten mit unterschiedlichen Methoden beschrieben, aufbereitet und in Form von Tabellen, grafischen Darstellungen und/oder Kennzahlen zusammengefasst. Falls es sich bei den Daten um Stichproben handelt, lässt sich mithilfe von Wahrscheinlichkeitstheorien auch auf Eigenschaften der Grundgesamtheit schließen.

Die Ursprünge der Statistik reichen zurück bis ins alte Ägypten, zu den antiken Griechen, Römern sowie in die frühen Kaiserdynastien Chinas. Ursprünglich diente die Statistik in erster Linie dazu, dem Staat Informationen über die Bevölkerung (Volkszählung), die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit (Ernteerträge, Produktion von Gütern usw.), Steuern oder Zölle zu liefern. So stammt der Begriff „Statistik“ vom lateinischen Wort *statisticum* ab, was „den Staat betreffend“ bedeutet. Die gesammelten Daten unterstützten in erster Linie Verwaltungs- und Regierungsentscheide und waren vielerorts gut gehütetes Staatsgeheimnis.

Heute werden Daten nicht nur vom Staat erhoben und ausgewertet. Vielmehr sammeln zunehmend Firmen, Organisationen und selbst Privatpersonen Daten aller Art und werten sie aus. So dienen die Kundenkarten, die persönliche Anmeldung bei Online-Geschäften oder automatische, elektronische Erfassungsmethoden in erster Linie dazu, Kundendaten zu sammeln, um so Geschäfte und Ertrag zu optimieren.

Auch im Labor fallen ständig Daten aller Art an bzw. werden gezielt gesammelt, um mit ihrer Hilfe Fragestellungen zu beantworten und neue Erkenntnisse zu gewinnen. Hierbei kommen oftmals äußerst komplexe statistische Verfahren zur Anwendung, deren Einsatz umfangreiche Statistikkenntnisse erfordern. Im Rahmen dieses Buches soll die Statistik jedoch nur stark vereinfacht behandelt und auf die im Laboralltag häufigsten Methoden reduziert werden.

10.2 Mittelwert und Median

Der sicherlich mit Abstand am häufigsten verwendete Begriff ist der Mittelwert (\bar{x}), oft auch als Durchschnitt oder abgekürzt als Mittel bezeichnet. Um den Mittelwert zu berechnen, teilen Sie die Summe aller Werte durch die Anzahl Werte:

Mittelwert

$$\begin{aligned}\bar{x} &= \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} \\ &= \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}\end{aligned}$$

Beispiel

Sie sollen die durchschnittliche Masse (m) von elf Mäusen bestimmen. Sie ermitteln die folgenden Wägedaten:

$$\begin{aligned}m_{\text{Maus 1}} &= 14,52 \text{ g} \\ m_{\text{Maus 2}} &= 22,61 \text{ g} \\ m_{\text{Maus 3}} &= 13,52 \text{ g} \\ m_{\text{Maus 4}} &= 20,06 \text{ g} \\ m_{\text{Maus 5}} &= 18,41 \text{ g} \\ m_{\text{Maus 6}} &= 17,91 \text{ g} \\ m_{\text{Maus 7}} &= 24,91 \text{ g} \\ m_{\text{Maus 8}} &= 22,64 \text{ g} \\ m_{\text{Maus 9}} &= 19,78 \text{ g} \\ m_{\text{Maus 10}} &= 20,80 \text{ g} \\ m_{\text{Maus 11}} &= 19,49 \text{ g}\end{aligned}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}\bar{x} &= \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \\ &= \frac{214,65 \text{ g}}{11 \text{ Mäuse}} \\ &= \underline{\underline{19,51 \text{ g/Maus}}}\end{aligned}$$

Eine weitere zur Kennzeichnung von Daten verwendete Größe ist der Median, manchmal auch als Zentralwert bezeichnet. Der Median einer Anzahl von Werten ist die Zahl, die an der mittleren Stelle steht, wenn man die Werte der Größe

nach sortiert. Für obiges Beispiel mit den Mäusen bedeutet dies, dass Sie zuerst die Messwerte nach ihrer Größe sortieren und dann den mittleren Wert suchen:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Maus } 3} &= 13,52 \text{ g} \\
 m_{\text{Maus } 1} &= 14,52 \text{ g} \\
 m_{\text{Maus } 6} &= 17,91 \text{ g} \\
 m_{\text{Maus } 5} &= 18,41 \text{ g} \\
 m_{\text{Maus } 11} &= 19,49 \text{ g} \\
 m_{\text{Maus } 9} &= \underline{\underline{19,78 \text{ g}}} \leftarrow \text{Median} \\
 m_{\text{Maus } 4} &= 20,06 \text{ g} \\
 m_{\text{Maus } 10} &= 20,80 \text{ g} \\
 m_{\text{Maus } 2} &= 22,61 \text{ g} \\
 m_{\text{Maus } 8} &= 22,64 \text{ g} \\
 m_{\text{Maus } 7} &= 24,91 \text{ g}
 \end{aligned}$$

- Wenn die Anzahl der Werte ungerade ist, ist die mittlere Zahl der Median.
- Wenn die Anzahl der Werte gerade ist, wird der Median meist als Mittelwert der beiden mittleren Zahlen definiert.

Die Hälfte der Messwerte ist somit größer als der Median und die andere Hälfte kleiner.

10.3 Varianz und Standardabweichung

Mittelwert und Median liefern zwar in vielen Fällen erste Aussagen über die statistische Größe der Messwerten. Ob diese allerdings alle nahe beieinander liegen oder aber stark streuen, darauf kann weder der Mittelwert noch der Median einen Hinweis liefern. Folgendes Beispiel soll dies veranschaulichen: Wenn in einer Firma sowohl der Durchschnittsverdienst als auch der Median der Löhne bei € 5000 liegen, scheinen die Löhne in dieser Firma auf den ersten Blick recht gut zu sein. Solche Werte für Mittelwert und Median ergäben sich, wenn alle Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter denselben Lohn von € 5000 erhalten würden (Tab. 10.1, Firma A). Es wäre aber auch möglich, dass es große Lohnunterschiede gibt, wie sich bei der Firma B in Tab. 10.1 zeigt.

Um den deutlichen Unterschied in der Lohnverteilung dieser beiden Firmen statistisch zu erfassen, können Sie sich der sogenannten Standardabweichung (s) bedienen. Sind alle Werte identisch – so wie im Fall der Firma A –, so beträgt die Standardabweichung $s = € 0$. Je stärker die Werte streuen, desto größer wird auch die Standardabweichung:

- $s_{\text{Firma A}} = € 0$
- $s_{\text{Firma B}} = € 7019$

Tab. 10.1 In der Firma A haben alle Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter denselben Lohn von € 5000. In der Firma B streuen die Löhne dagegen stark. Trotzdem sind sowohl Median als auch Mittelwert (\emptyset) in beide Firmen identisch

	Firma A	Firma B	
Mitarbeiter 1	€ 5000	€ 200	
Mitarbeiterin 2	€ 5000	€ 500	
Mitarbeiter 3	€ 5000	€ 800	
Mitarbeiterin 4	€ 5000	€ 1200	
Mitarbeiter 5	€ 5000	€ 1300	
Mitarbeiterin 6	€ 5000	€ 1400	
Mitarbeiter 7	€ 5000	€ 2100	
Mitarbeiterin 8	<u>€ 5000</u>	<u>€ 5000</u>	← Median
Mitarbeiter 9	€ 5000	€ 5100	
Mitarbeiterin 10	€ 5000	€ 5200	
Mitarbeiter 11	€ 5000	€ 5300	
Mitarbeiterin 12	€ 5000	€ 5500	
Mitarbeiter 13	€ 5000	€ 6100	
Mitarbeiterin 14	€ 5000	€ 6300	
Mitarbeiter 15	€ 5000	€ 29.000	
\emptyset	<u>€ 5000</u>	<u>€ 5000</u>	

Mittelwert und Standardabweichung bilden zusammen die beiden wichtigsten statistischen Kennzahlen zur Beschreibung der Eigenschaften einer Beobachtungs- oder Messreihe. Um die Standardabweichung berechnen zu können, wird in einem ersten Schritt die Varianz (var) bestimmt. Die Standardabweichung (s) ist dann gleich der Quadratwurzel der Varianz.

Varianz

$$\text{var} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \emptyset)^2}{n - 1}$$

Standardabweichung

$$s = \sqrt{\text{var}}$$

Beispiel

Wie groß ist die Standardabweichung der Massen der oben gelisteten Mäuse?

gegeben:

$$m_{\text{Maus 1}} = 14,52 \text{ g}$$

$$m_{\text{Maus 2}} = 22,61 \text{ g}$$

$$m_{\text{Maus 3}} = 13,52 \text{ g}$$

$$m_{\text{Maus 4}} = 20,06 \text{ g}$$

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Maus } 5} &= 18,41 \text{ g} \\
 m_{\text{Maus } 6} &= 17,91 \text{ g} \\
 m_{\text{Maus } 7} &= 24,91 \text{ g} \\
 m_{\text{Maus } 8} &= 22,64 \text{ g} \\
 m_{\text{Maus } 9} &= 19,78 \text{ g} \\
 m_{\text{Maus } 10} &= 20,80 \text{ g} \\
 m_{\text{Maus } 11} &= 19,49 \text{ g} \\
 \bar{X} &= 19,51 \text{ g}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$s_{\text{Mäuse}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 (m_{\text{Maus } 1} - \bar{X})^2 &= (14,52 \text{ g} - 19,51 \text{ g})^2 = 24,9001 \text{ g}^2 \\
 (m_{\text{Maus } 2} - \bar{X})^2 &= (22,61 \text{ g} - 19,51 \text{ g})^2 = 9,61 \text{ g}^2 \\
 (m_{\text{Maus } 3} - \bar{X})^2 &= (13,52 \text{ g} - 19,51 \text{ g})^2 = 35,8801 \text{ g}^2 \\
 (m_{\text{Maus } 4} - \bar{X})^2 &= (20,06 \text{ g} - 19,51 \text{ g})^2 = 0,3025 \text{ g}^2 \\
 (m_{\text{Maus } 5} - \bar{X})^2 &= (18,41 \text{ g} - 19,51 \text{ g})^2 = 1,21 \text{ g}^2 \\
 (m_{\text{Maus } 6} - \bar{X})^2 &= (17,91 \text{ g} - 19,51 \text{ g})^2 = 2,56 \text{ g}^2 \\
 (m_{\text{Maus } 7} - \bar{X})^2 &= (24,91 \text{ g} - 19,51 \text{ g})^2 = 29,16 \text{ g}^2 \\
 (m_{\text{Maus } 8} - \bar{X})^2 &= (22,64 \text{ g} - 19,51 \text{ g})^2 = 9,7969 \text{ g}^2 \\
 (m_{\text{Maus } 9} - \bar{X})^2 &= (19,78 \text{ g} - 19,51 \text{ g})^2 = 0,0729 \text{ g}^2 \\
 (m_{\text{Maus } 10} - \bar{X})^2 &= (20,80 \text{ g} - 19,51 \text{ g})^2 = 1,6641 \text{ g}^2 \\
 (m_{\text{Maus } 11} - \bar{X})^2 &= (19,49 \text{ g} - 19,51 \text{ g})^2 = 0,0004 \text{ g}^2 \\
 \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2 &= 24,9001 \text{ g}^2 + 9,61 \text{ g}^2 + 35,8801 \text{ g}^2 \\
 &\quad + 0,3025 \text{ g}^2 + 1,21 \text{ g}^2 + 2,56 \text{ g}^2 \\
 &\quad + 29,16 \text{ g}^2 + 9,7969 \text{ g}^2 + 0,0729 \text{ g}^2 \\
 &\quad + 1,6641 \text{ g}^2 + 0,0004 \text{ g}^2 \\
 &= 115,157 \text{ g}^2 \\
 \text{var} &= \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n - 1} \\
 &= \frac{115,157 \text{ g}^2}{11 - 1} \\
 &= \underline{\underline{11,5157 \text{ g}^2}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 s &= \sqrt{\text{var}} \\
 &= \sqrt{11,5157 \text{ g}^2} \\
 &= \underline{\underline{3,393 \text{ g}}}
 \end{aligned}$$

Aufgaben

10.3.1* In einem Fraßversuch werden die Massen (in mg) von zehn Larven täglich gewogen (Tab. 10.2). Wie groß sind der arithmetischen Mittelwert (\bar{x}) sowie die Standardabweichung (s) der Gewichtszunahme der Larven vom 12. auf den 13. Tag?

Tab. 10.2 Massen der Larven (mg)

12. Tag	13. Tag
153	201
158	219
156	215
154	213
158	207
155	204
159	218
150	203
157	211
160	209

10.3.2* Am Ende eines Fütterungsversuches an zehn Mäusen wurden die in Tab. 10.3 aufgelisteten Massen bestimmt. Wie groß sind der Mittelwert (\bar{x}) und die Standardabweichung (s) der beiden Gruppen?

Tab. 10.3 Massen der Mäuse

Kontrollgruppe	Versuchsgruppe
25,0 g	20,0 g
26,1 g	22,5 g
27,0 g	23,8 g
29,0 g	24,0 g
35,0 g	27,1 g

10.3.3* Entlang eines Flusslaufs wurden die Nitrat-Stickstoffbelastung des Wassers gemäß Tab. 10.4 gemessen. Wie groß ist die mittlere Nitrat-N-Belastung des Gewässers und wie groß ist die Standardabweichung?

Tab. 10.4 Nitratbelastung

Messstelle	1	2	3	4	5
Nitrat-N (mg/m ³)	495	430	2130	2010	12.420

10.3.4* Zur Überprüfung einer Kolbenhubpipette wurde bei einem Nennvolumen von 50,00 μl 18 Mal pipettiert und der Auslauf jeweils gewogen (Tab. 10.5).

Die Dichte von Wasser bei 20,5 °C beträgt 0,998126 g/mL. Wie groß sind die Standardabweichung s (in Mikroliter) und die Abweichung des Mittelwertes vom Nennvolumen in Prozent?

Tab. 10.5 Wägungen (in mg) bei 20,5 °C

49,6	49,5	49,4	49,4	49,3	51,2
49,8	49,7	49,2	49,4	48,5	49,3
49,4	48,1	49,7	49,5	49,4	49,5

10.3.5* Die Messung von Lactose in einer Milchprobe ergab Werte gemäß Tab. 10.6. Wie groß sind absolute und relative Standardabweichung?

Tab. 10.6 Gramm Lactose in 100 g Milch

4,68	4,71	4,72
4,77	4,78	4,82
4,91	5,01	5,04

10.3.6. * Das Antibiotikum Norfloxacin wurde aus einer Schweinefleischprobe extrahiert und chromatografisch der Norfloxacin-Gehalt gemäß Tab. 10.7 bestimmt. Wie groß sind mittlere Extraktionsausbeute und relative Standardabweichung s_{relativ} in Prozent?

Tab. 10.7 Norfloxacin-Messwerte

Probe	Mikrogramm Norfloxacin pro Kilogramm Schweinefleisch
1	200
2	181
3	191
4	215
5	192
6	178

10.3.7** Die titrimetrische Bestimmung einer Borsäurelösung mit einer mutmaßlichen Massenkonzentration von 30,0 g/L mit Natronlauge ergab die Werte: 31,0 g/L; 30,6 g/L; 30,9 g/L; 31,4 g/L; 30,6 g/L. Berechnen Sie die relative Standardabweichung s_{relativ} .



10.3.8** Bei der fotometrischen Bestimmung der Extinktion E wird eine Probe in einem 100,0-mL-Messkolben gelöst und auf die Marke gestellt. Anschließend wird die Lösung 1:100 verdünnt und die Extinktion gegen die Blindlösung bei einer Schichtdicke von 1 cm gemessen. Wie groß sind Mittelwert und Standardabweichung von E gemäß Tab. 10.8?

Tab. 10.8 Extinktionswerte

Einwaage in mg	104,3 mg	99,6 mg	106,3 mg
Extinktion	0,635	0,605	0,648

Tab. 10.9 Hormonwirkung auf Zebrabärblingen (*Danio rerio*)

Hormonzugabe	Fisch	Anfangslänge (mm)	Anfangsmasse (g)	Endlänge (mm)	Endmasse (g)
–	1	32	1,1	38	1,3
–	2	31	1,0	38	1,3
–	3	35	1,2	43	1,5
–	4	36	1,2	45	1,5
–	5	32	1,1	40	1,4
–	6	37	1,3	45	1,5
–	7	41	1,4	49	1,6
–	8	33	1,1	40	1,3
–	9	33	1,1	41	1,4
–	10	36	1,2	44	1,6
+	11	40	1,3	51	1,7
+	12	39	1,3	49	1,6
+	13	35	1,2	46	1,7
+	14	43	1,5	52	1,7
+	15	32	1,2	42	1,4
+	16	36	1,2	46	1,5
+	17	37	1,2	48	1,6
+	18	34	1,1	45	1,5
+	19	38	1,3	50	1,7
+	20	33	1,1	44	1,5

10.3.9** In einem Versuch soll die Wirkung eines Hormons auf das Wachstum von Zebrabärblingen (*Danio rerio*) getestet werden. Hierzu wurden 20 Fische vermessen und anschließend während sechs Monaten einzeln in kleinen Aquarien gehalten – neun Fische in normalem Wasser, bei den anderen zehn Fischen wurde das Wasser mit einem Hormonpräparat angereichert. Nach Ablauf des Versuchs wurden wiederum alle Fische erneut vermessen (Tab. 10.9).

- Um wie viele Prozent sind die mit Hormonen behandelten Fische gegenüber der unbehandelten Kontrollgruppe durchschnittlich mehr gewachsen?
- Wie groß ist die prozentuale Standardabweichung s_{relativ} der Längenzunahme bei den mit Hormonen behandelten Fischen gegenüber der Kontrollgruppe?

10.3.10** Sie möchten überprüfen, wie genau Sie bei der Herstellung von Verdünnungsreihen arbeiten. Hierzu verdünnen Sie eine Sporensuspension ($c = 1,405 \cdot 10^{12}$ Sporen/L, $\varepsilon = 3,417 \cdot 10^{-7}$ L/(mol·cm)) 5 Mal hintereinander, indem Sie jeweils 2,000 mL auf 20,00 mL auffüllen. Von den zehn Wiederholungen dieser Verdünnungsreihe messen Sie in einer 1-cm-Küvette jeweils fotometrisch die Extinktionen (Tab. 10.10). Wie groß sind die mittlere prozentuale Abweichung vom Sollwert und die relative Standardabweichung bezogen auf den Sollwert?

Tab. 10.10 Extinktion von Verdünnungsreihen

Messung	Extinktion
1	0,4773
2	0,4768
3	0,4781
4	0,4802
5	0,4727
6	0,4792
7	0,4771
8	0,4763
9	0,4759
10	0,4792

10.4 Lineare Regression

In der Natur wie auch im Labor kommt es immer wieder vor, dass Messwerte oder andere Daten ein bestimmtes Verteilungsmuster zeigen. So fressen wenige Versuchstiere auch wenig Futter, für viele Versuchstiere muss dagegen viel Futter zur Verfügung gestellt werden. Oder in einem kleinen Fermenter werden nur geringe Mengen eines Produktes gebildet, während man in großen Fermentern mit entsprechend größeren Mengen an Hefen, Bakterien oder anderen Zellen auch größere Mengen eines Produktes produzieren kann. Nun sind Versuchstiere, Hefen, Bakterien und Zellen aber keine Roboter, die immer genau dasselbe in einer klar definierten Zeit tun, gleichviel Nahrung benötigen und immer gleiche Mengen von Stoffwechselprodukten herstellen. Das führt dazu, dass die entsprechenden Messwerte zwar einem bestimmten Muster folgen, aber dennoch mehr oder weniger stark von einer exakt mathematischen Vorgabe abweichen (Tab. 10.11).

An diesem Beispiel können Sie gut erkennen, dass die Anzahl der gehaltenen Mäuse mit dem Futterverbrauch korreliert: Je mehr Mäuse die Zucht umfasst, desto größer ist der Futterverbrauch. Versucht man allerdings eine Gerade durch alle fünf Punkte zu legen, so gelingt dies nicht, weil manche Mäuse etwas mehr, andere etwas weniger fressen, sodass dies in der Summe für jede Zucht einen eigenen Futterbedarf ergibt.

Um die Gerade zu finden, die der Verteilung der Messwerte möglichst genau entspricht, bedient man sich der linearen Regression. Eine solche Gerade folgt der

Tab. 10.11 Futterverbrauch in fünf Labormauszuchten

Zucht	Anzahl adulte Mäuse	Futterverbrauch (kg/Woche)
1	106	3,1
2	251	6,3
3	452	12,9
4	850	23,6
5	1534	49,5

Formel:

$$y = a \cdot x + b$$

wobei: a = Steigung der Kurve
 b = y -Achsen-Abschnitt

Mit der linearen Regression wird eine Gerade gesucht, bei welcher der Abstand zu sämtlichen Punkten möglichst klein ist. Weil dabei aber manche Punkte unterhalb, andere oberhalb der Geraden liegen, minimiert man die Summe der Abstandsquadrate. So fallen die Vorzeichen weg, denn:

$$(+x)^2 = (-x)^2$$

Mit dieser Methode der kleinsten Quadrate lassen sich a und b wie folgt berechnen:

$$a = \frac{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

$$b = \bar{y} - a \cdot \bar{x}$$

wobei: \bar{x} = Mittelwert aller x -Werte
 \bar{y} = Mittelwert aller y -Werte

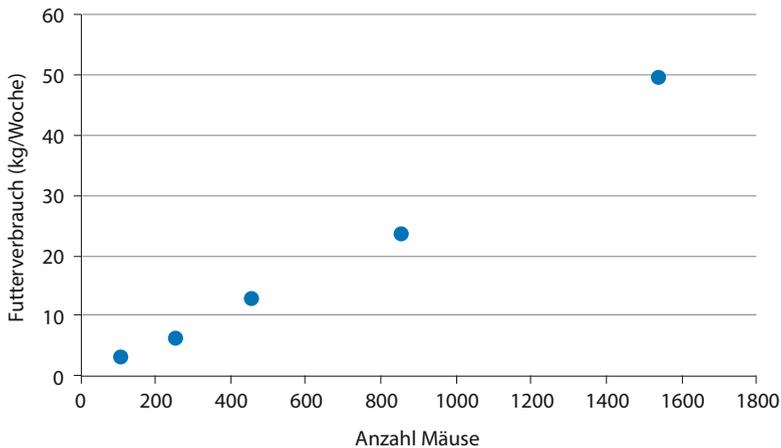


Abb. 10.1 Futterverbrauch in fünf Labormauszuchten

Anhand obigen Beispiels soll die recht aufwendige Berechnung Schritt für Schritt vorgerechnet werden (Tab. 10.12).

$$\begin{aligned}n_{\text{Zuchtgruppen}} &= 5 \\ \bar{X} &= 638,6 \text{ Mäuse} \\ \bar{Y} &= 19,08 \text{ kg/Woche}\end{aligned}$$

Diese Werte werden nun in die Formeln zur Berechnung der Steigung und des Achsenabschnitts eingesetzt:

Steigung:

$$\begin{aligned}a &= \frac{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X}) \cdot (y_i - \bar{Y})}{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2} \\ &= \frac{\frac{1}{5} \cdot 42811,26}{\frac{1}{5} \cdot 1402,6880} \\ &= \underline{\underline{30,52}}\end{aligned}$$

y-Achsen-Abschnitt:

$$\begin{aligned}b &= \bar{Y} - a \cdot \bar{X} \\ &= 638,6 - 30,5208714 \cdot 19,08 \\ &= \underline{\underline{56,26}}\end{aligned}$$

Regressionsgerade:

$$\begin{aligned}y &= a \cdot x + b \\ &= \underline{\underline{30,52 \cdot x - 56,26}}\end{aligned}$$

Tab. 10.12 Zwischenresultate zur Berechnung der Regressionsgeraden

n_i	$x_i - \bar{X}$	$(x_i - \bar{X})^2$	$y_i - \bar{Y}$	$(x_i - \bar{X}) \cdot (y_i - \bar{Y})$
1	$3,1 - 19,08 = -15,98$	$(-15,98)^2 = 255,3604$	$106 - 638,6 = -532,6$	$-15,98 \cdot -532,6 = 8510,948$
2	$6,3 - 19,08 = -12,78$	$(-12,78)^2 = 163,3284$	$251 - 638,6 = -387,6$	$-12,78 \cdot -387,6 = 4953,528$
3	$12,9 - 19,08 = -6,18$	$(-6,18)^2 = 38,1924$	$452 - 638,6 = -186,6$	$-6,18 \cdot -186,6 = 1153,188$
4	$23,6 - 19,08 = 4,52$	$(4,52)^2 = 20,4304$	$850 - 638,6 = 211,4$	$4,52 \cdot 211,4 = 955,528$
5	$49,5 - 19,08 = 30,42$	$(30,42)^2 = 925,3764$	$1534 - 638,6 = 895,4$	$30,42 \cdot 895,4 = 27.238,068$
		Summe = 1402,6880		Summe = 42.811,260

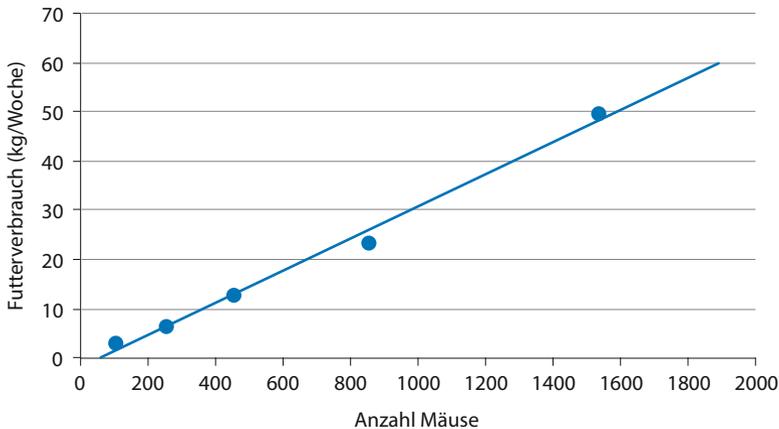


Abb. 10.2 Lineare Regressionskurve des Futtermittelverbrauchs in fünf Labormauszuchten

10.4.1 Lineare Regression mit Taschenrechner und Computer

Rechnen Sie alle Zwischenresultate für eine lineare Regression quasi von Hand aus, so ist dies eine ziemliche Plackerei. Viel einfacher bewältigen Sie diese Aufgabe mithilfe eines Taschenrechners oder eines Computers. So enthält etwa das Computerprogramm „Microsoft Excel“ eine Funktion zur Berechnung der Steigung und des Achsenabschnitts einer Regressionsgeraden. Hierzu fügen Sie jeweils in eine leere Zelle folgende Funktionen ein:

= STEIGUNG(Y-Werte;X-Werte)
 = ACHSENABSCHNITT(Y-Werte;X-Werte)

Der Computer berechnet mithilfe von Excel aus den eingegebenen Werten die gewünschten Resultate. Aus der so berechneten Steigung und dem Achsenabschnitt lassen sich mithilfe der Regressionsgeradengleichung ($y = a \cdot x + b$) zu beliebigen x -Werten die entsprechenden y -Werte berechnen und in einem Diagramm als Regressionsgerade anzeigen.

Steigung und Achsenabschnitt einer Regressionsgeraden können auch mithilfe technischer Taschenrechner berechnet werden. Wie dies im Detail geht, muss allerdings dem Handbuch des jeweiligen Taschenrechners entnommen werden.

Aufgaben

10.4.1** In einem Bientoxizitätsversuch wurde die Wirkung unterschiedlicher Konzentrationen eines Herbizids untersucht. Hierfür wurden jeweils 20 Bienen einer bestimmten Konzentration des Herbizids ausgesetzt und die Letalität bestimmt (Tab. 10.13). Welche Steigung und welchen Achsenabschnitt hat die Regressionsgerade?

Tab. 10.13 Bientoxizität

$\beta_{\text{Wirkstoff}}$ (mg/L)	Mortalität (%)
0	0
25	24
50	48
75	71
100	95

10.4.2** Der Alkoholgehalt eines Weins hängt maßgeblich vom Zuckergehalt des Traubensafts ab, aus dem der Wein hergestellt wird. In einem önologischen Versuch wurden deshalb der Zuckergehalt vor Beginn sowie der Ethanolgehalt nach Abschluss der Gärung gemessen (Tab. 10.14). Welche Steigung und welchen Achsenabschnitt hat die Regressionsgerade?

Tab. 10.14 Zucker- und Ethanolgehalt eines Gäransatzes

β_{Zucker} (g/L)	σ_{Ethanol} (Vol.-%)
188,1	12,1
204,5	13,1
216,3	14,4
189,6	12,3
211,4	14,2
172,4	10,9

10.4.3** In einem Versuch wurde die Wirkung eines Cytostatikums getestet. Hierfür wurden einer Epithelzellen-Stammlösung Zellen entnommen und in Medien mit unterschiedlichen Cytostatikum-Konzentrationen weiterkultiviert. Nach 14 Tagen wurden Zelldichten gemäß Tab. 10.15 ermittelt. Welche Steigung und welchen Achsenabschnitt hat die Regressionsgerade dieser Messwerte?

Tab. 10.15 Wirkung eines Cytostatikums

Medium	$\beta_{\text{Wirkstoff}}$ ($\mu\text{g/L}$)	c_{Zellen} (Zellen/L)
1	0	$14,51 \cdot 10^6$
2	500	$13,11 \cdot 10^6$
3	800	$11,42 \cdot 10^6$
4	1000	$9,32 \cdot 10^6$
5	1500	$4,41 \cdot 10^6$
6	1800	$2,84 \cdot 10^6$

11.1 Einführung

Grafische Darstellungen sind ein weit verbreitetes Mittel, um Messwerte, statistische Erhebungen und Auswertungen oder andere Daten möglichst verständlich darzustellen. Dabei geht zwar immer ein Teil der Informationen der Originaldaten verloren, weil eine Grafik die gemessenen oder berechneten Werte nie in der ursprünglichen Genauigkeit vermitteln kann. Mit einer geschickt gewählten und sorgfältig beschrifteten Grafik lassen sich jedoch oft die gewünschten Aussagen leichter wiedergeben und auch Nichtfachleuten verständlich machen.

11.2 Diagrammtypen

Die folgenden Typen grafischer Darstellungen werden am häufigsten gebraucht:

- Punktdiagramm
- Kurvendiagramm
- Säulendiagramm
- Kreis- oder Kuchendiagramm
- Reliefdiagramm (dreidimensionale Darstellung)
- Isoplethendiagramm (dreidimensionale Darstellung)

Jeder dieser sechs Diagrammtypen eignet sich für einen anderen Typ von Daten und geplanter Aussage. So sind etwa Säulendiagramme nur beschränkt geeignet, wenn Messwerte in unregelmäßigen Abständen erhoben wurden. Weil der Abstand zwischen den einzelnen Säulen in der Regel konstant ist, würde so eine zeitliche Entwicklung vorgetäuscht, die nicht den effektiven Messdaten entspricht. Säulendiagramme eignen sich jedoch hervorragend, wenn unabhängige Messwerte, wie z. B. der Alkoholgehalt verschiedener Weine, miteinander verglichen werden sollen (Tab. 11.1).

Tab. 11.1 Ethanolgehalt (σ_{Ethanol}) verschiedener Weinsorten

Weinsorte	σ_{Ethanol}
Chianti	11,8 Vol.-%
Burgunder	13,6 Vol.-%
Merlot	12,6 Vol.-%
Rioja	13,1 Vol.-%

Sollen die Alkoholgehalte der vier Weine von Tab. 11.1 möglichst unverfälscht grafisch dargestellt werden, so wählen Sie am besten ein Säulendiagramm mit linearer Skala und dem Nullpunkt als Basis der Grafik (Abb. 11.1).

Will aber der Burgunderproduzent den hohen Alkoholgehalt seines Weins hervorheben, so kann er eine etwas veränderte Art der grafischen Darstellung wählen. Im einfachsten Fall verschiebt er den Nullpunkt, wie in Abb. 11.2 dargestellt. Dadurch wird die Säule für den Burgunder im Vergleich zu seinen Konkurrenten erheblich länger. Der Kunde glaubt, dass der Wein ein Mehrfaches an Alkohol enthält, da er oft nicht sofort bemerkt, dass die Säulen unten abgeschnitten wurden. Darstellungen mit einem verschobenen Nullpunkt findet man häufig dort, wo sehr große Werte nur geringe Schwankungen aufweisen, wie etwa bei Börsen- und Devisenkurskurven.

Noch mehr täuschen kann man ein Zielpublikum mit einer Grafik, die eine nicht-lineare Skala besitzt (Abb. 11.3). Mit einer solchen „Phantasieskala“ gaukelt man Tatsachen vor, die nicht zutreffen. Objektiv gesehen ist zwar alles korrekt; die Daten in der Grafik stimmen mit den Messwerten überein. Doch der optische Eindruck des Diagrammes führt zu einer Täuschung des oberflächlichen Betrachters.

Selbstverständlich lassen sich die Säulen eines Säulendiagramms nicht nur senkrecht, sondern auch waagrecht darstellen. Man spricht in einem solchen Fall nicht

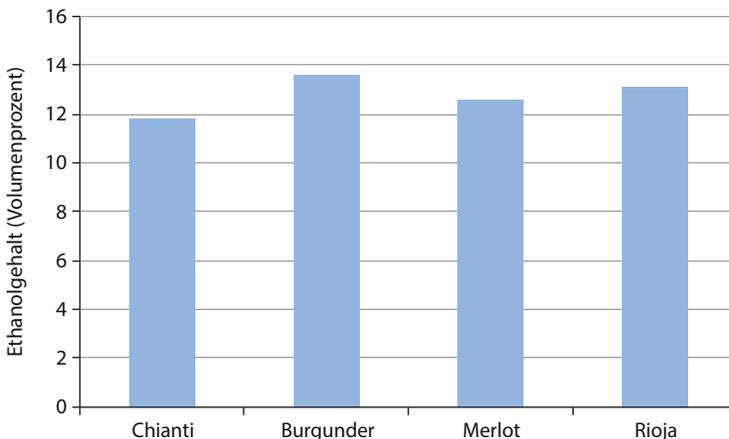


Abb. 11.1 Säulendiagramm mit linearer Skala und Basisnullpunkt

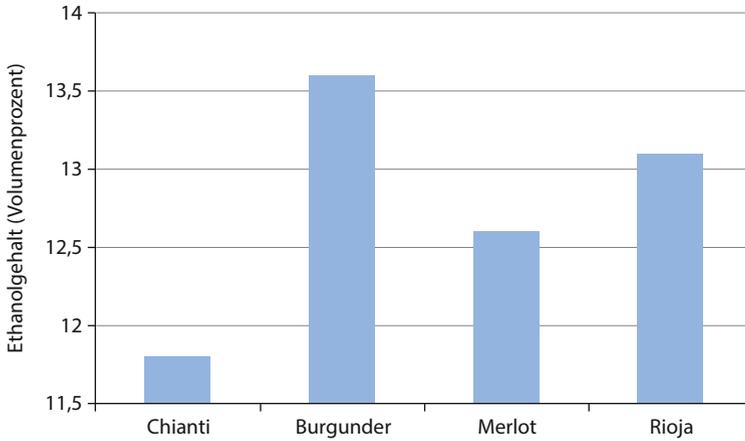


Abb. 11.2 Säulendiagramm mit linearer Skala und verschobenem Nullpunkt

mehr von einem Säulen-, sondern von einem Balkendiagramm (Abb. 11.4). Die Aussage der beiden Diagrammtypen ist in etwa dieselbe.

Liegen Messwerte oder Daten nicht mehr unabhängig vor, sondern besteht eine Beziehung zwischen ihnen, so werden meist andere Diagrammtypen als Säulen- oder Balkendiagramm gewählt. Sind etwa die jährlich getrunkenen Mengen verschiedener Weine bekannt, so lassen sich diese zueinander in Beziehung bringen

Eine hervorragende Möglichkeit, solche Daten miteinander zu vergleichen, sind das Kreisdiagramm und das Kuchendiagramm (Abb. 11.5). Diese beiden Diagrammtypen können verwendet werden, wenn Anteile von Gesamtmengen dargestellt werden sollen (Tab. 11.2). So kann aus der getrunkenen Menge ver-

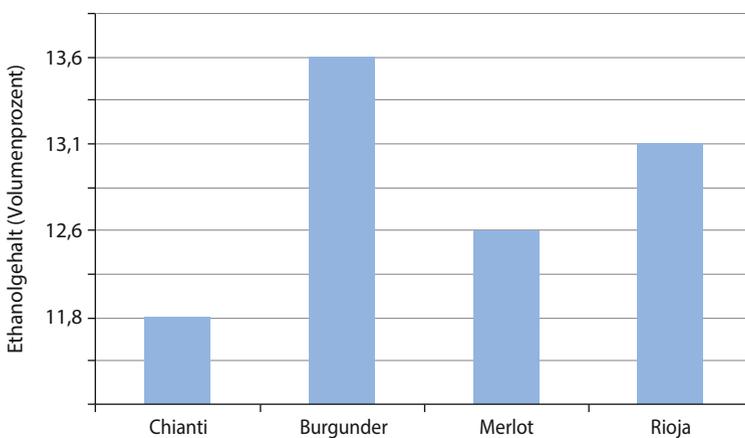


Abb. 11.3 Säulendiagramm mit nichtlinearer Skala

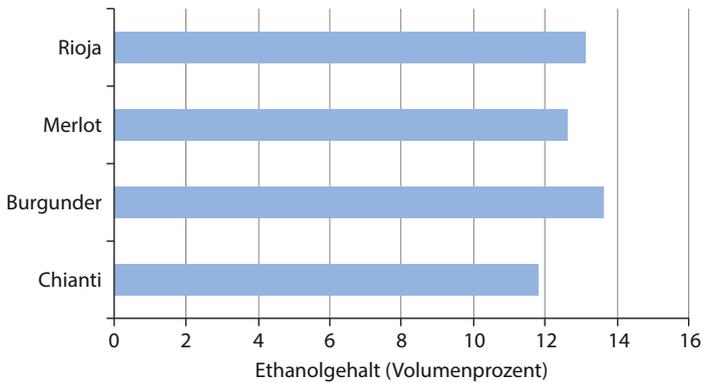


Abb. 11.4 Balkendiagramm mit linearer Skala und Basisnullpunkt

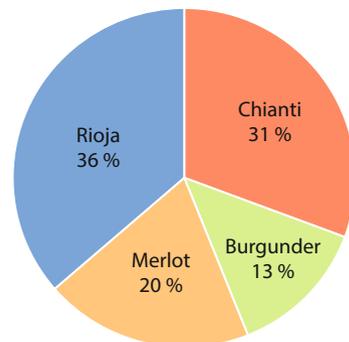
Tab. 11.2 Getrunkene Volumina verschiedener Weine

Weinsorte	Getrunkene Menge	Anteile (%)
Chianti	81 m ³	30,68
Merlot	35 m ³	13,26
Burgunder	52 m ³	19,70
Rioja	96 m ³	36,36
Total	264 m³	100

schiedener Einzelweine die Gesamtmenge berechnet werden. Diese entspricht 100 % des getrunkenen Weins. Die prozentualen Anteile lassen sich dann leicht berechnen und in einem Kreisdiagramm darstellen.

Ein weiterer Diagrammtyp ist das x/y -Diagramm. Es eignet sich besonders zur Darstellung von Daten, die voneinander abhängen. Insbesondere bei Zeitreihen ist dieser Diagrammtyp von Bedeutung. Werden die Messpunkte noch miteinander verbunden, so kann leicht eine allfällige zeitliche Entwicklung deutlich hervorgehoben werden (Abb. 11.6).

Abb. 11.5 Kreisdiagramme eignen sich gut, um Anteile einer Gesamtmenge zu veranschaulichen – hier Konsummengen verschiedener Weine im Vergleich



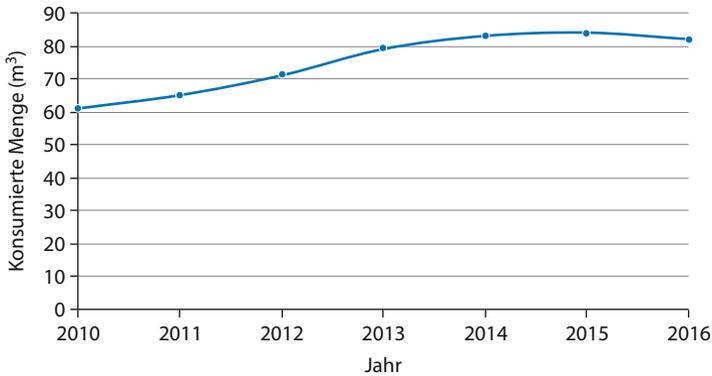
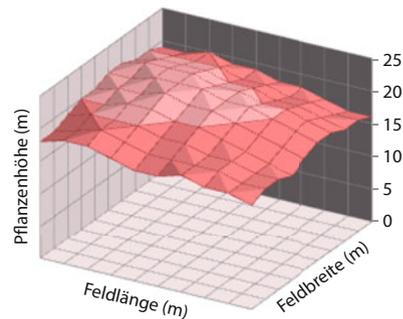


Abb. 11.6 x/y -Diagramm zur zeitlichen Entwicklung des Weinkonsums

Abb. 11.7 3D-Darstellung zur Wuchshöhe von Pflanzen auf einem Feld (in cm)



Eine Erweiterung des x/y -Diagramms ist das $x/y/z$ -Diagramm. Es handelt sich hierbei um eine dreidimensionale Darstellung von Daten. Eine Variante eines 3D-Diagrammes zeigt Abb. 11.7. Hier wurde die Wuchshöhe von Pflanzen in Abhängigkeit ihres Standorts auf einem Feld dargestellt. Im abgebildeten 3D-Diagramm wurde die höchsten Punkte der Pflanzen als Gitternetz dargestellt – etwa so, als ob eine dünne Membran auf die Pflanzen gelegt worden wäre.

Eine andere Art der 3D-Darstellung von Daten sind sogenannte Isoplethendiagramme, wie sie in Landkarten in Form von Höhenkurven oder in Wetterkarten als Isobaren (miteinander verbundene Orte gleichen Luftdrucks) üblich sind.

11.3 Daten mit sehr großem Streubereich

In manchen Fällen müssen Sie Daten grafisch darstellen, die über einen Bereich von mehreren Zehnerpotenzen verteilt sind. Solche Probleme tauchen etwa bei Wachstumskurven von Bakterien oder Zellen auf. Am Anfang enthält die Kultur nur wenige Zellen. Doch nach einiger Zeit nimmt deren Anzahl sehr rasch zu. Wollen Sie ein solches Wachstumsverhalten in einem Diagramm mit linearer Skala darstellen,

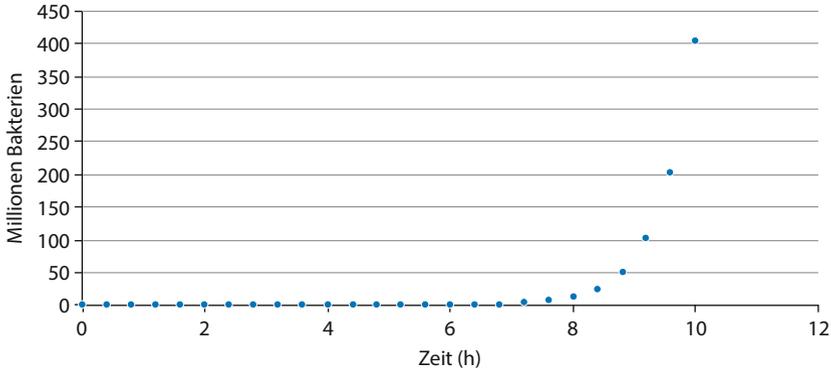


Abb. 11.8 Exponentielle Wachstumskurve, dargestellt mit einer linearen Skala

so ergeben sich Probleme mit einem Teil der Werte. Entweder können die geringen Anfangswerte nur ungenügend dargestellt werden, oder aber die hohen Werte gegen Ende der Wachstumszeit würden dafür sorgen, dass das Diagramm riesig gestaltet werden müsste (Abb. 11.8).

Erheblich übersichtlicher lassen sich solche stark streuenden Werte mithilfe einer Grafik mit logarithmischer Skala darstellen. Hier werden die y -Werte – selten auch die x -Werte – logarithmisch aufgetragen (Abb. 11.9).

Problematisch können doppelt logarithmische Darstellungen sein. Bei diesen werden sowohl die Skala der x -Achse als auch diejenige der y -Achse logarithmisch gewählt. Mit einer solchen Darstellung scheinen selbst breit streuende Messwerte oftmals in einer scheinbar linearen Beziehung zu stehen: Aus einem „Sternenhimmel“ wird auf mysteriöse Weise annähernd eine „Gerade“. Die Interpretation einer solcher Darstellung sollte zumindest kritisch hinterfragt werden.

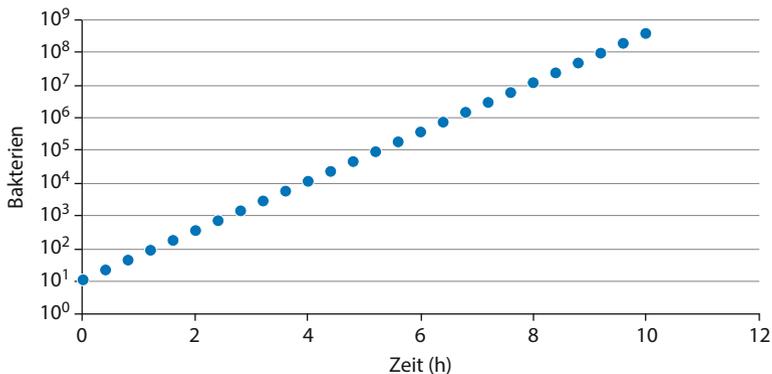


Abb. 11.9 Exponentielle Wachstumskurve, dargestellt mit einer logarithmischen Skala

11.4 Bestimmung von Werten mittels grafischer Darstellungen

Mithilfe von Messkurven lassen sich oft schnell und einfach Werte festlegen, die ansonsten nur mit aufwendigen Berechnungen zu bestimmen wären. Ein Beispiel ist die Bestimmung von LD_{50} - bzw. LC_{50} -Werten. LD steht hierbei für „letale Dosis“ (= tödliche Dosis), LC für „letale Konzentration“ (= tödliche Konzentration). In beiden Fällen wird die Menge eines Stoffs bestimmt, die für 50 % der Versuchstiere binnen eines bestimmten Zeitraumes tödlich wirkt. Meist wird diese Menge pro kg Körpergewicht angegeben. Ein LC_{50} -Wert von 500 mg/kg bedeutet somit, dass von 100 Versuchstieren durchschnittlich 50 sterben, wenn man ihnen pro kg Körpergewicht eine Dosis von 500 mg verabreicht.

Zur Bestimmung der LD_{50} - bzw. LC_{50} -Werte werden jedoch meist nur wenige Versuchstiere benötigt und der entsprechende Wert anschließend berechnet oder aber mithilfe einer Kurve bestimmt.

Beispiel

Von einem Fungizid soll die Toxizität für Bienen (*Apis mellifica*) ermittelt werden. Hierzu wird den Bienen das Fungizid gemäß Tab. 11.3 verabreicht.

In einem ersten Schritt wird die prozentuale Mortalität berechnet, das heißt, wie viele Prozent der Bienen durch Aufnahme der jeweiligen Wirkstoffmenge des Fungizids getötet wurden. Anschließend wird die Wirkstoffdosis gegen die prozentuale Mortalität in einem Diagramm aufgetragen und eine Kurve durch die Messpunkte gelegt.

Zeichnen Sie eine solche Kurve von Hand, sollten Sie ein Kurvenlineal verwenden. Bei Verwendung eines Computerprogramms sollten Sie eine Bezier-Kurve durch die Messwerte legen. Dadurch werden die Punkte nicht einfach durch Geraden verbunden, sondern durch eine interpolierte Kurve.

Zur Bestimmung des LD_{50} -Wertes (letale Dosis für 50 % der Versuchstiere) wird dann bei 50 % Mortalität eine horizontale Gerade bis zum Schnittpunkt mit der Kurve gezogen. Eine senkrechte Gerade wird vom Schnittpunkt nach unten gelegt (Abb. 11.10). Der Wert, bei dem diese zweite Gerade die x -Achse schneidet, entspricht einer 50%igen Mortalität und somit dem LD_{50} -Wert.

Tab. 11.3 Fungizidversuch an Bienen

m Wirkstoff (μg)	n Bienen	n_{tot}	Mortalität (in %)
0	20	0	0
0,2	20	1	5
0,4	20	6	30
0,6	20	15	75
0,8	20	19	95
1,0	20	20	100

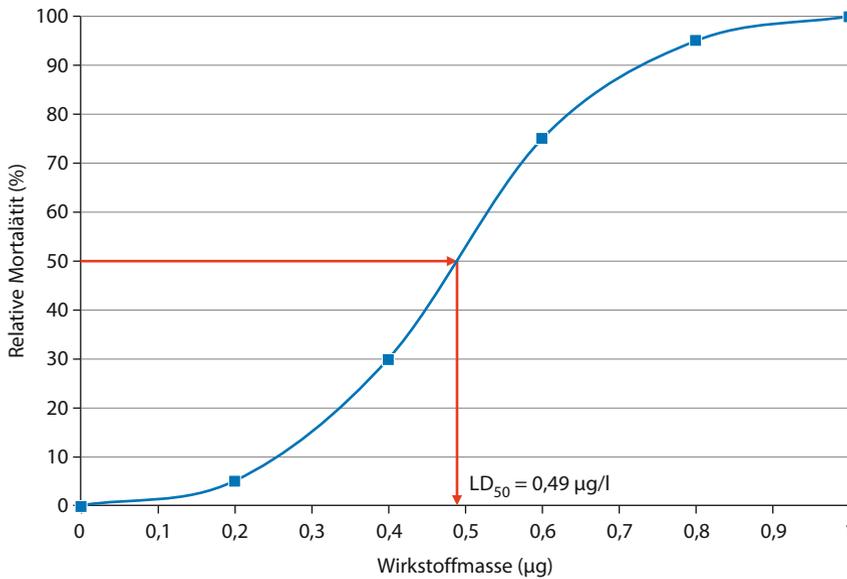


Abb. 11.10 Mortalitätsbestimmung eines Fungizids an Bienen. Der LD₅₀-Wert liegt bei 0,49 µg/Biene

Aufgaben

11.4.1* Von einem neuen Kontaktinsektizid soll die Wirksamkeit gegen Rhododendron-Zikaden (*Graphocephala fennahi*) getestet werden. Es steht eine Stammlösung mit einer Massenkonzentration von $\beta_{\text{Wirkstoff}} = 250,0 \text{ g/L}$ zur Verfügung. Für den Versuch werden zehn Verdünnungen gemäß Tab. 11.4 hergestellt. Mit jeder dieser zehn Lösungen werden jeweils zehn Rhododendronblätter benetzt und in einen Gazekäfig mit jeweils 50 Zikaden gestellt. Nach 2 h wird die Todesrate ermittelt. Mit welcher Insektizid-Massenkonzentration müssen die Blätter behandelt werden, um eine Todesrate von 50 % zu erreichen? Ermitteln Sie grafisch den LC₅₀-Wert.

Tab. 11.4 Kontaktinsektizid gegen Zikaden

$\beta_{\text{Wirkstoff}}$	Anz. toter Zikaden
100 mg/L	50
90 mg/L	49
80 mg/L	47
70 mg/L	44
60 mg/L	39
50 mg/L	30
40 mg/L	19
30 mg/L	10
20 mg/L	4
10 mg/L	1
Kontrolle	0

11.4.2* In einem Versuch soll die Wirkung eines Herbizids getestet werden. Hierzu wurden auf mehreren Versuchsfeldern unterschiedliche Wirkstoffkonzentrationen ausgebracht und anschließend das Wachstum der Kulturlandbegleitflora untersucht (Tab. 11.5). Bestimmen Sie grafisch, bei welcher Konzentration:

- die Dichte der Kulturlandbegleitflora gegenüber der Kontrolle um 50 % zurückging.
- die Dichte der Kulturlandbegleitflora nur noch 10 % der Dichte auf der Kontrollfläche betrug.

Tab. 11.5 Versuch zur Herbizidwirkung

$c_{\text{Wirkstoff}}$ (mmol/L)	\varnothing Unkrautdichte (Pflanzen/m ²)
0,0	351
0,15	353
0,3	331
0,45	293
0,6	240
0,75	170
0,9	99
1,05	41
1,2	12
1,35	3
1,5	1

11.4.3** Ein Bakterienstamm vermehrt sich gemäß den Messwerten in Tab. 11.6. Bestimmen Sie die Zeit, in der sich die Koloniedurchmesser durchschnittlich verdoppeln.

Tab. 11.6 Wachstum von Bakterienkolonien

Zeit (h)	Kolonie (\varnothing in mm)				
	A	B	C	D	E
3	0,2	0,18	0,21	0,19	0,23
6	0,35	0,45	0,29	0,38	0,39
9	0,62	0,71	0,67	0,7	0,73
12	1,24	1,31	0,98	1,11	1,37
15	2,41	3,23	1,89	2,2	3,41
18	5,02	7,42	6,32	5,01	7,83
21	14,87	18,85	12,36	12,54	20,21
24	30,33	45,61	19,41	25,33	48,62

11.4.4** In einem Laborversuch soll der Zusammenhang zwischen Blattlausbefall und Blütenbildung bei Erbsen untersucht werden. Dazu setzen Sie auf jungen Erbsenpflanzen unterschiedlich viele Blattläuse aus und zählen nach vier und acht Wochen die Zahl der Blüten bzw. Blütenknospen (Tab. 11.7). Wie wirkt

sich der Blattlausbefall auf die Blütenbildung der Erbsen aus? Bestimmen Sie den mittleren Blattlausbefall während den acht Wochen (\bar{X} aus t_0 , t_4 Wochen und t_8 Wochen), der eine 10 %ige Verminderung der Blüten induziert.

Tab. 11.7 Blattlausbefall und Blütenbildung

Pflanze	ausgesetzte Blattläuse	Blattläuse nach 4 Wochen	Blattläuse nach 8 Wochen	Blüten nach 8 Wochen
1	0	0	0	12
2	0	0	0	14
3	0	0	0	15
4	0	0	0	11
5	5	8	35	10
6	5	5	41	13
7	5	4	46	16
8	5	12	36	12
9	10	45	156	9
10	10	36	163	10
11	10	51	198	8
12	10	48	170	9
13	15	74	355	7
14	15	99	398	3
15	15	123	424	5
16	15	83	374	8
17	20	185	894	2
18	20	203	1008	0
19	20	196	952	1
20	20	241	1253	1

11.4.5* In einem pharmakologischen Versuch ergaben unterschiedliche Stoffmengenkonzentrationen bei Patienten Wirkungen gemäß Tab. 11.8. Bestimmen Sie grafisch diejenige Stoffmengenkonzentration (mmol/L), welche 50 % Wirkung erzeugt.

Tab. 11.8 Wirkstoffwirkung auf Patienten

$c_{\text{Wirkstoff}}$ (mol/L)	Wirkung (%)
$0,20 \cdot 10^{-3}$	20
$0,40 \cdot 10^{-3}$	39
$0,80 \cdot 10^{-3}$	57
$1,60 \cdot 10^{-3}$	76
$3,20 \cdot 10^{-3}$	95

11.4.6** In einem Tierversuch an Ratten ergaben unterschiedliche Dosen Wirkungen gemäß Tab. 11.9. Bestimmen Sie grafisch die DE_{50} (mg/kg) anhand der Dosiswirkungswerte.

Tab. 11.9 Dosis-Wirkungs-
Beziehung bei Ratten

$d_{\text{Wirkstoff}}$ (mg/kg)	Wirkung (%)
0,10	5 (stat. korr. Wert)
0,20	15
0,40	34
0,75	60
1,50	(95 stat. korr. Wert)

11.4.7** Das Wachstum einer Bakterienkultur wird durch folgende Wertetabelle beschrieben:

Zeit t in min	60	120	150	180	210	240	270
log Bakt.	4,3	4,8	5,3	5,8	6,2	6,6	7,0

Bestimmen Sie grafisch die Zeit (in min), in der sich die Keimzahl verdoppelt.

11.4.8** Die Auswertung des Wachstums einer Bakterienkultur ergab die in Tab. 11.10 gelisteten Werte. Bestimmen Sie grafisch, nach wie vielen Stunden die Bakterienzahl die Hälfte der maximalen Bakterienzahl erreicht hat ($N_t =$ Anzahl Bakterien zur Zeit t , $t =$ Zeit in Stunden (h))

Tab. 11.10 Bakterien-
wachstum

t (h)	N_t	t (h)	N_t
0	$1,00 \cdot 10^4$	20	$9,12 \cdot 10^5$
2	$1,98 \cdot 10^4$	22	$9,54 \cdot 10^5$
4	$3,88 \cdot 10^4$	24	$9,54 \cdot 10^5$
6	$7,48 \cdot 10^4$	26	$9,88 \cdot 10^5$
8	$1,39 \cdot 10^5$	28	$9,94 \cdot 10^5$
10	$2,44 \cdot 10^5$	30	$9,97 \cdot 10^5$
12	$3,93 \cdot 10^5$	35	$9,99 \cdot 10^5$
14	$5,64 \cdot 10^5$	40	$10,00 \cdot 10^5$
16	$7,21 \cdot 10^5$	45	$10,00 \cdot 10^5$
18	$8,38 \cdot 10^5$	50	$10,00 \cdot 10^5$

11.4.9** Sie fügen einem festen Nährboden ein Fungizid bei und beimpfen die Petrischalen mit dem roten Brotschimmelpilz *Neurospora sitophila*. Nach vier Tagen ermitteln Sie die Wachstumsdaten gemäß Tab. 11.11. Bei welcher Wirkstoff-Massenkonzentration wird eine Hemmwirkung von 50 % erreicht?

Tab. 11.11 Fungizidwirkung auf *Neurospora sitophila*

$\beta_{\text{Wirkstoff}}$ (mg/L)	Kolonie (\emptyset in mm)				
	A	B	C	D	E
0	35	36	36	38	35
5	32	33	30	31	32
10	27	25	25	24	27
20	12	16	15	14	12
40	1	0	3	1	1

11.4.10** Eine Cyan-Hämoglobin-Stammlösung ($\beta_{\text{Cyan-Hämoglobin}} = 20,00 \text{ g}/100 \text{ mL}$) wurde in der unten angegebenen Weise so verdünnt, dass sechs Konzentrationen (einschließlich der Ausgangslösung) entstanden. Von jeder dieser sechs Lösungen wurde mit dem Fotometer die Extinktionen gemessen:

$\beta_{\text{Lösung 1}} = 20,0 \text{ g}/100 \text{ mL}$	$E = 0,695$
$\beta_{\text{Lösung 2}} = 18,0 \text{ g}/100 \text{ mL}$	$E = 0,613$
$\beta_{\text{Lösung 3}} = 16,0 \text{ g}/100 \text{ mL}$	$E = 0,530$
$\beta_{\text{Lösung 4}} = 14,0 \text{ g}/100 \text{ mL}$	$E = 0,445$
$\beta_{\text{Lösung 5}} = 12,0 \text{ g}/100 \text{ mL}$	$E = 0,360$
$\beta_{\text{Lösung 6}} = 10,0 \text{ g}/100 \text{ mL}$	$E = 0,275$

In einer Blutprobe wurde – nach entsprechender Vorbehandlung – eine Extinktion von $E = 0,605$ gemessen. Welche Cyan-Hämoglobin-Konzentration hatte die Blutprobe? Bestimmen Sie grafisch die Cyan-Hämoglobin-Konzentration der Blutprobe.

11.4.11** Einem festen Nährboden wurde ein Fungizid in vier unterschiedlichen Massenkonzentrationen beigemischt. Pro Konzentration (+ Kontrolle) wurden jeweils vier Petrischalen mit Hefezellen beimpft und nach vier Tagen das Wachstum (Kolonie- \emptyset) gemessen (Tab. 11.12). Bestimmen Sie grafisch die Hemmwirkung (in %) bei einer Wirkstoffkonzentration von 0,15 mg/L.

Tab. 11.12 Fungizidwirkung auf Hefen

$\beta_{\text{Wirkstoff}}$ (mg/L)	Kolonie (\emptyset in mm)			
	A	B	C	D
1	1	1	1	1
0,316	19	18	15	16
0,100	32	31	32	33
0,0316	36	38	36	40
0	36	39	40	37

11.4.12** Ein Insektizid wurde auf die Wirkung gegenüber Guppys (*Lebistes reticulana*) geprüft und dabei die Mortalitäten gemäß Tab. 11.13. ermittelt. Bestimmen Sie grafisch die LC_{50} in mg/L.

Tab. 11.13 Insektizidwirkung auf Guppys

$\beta_{\text{Wirkstoff}}$ ($\mu\text{g/mL}$)	Tote Guppys	Lebende Guppys
0	0	10
0,025	1	6
0,04	3	9
0,05	10	14
0,06	13	12
0,09	15	5
0,15	6	1
0,20	19	1

11.4.13** In einem Plattendiffusionstest zur quantitativen Bestimmung einer Hemmstoffkonzentration wurden folgende Versuchsdaten ermittelt:

$\beta_{\text{Hemmstoff}}$ ($\mu\text{g/mL}$)	2,00	4,00	8,00	16,0
Hemmhof- \emptyset (mm)	17,2	21,5	25,8	30,1

Wie groß ist die Hemmstoff-Massenkonzentration (β) in $\mu\text{g/mL}$, die einem Hemmhof- \emptyset von 22,8 mm entspricht? Ermitteln Sie den entsprechenden Wert grafisch.

11.4.14** Von einem neu entwickelten Wirkstoff soll die Toxizität in Relation zur Expositionsdauer untersucht werden. 20,00 mL Wirkstofflösung ($\beta_{\text{Wirkstoff}} = 500,0 \text{ mg/L}$) werden für den Test in ein schmales 5-L-Aquarium gegeben und mit abgestandenem Regenwasser auf 4,000 L verdünnt. Anschließend wird ein Beutel voll Wasser ($V = 200 \text{ mL}$) zusammen mit den darin enthaltenen 100 Wasserflöhen (*Daphnia pulex*) ins Aquarium gegeben. Ein Detektor bestimmt in den folgenden zwei Tagen alle 2 h automatisch die Anzahl lebender Wasserflöhe gemäß Tab. 11.14.

Wie lange müssen die Wasserflöhe der Testsubstanz ausgesetzt sein, damit 50 % der Tiere durch die Exposition mit dem Wirkstoff abgetötet werden? Bestimmen Sie grafisch die entsprechende Expositionszeit, die einer Todeswahrscheinlichkeit von 50 % entspricht (t_{50}).

Tab. 11.14 Wirkstoffwirkung auf *Daphnia pulex*

Zeit (h)	$n_{\text{Wasserflöhe}}$						
2	100	12	79	22	29	32	16
4	100	14	68	24	24	34	12
6	99	16	56	26	21	36	7
8	95	18	43	28	19	38	0
10	88	20	35	30	18		

11.4.15** In einem Gärversuch wurden im Traubenmost die folgenden Zuckergehalte gemessen.

0	24	48	72	96	120	144	168	192	216	240	264	(h)
145	145	142	121	88	66	49	53	46	45	45	45	(g/L)

Tragen Sie den relativen Gärverlauf in ein x/y -Diagramm ein und bestimmen Sie grafisch, nach wie vielen Stunden die Hälfte der Gärung abgelaufen ist.

11.4.16** In einem Agar-Inkorporationsversuch werden Petrischalen mit einem Nährboden gefüllt, der einen wachstumshemmenden Wirkstoff in unterschiedlichen Konzentrationen enthält. Die Petrischalen werden nun mit dem Pilz *Pythium debarianum* beimpft. Nach einem Tag wird das Mycelwachstum analysiert. Dabei ergeben sich die Werte gemäß Tab. 11.15. Bei welcher Wirkstoff-Massenkonzentration (mg/L) nimmt das Wachstum um 50 % ab?

Tab. 11.15 Mycelwachstum

$\beta_{\text{Wirkstoff}}$ (mg/L)	Mycelwachstum (mm)		
	1. Schale	2. Schale	3. Schale
50	10	10	8
20	25	27	25
10	44	39	41
5	53	57	57
2	64	70	64
0	70	73	68

Aufgaben zu gemischten Themen

12

12.1 Sie sollen 1,560 L Wirkstofflösung mit einer Massenkonzentration von 0,3700 g/L herstellen. Wie viele Milligramm des Produktes müssen Sie einwiegen, wenn dessen Wirkstoffanteil 67,00 % beträgt?

12.2 Eine Salpetersäure-Lösung (HNO_3) mit dem Massenanteil von $w_{\text{Salpetersäure}} = 0,6800$ g/g hat eine Dichte von $\rho = 1,410$ g/mL. Welche Stoffmengenkonzentration (c) hat die HNO_3 -Lösung?

12.3 Wie viele Gramm Phenol sind in 250,0 mL Diethylether aufzulösen, damit Sie eine Phenol-Lösung mit dem Massenanteil von $w = 0,1000$ g/g erhalten ($\rho_{\text{Diethylether}} = 0,7100$ g/mL)?

12.4 Für einen Versuch benötigen Sie eine Kochsalzlösung mit $c_{\text{NaCl}} = 80,00$ mmol/L. Zur Verfügung steht eine NaCl-Stammlösung mit der Stoffmengenkonzentration von $c_{\text{NaCl}} = 0,1000$ mol/L. Wie viele Liter NaCl-Stammlösung müssen mit 400,0 mL destilliertem Wasser gemischt werden, um die gewünschte Lösung zu herzustellen?

12.5 Schwefelsäure (H_2SO_4) mit einem Massenanteil $w_{\text{Schwefelsäure}} = 0,98$ g/g nimmt ein Volumen von 515,0 mL/kg ein. Wie groß ist die Stoffmengenkonzentration der Schwefelsäure ($c_{\text{Schwefelsäure}}$) in mol/L?

12.6 Zur Durchführung einer Kombinationstherapie ist eine Lösung herzustellen, die das Antibiotikum Isoniazid in einer Massenkonzentration von $1,370 \cdot 10^{-5}$ g/mL enthält. Die zur Verfügung stehende Isoniazid-Stammlösung hat eine Stoffmengenkonzentration von $5,000 \cdot 10^{-2}$ mol/L. Wie viele Milliliter der Isoniazid-Stammlösung werden zur Herstellung von 500,0 mL der verlangten Lösung benötigt ($M_{\text{Isoniazid}} = 124,0$ g/mol)?

12.7 Mit wie vielen Millilitern Wasser sind 10,00 mL Papaverin-Hydrochlorid-Lösung ($\beta_{\text{Papaverinhydrochlorid}} = 50,00$ mg/mL) zu mischen, damit Sie eine Papa-

verin-Lösung mit einer Stoffmengenkonzentration von 10,00 mmol/L erhalten ($M_{\text{Papaverinhydrochlorid}} = 375,85 \text{ g/mol}$)?

12.8 Zu 8 Volumenteilen Natronlauge mit einer Stoffmengenkonzentration von 500,0 mmol/L geben Sie 50 Volumenteile Natronlauge mit einer Massenkonzentration von $\beta_{\text{NaOH}} = 60,00 \text{ g/L}$. Welche Stoffmengenkonzentration (in mol/L) hat die neue Lösung?

12.9 Nach sechsmaliger Verdünnung einer Bakteriensuspension in den Mischungsanteilen 1 Teil Suspension + 9 Teile Wasser werden jeweils 100,0 μl der verdünnten Suspension auf Petrischalen ausplattiert und folgende Anzahl Kolonien pro Platte gefunden: 38/28/30/41. Wie viele Bakterien enthält 1,000 mL der unverdünnten Suspension?

12.10 Einer narkotisierten Ratte ($m_{\text{Ratte}} = 250,0 \text{ g}$) wird mit einem Applikationsvolumen von 5,000 mL/kg eine $\text{CaCl}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ -Lösung mit der Stoffmengenkonzentration von 170,0 mmol/L infundiert. Welche CaCl_2 -Dosis (mg/kg) bekommt die Ratte verabreicht?

12.11 Einem Menschen von 72,0 kg Körpermasse wird ein Antibiotikum infundiert. Während der Infusionsdauer von 80 min werden 250,0 mL aus einer Infusionsflasche mit folgender Beschriftung verabreicht:

$$\text{Antibiotikum: } 500 \text{ IE}/10,00 \text{ mL} \quad (50 \text{ IE} = 1,000 \cdot 10^{-5} \text{ g})$$

Wie viele Mikrogramm des Antibiotikums wurden dem Patienten pro Kilogramm und Stunde infundiert?

12.12 Für Versuche mit Einbindigen Traubenwicklern (*Eupoecilia ambiguella*) sind vier Wiederholungen mit jeweils fünf Pflanzen vorgesehen. Die Pflanzenabstände betragen 1,75 m \times 1,20 m. Wie viele Liter Spritzbrühe müssen für den Versuch vorbereitet werden, wenn 2000 L/ha vorgeschrieben sind?

12.13 Bei der Kontrolle einer Kultur von Mäuse-Dünndarmzellen werden $1,325 \cdot 10^4$ Zellen/L gefunden. Ursprünglich waren aber nur 100 Zellen in das 5,000-L-Gefäß gegeben worden. Wie viele Zellzyklen hat die Kultur durchlaufen, wenn ihr Wachstum exponentiell gemäß des natürlichen Wachstumsfaktors e erfolgte? (e = Eulersche Zahl = 2,71821 ... ; im Taschenrechner meist als Umkehrfunktion der Taste ln)

12.14 15,00 g kristallines Soda ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot x \text{H}_2\text{O}$) verloren bei der Kristallwasserbestimmung 9,450 g Wasser. Wie viele Kristallwassermoleküle (x) waren ursprünglich pro Molekül Natriumcarbonat im kristallinen Soda enthalten?

12.15 Eine Mischung aus Glucose ($C_6H_{12}O_6$) und Phenacetin ($C_{10}H_{13}NO_2$) ergab bei der Analyse einen Stickstoffgehalt von $w_N = 3,900\%$. Wie viele Gramm Glucose sind in 100,0 g des Gemischs enthalten?

12.16 In einem Pflanzenwachstumsversuch erhielten Sie aus einer Tabakpflanze 7,500 g Trockenmaterial. Davon waren 17,20 % Pflanzenasche, welche ihrerseits 7,40 % MgO enthielt. Wie viele Milligramm Magnesium hatte die Pflanze aufgenommen?

12.17 Die Qualität von 250,0 L Zuckerlösung, die für einen Alkoholgärungsversuch benötigt werden, soll mithilfe eines Aräometers (Dichtemessgerät) getestet werden. Sie wissen, dass die Lösung bei einem Massenanteil $w = 2,648\%$ insgesamt 28,00 mg Zucker pro Milliliter enthält. Wie groß muss die Dichte (ρ) der Lösung sein?

12.18 In einem Blutdruckversuch an einer narkotisierten Ratte ($m_{\text{Ratte}} = 180,0\text{ g}$) führt das Medikament ZuporadinTM bei einem Applikationsvolumen von 1,130 mL/kg zu folgenden Blutdruck-Erhöhungen:

$$\frac{\text{Dosis in } \mu\text{g/kg}}{0,4023} = \frac{\text{BD-Erhöhung in } \%}{1,6048}$$

Eine Zuporadin-Lösung mit unbekannter Konzentration wurde zunächst 2 Mal 1 : 10 und zum Schluss nochmals 2 : 10 verdünnt. 0,1800 mL der letzten Verdünnung ergaben beim Versuchstier eine Blutdruck-Erhöhung von 37 %. Welche Massenkonzentration ($\mu\text{g/mL}$) besitzt anhand dieses Versuchs die Zuporadinlösung mit der unbekannt Konzentration?

12.19 Ein Textilmaterial wird einem Verrottungsversuch ausgesetzt und dabei die Kältebiegefestigkeit der Beschichtung bestimmt.

- Bei 10.000 Biegungen messen Sie 100 % Schädigung.
- Bei 7500 Biegungen messen Sie 37 % Schädigung.
- Bei 7000 Biegungen messen Sie 25 % Schädigung.
- Bei 6000 Biegungen messen Sie 0 % Schädigung.

Ermitteln Sie grafisch, bei welcher Biegezahl mit 50 % Schädigung zu rechnen ist.

12.20 In einem Herbizidversuch ist der Wassergehalt auf eine Saugspannung von $-0,350\text{ bar}$ einzustellen. Der Wassergehalt des Bodens ist abhängig vom Bodentyp und der Wasserspannung. Für einen bestimmten Bodentyp wurden die Wassergehalte gemäß Tab. 12.1. gemessen. Zeichnen Sie die Wasserspannungskurve auf. Bestimmen Sie daraus die Wassermenge (mL/100 mL Erde), welche zugegeben werden muss, um die gewünschte Saugspannung zu erreichen, wenn der Restwassergehalt des Bodens 27,50 mL/L beträgt.

Tab. 12.1 Wassergehaltstabelle

Wasserspannung (bar)	Wassergehalt (mL/L Erde)
0 (Sättigung)	440
-0,0100	433
-0,0316	428
-0,100	397
-0,316	367
-1,00	330
-3,16	287

12.21 Eine Pilzsporensuspension wird 4 Mal hintereinander wie folgt verdünnt: 1 Teil Sporensuspension + 4 Teile Wasser. Von der letzten Verdünnung bestimmen Sie in zehn Wiederholungen die Sporenzahl in jeweils 1,0 mL Suspension. Sie ermitteln dabei die folgenden Sporenzahlen:

Wiederholung:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Anz. gezählte Sporen:	35	38	33	31	32	36	34	37	37	34

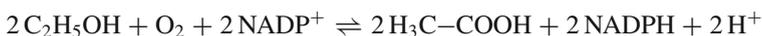
Bestimmen Sie die Sporendichte (Sporen/L) der Stammlösung.

12.22 Für einen Versuch müssen *Arabidopsis-thaliana*-Pflanzen in Aussaatschalen (20 cm × 40 cm) ausgesät werden. Der Flächenbedarf einer Pflanze beträgt 6,25 cm². In einem Vorversuch wurde eine Keimfähigkeit des Saatgutes von 82,40 % bestimmt. Wie viele Milligramm Samen müssen pro Schale ausgesät werden, wenn in 1,000 g Saatgut durchschnittlich 316 Samen enthalten sind?

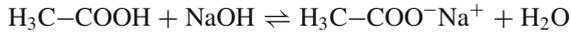
12.23 200,0 g einer Calciumchlorid-Lösung ($w = 3,000\%$) sollen durch Zugabe von Calciumchlorid-Hexahydrat ($\text{CaCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$) auf einen Massenanteil $w_{\text{Calciumchlorid}} = 5,000\%$ gebracht werden. Wie viele Gramm $\text{CaCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ müssen Sie zugeben?

12.24 *Arabidopsis*-Jungpflanzen sollen ohne Erde und steril in KNOP-Lösung angezogen werden. Diese Lösung enthält neben verschiedenen anderen Salzen 150,0 mg KCl pro Liter. Da Chlorid-Ionen die Pflanzen schädigen können, soll das Kaliumchlorid durch Kaliumnitrat (KNO_3) ersetzt werden. Wie viele Milligramm KNO_3 mit $w_{\text{KNO}} = 98,00\%$ müssen für 2,000 L Nährlösung eingewogen werden?

12.25 Ethanol wird von bestimmten Bakterien gemäß folgender Reaktion zu Essigsäure oxidiert:



In einer Probe wurde ursprünglich ein Ethanolgehalt von 13,82 Vol.-% ermittelt. Nach 20 Tagen werden 100,0 mL dieser Probe mit Natronlauge (2,000 mmol/L) titriert, wobei 3,152 mL NaOH verbraucht wurden.



Um wie viele Milligramm hat der Ethanolgehalt pro Liter dieser Probe bis zum Zeitpunkt der Titration abgenommen?

12.26 Ein Wirkstoff hat beim Menschen eine Halbwertszeit von 4,00 h. Eine Versuchsperson soll 24 h nach der Applikation noch eine Wirkstoffkonzentration von $1,000 \cdot 10^{-8}$ g/mL Blut aufweisen. Ein Fünftel des Wirkstoffs befindet sich jeweils in der Blutbahn, die anderen vier Fünftel im übrigen Körpergewebe. Die Versuchsperson hat ein mutmaßliches Blutvolumen von 5,0 L. Die Applikation soll während 5,0 min mit einer Infusionsgeschwindigkeit von 2,000 mL/min erfolgen. Welche Massenkonzentration (mg/mL) muss die Infusionslösung aufweisen?

12.27 In einem Versuch an Ratten wurde eine Dosis von Acetylcholin mit $2,000 \mu\text{g}/\text{kg}$ vorgeschrieben. Später stellte sich heraus, dass anstelle von Acetylcholin das wasserlösliche Acetylcholin-Chlorid eingewogen wurde. Welche Acetylcholidosis muss den Tieren nachträglich appliziert werden, um den Fehler zu korrigieren? ($M_{\text{Acetylcholin}} = 146,12 \text{ g/mol}$, $M_{\text{Acetylcholinchlorid}} = 181,66 \text{ g/mol}$)?

12.28 Ein zylindrischer Getreidesilo mit einem Durchmesser von 8,00 m und einer Höhe von 9,20 m wird zu 65 % mit Weizen gefüllt. Die Schüttmenge pro Volumen (Schüttmasse) beträgt 820,0 g/L. Das Getreide soll mit einem Spritzpulver WP50 in der Dosierung von 2,000 g Handelspräparat pro Kilogramm Weizen gebeizt werden. Wie viele Kilogramm Wirkstoff sind nach dem Beizen im ganzen Silo vorhanden?

12.29 Sie ermitteln in einer Bakteriensuspension $3,690 \cdot 10^9$ Bakterien pro Milliliter. Der mittlere Durchmesser der kugelförmigen Bakterien beträgt $0,7500 \mu\text{m}$. Wie viele Mikroliter beträgt das Volumen der Bakterien in 1,000 L Bakteriensuspension?

12.30 Es werden 100,0 mL einer Keimsuspension mit der Konzentration von 1000 Keime pro $50,00 \mu\text{l}$ benötigt. Zur Verfügung stehen eine Stammsuspension mit $1,600 \cdot 10^6$ Keimen/mL und isotonische Kochsalzlösung als Verdünnungsmittel. Wie viele Milliliter Stammsuspension und wie viele Milliliter isotonische Kochsalzlösung werden zur Herstellung der Keimsuspension benötigt?

12.31 Sie benötigen für die Konzentrationsbestimmung von insgesamt 25 Schwefelsäurelösungen (H_2SO_4) voraussichtlich 1,5 L Kalilaugen mit einer Konzentration $c_{\text{KOH}} = 500,0 \mu\text{mol/L}$. Hierzu müssen Sie Kaliumhydroxidsalz mit destilliertem Wasser mischen und das Salz lösen. Wie viele Milligramm KOH-Salz müssen Sie einwiegen, um die erforderlichen 1,500 L KOH-Lösung mit der gewünschten Konzentration herstellen zu können?

12.32 In einem Blutdruckversuch an einer narkotisierten Ratte ($m_{\text{Ratte}} = 240,0 \text{ g}$) wird Atropin in der Dosis $100,0 \mu\text{g/kg}$ infundiert. Zur Verfügung steht eine Atropinlösung mit einer Massenkonzentration von $1,000 \cdot 10^{-5} \text{ g/mL}$. Die Infusionszeit soll $30,0 \text{ min}$ betragen und die Lösung soll mittels Tropfinfusion verabreicht werden ($1 \text{ Tropfen} = 10,00 \mu\text{l}$). Auf wie viele Tropfen/min muss die Infusion eingestellt werden?

12.33 $12,00 \text{ L}$ einer Eisen(II)-hydrogenphosphat-Lösung (FeHPO_4) mit einer Massenkonzentration von $24,00 \text{ g/L}$ werden mit $25,00 \text{ L}$ Eisenhydroxid-Lösung ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) mit einer Massenkonzentration von $6,000 \text{ g/L}$ gemischt. Welche millimolare Eisenkonzentration (c_{Fe}) hat das Gemisch?

12.34 Eine Zellsuspension wird 5 Mal hintereinander im Verhältnis 1 Teil Wirkstoff + 5 Teile Lösungsmittel verdünnt. In der letzten Verdünnung sind durchschnittliche $23,20 \text{ Zellen/mL}$ enthalten. Wie viele Zellen enthält die Stammlösung pro Milliliter?

12.35 Sie sollen von einer Maisprobe den Insektizidrückstand nach einer Behandlung gegen den Maiszünsler (*Ostrinia nubilalis*) bestimmen. Die spezifische Analysenmethode für dieses Insektizid hat eine Nachweisgrenze von $0,4580 \mu\text{g}$. Der WHO-Grenzwert für Lebensmittel gibt für dieses Insektizid $0,0250 \text{ ppm}$ ($0,0250 \text{ mg/kg}$) vor. Wie viele Gramm Mais müssen mindestens untersucht werden, um die WHO-Grenze sicher bestimmen zu können?

12.36 Am Ende eines Fütterungsversuchs an Mäusen wurden die in Tab. 12.2 aufgelisteten Massen bestimmt. Berechnen Sie von beiden Gruppen den Mittelwert ($\bar{\varnothing}$) und die Standardabweichung (s).

Tab. 12.2 Fütterungsversuch an Mäusen

Kontrollgruppe	Versuchsgruppe
25,0 g	20,0 g
26,1 g	22,5 g
27,0 g	23,8 g
29,0 g	24,0 g
35,0 g	27,1 g

12.37 Eine Acetylcholinlösung in der Massenkonzentration $\beta_{\text{Acetylcholin}} = 1,000 \text{ mg/mL}$ wurde in drei Schritten verdünnt.

1. Schritt: $1,000 \text{ mL}$ auf $10,00 \text{ mL}$
2. Schritt: davon $1,000 \text{ mL}$ auf $5,00 \text{ mL}$
3. Schritt: davon $1,000 \text{ mL}$ auf 250 mL

Welche Stoffmengenkonzentration ($c_{\text{Acetylcholin}}$) besitzt die letzte Verdünnung ($M_{\text{Acetylcholin}} = 146,12 \text{ g/mol}$)?

12.38 Ein Iod-Isotop hat eine Halbwertszeit von acht Tagen. Wie viele Mikrogramm des Isotops sind bei 1,000 mg Ausgangsmaterial nach 184 Tagen noch vorhanden?

12.39 Welchen Massenanteil (w) in Prozent hat eine NaOH-Lösung mit einer Stoffmengenkonzentration $c_{\text{NaOH}} = 1,000 \text{ mol/L}$ und einer Dichte $\rho = 1,350 \text{ g/mL}$?

12.40 Einem 12,50 kg schweren Hund soll durch eine Infusion eine Wirksubstanz verabreicht werden. Die Dosierung beträgt $1,500 \cdot 10^{-6} \text{ g/(kg} \cdot \text{min)}$. Wie viele Milliliter pro Stunde beträgt die Infusionsgeschwindigkeit, wenn die Infusionslösung eine Wirkstoff-Massenkonzentration von $45,0 \mu\text{g/mL}$ aufweist?

12.41 Für einen Tropical-Test steht eine Stammlösung mit der Massenkonzentration von $500,0 \text{ mg/L}$ zur Verfügung. Wie viele Milliliter sind von dieser Stammlösung zu pipettieren, um $5,000 \text{ mL}$ einer Gebrauchslösung mit der Massenkonzentration von $0,1000 \mu\text{g}$ Wirkstoff pro Mikroliter herzustellen?

12.42 Sie mischen $120,0 \text{ mL}$ Glucoselösung ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) mit einer Konzentration von $25,00 \text{ mmol/L}$ mit $80,00 \text{ mL}$ Glucoselösung ($\beta_{\text{Glucose}} = 8,000 \text{ g/L}$). Wie groß ist die Glucose-Stoffmengenkonzentration der Mischung?

12.43 Eine HAMS-F12-Lösung mit $10,00 \text{ mmol/L}$ HEPES (= 4-[2-Hydroxyethyl]-1-piperazin-ethansulfonsäure; wird als Puffer für Zellkulturen verwendet) wird 5 Mal nacheinander mit Glucoselösung ($c_{\text{Glucose}} = 0,1000 \text{ mmol/L}$) verdünnt, sodass auf 1 Teil HAMS-F12-Lösung 4 Teile Glucoselösung kommen. Welche HEPES-Massenkonzentration (in $\mu\text{g/L}$) hat die letzte Verdünnung ($M_{\text{HEPES}} = 238,3012 \text{ g/mol}$)?

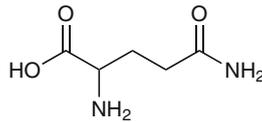
12.44 Einem 22,50 kg schweren Schaf soll Calcium (Ca) in einer Dosierung von $6,000 \text{ mg/kg}$ zugeführt werden. Das Calcium soll in Form einer CaHPO_4 -Lösung mit einer Massenkonzentration von $25,00 \text{ mg/mL}$ verabreicht werden. Wie viele Milliliter dieser Lösung sind dem Schaf zu applizieren?

12.45 In einem Versuch werden zehn Ratten mit einer durchschnittlichen Masse von $188,0 \text{ g}$ mit einem Sulfonamid ($\text{C}_9\text{H}_9\text{N}_3\text{O}_2\text{S}_2$) behandelt. Wie viele Milliliter Injektionslösung werden zur einmaligen Behandlung der Tiere benötigt, wenn eine Sulfonamiddosis von $200,0 \mu\text{mol/kg}$ vorgeschrieben ist und die zur Verfügung stehende Injektionslösung eine Massenkonzentration von $12,00 \text{ mg/mL}$ hat?

12.46 Eine rote Blutzelle (Erythrocyte) enthält durchschnittlich 30 pg Hämoglobin ($1 \text{ pg} = 10^{-12} \text{ g}$). In $1,000 \mu\text{l}$ Blut hat es $5 \cdot 10^6$ Erythrocyten. Wie viele Gramm Eisen sind in den $5,2 \text{ L}$ Blut eines erwachsenen Mannes enthalten, wenn der Massenanteil an Eisen im Hämoglobin $0,3470 \%$ beträgt?

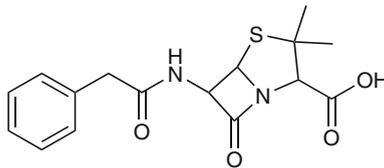
12.47 Ein Nährmedium zur Zucht von *Pseudomonas aeruginosa* enthält als einzige Stickstoffquelle Glutamin. Sie bestimmen einen Stickstoffgehalt von $\beta_{\text{N}} =$

84,51 mg/L Medium. Wie viele Milligramm Glutamin enthält das Medium pro Liter?



Glutamin

12.48 Sie sollen in einem tablettenförmigen Medikament den Penicillingehalt bestimmen. Hierzu zerstoßen Sie 20 Tabletten zu je 8,520 g mit einem Mörser und bestimmen den Schwefelgehalt des Pulvers. Gemäß Analysenergebnis enthält das untersuchte Pulver insgesamt 89,51 mg Schwefel. Wie groß ist der prozentuale Massenanteil des Penicillins in den Tabletten?



Penicillin

12.49 In einem Versuch zur Bekämpfung des Apfelwicklers (*Cydia pomonella*) werden 120,0 L eines *Bacillus-thuringiensis*-Endosporenpräparates mit einer Massenkonzentration von 120,0 mg/L benötigt. Zur Verfügung steht ein käufliches Bt-Pulver WP 20. Wie viele Gramm des *Bacillus-thuringiensis*-Präparats müssen eingewogen werden?

12.50 In einem Versuch soll die Wirkung eines Barbiturats als Beruhigungsmittel an Ziegen untersucht werden. Der Wirkstoff soll in einer Dosis von 35,00 mg/kg über einen Zeitraum von 10 h infundiert werden. Das zur Verfügung stehende Flüssigpräparat hat eine Wirkstoff-Massenkonzentration von 2,500 g/L. Auf welche Drehzahl (Umdrehungen/h) muss eine zweirollige Schlauchquetschpumpe eingestellt werden, um einem 31,50 kg schweren Ziegenbock das Barbiturat in der gewünschten Geschwindigkeit und Dosis zu applizieren (jede der beiden Rollen fördert pro Umdrehung 1,520 mL)?

12.51 Die Teilungsrate (γ) von Zellen und Bakterien lässt sich gemäß folgender Formel berechnen:

$$\gamma = \frac{\log n_{\text{Zellen am Ende}} - \log n_{\text{Zellen am Anfang}}}{\log 2 \cdot t}$$

Wie viele Stunden dauert es, bis aus 100 Zellen $8,000 \cdot 10^6$ Zellen herangewachsen sind, wenn die Generationszeit (g) der Zellen 120 min beträgt und $g = \gamma^{-1}$?

12.52 Im Autoklaven hängen Druck und Temperatur gemäß folgender Liste zusammen:

Temperatur (°C):	119	132	142	151	158	164
Druck (bar):	1,01	2,03	3,04	4,05	5,07	6,08

Stellen Sie die ermittelte Beziehung von Druck und Temperatur in einer Kurve dar. Wie groß ist demnach der Druck (in bar) bei 145 °C?

12.53 In einem Bientoxizitätsversuch soll der LD₅₀-Wert ermittelt werden. Vom zu testenden Insektizid (WP 25) wird zunächst eine Lösung A hergestellt. Hierfür werden 2,000 g Insektizid mit Zuckerwasser auf 100,0 mL aufgefüllt und gut gemischt. Diese Suspension wird gemäß Tab. 12.3 weiter verdünnt und die Wirkung der Verdünnungen auf Bienen getestet. Jede Biene nimmt 10 µl auf. Bestimmen Sie grafisch anhand dieser Angaben die LD₅₀ in Mikrogramm Wirkstoff pro Biene.

Tab. 12.3 Bientoxizitätsversuch

Verdünnung	Mortalität
1 Teil A + 1 Teil Zuckerwasser	97 %
1 Teil A + 4 Teile Zuckerwasser	75 %
1 Teil A + 9 Teile Zuckerwasser	40 %
1 Teil A + 19 Teile Zuckerwasser	15 %
1 Teil A + 39 Teile Zuckerwasser	3 %

12.54 Eine Essigsäurelösung (H₃C–COOH) hat einen pH-Wert von 3,50. Wie groß ist die Essigsäure-Massenkonzentration (mg/L) dieser Lösung (pK_S = 4,76)?

12.55 Zur Abklärung der Pflanzenverträglichkeit eines Fungizids wurden zehn Rosenkohlpflanzen mit insgesamt 1,80 L Brühe behandelt. Wie viele Liter Brühe müssen pro Hektar ausgebracht werden, wenn bei einer Beetbreite von 1,200 m je 2 Pflanzen nebeneinander gesetzt wurden und mit einem Pflanzenabstand von 60 cm gerechnet wurde?

12.56 In einem Laborversuch sollen Petrischalen von 9,6 cm Durchmesser mit einer acetonischen Wirkstofflösung behandelt werden. Pro Schale werden 3,000 mL acetonische Lösung verteilt. Welche Massenkonzentration (g/L) hat eine Wirkstofflösung, wenn der Belag, der nach dem Verdunsten des Acetons übrig bleibt, 10⁻⁵ g Wirkstoff pro cm² enthält?

12.57 Während einer Infusionszeit von 150 min sind einem Hund 300,0 mg Wirkstoff zu verabreichen. Die Infusionsgeschwindigkeit wurde auf 10,00 mL/h festgelegt. In welchem Verhältnis muss eine Wirkstofflösung von 6,000 g/100 mL zur Herstellung der Infusionslösung verdünnt werden?

12.58 Sie besitzen im Labor eine Fructose-Stammlösung mit einer Massenkonzentration β_{Fructose} = 20,00 g/L. Für einen Fliegenfütterungsversuch benötigen Sie

jedoch eine Massenkonzentration $\beta_{\text{Fructose}} = 12,00 \text{ g/L}$. Mit wie vielen Millilitern Wasser müssen Sie 400,0 mL Stammlösung verdünnen, um die gewünschte Konzentration zu erhalten?

12.59 Messungen haben ergeben, dass eine Epstein-Barr-Virenlösung (EB-Viren können humane Lymphocyten transformieren und herpesähnliche Symptome hervorrufen) $2,421 \cdot 10^7$ Viren/L enthält. Sie benötigen zur Infektion einer B-Lymphocyten-Zellkultur 10,00 mL EB-Virenlösung mit einer Konzentration von 2500 Viren/mL. Wie viele Milliliter Stammlösung müssen Sie mit wie vielen Millilitern physiologischer Kochsalzlösung mischen?

12.60 Fetales Kälberserum (FKS) enthält durchschnittlich 113,0 mg Hämoglobin pro Liter. Zur Kultur menschlicher Hautproben (Biopsien) wird ein Zusatz von 15,00 % FKS benötigt. Wie viele Mikrogramm Hämoglobin sind in einer Zellkulturflasche enthalten, wenn diese mit 50,00 mL Kulturmedium gefüllt wird?

12.61 Sie bestimmen mithilfe eines Fotometers den Wirkstoffgehalt eines Medikaments. Dazu geben Sie den Inhalt von zehn Gelatine kapseln in einen Mörser, zerstoßen das Medikament, lösen das Pulver in Xylol und verdünnen durch weitere Zugabe von Xylol auf 100,0 mL. 10,00 mL dieser Lösung werden erneut auf 100,0 mL verdünnt. In einer 1-cm-Küvette messen Sie von dieser Verdünnung bei einer Wellenlänge von $\lambda = 284 \text{ nm}$ eine Extinktion von 0,1762. Wie viele Milligramm Wirkstoff sind in einer Kapsel enthalten ($M_{\text{Wirkstoff}} = 364,4 \text{ g/mol}$, $\varepsilon_{\text{Wirkstoff}} = 1863 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm})$)

12.62 Eine Antibiotikumlösung soll auf ihre Wirksamkeit gegen *E. coli* getestet werden. Hierzu stellen Sie eine geometrische Verdünnungsreihe her. Das Volumen aller Verdünnungen soll 50,00 mL betragen. Wie groß ist das jeweilige Übertragungsvolumen, wenn die folgenden Konzentrationen erreicht werden sollen?

$$\text{Stammlösung} = 10^{-5} \text{ g/L}$$

$$\text{Verdünnung 1} = 10^{-5,5} \text{ g/L}$$

$$\text{Verdünnung 2} = 10^{-6} \text{ g/L}$$

$$\text{Verdünnung 3} = 10^{-6,5} \text{ g/L}$$

12.63 Sie benötigen 2,500 L Kalilauge mit einem pH-Wert von 10,00. Wie viele Milligramm KOH müssen Sie einwiegen?

12.64 Sie müssen von einem neuen Medikament den spezifischen Extinktionskoeffizienten (ε_{sp}) des Wirkstoffs bestimmen. Hierzu geben Sie den Inhalt von 15 mit jeweils 100,0 mg Medikament gefüllte Gelatine kapseln in einen Kolben und füllen mit Isopropanol auf 100,0 mL auf. Dieser alkoholischen Lösung entnehmen Sie 10,00 mL und bestimmen in einer 1-cm-Küvette eine Extinktion von 0,1170.

Wie groß ist der Extinktionskoeffizient (ϵ_{sp}) des Wirkstoffs, wenn der Massenanteil $w_{\text{Wirkstoff}} = 200,0 \text{ mg}/100 \text{ g}$ beträgt?

12.65 Sie benötigen eine Kochsalzlösung mit $w_{\text{NaCl}} = 20,00 \text{ g}/100 \text{ g}$ und $\rho_{\text{NaCl-Lösung}} = 1,148 \text{ g/mL}$. Zur Verfügung steht technisches NaCl mit 5,000 g Verunreinigung auf 100,0 g Gemisch. Wie viele Gramm technisches NaCl müssen Sie zur Herstellung von 250,0 mL Kochsalzlösung einwiegen?

12.66 Zur Untersuchung einer DNA-Probe benötigen Sie eine Nucleosid-Lösung, die neben normalen Desoxy-Nucleosid-Triphosphaten (dNTPs) auch 2,3-Didesoxi-Nucleosid-Triphosphate (ddNTPs) enthält. Sie geben deshalb 5,000 mL Genaxxon® dNTP-Mastermix ($c_{\text{dNTP}} = 10 \text{ mM}$) in ein Gefäß, fügen ddATP, ddTTP, ddGTP und ddCTP ($c_{\text{ddATP}} = c_{\text{ddTTP}} = c_{\text{ddGTP}} = c_{\text{ddCTP}} = 1,000 \text{ mM}$) in jeweils gleichen Mengen hinzu und füllen mit Pufferlösung auf 10,00 mL auf.

Wie viele Mikroliter müssen Sie von jeder einzelnen der vier ddNTP-Lösungen hinzupipettieren, wenn deren Stoffmengenanteil in Relation zum Stoffmengenanteil an dNTP in der fertigen Lösung 1,250 % ($\text{ddNTP}/100 \text{ dNTP}$) betragen soll?

12.67 Bei einem Inkorporationstest wird mit einer Stammlösung gearbeitet, die eine Wirkstoff-Massenkonzentration von 800,0 mg/L hat. Von dieser Lösung werden 0,2500 mL zu 15,00 mL Agarlösung pipettiert. Diese gießen Sie in eine Petrischale von 9,0 cm Durchmesser. Wie viele Mikrogramm Wirkstoff sind in einem Agarvolumen mit der Grundfläche von 1,000 cm² enthalten?

12.68 Sie geben 250,0 mL einer NaOH-Lösung mit $c_{\text{NaOH}} = 100,0 \text{ mmol/L}$ in einen Messkolben. Anschließend werden weitere 15,00 g NaOH-Plättchen zugegeben und mit Wasser auf 1,000 L aufgefüllt. Wie groß ist die NaOH-Konzentration der neuen Lösung?

12.69 Sie mischen drei Galactoselösungen ($\beta_1 = 20,00 \text{ g/L}$, $c_2 = 12,50 \text{ mmol/L}$, $c_3 = 8,200 \text{ mmol/L}$). Von der ersten Lösung nehmen Sie 250,0 mL, von der zweiten Lösung 1,250 L und von der dritten Lösung 50,00 mL. Welche Galactose-Massenkonzentration (g/L) hat das Gemisch (Galactose: C₆H₁₂O₆)?

12.70 Von einer Virensuspension mit einer Konzentration von $9,821 \cdot 10^{12}$ Viren/L soll eine geometrische Verdünnungsreihe hergestellt werden. Hierzu füllen Sie 10 Mal hintereinander jeweils 2,500 mL Suspension mit Wasser auf 20,00 mL auf. Wie groß ist die Virenkonzentration (Viren/L) in der zehnten Verdünnung?

12.71 Sie verdünnen 120,0 mL Apfelsäure ($c = 2,000 \text{ mmol/L}$, $pK_S = 3,46$), indem Sie mit destilliertem Wasser auf 500,0 mL auffüllen. Welchen pH-Wert hat die verdünnte Lösung?

12.72 Sie sollen eine Spurenelementlösung herstellen. Hierfür mischen Sie folgende Substanzen:

Eisen(II)-lactat-Trihydrat-Lösung ($\text{Fe}[\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_4]_2 \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$):	$V = 25,00 \text{ mL}$ $c = 2,500 \text{ mmol/L}$
Strontiumsulfat (SrSO_4):	$m = 50,00 \text{ mg}$
Mangan(II)-nitrat-Lösung ($\text{Mn}[\text{NO}_4]_2$):	$V = 1,250 \text{ mL}$ $\beta = 3,500 \text{ g/L}$
Cobalt(II)-acetat-Tetrahydrat ($\text{Co}[\text{H}_3\text{C}-\text{COO}]_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$):	$m = 2,550 \text{ g}$

Anschließend füllen Sie mit Wasser auf 1,000 L auf und sorgen dafür, dass sich die zugegebenen Salze vollständig lösen. Wie viele Milliliter Wasser müssen Sie der Spurenelementlösung noch hinzufügen, um diese auf eine Schwefel-Massenkonzentration von $\beta_S = 8,000 \text{ mg/L}$ einzustellen?

12.73 Für einen Versuch mit Blattschorf sind folgende Kriterien vorgeschrieben:

- 2 Vorblüte-Spritzungen mit jeweils 1500 L/ha
- 1 Blüte-Spritzung mit 1800 L/ha
- 1 Nachblüte-Spritzung mit 2100 L/ha
- 4 weitere Spritzungen mit jeweils 2500 L/ha

Die Massenkonzentration der Spritzbrühe bis und mit der Nachblütenspritzung beträgt 2,000 g/L, nachher 1,500 g/L. Die Parzelle hat eine Fläche von 240 m². Wie groß ist der Spritzmittelbedarf in Gramm?

12.74 Von einer Acetylcholinlösung ($c_{\text{Acetylcholin}} = 2,000 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$) werden 0,1000 mL in eine Küvette gefüllt und auf 50,00 mL aufgefüllt. Wie groß ist die Acetylcholin-Massenkonzentration in der Küvette? ($M_{\text{Acetylcholin}} = 146,2074 \text{ g/mol}$)

12.75 100,0 mL einer Enzymlösung mit einem Massenanteil von 42,50 mg/L sollen 4 Mal hintereinander im Verhältnis 1 Teil Lösung + 19 Teile Lösungsmittel verdünnt werden. Wie hoch ist die Enzym-Massenkonzentration ($\mu\text{g/L}$) in der 4. Verdünnung?

12.76 Aus der Rinde des Granatapfelbaumes (*Punica granatum*) wird das Alkaloid Pelletierin (1-[2-Piperidyl]-2-propanon, $\text{C}_8\text{H}_{15}\text{NO}$) gewonnen. Diese Substanz kann als Wurmmittel genutzt werden. Sie bestimmen in einer Pelletierinlösung eine Stickstoff-Massenkonzentration von 1,264 $\mu\text{g/L}$. Welche Pelletierin-Massenkonzentration hat die Lösung?

12.77 Im Biolandbau werden Reben mit kupferhaltiger Bordeaux-Brühe gegen pathogene Pilze behandelt. Um die Kupferrückstände in den Früchten zu bestimmen,

werden 14,82 g Trauben getrocknet und anschließend verascht. Der Ascherückstand wird in etwas Salpetersäure gelöst und mit destilliertem Wasser auf 250,0 mL aufgefüllt. Fünf Proben zu je 10,00 mL werden gemäß Tab. 12.4 durch Zugabe einer Kupferlösung mit zusätzlichem Kupfer versetzt, mit destilliertem Wasser auf 20,00 mL verdünnt und anschließend mittels Atomabsorption die Absorption gemessen. Wie groß ist der Massenanteil w_{Cu} (in $\mu\text{g/g}$) in den Trauben?

Tab. 12.4 Ermittlung von Kupferrückständen

Probe	m_{Cu} (μg) zugegeben	Absorption
1	0,000	166
2	1,000	231
3	2,000	296
4	3,000	361
5	4,000	426

12.78 Ein Erdbeerfeld (Länge = 70 m, Breite = 28 m) soll mit einem neu entwickelten Fungizid gegen die durch den Pilz *Mycosphaerella fragariae* hervorgerufene Weissflecken-Krankheit behandelt werden. Gemäß Versuchsvorschrift muss das Feld mit einer Wirkstoffdosis von $425,0 \text{ mg/m}^2$ behandelt werden. Wie viele Kilogramm des Fungizides, das als SP12 vorliegt, müssen Sie dem Landwirt bereitstellen, damit er sein Feld vorschriftsgemäss behandeln kann?

12.79 Bei Ratten wurde die hypnotische und letale Wirkung von Phenobarbital nach einmaliger oraler Applikation bestimmt. Als Kriterium für die Hypnose dient die Seitenlage, für die Letalität die Todesrate innerhalb von 24 Stunden. Die Ergebnisse sind in Tab. 12.5 zusammengestellt. Ermitteln Sie grafisch die DL_{50} (Hypnose) respektive die DE_{50} (Letalität) im Wahrscheinlichkeitsnetz und berechnen Sie daraus den therapeutischen Index gemäß folgender Formel:

$$\text{Therapeutischer Index} = \frac{\text{DL}_{50}}{\text{DE}_{50}}$$

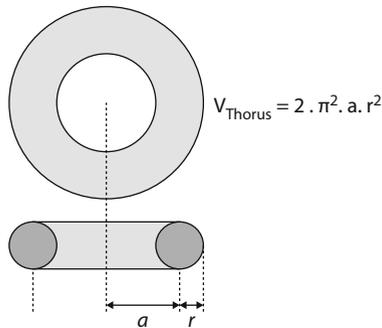
Tab. 12.5 Wirkung von Phenobarbital

Hypnose		Letalität	
20,0 mg/kg	0/10 Seitenlage	100,0 mg/kg	0/10 Exitus
40,0 mg/kg	2/10 Seitenlage	140,0 mg/kg	2/10 Exitus
80,0 mg/kg	4/10 Seitenlage	200,0 mg/kg	4/10 Exitus
160,0 mg/kg	8/10 Seitenlage	280,0 mg/kg	8/10 Exitus

12.80 Eine NaOH-Lösung $\beta_{\text{NaOH}} = 25,00 \text{ g/L}$ soll auf eine Konzentration von $800,0 \text{ mmol/L}$ eingestellt werden. Wie viele Milliliter NaOH-Lösung mit $\beta_{\text{NaOH}} = 40,00 \text{ g/L}$ müssen Sie zu $150,0 \text{ mL}$ der ersten Lösung hinzufügen?

12.81 $1,000 \mu\text{l}$ Blut enthalten ca. $5 \cdot 10^6$ annäherungsweise thorusförmige Erythrocyten mit einem Durchmesser von $7 \mu\text{m}$ und einer Dicke von $2 \mu\text{m}$. Wie groß ist

das Gesamtvolumen aller Erythrocyten eines erwachsenen Menschen mit 5,000 L Blut?



Thorus

12.82 Während 21 Tagen werden 50 Ratten mit einer Wirksubstanz behandelt. Die tägliche Wirksubstanzdosis beträgt 250,0 mg/kg. Am Anfang beträgt die durchschnittliche Körpermasse der Ratten 180,0 g. Die durchschnittliche tägliche Massenzunahme pro Ratte liegt bei 2,000 g. Wie viele Gramm Wirksubstanz benötigt man theoretisch für den Versuch?

12.83 Einem Hund mit einer Masse von 12,50 kg soll eine Wirksubstanz infundiert werden. Für die Infusion gelten gemäß Arbeitsvorschrift folgende Bedingungen:

Dosierung der Wirksubstanz: 1,20 $\mu\text{g}/(\text{kg} \cdot \text{h})$

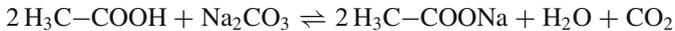
Infusionsgeschwindigkeit: 0,5000 mL/min

Wie viele Nanogramm Wirksubstanz müssen 1,000 mL der hergestellten Infusionslösung enthalten?

12.84 Ein zylinderförmiges Fischbassin ($\varnothing = 4,650 \text{ m}$) zur Aufzucht junger Bachsaiblinge (*Salvelinus fontinalis*) soll 1,500 m hoch mit Wasser gefüllt werden. Wie viele Stunden dauert der Füllvorgang, wenn durch die erste von zwei Zuflussleitungen 15,60 L/min und durch eine zweite Leitung 25,20 L/min frisches Wasser aus einem nahegelegenen Bach ins Bassin fließen?

12.85 Natriumacetat-Trihydrat ($\text{H}_3\text{C}-\text{COONa} \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$) kann als chemischer Wärmespeicher verwendet werden. Hierbei nutzt man die Eigenschaft, dass dieses Hydrat bei 58 °C im eigenen Kristallwasser in Lösung geht und beim Abkühlen als unterkühlte Schmelze in einem metastabilen Zustand flüssig bleibt. Durch einen mechanischen Impuls kann die Kristallisation ausgelöst und die dabei frei werdende Wärme genutzt werden.

Für ein solches Wärmespeicherprojekt müssen 500,0 kg Natriumacetat-Trihydrat durch Reaktion von Essigsäure mit Soda (Natriumcarbonat) hergestellt werden. Wie viele Kilogramm Natriumcarbonat werden hierfür benötigt?



12.86 500,0 μl einer radioaktiven Urinprobe erzeugen 33.900 gezählte Zerfälle/min bei einer Zählraube von 50,00 %. Die spezifische Radioaktivität des im Urin enthaltenen Präparats beträgt 34,50 $\mu\text{Ci}/\text{mg}$. Wie viele Milligramm Präparat sind in 1,000 L des untersuchten Urins enthalten (1 Curie (Ci) = $3,7 \cdot 10^{10}$ Zerfälle/s)?

12.87 Ein Inkubationsansatz weist folgende Zusammensetzung auf:

- 10 Volumenteile Enzymlösung
- 1 Volumenteil Substratlösung (Substrat-Stammlösung)
- 4 Volumenteile Pufferlösung
- 5 Volumenteile Wasser

Die Substratkonzentration soll $2,000 \cdot 10^{-4}$ mol/L Inkubationsansatz betragen. Das Substrat hat eine Molmasse von 325,0 g/mol. Wie viele Milligramm Substrat werden zur Herstellung von 10,00 mL Substrat-Stammlösung benötigt?

12.88 Einem Ferkel mit einer Masse von 2,600 kg werden 2,000 mL eines Medikaments mit einer Massenkonzentration von 100,0 g/L injiziert. Nach 4 h findet man 52,00 mg Wirkstoff pro 100,0 mL Plasma. Die Blutmenge beträgt ein Dreizehtel der Körpermasse und der Hämatokritwert liegt bei 0,3000 (30,00 %). Wie viele Prozent der applizierten Menge befinden sich nach 4 h im Vollblut, wenn angenommen wird, dass sich der Wirkstoff nur im Serum verteilt? ($\rho_{\text{Vollblut}} = 1,050$ g/mL)

12.89 Ein Wetterballon ($m_{\text{Ballon}} = 204,1$ g + $m_{\text{Wettersonde}} = 452,5$ g) wird mit 882,9 L Ballongas gefüllt. Der Luftdruck am Boden beträgt dabei 0,9893 bar, die Temperatur liegt bei 17,4 °C. Wie groß muss der Druck in der 10-L-Ballongasflasche mindestens sein, damit genügend Gas vorhanden ist, um den Ballon bis zu einem Druck von 1,220 bar zu füllen?

Beachten Sie bei der Berechnung, dass die Flasche nicht vollständig geleert werden kann, sondern der Innendruck der entleerten Flasche und des Ballons gleich sein müssen!

12.90 Wie viele Milliliter Salzsäure mit einer Massenkonzentration von 18,25 mg/mL und wie viele Milliliter Salzsäure mit einer Stoffmengenkonzentration von 4,500 mol/L sind zu mischen, damit Sie 1,000 L HCl-Lösung mit einer Stoffmengenkonzentration von $c_{\text{HCl}} = 1,000$ mol/L erhalten?

12.91 Gemäß einer Empfehlung von Merck Millipore können Pulvermedien zur Kultur von Zellen mit 10–25 mL 4-(2-Hydroxyethyl)-piperazin-1-ethansulfonsäure-Lösung (HEPES) pro Liter Medium gepuffert werden. Hierfür wird das Medium

gemäß Vorschrift in sterilem Wasser gelöst und mit NaOH auf pH 7,2 eingestellt. Für eine HEPES-Endkonzentration von 20,00 mmol/L sind 1,000 L Medium mit 20,00 mL HEPES-Pufferlösung zu ergänzen.

Wie groß ist die 4-(2-Hydroxyethyl)-piperazin-1-ethansulfonsäure-Massenkonzentration in der HEPES-Puffer-Stammlösung, wenn die Molmasse von 4-(2-Hydroxyethyl)-piperazin-1-ethansulfonsäure 238,31 g/mol beträgt?

12.92 2,000 mL einer Insektizid-Lösung mit einer Massenkonzentration von 15,00 mg/mL werden durch Zugabe von Wasser auf 1000 mL aufgefüllt und anschließend 5 Mal um den Faktor 2 verdünnt. Diese Reihe sowie eine frisch gepresste Mostprobe werden zur Letalitätsprüfung von Mückenlarven eingesetzt. Die Mostprobe erreichte die LD_{50} genau zur gleichen Zeit wie die letzte Konzentration der Versuchsreihe. Wie viele Milligramm Insektizid enthält 1,000 L der Mostprobe?

12.93 Für einen Versuch benötigen Sie eine Natriumcitratlösung mit einer Stoffmengenkonzentration von 150,0 mmol/L. Wie viele Gramm Trinatriumcitrat-Dihydrat ($Na_3C_6H_5O_7 \cdot 2 H_2O$) müssen Sie zur Herstellung von 3,500 L Lösung einwiegen?

12.94 Sie geben 1,000 g einer Bodenprobe in einen Erlenmeyerkolben, füllen mit Wasser auf 50,00 mL auf und schlämmen die Probe darin homogen auf. Anschließend verdünnen Sie die Probe mittels einer Verdünnungsreihe, indem Sie 5 Mal jeweils 2,000 mL in ein neues Reagenzglas übertragen und auf 10,00 mL auffüllen. Von der letzten Verdünnung plattieren Sie 1,000 mL auf ein Vollmedium aus, inkubieren für 48 h bei 25 °C und zählen die in der Petrischale ($\varnothing = 12,00$ cm) gewachsenen Kolonien aus. Sie ermitteln dabei 37 Kolonien. Wie groß ist die Bakteriendichte pro Gramm Bodenprobe?

12.95 Einer Katze ($m = 3,20$ kg) sollen 10,00 $\mu\text{g}/(\text{kg} \cdot \text{min})$ Adrenalin-Bitartrat als Infusion in isotonischer Kochsalzlösung verabreicht werden. Der Volumenstrom wird durch die Tropfenzahl pro Minute reguliert und beträgt 20 Tropfen/min. Die Tropfengröße ist konstant und beträgt 50,00 μl . Wie viele Mikrogramm Adrenalin-Bitartrat enthalten 5,000 mL der Infusionslösung?

12.96 Sie besitzen im Labor eine 10,00 mM Acetylglucosaminlösung ($C_8H_{15}N_1O_6$). Für einen Versuch benötigen Sie eine Lösung mit einem Massenanteil von 0,250 g Acetylglucosamin pro Liter. Wie viele Milliliter Stammlösung müssen Sie mit destilliertem Wasser auf 100,0 mL auffüllen, um eine Acetylglucosaminlösung mit der gewünschten Konzentration herzustellen?

12.97 Sie füllen 250,0 mL einer Abwasserprobe mit destilliertem Wasser auf 2,500 L auf. Dieser verdünnten Lösung entnehmen Sie 10,00 mL und bestimmen darin einen Ammoniumgehalt (NH_4^+) von 12,81 $\mu\text{g}/\text{L}$. Wie groß ist die Ammonium-Massenkonzentration im Abwasser?

12.98 Um die Nierenfunktion an einem Hund zu prüfen, wird eine 4-Aminohippursäure-Lösung ($M_{4\text{-Aminohippursäure}} = 194,18 \text{ g/mol}$) infundiert. In 2 h 20 min wird eine Totaldosis von $1,40 \cdot 10^{-5} \text{ mol/kg}$ verabreicht. Die Infusionsgeschwindigkeit beträgt $3,00 \text{ mL/(kg} \cdot \text{h)}$. Wie groß ist die Massenkonzentration der Infusionslösung in mg/L ?

12.99 Es wurde ein Insektizid auf die Wirkung gegen Mückenlarven (*Aedes aegypti*) geprüft. Dabei wurden die Werte gemäß Tab. 12.6 ermittelt. Bestimmen Sie grafisch die LC_{50} in $\mu\text{g/L}$.

Tab. 12.6 Insektizidwirkung

$\beta_{\text{Wirkstoff}}$ ($\mu\text{g/mL}$)	Tot	Lebend
0	4	96
0,01	13	77
0,0125	22	73
0,025	87	12
0,05	101	1
0,10	97	0

12.100 Es muss ein Gemisch der Substanzen A und B mit dem Applikationsvolumen von $5,00 \text{ mL/kg}$ appliziert werden. Folgende Dosen müssen verabreicht werden:

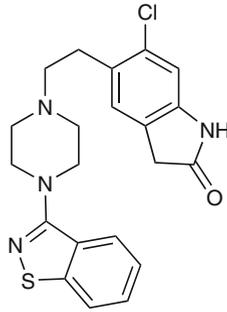
Substanz A: $50,00 \text{ mg/kg}$

Substanz B: $40,00 \text{ mg/kg}$

Die Substanz A steht als Reinsubstanz, die Substanz B als Stammlösung mit der Massenkonzentration von $50,0 \text{ mg/mL}$ zur Verfügung.

- Wie viele Milligramm der Substanz A benötigen Sie zur Herstellung von $25,00 \text{ mL}$ Applikationslösung?
- Wie viele Milliliter der Stammlösung der Substanz B benötigen Sie zur Herstellung von $25,00 \text{ mL}$ Applikationslösung?

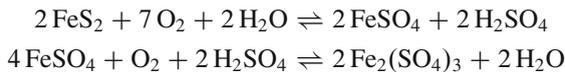
12.101 Im Rahmen einer Studie zur Behandlung bipolarer Störungen sollen Sie $250,0 \text{ mL}$ Ziprasidonlösung mit einer Massenkonzentration von $500,0 \text{ mg/L}$ herstellen. Ihnen steht hierfür Ziprasidon-Hydrochlorid-Monohydrat ($\text{C}_{21}\text{H}_{21}\text{ClN}_4\text{OS} \cdot \text{HCl} \cdot \text{H}_2\text{O}$) zur Verfügung. Wie viele Milligramm Ziprasidon-Hydrochlorid-Monohydrat müssen Sie einwiegen?



Ziprasidon

12.102 1,250 g einer keimhaltigen Rattenleber werden in isotonischer Kochsalzlösung homogenisiert und auf ein Endvolumen von 3,500 mL eingestellt. In 50,00 μL des 1 : 10⁵ verdünnten Homogenisats zählen Sie 18 Keime. Wie viele Keime sind in 23,92 g Rattenleber enthalten?

12.103 Die beiden Bakterienarten *Thiobacillus thiooxidans* und *T. ferrooxidans* werden zur Gewinnung von Eisen aus pyrithaltigen Abraumhalden eingesetzt (Pyrit = FeS_2). Der wasserunlösliche Pyrit wird dabei von den Bakterien in gut lösliches Eisensulfat umgewandelt. Bewässert man die Abraumhalden, so wird das Eisensulfat im Wasser gelöst und kann aus dem gesammelten Sickerwasser extrahiert werden. Wie viele Kilogramm Pyrit wandeln die Bakterien pro Tag in Eisen(III)-sulfat ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$) um, wenn die durchschnittliche tägliche Eisenausbeute aus dem Sickerwasser einer solchen Abraumhalde 71,32 kg Eisen beträgt?



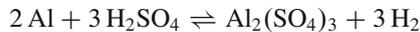
12.104 Sie sollen die maximale Löslichkeit von Apfelsäure ($\text{HOOC}-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{OH})-\text{COOH}$) bestimmen. Hierzu geben Sie 150,0 g Apfelsäure in einen Kolben und füllen mit Wasser auf 250,0 mL auf. Auf einem heizbaren Magnetrührer erwärmen Sie die Lösung auf ca. 40 °C, um die Apfelsäure zu lösen (bei höheren Temperaturen kann die Apfelsäure zerfallen). Danach lassen Sie die Lösung auf Raumtemperatur abkühlen, sodass ein Teil der zuvor gelösten Apfelsäure wieder ausfällt und im Kolben als Niederschlag zu Boden sinkt. Vom Überstand entnehmen Sie 20,00 mL und titrieren mit Natronlauge ($c_{\text{NaOH}} = 1,000 \text{ mol/L}$). Wie groß ist die maximale Löslichkeit ($\beta_{\text{Apfelsäure max.}}$) der Apfelsäure, wenn Sie bis zum Umschlagpunkt 197,1 mL Natronlauge verbrauchen?



12.105 Entlang einer eingleisigen Bahnstrecke soll auf 854 m Länge ein starker Befall des Schotterbeetes durch Ackerschachtelhalm (*Equisetum arvense*) mithilfe eines spezifischen Herbizids eingedämmt werden. Der Hersteller des Herbizids empfiehlt eine Dosierung von 12,00 g Wirkstoff pro Quadratmeter. Mit den zur Verfügung stehenden Geräten kann bei langsamer Fahrt ein 6,5 m breiter Streifen behandelt werden, wobei 40,00 L Herbizid pro Minute versprüht werden. Mit welcher Geschwindigkeit (km/h) darf bei der Behandlung mit dem Schienentraktor gefahren werden, um die verlangte Dosis zu applizieren, wenn das Herbizid SC 080 vorliegt?

12.106 In einem zylindrischen Tank ($\varnothing = 7,65$ m), der 80 cm hoch mit Wasser gefüllt ist, wird ein Algizid eingesetzt, um unerwünschtes Algenwachstum zu verhindern. Das Algizid zersetzt sich mit einer Halbwertszeit von 25 Tagen. Um eine ausreichende Wirkung zu entfalten, muss das Präparat mit einer minimalen Wirkstoff-Massenkonzentration von 2,100 mg/L im Wasser vorhanden sein. Wie viele Kilogramm Algizid müssen in den Tank gefüllt werden, wenn die Wirkung 100 Tage anhalten soll?

12.107 Aluminium reagiert gemäß folgender Reaktionsgleichung mit Schwefelsäure zu Aluminiumsulfat und Wasserstoffgas (H_2).



Wie viele Liter Wasserstoffgas entstehen bei Normalbedingungen, wenn 100,0 g Aluminium vollständig mit Schwefelsäure reagiert haben?

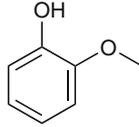
12.108 In einer Staphylokokken-Reinkultur wurden $2,000 \cdot 10^9$ Zellen/mL gezählt. Die kugelförmigen Zellen haben einen Durchmesser von 1,200 μm und eine Dichte von 1,050 g/cm^3 . Wie viele Gramm beträgt die Bakterienmasse in 1000 mL dieser Kultur?

12.109 Sie besitzen im Labor eine 50,00 millimolare KOH-Lösung. Daraus sollen Sie durch Mischen mit einer 100,0 millimolaren KOH-Lösung insgesamt 500,0 mL Lösung mit einer Stoffmengenkonzentration von 80,00 mmol/L herstellen. Wie viele Milliliter der ersten und der zweiten Lösung benötigen Sie?

12.110 Sie benötigen für einen Versuch 500,0 mL Eisenlactatlösung mit einer Eisen-Massenkonzentration von 1,250 g/L. Wie viele Gramm Eisen(II)-lactat-Trihydrat ($\text{Fe}(\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_4)_2 \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$) müssen eingewogen werden?

12.111 Unter optimalen Bedingungen verdoppelt sich die Zahl von Staphylokokken in 30 min. Wie groß ist die Keimzahl in einer Nährlösung, die mit acht Staphylokokkenkeimen geimpft wurde und während 18,00 h im Brutschrank stand?

12.112 In die Neuentwicklung eines Präparates gegen Husten soll auch die alte Wirksubstanz Guajacol mit einbezogen werden. Sie sollen deshalb eine Guajacol-Lösung mit einer Konzentration von $12,50 \mu\text{mol/L}$ herstellen. Wie viele Milligramm Guajacol müssen Sie zur Herstellung von $2,500 \text{ L}$ Lösung einwiegen?



Guajacol

12.113 Sie sollen für eine Hefekultur ein flüssiges Nährmedium herstellen. Dieses soll als Spurenelement Mangan (Mn) in einer Massenkonzentration von $5,000 \text{ ng/L}$ enthalten. Ihnen steht Mangan(II)-sulfat-Monohydrat zur Verfügung. Wie viele Milligramm $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ müssen Sie einwiegen, wenn Sie mit dem Nährmedium einen Großfermenter mit einem Durchmesser von $3,200 \text{ m}$ und einer Einfüllhöhe von $5,450 \text{ m}$ bestücken müssen?

12.114 Sie fügen einem festen Nährboden ein Fungizid bei und beimpfen die Petrischalen mit dem Roten Brotschimmelpilz *Neurospora sitophila*, wobei Sie für jede Fungizidkonzentration sieben Schalen (Wiederholungen) ansetzen. Nach zwei Tagen ermitteln Sie die Wachstumsdaten gemäß Tab. 12.7 Wie groß ist der durchschnittliche Koloniedurchmesser der nicht mit Fungizid behandelten Kontrollgruppe und welchen Wert hat die dazugehörige Standardabweichung?

Tab. 12.7 Fungizidbehandlung

$\beta_{\text{Wirkstoff}}$ (mg/L)	Kolonie-Ø (mm)						
0	35	36	36	38	34	34	37
5	32	33	30	31	29	30	30
10	27	25	25	24	25	26	26
20	12	16	15	14	13	12	14
40	1	2	3	1	1	2	2

12.115 Ein Präparat zur Bekämpfung von Stechmückenlarven wird mit einer Massenkonzentration von $1,250 \text{ mg/L}$ Teichwasser in einem Versuchsteich ($\text{Ø} = 5,0 \text{ m}$) ausgebracht. Nach 48 h wird die Konzentration des Präparates ($\epsilon_{\text{sp}} = 987,2 \text{ L}/(\text{g} \cdot \text{cm})$) fotometrisch bestimmt. Die Extinktion beträgt in einer 1-cm -Küvette $0,5520$. Wie groß ist die mittlere Abbaurate ($\mu\text{g}/(\text{L} \cdot \text{h})$) des Präparates pro Stunde und Liter Teichwasser?

12.116 Sie titrieren $40,00 \text{ mL}$ Apfelsäurelösung mit Natronlauge ($c_{\text{NaOH}} = 1,000 \text{ mmol/L}$) und verbrauchen bis zum Umschlagpunkt $65,38 \text{ mL}$ NaOH -Lösung. Wie groß ist die Apfelsäure-Massenkonzentration?



Titration von Apfelsäure

12.117 Eine Infusionslösung hat eine Stoffmengenkonzentration von $3,500 \cdot 10^2 \mu\text{mol/mL}$. Der darin enthaltene Wirkstoff hat eine molare Masse von $62,0351 \text{ g/mol}$. Bei einer Infusionsgeschwindigkeit von $0,100 \text{ mL/min}$ ist der Infusionsschlauch nach 120 s gefüllt. Wie viele Minuten muss die Infusion laufen, damit eine Totaldosis von $54,25 \text{ mg/Tier}$ verabreicht werden?

12.118 Einem Kaninchen mit einer Masse von $1,608 \text{ kg}$ sollen $2,250 \cdot 10^5 \text{ IE/kg}$ Penicillin gespritzt werden. Die Fläschchen enthalten $500,0 \text{ mg}$ Substanz, die ad $10,00 \text{ mL}$ mit destilliertem Wasser gelöst werden. $1,000 \text{ mg}$ der Substanz entspricht 2500 IE . Wie viele Milliliter dieser Lösung müssen dem Versuchstier injiziert werden?

12.119 Sie sollen ein neues Insektizid auf seine Wirksamkeit gegen Blattläuse testen. Die Stammlösung hat eine Massenkonzentration von $\beta_{\text{Wirkstoff}} = 2,500 \text{ g/L}$. Von dieser stellen Sie eine Verdünnungsreihe her, indem Sie jeweils 1 Teil Lösung mit 9 Teilen Lösungsmittel verdünnen. Ein Mortalitätstest ergibt folgende Resultate:

Verdünnung:	1	2	3	4	5	6	7	8
Blattläuse _{total} :	20	20	20	20	20	20	20	20
Tote Blattläuse:	20	19	17	12	8	2	1	0

Bei welcher Massenkonzentration liegt der LC_{50} -Wert für dieses Insektizid?

12.120 Sie müssen für einen Versuch mit Mäusen ein Antibiotikum bereitstellen, das mit einer Dosis von $25,00 \text{ mg/kg}$ appliziert werden soll. Ihre Antibiotikum-Stammlösung hat eine Massenkonzentration von $2,000 \text{ g}$ Wirkstoff pro Liter. Wie viele Milliliter Stammlösung müssen Sie bereitstellen, um zwölf Mäuse mit den folgenden Massen zu behandeln?

$m_{\text{Maus 1}} = 23,54 \text{ g}$	$m_{\text{Maus 2}} = 37,63 \text{ g}$	$m_{\text{Maus 3}} = 22,63 \text{ g}$
$m_{\text{Maus 4}} = 27,94 \text{ g}$	$m_{\text{Maus 5}} = 32,90 \text{ g}$	$m_{\text{Maus 6}} = 26,52 \text{ g}$
$m_{\text{Maus 7}} = 27,88 \text{ g}$	$m_{\text{Maus 8}} = 35,74 \text{ g}$	$m_{\text{Maus 9}} = 31,53 \text{ g}$
$m_{\text{Maus 10}} = 29,59 \text{ g}$	$m_{\text{Maus 11}} = 30,82 \text{ g}$	$m_{\text{Maus 12}} = 35,71 \text{ g}$

12.121 Sie müssen von einem neu entwickelten Präparat, das die reverse Transkriptase von Retroviren hemmt, die molare Extinktion bestimmen. Hierzu entlee-

ren Sie zehn Gelatine kapseln zu je 100,0 mg mit einer Wirkstoffkonzentration von 0,2000 % ($w = 0,2000 \text{ g}/100 \text{ g}$), geben diese in einen Messkolben, füllen mit Ethanol auf 100,0 mL auf und lösen das Pulver vollständig. Dieser Lösung entnehmen Sie 10,00 mL und bestimmen in einer 1-cm-Küvette eine Extinktion von 0,0467. Wie groß ist der molare Extinktionskoeffizient (ϵ), wenn der Wirkstoff eine molare Masse von 12.853 g/mol besitzt?

12.122 Eine Zuckerlösung enthält 25,20 g Zucker pro Liter Wasser. Dies entspricht einem Massenanteil von $w_{\text{Zucker}} = 2,460 \%$. Welche Dichte hat diese Lösung?

12.123 In einer Kehrlichtverbrennungsanlage werden pro Stunde $693,6 \cdot 10^3 \text{ m}^3$ Rauchgas mit einer Temperatur von $155 \text{ }^\circ\text{C}$ in die Umgebungsluft ($p = 975,0 \text{ mbar}$) abgegeben. Das Rauchgas enthält neben anderen Schadstoffen Schwefeldioxid (SO_2). Während einer Kontrolle wurden $2,000 \text{ m}^3$ Rauchgas durch eine Rauchgas-Waschanlage geleitet. Eine Analyse der Waschflüssigkeit ($V = 25,94 \text{ L}$) ergab eine Schwefel-Stoffmengenkonzentration von $31,59 \mu\text{mol/L}$. Wie viele Kilogramm Schwefeldioxid gibt die Anlage pro Stunde in die Umwelt ab?

12.124 Eine Probe muss bakteriologisch untersucht werden. Dazu wird die Probe zunächst im Verhältnis 1:100 verdünnt und in einer Zählkammer mit vier Quadraten von je $100,0 \mu\text{m}$ Seitenlänge und $20,00 \mu\text{m}$ Tiefe ausgezählt. In den vier Quadraten wurden insgesamt 12 Keime gefunden. Wie viele Keime sind in 1,000 L Probe enthalten?

12.125 Gegeben sind 800,0 mL einer Salzsäure mit $c_{\text{HCl}} = 1 \text{ mol/L}$. Der Titer (t) dieser Lösung beträgt 0,987. Wie viele Milliliter einer HCl-Lösung mit einer Stoffmengenkonzentration von $2,000 \text{ mol/L}$ müssen dazu gegeben werden, damit Sie eine Salzsäure mit einer Stoffmengenkonzentration von $1,000 \text{ mol/L}$ erhalten?

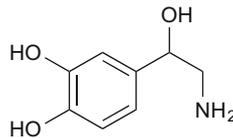
12.126 Die Eier von Reptilien werden heute oft in Vermiculite eingebettet erbrütet. Vermiculite ist ein stark quellfähiges Schichtsilikat, das Wasser – ähnlich wie ein Schwamm – aufsaugen und speichern kann. In Tab. 12.8 ist die Beziehung zwischen dem Wasserpotenzial (= Saugspannung) in kPa und dem Wassergehalt in mg/L Vermiculite zusammengestellt.

Untersuchungen haben gezeigt, dass die Eier von Grünen Leguanen (*Iguana iguana*) idealerweise bei einem Wasserpotenzial von -370 kPa erbrütet werden. Bei einem niedrigeren Wassergehalt besteht die Gefahr, dass die Eier vertrocknen, bei einem höheren, dass sie infolge übermäßiger Wasseraufnahme platzen. Wie viele Milliliter Wasser mit einer Temperatur von $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ($\rho = 0,997047 \text{ g/mL}$) müssen Sie zu 400 mL trockenem Vermiculite hinzufügen, um das minimale Wasserpotenzial zu erreichen? Bestimmen Sie die benötigte Wassermenge grafisch.

Tab. 12.8 Wasseraufnahme von Vermiculite

Wasserpotenzial (kPa)	Wassergehalt (g/L Vermiculite)
-750	70
-700	120
-600	165
-500	180
-400	205
-300	250
-200	310
-100	390

12.127 200,0 μl einer Noradrenalinlösung ($c = 1,400 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$) werden in eine Küvette gegeben, die bereits 40,00 mL Nährlösung enthält. Wie groß ist die Massenkonzentration (in $\mu\text{g/L}$) des Noradrenalins?



Noradrenalin

12.128 Ein Versuchstier soll 250,0 μg Adrenalin erhalten. Zur Verfügung steht eine Adrenalin-Bitartrat-Lösung mit der Massenkonzentration von 70,00 $\mu\text{g/mL}$. Wie viele Milliliter der Adrenalin-Bitartrat-Lösung muss das Versuchstier erhalten ($M_{\text{Adrenalin}} = 183,2 \text{ g/mol}$, $M_{\text{Adrenalin-Bitartrat}} = 333,1 \text{ g/mol}$)?

12.129 Zur Unterstützung einer Narkose infundiert man einem 39,20 kg schweren Hund ein Muskelrelaxans. Als Infusionslösung wird ein Totalvolumen von 450,0 mL benötigt. Für eine sichere Wirkung muss die Dosis 30,00 $\mu\text{g/kg}$ betragen. Wie viele Milliliter einer Ampullenlösung mit einer Massenkonzentration von 50,00 $\mu\text{g/mL}$ werden zur Verdünnung benötigt?

12.130 Eine wichtige Nährlösung für die Organkultur ist die Krebs-Henseleit-Lösung. Sie setzt sich aus folgenden Komponenten zusammen:

$$c_{\text{NaCl}} = 118,0 \text{ mmol/L}$$

$$c_{\text{KCl}} = 4,700 \text{ mmol/L}$$

$$c_{\text{CaCl}_2} = 2,520 \text{ mmol/L}$$

$$c_{\text{MgSO}_4} = 1,640 \text{ mmol/L}$$

$$c_{\text{NaHCO}_3} = 24,88 \text{ mmol/L}$$

$$c_{\text{KH}_2\text{PO}_4} = 1,18 \text{ mmol/L}$$

$$c_{\text{Glucose}} = 5,550 \text{ mmol/L}$$

$$c_{\text{Natriumpyruvat}} = 2,000 \text{ mmol/L}$$

Wie viele Gramm Glucose und wie viele Milligramm Natriumpyruvat müssen Sie zur Herstellung von 2,500 L Krebs-Henseleit-Lösung einwiegen?

12.131 Eine Lösung soll gemäß Vorschrift eine Magnesiumsulfat-Massenkonzentration β_{MgSO_4} von 12,00 mg/L enthalten. Ihnen steht im Labor Magnesiumsulfat-Heptahydrat ($\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{ H}_2\text{O}$) zur Verfügung. Wie viele Milligramm Magnesiumsulfat-Heptahydrat müssen Sie für 250,0 mL Lösung einwiegen?

12.132 Welche Stoffmengenkonzentration hat eine Schwefelsäure mit einem Massenanteil von 0,9400 g/g und einer Dichte von 1,830 g/mL?

12.133 Eine Stammlösung eines Wirkstoffs ($M_{\text{Wirkstoff}} = 159,0 \text{ g/mol}$) gegen Muskelkrämpfe hat eine Stoffmengenkonzentration von $3,140 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L}$. Wie viele Milliliter Lösung mit einer Massenkonzentration von $1,000 \mu\text{g/mL}$ können aus 25,00 mL Stammlösung hergestellt werden?

12.134 Zur elektronischen Auszählung der Erythrozyten werden $40,00 \mu\text{l}$ Vollblut mit isotonischer NaCl-Lösung auf 20,00 mL verdünnt (Probe 1). $200,0 \mu\text{l}$ dieser Probe 1 werden auf 20,00 mL aufgefüllt (Probe 2). Die Auszählung von $500,0 \mu\text{l}$ der Probe 2 ergibt 32.500 Erythrozyten. Wie groß ist die Erythrocytenkonzentration (Zellen/L Vollblut)?

12.135 Ein Fungizid soll bezüglich seiner Wirkung gegen den Pilz *Pseudopeziza trifolii* getestet werden. Dieser Pilz ruft bei Luzerne (*Medicago sativa*) dunkle Blattflecken hervor. Mit zunehmender Fungizidkonzentration nimmt die Anzahl der Blattflecken gemäß Tab. 12.9 ab.

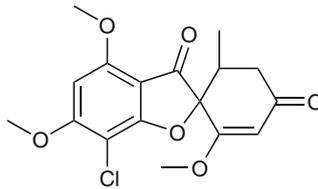
Tab. 12.9 Fungizid zur Behandlung von *Medicago sativa*

Fungizidkonzentration (g/m ²)	Durchschnittl. Anzahl Blattflecken pro Blatt
0	82
0,2	79
0,4	64
0,6	51
0,8	37
1,0	24
1,2	11
1,4	6
1,6	1

Wie viele Gramm Fungizid müssen pro Quadratmeter ausgebracht werden, um eine 80 %ige Reduktion der Blattflecken zu erreichen?

12.136 Natrium-Barbiturat ($\text{NaC}_{11}\text{H}_{17}\text{N}_2\text{O}_2\text{S}$) bewirkt in einer Dosierung von $10,00 \mu\text{mol/kg}$ eine Kurzanästhesie. Von Na-Barbiturat ist eine Lösung mit der Massenkonzentration von $4,000 \text{ g}/100 \text{ mL}$ vorhanden. Wie viele Milliliter dieser Lösung müssen einem $28,45 \text{ kg}$ schweren Hund verabreicht werden?

12.137 In einem Versuch soll das Antimykotikum Griseofulvin zur Bekämpfung eines phytopathogenen Pilzes eingesetzt werden. Sie benötigen für den Versuch eine Stoffmengenkonzentration $c_{\text{Griseofulvin}} = 250,0 \mu\text{mol/L}$. Wie viele Gramm Griseofulvin müssen Sie für $200,0 \text{ L}$ Spritzbrühe einwiegen?



Griseofulvin

12.138 Zur Messung der Aktivität von Muskelkreatin-Kinase wird Muskelgewebe homogenisiert. $1,000 \text{ L}$ des Homogenisats enthält $100,0 \text{ g}$ Muskelfasern. Das Homogenisat wird $1 : 200$ verdünnt. Bei der Untersuchung wird festgestellt, dass $100,0 \text{ mL}$ der verdünnten Lösung $6,750 \text{ mmol}$ Substrat pro Stunde umsetzen. Wie viele Millimol Substrat werden von $1,000 \text{ g}$ Muskelgewebe pro Minute umgesetzt?

12.139 Ein Laborant gibt zu 1 Volumenteil Stammlösung 5 Volumenteile Wasser. Gemäß Arbeitsvorschrift hatte er die Stammlösung jedoch im Verhältnis $1 : 5$ mit Wasser verdünnen müssen. Wie viele Volumenteile der unsachgemäß hergestellten Lösung müssen zu 1 Volumenteil Stammlösung hinzugefügt werden, damit eine Verdünnung mit der verlangten Konzentration vorliegt?

12.140 Während 30 h soll mit einer Tropfgeschwindigkeit von 5 Tropfen/min einem $10,80 \text{ kg}$ schweren Hund eine Vitaminlösung mit einer Massenkonzentration $2,000 \cdot 10^{-4} \text{ g/mL}$ infundiert werden. ($V_{\text{Tropfen}} = 30,00 \mu\text{L}$). Welche Dosis (mg/kg) wird dem Hund während den 30 h verabreicht?

12.141 In einem Versuch soll die Wirkung eines Herbizids auf Wasserorganismen untersucht werden. Dazu werden im freien Wasser eines Sees zylindrische Kunststoffgehege – sogenannte Limnocoralls – mit einem Durchmesser von $5,0 \text{ m}$ und einer Höhe von $6,0 \text{ m}$ installiert. Nach 14 Tagen wird die Anzahl Wasserflöhe ermittelt (Tab. 12.10). Bei welcher Herbizidkonzentration reduzierte sich die Wasserflohichte am $14.$ Tag gegenüber der Kontrolle um 50% ?

Tab. 12.10 Herbizidwirkung auf Wasserflöhe

Wirkstoff- menge (g)	Versuchs- beginn (Wasserflö- he/mL)	Nach 14 Tagen (Was- serflöhe/mL)	Wirkstoff- menge (g)	Versuchs- beginn (Wasserflö- he/mL)	Nach 14 Tagen (Was- serflöhe/mL)
0	37	46	50	41	12
0	29	44	50	37	6
0	25	39	50	29	5
0	33	49	50	33	3
10	35	46	60	35	4
10	25	28	60	36	2
10	38	33	60	44	1
10	28	41	60	31	3
20	29	35	70	26	0
20	34	24	70	36	0
20	31	35	70	41	0
20	30	21	70	44	3
30	37	23	80	36	0
30	27	21	80	36	0
30	36	12	80	34	0
30	34	23	80	27	1
40	33	13	90	36	0
40	39	14	90	39	0
40	28	12	90	42	0
40	32	11	90	27	0

12.142 Eine Stammlösung enthält Bakterien in einer Konzentration von $5,986 \cdot 10^9$ Bakterien/L. Diese Stammlösung wird in einer Verdünnungsreihe 8 Mal hintereinander verdünnt, indem jeweils 10,00 mL Lösung mit Wasser auf 100,0 mL aufgefüllt werden. Von der Verdünnung 5 plattieren Sie jeweils 1,000 mL auf insgesamt 20 Petrischalen aus, wobei das Medium ein Antibiotikum enthält. Nach 48 h Inkubationszeit zählen Sie die gewachsenen Kolonien aus. Wie gross ist der prozentuale Anteil antibiotikumresistenter Bakterien, wenn auf den Petrischalen durchschnittlich 2,75 Kolonien gewachsen sind?

12.143 Um eine Versuchsfläche gegen Mehltau behandeln zu können, müssen Sie 25,00 L Kupfersulfatlösung mit einer Stoffmengenkonzentration von 20,00 mmol/L herstellen. Wie viele Gramm Kupfersulfat-Pentahydrat ($\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$) müssen Sie einwiegen und anschließend mit destilliertem Wasser auf 25,00 L auffüllen, um eine Lösung mit der gewünschten Stoffmengenkonzentration zur Verfügung zu haben?

12.144 Sie müssen 1,000 L HCl-Lösung mit der Stoffmengenkonzentration von 0,1000 mol/L herstellen. Wie viele Milliliter HCl-Lösung mit der Stoffmengenkonzentration von $c_{\text{HCl}} = 950,0 \text{ mmol/L}$ müssen Sie mit wie vielen Millilitern destilliertem Wasser mischen?

12.145 Einem Hund ($m = 12,00 \text{ kg}$) soll während 20 min Histamin mit einer Geschwindigkeit von $1,000 \mu\text{g}/(\text{kg} \cdot \text{min})$ infundiert werden. Das Infusionsvolumen soll $30,00 \text{ mL}$ pro Stunde betragen. Welche Massenkonzentration (mg/L) muss die Infusionslösung haben?

12.146 Ein Medikament verursacht als unangenehme Nebenwirkung in Abhängigkeit der Konzentration starke Kopfschmerzen. Folgende Beziehung zwischen Wirkstoffkonzentration und Nebenwirkung wurden ermittelt.

$n_{\text{Versuchspatienten}}$	50	49	50	50	47	49
$n_{\text{Patienten mit Nebenwirkungen}}$	0	2	7	16	29	48
$d_{\text{Wirkstoff}} (\mu\text{g}/\text{kg})$	0	50	100	150	200	250

Ermitteln Sie grafisch, bei welcher Wirkstoffdosis 50 % der Patienten unter Kopfschmerzen leiden.

12.147 Sie besitzen im Labor eine Trypsin-Stammlösung mit einer Trypsinkonzentration von $10,00 \text{ mmol/L}$. Für eine Enzymreaktion werden $50,00 \text{ mL}$ Trypsinlösung mit einer Konzentration von $0,2000 \text{ mmol/L}$ benötigt. Wie viele Milliliter Stammlösung müssen abgemessen werden?

12.148 Eine Rebenversuchsfläche soll gegen Mehltau behandelt werden. Gemäß Vorschrift muss eine Applikationsmassenanteil von $25,00 \text{ g Wirkstoff}/10 \text{ kg}$ einsatzfähiges Fungizidpulver eingehalten werden. Ihnen steht ein pulverförmiges Fungizidkonzentrat SP 25 zur Verfügung. Wie viele Gramm Konzentrat benötigen Sie, um $12,00 \text{ kg}$ einsatzfähiges Fungizid herzustellen?

12.149 Sie benötigen für einen Versuch eine KOH-Lösung mit $c_{\text{KOH}} = 2,500 \mu\text{mol/L}$. Mit wie vielen Millilitern Wasser müssen Sie $100,0 \text{ mL}$ Stammlösung ($c_{\text{KOH}} = 1,500 \text{ mmol/L}$) verdünnen?

12.150 Ein Druckgefäß mit einem Volumen von $45,50 \text{ L}$ enthält $25,00 \text{ mL}$ Wasser mit einer Temperatur von 20°C ($\rho_{\text{Wasser } 20^\circ\text{C}} = 0,9998 \text{ kg/L}$). Wie groß ist der Druck im Gefäß, wenn die Temperatur auf 220°C erhöht wird, sodass das gesamte Wasser verdampft?

Der Umgebungsdruck liegt während des ganzen Vorgangs bei $0,9686 \text{ bar}$. Beachten Sie, dass auch die anfänglich im Gefäß enthaltene Luft sich ausdehnt und zur Druckerhöhung beiträgt ($1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$).

12.151 Sie bestimmen in einer Kultur von Rhabarber-Protoplasten den Oxalsäuregehalt des Nährmediums. Hierzu entnehmen sie $123,8 \text{ mL}$ Medium und bestimmen titrimetrisch den Oxalsäuregehalt. Dabei verbrauchen Sie $69,64 \text{ mL}$ NaOH ($c_{\text{NaOH}} = 1,000 \text{ mmol/L}$). Wie groß ist die Massenkonzentration der Oxalsäure (HOOC-COOH) im Medium in mg/L ?

12.152 In Ihrem Gaslager hinter dem Labor steht eine Druckflasche, gefüllt mit Wasserstoffgas. Bei einer Temperatur von 14°C zeigt das Manometer an der Flasche einen Druck von 186,5 bar an. Um wie viele Bar steigt der Druck, wenn Sie die Flasche ins Labor stellen und sich das Gas auf 22°C aufwärmt?

12.153 Einem pulverförmigen Fungizid entnehmen Sie 200,0 mg, geben es in einen Messkolben, füllen mit Wasser auf 100,0 mL auf und lösen das Pulver vollständig. Eine fotometrische Bestimmung ergibt bei einer Schichtdicke von 1 cm eine Extinktion von 0,5580. Wie groß ist der prozentuale Massenanteil des Wirkstoffs im Fungizidpulver ($\epsilon_{\text{sp Wirkstoff}} = 89,60 \text{ L}/(\text{g} \cdot \text{cm})$)?

12.154 Sie müssen einen Milchsäurepuffer mit pH 3,00 herstellen ($\text{p}K_{\text{S}} = 3,08$). Wie viele Gramm Natriumlactat ($\text{H}_3\text{C}-\text{CHOH}-\text{COONa}$) müssen Sie mit 20,00 g Milchsäure ($\text{H}_3\text{C}-\text{CHOH}-\text{COOH}$) mischen und mit Wasser auf 200,0 mL auffüllen, um einen Puffer mit dem gewünschten pH-Wert zu erhalten?

12.155 Durch eine $\frac{3}{4}$ -Zoll-Wasserleitung (1 Zoll = 2,54 cm) fließen pro Stunde $5,412 \text{ m}^3$ Wasser. Wie groß ist die mittlere Strömungsgeschwindigkeit in der Leitung in km/h?

12.156 Von einem neuen Kontaktinsektizid soll dessen Wirksamkeit gegen Kirschfliegen (*Rhagoletis cerasi*) getestet werden. Ihre Stammlösung hat eine Massenkonzentration von 250,0 g Wirkstoff pro Liter. Für den Versuch stellen Sie eine Verdünnungsreihe her, indem Sie jeweils 20,00 mL Übertragungsvolumen mit Wasser auf 120,0 mL auffüllen. Anschließend tauchen Sie jeweils zehn halbreife Kirschen pro Verdünnung in die Versuchslösung, lassen die Früchte kurz abtropfen und geben Sie in einen Gazekäfig mit jeweils 50 Kirschfliegen. Nach 2 h ermitteln Sie die Todesrate bei den Kirschfliegen.

Mit welcher Insektizid-Massenkonzentration müssen die Kirschen behandelt werden, um eine Todesrate der Kirschfliegen von 50 % zu erreichen? Ermitteln Sie grafisch, mit welcher Insektizid-Massenkonzentration eine 50 %ige Mortalität erreicht wird.

Verdünnung 1:	50 tote Kirschfliegen
Verdünnung 2:	49 tote Kirschfliegen
Verdünnung 3:	48 tote Kirschfliegen
Verdünnung 4:	45 tote Kirschfliegen
Verdünnung 5:	40 tote Kirschfliegen
Verdünnung 6:	31 tote Kirschfliegen
Verdünnung 7:	19 tote Kirschfliegen
Verdünnung 8:	10 tote Kirschfliegen
Verdünnung 9:	4 tote Kirschfliegen
Verdünnung 10:	2 tote Kirschfliegen
Kontrolle:	0 tote Kirschfliegen

12.157 Sie mischen 50,00 mL Mangan(II)-sulfat-Tetrahydrat-Lösung ($\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) mit einer Stoffmengenkonzentration von $12,00 \mu\text{mol/L}$ mit 25,00 mL Zinksulfat-Heptahydrat-Lösung ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) mit einer Stoffmengenkonzentration von $35,00 \mu\text{mol/L}$. Wie groß ist die Stoffmengenkonzentration des Zinks (Zn) in der Mischung?

12.158 Sie sollen 300,0 mL Stammlösung herstellen, aus der durch eine Verdünnung um den Faktor 1000 eine Spurenelementlösung hergestellt werden kann, die $0,5500 \mu\text{g}$ Strontium (Sr) pro Liter enthält. Ihnen steht hierfür Strontiumchlorid-Hexahydrat ($\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) zur Verfügung. Wie viele Milligramm Strontiumchlorid-Hexahydrat müssen Sie einwiegen, um 300,0 mL Stammlösung herzustellen?

12.159 Zu einem Rest von 265,3 g eines Fungizides WP 35 werden 400,0 g desselben Fungizides, aber in der Formulierung WP 25, hinzugefügt und mit Kalkpulver auf 1,000 kg aufgefüllt. Wie groß ist der prozentuale Massenanteil des Wirkstoffs im Gemisch?

12.160 In einer Zählkammer ($1,0 \text{ mm} \times 1,0 \text{ mm} \times 0,2 \text{ mm}$) zählen Sie 724 Kokken (kugelförmige Bakterien) mit einem mittleren Durchmesser von 890 nm. Wie viele Mikroliter Bakterien sind in 1,000 L der untersuchten Bakterienlösung enthalten?

12.161 Sie müssen ermitteln, mit welcher Geschwindigkeit ein Enzym Cobalamin abbauen kann. Hierzu schließen Sie 6,835 g enzymproduzierende Zellen mittels Ultraschall auf. 483,2 mg dieses Homogenisats füllen Sie mit Wasser auf 50,00 mL auf und mischen die entstandene Zellsuspension mit 100,00 mL Cobalaminlösung ($\beta_{\text{Cobalamin}} = 500,0 \text{ mg/L}$, $M_{\text{Cobalamin}} = 1355,37 \text{ g/mol}$, $\varepsilon_{\text{Cobalamin}} = 1,100 \cdot 10^4 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm})$). Nach 60 min bestimmen Sie fotometrisch in einer 1-cm-Küvette die Massenkonzentration des Cobalamins und ermitteln dabei eine Extinktion von 0,7083. Wie viele Milligramm Cobalamin bauen die in 1,000 g Homogenisat enthaltenen Enzyme pro Minute ab?

12.162 In einem Fraßversuch werden 10 Larven gewogen (Gewicht in mg):

- 12. Tag: 153; 158; 156; 154; 158; 155; 159; 150; 157; 160
- 13. Tag: 201; 219; 215; 213; 207 204; 218; 203; 211; 209

Berechnen Sie aus den gegebenen Werten und Formeln den arithmetischen Mittelwert ($\bar{\varnothing}$) sowie die Standardabweichung (s) der Massenzunahme der Larven zwischen Tag 12 und Tag 13.

12.163 Sie geben 9,000 mL einer Proteinlösung ($\beta_{\text{Protein}} = 1,000 \text{ g/L}$) in ein Gefäß und fügen 1,000 mL einer proteolytischen Enzymlösung hinzu. Das Enzym spaltet die Proteinketten unter Wasseraufnahme in die freien Aminosäuren. Mit dieser

Aminosäurelösung befüllen Sie fünf 0,5-cm-Küvetten. Die damit durchgeführten, fotometrischen Messungen ergeben folgende Extinktionen:

$$E_1 = 0,2465$$

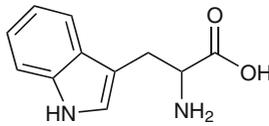
$$E_2 = 0,2463$$

$$E_3 = 0,2464$$

$$E_4 = 0,2467$$

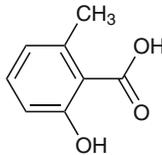
$$E_5 = 0,2466$$

Wie groß ist der Massenanteil (w) der Aminosäure Tryptophan im Protein ($M_{\text{Tryptophan}} = 204,228 \text{ g/mol}$; $\varepsilon_{\text{Tryptophan}} = 5600 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm})$)?



Tryptophan

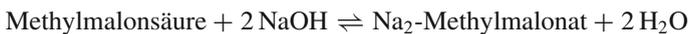
12.164 Sie besitzen im Labor eine 6-Methylsalicylsäure-Lösung ($c_{\text{MSC}} = 100,0 \text{ mmol/L}$). Für einen Versuch benötigen Sie eine Lösung mit einem Massenanteil von 250,0 mg 6-Methylsalicylsäure pro Liter. Mit wie vielen Millilitern Wasser müssen Sie Ihre Stammlösung verdünnen, um 100,0 mL Lösung mit der gewünschten Konzentration zu erhalten?



6-Methylsalicylsäure

12.165 Bei einem Mangel an Vitamin B12 produziert unser Körper übermäßig viel Methylmalonyl-Coenzym A, das zu Methylmalonsäure metabolisiert wird. Diese Säure kann im Blut der meisten betroffenen Patienten in einer erhöhten Konzentration nachgewiesen werden. Um die gaschromatographische Analyse von Methylmalonsäure im Blutplasma eichen zu können, wird eine entsprechende Eichlösung benötigt. Sie sollen die Genauigkeit einer solchen Eichlösung kontrollieren.

Hierzu titrieren Sie 20,00 mL Methylmalonsäure-Eichlösung mit Natronlauge ($c_{\text{NaOH}} = 10,00 \text{ mmol/l}$). Bis zum Umschlagpunkt verbrauchen Sie 39,98 mL Natronlauge. Wie gross ist die Stoffmengenkonzentration (c) der Methylmalonsäure in der Eichlösung?



12.166 Für eine Analyse benötigen Sie 320,0 mL Kaliumchloridlösung mit einer Stoffmengenkonzentration von $c_{\text{KCl}} = 250,0 \text{ mmol/L}$. Zur Herstellung steht eine KCl-Lösung mit einem Massenanteil $w_{\text{KCl}} = 12,00 \%$ zur Verfügung. Wie viele Gramm Kaliumchlorid-Lösung müssen Sie abmessen, um die gewünschte Lösung herzustellen?

12.167 Reispflanzen sollen gegen die Reismotte (*Corcyra cephalonica*) mit einem *Bacillus-thuringiensis*-Endosporenpräparat behandelt werden. Jeder Pflanze sollen durchschnittlich $3,800 \cdot 10^5$ Sporen appliziert werden. Wie vielen Liter Sporensuspension müssen zur Behandlung von 100 jungen Reispflanzen angerührt werden, wenn das zur Verfügung stehende Fertigpräparat eine Sporenkonzentration von $8,550 \cdot 10^6$ Sporen pro Liter enthält?

12.168 Für einen Versuch benötigen Sie 100,0 mL einer Zellsuspension mit einer Konzentration von 800 Zellen pro 50,00 μl . Zur Verfügung stehen eine Stammsuspension mit $2,605 \cdot 10^5$ Zellen/mL und isotonische Kochsalzlösung als Verdünnungsmittel.

- Wie viele Milliliter Zellsuspension müssen für den Versuch bereitgestellt werden?
- Wie viele Milliliter isotonische Kochsalzlösung werden zur Verdünnung der Stammsuspension benötigt?

12.169 21,50 g einer eisenhaltigen Gesteinsprobe werden mit Säure aufgelöst. Das entstandene Fe^{3+} wird durch Zugabe eines Reduktionsmittels zu Fe^{2+} reduziert. Mit einem Chelatbildner wird die Lösung auf 250,0 mL aufgefüllt. Das Fe^{2+} bildet dadurch einen roten Chelatkomplex mit einem molaren Extinktionskoeffizienten $\varepsilon = 21.500 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm})$. Die Extinktion der Lösung in einer 2-cm-Küvette beträgt 0,2310. Wie viele Milligramm Eisen sind in 1,000 kg Gestein enthalten?

12.170 In 50,00 mL K_2HPO_4 -Lösung ($c_{\text{Kaliumhydrogenphosphat}} = 250,0 \text{ mmol/L}$) werden 2,000 g KH_2PO_4 gelöst und mit Wasser auf 100,0 mL aufgefüllt. Wie groß ist der pH-Wert des Gemischs? ($\text{p}K_S = 7,21$)

12.171 Magnesium lässt sich im Serum mittels Fluoreszenzspektroskopie über den Fluoreszenzkomplex 2,2-Dihydroxyazobenzen (diHAB) quantitativ bestimmen. 2,000 mL Serum werden in ein Zentrifugationsröhrchen pipettiert und zur Fällung der Proteine mit 6,000 mL Trichloressigsäure versetzt. Nach der Zentrifugation wird 1,000 mL der Probe in einen Messkolben pipettiert und 10,00 mL diHAB-Lösung zugegeben. Anschließend wird mit Ethanol auf 25,00 mL aufgefüllt und gemessen.

Tab. 12.11 Magnesiumnachweis mittels Fluoreszenzspektroskopie

	Zugabe Mg-Standardlösung	Fluoreszenz
Kalibrierlösung 1	0,50 mL	20,4
Kalibrierlösung 2	1,00 mL	39,8
Kalibrierlösung 3	1,50 mL	59,3
Kalibrierlösung 4	2,00 mL	81,0
Probelösung		48,5

Zum Kalibrieren werden vier separate Kalibrierlösungen gemäß Tab. 12.11 mit einer Magnesium-Standardlösung ($\beta_{\text{Mg}} = 10,00 \text{ mg/L}$) versetzt und mit Ethanol auf 50,00 mL verdünnt. Wie groß ist die Stoffmengenkonzentration c_{Mg} (mmol/L) im Serum?

12.172 5,000 g einer hydrathaltigen zweiprotonigen Säure verbrauchen zur Titration 45,49 mL Natronlauge ($c_{\text{NaOH}} = 1,032 \text{ mol/L}$). 100,0 g Analysenmaterial enthalten 16,90 g H_2O . Wie viele Moleküle Kristallwasser entfallen auf ein Molekül Säure?

12.173 Der Wirkstoff eines Hustenmedikaments wird mittels UV-Spektroskopie bestimmt. Dazu wird eine Tablette zerbröselt, in Methanol gelöst und auf 100,0 mL verdünnt. 10,00 mL davon werden erneut auf 50,00 mL verdünnt. Die Extinktion E wird in einer 1-cm-Küvette bei $\lambda = 284 \text{ nm}$ gemessen. Sie beträgt 0,156. Wie viele Milligramm Wirkstoff sind in einer Tablette enthalten ($M_{\text{Wirkstoff}} = 424,4 \text{ g/mol}$, $\varepsilon_{\text{Wirkstoff}} = 1563 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm})$)

12.174 Die Säurezahl gibt an, wie viele Milligramm KOH zur Neutralisation der in 1,000 g Fett enthaltenen freien Fettsäuren benötigt werden. Sie lösen zur Bestimmung der Säurezahl 5,0134 g Fett in Ethanol und titrieren mit ethanolischer KOH-Lösung. Dabei verbrauchen Sie 1,471 mL KOH-Maßlösung ($c_{\text{KOH}} = 100,0 \text{ mmol/L}$). Wie groß ist die Säurezahl dieses Fettes?

12.175 Eine Bakterien-Stammsuspension wird zunächst 1 : 20 (1 Teil Suspension + 19 Teile Wasser) verdünnt. Von dieser Verdünnung 1 wird eine Verdünnungsreihe hergestellt, indem jeweils 2,000 mL Übertragsvolumen auf 10,00 mL aufgefüllt werden. Von der Verdünnung 7 werden 1,000 mL auf ein Vollmedium ausplattiert und inkubiert. Nach 36 h finden sich auf der Platte 11 Bakterienkolonien. Wie groß war die Bakterienkonzentration (Bakterien/L) in der Stammsuspension?



13.1 Lösungen zu Kap. 1 – Mathematische Grundlagen

13.1.1 Lösungen Abschn. 1.4 – Komplexe Formeln

1.4.1.

0,17827693

1.4.2.

16,24599872

1.4.3.

0,043160980

1.4.4.

0,045395034

1.4.5.

0,0624165492

1.4.6.

$2,8923447 \cdot 10^{-4}$

1.4.7.

2,792170261

1.4.8.

97,28919271

1.4.9.

0,005262019565

1.4.10.

99,82619574

1.4.11. $1,4812620 \cdot 10^{-6}$ **13.12 Lösungen Abschn. 1.5 – Umformen von Gleichungen****1.5.1.**

$$a = \frac{v_1 - v_2}{t}$$

$$a \cdot t = v_1 - v_2$$

$$a \cdot t + v_2 = v_1$$

$$v_2 = \underline{\underline{v_1 - a \cdot t}}$$

1.5.2.

$$P = R \cdot I^2$$

$$\frac{P}{R} = I^2$$

$$\sqrt{I^2} = \sqrt{\frac{P}{R}}$$

$$I = \underline{\underline{\sqrt{\frac{P}{R}}}}$$

1.5.3.

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

$$n \cdot R \cdot T = p \cdot V$$

$$T = \underline{\underline{\frac{p \cdot V}{n \cdot R}}}$$

1.5.4.

$$U = (R_1 + R_2) \cdot I$$

$$(R_1 + R_2) \cdot I = U$$

$$R_1 + R_2 = \frac{U}{I}$$

$$R_2 = \underline{\underline{\frac{U}{I} - R_1}}$$

1.5.5.

$$m \cdot g \cdot h = \frac{m}{2} \cdot v^2$$

$$v^2 = \frac{2 \cdot m \cdot g \cdot h}{m}$$

$$v = \underline{\underline{\sqrt{2 \cdot g \cdot h}}}$$

1.5.6.

$$E = \beta \cdot \varepsilon_{\text{sp}} \cdot d$$

$$\beta = \frac{E}{\underline{\underline{\varepsilon_{\text{sp}} \cdot d}}}$$

1.5.7.

$$c_{\text{Säure}} \cdot V_{\text{Säure}} \cdot n_{\text{Säure}} = c_{\text{Base}} \cdot V_{\text{Base}}$$

$$c_{\text{Säure}} = \frac{c_{\text{Base}} \cdot V_{\text{Base}}}{\underline{\underline{V_{\text{Säure}} \cdot n_{\text{Säure}}}}}$$

1.5.8.

$$c_1 \cdot V_1 = c_{\text{total}} \cdot (V_1 + V_2)$$

$$= c_{\text{total}} \cdot V_1 + c_{\text{total}} \cdot V_2$$

$$c_1 \cdot V_1 - c_{\text{total}} \cdot V_1 = c_{\text{total}} \cdot V_2$$

$$V_2 = \frac{c_1 \cdot V_1 - c_{\text{total}} \cdot V_1}{\underline{\underline{c_{\text{total}}}}}$$

oder

$$c_1 \cdot V_1 = c_{\text{total}} \cdot (V_1 + V_2)$$

$$\frac{c_1 \cdot V_1}{c_{\text{total}}} = V_1 + V_2$$

$$V_2 = \frac{c_1 \cdot V_1}{\underline{\underline{c_{\text{total}}}}} - V_1$$

1.5.9.

$$\beta_1 \cdot V_1 + c_2 \cdot M_2 \cdot V_2 = \beta_{\text{total}} \cdot (V_1 + V_2)$$

$$\beta_1 \cdot V_1 + c_2 \cdot M_2 \cdot V_2 = \beta_{\text{total}} \cdot V_1 + \beta_{\text{total}} \cdot V_2$$

$$c_2 \cdot M_2 \cdot V_2 - \beta_{\text{total}} \cdot V_2 = \beta_{\text{total}} \cdot V_1 - \beta_1 \cdot V_1$$

$$V_2 \cdot (c_2 \cdot M_2 - \beta_{\text{total}}) = \beta_{\text{total}} \cdot V_1 - \beta_1 \cdot V_1$$

$$V_2 = \frac{\beta_{\text{total}} \cdot V_1 - \beta_1 \cdot V_1}{\underline{\underline{c_2 \cdot M_2 - \beta_{\text{total}}}}}$$

1.5.10.

$$F_{\text{Auftrieb}} = \frac{4}{3} \cdot (r_{\text{Kugel}})^3 \cdot \pi \cdot (\rho_{\text{Flüssigkeit}} - \rho_{\text{Kugel}})$$

$$(r_{\text{Kugel}})^3 = \frac{3 \cdot F_{\text{Auftrieb}}}{4 \cdot \pi \cdot (\rho_{\text{Fl.}} - \rho_{\text{Kugel}})}$$

$$r_{\text{Kugel}} = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot F_{\text{Auftrieb}}}{4 \cdot \pi \cdot (\rho_{\text{Fl.}} - \rho_{\text{Kugel}})}}$$

1.5.11.

$$\sqrt{a^2 + b^2} = \frac{a}{\sin \alpha}$$

$$a^2 + b^2 = \frac{a^2}{\sin^2 \alpha}$$

$$\sin^2 \alpha \cdot (a^2 + b^2) = a^2$$

$$\sin^2 \alpha \cdot a^2 + \sin^2 \alpha \cdot b^2 = a^2$$

$$b^2 \cdot \sin^2 \alpha = a^2 - a^2 \cdot \sin^2 \alpha$$

$$b^2 = \frac{a^2 - a^2 \cdot \sin^2 \alpha}{\sin^2 \alpha}$$

$$= \frac{a^2}{\sin^2 \alpha} - \frac{a^2 \cdot \sin^2 \alpha}{\sin^2 \alpha}$$

$$= \frac{a^2}{\sin^2 \alpha} - a^2$$

$$b = \sqrt{\frac{a^2}{\sin^2 \alpha} - a^2}$$

13.13 Lösungen Abschn. 1.6 – Genauigkeit und Formate**1.6.1.**

- b) 7,145 g, c) $1,112 \cdot 10^5$ L, e) $15,41 \cdot 10^{-6}$ s, f) 12,14 h, g) $47,00 \cdot 10^5$ A, h) 2,011 mg,
i) 0,004175 g

1.6.2.

	FIX	SCI	ENG
0,1467 s	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
$22,03 \cdot 10^{-6}$ m	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
$1,093 \cdot 10^8$ g	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
0,337 cm	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1251 km ²	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
$0,315 \cdot 10^{-9}$ mol	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
$18,404 \cdot 10^{-2}$ g/L	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
98,00 km	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
$71,44 \cdot 10^{12}$ N	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

13.1.4 Lösungen zu Abschn. 1.7 – SI-Einheiten, Basisgrößen und abgeleitete Größen

1.7.1.

$$152,0 \text{ dL} = \underline{\underline{15,20 \text{ L}}}$$

$$1,231 \text{ m}^3 = \underline{\underline{1231 \text{ L}}}$$

$$0,5396 \text{ L} = \underline{\underline{539,6 \text{ mL}}}$$

$$142,8 \text{ cm}^3 = \underline{\underline{1,428 \text{ dL}}}$$

$$1250 \text{ mm}^3 = \underline{\underline{1,250 \text{ mL}}}$$

$$12,50 \cdot 10^8 \mu\text{L} = \underline{\underline{1250 \text{ L}}}$$

$$0,8911 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 = \underline{\underline{891,1 \mu\text{L}}}$$

$$1,539 \cdot 10^{10} \mu\text{m}^3 = \underline{\underline{0,01539 \text{ mL}}}$$

$$8,994 \cdot 10^{12} \text{ nL} = \underline{\underline{8994 \text{ L}}}$$

$$678,1 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 = \underline{\underline{6,781 \text{ dL}}}$$

$$36,00 \text{ km/h} = \underline{\underline{10,00 \text{ m/s}}}$$

1.7.2.

gegeben:

$$\varnothing_{\text{Schale}} = 12 \text{ cm} \Rightarrow r = 6 \text{ cm}$$

$$V_{\text{Zylinder}} = 100,0 \text{ cm}^3$$

gesucht:

h

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Zylinder}} &= A_{\text{Kreis}} \cdot h \\
 h &= \frac{V_{\text{Zylinder}}}{r^2 \cdot \pi} \\
 &= \frac{100 \text{ cm}^3}{(6 \text{ cm})^2 \cdot \pi} \\
 &= 0,8842 \text{ cm} \\
 &= \underline{\underline{8,842 \text{ mm}}}
 \end{aligned}$$

1.7.3.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Zylinder}} &= 112,0 \text{ g} \\
 m_{\text{total}} &= 190,9 \text{ g} \\
 V_{\text{Ethanol}} &= 100,0 \text{ mL}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$\rho_{\text{Ethanol}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{Ethanol}} &= \frac{m_{\text{Ethanol}}}{V_{\text{Ethanol}}} \\
 &= \frac{m_{\text{total}} - m_{\text{Zylinder}}}{V_{\text{Ethanol}}} \\
 &= \frac{190,9 \text{ g} - 112 \text{ g}}{100 \text{ mL}} \\
 &= \underline{\underline{0,7890 \text{ g/mL}}}
 \end{aligned}$$

1.7.4.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 \emptyset_{\text{Reagenzglas}} &= 1,80 \text{ cm} \Rightarrow r_{\text{Reagenzglas}} = 0,90 \text{ cm} \\
 h_{\text{Zuckerlösung}} &= 10 \text{ cm} \Rightarrow h_{\text{Zylinder}} = 10 \text{ cm} - 0,90 \text{ cm} = 9,10 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$V_{\text{Zuckerlösung}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} V_{\text{Zylinder}} &= A_{\text{Kreis}} \cdot h_{\text{Zuckerlösung}} \\ &= r^2 \cdot \pi \cdot h_{\text{Zuckerlösung}} \\ &= (0,9 \text{ cm})^2 \cdot \pi \cdot 9,10 \text{ cm} \\ &= 23,15668 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{Kugel}} &= \frac{4}{3} \cdot r^3_{\text{Kugel}} \cdot \pi \\ V_{\text{Halbkugel}} &= \frac{\frac{4}{3} \cdot r^3_{\text{Kugel}} \cdot \pi}{2} \\ &= \frac{\frac{4}{3} \cdot (0,9 \text{ cm})^3 \cdot \pi}{2} \\ &= 1,52681 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{Zuckerlösung}} &= V_{\text{Zylinder}} + V_{\text{Halbkugel}} \\ &= 23,15668 \text{ cm}^3 + 1,52681 \text{ cm}^3 \\ &= \underline{\underline{24,68 \text{ mL}}} \end{aligned}$$

1.7.5.

gegeben:

$$\begin{aligned} c_{\text{Zellen}} &= 8.259.354 \text{ Zellen/L} \\ \varnothing_{\text{Zellen}} &= 214,0 \mu\text{m} \Rightarrow r_{\text{Zellen}} = 107,0 \mu\text{m} \\ &= 1,070 \cdot 10^{-2} \text{ cm} \end{aligned}$$

gesucht:

$$\sigma_{\text{Zellen}} \text{ (Volumenanteil)}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} V_{\text{Zelle}} &= \frac{4}{3} \cdot r^3_{\text{Zelle}} \cdot \pi \\ &= \frac{4}{3} \cdot (1,07 \cdot 10^{-2} \text{ cm})^3 \cdot \pi \\ &= 5,1314481 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^3 \\ &= 5,1314481 \cdot 10^{-6} \text{ mL} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_{\text{Zellen}} &= \frac{V_{\text{Zelle}} \cdot n_{\text{Zellen}}}{1 \text{ L}} \\
 &= \frac{5,1314481 \cdot 10^{-6} \text{ mL/Zelle} \cdot 8.259.354 \text{ Zellen}}{1 \text{ L}} \\
 &= 42,38 \text{ mL/L} \\
 &= 42,38 \text{ mL}/1000 \text{ mL} \\
 &= \underline{\underline{42,38 \text{ ‰}}}
 \end{aligned}$$

1.7.6.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 c_{\text{Thrombocyten}} &= 3,5 \cdot 10^{11} \text{ Zellen/L} \\
 V_{\text{Thrombocyte}} &= 16,2 \text{ m}^3/\text{Zelle} \\
 V_{\text{Blut}} &= 5,5 \text{ L}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$V_{\text{Thrombocyten insgesamt}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 n_{\text{Thrombocyten}} &= c_{\text{Thrombocyten}} \cdot V_{\text{Blut}} \\
 &= 3,5 \cdot 10^{11} \text{ Zellen/L} \cdot 5,5 \text{ L} \\
 &= 1,925 \cdot 10^{12} \text{ Zellen} \\
 V_{\text{Thrombocyten insgesamt}} &= n_{\text{Thrombocyten}} \cdot V_{\text{Thrombocyte}} \\
 &= 1,925 \cdot 10^{12} \text{ Zellen} \cdot 16,2 \text{ m}^3/\text{Zelle} \\
 &= 3,1185 \cdot 10^{13} \text{ m}^3 \\
 &= \underline{\underline{31,19 \text{ cm}^3}}
 \end{aligned}$$

1.7.7.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 \varnothing_{\text{Leukocyte}} &= 10 \text{ } \mu\text{m} \\
 c_{\text{Leukocyten}} &= 10.000 \text{ Zellen}/\mu\text{L Blut} \\
 V_{\text{Blut}} &= 6 \text{ L} = 6.000.000 \text{ } \mu\text{L}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$A_{\text{Leukocyten insgesamt}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 n_{\text{Leukocyten}} &= c_{\text{Leukocyten}} \cdot V_{\text{Blut}} \\
 &= 10.000 \text{ Zellen}/\mu\text{L Blut} \cdot 6.000.000 \mu\text{L} \\
 &= 6 \cdot 10^{10} \text{ Zellen} \\
 A_{\text{Leukocyte}} &= (\varnothing_{\text{Leukocyte}})^2 \cdot \pi \\
 &= (10 \mu\text{m})^2 \cdot \pi \\
 &= (10^{-5} \text{ m})^2 \cdot \pi \\
 &= 3,1415926 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2 \\
 A_{\text{Leukocyten insgesamt}} &= A_{\text{Leukocyte}} \cdot n_{\text{Leukocyten}} \\
 &= 3,1415926 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{Zelle} \cdot 6 \cdot 10^{10} \text{ Zellen} \\
 &= \underline{\underline{18,85 \text{ m}^2}}
 \end{aligned}$$

1.7.8.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 l_{\text{Schlauch}} &= 2,5 \text{ m} \\
 \varnothing_{\text{Schlauch}} &= 1,5 \text{ mm} \Rightarrow r_{\text{Schlauch}} = 0,075 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$V_{\text{Schlauch}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Schlauch}} &= (r_{\text{Schlauch}})^2 \cdot \pi \cdot L \\
 &= (0,075 \text{ cm})^2 \cdot \pi \cdot 250 \text{ cm} \\
 &= 4,417864669 \text{ cm}^3 \\
 &= \underline{\underline{4,418 \text{ mL}}}
 \end{aligned}$$

1.7.9.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Sekret}} &= 2 \mu\text{L} \\
 A_{\text{Ausstrich}} &= 1 \text{ cm}^2 \\
 n_{\text{Blickfelder}} &= 25 \\
 \varnothing_{\text{Blickfeld}} &= 0,2 \text{ mm} \Rightarrow r_{\text{Blickfeld}} = 0,1 \text{ mm} \\
 n_{\text{Keime}} &= 116
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$c_{\text{Keime}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} A_{\text{Blickfelder}} &= (r_{\text{Blickfeld}})^2 \cdot \pi \cdot n_{\text{Blickfelder}} \\ &= (0,1 \text{ mm})^2 \cdot \pi \cdot 25 \\ &= 0,7853981634 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \gamma_{\text{Keime}} &= \frac{n_{\text{Keime}}}{A_{\text{Blickfelder}}} \\ &= \frac{116 \text{ Keime}}{0,7853981634 \text{ mm}^2} \\ &= 147,6957872 \text{ Keime/mm}^2 \\ &= 14769,57872 \text{ Keime/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c_{\text{Keime}} &= \frac{\gamma_{\text{Keime}}}{V_{\text{Sekret}}} \\ &= \frac{14769,57872 \text{ Keime}}{2 \mu\text{L}} \\ &= 7384,78936 \text{ Keime}/\mu\text{L} \\ &= \underline{\underline{7,385 \cdot 10^6 \text{ Keime/mL}}} \end{aligned}$$

1.7.10.

gegeben:

$$\begin{aligned} n_{\text{Quadrate}} &= 4 \\ n_{\text{Quadrat}} &= 0,025 \text{ cm} \\ h_{\text{Quadrat}} &= 0,01 \text{ cm} \\ n_{\text{Zellen}} &= 60 \\ V_{\text{Suspension}} &= 100 \text{ mL} \end{aligned}$$

gesucht:

$$c_{\text{Zellen}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} V_{\text{Zählkammer}} &= L^2 \cdot h \\ &= (0,025 \text{ cm})^2 \cdot 0,01 \text{ cm} \\ &= 6,25 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^3 \\ &= 6,25 \cdot 10^{-6} \text{ mL} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c_{\text{Zellen}} &= \frac{n_{\text{Zellen}}}{n_{\text{Quadrate}} \cdot V_{\text{Zählkammer}}} \\
 &= \frac{60 \text{ Zellen}}{4 \cdot 6,25 \cdot 10^{-6} \text{ mL}} \\
 &= 2.400.000 \text{ Zellen/mL} \\
 &= \underline{\underline{2,400 \cdot 10^8 \text{ Zellen/100 mL}}}
 \end{aligned}$$

1.7.11.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Suspension}} &= 1 \mu\text{L} \\
 A_{\text{Ausstrich}} &= 0,8 \text{ cm}^2 \\
 n_{\text{Ges.-Felder}} &= 40 \\
 \varnothing_{\text{Ges.-Feld}} &= 0,25 \text{ mm} \Rightarrow r_{\text{Ges.-Feld}} = 0,0125 \text{ cm} \\
 n_{\text{Zellen}} &= 81
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$c_{\text{Zellen}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 A_{\text{Ges.-Feld}} &= (r_{\text{Ges.-Felder}})^2 \cdot \pi \\
 &= (0,0125 \text{ cm})^2 \cdot \pi \\
 &= 4,9087385 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2 \\
 A_{\text{Ges.-Felder}} &= A_{\text{Ges.-Feld}} \cdot n_{\text{Ges.-Felder}} \\
 &= 4,9087385 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2 \cdot 40 \\
 &= 0,0196349540 \text{ cm}^2 \\
 n_{\text{Zellen insgesamt}} &= \frac{n_{\text{Zellen}} \cdot A_{\text{Ausstrich}}}{A_{\text{Ges.-Felder}}} \\
 &= \frac{81 \text{ Zellen} \cdot 0,8 \text{ cm}^2}{0,0196349540 \text{ cm}^2} \\
 &= 3300,236901 \text{ Zellen} \\
 c_{\text{Zellen}} &= 3300,236901 \text{ Zellen}/\mu\text{L} \\
 &= \underline{\underline{3,300 \cdot 10^6 \text{ Zellen/mL}}}
 \end{aligned}$$

1.7.12.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 \varnothing_{\text{Bakt.}} &= 3,15 \mu\text{m} \Rightarrow r_{\text{Bakt.}} = 1,575 \mu\text{m} = 0,001575 \text{ mm} \\
 n_{\text{Bakt.}} &= 5 \cdot 10^9 \text{ Bakterien}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$V_{\text{Bakterium}}$ und $V_{\text{Bakterien total}}$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Bakterium}} &= \frac{4}{3} \cdot (r_{\text{Bakt.}})^3 \cdot \pi \\
 &= \frac{4}{3} \cdot (0,001575 \mu\text{m})^3 \cdot \pi \\
 &= \underline{\underline{16,37 \mu\text{m}^3}} \\
 V_{\text{Bakterien total}} &= V_{\text{Bakt.}} \cdot n_{\text{Bakt.}} \\
 &= 16,37 \mu\text{m}^3 / \text{Bakt.} \cdot 5 \cdot 10^9 \text{ Bakt.} \\
 &= 81,827689 \cdot 10^9 \mu\text{m}^3 \\
 &= 81,827689 \text{ mm}^3 \\
 &= \underline{\underline{81,83 \mu\text{L}}}
 \end{aligned}$$

1.7.13.

gegeben:

$$h_{\text{Regen}} = 56,50 \text{ mm}$$

gesucht:

$$V_{\text{Regen}} (\text{pro m}^2)$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Regen}} &= l^2 \cdot h_{\text{Regen}} \\
 &= (10 \text{ dm})^2 \cdot 0,565 \text{ dm} \\
 &= \underline{\underline{56,50 \text{ L/m}^2}}
 \end{aligned}$$

1.7.14.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Antibiotikum}} &= 50 \text{ mg} \\
 V_{\text{Medium}} &= 1 \text{ L} \\
 \varnothing_{\text{Fermenter}} &= 6 \text{ dm} \Rightarrow r_{\text{Fermenter}} = 3 \text{ cm} \\
 h_{\text{Medium}} &= 8 \text{ dm} \\
 \text{Preis} &= \text{€ } 895 / 50 \text{ g}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$m_{\text{Antibiotikum insgesamt}}$ und Kosten

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Medium im Fermenter}} &= (r_{\text{Fermenter}})^2 \cdot \pi \cdot h_{\text{Medium}} \\
 &= (3 \text{ dm})^2 \cdot \pi \cdot 8 \text{ dm} \\
 &= 226,1946711 \text{ dm}^3 \\
 &= 226,1946711 \text{ L} \\
 m_{\text{Antibiotikum insgesamt}} &= m_{\text{Antibiotikum}} \cdot V_{\text{Medium im Fermenter}} \\
 &= \frac{50 \text{ mg}}{1 \text{ L}} \cdot 226,1946711 \text{ L} \\
 &= \underline{\underline{11,31 \text{ g}}} \\
 \text{Kosten} &= \text{Preis} \cdot m_{\text{Antibiotikum insgesamt}} \\
 &= \frac{\text{€ } 895}{50 \text{ g}} \cdot 11,31 \text{ g} \\
 &= \underline{\underline{\text{€ } 202,45}}
 \end{aligned}$$

1.7.15.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 \emptyset_{\text{Kolben}} &= 0,5 \text{ cm} \Rightarrow r_{\text{Kolben}} = 0,25 \text{ cm} \\
 V_{\text{Spritze}} &= 1 \text{ mL}
 \end{aligned}$$

gesucht:

h

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Spritze}} &= (r_{\text{Kolben}})^2 \cdot \pi \cdot h \\
 h &= \frac{V_{\text{Spritze}}}{(r_{\text{Kolben}})^2 \cdot \pi} \\
 &= \frac{1 \text{ cm}^3}{(0,25 \text{ cm})^2 \cdot \pi} \\
 &= \underline{\underline{50,93 \text{ mm}}}
 \end{aligned}$$

1.7.16.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 \emptyset_{\text{Silo}} &= 4,8 \text{ m} \Rightarrow r_{\text{Silo}} = 2,4 \text{ m} \\
 h_{\text{Silo}} &= 12 \text{ m} \\
 w_{\text{Füllung}} &= 95 \%
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$V_{\text{Mais}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} V_{\text{Mais}} &= (r_{\text{Silo}})^2 \cdot \pi \cdot h_{\text{Silo}} \cdot w_{\text{Füllung}} \\ &= (2,4 \text{ m})^2 \cdot \pi \cdot 12 \text{ m} \cdot 0,95 \\ &= \underline{\underline{206,3 \text{ m}^3}} \end{aligned}$$

1.7.17.

gegeben:

$$r_{\text{Erde}} = 6378 \text{ km}$$

$$t = 24 \text{ h}$$

gesucht:

$$v_{\text{Rotation}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} \text{Umfang} &= 2 \cdot r \cdot \pi \\ &= 2 \cdot 6378 \text{ km} \cdot \pi \\ &= 40.074,15589 \text{ km} \\ v_{\text{Rotation}} &= \frac{\text{Umfang}}{t} \\ &= \frac{40.074,15589 \text{ km}}{24 \text{ h}} \\ &= \underline{\underline{1670 \text{ km/h}}} \end{aligned}$$

1.7.18.

gegeben:

$$l_{\text{Raum}} = 12 \text{ m}$$

$$b_{\text{Raum}} = 7 \text{ m}$$

$$h_{\text{Raum}} = 2,5 \text{ m}$$

$$\rho_{\text{Luft}} = 1,205 \text{ g/L} = 1,205 \text{ kg/m}^3$$

gesucht:

$$m_{\text{Luft}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Raum}} &= l_{\text{Raum}} \cdot b_{\text{Raum}} \cdot h_{\text{Raum}} \\
 &= 12 \text{ m} \cdot 7 \text{ m} \cdot 2,5 \text{ m} \\
 &= 210 \text{ m}^3 \\
 \rho_{\text{Luft}} &= \frac{m_{\text{Luft}}}{V_{\text{Raum}}} \\
 m_{\text{Luft}} &= \rho_{\text{Luft}} \cdot V_{\text{Raum}} \\
 &= 1,205 \text{ kg/m}^3 \cdot 210 \text{ m}^3 \\
 &= \underline{\underline{253,1 \text{ kg}}}
 \end{aligned}$$

1.7.19.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 l_{\text{Gewächshaus}} &= 6 \text{ m} \\
 b_{\text{Gewächshaus}} &= 3,6 \text{ m} \\
 h_{\text{Seite}} &= 2,2 \text{ m} \\
 h_{\text{Giebel}} &= 3,8 \text{ m}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$V_{\text{Gewächshaus}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Gewächshaus}} &= A_{\text{Seite}} \cdot l_{\text{Gewächshaus}} \\
 A_{\text{Seite}} &= b_{\text{Gewächshaus}} \cdot h_{\text{Seite}} + b_{\text{Gewächshaus}} \cdot \frac{h_{\text{Giebel}} - h_{\text{Seite}}}{2} \\
 &= 3,6 \text{ m} \cdot 2,2 \text{ m} + 3,6 \text{ m} \cdot \frac{3,8 \text{ m} - 2,2 \text{ m}}{2} \\
 &= 7,92 \text{ m}^2 + 2,88 \text{ m}^2 \\
 &= 10,8 \text{ m}^2 \\
 V_{\text{Gewächshaus}} &= A_{\text{Seite}} \cdot l_{\text{Gewächshaus}} \\
 &= 10,8 \text{ m}^2 \cdot 6 \text{ m} \\
 &= \underline{\underline{64,80 \text{ m}^3}}
 \end{aligned}$$

1.7.20.

gegeben:

$$\emptyset_{\text{Ballon}} = 1,25 \text{ cm} \Rightarrow r_{\text{Ballon}} = 0,625 \text{ cm}$$

gesucht:

$$V_{\text{Ballon}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} V_{\text{Ballon}} &= \frac{4}{3} \cdot (r_{\text{Ballon}})^3 \cdot \pi \\ &= \frac{4}{3} \cdot (0,625 \text{ cm})^3 \cdot \pi \\ &= 1,022654 \text{ cm}^3 \\ &= \underline{\underline{1,023 \text{ mL}}} \end{aligned}$$

1.7.21.

gegeben:

$$\begin{aligned} l_{\text{Zählkammer}} &= 1 \text{ mm} \\ b_{\text{Zählkammer}} &= 1 \text{ mm} \\ h_{\text{Zählkammer}} &= 0,2 \text{ mm} \\ n_{\text{Bakt.}} &= 829 \\ \varnothing_{\text{Bakt.}} &= 890 \text{ nm} \Rightarrow r_{\text{Bakt.}} = 0,000445 \text{ mm} \end{aligned}$$

gesucht:

$$\sigma_{\text{Bakterien}} (\mu\text{L/L})$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} V_{\text{Bakt.}} &= \frac{4}{3} \cdot (r_{\text{Bakt.}})^3 \cdot \pi \\ &= \frac{4}{3} \cdot (0,000445 \text{ mm})^3 \cdot \pi \\ &= 3,6912090 \cdot 10^{-10} \text{ mm}^3 \\ &= 3,6912090 \cdot 10^{-10} \mu\text{L} \\ V_{\text{Zählkammer}} &= l_{\text{Zählkammer}} \cdot b_{\text{Zählkammer}} \cdot h_{\text{Zählkammer}} \\ &= 1 \text{ mm} \cdot 1 \text{ mm} \cdot 0,2 \text{ mm} \\ &= 0,2 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c_{\text{Bakt.}} &= \frac{n_{\text{Bakt.}}}{V_{\text{Zählkammer}}} \\
 &= \frac{829 \text{ Bakt.}}{0,2 \text{ mm}^3} \\
 &= 4145 \text{ Bakt./mm}^3 \\
 &= 4145 \text{ Bakt./}\mu\text{L} \\
 &= 4,145 \cdot 10^9 \text{ Bakt./L} \\
 \sigma_{\text{Bakterien}} &= V_{\text{Bakt.}} \cdot c_{\text{Bakt.}} \\
 &= 3,691209 \cdot 10^{-10} \frac{\mu\text{L}}{\text{Bakt.}} \cdot 4,145 \cdot 10^9 \frac{\text{Bakt.}}{\text{L}} \\
 &= \underline{\underline{1,530 \mu\text{L/L}}}
 \end{aligned}$$

1.7.22.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 \emptyset_{\text{Becken}} &= 45 \text{ dm} \Rightarrow r_{\text{Becken}} = 22,5 \text{ dm} \\
 h_{\text{Regen}} &= 0,57 \text{ dm}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$V_{\text{Regen}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Zylinder}} &= r^2 \cdot \pi \cdot h_{\text{Regen}} \\
 &= (22,5 \text{ dm})^2 \cdot \pi \cdot 0,57 \text{ dm} \\
 &= \underline{\underline{906,5 \text{ L}}}
 \end{aligned}$$

1.7.23.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 f_{\text{Ruhe}} &= 72 \text{ Schläge/min} \\
 V_{\text{Blut/Schlag in Ruhe}} &= 110 \text{ mL/Schlag} \\
 t_{\text{Ruhe}} &= 18 \text{ h} \\
 f_{\text{Arbeit}} &= 105 \text{ Schläge/min} \\
 V_{\text{Blut/Schlag bei Arbeit}} &= 130 \text{ mL/Schlag} \\
 t_{\text{Arbeit}} &= 6 \text{ h}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$V_{\text{Bluttransport pro Tag}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} V_{\text{Blut in Ruhe}} &= f_{\text{Ruhe}} \cdot V_{\text{Blut/Schlag in Ruhe}} \cdot t_{\text{Ruhe}} \\ &= 72 \text{ Schläge/min} \cdot 110 \text{ mL/Schlag} \cdot 18 \text{ h} \cdot 60 \text{ min/h} \\ &= 8.553.600 \text{ mL} \\ &= 8553,6 \text{ L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{Blut bei Arbeit}} &= f_{\text{Arbeit}} \cdot V_{\text{Blut/Schlag bei Arbeit}} \cdot t_{\text{Arbeit}} \\ &= 105 \text{ Schläge/min} \cdot 130 \text{ mL/Schlag} \cdot 6 \text{ h} \cdot 60 \text{ min/h} \\ &= 4.914.000 \text{ mL} \\ &= 4914 \text{ L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{Bluttransport pro Tag}} &= V_{\text{Blut in Ruhe}} + V_{\text{Blut bei Arbeit}} \\ &= 8553,6 \text{ L} + 4914 \text{ L} \\ &= 13.468 \text{ L} \\ &= \underline{\underline{13,47 \text{ m}^3}} \end{aligned}$$

1.7.24.

gegeben:

$$\begin{aligned} V_{\text{Magen}} &= 120 \text{ L} \\ c_{\text{Protozoen}} &= 5 \cdot 10^5 \text{ mL} = 5 \cdot 10^8 \text{ L} \\ \varnothing_{\text{Protozoe}} &= 20 \mu\text{m} \Rightarrow r_{\text{Protozoe}} = 0,001 \text{ cm} \\ \rho_{\text{Protozoen}} &= 1,1 \text{ g/cm}^3 \end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{Protozoen}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} V_{\text{Protozoe}} &= \frac{4}{3} \cdot r^3 \cdot \pi \\ &= \frac{4}{3} \cdot (0,001 \text{ cm})^3 \cdot \pi \\ &= 4,1887902 \cdot 10^{-9} \text{ cm}^3 \\ V_{\text{total}} &= V_{\text{Protozoe}} \cdot c_{\text{Protozoen}} \cdot V_{\text{Magen}} \\ &= 4,1887902 \cdot 10^{-9} \text{ cm}^3/\text{Zelle} \cdot 5 \cdot 10^8 \text{ Zellen/L} \cdot 120 \text{ L} \\ &= 251,3274123 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{Protozoen}} &= \frac{m_{\text{Protozoen}}}{V_{\text{total}}} \\ m_{\text{Protozoen}} &= \rho_{\text{Protozoen}} \cdot V_{\text{total}} \\ &= 1,1 \text{ g/cm}^3 \cdot 251,3274123 \text{ cm}^3 \\ &= \underline{\underline{276,5 \text{ g}}}\end{aligned}$$

1.7.25.

gegeben:

$$\begin{aligned}c_{\text{Bakterien}} &= 2 \cdot 10^9 \text{ Zellen/mL} \\ \varnothing_{\text{Zellen}} &= 1,2 \mu\text{m}, r_{\text{Zellen}} = 6 \cdot 10^{-5} \text{ cm} \\ \rho_{\text{Zellen}} &= 1,05 \text{ g/cm}^3 \\ V_{\text{Kultur}} &= 1 \text{ L}\end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{Bakterien}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}V_{\text{Zelle}} &= \frac{4}{3} \cdot (r_{\text{Zellen}})^3 \cdot \pi \\ &= \frac{4}{3} \cdot (6 \cdot 10^{-5} \text{ cm})^3 \cdot \pi \\ &= 9,047786 \cdot 10^{-13} \text{ cm}^3 \\ &= 9,047786 \cdot 10^{-13} \text{ mL} \\ V_{\text{total}} &= V_{\text{Zellen}} \cdot c_{\text{Bakterien}} \cdot V_{\text{Kultur}} \\ &= 9,047786 \cdot 10^{-13} \text{ mL/Zelle} \cdot 2 \cdot 10^9 \text{ Zellen/L} \cdot 1000 \text{ mL} \\ &= 1,809557368 \text{ mL} \\ \rho_{\text{Bakterien}} &= \frac{m_{\text{Bakterien}}}{V_{\text{total}}} \\ m_{\text{Bakterien}} &= \rho_{\text{Bakterien}} \cdot V_{\text{total}} \\ &= 1,05 \text{ g/mL} \cdot 1,809557368 \text{ mL} \\ &= \underline{\underline{1,900 \text{ g}}}\end{aligned}$$

1.7.26.

gegeben:

$$\text{Genauigkeit} = \pm 0,05 \%$$

$$V = 20 \text{ mL}$$

gesucht:

untere und obere Genauigkeitsgrenze

Berechnung:

$$\begin{aligned} V_1 &= V \cdot (100 \% - \text{Genauigkeit}) \\ &= 20 \text{ mL} \cdot (100 \% - 0,05 \%) \\ &= 19,99 \text{ mL} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_2 &= V \cdot (100 \% + \text{Genauigkeit}) \\ &= 20 \text{ mL} \cdot (100 \% + 0,05 \%) \\ &= 20,01 \text{ mL} \end{aligned}$$

$$V_{\text{unter \& obere Grenze}} = \underline{\underline{19,99 - 20,01 \text{ mL}}}$$

1.7.27.

gegeben:

$$\varnothing_{\text{Limnocolall}} = 3 \text{ m} \Rightarrow r_{\text{Limnocolall}} = 1,5 \text{ m}$$

$$h_{\text{Limnocolall}} = 10 \text{ m}$$

$$\varnothing_{\text{Planktonnetz}} = 20 \text{ cm}$$

$$r_{\text{Planktonnetz}} = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m}$$

$$n_{\text{Fänge}} = 5$$

$$n_{\text{Krebse}} = 6438$$

gesucht:

$$n_{\text{Krebse total}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} V_{\text{Limnocolall}} &= r^2 \cdot \pi \cdot h_{\text{Limnocolall}} \\ &= (1,5 \text{ m})^2 \cdot \pi \cdot 10 \text{ m} \\ &= 70,685835 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{pro Planktonfang}} &= (r_{\text{Planktonnetz}})^2 \cdot \pi \cdot h_{\text{Limnocolall}} \\ &= (0,1 \text{ m})^2 \cdot \pi \cdot 10 \text{ m} \\ &= 0,3141593 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Planktonfang}} &= V_{\text{pro Planktonfang}} \cdot n_{\text{Fänge}} \\
 &= 0,3141593 \text{ m}^3 \cdot 5 \\
 &= 1,5707963 \text{ m}^3 \\
 V_{\text{Krebse total}} &= \frac{n_{\text{Krebse}} \cdot V_{\text{Limnoco}}}{V_{\text{Planktonfang}}} \\
 &= \frac{6438 \text{ Krebse} \cdot 70,685835 \text{ m}^3}{1,5707963 \text{ m}^3} \\
 &= \underline{\underline{289.710 \text{ Krebse}}}
 \end{aligned}$$

1.7.28.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 l_{\text{Tank}} &= 2,2 \text{ m} \\
 b_{\text{Tank}} &= 1,05 \text{ m} \\
 h_{\text{Wasser}} &= 0,245 \text{ m} \\
 \varnothing_{\text{Kolben}} &= 5,5 \text{ cm} \Rightarrow r_{\text{Kolben}} = 0,275 \text{ dm} \\
 h_{\text{Hub}} &= 43 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$n_{\text{Pumpenstöße}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Wasser}} &= l_{\text{Tank}} \cdot b_{\text{Tank}} \cdot h_{\text{Wasser}} \\
 &= 22 \text{ dm} \cdot 10,5 \text{ dm} \cdot 2,45 \text{ dm} \\
 &= 565,95 \text{ dm}^3 \\
 V_{\text{Pumpe}} &= r^2 \cdot \pi \cdot h \\
 &= (0,275 \text{ dm})^2 \cdot \pi \cdot 4,3 \text{ cm} \\
 &= 1,0216067 \text{ dm}^3 \\
 n_{\text{Pumpenstöße}} &= \frac{V_{\text{Wasser}}}{V_{\text{Pumpe}}} \\
 &= \frac{565,95 \text{ dm}^3}{1,0216067 \text{ dm}^3/\text{Pumpenstoß}} \\
 &= \underline{\underline{554,0 \text{ Pumpenstöße}}}
 \end{aligned}$$

13.1.5 Lösungen Abschn. 1.8 – Volumen- und Massenstrom

1.8.1.

gegeben:

$$V_{\text{Lösung}} = 0,550 \text{ mL} = 550 \text{ mm}^3$$

$$t = 1 \text{ min} = 60 \text{ s}$$

$$\varnothing_{\text{Schlauch}} = 2,50 \text{ mm} \Rightarrow r_{\text{Schlauch}} = 1,25 \text{ mm}$$

gesucht:

$$V_{\text{Lösung}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} l_{\text{Schlauch}} &= \frac{V_{\text{Lösung}}}{A_{\text{Schlauch}}} \\ &= \frac{V_{\text{Lösung}}}{(r_{\text{Schlauch}})^2 \cdot \pi} \\ &= \frac{550 \text{ mm}^3}{(1,25 \text{ mm})^2 \cdot \pi} \\ &= 112,045 \text{ mm} \\ v_{\text{Lösung}} &= \frac{l_{\text{Schlauch}}}{t} \\ &= \frac{112,045 \text{ mm}}{60 \text{ s}} \\ &= \underline{\underline{1,867 \text{ mm/s}}} \end{aligned}$$

1.8.2

gegeben:

$$l_{\text{Schlauch}} = 320 \text{ cm}$$

$$\varnothing_{\text{Schlauch}} = 2,8 \text{ mm} \Rightarrow r_{\text{Schlauch}} = 0,14 \text{ cm}$$

gesucht:

$$V_{\text{Schlauch}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} V_{\text{Schlauch}} &= A_{\text{Querschnitt}} \cdot l_{\text{Schlauch}} \\ &= r^2 \cdot \pi \cdot l_{\text{Schlauch}} \\ &= (0,14 \text{ cm})^2 \cdot \pi \cdot 320 \text{ cm} \\ &= \underline{\underline{19,70 \text{ mL}}} \end{aligned}$$

1.8.3.

gegeben:

$$\varnothing_{\text{Röhre}} = 25 \text{ mm}$$

$$q_m = 1500 \text{ kg/h}$$

$$\rho_{\text{Flüssigkeit}} = 0,786 \text{ g/mL}$$

gesucht:

$$v_{\text{Flüssigkeit}}$$

Berechnung:

$$\rho_{\text{Flüssigkeit}} = \frac{q_m \text{ Flüssigkeit}}{Q_{\text{Flüssigkeit}}}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{Flüssigkeit}} &= \frac{q_m \text{ Flüssigkeit}}{\rho_{\text{Flüssigkeit}}} \\ &= \frac{1500 \text{ kg/h}}{0,786 \text{ kg/L}} \\ &= 1908,3969 \text{ L/h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v_{\text{Flüssigkeit}} &= \frac{Q_{\text{Flüssigkeit}}}{A_{\text{Röhre}}} \\ &= \frac{Q_{\text{Flüssigkeit}}}{r^2 \cdot \pi} \\ &= \frac{1908,3969 \text{ L/h}}{(0,125 \text{ dm})^2 \cdot \pi} \\ &= 38877,5424 \text{ dm/h} \\ &= \underline{\underline{3,888 \text{ km/h}}} \\ &= \underline{\underline{1,080 \text{ m/s}}} \end{aligned}$$

1.8.4.

gegeben:

$$Q_{\text{Herz}} = 5 \text{ L/min} = 5 \text{ dm}^3/\text{h}$$

$$\varnothing_{\text{Aorta}} = 3 \text{ cm}$$

gesucht:

$$v_{\text{Blut}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 v_{\text{Blut}} &= \frac{Q_{\text{Herz}}}{A_{\text{Aorta}}} \\
 &= \frac{Q_{\text{Herz}}}{(r_{\text{Aorta}})^2 \cdot \pi} \\
 &= \frac{5 \text{ L/min}}{(0,15 \text{ dm})^2 \cdot \pi} \\
 &= 70,73553 \text{ dm/min} \\
 &= 4244,1318 \text{ dm/h} \\
 &= \underline{\underline{0,4244 \text{ km/h}}}
 \end{aligned}$$

1.8.5.

gegeben:

$$\varnothing = 3 \text{ cm}$$

$$t = 45 \text{ min}$$

$$Q = 0,7 \text{ mL/min}$$

gesucht:

$$s \text{ (in cm)}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 Q &= \frac{V}{t} \\
 V &= Q \cdot t \\
 &= 0,7 \text{ mL/min} \cdot 45 \text{ min} \\
 &= 31,5 \text{ mL} \\
 &= 31,5 \text{ cm}^3 \\
 s &= \frac{V}{r^2 \cdot \pi} \\
 &= \frac{31,5 \text{ cm}^3}{(1,5 \text{ cm})^2 \cdot \pi} \\
 &= \underline{\underline{4,456 \text{ cm}}}
 \end{aligned}$$

1.8.6.

gegeben:

$$V_{\text{Paste}} = 250 \text{ mL} = 250 \text{ cm}^3$$

$$\varnothing_{\text{Tube}} = 6 \text{ mm}$$

$$l_{\text{Pellet}} = 1 \text{ cm}$$

gesucht:

$$n_{\text{Pellets}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} V_{\text{Paste}} &= l \cdot r^2 \cdot \pi \\ l_{\text{Paste}} &= \frac{V_{\text{Paste}}}{r^2 \cdot \pi} \\ &= \frac{250 \text{ cm}^3}{(0,3 \text{ cm})^2 \cdot \pi} \\ &= 884,1941 \text{ cm} \\ n_{\text{Pellet}} &= \frac{l_{\text{Paste}}}{l_{\text{Pellet}}} \\ &= \frac{884,1941 \text{ cm}}{1 \text{ cm/Pellet}} \\ &= \underline{\underline{884,2 \text{ Pellets}}} \end{aligned}$$

oder:

$$\begin{aligned} V_{\text{Pellet}} &= (r_{\text{Pellet}})^2 \cdot \pi \cdot l_{\text{Pellet}} \\ &= (0,3 \text{ cm})^2 \cdot \pi \cdot 1 \text{ cm} \\ &= 0,2827433 \text{ cm}^3 \\ n_{\text{Pellet}} &= \frac{V_{\text{Paste}}}{V_{\text{Pellet}}} \\ &= \frac{250 \text{ cm}^3}{0,2827433 \text{ cm}^3/\text{Pellet}} \\ &= \underline{\underline{884,2 \text{ Pellets}}} \end{aligned}$$

1.8.7.

gegeben:

$$\begin{aligned} Q_{\text{Wasser}} &= 42,5 \text{ L/min} = 42,5 \text{ dm}^3/\text{min} \\ \varnothing_{\text{Loch}} &= 3 \text{ mm} \\ n_{\text{Löcher}} &= 10 \\ g &= 9,81 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

gesucht:

$$v_{\text{Wasser}} \text{ und } h_{\text{Wasser}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} A_{\text{Löcher}} &= (r_{\text{Loch}})^2 \cdot \pi \cdot n_{\text{Löcher}} \\ &= (0,015 \text{ dm})^2 \cdot \pi \cdot 10 \\ &= 7,0685834 \cdot 10^{-3} \text{ dm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v_{\text{Wasser}} &= \frac{Q_{\text{Wasser}}}{A_{\text{Löcher}}} \\ &= \frac{42,5 \text{ dm}^3/\text{min}}{7,0685834 \cdot 10^{-3} \text{ dm}^2} \\ &= 6012,520072 \text{ dm/min} \\ &= \underline{\underline{10,02 \text{ m/s}}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu \cdot g \cdot h_{\text{Wasser}} &= \frac{\mu}{2} \cdot v^2 \\ h_{\text{Wasser}} &= \frac{v^2}{2 \cdot g} \\ &= \frac{(10,02086679 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2} \\ &= \underline{\underline{5,118 \text{ m}}} \end{aligned}$$

1.8.8.

gegeben:

$$\begin{aligned} n_{\text{Rollen}} &= 10 \\ \varnothing_{\text{Schlauch}} &= 3,5 \text{ mm} \\ V_{\text{pro Rolle}} &= 0,12 \text{ mL} \\ f_{\text{Rotor}} &= 1,2 \text{ U/min} \\ \varnothing_{\text{Tropfen}} &= 2,3 \text{ mm} \end{aligned}$$

gesucht:

$$f_{\text{Tropfen}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} Q &= V_{\text{pro Rolle}} \cdot n_{\text{Rollen}} \cdot f_{\text{Rotor}} \\ &= 0,12 \text{ mL} \cdot 10 \cdot 1,2 \text{ U/min} \\ &= 1,44 \text{ mL/min} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{\text{Tropfen}} &= \frac{Q}{V_{\text{Tropfen}}} \\
 &= \frac{Q}{\frac{4}{3} \cdot r^3 \cdot \pi} \\
 &= \frac{1,44 \text{ mL/min}}{\frac{4}{3} \cdot (0,115 \text{ cm})^3 \cdot \pi} \\
 &= \underline{\underline{226,0 \text{ Tropfen/min}}}
 \end{aligned}$$

1.8.9.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 b_{\text{Kanal}} &= 0,4 \text{ m} \\
 h_{\text{Wasser}} &= 0,5 \text{ m} \\
 v_{\text{Wasser}} &= 0,4 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$Q$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 Q &= v_{\text{Wasser}} \cdot b_{\text{Kanal}} \cdot h_{\text{Wasser}} \\
 &= 0,4 \text{ m/s} \cdot 0,4 \text{ m} \cdot 0,5 \text{ m} \\
 &= 0,4 \text{ m/s} \cdot 0,2 \text{ m}^2 \\
 &= 0,08 \text{ m}^3/\text{s} \\
 &= \underline{\underline{288,0 \text{ m}^3/\text{h}}}
 \end{aligned}$$

1.8.10.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Flasche}} &= 20 \text{ L} \\
 V_{\text{komprimierte Luft}} &= 4000 \text{ L} \\
 \varnothing_{\text{Ventil}} &= 5,5 \text{ mm} \\
 t &= 25,4 \text{ min}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$v_{\text{Luft}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 A_{\text{Ventil}} &= (r_{\text{Ventil}})^2 \cdot \pi \\
 &= (0,00275 \text{ m})^2 \cdot \pi \\
 &= 2,3758294 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \\
 v_{\text{Luft}} &= \frac{V_{\text{ausströmende Luft}}}{A_{\text{Ventil}} \cdot t} \\
 &= \frac{V_{\text{komprimierte Luft}} - V_{\text{Flasche}}}{A_{\text{Ventil}} \cdot t} \\
 &= \frac{4 \text{ m}^3 - 0,02 \text{ m}^3}{2,3758294 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \cdot 25,4 \text{ min}} \\
 &= 6595,293 \text{ m/min} \\
 &= 109,92155 \text{ m/s} \\
 &= \underline{\underline{395,7 \text{ km/h}}}
 \end{aligned}$$

1.8.11.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 v_{\text{Wasser}} &= 65,5 \text{ km/h} = 18,19444 \text{ m/s} \\
 \varnothing_{\text{Turbine}} &= 0,85 \text{ m} \Rightarrow r_{\text{Turbine}} = 0,425 \text{ m} \\
 V_{\text{Becken}} &= 4,53 \cdot 10^6 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

gesucht:

t

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 Q &= \frac{\Delta V}{\Delta t} \\
 \Delta t &= \frac{\Delta V}{Q} \\
 &= \frac{\Delta V}{v \cdot (r_{\text{Turbine}})^2 \cdot \pi} \\
 &= \frac{4,53 \cdot 10^6 \text{ m}^3}{18,19444 \text{ m/s} \cdot (0,425 \text{ m})^2 \cdot \pi} \\
 &= 438.764,69 \text{ s} \\
 &= \underline{\underline{5,078 \text{ Tage}}}
 \end{aligned}$$

1.8.12.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Behälter}} &= 100,2 \text{ L} \\
 \varnothing_{\text{Schlauch}} &= 6,5 \text{ mm} \Rightarrow r_{\text{Schlauch}} = 3,25 \text{ mm} \\
 t &= 29,53 \text{ h}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$v_{\text{Wasser}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 v_{\text{Wasser}} &= \frac{V_{\text{Behälter}}}{A_{\text{Schlauch}} \cdot t} \\
 &= \frac{V_{\text{Behälter}}}{(r_{\text{Schlauch}})^2 \cdot \pi \cdot t} \\
 &= \frac{100,2 \text{ L}}{(0,0325 \text{ dm})^2 \cdot \pi \cdot 29,53 \text{ h}} \\
 &= 1022,5573626 \text{ dm/h} \\
 &= \underline{\underline{2,840 \text{ cm/s}}}
 \end{aligned}$$

1.8.13.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 V &= 14,23 \text{ L/min} \\
 n_{\text{Düsen}} &= 45 \\
 \varnothing_{\text{Ventil}} &= 0,65 \text{ mm} \Rightarrow r_{\text{Düse}} = 0,325 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$v_{\text{Wasser}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 v_{\text{Wasser}} &= \frac{Q_{\text{Wasser}}}{A_{\text{Düsen}}} \\
 &= \frac{Q_{\text{Wasser}}}{n_{\text{Düsen}} \cdot (r_{\text{Düse}})^2 \cdot \pi} \\
 &= \frac{14,23 \text{ L/min}}{45 \cdot (0,00325 \text{ dm})^2 \cdot \pi} \\
 &= 9529,624574 \text{ dm/min} \\
 &= \underline{\underline{15,88 \text{ m/s}}}
 \end{aligned}$$

1.8.14.

gegeben:

$$\begin{aligned}\varnothing_{\text{Ventilator}} &= 2,55 \text{ m} \\ r_{\text{Ventilator}} &= 1,275 \text{ m} \\ v_{\text{Wind}} &= 60 \text{ km/h} = 16,6666667 \text{ m/s}\end{aligned}$$

gesucht:

$$Q_{\text{Wind}} \text{ (m}^3\text{/min)}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}v_{\text{Wind}} &= \frac{Q_{\text{Wasser}}}{A_{\text{Ventilator}}} \\ Q_{\text{Wind}} &= v_{\text{Wind}} \cdot A_{\text{Ventilator}} \\ &= v_{\text{Wind}} \cdot (r_{\text{Ventilator}})^2 \cdot \pi \\ &= 16,6666667 \text{ m/s} \cdot (1,275 \text{ m})^2 \cdot \pi \\ &= 85,11752598 \text{ m}^3\text{/s} \\ &= \underline{\underline{5107 \text{ m}^3\text{/min}}}\end{aligned}$$

13.1.6 Lösungen Abschn. 1.9 – Rechnen mit Faktoren**1.9.1.**

gegeben:

$$\begin{aligned}h_{\text{Gel 1}} &= 0,5 \text{ cm} \\ m_{\text{Pulver 1}} &= 4 \text{ g} \\ h_{\text{Gel 2}} &= 2,3 \text{ cm}\end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{Pulver 2}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}m_{\text{Pulver 2}} &= \frac{m_{\text{Pulver 1}} \cdot h_{\text{Gel 2}}}{h_{\text{Gel 1}}} \\ &= \frac{4 \text{ g} \cdot 2,3 \text{ cm}}{0,5 \text{ cm}} \\ &= \underline{\underline{18,40 \text{ g}}}\end{aligned}$$

1.9.2.

gegeben:

$$d_{\text{Herbizid}} = 5,4 \text{ kg/ha}$$

$$A_{\text{Feld}} = 0,24 \text{ ha}$$

gesucht:

$$m_{\text{Herbizid}}$$

Berechnung:

$$d_{\text{Herbizid}} = \frac{m_{\text{Herbizid}}}{A_{\text{Feld}}}$$

$$\begin{aligned} m_{\text{Herbizid}} &= d_{\text{Herbizid}} \cdot A_{\text{Feld}} \\ &= 5,4 \text{ kg/ha} \cdot 0,24 \text{ ha} \\ &= \underline{\underline{1,296 \text{ kg}}} \end{aligned}$$

1.9.3.

gegeben:

$$c_{\text{Thromb.}} = 3,5 \cdot 10^{11} \text{ Thrombocyten/L}$$

$$V_{\text{Thromb.}} = 16,2 \mu\text{m}^3$$

$$V_{\text{Blut}} = 5,5 \text{ L}$$

gesucht:

$$c_{\text{Thrombocyten total}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} n_{\text{Thrombocyten}} &= c_{\text{Thrombocyten}} \cdot V_{\text{Thrombocyten}} \\ &= 3,5 \cdot 10^{11} \text{ Thrombocyten/L} \cdot 5,5 \text{ L} \\ &= 1,925 \cdot 10^{12} \text{ Thrombocyten} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c_{\text{Thrombocyten total}} &= n_{\text{Thrombocyten}} \cdot V_{\text{Thrombocyten}} \\ &= 1,925 \cdot 10^{12} \text{ Thrombocyten} \cdot 16,2 \mu\text{m}^3 / \text{Trombocyte} \\ &= 3,1185 \cdot 10^{13} \mu\text{m}^3 \\ &= \underline{\underline{31,19 \text{ cm}^3}} \end{aligned}$$

1.9.4.

gegeben:

$$\text{Preis} = \text{€}14,80/2 \text{ kg}$$

$$m_{\text{Agar}} = 1,5 \text{ g (pro Petrischale)}$$

$$n_{\text{Petrischalen}} = 50$$

gesucht:

Gesamtkosten

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Agar total}} &= m_{\text{Agar pro Schale}} \cdot n_{\text{Petrischalen}} \\
 &= 1,5 \text{ g/Schalen} \cdot 50 \text{ Schalen} \\
 &= 75 \text{ g} \\
 \text{Gesamtkosten} &= m_{\text{Agar total}} \cdot \text{Preis} \\
 &= 75 \text{ g} \cdot \text{€ } 14,80/2000 \text{ g} \\
 &= \text{€ } 0,555 \\
 &= \underline{\underline{55,50 \text{ Cent}}}
 \end{aligned}$$

1.9.5.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 l_{\text{Feld}} &= 54 \text{ m} \\
 b_{\text{Feld}} &= 24 \text{ m} \\
 d_{\text{Herbizid}} &= 5,15 \text{ kg/ha} \\
 \text{Preis} &= 132,- \text{ €/kg}
 \end{aligned}$$

gesucht:

Kosten

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 A_{\text{Feld}} &= l_{\text{Feld}} \cdot b_{\text{Feld}} \\
 &= 54 \text{ m} \cdot 24 \text{ m} \\
 &= 1296 \text{ m}^2 \\
 &= 0,1296 \text{ ha} \\
 m_{\text{Herbizid}} &= d_{\text{Herbizid}} \cdot A_{\text{Feld}} \\
 &= 5,15 \text{ kg/ha} \cdot 0,1296 \text{ ha} \\
 &= 0,66744 \text{ kg} \\
 \text{Kosten} &= m_{\text{Herbizid}} \cdot \text{Preis} \\
 &= 0,66744 \text{ kg} \cdot 132 \text{ €/kg} \\
 &= \underline{\underline{€ 88,10}}
 \end{aligned}$$

1.9.6.

gegeben:

$$d_{\text{Vitamin}} = 510 \text{ mg/kg}$$

$$m_{\text{Ratte}} = 0,256 \text{ kg}$$

gesucht:

$$m_{\text{Vitamin}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} m_{\text{Vitamin}} &= d_{\text{Vitamin}} \cdot m_{\text{Ratte}} \\ &= 510 \text{ mg/kg} \cdot 0,256 \text{ kg} \\ &= \underline{\underline{130,6 \text{ mg}}} \end{aligned}$$

1.9.7.

gegeben:

$$V_{\text{Suspension}} = 1 \text{ mL}$$

$$n_{\text{Petrischalen}} = 20$$

$$n_{\text{Kolonien}} = 126$$

gesucht:

$$c_{\text{Sporen}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} c_{\text{Sporen}} &= \frac{n_{\text{Kolonien}}}{n_{\text{Petrischalen}} \cdot V_{\text{Suspension}}} \\ &= \frac{126 \text{ Kolonien}}{20 \cdot 1 \text{ mL}} \\ &= 6,3 \text{ Sporen/mL} \\ &= \underline{\underline{6300 \text{ Sporen/L}}} \end{aligned}$$

1.9.8.

gegeben:

$$n_{\text{Junge}} = 6 \text{ (pro Wurf)}$$

$$t_{\text{Trächtigkeit}} = 28 \text{ Tage}$$

$$t_{\text{Jahr}} = 365 \text{ Tage}$$

gesucht:

$$n_{\text{Junge pro Jahr}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} n_{\text{Würfe}} &= \frac{t_{\text{total}}}{t_{\text{Trächtigkeit}}} \\ &= \frac{365 \text{ Tage}}{28 \text{ Tage/Wurf}} \\ &= 13,03571 \text{ Würfe} \\ n_{\text{Junge pro Jahr}} &= n_{\text{Junge}} \cdot n_{\text{Würfe}} \\ &= 6 \text{ Junge/Wurf} \cdot 13,03 \text{ Würfe} \\ &= \underline{\underline{78,21 \text{ Junge}}} \end{aligned}$$

1.9.9.

gegeben:

$$\begin{aligned} l_{\text{Zählkammer}} &= 1 \text{ mm} \\ h_{\text{Zählkammer}} &= 0,2 \text{ mm} \\ n_{\text{Bakt.}} &= 829 \\ r_{\text{Bakt.}} &= 0,000445 \text{ mm} \end{aligned}$$

gesucht:

$$\sigma_{\text{Bakterien}} (\mu\text{L/L})$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} V_{\text{Zählkammer}} &= (l_{\text{Zählkammer}})^2 \cdot h_{\text{Zählkammer}} \\ &= (1 \text{ mm})^2 \cdot 0,2 \text{ mm} \\ &= 0,2 \text{ mm}^3 \\ c_{\text{Bakterien}} &= \frac{n_{\text{Bakterien}}}{V_{\text{Zählkammer}}} \\ &= \frac{829 \text{ Bakterien}}{0,2 \text{ mm}^3} \\ &= 4145 \text{ Bakt./}\mu\text{L} \\ &= 4,145 \cdot 10^9 \text{ Bakt./L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Bakterium}} &= \frac{4}{3} \cdot (r_{\text{Bakterium}})^3 \cdot \pi \\
 &= \frac{4}{3} \cdot (0,000445 \text{ mm})^3 \cdot \pi \\
 &= 3,6912090 \cdot 10^{-10} \text{ mm}^3 \\
 &= 3,6912090 \cdot 10^{-10} \mu\text{L} \\
 \sigma_{\text{Bakterien}} &= c_{\text{Bakterien}} \cdot V_{\text{Bakterium}} \\
 &= 4,145 \cdot 10^9 \text{ Bakterien/L} \cdot 3,6912090 \cdot 10^{-10} \mu\text{L/Bakterium} \\
 &= \underline{\underline{1,530 \mu\text{L/L}}}
 \end{aligned}$$

1.9.10.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 l_{\text{Feld}} &= 95 \text{ m} \\
 b_{\text{Feld}} &= 40 \text{ m} \\
 a_{\text{Pflanzen}} &= 0,2 \text{ m} \\
 m_{\text{Körner}} &= 0,2865 \text{ kg/1000 Körner}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{Saatgut}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 n_{\text{Pflanzen}} &= \frac{l_{\text{Feld}} + 1}{a_{\text{Pflanzen}}} \cdot \frac{b_{\text{Feld}} + 1}{a_{\text{Pflanzen}}} \\
 &= \left(\frac{l_{\text{Feld}}}{a_{\text{Pflanzen}}} + 1 \right) \cdot \left(\frac{b_{\text{Feld}}}{a_{\text{Pflanzen}}} + 1 \right) \\
 &= \left(\frac{95 \text{ m}}{0,2 \text{ m}} + 1 \right) \cdot \left(\frac{40 \text{ m}}{0,2 \text{ m}} + 1 \right) \\
 &= 476 \cdot 201 \text{ Pflanzen} \\
 &= 95.676 \text{ Pflanzen} \\
 m_{\text{Saatgut}} &= \frac{4}{3} \cdot (r_{\text{Bakterium}})^3 \cdot \pi \\
 n_{\text{Pflanzen}} \cdot m_{\text{Körner}} &= 95.676 \text{ Pfl.} \cdot \frac{0,2865 \text{ kg}}{1000 \text{ Körner}} \\
 &= \underline{\underline{27,41 \text{ kg}}}
 \end{aligned}$$

1.9.11.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 t_{\text{Behandlung}} &= 200 \text{ d} \\
 n_{\text{Medikamentation}} &= 3 \text{ Tabl./d} \\
 n_{\text{Tabletten}} &= 2 \text{ Tabl.} \\
 n_{\text{Patienten}} &= 46
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$n_{\text{Tabletten total}} \text{ SOWIE } n_{\text{Tabletten pro Patient}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 n_{\text{Tabletten total}} &= n_{\text{Tabletten}} \cdot n_{\text{Medikamentation}} \cdot t_{\text{Behandlung}} \cdot n_{\text{Patienten}} \\
 &= 2 \text{ Tabletten} \cdot 3 \text{ Tabletten/d} \cdot 200 \text{ d} \cdot 46 \\
 &= \underline{\underline{55.200 \text{ Tabletten}}} \\
 n_{\text{Tabletten pro Patient}} &= \frac{n_{\text{Tabletten total}}}{n_{\text{Patienten}}} \\
 &= \frac{55.200 \text{ Tabletten}}{46 \text{ Patienten}} \\
 &= \underline{\underline{1200 \text{ Tabletten}}}
 \end{aligned}$$

1.9.12.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Sekret}} &= 2 \mu\text{L} \\
 A &= 1 \text{ cm}^2 \\
 n_{\text{Blickfelder}} &= 25 \\
 \varnothing_{\text{Blickfeld}} &= 0,2 \text{ mm} \\
 r_{\text{Blickfeld}} &= 0,1 \text{ mm} \\
 n_{\text{Keime}} &= 116
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$c_{\text{Keime}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 A_{\text{Blickfeld}} &= (r_{\text{Blickfeld}})^2 \cdot \pi \\
 &= (0,01 \text{ cm})^2 \cdot \pi \\
 &= 3,1415926 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n_{\text{Keime/Fläche}} &= \frac{n_{\text{Keime}}}{n_{\text{Blickfelder}} \cdot A_{\text{Blickfeld}}} \\
 &= \frac{116 \text{ Keime}}{25 \cdot 3,1415926 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2} \\
 &= 14.769,57872 \text{ Keime/cm}^2 \\
 c_{\text{Keime}} &= 14.769,57872 \text{ Keime}/2 \mu\text{L} \\
 &= 7384 \text{ Keime}/\mu\text{L} \\
 &= \underline{\underline{7,384 \cdot 10^6 \text{ Keime/mL}}}
 \end{aligned}$$

1.9.13.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Antib.}} &= 5 \text{ kg} \\
 \text{Preis} &= 5320 \text{ \$/kg} \\
 \text{Wechselkurs} &= 1,155 \text{ €/\$} \\
 \text{Versandkosten} &= \$ 42 \\
 \text{Mwst.} &= 19 \%
 \end{aligned}$$

gesucht:

Kosten (in €)

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 \text{Nettokosten} &= (m_{\text{Antibiotikum}} \cdot \text{Preis} + \text{Versand}) \cdot \text{Wechselkurs} \\
 &= (5 \text{ kg} \cdot 5320 \text{ \$/kg} + 42 \text{ \$}) \cdot 1,155 \text{ €/\$} \\
 &= € 30.771,51 \\
 \text{Gesamtkosten} &= \text{Nettokosten} \cdot (100 \% + \text{Mehrwertsteuer}) \\
 &= € 30.771,51 \cdot 119 \% \\
 &= \underline{\underline{€ 36.618,10}}
 \end{aligned}$$

1.9.14.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Mensch}} &= 84,5 \text{ kg} \\
 V_{\text{Blut}} &= 6,19 \text{ L} \\
 c_{\text{Eryth.}} &= 5 \cdot 10^{12} \text{ Zellen/L} \\
 t_{\text{Leben}} &= 100 \text{ d}
 \end{aligned}$$

gesucht:

 $v_{\text{Erythrocyten-Neubildung}}$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 v_{\text{Erythrocyten-Neubildung}} &= V_{\text{Blut}} \cdot c_{\text{Erythrocyten}} \\
 &= 6,19 \text{ L} \cdot 5 \cdot 10^{12} \text{ Zellen/L} \\
 &= 3,095 \cdot 10^{13} \text{ Zellen} \\
 v_{\text{Erythrocyten-Neubildung}} &= \frac{n_{\text{Erythrocyten}}}{t_{\text{Leben}}} \\
 &= \frac{3,095 \cdot 10^{13} \text{ Zellen}}{100 \text{ d}} \\
 &= 3,095 \cdot 10^{11} \text{ Zellen/d} \\
 &= 1,2895833 \cdot 10^{10} \text{ Zellen/h} \\
 &= 214.930.555,5 \text{ Zellen/min} \\
 &= 3.582.175,925 \text{ Zellen/s} \\
 &= \underline{\underline{3,582 \cdot 10^6 \text{ Zellen/s}}}
 \end{aligned}$$

1.9.15.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 \beta_{\text{Maltose}} &= 4,5 \text{ g/L} \\
 \varnothing_{\text{Röhrchen}} &= 2 \text{ cm} \\
 r_{\text{Röhrchen}} &= 1 \text{ cm} \\
 h_{\text{Röhrchen}} &= 8 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{Maltose}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Röhrchen}} &= (r_{\text{Röhrchen}})^2 \cdot \pi \cdot h \\
 &= (1 \text{ cm})^2 \cdot \pi \cdot 8 \text{ cm} \\
 &= 25,13274123 \text{ cm}^3 \\
 &= 25,13274123 \text{ mL} \\
 \beta_{\text{Maltose}} &= \frac{m_{\text{Maltose}}}{V_{\text{Röhrchen}}} \\
 m_{\text{Maltose}} &= \beta_{\text{Maltose}} \cdot V_{\text{Röhrchen}} \\
 &= 4,5 \text{ mg/mL} \cdot 25,13274123 \text{ mL} \\
 &= \underline{\underline{113,1 \text{ mg}}}
 \end{aligned}$$

1.9.16.

gegeben:

$$n_{\text{Sporen/Pfl.}} = 250.000 \text{ Sporen/Pfl.}$$

$$n_{\text{Pfl.}} = 100 \text{ Pfl.}$$

$$c_{\text{Sporen}} = 8.550.000 \text{ Sporen/L}$$

gesucht:

$$V_{\text{Präparat}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} n_{\text{Sporen}} &= n_{\text{Sporen/Pflanze}} \cdot n_{\text{Pflanze}} \\ &= 250.000 \text{ Sporen/Pflanze} \cdot 100 \text{ Pflanze} \\ &= 25.000.000 \text{ Sporen} \end{aligned}$$

$$c_{\text{Sporen}} = \frac{n_{\text{Sporen}}}{V_{\text{Präparat}}}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{Präparat}} &= \frac{n_{\text{Sporen}}}{c_{\text{Sporen}}} \\ &= \frac{25.000.000 \text{ Sporen}}{8.550.000 \text{ Sporen/L}} \\ &= \underline{\underline{2,924 \text{ L}}} \end{aligned}$$

1.9.17.

gegeben:

$$d_{\text{Fungizid}} = 4,5 \text{ g/m}^3$$

$$l_{\text{Gew.}} = 20,5 \text{ m}$$

$$b_{\text{Gew.}} = 5,5 \text{ m}$$

$$h_{\text{First}} = 5,5 \text{ m}$$

$$h_{\text{Seite}} = 4 \text{ m}$$

gesucht:

$$m_{\text{Fungizid}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Gewächshaus}} &= l_{\text{Gew.}} \cdot \left(b_{\text{Gew.}} \cdot h_{\text{Seite}} + b_{\text{Gew.}} \cdot \frac{h_{\text{First}} - h_{\text{Seite}}}{2} \right) \\
 &= 20,5 \text{ m} \cdot \left(5,5 \text{ m} \cdot 4 \text{ m} + 5,5 \text{ m} \cdot \frac{5,5 \text{ m} - 4 \text{ m}}{2} \right) \\
 &= 20,5 \text{ m} \cdot [22 \text{ m}^2 + 4,125 \text{ m}^2] \\
 &= 535,5625 \text{ m}^3 \\
 d_{\text{Fungizid}} &= \frac{m_{\text{Fungizid}}}{V_{\text{Gewächshaus}}} \\
 m_{\text{Fungizid}} &= d_{\text{Fungizid}} \cdot V_{\text{Gewächshaus}} \\
 &= 4,5 \text{ g/m}^3 \cdot 535,5625 \text{ m}^3 \\
 &= \underline{\underline{2,410 \text{ kg}}}
 \end{aligned}$$

1.9.18.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 c_{\text{Pflanzen}} &= 25 \text{ Pfl./Topf} \\
 w_{\text{Keimung}} &= 86,3 \% \\
 m_{\text{Saatgut}} &= 53,65 \text{ g} \\
 m_{\text{Samen}} &= 11,67 \text{ mg}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$n_{\text{Töpfe}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 n_{\text{Samen}} &= \frac{m_{\text{Saatgut}}}{m_{\text{Samen}}} \\
 &= \frac{53,650 \text{ mg}}{11,67 \text{ mg/Samen}} \\
 &= 4597,26 \text{ Samen} \\
 n_{\text{Pflanzen}} &= n_{\text{Samen}} \cdot w_{\text{Keimung}} \\
 &= 4597,26 \text{ Samen} \cdot 86,3 \% \\
 &= 3967,43 \text{ Pflanzen} \\
 n_{\text{Töpfe}} &= \frac{n_{\text{Pflanzen}}}{c_{\text{Pflanzen}}} \\
 &= \frac{3967,43 \text{ Pflanzen}}{25 \text{ Pflanzen/Topf}} \\
 &= \underline{\underline{158,7 \text{ Töpfe}}}
 \end{aligned}$$

1.9.19.

gegeben:

$$v_{\text{Infusion}} = 25 \text{ Tropfen/min}$$

$$V_{\text{Tropfen}} = 1 \text{ mL}/239 \text{ Tropfen} = 4,184100418 \mu\text{L}$$

$$V_{\text{Lösung}} = 14 \text{ mL}$$

gesucht:

 t

Berechnung:

$$\begin{aligned} n_{\text{Tropfen}} &= \frac{V_{\text{Lösung}}}{V_{\text{Tropfen}}} \\ &= \frac{14.000 \mu\text{L}}{4,184100418 \mu\text{L/Tropfen}} \\ &= 3346 \text{ Tropfen} \\ v_{\text{Infusion}} &= \frac{n_{\text{Tropfen}}}{t} \\ t &= \frac{n_{\text{Tropfen}}}{v_{\text{Infusion}}} \\ &= \frac{3346 \text{ Tropfen}}{25 \text{ Tropfen/min}} \\ &= 133,84 \text{ min} \\ &= \underline{\underline{2,231 \text{ h}}} \end{aligned}$$

1.9.20.

gegeben:

$$c_{\text{Grenzwert}} = 2000 \text{ Keime}/100 \text{ mL} = 20 \text{ Keime/mL}$$

$$V_{\text{Filtrat}} = 25 \text{ mL}$$

$$n_{\text{Keime}} = 253$$

gesucht:

 c_{Keime}

Berechnung:

$$\begin{aligned} c_{\text{Keime}} &= \frac{n_{\text{Keime}}}{V_{\text{Filtrat}}} \\ &= \frac{253 \text{ Keime}}{25 \text{ mL}} \\ &= \underline{\underline{10,12 \text{ Keime/mL}}} \end{aligned}$$

Antwort: Ja, denn $c_{\text{Keime}} < c_{\text{Grenzwert}}$

1.9.21.

gegeben:

$$V_{\text{Suspension}} = 80 \text{ mL}$$

$$\beta_{\text{Fe}} = 8,817 \text{ ng/mL}$$

gesucht:

$$m_{\text{Fe}}$$

Berechnung:

$$\beta_{\text{Fe}} = \frac{m_{\text{Fe}}}{V_{\text{Suspension}}}$$

$$m_{\text{Fe}} = \beta_{\text{Fe}} \cdot V_{\text{Suspension}}$$

$$= 8,817 \text{ ng/mL} \cdot 80 \text{ mL}$$

$$= 705,35 \text{ ng}$$

$$= \underline{\underline{0,7054 \mu\text{g}}}$$

13.2 Lösungen zu Kap. 2 – Massenanteil, Konzentration und Dichte**13.2.1 Lösungen Abschn. 2.2 – Massen- und Prozentanteil (w)****2.2.1.**

gegeben:

$$m_{\text{Herbizidpulver}} = 25,00 \text{ kg} = 25.000 \text{ g}$$

$$m_{\text{Wirkstoff}} = 850,0 \text{ g}$$

gesucht:

$$w_{\text{Wirkstoff}}$$

Berechnung:

$$w_{\text{Wirkstoff}} = \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{m_{\text{total}}}$$

$$= \frac{850,0 \text{ g}}{25.000 \text{ g}}$$

$$= 0,03400 \text{ g/g}$$

$$= \underline{\underline{3,400 \%}}$$

2.2.2.

gegeben:

$$w_{\text{Fruchtzucker}} = 12,40 \text{ g}/100 \text{ g}$$

$$m_{\text{total}} = 800,0 \text{ g}$$

gesucht:

$$m_{\text{Milchzucker}}$$

Berechnung:

$$w_{\text{Milchzucker}} = \frac{m_{\text{Milchzucker}}}{m_{\text{total}}}$$

$$m_{\text{Milchzucker}} = w_{\text{Milchzucker}} \cdot m_{\text{total}}$$

$$= (w_{\text{total}} - w_{\text{Fruchtzucker}}) \cdot m_{\text{total}}$$

$$= (100 \% - 12,40 \%) \cdot 800 \text{ g}$$

$$= 87,60 \% \cdot 800 \text{ g}$$

$$= \underline{\underline{700,8 \text{ g}}}$$

2.2.3.

gegeben:

$$m_{\text{NaOH}} = 11,50 \text{ g}$$

$$m_{\text{Wasser}} = 39,00 \text{ g}$$

gesucht:

$$w_{\text{NaOH}}$$

Berechnung:

$$w_{\text{NaOH}} = \frac{m_{\text{NaOH}}}{m_{\text{total}}}$$

$$= \frac{m_{\text{NaOH}}}{m_{\text{NaOH}} + m_{\text{Wasser}}}$$

$$= \frac{11,50 \text{ g}}{11,50 \text{ g} + 39,00 \text{ g}}$$

$$= 0,22772277 \text{ g/g}$$

$$= \underline{\underline{22,77 \%}}$$

2.2.4

gegeben:

$$m_{\text{Granulat}} = 12,5 \text{ kg}$$

$$w_{\text{Wirkstoff}} = 8,5 \% = 85 \text{ g/kg}$$

gesucht:

$$m_{\text{Wirkstoff}}$$

Berechnung:

$$w_{\text{Wirkstoff}} = \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{m_{\text{Granulat}}}$$

$$\begin{aligned} m_{\text{Wirkstoff}} &= w_{\text{Wirkstoff}} \cdot m_{\text{Granulat}} \\ &= 85 \text{ g/kg} \cdot 12,5 \text{ kg} \\ &= 1063 \text{ g} \\ &= \underline{\underline{1,063 \text{ kg}}} \end{aligned}$$

2.2.5.

gegeben:

$$m_{\text{Medium}} = 1,25 \text{ kg} = 1250 \text{ g}$$

$$m_{\text{Agarose}} = 43,75 \text{ g}$$

gesucht:

$$w_{\text{Agarose}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} w_{\text{Agarose}} &= \frac{m_{\text{Agarose}}}{m_{\text{Medium}}} \\ &= \frac{43,75 \text{ g}}{1250 \text{ g}} \\ &= 0,035 \text{ g/g} \\ &= \underline{\underline{3,500 \%}} \end{aligned}$$

2.2.6.

gegeben:

$$m_{\text{Lösung 1}} = 720,0 \text{ g}$$

$$w_1 = 8 \%$$

$$w_2 = 30 \%$$

gesucht:

$$m_{\text{verdampft}}$$

Berechnung:

$$w_1 = \frac{m_{\text{NaCl}}}{m_{\text{Lösung 1}}}$$

$$m_{\text{NaCl}} = w_1 \cdot m_{\text{Lösung 1}}$$

$$= 8\% \cdot 720 \text{ g}$$

$$= 57,60 \text{ g}$$

$$w_2 = \frac{m_{\text{NaCl}}}{m_{\text{Lösung 2}}}$$

$$m_{\text{Lösung 2}} = \frac{m_{\text{NaCl}}}{w_2}$$

$$= \frac{57,60 \text{ g}}{30\%}$$

$$= 192,0 \text{ g}$$

$$m_{\text{verdampft}} = m_{\text{Lösung 1}} - m_{\text{Lösung 2}}$$

$$= 720,0 \text{ g} - 192,0 \text{ g}$$

$$= \underline{\underline{528,0 \text{ g}}}$$

2.2.7.

gegeben:

$$w_{\text{Wirkstoff}} = 0,23\text{‰} (= \text{g}/1000 \text{ g})$$

$$m_{\text{Tablette}} = 1,85 \text{ g}$$

gesucht:

$$m_{\text{Wirkstoff}}$$

Berechnung:

$$w_{\text{Wirkstoff}} = \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{m_{\text{Tablette}}}$$

$$m_{\text{Wirkstoff}} = w_{\text{Wirkstoff}} \cdot m_{\text{Tablette}}$$

$$= 0,23\text{‰} \cdot 1,85 \text{ g}$$

$$= \frac{0,23 \text{ g}}{1000 \text{ g}} \cdot 1,85 \text{ g}$$

$$= 4,255 \cdot 10^{-4} \text{ g}$$

$$= \underline{\underline{425,5 \mu\text{g}}}$$

2.2.8.

gegeben:

$$w_{\text{Wirkstoff}} = 2,5 \% (= \mu\text{g}/100 \mu\text{g})$$

$$m_{\text{Wirkstoff}} = 53,17 \mu\text{g}$$

gesucht:

$$m_{\text{Kapselinhalt}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} w_{\text{Wirkstoff}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{m_{\text{Kapselinhalt}}} \\ m_{\text{Kapselinhalt}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{w_{\text{Wirkstoff}}} \\ &= \frac{53,17 \mu\text{g}}{2,5 \mu\text{g}/100 \mu\text{g}} \\ &= 2126,8 \mu\text{g} \\ &= \underline{\underline{2,127 \text{ mg}}} \end{aligned}$$

2.2.9.

gegeben:

$$w_{\text{NaCl}} = 0,27 \text{ g/g} (= \text{kg/kg})$$

$$m_{\text{Lösung}} = 2500 \text{ kg}$$

gesucht:

$$m_{\text{NaCl}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} w_{\text{NaCl}} &= \frac{m_{\text{NaCl}}}{m_{\text{Lösung}}} \\ m_{\text{NaCl}} &= w_{\text{NaCl}} \cdot m_{\text{Lösung}} \\ &= 0,27 \text{ kg/kg} \cdot 2500 \text{ kg} \\ &= \underline{\underline{675,0 \text{ kg}}} \end{aligned}$$

2.2.10.

gegeben:

$$w_{\text{Wasser}} = 32,5 \%$$

$$w_{\text{Wirkstoff}} = 0,032 \text{ g/g}$$

$$m_{\text{Droge ungetrocknet}} = 100 \text{ g}$$

gesucht:

$$m_{\text{Wirkstoff}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} m_{\text{Droge getrocknet}} &= m_{\text{ungetrocknet}} - m_{\text{ungetrocknet}} \cdot w_{\text{Wasser}} \\ &= 100 \text{ g} - 100 \text{ g} \cdot 32,5 \% \\ &= 100 \text{ g} - 32,5 \text{ g} \\ &= 67,5 \text{ g} \end{aligned}$$

$$w_{\text{Wirkstoff}} = \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{m_{\text{Droge getrocknet}}}$$

$$\begin{aligned} m_{\text{Wirkstoff}} &= w_{\text{Wirkstoff}} \cdot m_{\text{Droge getrocknet}} \\ &= 0,032 \text{ g/g} \cdot 67,5 \text{ g} \\ &= 2,160 \text{ g (pro 67,5 g getrockneter Droge)} \\ &= \underline{\underline{2,160 \text{ g (pro 100 g ungetrockneter Droge)}}} \end{aligned}$$

2.2.11.

gegeben:

$$\begin{aligned} m_{\text{Kirschen}} &= 200 \text{ g} \\ w_{\text{erfasst}} &= 90 \% \\ m_{\text{Insektizid}} &= 4 \mu\text{g} \end{aligned}$$

gesucht:

$$w_{\text{Insektizid}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} w_{\text{Insektizid}} &= \frac{m_{\text{Insektizid}}}{m_{\text{Kirschen}} \cdot w_{\text{erfasst}}} \\ &= \frac{4 \mu\text{g}}{0,2 \text{ kg} \cdot 0,9 \text{ g/g}} \\ &= \underline{\underline{22,22 \mu\text{g/kg}}} \end{aligned}$$

2.2.12.

gegeben:

$$\begin{aligned} m_{\text{Nachweisgrenze}} &= 2 \mu\text{g} \\ w_{\text{Grenzwert}} &= 0,05 \mu\text{g/g} \\ w_{\text{erfassbar}} &= 80 \% \end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{untersucht}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} m_{\text{untersucht}} &= \frac{m_{\text{Nachweisgrenze}}}{m_{\text{Erntegut}} \cdot w_{\text{erfassbar}}} \\ &= \frac{2 \mu\text{g}}{0,05 \mu\text{g/g} \cdot 0,8 \text{ g/g}} \\ &= \underline{\underline{50,00 \text{ g}}} \end{aligned}$$

13.2.2 Lösungen Abschn. 2.3 – Massenkonzentration (β)

2.3.1.

gegeben:

$$\begin{aligned} \beta_{\text{Milchzucker}} &= 4,580 \text{ g/L} \\ V_{\text{Milchzucker}} &= 240,0 \text{ mL} = 0,2400 \text{ L} \end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{Milchzucker}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} \beta_{\text{Milchzucker}} &= \frac{m_{\text{Milchzucker}}}{V_{\text{Milchzuckerlösung}}} \\ m_{\text{Milchzucker}} &= \beta_{\text{Milchzucker}} \cdot V_{\text{Milchzucker}} \\ &= 4,580 \text{ g/L} \cdot 0,2400 \text{ L} \\ &= \underline{\underline{1,099 \text{ g}}} \end{aligned}$$

2.3.2.

gegeben:

$$\begin{aligned} V_{\text{Lauge}} &= 800,0 \text{ mL} = 0,8000 \text{ L} \\ \beta_{\text{NaOH}} &= 50 \text{ g/L} \end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{NaOH}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}\beta_{\text{NaOH}} &= \frac{m_{\text{NaOH}}}{V_{\text{Lauge}}} \\ m_{\text{NaOH}} &= \beta_{\text{NaOH}} \cdot V_{\text{Lauge}} \\ &= 50 \text{ g/L} \cdot 0,800 \text{ L} \\ &= \underline{\underline{40,00 \text{ g}}}\end{aligned}$$

2.3.3.

gegeben:

$$\begin{aligned}m_{\text{Wirkstoff}} &= 25,5 \mu\text{g} \\ \beta_{\text{Wirkstoff}} &= 12,5 \text{ mg/L} = 12,5 \mu\text{g/mL}\end{aligned}$$

gesucht:

$$V_{\text{Präparat}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}\beta_{\text{Wirkstoff}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{V_{\text{Präparat}}} \\ V_{\text{Präparat}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{\beta_{\text{Wirkstoff}}} \\ &= \frac{25,5 \mu\text{g}}{12,5 \mu\text{g/mL}} \\ &= \underline{\underline{2,040 \text{ mL}}}\end{aligned}$$

2.3.4.

gegeben:

$$\begin{aligned}m_{\text{Leber}} &= 4,750 \text{ g} \\ V_{\text{Suspension}} &= 50,00 \text{ mL} \\ \beta_{\text{Fe}} &= 1,920 \cdot 10^{-5} \text{ g/0,5 mL} = 3,840 \cdot 10^{-5} \text{ g/mL}\end{aligned}$$

gesucht:

$$w_{\text{Fe}} \text{ (in mg/100 g)}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}\beta_{\text{Fe}} &= \frac{m_{\text{Fe}}}{V_{\text{Suspension}}} \\ m_{\text{Fe}} &= \beta_{\text{Fe}} \cdot V_{\text{Suspension}} \\ &= 3,840 \cdot 10^{-5} \text{ g/mL} \cdot 50 \text{ mL} \\ &= 192,0 \cdot 10^{-5} \text{ g} \\ w_{\text{Fe}} &= \frac{m_{\text{Fe}}}{m_{\text{Leber}}} \\ &= \frac{192,0 \cdot 10^{-5} \text{ g}}{4,750 \text{ g}} \\ &= 40,42 \cdot 10^{-5} \text{ g/g} \\ &= \underline{\underline{40,42 \text{ mg/100 g}}}\end{aligned}$$

2.3.5.

gegeben:

$$\begin{aligned}V_{\text{Urin}} &= 1 \text{ mL} \\ w_{\text{Ausbeute}} &= 62,2 \% \\ m_{\text{Wirkstoff im Extrakt}} &= 17,3 \cdot 10^{-10} \text{ g} \\ V_{\text{Probe}} &= 197 \text{ mL}\end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{Wirkstoff}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}\beta_{\text{Wirkstoff}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff im Extrakt}}}{V_{\text{Urin}} \cdot w_{\text{Ausbeute}}} \\ &= \frac{17,3 \cdot 10^{-10} \text{ g}}{1 \text{ mL} \cdot 0,622 \text{ g/g}} \\ &= 2,7813504 \cdot 10^{-9} \text{ g/mL} \\ m_{\text{Wirkstoff}} &= \beta_{\text{Wirkstoff}} \cdot V_{\text{Probe}} \\ &= 2,7813504 \text{ ng/mL} \cdot 197 \text{ mL} \\ &= \underline{\underline{0,5479 \mu\text{g}}}\end{aligned}$$

2.3.6.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 n_{\text{Blätter}} &= 20 \\
 c_{\text{Sori}} &= 37 \text{ Sori/Blatt} \\
 V_{\text{Wasser}} &= 80 \text{ mL} \\
 V_{\text{Suspension}} &= 0,2 \mu\text{L} \\
 n_{\text{Proben}} &= 4 \\
 n_{\text{Sporen 1}} &= 3,75 \\
 n_{\text{Sporen 2}} &= 3,21 \\
 n_{\text{Sporen 3}} &= 4,01 \\
 n_{\text{Sporen 4}} &= 3,78
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$c_{\text{Sporen/Sorus}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 \bar{\varnothing}_{\text{Sporen}} &= \frac{\sum n_{\text{Sporen}}}{n_{\text{Proben}}} \\
 &= \frac{3,75 \text{ Sp.} + 3,21 \text{ Sp.} + 4,01 \text{ Sp.} + 3,78 \text{ Sp.}}{4} \\
 &= 3,6875 \text{ Sporen} \\
 c_{\text{Sporen}} &= \frac{\bar{\varnothing}_{\text{Sporen}}}{V_{\text{Suspension}}} \\
 &= \frac{3,6875 \text{ Sporen}}{0,2 \mu\text{L}} \\
 &= 18,4375 \text{ Sporen}/\mu\text{L} \\
 &= 1.475.000 \text{ Sporen}/80 \text{ mL} \\
 n_{\text{Sori total}} &= n_{\text{Blätter}} \cdot c_{\text{Sori}} \\
 &= 20 \text{ Blätter} \cdot 37 \text{ Sori/Blatt} \\
 &= 740 \text{ Sori} \\
 c_{\text{Sporen/Sorus}} &= \frac{n_{\text{Sporen}}}{n_{\text{Sori total}}} \\
 &= \frac{1.475.000 \text{ Sporen}}{740 \text{ Sori}} \\
 &= \underline{\underline{1993 \text{ Sporen/Sorus}}}
 \end{aligned}$$

2.3.7.

gegeben:

$$V_{\text{Honigwasser}} = 5 \mu\text{L (pro Biene)}$$

$$\beta_{\text{Lösung}} = 175 \text{ g/L}$$

$$V_{\text{Futterlösung}} = 1 \text{ L}$$

$$m_{\text{Wirkstoff}} = 5 \mu\text{g}$$

gesucht:

$$V_{\text{Lösung}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} \beta_{\text{Wirkstoff}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{V_{\text{Honigwasser}}} \\ &= \frac{5 \mu\text{g}}{5 \mu\text{L}} \\ &= 1 \mu\text{g}/\mu\text{L} \\ &= 1 \text{ g/L} \end{aligned}$$

$$\beta_{\text{Wirkstoff}} = \frac{m_{\text{Wirkstoff in der Lösung}}}{V_{\text{Lösung}}}$$

$$\begin{aligned} m_{\text{Wirkstoff in der Lösung}} &= \beta_{\text{Wirkstoff}} \cdot V_{\text{Lösung}} \\ &= 1 \text{ g/L} \cdot 1 \text{ L} \\ &= 1 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\beta_{\text{Lösung}} = \frac{m_{\text{Wirkstoff in der Lösung}}}{V_{\text{Lösung}}}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{Lösung}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff in der Lösung}}}{\beta_{\text{Lösung}}} \\ &= \frac{1 \text{ g}}{175 \text{ g/L}} \\ &= \underline{\underline{5,714 \text{ mL}}} \end{aligned}$$

2.3.8.

gegeben:

$$m_{\text{Präparat}} = 25 \text{ g}$$

$$w_{\text{Wirkstoff}} = 87 \%$$

$$\beta_{\text{Wirkstoff}} = 5 \text{ mg/L}$$

$$h_{\text{Boden}} = 1 \text{ dm}$$

gesucht:

$$A_{\text{Behandlung}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} w_{\text{Wirkstoff}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{m_{\text{Präparat}}} \\ m_{\text{Wirkstoff}} &= w_{\text{Wirkstoff}} \cdot m_{\text{Präparat}} \\ &= 25 \text{ g} \cdot 0,87 \text{ g/g} \\ &= 21,75 \text{ g} \\ \beta_{\text{Wirkstoff}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{V_{\text{Boden}}} \\ V_{\text{Boden}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{\beta_{\text{Wirkstoff}}} \\ &= \frac{21,75 \text{ g}}{5 \text{ g/m}^3} \\ &= 4,35 \text{ m}^3 \\ A_{\text{Behandlung}} &= \frac{V_{\text{Boden}}}{h_{\text{Boden}}} \\ &= \frac{4,35 \text{ m}^3}{0,1 \text{ m}} \\ &= \underline{\underline{43,50 \text{ m}^2}} \end{aligned}$$

2.3.9.

gegeben:

$$\begin{aligned} \beta_{\text{Maltose}} &= 4,5 \text{ g/L} \\ \varnothing_{\text{Röhrchen}} &= 2 \text{ cm} \Rightarrow r_{\text{Röhrchen}} = 1 \text{ cm} \\ l_{\text{Röhrchen}} &= 8 \text{ cm} \end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{Maltose}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} V_{\text{Röhrchen}} &= (r_{\text{Röhrchen}})^2 \cdot \pi \cdot l_{\text{Röhrchen}} \\ &= (1 \text{ cm})^2 \cdot \pi \cdot 8 \text{ cm} \\ &= 25,13274123 \text{ mL} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\beta_{\text{Maltose}} &= \frac{m_{\text{Maltose}}}{V_{\text{Röhrchen}}} \\ m_{\text{Maltose}} &= \beta_{\text{Maltose}} \cdot V_{\text{Röhrchen}} \\ &= 4,5 \text{ mg/mL} \cdot 25,1327412 \text{ mL} \\ &= \underline{\underline{113,1 \text{ mg}}}\end{aligned}$$

2.3.10.

gegeben:

$$\begin{aligned}\varnothing_{\text{Inkubator}} &= 8 \text{ dm} \Rightarrow r_{\text{Inkubator}} = 4 \text{ dm} \\ h_{\text{Lösung}} &= 12,5 \text{ dm} \\ \beta_{\text{Salz}} &= 28,5 \text{ g/L}\end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{Salz}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}V_{\text{Inkubator}} &= (r_{\text{Inkubator}})^2 \cdot \pi \cdot h_{\text{Lösung}} \\ &= (4 \text{ dm})^2 \cdot \pi \cdot 12,5 \text{ dm} \\ &= 628,3185307 \text{ L} \\ \beta_{\text{Salz}} &= \frac{m_{\text{Salz}}}{V_{\text{Inkubator}}} \\ m_{\text{Salz}} &= \beta_{\text{Salz}} \cdot V_{\text{Inkubator}} \\ &= 28,5 \text{ g/L} \cdot 628,3185307 \text{ L} \\ &= \underline{\underline{17,91 \text{ kg}}}\end{aligned}$$

2.3.11.

gegeben:

$$\begin{aligned}\beta_{\text{Metabolit}} &= 26,48 \text{ } \mu\text{g/mL} \\ w_{\text{nachweisbar}} &= 72,5 \% \\ V_{\text{Urin}} &= 5 \text{ mL}\end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{Metabolit}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}\beta_{\text{Metabolit}} &= \frac{m_{\text{Metabolit nachweisbar}}}{V_{\text{Urin}}} \\ m_{\text{Metabolit nachweisbar}} &= \beta_{\text{Metabolit}} \cdot V_{\text{Urin}} \\ &= 26,48 \mu\text{g/mL} \cdot 5 \text{ mL} \\ &= 132,4 \mu\text{g} \\ m_{\text{Metabolit}} &= \frac{m_{\text{Metabolit nachweisbar}}}{w_{\text{nachweisbar}}} \\ &= \frac{132,4 \mu\text{g}}{0,725 \mu\text{g}/\mu\text{g}} \\ &= \underline{\underline{182,6 \mu\text{g}}}\end{aligned}$$

2.3.12.

gegeben:

$$\begin{aligned}\beta_{\text{Kreatinin im Blutplasma}} &= 11 \mu\text{g/mL} = 11 \text{ mg/m}^3 \\ \beta_{\text{Kreatinin im Urin}} &= 1,27 \text{ g/L} \\ V_{\text{Urin}} &= 1,2 \text{ L} \\ t &= 24 \text{ h}\end{aligned}$$

gesucht:

$$Q_{\text{Blutplasma}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}\beta_{\text{Kreatinin im Urin}} &= \frac{m_{\text{Kreatinin}}}{V_{\text{Urin}}} \\ m_{\text{Kreatinin}} &= \beta_{\text{Kreatinin im Urin}} \cdot V_{\text{Urin}} \\ &= 1,27 \text{ g/L} \cdot 1,2 \text{ L} \\ &= 1,524 \text{ g} \\ \beta_{\text{Kreatinin im Blutplasma}} &= \frac{m_{\text{Kreatinin}}}{V_{\text{Blutplasma}}} \\ V_{\text{Blutplasma}} &= \frac{m_{\text{Kreatinin}}}{\beta_{\text{Kr. im Blutplasma}}} \\ &= \frac{1,524 \text{ g}}{11 \text{ g/m}^3} \\ &= 0,13854545 \text{ m}^3 \\ &= 138,54545 \text{ L}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{Blutplasma}} &= 138,54545 \text{ L}/24 \text{ h} \\
 &= 5,772727 \text{ L}/\text{h} \\
 &= \underline{\underline{96,21 \text{ mL}/\text{min}}}
 \end{aligned}$$

2.3.13.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 \beta_{\text{Substanz im Blut}} &= 25,5 \mu\text{g}/\text{mL} \\
 \beta_{\text{Substanz im Blut nach 6 h}} &= 22 \mu\text{g}/\text{mL} \\
 V_{\text{Urin}} &= 125,9 \text{ mL} \\
 V_{\text{Blut}} &= 0,8 \text{ L}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$\beta_{\text{Substanz im Urin}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 \Delta\beta_{\text{Substanz}} &= \beta_{\text{Substanz im Blut}} - \beta_{\text{Substanz im Blut nach 6 h}} \\
 &= 25,5 \mu\text{g}/\text{mL} - 22 \mu\text{g}/\text{mL} \\
 &= 3,5 \mu\text{g}/\text{mL} \\
 \Delta\beta_{\text{Substanz}} &= \frac{\Delta m_{\text{Substanz}}}{V_{\text{Blut}}} \\
 \Delta m_{\text{Substanz}} &= \Delta\beta_{\text{Substanz}} \cdot V_{\text{Blut}} \\
 &= 3,5 \mu\text{g}/\text{mL} \cdot 0,8 \text{ L} \\
 &= 3,5 \text{ mg}/\text{L} \cdot 0,8 \text{ L} \\
 &= 2,8 \text{ mg} \\
 \beta_{\text{Substanz im Urin}} &= \frac{\Delta m_{\text{Substanz}}}{V_{\text{Urin}}} \\
 &= \frac{2,8 \text{ mg}}{125,9 \text{ mL}} \\
 &= 0,0222399 \text{ mg}/\text{mL} \\
 &= \underline{\underline{22,24 \mu\text{g}/\text{mL}}}
 \end{aligned}$$

2.3.14.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Topf}} &= 5,34 \text{ L} \\
 n_{\text{Töpfe}} &= 72 \\
 l_{\text{Wanne}} &= 2,4 \text{ m} \\
 b_{\text{Wanne}} &= 1,2 \text{ m} \\
 \beta_{\text{max}} &= 40 \text{ g}/100 \text{ mL} = 400 \text{ g/L} \\
 \beta_{\text{aktuell}} &= 30 \text{ g}/100 \text{ mL} = 300 \text{ g/L} \\
 h_{\text{Regen}} &= 17,4 \text{ mm} (= 17,4 \text{ L}/\text{m}^2)
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$V_{\text{freies Wasser}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Erde}} &= V_{\text{Topf}} \cdot n_{\text{Töpfe}} \\
 &= 5,34 \text{ L/Topf} \cdot 72 \text{ Töpfe} \\
 &= 384,48 \text{ L} \\
 \Delta\beta &= \beta_{\text{max}} - \beta_{\text{aktuell}} \\
 &= 400 \text{ g/L} - 300 \text{ g/L} \\
 &= 100 \text{ g/L} \\
 \Delta\beta &= \frac{\Delta m_{\text{Wasser}}}{V_{\text{Erde}}} \\
 \Delta m_{\text{Wasser}} &= \Delta\beta \cdot V_{\text{Erde}} \\
 &= 100 \text{ g/L} \cdot 384,48 \text{ L} \\
 &= 38,448 \text{ kg} \\
 \Delta V_{\text{Wasser}} &= \frac{\Delta m_{\text{Wasser}}}{\beta_{\text{Wasser}}} \\
 &= \frac{38,448 \text{ kg}}{1 \text{ kg/L}} \\
 &= 38,448 \text{ L} \\
 A_{\text{Wanne}} &= l_{\text{Wanne}} \cdot b_{\text{Wanne}} \\
 &= 24 \text{ dm} \cdot 12 \text{ dm} \\
 &= 288 \text{ dm}^2 \\
 V_{\text{Regen}} &= A_{\text{Wanne}} \cdot h_{\text{Regen}} \\
 &= 288 \text{ dm}^2 \cdot 0,174 \text{ dm} \\
 &= 50,112 \text{ dm}^3 \\
 &= 50,112 \text{ L}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{\text{freies Wasser}} &= V_{\text{Regen}} - \Delta V_{\text{Wasser}} \\
 &= 50,112 \text{ L} - 38,448 \text{ L} \\
 &= \underline{\underline{11,66 \text{ L}}}
 \end{aligned}$$

2.3.15.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 A_{\text{Blatt}} &= 360 \text{ cm}^2 \\
 V_{\text{Spritzbrühe}} &= 20 \text{ mL} \\
 \beta_{\text{Präparat}} &= 1 \text{ g/L} \\
 c_{\text{Bakterien}} &= 3,6 \cdot 10^7 \text{ Bakterien/mg} \\
 c_{\text{Analyse}} &= 1,875 \cdot 10^5 \text{ Bakterien/cm}^2
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$V_{\text{haftende Spritzbrühe}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 n_{\text{Bakterien an Pflanzen}} &= c_{\text{Analyse}} \cdot A_{\text{Blatt}} \\
 &= 187.500 \text{ Bakterien/cm}^2 \cdot 360 \text{ cm}^2 \\
 &= 6,75 \cdot 10^7 \text{ Bakt.} \\
 \beta_{\text{Präparat}} &= \frac{m_{\text{Präparat}}}{V_{\text{Präparat}}} \\
 m_{\text{Präparat}} &= \beta_{\text{Präparat}} \cdot V_{\text{Präparat}} \\
 &= 1 \text{ g/L} \cdot 0,02 \text{ L} \\
 &= 0,02 \text{ g} \\
 &= 20 \text{ mg} \\
 m_{\text{applizierte Bakterien}} &= m_{\text{Präparat}} \cdot c_{\text{Bakterien}} \\
 &= 20 \text{ mg} \cdot 3,6 \cdot 10^7 \text{ Bakterien/mg} \\
 &= 72 \cdot 10^7 \text{ Bakterien} \\
 w_{\text{haftende Bakterien}} &= \frac{n_{\text{Bakterien an Pflanzen}}}{m_{\text{applizierte Bakterien}}} \\
 &= \frac{6,75 \cdot 10^7 \text{ Bakterien}}{72 \cdot 10^7 \text{ Bakterien}} \\
 &= 9,375 \% \\
 V_{\text{haftende Spritzbrühe}} &= V_{\text{Spritzbrühe}} \cdot w_{\text{haftende Bakterien}} \\
 &= 20 \text{ mL} \cdot 9,375 \% \\
 &= \underline{\underline{1,875 \text{ mL}}}
 \end{aligned}$$

2.3.16.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 A_{\text{Blatt}} &= 40 \text{ cm}^2 \\
 c_{\text{Bakterien}} &= 5,5 \cdot 10^4 \text{ Bakterien/cm}^2 \\
 V_{\text{Futter}} &= 3 \mu\text{L} \\
 c_{\text{Präparat}} &= 3,6 \cdot 10^7 \text{ Bakterien/mg}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{Bakterienpräparat}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{gefressene Bakterien}} &= c_{\text{Bakterien}} \cdot A_{\text{Blatt}} \\
 &= 55.000 \text{ Bakterien/cm}^2 \cdot 40 \text{ cm}^2 \\
 &= 2.200.000 \text{ Bakterien} \\
 m_{\text{Bakterien}} &= \frac{n_{\text{gefressene Bakterien}}}{c_{\text{Präparat}}} \\
 &= \frac{2.200.000 \text{ Bakterien}}{3,6 \cdot 10^7 \text{ Bakterien/mg}} \\
 &= 0,06111111111 \text{ mg} \\
 \beta_{\text{Bakterien}} &= \frac{m_{\text{Bakterien}}}{V_{\text{Futter}}} \\
 &= \frac{0,06111111111 \text{ mg}}{3 \mu\text{L}} \\
 &= 0,02037037 \text{ mg}/\mu\text{L} \\
 \beta_{\text{Bakterien}} &= \frac{m_{\text{Bakterienpräparat}}}{V_{\text{Lösung}}} \\
 m_{\text{Bakterienpräparat}} &= \beta_{\text{Bakterien}} \cdot V_{\text{Lösung}} \\
 &= 0,02037037 \text{ mg}/\mu\text{L} \cdot 10 \text{ mL} \\
 &= 0,02037037 \text{ g/mL} \cdot 10 \text{ mL} \\
 &= 0,2307 \text{ g} \\
 &= \underline{\underline{203,7 \text{ mg}}}
 \end{aligned}$$

2.3.17.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 \varnothing &= 7 \text{ mm} \\
 V_{\text{Aceton}} &= 10 \mu\text{L} \\
 \beta_{\text{Wirkstoff}} &= 20 \text{ mg/L} \\
 V_{\text{Suspension}} &= 50 \mu\text{L}
 \end{aligned}$$

gesucht:

β_{Fungizid} und G (Massebelegung, Grammatur, in $\mu\text{g}/\text{cm}^2$)

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 A_{\text{Umgrenzung}} &= r^2 \cdot \pi \\
 &= (0,35 \text{ cm})^2 \cdot \pi \\
 &= 0,3848451001 \text{ cm}^2 \\
 \beta_{\text{Wirkstoff}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{V_{\text{Aceton}}} \\
 m_{\text{Wirkstoff}} &= \beta_{\text{Wirkstoff}} \cdot V_{\text{Aceton}} \\
 &= 20 \mu\text{g}/\text{mL} \cdot 0,01 \text{ mL} \\
 &= 0,2 \mu\text{g} \\
 \beta_{\text{Fungizid}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{V_{\text{Suspension}}} \\
 &= \frac{0,2 \mu\text{g}}{50 \mu\text{L}} \\
 &= 0,004 \mu\text{g}/\mu\text{L} \\
 &= \underline{\underline{4,000 \text{ mg}/\text{L}}} \\
 G &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{A_{\text{Umgrenzung}}} \\
 &= \frac{0,2 \mu\text{g}}{0,3848451001 \text{ cm}^2} \\
 &= \underline{\underline{0,5197 \mu\text{g}/\text{cm}^2}}
 \end{aligned}$$

2.3.18.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 \varnothing_{\text{Gefäß}} &= 15 \text{ cm} \Rightarrow r_{\text{Gefäß}} = 0,75 \text{ dm} \\
 V_{\text{Gefäß}} &= 6 \text{ L} \\
 \beta_{\text{Salz}} &= 1,76 \text{ g}/\text{L} \\
 \Delta m_{\text{Salz pro Tag}} &= 117,5 \text{ mg} \\
 \Delta h_{\text{Flüssigkeit}} &= 38 \text{ mm}/\text{d} \\
 t &= 3 \text{ d}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$\beta_{\text{Salz nach 3 d}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} A_{\text{Gefäß}} &= r^2 \cdot \pi \\ &= (0,75 \text{ dm})^2 \cdot \pi \\ &= 1,767145868 \text{ dm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta V_{\text{Flüssigkeit}} &= A_{\text{Gefäß}} \cdot \Delta h_{\text{Flüssigkeit}} \\ &= 1,7671459 \text{ dm}^2 \cdot 0,38 \text{ dm} \\ &= 0,67151542984 \text{ L} \end{aligned}$$

$$\beta_{\text{Salz}} = \frac{m_{\text{Salz am Anfang}}}{V_{\text{Gefäß}}}$$

$$\begin{aligned} m_{\text{Salz am Anfang}} &= \beta_{\text{Salz}} \cdot V_{\text{Gefäß}} \\ &= 1,76 \text{ g/L} \cdot 6 \text{ L} \\ &= 10,56 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta m_{\text{Salz}} &= \Delta m_{\text{Salz pro Tag}} \cdot t \\ &= 0,1175 \text{ g} \cdot 3 \text{ d} \\ &= 0,3525 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_{\text{Salz nach 3 d}} &= m_{\text{Salz am Anfang}} - \Delta m_{\text{Salz}} \\ &= 10,56 \text{ g} - 0,3525 \text{ g} \\ &= 10,2075 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{Flüssigkeit nach 3 d}} &= V_{\text{Gefäß}} - \Delta V_{\text{Flüssigkeit}} \\ &= 6 \text{ L} - 0,67151542984 \text{ L} \\ &= 5,32848457016 \text{ L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta_{\text{Salz nach 3 d}} &= \frac{m_{\text{Salz nach 3 d}}}{V_{\text{Flüssigkeit nach 3 d}}} \\ &= \frac{10,2075 \text{ g}}{5,32848457016 \text{ L}} \\ &= \underline{\underline{1,916 \text{ g/L}}} \end{aligned}$$

13.2.3 Lösungen Abschn. 2.4 – Stoffmengenkonzentration (c)

2.4.1.a)

gegeben:

$$\begin{aligned} \varnothing_{\text{Sandkorn}} &= 0,1 \text{ mm} \\ n_{\text{Sandkörner}} &= 1 \text{ mol} \end{aligned}$$

gesucht:

$$V_{\text{Sand}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Sandkorn}} &= L \cdot b \cdot h \\
 &= (0,1 \text{ mm})^3 \\
 &= (10^{-4} \text{ m})^3 \\
 &= 10^{-12} \text{ m}^3 \\
 V_{\text{Sand}} &= n_{\text{Sandkörner}} \cdot V_{\text{Sandkorn}} \\
 &= 1 \text{ mol} \cdot 10^{-12} \text{ m}^3 \\
 &= 6,02214 \cdot 10^{23} \cdot 10^{-12} \text{ m}^3 \\
 &= \underline{\underline{6,022 \cdot 10^{11} \text{ m}^3}}
 \end{aligned}$$

2.4.1.b)

gegeben:

$$A_{\text{Schweiz}} = 41287 \text{ km}^2 = 4,1287 \cdot 10^{10} \text{ m}^2$$

gesucht:

$$h_{\text{Sand}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Sand}} &= A_{\text{Schweiz}} \cdot h_{\text{Sand}} \\
 h_{\text{Sand}} &= \frac{V_{\text{Sand}}}{A_{\text{Schweiz}}} \\
 &= \frac{6,02214 \cdot 10^{11} \text{ m}^3}{4,1287 \cdot 10^{10} \text{ m}^2} \\
 &= \underline{\underline{14,59 \text{ m}}}
 \end{aligned}$$

2.4.2.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 n_{\text{Wasser}} &= 55,56 \text{ mol} \\
 v_{\text{Arbeit}} &= 10 \text{ Moleküle/s}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$t_{\text{Arbeit}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} n_{\text{Wasser}} &= 55,56 \text{ mol} \cdot 6,02214 \cdot 10^{23} \text{ Moleküle/mol} \\ &= 3,3459009 \cdot 10^{25} \text{ Moleküle} \end{aligned}$$

$$v_{\text{Arbeit}} = \frac{n_{\text{Wasser}}}{t_{\text{Arbeit}}}$$

$$\begin{aligned} t_{\text{Arbeit}} &= \frac{n_{\text{Wasser}}}{v_{\text{Arbeit}}} \\ &= \frac{3,3459009 \cdot 10^{25} \text{ Moleküle}}{10 \text{ Moleküle/s}} \end{aligned}$$

$$= 3,3459009 \cdot 10^{24} \text{ s}$$

$$= 5,5765016 \cdot 10^{22} \text{ min}$$

$$= 9,2941694 \cdot 10^{20} \text{ h}$$

$$= 3,8725705 \cdot 10^{19} \text{ Tage}$$

$$(1 \text{ Jahr} = \text{ca. } 365,25 \text{ Tage}) = 1,0602520 \cdot 10^{17} \text{ Jahre}$$

$$= \underline{\underline{106.025.202 \text{ Milliarden Jahre}}}$$

Zum Vergleich: Heute geht man davon aus, dass unser Universum ein Alter von ca. 13,8 Milliarden Jahren hat. Während den etwas mehr als 106 Milliarden Jahren dürften Sie weder Pausen machen oder Urlaub nehmen. Und an Schlaf könnten Sie ebenfalls nicht denken, denn sonst würde es noch länger dauern, bis die Arbeit erledigt ist!

2.4.3.

- $M_{\text{NaCl}} = 58,44247 \text{ g/mol}$
- $M_{\text{Ethanol}} = 46,0691 \text{ g/mol}$
- $M_{\text{Essigsäure}} = 60,0524 \text{ g/mol}$
- $M_{\text{Na-Propionat}} = 96,06107 \text{ g/mol}$

2.4.4.

- $M_{\text{Aceton}} = 58,08004 \text{ g/mol}$ ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$)
- $M_{\text{Ribose}} = 150,1300 \text{ g/mol}$ ($\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_5$)
- $M_{\text{Testosteron}} = 288,431 \text{ g/mol}$ ($\text{C}_{19}\text{H}_{28}\text{O}_2$)
- $M_{\text{Histamin}} = 111,148 \text{ g/mol}$ ($\text{C}_5\text{H}_9\text{N}_3$)

2.4.5.

gegeben:

$$V_{\text{Lauge}} = 500,0 \text{ mL} = 0,5000 \text{ L}$$

$$c_{\text{NaOH}} = 10,00 \text{ mmol/L}$$

$$M_{\text{NaOH}} = 39,99711 \text{ g/mol}$$

gesucht:

$$m_{\text{NaOH}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} c_{\text{NaOH}} &= \frac{n_{\text{NaOH}}}{V_{\text{Lauge}}} \\ n_{\text{NaOH}} &= c_{\text{NaOH}} \cdot V_{\text{Lauge}} \\ &= 10,00 \text{ mmol/L} \cdot 0,5000 \text{ L} \\ &= 5,000 \text{ mmol} \\ m_{\text{NaOH}} &= n_{\text{NaOH}} \cdot M_{\text{NaOH}} \\ &= 5 \text{ mmol} \cdot 39,99711 \text{ g/mol} \\ &= \underline{\underline{200,0 \text{ mg}}} \end{aligned}$$

2.4.6.

gegeben:

$$\begin{aligned} m_{\text{Glucose}} &= 100,0 \text{ g} \\ V_{\text{Lösung}} &= 250,0 \text{ mL} = 0,25 \text{ L} \\ M_{\text{Glucose}} &= 180,15768 \text{ g/mol} \end{aligned}$$

gesucht:

$$c_{\text{Glucose}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} n_{\text{Glucose}} &= \frac{m_{\text{Glucose}}}{M_{\text{Glucose}}} \\ &= \frac{100,0 \text{ g}}{180,15768 \text{ g/mol}} \\ &= 0,5550693148 \text{ mol} \\ c_{\text{Glucose}} &= \frac{n_{\text{Glucose}}}{V_{\text{Lösung}}} \\ &= \frac{0,5550693148 \text{ mol}}{0,25 \text{ L}} \\ &= \underline{\underline{2,220 \text{ mol/L}}} \end{aligned}$$

2.4.7.

gegeben:

$$V_{\text{Papaverin}} = 0,2 \text{ mL}$$

$$\beta_{\text{Papaverin}} = 200 \text{ } \mu\text{g/mL}$$

$$V_{\text{total}} = 50 \text{ mL}$$

$$M_{\text{Papaverin}} = 339,39104 \text{ g/mol}$$

gesucht:

$$c_{\text{Papaverin}}$$

Berechnung:

$$\beta_{\text{Papaverin}} = \frac{m_{\text{Papaverin}}}{V_{\text{Papaverin}}}$$

$$\begin{aligned} m_{\text{Papaverin}} &= \beta_{\text{Papaverin}} \cdot V_{\text{Papaverin}} \\ &= 200 \text{ } \mu\text{g/mL} \cdot 0,2 \text{ mL} \\ &= 40 \text{ } \mu\text{g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_{\text{Papaverin}} &= \frac{m_{\text{Papaverin}}}{M_{\text{Papaverin}}} \\ &= \frac{40 \text{ } \mu\text{g}}{339,3910 \text{ } \mu\text{g}/\mu\text{mol}} \\ &= 0,11785814970248 \text{ } \mu\text{mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c_{\text{Papaverin}} &= \frac{n_{\text{Papaverin}}}{V_{\text{total}}} \\ &= \frac{0,11785814970248 \text{ } \mu\text{mol}}{0,05 \text{ L}} \\ &= \underline{\underline{2,357 \text{ } \mu\text{mol/L}}} \end{aligned}$$

2.4.8.

gegeben:

$$m_{\text{Erythrocyte}} = 10^{-10} \text{ g}$$

$$w_{\text{Hämoglobin}} = 1/3$$

$$w_{\text{Fe}} = 3 \text{ g/kg}$$

$$M_{\text{Fe}} = 55,847 \text{ g/mol}$$

gesucht:

$$n_{\text{Fe/Erythrocyte}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Hämoglobin/Erythrocyte}} &= m_{\text{Erythrocyte}} \cdot w_{\text{Hämoglobin}} \\
 &= 10^{-10} \text{ g} \cdot 1/3 \\
 &= 3,333333 \cdot 10^{-11} \text{ g} \\
 m_{\text{Fe/Erythrocyte}} &= m_{\text{Hämoglobin/Erythrocyte}} \cdot w_{\text{Fe}} \\
 &= 3,3333333 \cdot 10^{-11} \text{ g} \cdot 0,003 \text{ g/g} \\
 &= 10^{-13} \text{ g} \\
 n_{\text{Fe/Erythrocyte}} &= \frac{m_{\text{Fe}}}{M_{\text{Fe}}} \\
 &= \frac{10^{-13} \text{ g}}{55,847 \text{ g/mol}} \\
 &= 1,7906064 \cdot 10^{-15} \text{ mol} \\
 &= 1,7906064 \cdot 10^{-15} \text{ mol} \cdot 6,022 \cdot 10^{23} \text{ Atome/mol} \\
 &= 1.078.303.221 \text{ Atome} \\
 &= \underline{\underline{1,078 \cdot 10^9 \text{ Atome}}}
 \end{aligned}$$

2.4.9.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{HCl}} &= 0,185 \text{ L} \\
 c_{\text{HCl}} &= 2,1 \text{ mol/L} \\
 w_{\text{HCl}} &= 37 \% \\
 M_{\text{HCl}} &= 36,4606 \text{ g/mol}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{HCl-Lösung}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 c_{\text{HCl}} &= \frac{n_{\text{HCl}}}{V_{\text{HCl}}} \\
 n_{\text{HCl}} &= c_{\text{HCl}} \cdot V_{\text{HCl}} \\
 &= 2,1 \text{ mol/L} \cdot 0,185 \text{ L} \\
 &= 0,3885 \text{ mol} \\
 m_{\text{HCl}} &= n_{\text{HCl}} \cdot M_{\text{HCl}} \\
 &= 0,3885 \text{ mol} \cdot 36,46 \text{ g/mol} \\
 &= 14,1649431 \text{ g}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_{\text{HCl-Lösung}} &= \frac{m_{\text{HCl}}}{w_{\text{HCl}}} \\
 &= \frac{14,1649431 \text{ g}}{37 \%} \\
 &= \frac{14,1649431 \text{ g}}{0,37 \text{ g/g}} \\
 &= \underline{\underline{38,28 \text{ g}}}
 \end{aligned}$$

2.4.10.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 \beta_{\text{Albumin}} &= 5 \text{ g/L} \\
 c_{\text{NaCl}} &= 50 \text{ mmol/L} \\
 \beta_{\text{Albumin-Stammlösung}} &= 150 \text{ g/L} \\
 \beta_{\text{NaCl-Stammlösung}} &= 150 \text{ g/L} \\
 V_{\text{Standardlösung}} &= 150 \text{ mL} = 0,15 \text{ L} \\
 M_{\text{NaCl}} &= 58,4430 \text{ g/mol}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$V_{\text{Albumin-Stammlösung}} \text{ und } V_{\text{NaCl-Stammlösung}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 \beta_{\text{Albumin}} &= \frac{m_{\text{Albumin}}}{V_{\text{Standardlösung}}} \\
 m_{\text{Albumin}} &= \beta_{\text{Albumin}} \cdot V_{\text{Standardlösung}} \\
 &= 5 \text{ g/L} \cdot 0,15 \text{ L} \\
 &= 0,75 \text{ g} \\
 \beta_{\text{Albumin Stammlösung}} &= \frac{m_{\text{Albumin}}}{V_{\text{Albumin-Stammlösung}}} \\
 V_{\text{Albumin-Stammlösung}} &= \frac{m_{\text{Albumin}}}{\beta_{\text{Albumin-Stammlösung}}} \\
 &= \frac{0,75 \text{ g}}{150 \text{ g/L}} \\
 &= \underline{\underline{5,000 \text{ mL}}} \\
 \beta_{\text{NaCl}} &= c_{\text{NaCl}} \cdot M_{\text{NaCl}} \\
 &= 50 \text{ mmol/L} \cdot 58,44 \text{ g/mol} \\
 &= 2,92215 \text{ g/L}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\beta_{\text{NaCl}} &= \frac{m_{\text{NaCl}}}{V_{\text{Standardlösung}}} \\ m_{\text{NaCl}} &= \beta_{\text{NaCl}} \cdot V_{\text{Standardlösung}} \\ &= 2,92215 \text{ g/L} \cdot 0,15 \text{ L} \\ &= 0,4383225 \text{ g} \\ \beta_{\text{NaCl Stammlösung}} &= \frac{m_{\text{NaCl}}}{V_{\text{NaCl}}} \\ V_{\text{NaCl}} &= \frac{m_{\text{NaCl}}}{\beta_{\text{NaCl-Stammlösung}}} \\ &= \frac{0,4383225 \text{ g}}{150 \text{ g/L}} \\ &= \underline{\underline{2,922 \text{ mL}}}\end{aligned}$$

2.4.11.

gegeben:

$$\begin{aligned}f_{\text{Verdünnung}} &= 20 \text{ (1 Teil auf 20 Teile)} \\ c_{\text{Substrat im Ansatz}} &= 2 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L} \\ M_{\text{Substrat}} &= 325 \text{ g/mol} \\ V_{\text{Stammlösung}} &= 10 \text{ mL} = 0,01 \text{ L}\end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{Substrat}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}\beta_{\text{Substrat im Ansatz}} &= c_{\text{Substrat im Ansatz}} \cdot M_{\text{Substrat}} \\ &= 2 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L} \cdot 325 \text{ g/mol} \\ &= 65 \text{ mg/L} \\ \beta_{\text{Substrat}} &= \beta_{\text{Substrat im Ansatz}} \cdot f_{\text{Verdünnung}} \\ &= 65 \text{ mg/L} \cdot 20 \\ &= 1300 \text{ mg/L} \\ \beta_{\text{Substrat}} &= \frac{m_{\text{Substrat}}}{V_{\text{Stammlösung}}} \\ m_{\text{Substrat}} &= \beta_{\text{Substrat}} \cdot V_{\text{Stammlösung}} \\ &= 1300 \text{ mg/L} \cdot 0,01 \text{ L} \\ &= \underline{\underline{13,00 \text{ mg}}}\end{aligned}$$

2.4.12.

gegeben:

$$\begin{aligned}\beta_{\text{Isoniazid}} &= 1,37 \cdot 10^{-5} \text{ g/mL} \\ c_{\text{Stammlösung}} &= 5 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L} \\ V_{\text{Lösung}} &= 500 \text{ mL} \\ M_{\text{Isoniazid}} &= 124 \text{ g/mol}\end{aligned}$$

gesucht:

$$V_{\text{Stammlösung}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}\beta_{\text{Isoniazid}} &= \frac{m_{\text{Isoniazid}}}{V_{\text{Lösung}}} \\ m_{\text{Isoniazid}} &= \beta_{\text{Isoniazid}} \cdot V_{\text{Lösung}} \\ &= 1,37 \cdot 10^{-5} \text{ g/mL} \cdot 500 \text{ mL} \\ &= 6,85 \text{ mg} \\ \beta_{\text{Stammlösung}} &= c_{\text{Stammlösung}} \cdot M_{\text{Isoniazid}} \\ &= 5 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L} \cdot 124 \text{ g/mol} \\ &= 6,2 \text{ g/L} \\ \beta_{\text{Stammlösung}} &= \frac{m_{\text{Isoniazid}}}{V_{\text{Stammlösung}}} \\ V_{\text{Stammlösung}} &= \frac{m_{\text{Isoniazid}}}{\beta_{\text{Stammlösung}}} \\ &= \frac{6,85 \text{ mg}}{6,2 \text{ mg/mL}} \\ &= \underline{\underline{1,105 \text{ mL}}}\end{aligned}$$

2.4.13.

gegeben:

$$\begin{aligned}M_{\text{Hormon}} &= 1590,2 \text{ g/mol} \\ c_{\text{Stammlösung}} &= 3,14 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L} \\ \beta_{\text{Lösung}} &= 1 \text{ } \mu\text{g/mL} \\ V_{\text{Stammlösung}} &= 25 \text{ mL}\end{aligned}$$

gesucht:

$$V_{\text{Lösung}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}\beta_{\text{Stammlösung}} &= c_{\text{Stammlösung}} \cdot M_{\text{Hormon}} \\ &= 3,14 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L} \cdot 1590,2 \text{ g/mol} \\ &= 49,93228 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\beta_{\text{Stammlösung}} &= \frac{m_{\text{Hormon}}}{V_{\text{Stammlösung}}} \\ m_{\text{Hormon}} &= \beta_{\text{Stammlösung}} \cdot V_{\text{Stammlösung}} \\ &= 49,93228 \text{ mg/L} \cdot 0,025 \text{ L} \\ &= 1,248307 \text{ mg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\beta_{\text{Lösung}} &= \frac{m_{\text{Hormon}}}{V_{\text{Lösung}}} \\ V_{\text{Lösung}} &= \frac{m_{\text{Hormon}}}{\beta_{\text{Lösung}}} \\ &= \frac{1,248307 \text{ mg}}{1 \mu\text{g/mL}} \\ &= \frac{1,248307 \text{ mg}}{1 \text{ mg/L}} \\ &= \underline{\underline{1,248 \text{ L}}}\end{aligned}$$

2.4.14.

gegeben:

$$\begin{aligned}V_{\text{Organbad}} &= 60 \text{ mL} \\ c_{\text{Histamin}} &= 2 \cdot 10^{-6} \text{ mmol/mL} \\ V_{\text{Stammlösung}} &= 100 \text{ mL} \\ V_{\text{pipettiert}} &= 1 \text{ mL} \\ M_{\text{Histamin}} &= 111,2 \text{ g/mol} \\ M_{\text{Histamin-Dichlorid}} &= 184,1 \text{ g/mol}\end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{Histamin-Dichlorid}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}n_{\text{Histamin im Bad}} &= c_{\text{Histamin}} \cdot V_{\text{Organbad}} \\ &= 2 \cdot 10^{-6} \text{ mmol/mL} \cdot 60 \text{ mL} \\ &= 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ mmol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n_{\text{Histamin-Dichlorid}} &= n_{\text{Histamin im Bad}} \\
 &= 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ mmol} \\
 m_{\text{Histamin-Dichlorid}} &= n_{\text{Histamin-Dichlorid}} \cdot M_{\text{Histamin-Dichlorid}} \\
 &= 1,2 \cdot 10^{-7} \text{ mol} \cdot 184,1 \text{ g/mol} \\
 &= 0,022092 \text{ mg} \\
 \beta_{\text{Histamin-Dichlorid}} &= \frac{m_{\text{Histamin-Dichlorid}}}{V_{\text{pipettiert}}} \\
 &= \frac{0,022092 \text{ mg}}{1 \text{ mL}} \\
 &= 0,022092 \text{ mg/mL} \\
 \beta_{\text{Histamin-Dichlorid}} &= \frac{m_{\text{Histamin-Dichlorid}}}{V_{\text{Stammlösung}}} \\
 m_{\text{Histamin-Dichlorid}} &= \beta_{\text{Histamin-Dichlorid}} \cdot V_{\text{Stammlösung}} \\
 &= 0,022092 \text{ mg/mL} \cdot 100 \text{ mL} \\
 &= \underline{\underline{2,209 \text{ mg}}}
 \end{aligned}$$

2.4.15.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Urin}} &= 1,650 \text{ L} \\
 \beta_{\text{Harnstoff}} &= 65 \text{ mg/3 mL} = 21,66667 \text{ g/L} \\
 w_{\text{N in Protein}} &= 0,16 \text{ g/g} \\
 M_{\text{Harnstoff}} &= 60,0554 \text{ g/mol} \\
 M_{\text{N}} &= 14,0067 \text{ g/mol}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{Protein}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 \beta_{\text{Harnstoff}} &= \frac{m_{\text{Harnstoff}}}{V_{\text{Urin}}} \\
 m_{\text{Harnstoff}} &= \beta_{\text{Harnstoff}} \cdot V_{\text{Urin}} \\
 &= 21,66667 \text{ g/L} \cdot 1,650 \text{ L} \\
 &= 35,75 \text{ g} \\
 n_{\text{Harnstoff}} &= \frac{m_{\text{Harnstoff}}}{M_{\text{Harnstoff}}} \\
 &= \frac{35,75 \text{ g}}{60,0554 \text{ g/mol}} \\
 &= 0,5952836881 \text{ mol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n_{\text{N}} &= 2 \cdot n_{\text{Harnstoff}} \\
 &= 1,190567376 \text{ mol} \\
 m_{\text{N}} &= n_{\text{N}} \cdot M_{\text{N}} \\
 &= 1,190567376 \text{ mol} \cdot 14,0067 \text{ g/mol} \\
 &= 16,67592007 \text{ g} \\
 m_{\text{N in Protein}} &= \frac{m_{\text{N}}}{m_{\text{Protein}}} \\
 m_{\text{Protein}} &= \frac{m_{\text{N}}}{w_{\text{N in Protein}}} \\
 &= \frac{16,67592007 \text{ g}}{0,16 \text{ g/g}} \\
 &= \underline{\underline{104,2 \text{ g}}}
 \end{aligned}$$

13.2.4 Lösungen Abschn. 2.5 – Dichte (ρ)

2.5.1.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 w_{\text{Zucker}} &= 1,20 \% = 1,20 \mu\text{g}/100 \mu\text{g} \\
 \rho_{\text{Pflanzensaft}} &= 1,010 \text{ g/mL} = 1010 \mu\text{g}/\mu\text{L} \\
 V_{\text{Pflanzensaft}} &= 5 \mu\text{L}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{Zucker}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{Pflanzensaft}} &= \frac{m_{\text{Pflanzensaft}}}{V_{\text{Pflanzensaft}}} \\
 w_{\text{Zucker}} &= \frac{m_{\text{Zucker}}}{m_{\text{Pflanzensaft}}} \\
 m_{\text{Pflanzensaft}} &= \frac{m_{\text{Zucker}}}{w_{\text{Zucker}}}
 \end{aligned}$$

Einsetzen:

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{Pflanzensaft}} &= \frac{m_{\text{Zucker}}}{V_{\text{Pflanzensaft}}} \\
 m_{\text{Zucker}} &= \rho_{\text{Pflanzensaft}} \cdot V_{\text{Pflanzensaft}} \cdot w_{\text{Zucker}} \\
 &= 1010 \mu\text{g}/\mu\text{L} \cdot 5 \mu\text{L} \cdot 1,20 \mu\text{g}/100 \mu\text{g} \\
 &= \underline{\underline{60,60 \mu\text{g}}}
 \end{aligned}$$

2.5.2.

gegeben:

$$\beta_{\text{Wirkstoff}} = 28,40 \text{ g/L}$$

$$w_{\text{Wirkstoff}} = 2,80 \% = 2,80 \text{ g/100 g}$$

gesucht:

$$\rho_{\text{Lösung}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}\rho_{\text{Lösung}} &= \frac{m_{\text{Lösung}}}{V_{\text{Lösung}}} \\ \beta_{\text{Wirkstoff}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{V_{\text{Lösung}}} \\ V_{\text{Lösung}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{\beta_{\text{Wirkstoff}}}\end{aligned}$$

Einsetzen:

$$\begin{aligned}\rho_{\text{Lösung}} &= \frac{m_{\text{Lösung}}}{V_{\text{Lösung}}} \\ &= \frac{m_{\text{Lösung}}}{\frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{\beta_{\text{Wirkstoff}}}} \\ &= m_{\text{Lösung}} \cdot \frac{\beta_{\text{Wirkstoff}}}{m_{\text{Wirkstoff}}} \\ &= \beta_{\text{Wirkstoff}} \cdot \frac{m_{\text{Lösung}}}{m_{\text{Wirkstoff}}} \\ w_{\text{Wirkstoff}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{m_{\text{Lösung}}} \\ \frac{1}{w_{\text{Wirkstoff}}} &= \frac{m_{\text{Lösung}}}{m_{\text{Wirkstoff}}}\end{aligned}$$

Einsetzen:

$$\begin{aligned}\rho_{\text{Lösung}} &= \beta_{\text{Wirkstoff}} \cdot \frac{m_{\text{Lösung}}}{m_{\text{Wirkstoff}}} \\ &= \beta_{\text{Wirkstoff}} \cdot \frac{1}{w_{\text{Wirkstoff}}} \\ &= \frac{\beta_{\text{Wirkstoff}}}{w_{\text{Wirkstoff}}} \\ &= \frac{28,40 \text{ g/L}}{2,80 \text{ g/100 g}} \\ &= 1014 \text{ g/L} \\ &= \underline{\underline{1,014 \text{ kg/L}}}\end{aligned}$$

2.5.3.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Mensch}} &= 84,5 \text{ kg} \\
 c_{\text{Erythrocyten}} &= 5 \cdot 10^{12} \text{ Zellen/L} \\
 w_{\text{Blut}} &= 1/13 \\
 t_{\text{Erythrocyten}} &= 100 \text{ d} \\
 \rho_{\text{Blut}} &= 1,05 \text{ g/mL}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$v_{\text{Erythrocytenbildung}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Blut}} &= m_{\text{Mensch}} \cdot w_{\text{Blut}} \\
 &= 84,5 \text{ kg} \cdot 1/13 \\
 &= 6,5 \text{ kg} \\
 V_{\text{Blut}} &= \frac{m_{\text{Blut}}}{\rho_{\text{Blut}}} \\
 &= \frac{6,5 \text{ kg}}{1,05 \text{ kg/L}} \\
 &= 6,19047619 \text{ L} \\
 n_{\text{Erythrocyten}} &= V_{\text{Blut}} \cdot c_{\text{Erythrocyten}} \\
 &= 6,190476 \text{ L} \cdot 5 \cdot 10^{12} \text{ Zellen/L} \\
 &= 3,095238 \cdot 10^{13} \text{ Zellen} \\
 v_{\text{Erythrocytenbildung}} &= \frac{n_{\text{Erythrocyten}}}{t_{\text{Erythrocyten}}} \\
 &= \frac{3,095238 \cdot 10^{13} \text{ Zellen}}{100 \text{ d}} \\
 &= 3,095238 \cdot 10^{11} \text{ Zellen/d} \\
 &= 1,2896815 \cdot 10^{10} \text{ Zellen/h} \\
 &= 2,1494709 \cdot 10^8 \text{ Zellen/min} \\
 &= \underline{\underline{3,582 \cdot 10^6 \text{ Zellen/s}}}
 \end{aligned}$$

2.5.4.

gesucht:

$$V_{\text{EtOH}} = 2,5 \text{ dL} = 250 \text{ mL}$$

$$\rho_{\text{EtOH}} = 0,789 \text{ g/mL}$$

$$m_{\text{Traubenzucker}} = 12 \text{ g}$$

gesucht:

$$w_{\text{Traubenzucker}}$$

Berechnung:

$$m_{\text{EtOH}} = V_{\text{EtOH}} \cdot \rho_{\text{EtOH}}$$

$$= 250 \text{ mL} \cdot 0,789 \text{ g/mL}$$

$$= 197,25 \text{ g}$$

$$w_{\text{Traubenzucker}} = \frac{m_{\text{Traubenzucker}}}{m_{\text{Lösung}}}$$

$$= \frac{m_{\text{Traubenzucker}}}{m_{\text{Traubenzucker}} + m_{\text{Lösung}}}$$

$$= \frac{12 \text{ g}}{12 \text{ g} + 197,25 \text{ g}}$$

$$= \frac{12 \text{ g}}{209,25 \text{ g}}$$

$$= 0,0573477 \text{ g/g}$$

$$= \underline{\underline{5,735 \%}}$$

2.5.5.

gegeben:

$$c_{\text{Bakterien}} = 2 \cdot 10^9 \text{ Zellen/mL}$$

$$\varnothing_{\text{Bakterien}} = 1,2 \mu\text{m} \Rightarrow r_{\text{Bakterien}} = 0,6 \mu\text{m} = 0,0006 \text{ mm}$$

$$\rho = 1,05 \text{ g/mL}$$

$$V = 1000 \text{ mL}$$

gesucht:

$$m_{\text{Bakterien}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Bakterium}} &= 4/3 \cdot r^3 \cdot \pi \\
 &= 4/3 \cdot (0,0006 \text{ mm})^3 \cdot \pi \\
 &= 9,0477868 \cdot 10^{-10} \text{ mm}^3 \\
 &= 9,0477868 \cdot 10^{-13} \text{ cm}^3 \\
 &= 9,0477868 \cdot 10^{-13} \text{ mL} \\
 m_{\text{Bakterium}} &= 9,04779 \cdot 10^{-13} \text{ mL} \cdot 1,05 \text{ g/mL} \\
 &= 9,5001761 \cdot 10^{-13} \text{ g} \\
 n_{\text{Bakterien}} &= V_{\text{Bakterium}} \cdot c_{\text{Bakterien}} \\
 &= 1000 \text{ mL} \cdot 2 \cdot 10^9 \text{ Zellen/mL} \\
 &= 2 \cdot 10^{12} \text{ Zellen} \\
 m_{\text{Bakterien}} &= n_{\text{Bakterien}} \cdot m_{\text{Bakterium}} \\
 &= 2 \cdot 10^{12} \cdot 9,500176 \cdot 10^{-13} \text{ g} \\
 &= \underline{\underline{1,900 \text{ g}}}
 \end{aligned}$$

2.5.6.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 w_{\text{Schwefelsäure}} &= 98 \% \\
 m_{\text{Schwefelsäure}} &= 1 \text{ kg} \\
 V_{\text{Schwefelsäure}} &= 515 \text{ mL} \\
 M_{\text{Schwefelsäure}} &= 98,07948 \text{ g/mol}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$c_{\text{Schwefelsäure}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 \beta_{\text{Schwefelsäure}} &= \frac{m_{\text{Schwefelsäure}} \cdot w_{\text{Schwefelsäure}}}{V_{\text{Schwefelsäure}}} \\
 &= \frac{1000 \text{ g} \cdot 0,98 \text{ g/g}}{515 \text{ mL}} \\
 &= 1,902912621 \text{ g/mL} \\
 c_{\text{Schwefelsäure}} &= \frac{\beta_{\text{Schwefelsäure}}}{M_{\text{Schwefelsäure}}} \\
 &= \frac{1,902912621 \text{ g/mL}}{98,07948 \text{ g/mol}} \\
 &= 0,0194017405 \text{ mol/mL} \\
 &= \underline{\underline{19,40 \text{ mol/L}}}
 \end{aligned}$$

2.5.7.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 w_{\text{Lösung}} &= 0,2 \text{ g/g} \\
 \rho_{\text{Lösung}} &= 1,148 \text{ g/mL} \\
 w_{\text{NaCl technisch}} &= 95 \% \\
 V_{\text{Lösung}} &= 250 \text{ mL}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{NaCl technisch}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 \beta_{\text{NaCl}} &= w_{\text{Lösung}} \cdot \rho_{\text{Lösung}} \\
 &= 0,2 \text{ g/g} \cdot 1,148 \text{ g/mL} \\
 &= 0,2296 \text{ g/mL} \\
 m_{\text{NaCl}} &= \beta_{\text{NaCl}} \cdot V_{\text{Lösung}} \\
 &= 0,2296 \text{ g/mL} \cdot 250 \text{ mL} \\
 &= 57,40 \text{ g} \\
 m_{\text{NaCl technisch}} &= \frac{m_{\text{NaCl}}}{w_{\text{NaCl technisch}}} \\
 &= \frac{57,4 \text{ g}}{0,95 \text{ g/g}} \\
 &= \underline{\underline{60,42 \text{ g}}}
 \end{aligned}$$

2.5.8.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 \beta_{\beta\text{-Carotin}} &= 12,8 \text{ g/L (mg/mL)} \\
 \rho_{\text{Saft}} &= 1010,6 \text{ g/L}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$w_{\beta\text{-Carotin}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 \beta_{\beta\text{-Carotin}} &= \frac{m_{\beta\text{-Carotin}}}{V_{\text{Saft}}} \\
 m_{\beta\text{-Carotin}} &= \beta_{\beta\text{-Carotin}} \cdot V_{\text{Saft}} \\
 \rho_{\text{Saft}} &= \frac{m_{\text{Saft}}}{V_{\text{Saft}}} \\
 m_{\text{Saft}} &= \rho_{\text{Saft}} \cdot V_{\text{Saft}} \\
 w_{\text{Saft}} &= \frac{m_{\beta\text{-Carotin}}}{m_{\text{Saft}}} \\
 w_{\beta\text{-Carotin}} &= \frac{\beta_{\beta\text{-Carotin}} \cdot \cancel{V_{\text{Saft}}}}{\rho_{\text{Saft}} \cdot \cancel{V_{\text{Saft}}}} \\
 &= \frac{\beta_{\beta\text{-Carotin}}}{\rho_{\text{Saft}}} \\
 &= \frac{12,8 \text{ g/L}}{1010,6 \text{ g/L}} \\
 &= \underline{\underline{1,267 \%}}
 \end{aligned}$$

2.5.9.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{Fungizid}} &= 1,011 \text{ g/mL} \\
 w_{\text{Wirkstoff}} &= 2,78 \%
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$\beta_{\text{Wirkstoff}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 w_{\text{Wirkstoff}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{m_{\text{Fungizid}}} \\
 \beta_{\text{Wirkstoff}} &= \frac{w_{\text{Fungizid}} \cdot m_{\text{Fungizid}}}{\frac{m_{\text{Fungizid}}}{\rho_{\text{Fungizid}}}} \\
 &= \frac{w_{\text{Fungizid}} \cdot m_{\text{Fungizid}} \cdot \rho_{\text{Fungizid}}}{m_{\text{Fungizid}}} \\
 &= w_{\text{Fungizid}} \cdot \rho_{\text{Fungizid}} \\
 &= 0,0278 \text{ g/g} \cdot 1,011 \text{ g/mL} \\
 &= \underline{\underline{28,11 \text{ g/L}}}
 \end{aligned}$$

2.5.10.

gegeben:

$$m_{\text{Ferkel}} = 2,6 \text{ kg}$$

$$V_{\text{Medikament}} = 2 \text{ mL}$$

$$\beta_{\text{Medikament}} = 100 \text{ g/L}$$

$$\beta_{\text{Ende}} = 52 \text{ mg}/100 \text{ mL} = 0,52 \text{ mg/mL}$$

$$w_{\text{Blut}} = 1/13$$

$$\sigma_{\text{Zellen}} = 30 \% = 30 \text{ mL}/100 \text{ mL}$$

$$\rho_{\text{Vollblut}} = 1,05 \text{ g/mL} = 1,05 \text{ kg/L}$$

gesucht:

$$w_{\text{Wirkstoff am Ende}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} m_{\text{Blut}} &= m_{\text{Ferkel}} \cdot w_{\text{Blut}} \\ &= 2,6 \text{ kg} \cdot 1/13 \\ &= 0,2 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{Blut}} &= \frac{m_{\text{Blut}}}{\rho_{\text{Vollblut}}} \\ &= \frac{0,2 \text{ kg}}{1,05 \text{ kg/L}} \\ &= 0,19047619047619 \text{ L} \\ &= 190,47619047619 \text{ mL} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{Zellen}} &= V_{\text{Blut}} \cdot \sigma_{\text{Zellen}} \\ &= 0,19047619048 \text{ L} \cdot 30 \% \\ &= 0,05714285714286 \text{ L} \\ &= 57,14285714286 \text{ mL} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{Serum}} &= V_{\text{Blut}} - V_{\text{Zellen}} \\ &= 190,4762 \text{ mL} - 57,1429 \text{ mL} \\ &= 133,3333 \text{ mL} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_{\text{applizierter Wirkstoff}} &= \beta_{\text{Medikament}} \cdot V_{\text{Medikament}} \\ &= 100 \text{ mg/mL} \cdot 2 \text{ mL} \\ &= 200 \text{ mg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_{\text{Wirkstoff am Ende}} &= \beta_{\text{Ende}} \cdot V_{\text{Plasma}} \\ &= 0,52 \text{ mg/mL} \cdot 133,3333 \text{ mL} \\ &= 69,3333382857128 \text{ mg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 w_{\text{Wirkstoff am Ende}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff am Ende}}}{m_{\text{applizierter Wirkstoff}}} \\
 &= \frac{69,3333382857128 \text{ mg}}{200 \text{ mg}} \\
 &= 0,3466666914286 \text{ mg/mg} \\
 &= \underline{\underline{34,67 \%}}
 \end{aligned}$$

2.5.11.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Wasser}} &= 49,9075 \text{ g} \\
 m_{\text{Lösungsmittel}} &= 41,0553 \text{ g} \\
 \rho_{\text{Wasser}} &= 0,9982 \text{ g/mL}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$\rho_{\text{Lösungsmittel}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{Wasser}} &= \frac{m_{\text{Wasser}}}{V_{\text{Wasser}}} \\
 V_{\text{Pyknometer}} &= \frac{m_{\text{Wasser}}}{\rho_{\text{Wasser}}} \\
 &= \frac{49,9075 \text{ g}}{0,9982 \text{ g/mL}} \\
 &= 49,99749549 \text{ mL} \\
 \rho_{\text{Lösungsmittel}} &= \frac{m_{\text{Lösungsmittel}}}{V_{\text{Pyknometer}}} \\
 &= \frac{41,0553 \text{ g}}{49,99749549 \text{ mL}} \\
 &= \underline{\underline{0,82115 \text{ g/mL}}}
 \end{aligned}$$

2.5.12.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Pyknometer leer}} &= 31,4334 \text{ g} \\
 m_{\text{Pyknometer + Wasser}} &= 56,3987 \text{ g} \\
 m_{\text{Pyknometer + Lös.}} &= 54,0579 \text{ g} \\
 \rho_{\text{Wasser}} &= 0,9982 \text{ g/mL}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$\rho_{\text{Lösungsmittel}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Wasser}} &= m_{\text{Pyknometer+Wasser}} - m_{\text{Pyknometer leer}} \\
 &= 56,3987 \text{ g} - 31,4334 \text{ g} \\
 &= 24,9653 \text{ g} \\
 m_{\text{Lösungsmittel}} &= m_{\text{Pyknometer+Lösungsmittel}} - m_{\text{Pyknometer leer}} \\
 &= 54,0579 \text{ g} - 31,4334 \text{ g} \\
 &= 22,6245 \text{ g} \\
 \rho_{\text{Wasser}} &= \frac{m_{\text{Wasser}}}{V_{\text{Wasser}}} \\
 V_{\text{Pyknometer}} &= \frac{m_{\text{Wasser}}}{\rho_{\text{Wasser}}} \\
 &= \frac{24,9653 \text{ g}}{0,9982 \text{ g/mL}} \\
 &= 25,01031857 \text{ mL} \\
 \rho_{\text{Lösungsmittel}} &= \frac{m_{\text{Lösungsmittel}}}{V_{\text{Pyknometer}}} \\
 &= \frac{22,6245 \text{ g}}{25,01031857 \text{ mL}} \\
 &= \underline{\underline{0,90461 \text{ g/mL}}}
 \end{aligned}$$

2.5.13.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Pyknometer leer}} &= 12,1741 \text{ g} \\
 m_{\text{Pyknometer + Wasser}} &= 37,2256 \text{ g} \\
 m_{\text{Pyknometer + Natronlauge}} &= 41,9183 \text{ g} \\
 \rho_{\text{Wasser}} &= 0,9982 \text{ g/mL}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$\rho_{\text{Natronlauge}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Wasser}} &= m_{\text{Pyknometer+Wasser}} - m_{\text{Pyknometer leer}} \\
 &= 37,2256 \text{ g} - 12,1741 \text{ g} \\
 &= 25,0515 \text{ g} \\
 V_{\text{Pyknometer}} &= \frac{m_{\text{Wasser}}}{\rho_{\text{Wasser}}} \\
 &= \frac{25,0515 \text{ g}}{0,9982 \text{ g/mL}} \\
 &= 25,09667401 \text{ mL}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Natronlauge}} &= m_{\text{Pyknometer+Natronlauge}} - m_{\text{Pyknometer leer}} \\
 &= 41,9183 \text{ g} - 12,1741 \text{ g} \\
 &= 29,7442 \text{ g} \\
 \rho_{\text{Natronlauge}} &= \frac{m_{\text{Natronlauge}}}{V_{\text{Pyknometer}}} \\
 &= \frac{29,7442 \text{ g}}{25,09667401 \text{ mL}} \\
 &= \underline{\underline{1,1852 \text{ g/mL}}}
 \end{aligned}$$

2.5.14.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Pyknometer leer}} &= 23,51 \text{ g} \\
 V_{\text{Pyknometer}} &= 24,93 \text{ mL} \\
 m_{\text{Pyknometer + Salzlösung}} &= 49,98 \text{ g}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$\rho_{\text{Salzlösung}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Salzlösung}} &= m_{\text{Pyknometer+Salzlösung}} - m_{\text{Pyknometer leer}} \\
 &= 49,08 \text{ g} - 23,51 \text{ g} \\
 &= 25,57 \text{ g} \\
 \rho_{\text{Salzlösung}} &= \frac{m_{\text{Salzlösung}}}{V_{\text{Pyknometer}}} \\
 &= \frac{25,57 \text{ g}}{24,93 \text{ mL}} \\
 &= \underline{\underline{1,0257 \text{ g/mL}}}
 \end{aligned}$$

2.5.15.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Pyknometer}} &= 10,62 \text{ mL} \\
 m_{\text{Pyknometer leer}} &= 26,38 \text{ g} \\
 m_{\text{Pyknometer + Flüssigkeit}} &= 36,01 \text{ g}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$\rho_{\text{Flüssigkeit}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Flüssigkeit}} &= m_{\text{Pyknometer+Flüssigkeit}} - m_{\text{Pyknometer}} \\
 &= 36,01 \text{ g} - 26,38 \text{ g} \\
 &= 9,63 \text{ g} \\
 \rho_{\text{Flüssigkeit}} &= \frac{m_{\text{Flüssigkeit}}}{V_{\text{Pyknometer}}} \\
 &= \frac{9,63 \text{ g}}{10,62 \text{ mL}} \\
 &= \underline{\underline{0,90678 \text{ g/mL}}}
 \end{aligned}$$

2.5.16.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Pyknometer}} &= 13,843 \text{ g} \\
 m_{\text{Pyknometer + Wasser}} &= 64,054 \text{ g} \\
 m_{\text{Pyknometer + Zuckerlösung}} &= 66,898 \text{ g} \\
 \rho_{\text{Wasser}} &= 0,9982 \text{ g/mL}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$\rho_{\text{Zuckerlösung}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Wasser}} &= m_{\text{Pyknometer+Wasser}} - m_{\text{Pyknometer leer}} \\
 &= 64,054 \text{ g} - 13,843 \text{ g} \\
 &= 50,211 \text{ g} \\
 V_{\text{Pyknometer}} &= \frac{m_{\text{Wasser}}}{\rho_{\text{Wasser}}} \\
 &= \frac{50,211 \text{ g}}{0,9982 \text{ g/mL}} \\
 &= 50,30154278 \text{ mL} \\
 m_{\text{Zuckerlösung}} &= m_{\text{Pyknometer+Zuckerlösung}} - m_{\text{Pyknometer leer}} \\
 &= 66,898 \text{ g} - 13,843 \text{ g} \\
 &= 53,055 \text{ g} \\
 \rho_{\text{Zuckerlösung}} &= \frac{m_{\text{Zuckerlösung}}}{V_{\text{Pyknometer}}} \\
 &= \frac{53,055 \text{ g}}{50,30154278 \text{ mL}} \\
 &= \underline{\underline{1,0547 \text{ g/mL}}}
 \end{aligned}$$

2.5.17.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Behälter leer}} &= 123,0673 \text{ g} \\
 m_{\text{Behälter + Wasser}} &= 246,5598 \text{ g} \\
 m_{\text{Behälter + Gas}} &= 123,2081 \text{ g} \\
 \rho_{\text{Wasser}} &= 0,9982 \text{ g/mL}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$\rho_{\text{Gas}} \text{ (in kg/m}^3\text{)}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Wasser}} &= m_{\text{Behälter+Wasser}} - m_{\text{Behälter leer}} \\
 &= 246,5598 \text{ g} - 123,0673 \text{ g} \\
 &= 123,4925 \text{ g} \\
 V_{\text{Behälter}} &= \frac{m_{\text{Wasser}}}{\rho_{\text{Wasser}}} \\
 &= \frac{123,4925 \text{ g}}{0,9982 \text{ g/mL}} \\
 &= 123,7151873 \text{ mL} \\
 m_{\text{Gas}} &= m_{\text{Behälter+Gas}} - m_{\text{Behälter leer}} \\
 &= 123,2081 \text{ g} - 123,0673 \text{ g} \\
 &= 0,1408 \text{ g} \\
 \rho_{\text{Gas}} &= \frac{m_{\text{Gas}}}{V_{\text{Behälter}}} \\
 &= \frac{0,1408 \text{ g}}{123,7151873 \text{ mL}} \\
 &= 0,0011380979 \text{ g/mL} \\
 &= 1,1380979 \text{ g/L} \\
 &= \underline{\underline{1,1381 \text{ kg/m}^3}}
 \end{aligned}$$

2.5.18.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Pyknometer leer}} &= 17,8276 \text{ g} \\
 m_{\text{Pyknometer + Wasser}} &= 42,7842 \text{ g} \\
 m_{\text{Pyknometer + Pulver}} &= 28,2122 \text{ g} \\
 m_{\text{Pyknometer + Pulver + Wasser}} &= 46,9465 \text{ g} \\
 \rho_{\text{Wasser}} &= 0,9982 \text{ g/mL}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$\rho_{\text{Pulver}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} m_{\text{Wasser}} &= m_{\text{Pyknometer+Wasser}} - m_{\text{Pyknometer leer}} \\ &= 42,7842 \text{ g} - 17,8276 \text{ g} \\ &= 24,9566 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{Pyknometer}} &= \frac{m_{\text{Wasser}}}{\rho_{\text{Wasser}}} \\ &= \frac{24,9566 \text{ g}}{0,9982 \text{ g/mL}} \\ &= 25,00160289 \text{ mL} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_{\text{Restwasser}} &= m_{\text{Pyknometer+Pulver+Wasser}} - m_{\text{Pyknometer+Pulver}} \\ &= 46,9465 \text{ g} - 28,2122 \text{ g} \\ &= 18,7343 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{Restwasser}} &= \frac{m_{\text{Restwasser}}}{\rho_{\text{Wasser}}} \\ &= \frac{18,7343 \text{ g}}{0,9982 \text{ g/mL}} \\ &= 18,76808255 \text{ mL} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{Pulver}} &= V_{\text{Pyknometer}} - V_{\text{Restwasser}} \\ &= 25,0016 \text{ mL} - 18,76808 \text{ mL} \\ &= 6,23352034 \text{ mL} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_{\text{Pulver}} &= m_{\text{Pyknometer+Pulver}} - m_{\text{Pyknometer leer}} \\ &= 28,2122 \text{ g} - 17,8276 \text{ g} \\ &= 10,3846 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{Pulver}} &= \frac{m_{\text{Pulver}}}{V_{\text{Pulver}}} \\ &= \frac{10,3846 \text{ g}}{6,23352034 \text{ mL}} \\ &= \underline{\underline{1,6659 \text{ g/mL}}} \end{aligned}$$

2.5.19.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Pyknometer leer}} &= 33,0681 \text{ g} \\
 m_{\text{Pyknometer + Wasser}} &= 57,9262 \text{ g} \\
 m_{\text{Pyknometer + Benzin}} &= 49,9823 \text{ g} \\
 m_{\text{Pyknometer + Benzin + Salz}} &= 69,4934 \text{ g} \\
 m_{\text{Salz}} &= 27,6011 \text{ g} \\
 \rho_{\text{Wasser}} &= 0,9982 \text{ g/mL}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$\rho_{\text{Salz}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Wasser}} &= m_{\text{Pyknometer+Wasser}} - m_{\text{Pyknometer leer}} \\
 &= 57,9262 \text{ g} - 33,0681 \text{ g} \\
 &= 24,8581 \text{ g} \\
 V_{\text{Pyknometer}} &= \frac{m_{\text{Wasser}}}{\rho_{\text{Wasser}}} \\
 &= \frac{24,8581 \text{ g}}{0,9982 \text{ g/mL}} \\
 &= 24,90292527 \text{ mL} \\
 m_{\text{Benzin}} &= m_{\text{Pyknometer+Benzin}} - m_{\text{Pyknometer leer}} \\
 &= 49,9823 \text{ g} - 33,0681 \text{ g} \\
 &= 16,9142 \text{ g} \\
 \rho_{\text{Benzin}} &= \frac{m_{\text{Benzin}}}{V_{\text{Pyknometer}}} \\
 &= \frac{16,9142 \text{ g}}{24,90292527 \text{ mL}} \\
 &= 0,679205347 \text{ g/mL} \\
 m_{\text{Restbenzin}} &= m_{\text{Pyknometer+Benzin+Salz}} - m_{\text{Salz}} - m_{\text{Pyknometer leer}} \\
 &= 69,4934 \text{ g} - 27,6011 \text{ g} - 33,0681 \text{ g} \\
 &= 8,8242 \text{ g} \\
 V_{\text{Restbenzin}} &= \frac{m_{\text{Restbenzin}}}{\rho_{\text{Benzin}}} \\
 &= \frac{8,8242 \text{ g}}{0,679205347 \text{ g/mL}} \\
 &= 12,9194719 \text{ mL}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Salz}} &= V_{\text{Pyknometer}} - V_{\text{Restbenzin}} \\
 &= 24,90293 \text{ mL} - 12,991947 \text{ mL} \\
 &= 11,91097808 \text{ mL} \\
 \rho_{\text{Salz}} &= \frac{m_{\text{Salz}}}{V_{\text{Salz}}} \\
 &= \frac{27,6011 \text{ g}}{11,91097808 \text{ mL}} \\
 &= \underline{\underline{2,3173 \text{ g/mL}}}
 \end{aligned}$$

2.5.20.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Pyknometer leer}} &= 20,3750 \text{ g} \\
 m_{\text{Pyknometer + Wasser}} &= 40,7280 \text{ g} \\
 m_{\text{Pyknometer + Hexan}} &= 33,8290 \text{ g} \\
 m_{\text{Pyknometer + Hexan + Pulver}} &= 39,8525 \text{ g} \\
 m_{\text{Pulver}} &= 12,8596 \text{ g} \\
 \rho_{\text{Wasser}} &= 0,9982 \text{ g/mL}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$\rho_{\text{Pulver}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Wasser}} &= m_{\text{Pyknometer+Wasser}} - m_{\text{Pyknometer leer}} \\
 &= 40,7280 \text{ g} - 20,3750 \text{ g} \\
 &= 20,3530 \text{ g} \\
 V_{\text{Pyknometer}} &= \frac{m_{\text{Wasser}}}{\rho_{\text{Wasser}}} \\
 &= \frac{20,3530 \text{ g}}{0,9982 \text{ g/mL}} \\
 &= 20,38970146 \text{ mL} \\
 m_{\text{Hexan}} &= m_{\text{Pyknometer+Hexan}} - m_{\text{Pyknometer leer}} \\
 &= 33,8290 \text{ g} - 20,3750 \text{ g} \\
 &= 13,4540 \text{ g}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{Hexan}} &= \frac{m_{\text{Hexan}}}{V_{\text{Pyknometer}}} \\
 &= \frac{13,4540 \text{ g}}{20,38970146 \text{ mL}} \\
 &= 0,6598429127 \text{ g/mL} \\
 m_{\text{Resthexan}} &= m_{\text{Pyknometer+Hexan+Pulver}} - m_{\text{Pyknometer leer}} - m_{\text{Pulver}} \\
 &= 39,8525 \text{ g} - 20,3750 \text{ g} - 12,8596 \text{ g} \\
 &= 6,6179 \text{ g} \\
 V_{\text{Resthexan}} &= \frac{m_{\text{Resthexan}}}{\rho_{\text{Hexan}}} \\
 &= \frac{6,6179 \text{ g}}{0,6598429127 \text{ g/mL}} \\
 &= 10,02950835 \text{ mL} \\
 V_{\text{Pulver}} &= m_{\text{Pyknometer}} - V_{\text{Resthexan}} \\
 &= 20,3897 \text{ mL} - 10,0295 \text{ mL} \\
 &= 10,36019311 \text{ mL} \\
 \rho_{\text{Pulver}} &= \frac{m_{\text{Pulver}}}{V_{\text{Pulver}}} \\
 &= \frac{12,8596 \text{ g}}{10,36019311 \text{ mL}} \\
 &= \underline{\underline{1,2413 \text{ g/mL}}}
 \end{aligned}$$

2.5.21.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Pyknometer leer}} &= 13,6590 \text{ g} \\
 m_{\text{Pyknometer + Wasser}} &= 63,7025 \text{ g} \\
 m_{\text{Pyknometer + Marmor}} &= 18,6830 \text{ g} \\
 m_{\text{Pyknometer + Marmor + Wasser}} &= 66,8658 \text{ g} \\
 \rho_{\text{Wasser}} &= 0,9982 \text{ g/mL}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$\rho_{\text{Marmor}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Wasser}} &= m_{\text{Pyknometer+Wasser}} - m_{\text{Pyknometer leer}} \\
 &= 63,7025 \text{ g} - 13,6590 \text{ g} \\
 &= 50,0435 \text{ g}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Pyknometer}} &= \frac{m_{\text{Wasser}}}{\rho_{\text{Wasser}}} \\
 &= \frac{50,0435 \text{ g}}{0,9982 \text{ g/mL}} \\
 &= 50,13374073 \text{ mL}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Marmor}} &= m_{\text{Pyknometer+Marmor}} - m_{\text{Pyknometer leer}} \\
 &= 18,6830 \text{ g} - 13,6590 \text{ g} \\
 &= 5,024 \text{ g}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Restwasser}} &= m_{\text{Pyknometer+Marmor+Wasser}} - m_{\text{Pyknometer+Wasser}} \\
 &= 66,8658 \text{ g} - 18,6830 \text{ g} \\
 &= 48,1828 \text{ g}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Restwasser}} &= \frac{m_{\text{Restwasser}}}{\rho_{\text{Wasser}}} \\
 &= \frac{48,1828 \text{ g}}{0,9982 \text{ g/mL}} \\
 &= 48,26968543 \text{ mL}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Marmor}} &= V_{\text{Pyknometer}} - V_{\text{Restwasser}} \\
 &= 50,13374073 \text{ mL} - 48,26968543 \text{ mL} \\
 &= 1,8640553 \text{ mL}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{Marmor}} &= \frac{m_{\text{Marmor}}}{V_{\text{Marmor}}} \\
 &= \frac{5,024 \text{ g}}{1,8640553 \text{ mL}} \\
 &= \underline{\underline{2,6952 \text{ g/mL}}}
 \end{aligned}$$

2.5.22.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Pyknometer leer}} &= 20,3750 \text{ g} \\
 m_{\text{Pyknometer + Wasser}} &= 40,7280 \text{ g} \\
 m_{\text{Pyknometer + Hexan}} &= 33,8290 \text{ g} \\
 m_{\text{Pyknometer + Hexan + Protein}} &= 37,5823 \text{ g} \\
 m_{\text{Protein}} &= 12,8596 \text{ g} \\
 \rho_{\text{Wasser}} &= 0,9982 \text{ g/mL}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$\rho_{\text{Protein}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} m_{\text{Wasser}} &= m_{\text{Pyknometer+Wasser}} - m_{\text{Pyknometer leer}} \\ &= 40,7280 \text{ g} - 20,3750 \text{ g} \\ &= 20,353 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{Pyknometer}} &= \frac{m_{\text{Wasser}}}{\rho_{\text{Wasser}}} \\ &= \frac{20,353 \text{ g}}{0,9982 \text{ g/mL}} \\ &= 20,38970146 \text{ mL} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_{\text{Hexan}} &= m_{\text{Pyknometer+Hexan}} - m_{\text{Pyknometer leer}} \\ &= 33,8290 \text{ g} - 20,3750 \text{ g} \\ &= 13,454 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{Hexan}} &= \frac{m_{\text{Hexan}}}{V_{\text{Pyknometer}}} \\ &= \frac{13,454 \text{ g}}{20,38970146 \text{ mL}} \\ &= 0,6598429127 \text{ g/mL} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_{\text{Resthexan}} &= m_{\text{Pyknometer+Hexan+Protein}} - m_{\text{Protein}} - m_{\text{Pyknometer leer}} \\ &= 37,5823 \text{ g} - 12,8596 \text{ g} - 20,3750 \text{ g} \\ &= 4,3477 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{Resthexan}} &= \frac{m_{\text{Resthexan}}}{\rho_{\text{Hexan}}} \\ &= \frac{4,3477 \text{ g}}{0,6598429127 \text{ g/mL}} \\ &= 6,588992496 \text{ mL} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{Protein}} &= V_{\text{Pyknometer}} - V_{\text{Resthexan}} \\ &= 20,38970 \text{ mL} - 6,58899 \text{ mL} \\ &= 13,80070896 \text{ mL} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{Protein}} &= \frac{m_{\text{Protein}}}{V_{\text{Protein}}} \\ &= \frac{12,8596 \text{ g}}{13,80070896 \text{ mL}} \\ &= \underline{\underline{0,93181 \text{ g/mL}}} \end{aligned}$$

13.3 Lösungen Kap. 3 – Dosis und Applikationsvolumen

13.3.1 Lösungen Abschn. 3.1 Grundlagen

3.1.1.

gegeben:

$$\begin{aligned} m_{\text{Ratte}} &= 153 \text{ g} \\ d_{\text{Medikament}} &= 2,5 \text{ g/kg} \\ \beta_{\text{Medikament}} &= 30 \text{ g/L} \end{aligned}$$

gesucht:

$$V_{\text{Stammlösung}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} d_{\text{Medikament}} &= \frac{m_{\text{Medikament}}}{m_{\text{Ratte}}} \\ m_{\text{Medikament}} &= d_{\text{Medikament}} \cdot m_{\text{Ratte}} \\ &= 2,5 \text{ g/kg} \cdot 0,153 \text{ kg} \\ &= 0,3825 \text{ g} \\ \beta_{\text{Medikament}} &= \frac{m_{\text{Medikament}}}{V_{\text{Stammlösung}}} \\ V_{\text{Stammlösung}} &= \frac{m_{\text{Medikament}}}{\beta_{\text{Medikament}}} \\ &= \frac{0,3825 \text{ g}}{30 \text{ g/L}} \\ &= \underline{\underline{12,75 \text{ mL}}} \end{aligned}$$

3.1.2.

gegeben:

$$\begin{aligned} d_{\text{Ca pro Tag}} &= 800 \text{ mg/Person} \\ \beta_{\text{Ca}} &= 1,25 \text{ g/L} \end{aligned}$$

gesucht:

$$\alpha_{\text{Milch pro Tag}} \text{ (Applikationsvolumen)}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}\beta_{\text{Ca}} &= \frac{d_{\text{Ca pro Tag}}}{V_{\text{Milch pro Tag}}} \\ V_{\text{Milch pro Tag}} &= \frac{d_{\text{Ca pro Tag}}}{\beta_{\text{Ca}}} \\ &= \frac{800 \text{ mg/Person}}{1,25 \text{ mg/mL}} \\ &= \underline{\underline{640,0 \text{ mL/Person}}}\end{aligned}$$

3.1.3.

gegeben:

$$\begin{aligned}m_{\text{Hund}} &= 27,4 \text{ kg} \\ t &= 24 \text{ h} = 1440 \text{ min} \\ v_{\text{Tropfen}} &= 15 \text{ Tropfen/min} \\ \beta_{\text{Vitamin}} &= 500 \mu\text{g/mL} \\ V_{\text{Tropfen}} &= 0,028 \text{ mL}\end{aligned}$$

gesucht:

$$d_{\text{Vitamin}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}V_{\text{Infusion}} &= t \cdot v_{\text{Tropfen}} \cdot V_{\text{Tropfen}} \\ &= 1440 \text{ min} \cdot 15 \text{ Tropfen/min} \cdot 0,028 \text{ mL/Tropfen} \\ &= 604,8 \text{ mL} \\ \beta_{\text{Vitamin}} &= \frac{m_{\text{Vitamin}}}{V_{\text{Infusion}}} \\ m_{\text{Vitamin}} &= \beta_{\text{Vitamin}} \cdot V_{\text{Infusion}} \\ &= 500 \mu\text{g/mL} \cdot 604,8 \text{ mL} \\ &= 302.400 \mu\text{g} \\ &= 302,4 \text{ mg} \\ d_{\text{Vitamin}} &= \frac{m_{\text{Vitamin}}}{m_{\text{Hund}}} \\ &= \frac{302,4 \text{ mg}}{27,4 \text{ kg}} \\ &= \underline{\underline{11,04 \text{ mg/kg}}}\end{aligned}$$

3.1.4.

gegeben:

$$m_{\text{Ratte}} = 258 \text{ g}$$

$$t = 24 \text{ h}$$

$$d_{\text{Wirkstoff}} = 50 \text{ mg/kg}$$

$$v_{\text{Infusion}} = 0,5 \text{ mL/h}$$

gesucht:

$$\beta_{\text{Wirkstoff}}$$

Berechnung:

$$d_{\text{Wirkstoff}} = \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{m_{\text{Ratte}}}$$

$$\begin{aligned} m_{\text{Wirkstoff}} &= d_{\text{Wirkstoff}} \cdot m_{\text{Ratte}} \\ &= 50 \text{ mg/kg} \cdot 0,258 \text{ kg} \\ &= 12,9 \text{ mg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{Infusion}} &= v_{\text{Infusion}} \cdot t \\ &= 0,5 \text{ mL/h} \cdot 24 \text{ h} \\ &= 12 \text{ mL} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta_{\text{Wirkstoff}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{V_{\text{Infusion}}} \\ &= \frac{12,9 \text{ mg}}{12 \text{ mL}} \\ &= \underline{\underline{1,075 \text{ mg/mL}}} \end{aligned}$$

3.1.5.

gegeben:

$$\varnothing_{\text{Topf}} = 12 \text{ cm}$$

$$A_{\text{Pflanze}} = 4 \text{ cm}^2$$

$$w_{\text{Keimung}} = 82,5 \%$$

gesucht:

$$n_{\text{Aussaat}} \text{ (Samen pro Topf)}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 A_{\text{Topf}} &= r^2 \cdot \pi \\
 &= (6 \text{ cm})^2 \cdot \pi \\
 &= 113,0973 \text{ cm}^2 \\
 n_{\text{Samen}} &= \frac{A_{\text{Topf}}}{A_{\text{Pflanze}} \cdot w_{\text{Keimung}}} \\
 &= \frac{113,0973 \text{ cm}^2}{4 \text{ cm}^2 \cdot 0,825} \\
 &= 34,27 \text{ Samen pro Topf} \\
 n_{\text{Aussaat}} &= \underline{\underline{35 \text{ Samen pro Topf}}}
 \end{aligned}$$

3.1.6.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 d &= 1,2 \text{ g/kg} \\
 \beta_{\text{Urethan}} &= 250 \text{ g/L} \\
 m_{\text{Ratte}} &= 220 \text{ g}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$V_{\text{Lösung}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 d_{\text{Urethan}} &= \frac{m_{\text{Urethan}}}{m_{\text{Ratte}}} \\
 m_{\text{Urethan}} &= d_{\text{Urethan}} \cdot m_{\text{Ratte}} \\
 &= 0,22 \text{ kg} \cdot 1,2 \text{ g/kg} \\
 &= 0,264 \text{ g} \\
 \beta_{\text{Urethan}} &= \frac{m_{\text{Urethan}}}{V_{\text{Lösung}}} \\
 V_{\text{Lösung}} &= \frac{m_{\text{Urethan}}}{d_{\text{Urethan}}} \\
 &= \frac{0,264 \text{ g}}{250 \text{ g/L}} \\
 &= \underline{\underline{1,056 \text{ mL}}}
 \end{aligned}$$

3.1.7.

gegeben:

$$\beta_{\text{Morphin}} = 1 \text{ mg/mL} = 1 \text{ g/L}$$

$$\alpha_{\text{Lösung}} = 10 \text{ mL/kg}$$

$$M_{\text{Morphin}} = 285,34276 \text{ g/mol}$$

gesucht:

$$d_{\text{Morphin}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} c_{\text{Morphin}} &= \frac{\beta_{\text{Morphin}}}{M_{\text{Morphin}}} \\ &= \frac{1 \text{ g/L}}{285,34276 \text{ g/mol}} \\ &= 3,504557116 \text{ mmol/L} \\ &= 3,504557116 \mu\text{mol/mL} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_{\text{Morphin}} &= c_{\text{Morphin}} \cdot \alpha_{\text{Lösung}} \\ &= 3,505 \mu\text{mol/mL} \cdot 10 \text{ mL/kg} \\ &= 35,05 \mu\text{mol/kg} \\ &= \underline{\underline{35,05 \cdot 10^{-6} \text{ mol/kg}}} \end{aligned}$$

3.1.8.

gegeben:

$$d_{\text{Wirkstoff molar}} = 12 \text{ mmol/kg} = 0,012 \text{ mol/kg}$$

$$M_{\text{Wirkstoff}} = 250 \text{ g/mol}$$

$$d_{\text{Futter}} = 100 \text{ g/kg}$$

gesucht:

$$w_{\text{Wirkstoff}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} d_{\text{Wirkstoff}} &= d_{\text{Wirkstoff molar}} \cdot M_{\text{Wirkstoff}} \\ &= 0,012 \text{ mol/kg} \cdot 250 \text{ g/mol} \\ &= 3 \text{ g/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d_{\text{Wirkstoff}} &= d_{\text{Futter}} \cdot w_{\text{Wirkstoff}} \\
 w_{\text{Wirkstoff}} &= \frac{d_{\text{Wirkstoff}}}{d_{\text{Futter}}} \\
 &= \frac{3 \text{ g Wirkstoff/kg Ratte}}{100 \text{ g Futter/kg Ratte}} \\
 &= \underline{\underline{3,000 \text{ g Wirkstoff/100 g Futter}}}
 \end{aligned}$$

3.1.9.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Ratte}} &= 153 \text{ g} \\
 d &= 2,5 \text{ g/kg} \\
 \beta_{\text{Stamml.}} &= 30 \text{ g/L}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$V_{\text{Stammlösung}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 d_{\text{Wirkstoff}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{m_{\text{Ratte}}} \\
 m_{\text{Wirkstoff}} &= d_{\text{Wirkstoff}} \cdot m_{\text{Ratte}} \\
 &= 2,5 \text{ g/kg} \cdot 0,153 \text{ kg} \\
 &= 0,3825 \text{ g} \\
 \beta_{\text{Stammlösung}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{V_{\text{Stammlösung}}} \\
 V_{\text{Stammlösung}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{\beta_{\text{Stammlösung}}} \\
 &= \frac{0,3825 \text{ g}}{30 \text{ g/L}} \\
 &= \underline{\underline{12,75 \text{ mL}}}
 \end{aligned}$$

3.1.10.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 n_{\text{Ratte}} &= 25 \\
 m_{\emptyset} &= 225 \text{ g} \\
 d_{\text{Wirkstoff}} &= 1,2 \text{ g/kg} \\
 \beta_{\text{Wirkstoff}} &= 250 \text{ g/L}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$V_{\text{Narkoselösung}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} m_{\text{Ratte}} &= n_{\text{Ratte}} \cdot m_{\emptyset} \\ &= 25 \cdot 225 \text{ g} \\ &= 5,625 \text{ kg} \\ d_{\text{Wirkstoff}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{m_{\text{Ratten}}} \\ m_{\text{Wirkstoff}} &= d_{\text{Wirkstoff}} \cdot m_{\text{Ratten}} \\ &= 1,2 \text{ g/kg} \cdot 5,625 \text{ kg} \\ &= 6,75 \text{ g} \\ \beta_{\text{Wirkstoff}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{V_{\text{Narkoselösung}}} \\ V_{\text{Narkoselösung}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{\beta_{\text{Wirkstoff}}} \\ &= \frac{6,75 \text{ g}}{250 \text{ g/L}} \\ &= 0,027 \text{ L} \\ &= \underline{\underline{27,00 \text{ mL}}} \end{aligned}$$

3.1.11.

gegeben:

$$\begin{aligned} d_{\text{Wirkstoff}} &= 4 \text{ kg/ha} = 0,4 \text{ g/m}^2 \\ A &= 1600 \text{ cm}^2 = 0,16 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{Wirkstoff}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} d_{\text{Wirkstoff}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{A} \\ m_{\text{Wirkstoff}} &= d_{\text{Wirkstoff}} \cdot A \\ &= 0,4 \text{ g/m}^2 \cdot 0,16 \text{ m}^2 \\ &= 0,064 \text{ g} \\ &= \underline{\underline{64,00 \text{ mg}}} \end{aligned}$$

3.1.12.

gegeben:

$$m_{\text{Ratte}} = 210 \text{ g} = 0,21 \text{ kg}$$

$$V_{\text{Lösung}} = 0,21 \text{ mL}$$

$$c_{\text{Adrenalin}} = 0,02 \text{ } \mu\text{mol/mL}$$

$$M_{\text{Adrenalin}} = 183,20 \text{ g/mol} = 183,20 \text{ } \mu\text{g}/\mu\text{mol}$$

gesucht:

$$d_{\text{Adrenalin}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} \beta_{\text{Adrenalin}} &= c_{\text{Adrenalin}} \cdot M_{\text{Adrenalin}} \\ &= 0,02 \text{ } \mu\text{mol/mL} \cdot 183,2 \text{ } \mu\text{g}/\mu\text{mol} \\ &= 3,664 \text{ } \mu\text{g/mL} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_{\text{Adrenalin}} &= \beta_{\text{Adrenalin}} \cdot V_{\text{Lösung}} \\ &= 3,664 \text{ } \mu\text{g/mL} \cdot 0,21 \text{ mL} \\ &= 0,76944 \text{ } \mu\text{g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_{\text{Adrenalin}} &= \frac{m_{\text{Adrenalin}}}{m_{\text{Ratte}}} \\ &= \frac{0,76944 \text{ } \mu\text{g}}{0,21 \text{ kg}} \\ &= \underline{\underline{3,664 \text{ } \mu\text{g/kg}}} \end{aligned}$$

3.1.13.

gegeben:

$$m_{\text{Gruppe 1}} = 137 \text{ g}$$

$$d_1 = 100 \text{ mg/kg}$$

$$m_{\text{Gruppe 2}} = 133 \text{ g}$$

$$d_2 = 500 \text{ mg/kg}$$

$$m_{\text{Gruppe 3}} = 130 \text{ g}$$

$$d_3 = 1200 \text{ mg/kg}$$

$$\beta_{\text{Stammlösung}} = 30 \text{ g/L}$$

gesucht:

$$V_{\text{Lösung}}$$

Berechnung:

$$d_{\text{Wirkstoff}} = \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{m_{\text{Maus}}}$$

$$m_{\text{Wirkstoff}} = d \cdot m_{\text{Maus}}$$

$$\begin{aligned} m_{\text{Wirkstoff 1}} &= 100 \text{ mg/kg} \cdot 0,137 \text{ kg} \\ &= 13,7 \text{ mg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_{\text{Wirkstoff 2}} &= 500 \text{ mg/kg} \cdot 0,133 \text{ kg} \\ &= 66,5 \text{ mg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_{\text{Wirkstoff 3}} &= 1200 \text{ mg/kg} \cdot 0,130 \text{ kg} \\ &= 156 \text{ mg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum m_{\text{Wirkstoff}} &= m_{\text{Wirkstoff 1}} + m_{\text{Wirkstoff 2}} + m_{\text{Wirkstoff 3}} \\ &= 13,7 \text{ mg} + 66,5 \text{ mg} + 156 \text{ mg} \\ &= 236,2 \text{ mg} \end{aligned}$$

$$\beta_{\text{Stammlösung}} = \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{V_{\text{Lösung}}}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{Lösung}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{\beta_{\text{Stammlösung}}} \\ &= \frac{236,2 \text{ mg}}{30 \text{ mg/mL}} \\ &= \underline{\underline{7,873 \text{ mL}}} \end{aligned}$$

3.1.14.

gegeben:

$$m_{\text{Affe}} = 8,372 \text{ kg}$$

$$m_{\text{Pellet}} = 1,5 \text{ g}$$

$$n_{\text{Pellet}} = 536$$

$$w_{\text{Wirkstoff}} = 14,55 \%$$

gesucht:

$$d_{\text{Wirkstoff}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} m_{\text{total}} &= m_{\text{Pellet}} \cdot n_{\text{Pellet}} \\ &= 1,5 \text{ g} \cdot 536 \\ &= 804 \text{ g} \end{aligned}$$

$$w_{\text{Wirkstoff}} = \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{m_{\text{total}}}$$

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Wirkstoff}} &= w_{\text{Wirkstoff}} \cdot m_{\text{total}} \\
 &= 0,1455 \text{ g/g} \cdot 804 \text{ g} \\
 &= 116,982 \text{ g} \\
 d_{\text{Wirkstoff}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{m_{\text{Affe}}} \\
 &= \frac{116,982 \text{ g}}{8,372 \text{ kg}} \\
 &= \underline{\underline{13,97 \text{ g/kg}}}
 \end{aligned}$$

3.1.15.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Katze}} &= 2,6 \text{ kg} \\
 t_{\text{Infusion}} &= 24 \text{ h} = 1440 \text{ min} \\
 v_{\text{Infusion}} &= 4 \text{ Tropfen/min} \\
 V_{\text{Tropfen}} &= 40 \mu\text{L} \\
 \beta_{\text{Vitaminlösung}} &= 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ g/mL} = 0,16 \text{ mg/mL}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$d_{\text{Vitamin}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Infusion}} &= v_{\text{Infusion}} \cdot V_{\text{Tropfen}} \cdot t \\
 &= 4 \text{ Tropfen/min} \cdot 40 \mu\text{L/Tropfen} \cdot 1440 \text{ min} \\
 &= 230.400 \mu\text{L} \\
 &= 230,4 \text{ mL} \\
 \beta_{\text{Vitaminlösung}} &= \frac{m_{\text{Vitamin}}}{V_{\text{Infusion}}} \\
 m_{\text{Vitamin}} &= \beta_{\text{Vitaminlösung}} \cdot V_{\text{Infusion}} \\
 &= 0,16 \text{ mg/mL} \cdot 230,4 \text{ mL} \\
 &= 36,864 \text{ mg} \\
 d_{\text{Vitamin}} &= \frac{m_{\text{Vitamin}}}{m_{\text{Katze}}} \\
 &= \frac{36,864 \text{ mg}}{2,6 \text{ kg}} \\
 &= \underline{\underline{14,18 \text{ mg/kg}}}
 \end{aligned}$$

3.1.16.

gesucht:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Ratte}} &= 230 \text{ g} \\
 t &= 48 \text{ h} \\
 n_{\text{Tastendricke}} &= 1762 \\
 m_{\text{Futter/Tastendruck}} &= 25 \text{ mg} \\
 w_{\text{Wirkstoff}} &= 20 \text{ g/kg} \\
 m_{\text{nicht gefressen}} &= 22,85 \text{ g}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$d_{\text{Wirkstoff pro Tag}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Futter}} &= n_{\text{Tastendricke}} \cdot m_{\text{Futter/Tastendruck}} \\
 &= 1762 \cdot 25 \text{ mg} \\
 &= 44,05 \text{ g} \\
 m_{\text{gefressen}} &= m_{\text{Futter}} - m_{\text{nicht gefressen}} \\
 &= 44,05 \text{ g} - 22,85 \text{ g} \\
 &= 21,2 \text{ g} \\
 w_{\text{Wirkstoff}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{m_{\text{gefressen}}} \\
 m_{\text{Wirkstoff}} &= w_{\text{Wirkstoff}} \cdot m_{\text{gefressen}} \\
 &= 20 \text{ mg/g} \cdot 21,2 \text{ g} \\
 &= 424 \text{ mg} \\
 d_{\text{Wirkstoff}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{m_{\text{Ratte}}} \\
 &= \frac{424 \text{ mg}}{0,23 \text{ kg}} \\
 &= 1843,478 \text{ mg/kg} \\
 d_{\text{Wirkstoff pro Tag}} &= \frac{d_{\text{Wirkstoff}}}{t} \\
 &= \frac{1843,478 \text{ mg/kg}}{2 \text{ Tage}} \\
 &= \underline{\underline{921,7 \text{ mg}/(\text{kg} \cdot \text{Tag})}}
 \end{aligned}$$

3.1.17.

gegeben:

$$m_{\text{Ratte}} = 330 \text{ g}$$

$$d_{\text{K}} = 57 \text{ mg/kg}$$

$$c_{\text{KCl}} = 0,32 \text{ mol/L}$$

$$Q_{\text{Infusion}} = 0,2 \text{ mL/min}$$

$$M_{\text{K}} = 39,0983 \text{ g/mol}$$

gesucht:

$$t_{\text{Infusion}}$$

Berechnung:

$$d_{\text{K}} = \frac{m_{\text{K}}}{m_{\text{Ratte}}}$$

$$\begin{aligned} m_{\text{K}} &= d_{\text{K}} \cdot m_{\text{Ratte}} \\ &= 57 \text{ mg/kg} \cdot 0,33 \text{ kg} \\ &= 18,81 \text{ mg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c_{\text{KCl}} &= c_{\text{K}} \text{ (weil 1 K pro KCl)} \\ &= 0,32 \text{ mol/L} \end{aligned}$$

$$c_{\text{K}} = \frac{\beta_{\text{K}}}{M_{\text{K}}}$$

$$\begin{aligned} \beta_{\text{K}} &= c_{\text{K}} \cdot M_{\text{K}} \\ &= 0,32 \text{ mol/L} \cdot 39,0983 \text{ g/mol} \\ &= 12,511456 \text{ g/L} \end{aligned}$$

$$\beta_{\text{K}} = \frac{m_{\text{K}}}{V_{\text{K}}}$$

$$V_{\text{K}} = \frac{m_{\text{K}}}{\beta_{\text{K}}}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{18,81 \text{ mg}}{12,511456 \text{ mg/mL}} \\ &= 1,503422144 \text{ mL} \end{aligned}$$

$$Q_{\text{Infusion}} = \frac{V_{\text{K}}}{t_{\text{Infusion}}}$$

$$\begin{aligned} t_{\text{Infusion}} &= \frac{V_{\text{K}}}{Q_{\text{Infusion}}} \\ &= \frac{1,503422144 \text{ mL}}{0,2 \text{ mL/min}} \\ &= \underline{\underline{7,517 \text{ min}}} \end{aligned}$$

3.1.18.

gegeben:

$$m_{\text{Tier}} = 2,1 \text{ kg}$$

$$d = 5000 \text{ IE/L}$$

$$w_{\text{Blut}} = 7 \%$$

$$\rho_{\text{Blut}} = 1,051 \text{ g/mL}$$

$$w_{\text{Heparin}} = 135 \text{ IE/g}$$

gesucht:

$$V_{\text{Lösung}}$$

Berechnung:

$$m_{\text{Blut}} = w_{\text{Blut}} \cdot m_{\text{Tier}}$$

$$= 7 \% \cdot 2,1 \text{ kg}$$

$$= 147 \text{ g}$$

$$\rho_{\text{Blut}} = \frac{m_{\text{Blut}}}{V_{\text{Blut}}}$$

$$V_{\text{Blut}} = \frac{m_{\text{Blut}}}{\rho_{\text{Blut}}}$$

$$= \frac{147 \text{ g}}{1,051 \text{ g/mL}}$$

$$= 139,86679 \text{ mL}$$

$$d_{\text{Heparin}} = \frac{n_{\text{IE}}}{V_{\text{Blut}}}$$

$$n_{\text{IE}} = V_{\text{Blut}} \cdot d_{\text{Heparin}}$$

$$= 0,1398668 \text{ L} \cdot 5000 \text{ IE/L}$$

$$= 699,33395 \text{ IE}$$

$$w_{\text{Heparin}} = 135 \text{ IE/mg}$$

$$m_{\text{Heparin}} = \frac{n_{\text{IE}}}{w_{\text{Heparin}}}$$

$$= \frac{699,33395 \text{ IE}}{135 \text{ IE/mg}}$$

$$= 5,1802516 \text{ mg}$$

$$\beta_{\text{Lösung}} = \frac{m_{\text{Heparin}}}{V_{\text{Lösung}}}$$

$$V_{\text{Lösung}} = \frac{m_{\text{Heparin}}}{\beta_{\text{Lösung}}}$$

$$= \frac{5,1802516 \text{ mg}}{16,67 \text{ mg/mL}}$$

$$= \underline{\underline{0,3108 \text{ mL}}}$$

3.1.19.

gesucht:

$$m_{\text{Kaninchen}} = 0,741 \text{ kg}$$

$$d = 5 \text{ g/kg}$$

$$t_{\text{Applikation}} = 8 \text{ h} = 480 \text{ min}$$

$$\beta_{\text{Wirkstoff}} = 50 \text{ g/L}$$

gesucht:

$$Q_{\text{Infusion}} \text{ (mL/min)}$$

Berechnung:

$$d_{\text{Wirkstoff}} = \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{m_{\text{Kaninchen}}}$$

$$\begin{aligned} m_{\text{Wirkstoff}} &= d_{\text{Wirkstoff}} \cdot m_{\text{Kaninchen}} \\ &= 5 \text{ g/kg} \cdot 0,741 \text{ kg} \\ &= 3,705 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\beta_{\text{Wirkstoff}} = \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{V_{\text{Lösung}}}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{Lösung}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{\beta_{\text{Wirkstoff}}} \\ &= \frac{3,705 \text{ g}}{50 \text{ g/L}} \\ &= 74,1 \text{ mL} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{Infusion}} &= \frac{V_{\text{Lösung}}}{t} \\ &= \frac{74,1 \text{ mL}}{480 \text{ min}} \\ &= \underline{\underline{0,1544 \text{ mL/min}}} \end{aligned}$$

3.1.20.

gegeben:

$$d_{\text{Sulfonamid}} = 500 \text{ mg/kg}$$

$$\alpha_{\text{Lösung}} = 45 \text{ mL/kg}$$

$$\beta_{\text{Sulfonamid}} = 18,5 \text{ g/L}$$

$$m_{\text{Ratte}} = 0,385 \text{ kg}$$

gesucht:

$$V_{\text{Stammlösung}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 d_{\text{Sulfonamid}} &= \frac{m_{\text{Sulfonamid}}}{m_{\text{Ratte}}} \\
 m_{\text{Sulfonamid}} &= d_{\text{Sulfonamid}} \cdot m_{\text{Ratte}} \\
 &= 500 \text{ mg/kg} \cdot 0,385 \text{ kg} \\
 &= 192,5 \text{ mg} \\
 \beta_{\text{Sulfonamid}} &= \frac{m_{\text{Sulfonamid}}}{V_{\text{Stammlösung}}} \\
 V_{\text{Stammlösung}} &= \frac{m_{\text{Sulfonamid}}}{\beta_{\text{Wirkstoff}}} \\
 &= \frac{0,1925 \text{ g}}{18,5 \text{ g/L}} \\
 &= \underline{\underline{10,41 \text{ mL}}}
 \end{aligned}$$

3.1.21.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 w_{\text{Beizmittel}} &= 200 \text{ g}/80 \text{ kg} = 2,5 \text{ g/kg} \\
 l_{\text{Feld}} &= 120 \text{ m} \\
 b_{\text{Feld}} &= 45 \text{ m} \\
 d &= 450 \text{ Körner/m}^2 \\
 \rho_{\text{Körner}} &= 123,5 \text{ g}/1000 \text{ Körner}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{Beizmittel}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 A_{\text{Feld}} &= l_{\text{Feld}} \cdot b_{\text{Feld}} \\
 &= 120 \text{ m} \cdot 45 \text{ m} \\
 &= 5400 \text{ m}^2 \\
 n_{\text{Körner}} &= A_{\text{Feld}} \cdot d \\
 &= 5400 \text{ m}^2 \cdot 450 \text{ Körner/m}^2 \\
 &= 2.430.000 \text{ Körner} \\
 m_{\text{Körner}} &= n_{\text{Körner}} \cdot \rho_{\text{Körner}} \\
 &= 2.430.000 \text{ Körner} \cdot \frac{123,5 \text{ g}}{1000 \text{ Körner}} \\
 &= 300,105 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$w_{\text{Beizmittel}} = \frac{m_{\text{Beizmittel}}}{m_{\text{Körner}}}$$

$$m_{\text{Beizmittel}} = w_{\text{Beizmittel}} \cdot m_{\text{Körner}}$$

$$= 2,5 \text{ g/kg} \cdot 300,105 \text{ kg}$$

$$= \underline{\underline{750,3 \text{ g}}}$$

3.1.22.

gegeben:

$$l_{\text{Feld}} = 15,5 \text{ m}$$

$$b_{\text{Feld}} = 10,2 \text{ m}$$

$$w_{\text{Wirkstoff}} = 5,4 \text{ g/kg}$$

$$w_{\text{Konzentrat}} = 25 \%$$

$$d_{\text{Fungizid}} = 75,9 \text{ g/m}^2$$

gesucht:

$$m_{\text{Konzentrat}}$$

Berechnung:

$$A_{\text{Feld}} = l_{\text{Feld}} \cdot b_{\text{Feld}}$$

$$= 15,5 \text{ m} \cdot 10,2 \text{ m}$$

$$= 158,1 \text{ m}^2$$

$$d_{\text{Fungizid}} = \frac{m_{\text{Fungizid}}}{A_{\text{Feld}}}$$

$$m_{\text{Fungizid}} = d_{\text{Fungizid}} \cdot A_{\text{Feld}}$$

$$= 75,9 \text{ g/m}^2 \cdot 158,1 \text{ m}^2$$

$$= 11,99979 \text{ kg}$$

$$w_{\text{Wirkstoff}} = \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{m_{\text{Fungizid}}}$$

$$m_{\text{Wirkstoff}} = w_{\text{Wirkstoff}} \cdot m_{\text{Fungizid}}$$

$$= 5,4 \text{ g/kg} \cdot 11,99979 \text{ kg}$$

$$= 64,798866 \text{ g}$$

$$w_{\text{Konzentrat}} = \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{m_{\text{Konzentrat}}}$$

$$m_{\text{Konzentrat}} = \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{w_{\text{Konzentrat}}}$$

$$= \frac{64,798866 \text{ g}}{0,25 \text{ g/g}}$$

$$= \underline{\underline{259,2 \text{ g}}}$$

3.1.23.

gesucht:

$$\begin{aligned}\beta_{\text{Sulfonamid im Medium}} &= 100 \text{ mg/L} \\ \beta_{\text{Sulfonamid in der Stammlösung}} &= 25 \text{ g/L} \\ \varnothing_{\text{Fermenter}} &= 0,8 \text{ m} \Rightarrow r_{\text{Fermenter}} = 0,4 \text{ m} \\ h_{\text{Medium}} &= 1,25 \text{ m}\end{aligned}$$

gesucht:

$$V_{\text{Stammlösung}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}V_{\text{Medium}} &= (r_{\text{Fermenter}})^2 \cdot \pi \cdot h_{\text{Medium}} \\ &= (0,4 \text{ m})^2 \cdot \pi \cdot 1,25 \text{ m} \\ &= 0,6283185 \text{ m}^3 \\ &= 628,3185 \text{ L} \\ \beta_{\text{Sulfonamid im Medium}} &= \frac{m_{\text{Sulfonamid}}}{V_{\text{Medium}}} \\ m_{\text{Sulfonamid}} &= \beta_{\text{Sulfonamid im Medium}} \cdot V_{\text{Medium}} \\ &= 100 \text{ mg/L} \cdot 628,3185 \text{ L} \\ &= 62,83185 \text{ g} \\ \beta_{\text{Sulfonamid in der Stammlösung}} &= \frac{m_{\text{Sulfonamid}}}{V_{\text{Stammlösung}}} \\ V_{\text{Stammlösung}} &= \frac{m_{\text{Sulfonamid}}}{\beta_{\text{Sulfonamid in der Stammlösung}}} \\ &= \frac{62,83185 \text{ g}}{25 \text{ g/L}} \\ &= \underline{\underline{2,513 \text{ L}}}\end{aligned}$$

3.1.24.

gegeben:

$$\begin{aligned}d_{\text{Wirkstoff}} &= 50 \text{ mg/kg} \\ \alpha_{\text{Lösung}} &= 1 \text{ mL/kg} \\ w_{\text{Wirkstoff}} &= 85 \% \\ V_{\text{Lösung}} &= 100 \text{ mL}\end{aligned}$$

gegeben:

$$m_{\text{Substanz}}$$

Berechnung:

$$d_{\text{Wirkstoff}} = \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{m_{\text{Patient}}}$$

$$m_{\text{Patient}} = \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{d_{\text{Wirkstoff}}}$$

$$\alpha_{\text{Lösung}} = \frac{V_{\text{Lösung}}}{m_{\text{Patient}}}$$

$$m_{\text{Patient}} = \frac{V_{\text{Lösung}}}{\alpha_{\text{Lösung}}}$$

Einsetzen:

$$\frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{d_{\text{Wirkstoff}}} = \frac{V_{\text{Lösung}}}{\alpha_{\text{Lösung}}}$$

$$m_{\text{Wirkstoff}} = \frac{V_{\text{Lösung}} \cdot d_{\text{Wirkstoff}}}{\alpha_{\text{Lösung}}}$$

$$= \frac{100 \text{ mL} \cdot 50 \text{ mg/kg}}{1 \text{ mL/kg}}$$

$$= 5000 \text{ mg}$$

$$= 5,000 \text{ g}$$

$$w_{\text{Wirkstoff}} = \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{m_{\text{Substanz}}}$$

$$m_{\text{Substanz}} = \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{w_{\text{Wirkstoff}}}$$

$$= \frac{5 \text{ g}}{0,85 \text{ g/g}}$$

$$= \underline{\underline{5,882 \text{ g}}}$$

3.1.25.

gegeben:

$$n_{\text{Ratten}} = 10$$

$$m_{\emptyset} = 352 \text{ g}$$

$$V_{\text{Blutprobe}} = 1 \text{ mL}$$

$$\beta_{\text{Glucose Anfang}} = 820,3 \text{ mg/L}$$

$$\beta_{\text{Glucose Ende}} = 798,8 \text{ mg/L}$$

$$V_{\text{Blut/kg Körpergew.}} = 70 \text{ mL/kg}$$

$$n_{\text{Schwimmrunden}} = 4$$

$$l_{\text{Wasserrinne}} = 1,25 \text{ m}$$

$$b_{\text{Wasserrinne}} = 0,52 \text{ m}$$

gesucht:

$$\Delta m_{\text{Glucose}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} \Delta \beta_{\text{Glucose}} &= \beta_{\text{Glucose Anfang}} - \beta_{\text{Glucose Ende}} \\ &= 820,3 \text{ mg/L} - 798,8 \text{ mg/L} \\ &= 21,6 \text{ mg/L} \\ &= 1,512 \text{ mg/70 mL} \\ m_{\text{Glucoseverbrauch/Ratte}} &= 1,512 \text{ mg/kg Ratte} \\ &= 0,532224 \text{ mg/352 g Ratte} \\ &= 0,532224 \text{ mg/Ratte} \\ l_{\text{Schwimmrunde}} &= b \cdot \pi + 2 \cdot (L - b) \\ &= 0,52 \text{ m} \cdot \pi + 2 \cdot (1,25 \text{ m} - 0,52 \text{ m}) \\ &= 3,09362818 \text{ m} \\ l_{\text{geschwommen}} &= l_{\text{Schwimmrunde}} \cdot n_{\text{Schwimmrunde}} \\ &= 3,09362818 \text{ m} \cdot 4 \\ &= 12,3735 \text{ m} \\ \Delta m_{\text{Glucose}} &= \frac{m_{\text{Glucoseverbrauch/Ratte}}}{l_{\text{geschwommen}}} \\ &= \frac{0,532224 \text{ mg}}{12,3735 \text{ m}} \\ &= \underline{\underline{43,01 \mu\text{g/m}}} \end{aligned}$$

3.1.26.

gegeben:

$$\begin{aligned} d &= 35 \text{ mg/kg} \\ t &= 24 \text{ h} \\ \beta_{\text{Wirkstoff}} &= 2,5 \text{ g/L} \\ m_{\text{Ziege}} &= 31,5 \text{ kg} \\ V_{\text{Rolle}} &= 1,52 \text{ mL} \end{aligned}$$

gesucht:

$$v_{\text{Rotation}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 d_{\text{Wirkstoff}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{m_{\text{Ziege}}} \\
 m_{\text{Wirkstoff}} &= d_{\text{Wirkstoff}} \cdot m_{\text{Ziege}} \\
 &= 35 \text{ mg/kg} \cdot 31,5 \text{ kg} \\
 &= 1,1025 \text{ g} \\
 \beta_{\text{Wirkstoff}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{V_{\text{Lösung}}} \\
 V_{\text{Lösung}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{\beta_{\text{Wirkstoff}}} \\
 &= \frac{1,1025 \text{ g}}{2,5 \text{ g/L}} \\
 &= 0,441 \text{ L} \\
 n_{\text{Umdrehungen}} &= \frac{V_{\text{Lösung}}}{n_{\text{Rollen}} \cdot V_{\text{Rolle}}} \\
 &= \frac{441 \text{ mL}}{2 \text{ Rollen/Umdrehung} \cdot 1,52 \text{ mL/Rolle}} \\
 &= 145,07 \text{ Umdrehungen} \\
 v_{\text{Rotation}} &= \frac{n_{\text{Umdrehungen}}}{t} \\
 &= \frac{145,07 \text{ Umdrehungen}}{10 \text{ h}} \\
 &= \underline{\underline{14,51 \text{ Umdrehungen/h}}}
 \end{aligned}$$

13.3.2 Lösungen Abschn. 3.2 – Formulierungen in der Agrobiologie

3.2.1.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 \beta_{\text{Präparat}} &= 250 \text{ g/L (EC 250)} \\
 d_{\text{Wirkstoff}} &= 75 \text{ mg/m} \\
 l_{\text{Pflanzreihen}} &= 32 \text{ m (4 Parzellen à } 4 \cdot 2 \text{ m)}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$V_{\text{Präparat}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 d_{\text{Wirkstoff}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{l_{\text{Pflanzreihen}}} \\
 m_{\text{Wirkstoff}} &= d_{\text{Wirkstoff}} \cdot l_{\text{Pflanzreihen}} \\
 &= 75 \text{ mg/m} \cdot 32 \text{ m} \\
 &= 2400 \text{ mg} \\
 &= 2,4 \text{ g} \\
 \beta_{\text{Wirkstoff}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{V_{\text{Präparat}}} \\
 V_{\text{Präparat}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{\beta_{\text{Wirkstoff}}} \\
 &= \frac{2,4 \text{ g}}{250 \text{ g/L}} \\
 &= 0,0096 \text{ L} \\
 &= \underline{\underline{9,600 \text{ mL}}}
 \end{aligned}$$

3.2.2.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 l_{\text{Acker}} &= 120 \text{ m} \\
 b_{\text{Acker}} &= 35 \text{ m} \\
 d_{\text{Wirkstoff}} &= 500 \text{ mg/m}^2 \\
 \beta_{\text{Präparat}} &= 20 \text{ g/L (EC 20)}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$V_{\text{Infestakill}}^{\circledR}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 A_{\text{Acker}} &= L \cdot b \\
 &= 120 \text{ m} \cdot 35 \text{ m} \\
 &= 4200 \text{ m}^2 \\
 m_{\text{Wirkstoff}} &= d_{\text{Wirkstoff}} \cdot A_{\text{Acker}} \\
 &= 500 \text{ mg/m}^2 \cdot 4200 \text{ m}^2 \\
 &= 2.100.000 \text{ mg} \\
 &= 2100 \text{ g}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Infestakill}}^{\text{®}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{\beta_{\text{Präparat}}} \\
 &= \frac{2100 \text{ g}}{20 \text{ g/L}} \\
 &= \underline{\underline{105,0 \text{ L}}}
 \end{aligned}$$

3.2.3.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 A_{\text{Feld}} &= 45,5 \text{ m} \times 12,4 \text{ m} = 564,2 \text{ m}^2 \\
 w_{\text{Präparat}} &= 2,5 \text{ g}/100 \text{ g} \text{ (TP 02,5)} \\
 d_{\text{Wirkstoff}} &= 40 \text{ mg/m}^2
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{Präparat}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 d_{\text{Wirkstoff}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{A_{\text{Feld}}} \\
 m_{\text{Wirkstoff}} &= d_{\text{Wirkstoff}} \cdot A_{\text{Feld}} \\
 &= 40 \text{ mg/m}^2 \cdot 564,2 \text{ m}^2 \\
 &= 22.568 \text{ mg} \\
 &= 22,568 \text{ g} \\
 m_{\text{Präparat}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{w_{\text{Präparat}}} \\
 &= \frac{22,568 \text{ g}}{2,5 \text{ g}/100 \text{ g}} \\
 &= \underline{\underline{902,7 \text{ g}}}
 \end{aligned}$$

3.2.4.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Spritzmittel}} &= 22,5 \text{ g} \\
 w_{\text{Spritzmittel}} &= 40 \text{ g}/100 \text{ g} \text{ (WP 40)} \\
 l_{\text{Fläche}} &= 11 \text{ m} \\
 b_{\text{Fläche}} &= 9 \text{ m}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$d_{\text{Wirkstoff}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} A_{\text{pro Baum}} &= l_{\text{Fläche}} \cdot b_{\text{Fläche}} \\ &= 11 \text{ m} \cdot 9 \text{ m} \\ &= 99 \text{ m}^2 \\ &= 0,0099 \text{ ha} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_{\text{Wirkstoff}} &= m_{\text{Spritzmittel}} \cdot w_{\text{Spritzmittel}} \\ &= 22,5 \text{ g} \cdot 40 \text{ g}/100 \text{ g} \\ &= 9 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_{\text{Wirkstoff}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{A_{\text{Baum}}} \\ &= \frac{9 \text{ g}}{0,0099 \text{ ha}} \\ &= \underline{\underline{909,1 \text{ g/ha}}} \end{aligned}$$

3.2.5.

gegeben:

$$\begin{aligned} \varnothing_{\text{Silo}} &= 10 \text{ m} \\ h_{\text{Silo}} &= 9 \text{ m} \\ \sigma_{\text{gefüllt}} &= 60 \% \\ \beta_{\text{Körner}} &= 0,8 \text{ g/cm}^3 = 800 \text{ kg/m}^3 \\ w_{\text{Spritzpulverwirkstoff}} &= 50 \text{ g}/100 \text{ g (WP 50)} \\ d_{\text{Wirkstoff}} &= 2 \text{ g/kg} \end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{Spritzpulver}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} V_{\text{Getreide}} &= r^2 \cdot \pi \cdot h_{\text{Silo}} \cdot \sigma_{\text{gefüllt}} \\ &= (5 \text{ m})^2 \cdot \pi \cdot 9 \text{ m} \cdot 0,6 \text{ m}^3/\text{m}^3 \\ &= 424,1150082 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\beta_{\text{Körner}} = \frac{m_{\text{Körner}}}{V_{\text{Getreide}}}$$

$$\begin{aligned} m_{\text{Körner}} &= \beta_{\text{Körner}} \cdot V_{\text{Getreide}} \\ &= 800 \text{ kg/m}^3 \cdot 424,1150 \text{ m}^3 \\ &= 339.292,0066 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$d_{\text{Wirkstoff}} = \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{m_{\text{Körner}}}$$

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Wirkstoff}} &= d_{\text{Wirkstoff}} \cdot m_{\text{Körner}} \\
 &= 2 \text{ g/kg} \cdot 339.292,0066 \text{ kg} \\
 &= 678.584,0132 \text{ g} \\
 w_{\text{Spritzpulverwirkstoff}} &= \frac{m_{\text{Spritzpulverwirkstoff}}}{m_{\text{Spritzpulver}}} \\
 m_{\text{Spritzpulver}} &= \frac{m_{\text{Spritzpulverwirkstoff}}}{w_{\text{Spritzpulverwirkstoff}}} \\
 &= \frac{678.584,0132 \text{ g}}{50 \text{ g/100 g}} \\
 &= \underline{\underline{1357 \text{ kg}}}
 \end{aligned}$$

3.2.6.

gesucht:

$$\begin{aligned}
 d_{\text{Wirkstoff}} &= 10^{-6} \text{ g/g} = 1 \text{ mg/kg} \\
 m_{\text{Weizen}} &= 25 \text{ kg} \\
 w_{\text{Beizmittel}} &= 3 \text{ g/100 g (DS 03)}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{Beizmittel}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 d_{\text{Wirkstoff}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{m_{\text{Weizen}}} \\
 m_{\text{Wirkstoff}} &= d_{\text{Wirkstoff}} \cdot m_{\text{Weizen}} \\
 &= 1 \text{ mg/kg} \cdot 25 \text{ kg} \\
 &= 25 \text{ mg} \\
 w_{\text{Beizmittel}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{m_{\text{Beizmittel}}} \\
 m_{\text{Beizmittel}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{w_{\text{Beizmittel}}} \\
 &= \frac{25 \text{ mg}}{3 \text{ mg/100 mg}} \\
 &= \underline{\underline{833,3 \text{ mg}}}
 \end{aligned}$$

3.2.7.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Präparat}} &= 10 \text{ L} \\
 \beta_{\text{Wirkstoff}} &= 10^{-4} \text{ g/L} \\
 w_{\text{Wirkstoff}} &= 25 \text{ g/100 g (WP 25)}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{Präparat}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}\beta_{\text{Wirkstoff}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{V_{\text{Präparat}}} \\ m_{\text{Wirkstoff}} &= \beta_{\text{Wirkstoff}} \cdot V_{\text{Präparat}} \\ &= 10^{-4} \text{ g/L} \cdot 10 \text{ L} \\ &= 1 \text{ mg} \\ w_{\text{Wirkstoff}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{m_{\text{Präparat}}} \\ m_{\text{Präparat}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{w_{\text{Wirkstoff}}} \\ &= \frac{1 \text{ mg}}{25 \text{ mg}/100 \text{ mg}} \\ &= \underline{\underline{4,000 \text{ mg}}}\end{aligned}$$

3.2.8.

gegeben:

$$\begin{aligned}A_{\text{Feld}} &= 10.000 \text{ m}^2 \\ w_{\text{Granulat}} &= 5 \text{ g}/100 \text{ g (GR 05)} \\ d_{\text{Granulat}} &= 2 \text{ g/m} \\ b_{\text{Band}} &= 40 \text{ cm} = 0,4 \text{ m}\end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{Wirkstoff}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}l_{\text{Saatreihen}} &= \frac{A_{\text{Feld}}}{b_{\text{Band}}} \\ &= \frac{10.000 \text{ m}^2}{0,4 \text{ m}} \\ &= 25.000 \text{ m} \\ m_{\text{Granulat}} &= l_{\text{Saatreihen}} \cdot d_{\text{Granulat}} \\ &= 25.000 \text{ m} \cdot 2 \text{ g/m} \\ &= 50.000 \text{ g}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Wirkstoff}} &= m_{\text{Granulat}} \cdot w_{\text{Granulat}} \\
 &= 50.000 \text{ g} \cdot \frac{5 \text{ g}}{100 \text{ g}} \\
 &= 2500 \text{ g} \\
 &= \underline{\underline{2,500 \text{ kg}}}
 \end{aligned}$$

3.2.9.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 v_{\text{Flugzeug}} &= 25 \text{ m/s} \\
 Q &= 40 \text{ L/min} \\
 b_{\text{Streifen}} &= 30 \text{ m} \\
 w_{\text{Präparat}} &= 80 \% \text{ (WP 80)} \\
 d_{\text{Wirkstoff}} &= 0,3 \text{ kg/ha}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$\beta_{\text{Präparat}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 A_{\text{pro min}} &= b_{\text{Streifen}} \cdot v_{\text{Flugzeug}} \cdot t \\
 &= 30 \text{ m} \cdot 25 \text{ m/s} \\
 &= 45.000 \text{ m}^2/\text{min} \\
 &= 4,5 \text{ ha/min} \\
 d_{\text{Präparat}} &= \frac{Q}{A_{\text{pro min}}} \\
 &= \frac{40 \text{ L/min}}{4,5 \text{ ha/min}} \\
 &= 8,888889 \text{ L/ha} \\
 \beta_{\text{Wirkstoff}} &= \frac{d_{\text{Wirkstoff}}}{d_{\text{Präparat}}} \\
 &= \frac{0,3 \text{ kg/ha}}{8,888889 \text{ L/ha}} \\
 &= 0,03375 \text{ kg/L} \\
 \beta_{\text{Präparat}} &= \frac{\beta_{\text{Wirkstoff}}}{w_{\text{Präparat}}} \\
 &= \frac{0,03375 \text{ kg/L}}{0,80 \text{ kg/kg}} \\
 &= 0,0421875 \text{ kg/L} \\
 &= \underline{\underline{42,19 \text{ g/L}}}
 \end{aligned}$$

3.2.10.

gegeben:

$$w_{\text{Wirkstoff}} = 45 \% \text{ (WP 45)}$$

$$\beta_{\text{Präparat}} = 0,5 \text{ g/L}$$

$$Q = 60 \text{ L/min}$$

$$b_{\text{Balken}} = 18 \text{ m}$$

$$v_{\text{Traktor}} = 3,6 \text{ km/h} = 1 \text{ m/s} = 60 \text{ m/min}$$

gesucht:

$$d_{\text{Wirkstoff}} \text{ (in g/ha)}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} A_{\text{pro min}} &= v_{\text{Traktor}} \cdot b_{\text{Balken}} \\ &= 60 \text{ m/min} \cdot 18 \text{ m} \\ &= 1080 \text{ m}^2/\text{min} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{Präparat pro m}^2} &= \frac{Q}{A_{\text{pro min}}} \\ &= \frac{60 \text{ L/min}}{1080 \text{ m}^2/\text{min}} \\ &= 0,055555556 \text{ L/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_{\text{Präparat}} &= V_{\text{Präparat pro m}^2} \cdot \beta_{\text{Präparat}} \\ &= 0,0555556 \text{ L/m}^2 \cdot 0,5 \text{ g/L} \\ &= 0,027777778 \text{ g/m}^2 \\ &= 277,77778 \text{ g/ha} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_{\text{Wirkstoff}} &= d_{\text{Präparat}} \cdot w_{\text{Wirkstoff}} \\ &= 277,77778 \text{ g/ha} \cdot 0,45 \text{ g/g} \\ &= \underline{\underline{125,0 \text{ g/ha}}} \end{aligned}$$

3.2.11.

gegeben:

$$t_{\text{Halbwert}} = 18 \text{ d}$$

$$\beta_{\text{Grenzwert}} = 0,02 \text{ mg/L}$$

$$h_{\text{Becken}} = 0,8 \text{ m}$$

$$\varnothing_{\text{Becken}} = 3 \text{ m}$$

$$\beta_{\text{Wirkstoff}} = 800 \text{ g/L (EC 800)}$$

$$t_{\text{Wirksamkeit}} = 180 \text{ d}$$

gesucht:

$$V_{\text{Präparat}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} V_{\text{Teich}} &= r^2 \cdot \pi \cdot h \\ &= (1,5 \text{ m})^2 \cdot \pi \cdot 0,8 \text{ m} \\ &= 5,65487 \text{ m}^3 \\ &= 5654,87 \text{ L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_{\text{Wirkstoffminimum}} &= \beta_{\text{Grenzwert}} \cdot V_{\text{Teich}} \\ &= 0,02 \text{ mg/L} \cdot 5654,87 \text{ L} \\ &= 113,0973 \text{ mg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_{\text{Halbwertszeiten}} &= \frac{t_{\text{Wirksamkeit}}}{t_{\text{Halbwert}}} \\ &= \frac{180 \text{ d}}{18 \text{ d}} \\ &= 10 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_{\text{Wirkstoff am Anfang}} &= m_{\text{Wirkstoffminimum}} \cdot 2^{n_{\text{Halbwertszeiten}}} \\ &= 113,0973 \text{ mg} \cdot 2^{10} \\ &= 115811,7 \text{ mg} \\ &= 115,8117 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{Präparat}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff am Anfang}}}{\beta_{\text{Wirkstoff}}} \\ &= \frac{115,8117 \text{ g}}{800 \text{ g/L}} \\ &= \underline{\underline{144,8 \text{ mL}}} \end{aligned}$$

3.2.12.

gegeben:

$$\begin{aligned} b_{\text{Balken}} &= 4 \text{ m} \\ v_{\text{Spritzgerät}} &= 7 \text{ km/h} \\ Q_{\text{Spritzbrühe}} &= 31 \text{ L/28 s} \\ w_{\text{Präparat}} &= 80 \text{ g/100 g (WP 80)} \\ \beta_{\text{Präparat}} &= 2 \text{ g/L} \end{aligned}$$

gesucht:

$$d_{\text{Wirkstoff}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 v_{\text{Spritzgerät}} &= 7 \text{ km/h} \\
 &= 1,944444 \text{ m/s} \\
 &= 54,44444 \text{ m}/28 \text{ s} \\
 \frac{A_{\text{behandelt}}}{28 \text{ s}} &= v_{\text{Spritzgerät}} \cdot b_{\text{Balken}} \\
 &= 54,44444 \text{ m} \cdot 4 \text{ m} \\
 &= 217,7779 \text{ m}^2 \\
 \alpha_{\text{Präparat}} &= \frac{Q_{\text{Spritzbrühe}}}{A_{\text{behandelt}}/28 \text{ s}} \\
 &= \frac{31 \text{ L}/28 \text{ s}}{217,7779 \text{ m}^2/28 \text{ s}} \\
 &= 0,1423469388 \text{ L/m}^2 \\
 \beta_{\text{Präparat}} &= \frac{d_{\text{Präparat}}}{\alpha_{\text{Präparat}}} \\
 d_{\text{Präparat}} &= \beta_{\text{Präparat}} \cdot \alpha_{\text{Präparat}} \\
 &= 2 \text{ g/L} \cdot 0,142346939 \text{ L/m}^2 \\
 &= 0,2846938776 \text{ g/m}^2 \\
 w_{\text{Wirkstoff}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{m_{\text{Präparat}}} \\
 &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}/A}{m_{\text{Präparat}}/A} \\
 &= \frac{d_{\text{Wirkstoff}}}{d_{\text{Präparat}}} \\
 d_{\text{Wirkstoff}} &= w_{\text{Wirkstoff}} \cdot m_{\text{Präparat}} \\
 &= \frac{d_{\text{Wirkstoff}}}{d_{\text{Präparat}}} \cdot m_{\text{Präparat}} \\
 &= \frac{80 \text{ g}}{100 \text{ g}} \cdot 0,2846938776 \text{ g/m}^2 \\
 &= \underline{\underline{0,2278 \text{ g/m}^2}}
 \end{aligned}$$

3.2.13.

gegeben:

$$w_{\text{Wirkstoff}} = 25 \text{ g}/100 \text{ g (WP 25)}$$

$$\beta_1 = 50 \text{ } \mu\text{g}/\text{mL}$$

$$\beta_2 = 10 \text{ } \mu\text{g}/\text{mL}$$

$$\beta_3 = 1 \text{ } \mu\text{g}/\text{mL}$$

$$n_{\text{Töpfe}} = 3 \cdot 2 \text{ Töpfe}$$

$$V_{\text{Präparat pro Topf}} = 50 \text{ mL}$$

gesucht:

$$m_{\text{Präparat}}$$

Berechnung:

$$\beta = \frac{m}{V_{\text{Präparat pro Topf}}}$$

$$m = \beta \cdot V_{\text{Präparat pro Topf}} \cdot n_{\text{Töpfe}}$$

$$\begin{aligned} m_1 &= \beta_1 \cdot V_{\text{Präparat pro Topf}} \cdot n_{\text{Töpfe}} \\ &= 50 \text{ } \mu\text{g}/\text{mL} \cdot 50 \text{ mL}/\text{Topf} \cdot 2 \text{ Töpfe} \\ &= 5000 \text{ } \mu\text{g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_2 &= \beta_2 \cdot V_{\text{Präparat pro Topf}} \cdot n_{\text{Töpfe}} \\ &= 10 \text{ } \mu\text{g}/\text{mL} \cdot 50 \text{ mL}/\text{Topf} \cdot 2 \text{ Töpfe} \\ &= 1000 \text{ } \mu\text{g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_3 &= \beta_3 \cdot V_{\text{Präparat pro Topf}} \cdot n_{\text{Töpfe}} \\ &= 1 \text{ } \mu\text{g}/\text{mL} \cdot 50 \text{ mL}/\text{Topf} \cdot 2 \text{ Töpfe} \\ &= 100 \text{ } \mu\text{g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_{\text{Wirkstoff}} &= m_1 + m_2 + m_3 \\ &= 5000 \text{ } \mu\text{g} + 1000 \text{ } \mu\text{g} + 100 \text{ } \mu\text{g} \\ &= 6100 \text{ } \mu\text{g} \\ &= 6,1 \text{ mg} \end{aligned}$$

$$w_{\text{Wirkstoff}} = \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{m_{\text{Präparat}}}$$

$$\begin{aligned} m_{\text{Präparat}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{w_{\text{Wirkstoff}}} \\ &= \frac{6,1 \text{ mg}}{25 \text{ g}/100 \text{ g}} \\ &= \underline{\underline{24,40 \text{ mg}}} \end{aligned}$$

3.2.14.

gegeben:

$$l_{\text{Feld}} = 75 \text{ m}$$

$$b_{\text{groß}} = 80 \text{ m}$$

$$b_{\text{klein}} = 50 \text{ m}$$

$$n_{\text{Parzellen}} = 75 \text{ Parzellen}$$

$$A_{\text{Parzelle}} = 15 \text{ m}^2$$

$$w_{\text{Wirkstoff}} = 25 \text{ g}/100 \text{ g (WP 25)}$$

$$d_{\text{Fungizid}} = 62,5 \text{ g/ha}$$

gesucht:

$$m_{\text{Fungizid}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} A_{\text{Feld}} &= l_{\text{Feld}} \cdot \frac{b_{\text{groß}} + b_{\text{klein}}}{2} \\ &= 75 \text{ m} \cdot \frac{80 \text{ m} + 50 \text{ m}}{2} \\ &= 4875 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{\text{behandelt}} &= A_{\text{Feld}} - n_{\text{Parzellen}} \cdot A_{\text{Parzelle}} \\ &= 4875 \text{ m}^2 - 75 \cdot 15 \text{ m}^2 \\ &= 3750 \text{ m}^2 \\ &= 0,375 \text{ ha} \end{aligned}$$

$$d_{\text{Fungizid}} = \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{A_{\text{behandelt}}}$$

$$\begin{aligned} m_{\text{Wirkstoff}} &= d_{\text{Fungizid}} \cdot A_{\text{behandelt}} \\ &= 62,5 \text{ g/ha} \cdot 0,375 \text{ ha} \\ &= 23,4375 \text{ g} \end{aligned}$$

$$w_{\text{Wirkstoff}} = \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{m_{\text{Fungizid}}}$$

$$\begin{aligned} m_{\text{Fungizid}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{w_{\text{Wirkstoff}}} \\ &= \frac{23,4375 \text{ g}}{25 \text{ g}/100 \text{ g}} \\ &= \underline{\underline{93,75 \text{ g}}} \end{aligned}$$

3.2.15.

gegeben:

$$l = 19,4 \text{ m}$$

$$b = 3,25 \text{ m}$$

$$h_{\text{First}} = 2,65 \text{ m}$$

$$h_{\text{Seitenwand}} = 1,35 \text{ m}$$

$$w_{\text{Wirkstoff}} = 2 \text{ g}/100 \text{ g (AE 02)}$$

$$d_{\text{Wirkstoff}} = 20 \text{ mg}/\text{m}^3$$

gesucht:

$$m_{\text{Spray}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} V_{\text{Gewächshaus}} &= l \cdot \left(b \cdot h_{\text{Seitenwand}} + b \cdot \frac{h_{\text{First}} - h_{\text{Seitenwand}}}{2} \right) \\ &= 19,4 \text{ m} \cdot \left(3,25 \text{ m} \cdot 1,35 \text{ m} + 3,25 \text{ m} \cdot \frac{2,65 \text{ m} - 1,35 \text{ m}}{2} \right) \\ &= 126,1 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$d_{\text{Wirkstoff}} = \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{V_{\text{Gewächshaus}}}$$

$$\begin{aligned} m_{\text{Wirkstoff}} &= d_{\text{Wirkstoff}} \cdot V_{\text{Gewächshaus}} \\ &= 20 \text{ mg}/\text{m}^3 \cdot 126,1 \text{ m}^3 \\ &= 2,522 \text{ g} \end{aligned}$$

$$w_{\text{Wirkstoff}} = \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{m_{\text{Spray}}}$$

$$\begin{aligned} m_{\text{Spray}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{w_{\text{Spray}}} \\ &= \frac{2,522 \text{ g}}{2 \text{ g}/100 \text{ g}} \\ &= \underline{\underline{126,1 \text{ g}}} \end{aligned}$$

3.2.16.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 l_{\text{Raum}} &= 2 \text{ m} \\
 b_{\text{Raum}} &= 3 \text{ m} \\
 h_{\text{Raum}} &= 3 \text{ m} \\
 w_{\text{Wirkstoff}} &= 3 \text{ g}/100 \text{ g (AE 03)} \\
 q_{\text{m Ventil}} &= 0,6 \text{ g}/2 \text{ s} = 0,3 \text{ g/s} \\
 d_{\text{Wirkstoff}} &= 50 \text{ mg/m}^3
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$t_{\text{Ventil}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Raum}} &= l_{\text{Raum}} \cdot b_{\text{Raum}} \cdot h_{\text{Raum}} \\
 &= 2 \text{ m} \cdot 3 \text{ m} \cdot 3 \text{ m} \\
 &= 18 \text{ m}^3 \\
 d_{\text{Wirkstoff}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{V_{\text{Raum}}} \\
 m_{\text{Wirkstoff}} &= d_{\text{Wirkstoff}} \cdot V_{\text{Raum}} \\
 &= 50 \text{ mg/m}^3 \cdot 18 \text{ m}^3 \\
 &= 900 \text{ mg} \\
 &= 0,9 \text{ g} \\
 w_{\text{Wirkstoff}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{m_{\text{Spray}}} \\
 m_{\text{Spray}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{w_{\text{Wirkstoff}}} \\
 &= \frac{0,9 \text{ g}}{3 \text{ g}/100 \text{ g}} \\
 &= 30 \text{ g} \\
 q_{\text{m Ventil}} &= \frac{m_{\text{Spray}}}{t_{\text{Ventil}}} \\
 t_{\text{Ventil}} &= \frac{m_{\text{Spray}}}{q_{\text{m Ventil}}} \\
 &= \frac{30 \text{ g}}{0,3 \text{ g/s}} \\
 &= \underline{\underline{100,0 \text{ s}}}
 \end{aligned}$$

3.2.17.

gegeben:

$$d_{\text{Wirkstoff}} = 200 \text{ g/m}^3$$

$$l_{\text{Wanne}} = 1,24 \text{ m}$$

$$b_{\text{Wanne}} = 0,9 \text{ m}$$

$$h_{\text{Erde}} = 0,9 \text{ m}$$

$$w_{\text{Wirkstoff}} = 80 \text{ g/100 g (WP 80)}$$

gesucht:

$$m_{\text{Spritzpulver}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} V_{\text{Erde}} &= l_{\text{Wanne}} \cdot b_{\text{Wanne}} \cdot h_{\text{Erde}} \\ &= 1,24 \text{ m} \cdot 0,9 \text{ m} \cdot 0,9 \text{ m} \\ &= 1,0044 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$d_{\text{Wirkstoff}} = \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{V_{\text{Erde}}}$$

$$\begin{aligned} m_{\text{Wirkstoff}} &= d_{\text{Wirkstoff}} \cdot V_{\text{Erde}} \\ &= 200 \text{ g/m}^3 \cdot 1,0044 \text{ m}^3 \\ &= 200,88 \text{ g} \end{aligned}$$

$$w_{\text{Wirkstoff}} = \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{m_{\text{Spritzpulver}}}$$

$$\begin{aligned} m_{\text{Spritzpulver}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{w_{\text{Wirkstoff}}} \\ &= \frac{200,88 \text{ g}}{80 \text{ g/100 g}} \\ &= \underline{\underline{251,1 \text{ g}}} \end{aligned}$$

3.2.18.

gegeben:

$$\varnothing_{\text{Zylinder}} = 12 \text{ cm}$$

$$h_{\text{Zylinder}} = 10 \text{ cm}$$

$$\beta_{\text{Wirkstoff}} = 75 \text{ mg/L}$$

$$w_{\text{Wirkstoff}} = 5 \text{ g/100 g (GR 05)}$$

$$n_{\text{Wiederholungen}} = 3$$

gesucht:

$$m_{\text{Granulat für 3 Wiederholungen}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} V_{\text{Zylinder}} &= r^2 \cdot \pi \cdot h \\ &= (6 \text{ cm})^2 \cdot \pi \cdot 10 \text{ cm} \\ &= 1130,97 \text{ cm}^3 \\ &= 1,13097 \text{ L} \end{aligned}$$

$$\beta_{\text{Wirkstoff}} = \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{V_{\text{Zylinder}}}$$

$$\begin{aligned} m_{\text{Wirkstoff}} &= \beta_{\text{Wirkstoff}} \cdot V_{\text{Zylinder}} \\ &= 75 \text{ mg/L} \cdot 1,13097 \text{ L} \\ &= 84,823 \text{ mg} \end{aligned}$$

$$w_{\text{Wirkstoff}} = \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{m_{\text{Granulat}}}$$

$$\begin{aligned} m_{\text{Granulat}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{w_{\text{Wirkstoff}}} \\ &= \frac{84,823 \text{ mg}}{5 \text{ g}/100 \text{ g}} \\ &= 1696,46 \text{ mg} \\ &= 1,69646 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_{\text{Granulat für 3 Wiederholungen}} &= m_{\text{Granulat}} \cdot n_{\text{Wiederholungen}} \\ &= 1,69646 \text{ g} \cdot 3 \\ &= \underline{\underline{5,089 \text{ g}}} \end{aligned}$$

3.2.19.

gegeben:

$$\varnothing_{\text{Bassin}} = 1,8 \text{ m} \Rightarrow r_{\text{Bassin}} = 0,9 \text{ m}$$

$$h_{\text{Anfang}} = 0,5 \text{ m}$$

$$m_{\text{Algizid}} = 3 \text{ g}$$

$$w_{\text{Wirkstoff}} = 75 \text{ g}/100 \text{ g (WP 75)}$$

$$\Delta h_{\text{verdunstet}} = 43 \text{ mm}$$

$$\Delta h_{\text{Niederschlag}} = 15 \text{ mm}$$

gesucht:

$$\Delta w_{\text{Algizidwirkstoff}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} V_{\text{Bassin am Anfang}} &= (r_{\text{Bassin}})^2 \cdot \pi \cdot h_{\text{Anfang}} \\ &= (0,9 \text{ m})^2 \cdot \pi \cdot 0,5 \text{ m} \\ &= 1,272345025 \text{ m}^3 \\ &= 1272,345025 \text{ L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{Bassin am Ende}} &= (r_{\text{Bassin}})^2 \cdot \pi \cdot h_{\text{Ende}} \\ &= (r_{\text{Bassin}})^2 \cdot \pi \cdot (h_{\text{Anfang}} - \Delta h_{\text{verdunstet}} + \Delta h_{\text{Niederschlag}}) \\ &= (0,9 \text{ m})^2 \cdot \pi \cdot (0,5 \text{ m} - 0,042 \text{ m} + 0,015 \text{ m}) \\ &= (0,9 \text{ m})^2 \cdot \pi \cdot 0,473 \text{ m} \\ &= 1,203638393 \text{ m}^3 \\ &= 1203,638393 \text{ L} \end{aligned}$$

$$w_{\text{Wirkstoff}} = \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{m_{\text{Algizid}}}$$

$$\begin{aligned} m_{\text{Wirkstoff}} &= w_{\text{Wirkstoff}} \cdot m_{\text{Algizid}} \\ &= 75 \text{ g}/100 \text{ g} \cdot 3 \text{ g} \\ &= 2,25 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\beta_{\text{Wirkstoff}} = \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{V_{\text{Bassin}}}$$

$$\begin{aligned} \beta_{\text{Anfang}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{V_{\text{Bassin am Anfang}}} \\ &= \frac{2,25 \text{ g}}{1272,345025 \text{ L}} \\ &= 1,768388256 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta_{\text{Ende}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{V_{\text{Ende}}} \\ &= \frac{2,25 \text{ g}}{1203,638393 \text{ L}} \\ &= 1,869332196 \text{ g/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta \beta_{\text{Wirkstoff}} &= \beta_{\text{Ende}} - \beta_{\text{Anfang}} \\ &= 1,869332196 \text{ g/L} - 1,768388256 \text{ g/L} \\ &= 0,10094394 \text{ g/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta w_{\text{Algizidwirkstoff}} &= \frac{\Delta \beta_{\text{Ende}}}{\beta_{\text{Anfang}}} \\ &= \frac{0,10094394 \text{ g/L}}{1,768388256 \text{ g/L}} \\ &= \underline{\underline{5,708 \%}} \end{aligned}$$

13.4 Lösungen Kap. 4 – Mischen und Verdünnen

13.4.1 Lösungen Abschn. 4.1 – Mischen

4.1.1.

gegeben:

$$\begin{aligned}m_1 &= 10 \text{ g} \\w_1 &= 100 \% \\m_2 &= 500 \text{ g} \\w_2 &= 5 \%\end{aligned}$$

gesucht:

$$w_{\text{total}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}w_1 \cdot m_1 + w_2 \cdot m_2 &= w_{\text{total}} \cdot (m_1 + m_2) \\w_{\text{total}} &= \frac{w_1 \cdot m_1 + w_2 \cdot m_2}{m_1 + m_2} \\&= \frac{100 \% \cdot 10 \text{ g} + 5 \% \cdot 500 \text{ g}}{10,00 \text{ g} + 500,0 \text{ g}} \\&= \underline{\underline{6,863 \%}}\end{aligned}$$

4.1.2.

gegeben:

$$\begin{aligned}m_1 &= 200 \text{ g} \\w_1 &= 25 \text{ g/kg} \\m_2 &= 700 \text{ g} \\w_2 &= 40 \text{ g/kg}\end{aligned}$$

gesucht:

$$w_{\text{total}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}w_1 \cdot m_1 + w_2 \cdot m_2 &= w_{\text{total}} \cdot (m_1 + m_2) \\w_{\text{total}} &= \frac{w_1 \cdot m_1 + w_2 \cdot m_2}{m_1 + m_2} \\&= \frac{25 \text{ g/kg} \cdot 200 \text{ g} + 40 \text{ g/kg} \cdot 700 \text{ g}}{200 \text{ g} + 700 \text{ g}} \\&= \underline{\underline{36,67 \text{ g/kg}}}\end{aligned}$$

4.1.3.

gegeben:

$$V_1 = 250 \text{ mL}$$

$$\beta_1 = 10 \text{ g/L}$$

$$V_2 = 180 \text{ mL}$$

$$\beta_2 = 2,5 \text{ g/100 mL} = 25 \text{ g/L}$$

gesucht:

$$\beta_{\text{total}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} \beta_1 \cdot V_1 + \beta_2 \cdot V_2 &= \beta_{\text{total}} \cdot (V_1 + V_2) \\ \beta_{\text{total}} &= \frac{\beta_1 \cdot V_1 + \beta_2 \cdot V_2}{V_1 + V_2} \\ &= \frac{10 \text{ g/L} \cdot 250 \text{ mL} + 25 \text{ g/L} \cdot 180 \text{ mL}}{250 \text{ mL} + 180 \text{ mL}} \\ &= \underline{\underline{16,28 \text{ g/L}}} \end{aligned}$$

4.1.4.

gegeben:

$$w_1 = 2,25 \text{ } \mu\text{g/kg}$$

$$w_{\text{total}} = 2250 \text{ } \mu\text{g/kg}$$

$$m_1 = 50 \text{ mg}$$

$$w_2 = 5000 \text{ } \mu\text{g/kg}$$

gesucht:

$$m_2$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} w_1 \cdot m_1 + w_2 \cdot m_2 &= w_{\text{total}} \cdot (m_1 + m_2) \\ &= w_{\text{total}} \cdot m_1 + w_{\text{total}} \cdot m_2 \\ w_2 \cdot m_2 - w_{\text{total}} \cdot m_2 &= w_{\text{total}} \cdot m_1 - w_1 \cdot m_1 \\ m_2 \cdot (w_2 - w_{\text{total}}) &= w_{\text{total}} \cdot m_1 - w_1 \cdot m_1 \\ m_2 &= \frac{w_{\text{total}} \cdot m_1 - w_1 \cdot m_1}{w_2 - w_{\text{total}}} \\ &= \frac{2250 \text{ } \mu\text{g/kg} \cdot 50 \text{ mg} - 2,25 \text{ } \mu\text{g/kg} \cdot 50 \text{ mg}}{5000 \text{ } \mu\text{g/kg} - 2250 \text{ } \mu\text{g/kg}} \\ &= \underline{\underline{40,87 \text{ mg}}} \end{aligned}$$

4.1.5.

gegeben:

$$V_1 = 300 \text{ mL}$$

$$c_1 = 1250 \text{ Zellen/L}$$

$$V_2 = 250 \text{ mL}$$

$$c_2 = 8250 \text{ Zellen/L}$$

$$V_{\text{total}} = 800 \text{ mL}$$

gesucht:

$$c_{\text{total}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} c_1 \cdot V_1 + c_2 \cdot V_2 &= c_{\text{total}} \cdot V_{\text{total}} \\ c_{\text{total}} &= \frac{c_1 \cdot V_1 + c_2 \cdot V_2}{V_{\text{total}}} \\ &= \frac{1250 \text{ Zellen/L} \cdot 0,3 \text{ L} + 8250 \text{ Zellen/L} \cdot 0,25 \text{ L}}{0,8 \text{ L}} \\ &= \underline{\underline{3047 \text{ Zellen/L}}} \end{aligned}$$

4.1.6.

gegeben:

$$w_1 = 5 \%$$

$$m_1 = 2 \text{ kg}$$

$$w_2 = 100 \%$$

$$w_{\text{total}} = 8 \%$$

gesucht:

$$m_2$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 w_1 \cdot m_1 + w_2 \cdot m_2 &= w_{\text{total}} \cdot (m_1 + m_2) \\
 &= w_{\text{total}} \cdot m_1 + w_{\text{total}} \cdot m_2 \\
 w_2 \cdot m_2 - w_{\text{total}} \cdot m_2 &= w_{\text{total}} \cdot m_1 - w_1 \cdot m_1 \\
 m_2 \cdot (w_2 - w_{\text{total}}) &= w_{\text{total}} \cdot m_1 - w_1 \cdot m_1 \\
 m_2 &= \frac{w_{\text{total}} \cdot m_1 - w_1 \cdot m_1}{w_2 - w_{\text{total}}} \\
 &= \frac{8\% \cdot 2 \text{ kg} - 5\% \cdot 2 \text{ kg}}{100\% - 8\%} \\
 &= \frac{0,06 \text{ kg}}{92\%} \\
 &= 0,06522 \text{ kg} \\
 &= \underline{\underline{65,22 \text{ g}}}
 \end{aligned}$$

4.1.7.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 m_1 &= 35 \text{ g} \\
 w_1 &= 80\% \text{ (WP 80)} \\
 m_2 &= 13 \text{ g} \\
 w_2 &= 0,94 \text{ g/g} = 94\% \\
 w_{\text{total}} &= 0,25 \text{ g/g} = 25\% \\
 w_3 &= 0\%
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$m_3$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 w_3 \cdot m_3 &= 0\% \cdot m_3 \\
 &= 0 \text{ g} \\
 w_1 \cdot m_1 + w_2 \cdot m_2 &= w_{\text{total}} \cdot (m_1 + m_2 + m_3) \\
 &= w_{\text{total}} \cdot m_1 + w_{\text{total}} \cdot m_2 + w_{\text{total}} \cdot m_3 \\
 w_{\text{total}} \cdot m_3 &= w_1 \cdot m_1 + w_2 \cdot m_2 - w_{\text{total}} \cdot m_1 - w_{\text{total}} \cdot m_2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_3 &= \frac{w_1 \cdot m_1 + w_2 \cdot m_2 - w_{\text{total}} \cdot m_1 - w_{\text{total}} \cdot m_2}{w_{\text{total}}} \\
 &= \frac{80 \% \cdot 35 \text{ g} + 94 \% \cdot 13 \text{ g} - 25 \% \cdot 35 \text{ g} - 25 \% \cdot 13 \text{ g}}{25 \%} \\
 &= \underline{\underline{112,9 \text{ g}}}
 \end{aligned}$$

4.1.8.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 l_{\text{Feld}} &= 182 \text{ m} \\
 b_{\text{Feld}} &= 48 \text{ m} \\
 d &= 1 \text{ kg/ha} \\
 V_1 &= 230 \text{ mL} \\
 \beta_1 &= 200 \text{ g/L (EC 200)} \\
 \beta_2 &= 400 \text{ g/L (EC 400)}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$V_2$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 A_{\text{Feld}} &= l_{\text{Feld}} \cdot b_{\text{Feld}} \\
 &= 182 \text{ m} \cdot 48 \text{ m} \\
 &= 0,8736 \text{ ha} \\
 d_{\text{Wirkstoff}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{A_{\text{Feld}}} \\
 m_{\text{Wirkstoff}} &= d_{\text{Wirkstoff}} \cdot A_{\text{Feld}} \\
 &= 1 \text{ kg/ha} \cdot 0,8736 \text{ ha} \\
 &= 0,8736 \text{ kg} \\
 \beta_1 \cdot V_1 + \beta_2 \cdot V_2 &= m_{\text{Wirkstoff}} \\
 \beta_2 \cdot V_2 &= m_{\text{Wirkstoff}} - \beta_1 \cdot V_1 \\
 V_2 &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}} - \beta_1 \cdot V_1}{\beta_2} \\
 &= \frac{0,8736 \text{ kg} - 0,2 \text{ kg/L} \cdot 0,23 \text{ L}}{0,4 \text{ kg/L}} \\
 &= \underline{\underline{2,069 \text{ L}}}
 \end{aligned}$$

4.1.9.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 w_1 &= 12 \% = 0,12 \text{ g/g} \\
 d_{\text{Wirkstoff}} &= 0,5 \text{ g/m}^2 \\
 w_2 &= 100 \% \\
 V_{\text{Tank}} &= 510 \text{ L} \\
 l_{\text{Feld}} &= 75 \text{ m} \\
 b_{\text{Feld}} &= 30 \text{ m}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{Konzentrat}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 A_{\text{Feld}} &= l_{\text{Feld}} \cdot b_{\text{Feld}} \\
 &= 30 \text{ m} \cdot 75 \text{ m} \\
 &= 2250 \text{ m}^2 \\
 d_{\text{Wirkstoff}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{A_{\text{Feld}}} \\
 m_{\text{Wirkstoff}} &= d_{\text{Wirkstoff}} \cdot \frac{A_{\text{Feld}}}{2} \\
 &= 0,5 \text{ g/m}^2 \cdot \frac{2250 \text{ m}^2}{2} \\
 &= 562,5 \text{ g} \\
 w_{\text{Wirkstoff}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{m_{\text{Konzentrat}}} \\
 m_{\text{Konzentrat}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{w_{\text{Wirkstoff}}} \\
 &= \frac{562,5 \text{ g}}{0,12 \text{ g/g}} \\
 &= 4688 \text{ g} \\
 &= \underline{\underline{4,688 \text{ kg}}}
 \end{aligned}$$

4.1.10.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 c_1 &= 4,912 \cdot 10^5 \text{ Zellen/L} \\
 c_2 &= 1,051 \cdot 10^6 \text{ Zellen/L} \\
 c_{\text{total}} &= 5 \cdot 10^5 \text{ Zellen/L} \\
 V_{\text{total}} &= 1 \text{ L}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$V_1 \text{ und } V_2$$

Berechnung:

$$\left| \begin{array}{l} c_{\text{total}} \cdot V_{\text{total}} = c_1 \cdot V_1 + c_2 \cdot V_2 \\ V_1 + V_2 = V_{\text{total}} \end{array} \right| \quad (\text{Gleichungssystem mit zwei Unbekannten})$$

$$\begin{aligned} V_2 &= V_{\text{total}} - V_1 \\ c_{\text{total}} \cdot V_{\text{total}} &= c_1 \cdot V_1 + c_2 \cdot (V_{\text{total}} - V_1) \\ &= c_1 \cdot V_1 + c_2 \cdot V_{\text{total}} - c_2 \cdot V_1 \\ c_1 \cdot V_1 - c_2 \cdot V_1 &= c_{\text{total}} \cdot V_{\text{total}} - c_2 \cdot V_{\text{total}} \\ V_1 \cdot (c_1 - c_2) &= c_{\text{total}} \cdot V_{\text{total}} - c_2 \cdot V_{\text{total}} \\ V_1 &= \frac{c_{\text{total}} \cdot V_{\text{total}} - c_2 \cdot V_{\text{total}}}{c_1 - c_2} \\ &= \frac{5 \cdot 10^5 \text{ Zellen/L} \cdot 1 \text{ L} - 1,051 \cdot 10^6 \text{ Zellen/L} \cdot 1 \text{ L}}{4,912 \cdot 10^5 \text{ Zellen/L} - 1,051 \cdot 10^6 \text{ Zellen/L}} \\ &= 0,9842801 \text{ L} \\ &= \underline{\underline{984,3 \text{ mL}}} \\ V_2 &= V_{\text{total}} - V_1 \\ &= 1 \text{ L} - 0,9842801 \text{ L} \\ &= 0,0157199 \text{ L} \\ &= \underline{\underline{15,72 \text{ mL}}} \end{aligned}$$

4.1.11.

gegeben:

$$\begin{aligned} m_1 &= 10 \text{ g} \\ w_{\text{total}} &= 8,5 \% \\ w_1 &= 8 \% \\ w_2 &= 100 \% \end{aligned}$$

gesucht:

$$m_2$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 w_1 \cdot m_1 + w_2 \cdot m_2 &= w_{\text{total}} \cdot (m_1 + m_2) \\
 &= w_{\text{total}} \cdot m_1 + w_{\text{total}} \cdot m_2 \\
 w_2 \cdot m_2 - w_{\text{total}} \cdot m_2 &= w_{\text{total}} \cdot m_1 - w_1 \cdot m_1 \\
 m_2 \cdot (w_2 - w_{\text{total}}) &= w_{\text{total}} \cdot m_1 - w_1 \cdot m_1 \\
 m_2 &= \frac{w_{\text{total}} \cdot m_1 - w_1 \cdot m_1}{w_2 - w_{\text{total}}} \\
 &= \frac{8,5 \% \cdot 10 \text{ g} - 8 \% \cdot 10 \text{ g}}{100 \% - 8,5 \%} \\
 &= \underline{\underline{54,64 \text{ mg}}}
 \end{aligned}$$

4.1.12.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 m_1 &= 200 \text{ g} \\
 w_1 &= 0,2 \text{ g/g} \\
 V_2 &= 0,5 \text{ L} \\
 \beta_2 &= 125 \text{ g/L} \\
 V_{\text{total}} &= 100 \text{ L}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$\beta_{\text{total}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 m_1 \cdot w_1 + \beta_2 \cdot V_2 &= \beta_{\text{total}} \cdot V_{\text{total}} \\
 \beta_{\text{total}} &= \frac{m_1 \cdot w_1 + \beta_2 \cdot V_2}{V_{\text{total}}} \\
 &= \frac{200 \text{ g} \cdot 0,2 \text{ g/g} + 125 \text{ g/L} \cdot 0,5 \text{ L}}{100 \text{ L}} \\
 &= \underline{\underline{1,025 \text{ g/L}}}
 \end{aligned}$$

4.1.13.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 w_1 &= 12 \text{ mg}/100 \text{ g} = 0,12 \text{ g}/1000 \text{ g} = 0,12 \text{ ‰} \\
 w_{\text{total}} &= 0,18 \text{ ‰} \\
 w_2 &= 1000 \text{ ‰} \\
 m_1 &= 150 \text{ g}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$m_2$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} w_1 \cdot m_1 + w_2 \cdot m_2 &= w_{\text{total}} \cdot (m_1 + m_2) \\ &= w_{\text{total}} \cdot m_1 + w_{\text{total}} \cdot m_2 \\ w_2 \cdot m_2 - w_{\text{total}} \cdot m_2 &= w_{\text{total}} \cdot m_1 - w_1 \cdot m_1 \\ m_2 \cdot (w_2 - w_{\text{total}}) &= w_{\text{total}} \cdot m_1 - w_1 \cdot m_1 \\ m_2 &= \frac{w_{\text{total}} \cdot m_1 - w_1 \cdot m_1}{w_2 - w_{\text{total}}} \\ &= \frac{0,18 \text{ ‰} \cdot 150 \text{ g} - 0,12 \text{ ‰} \cdot 150 \text{ g}}{1000 \text{ ‰} - 0,18 \text{ ‰}} \\ &= \underline{\underline{9,002 \text{ mg}}} \end{aligned}$$

4.1.14.

gegeben:

$$\begin{aligned} V_1 &= 5,2 \text{ L} \\ V_2 &= 5,2 \text{ L} \\ c_1 &= 1,263 \cdot 10^6 \text{ Zellen/L} \\ c_2 &= 1,479 \cdot 10^6 \text{ Zellen/L} \\ V_{\text{total}} &= 1250 \text{ L} \end{aligned}$$

gesucht:

$$c_{\text{total}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} c_1 \cdot V_1 + c_2 \cdot V_2 &= c_{\text{total}} \cdot V_{\text{total}} \\ c_{\text{total}} &= \frac{c_1 \cdot V_1 + c_2 \cdot V_2}{V_{\text{total}}} \\ &= \frac{1,263 \cdot 10^6 \text{ Zellen/L} \cdot 5,2 \text{ L} + 1,479 \cdot 10^6 \text{ Zellen/L} \cdot 5,2 \text{ L}}{1250 \text{ L}} \\ &= \underline{\underline{11,407 \text{ Zellen/L}}} \end{aligned}$$

4.1.15.

gegeben:

$$m_1 = 24,16 \text{ kg}$$

$$w_1 = 12,5 \% = 0,125 \text{ kg/kg}$$

$$A = 52 \text{ a}$$

$$D = 10 \text{ g/m}^2$$

$$w_2 = 10 \% = 0,1 \text{ kg/kg}$$

gesucht:

$$m_2$$

Berechnung:

$$d_{\text{Wirkstoff}} = \frac{m_{\text{Wirkstoff total}}}{A}$$

$$\begin{aligned} m_{\text{Wirkstoff total}} &= d_{\text{Wirkstoff}} \cdot A \\ &= 10 \text{ g/m}^2 \cdot 5200 \text{ m}^2 \\ &= 52 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$w_1 \cdot m_1 + w_2 \cdot m_2 = m_{\text{Wirkstoff total}}$$

$$w_2 \cdot m_2 = m_{\text{Wirkstoff total}} - w_1 \cdot m_1$$

$$\begin{aligned} m_2 &= \frac{m_{\text{Wirkstoff total}} - w_1 \cdot m_1}{w_2} \\ &= \frac{52 \text{ kg} - 0,125 \text{ kg/kg} \cdot 24,16 \text{ kg}}{0,1 \text{ kg/kg}} \\ &= \underline{\underline{489,9 \text{ kg}}} \end{aligned}$$

13.4.2 Lösungen Abschn. 4.2 – Mischungen mit Stoffmengenkonzentrationen (c)**4.2.1.**

gegeben:

$$V_1 = 15 \text{ mL}$$

$$V_2 = 40 \text{ mL}$$

$$c_1 = 200 \text{ mmol/L}$$

$$c_2 = 600 \text{ mmol/L}$$

gesucht:

$$c_{\text{total}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 c_1 \cdot V_1 + c_2 \cdot V_2 &= c_{\text{total}} \cdot (V_1 + V_2) \\
 c_{\text{total}} &= \frac{c_1 \cdot V_1 + c_2 \cdot V_2}{V_1 + V_2} \\
 &= \frac{200 \text{ mmol/L} \cdot 15 \text{ mL} + 600 \text{ mmol/L} \cdot 40 \text{ mL}}{55 \text{ mL}} \\
 &= \underline{\underline{490,9 \text{ mmol/L}}}
 \end{aligned}$$

4.2.2.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 V_1 &= 135 \text{ mL} \\
 c_1 &= 200 \text{ mmol/L} \\
 c_2 &= 90 \text{ mmol/L} \\
 c_{\text{total}} &= 147,5 \text{ mmol/L}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$V_2$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 c_1 \cdot V_1 + c_2 \cdot V_2 &= c_{\text{total}} \cdot (V_1 + V_2) \\
 &= c_{\text{total}} \cdot V_1 + c_{\text{total}} \cdot V_2 \\
 c_2 \cdot V_2 - c_{\text{total}} \cdot V_2 &= c_{\text{total}} \cdot V_1 - c_1 \cdot V_1 \\
 V_2 \cdot (c_2 - c_{\text{total}}) &= c_{\text{total}} \cdot V_1 - c_1 \cdot V_1 \\
 V_2 &= \frac{c_{\text{total}} \cdot V_1 - c_1 \cdot V_1}{c_2 - c_{\text{total}}} \\
 &= \frac{147,5 \text{ mmol/L} \cdot 135 \text{ mL} - 200 \text{ mmol/L} \cdot 135 \text{ mL}}{90 \text{ mmol/L} - 147,5 \text{ mmol/L}} \\
 &= \underline{\underline{123,3 \text{ mL}}}
 \end{aligned}$$

4.2.3.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 V_1 &= 120 \text{ mL} \\
 c_1 &= 25 \text{ mmol/L} \\
 V_2 &= 80 \text{ mL} \\
 \beta_2 &= 8 \text{ g/L} \\
 M_{\text{Glucose}} &= 180,1572 \text{ g/mol}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$c_{\text{total}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} c_2 &= \frac{\beta_2}{M_{\text{Glucose}}} \\ &= \frac{8 \text{ g/L}}{180,1572 \text{ g/mol}} \\ &= 44,4056635 \text{ mmol/L} \\ c_1 \cdot V_1 + c_2 \cdot V_2 &= c_{\text{total}} \cdot (V_1 + V_2) \\ c_{\text{total}} &= \frac{c_1 \cdot V_1 + c_2 \cdot V_2}{V_1 + V_2} \\ &= \frac{25 \text{ mmol/L} \cdot 120 \text{ mL} + 44,4056635 \text{ mmol/L} \cdot 80 \text{ mL}}{120 \text{ mL} + 80 \text{ mL}} \\ &= \underline{\underline{32,76 \text{ mmol/L}}} \end{aligned}$$

4.2.4.

gegeben:

$$\begin{aligned} V_1 &= 250 \text{ mL} = 0,250 \text{ L} \\ c_1 &= 0,1 \text{ mol/L} \\ m_{\text{NaOH}} &= 15 \text{ g} \\ M_{\text{NaOH}} &= 39,9973 \text{ g/mol} \\ V_{\text{total}} &= 1 \text{ L} \end{aligned}$$

gesucht:

$$c_{\text{total}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} c_2 \cdot V_2 &= n_2 \\ &= \frac{m_{\text{NaOH}}}{M_{\text{NaOH}}} \\ c_1 \cdot V_1 + c_2 \cdot V_2 &= c_{\text{total}} \cdot V_{\text{total}} \\ c_1 \cdot V_1 + \frac{m_{\text{NaOH}}}{M_{\text{NaOH}}} &= c_{\text{total}} \cdot V_{\text{total}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c_{\text{total}} &= \frac{c_1 \cdot V_1 + \frac{m_{\text{NaOH}}}{M_{\text{NaOH}}}}{V_{\text{total}}} \\
 &= \frac{0,1 \text{ mol/L} \cdot 0,25 \text{ L} + \frac{15 \text{ g}}{39,9973 \text{ g/mol}}}{1 \text{ L}} \\
 &= \frac{0,025 \text{ mol} + 0,3750253 \text{ mol}}{1 \text{ L}} \\
 &= 0,4000 \text{ mol/L} \\
 &= \underline{\underline{400,0 \text{ mmol/L}}}
 \end{aligned}$$

4.2.5.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 c_1 &= 50 \text{ mmol/L} \\
 c_2 &= 0,1 \text{ mol/L} = 100 \text{ mmol/L} \\
 c_{\text{total}} &= 80 \text{ mM} = 80 \text{ mmol/L} \\
 V_{\text{total}} &= 500 \text{ mL}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$V_1 \text{ und } V_2$$

Berechnung:

$$\left| \begin{array}{l} c_{\text{total}} \cdot V_{\text{total}} = c_1 \cdot V_1 + c_2 \cdot V_2 \\ V_1 + V_2 = V_{\text{total}} \end{array} \right| \quad (\text{Gleichungssystem mit zwei Unbekannten})$$

$$\begin{aligned}
 V_2 &= V_{\text{total}} - V_1 \\
 c_{\text{total}} \cdot V_{\text{total}} &= c_1 \cdot V_1 + c_2 \cdot (V_{\text{total}} - V_1) \\
 &= c_1 \cdot V_1 + c_2 \cdot V_{\text{total}} - c_2 \cdot V_1 \\
 c_1 \cdot V_1 - c_2 \cdot V_1 &= c_{\text{total}} \cdot V_{\text{total}} - c_2 \cdot V_{\text{total}} \\
 V_1 \cdot (c_1 - c_2) &= c_{\text{total}} \cdot V_{\text{total}} - c_2 \cdot V_{\text{total}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_1 &= \frac{c_{\text{total}} \cdot V_{\text{total}} - c_2 \cdot V_{\text{total}}}{c_1 - c_2} \\
 &= \frac{80 \text{ mmol/L} \cdot 500 \text{ mL} - 100 \text{ mmol/L} \cdot 500 \text{ mL}}{50 \text{ mmol/L} - 100 \text{ mmol/L}} \\
 &= \underline{\underline{200,0 \text{ mL}}} \\
 V_2 &= V_{\text{total}} - V_1 \\
 &= 500 \text{ mL} - 200 \text{ mL} \\
 &= \underline{\underline{300,0 \text{ mL}}}
 \end{aligned}$$

4.2.6.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{KOH}} &= 1,5 \text{ L} \\
 c_{\text{KOH}} &= 0,5 \text{ mmol/L} \\
 M_{\text{KOH}} &= 56,1056 \text{ g/mol}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{KOH}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 n_{\text{KOH}} &= c_{\text{KOH}} \cdot V_{\text{KOH}} \\
 &= 0,5 \text{ mmol/L} \cdot 1,5 \text{ L} \\
 &= 0,75 \text{ mmol} \\
 m_{\text{KOH}} &= n_{\text{KOH}} \cdot M_{\text{KOH}} \\
 &= 0,75 \text{ mmol} \cdot 56,1056 \text{ mg/mmol} \\
 &= \underline{\underline{42,08 \text{ mg}}}
 \end{aligned}$$

4.2.7.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 \beta_1 &= 18,25 \text{ g/L} \\
 c_2 &= 1 \text{ mol/L} \\
 V_{\text{total}} &= 1 \text{ L} \\
 c_{\text{total}} &= 0,8 \text{ mol/L} \\
 M_{\text{HCl}} &= 36,4609 \text{ g/mol}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$V_1 \text{ und } V_2$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} c_1 &= \frac{\beta_1}{M_{\text{HCl}}} \\ &= \frac{18,25 \text{ g/L}}{36,4609 \text{ g/mol}} \\ &= 0,5005361908 \text{ mol/L} \end{aligned}$$

$$\left| \begin{array}{l} c_{\text{total}} \cdot V_{\text{total}} = c_1 \cdot V_1 + c_2 \cdot V_2 \\ V_1 + V_2 = V_{\text{total}} \end{array} \right| \quad (\text{Gleichungssystem mit zwei Unbekannten})$$

$$\begin{aligned} V_2 &= V_{\text{total}} - V_1 \\ c_{\text{total}} \cdot V_{\text{total}} &= c_1 \cdot V_1 + c_2 \cdot (V_{\text{total}} - V_1) \\ &= c_1 \cdot V_1 + c_2 \cdot V_{\text{total}} - c_2 \cdot V_1 \\ c_1 \cdot V_1 - c_2 \cdot V_1 &= c_{\text{total}} \cdot V_{\text{total}} - c_2 \cdot V_{\text{total}} \\ V_1 \cdot (c_1 - c_2) &= c_{\text{total}} \cdot V_{\text{total}} - c_2 \cdot V_{\text{total}} \\ V_1 &= \frac{c_{\text{total}} \cdot V_{\text{total}} - c_2 \cdot V_{\text{total}}}{c_1 - c_2} \\ &= \frac{0,8 \text{ mol/L} \cdot 1 \text{ L} - 1 \text{ mol/L} \cdot 1 \text{ L}}{0,5005361908 \text{ mol/L} - 1 \text{ mol/L}} \\ &= \underline{\underline{400,4 \text{ mL}}} \\ V_2 &= V_{\text{total}} - V_1 \\ &= 1000 \text{ mL} - 400,4 \text{ mL} \\ &= \underline{\underline{599,6 \text{ mL}}} \end{aligned}$$

4.2.8.

gegeben:

$$\begin{aligned} V_1 &= 8 \text{ Teile} \\ c_1 &= 500 \text{ mmol/L} \\ V_2 &= 50 \text{ Teile} \\ \beta_2 &= 60 \text{ g/L} \\ M_{\text{NaOH}} &= 39,99707 \text{ g/mol} \end{aligned}$$

gesucht:

$$c_{\text{total}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 c_2 &= \frac{\beta_2}{M_{\text{NaOH}}} \\
 &= \frac{60 \text{ g/L}}{39,99707 \text{ g/mol}} \\
 &= 1,500109883 \text{ mol/L} \\
 c_1 \cdot V_1 + c_2 \cdot V_2 &= c_{\text{total}} \cdot (V_1 + V_2) \\
 c_{\text{total}} &= \frac{c_1 \cdot V_1 + c_2 \cdot V_2}{V_1 + V_2} \\
 &= \frac{0,5 \text{ mol/L} \cdot 8 \text{ Teile} + 1,500102 \text{ mol/L} \cdot 50 \text{ Teile}}{50 \text{ Teile} + 8 \text{ Teile}} \\
 &= \underline{\underline{1,362 \text{ mol/L}}}
 \end{aligned}$$

4.2.9.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{total}} &= 1 \text{ L} \\
 c_{\text{total}} &= 0,1 \text{ mol/L} \\
 c_1 &= 0,95 \text{ mol/L} \\
 c_2 &= 0 \text{ mol/L}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$V_{\text{HCl}} \text{ und } V_{\text{Wasser}}$$

Berechnung:

$$\left| \begin{array}{l} c_{\text{total}} \cdot V_{\text{total}} = c_1 \cdot V_1 + c_2 \cdot V_2 \\ V_1 + V_2 = V_{\text{total}} \end{array} \right| \quad (\text{Gleichungssystem mit zwei Unbekannten})$$

$$\begin{aligned}
 V_2 &= V_{\text{total}} - V_1 \\
 c_{\text{total}} \cdot V_{\text{total}} &= c_1 \cdot V_1 + c_2 \cdot (V_{\text{total}} - V_1) \\
 &= c_1 \cdot V_1 + c_2 \cdot V_{\text{total}} - c_2 \cdot V_1 \\
 c_1 \cdot V_1 - c_2 \cdot V_1 &= c_{\text{total}} \cdot V_{\text{total}} - c_2 \cdot V_{\text{total}} \\
 V_1 \cdot (c_1 - c_2) &= c_{\text{total}} \cdot V_{\text{total}} - c_2 \cdot V_{\text{total}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_1 &= \frac{c_{\text{total}} \cdot V_{\text{total}} - c_2 \cdot V_{\text{total}}}{c_1 - c_2} \\
 &= \frac{0,1 \text{ mol/L} \cdot 1 \text{ L} - 0 \text{ mol/L} \cdot 1 \text{ L}}{0,95 \text{ mol/L} - 0 \text{ mol/L}} \\
 &= \underline{\underline{105,3 \text{ mL}}} \text{ (HCl)} \\
 V_2 &= V_{\text{total}} - V_1 \\
 &= 1000 \text{ mL} - 105,3 \text{ mL} \\
 &= \underline{\underline{894,7 \text{ mL}}} \text{ (Wasser)}
 \end{aligned}$$

4.2.10.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{total}} &= 100 \text{ mL} \\
 c_{\text{total}} &= 1000 \text{ Keime}/0,05 \text{ mL} = 20.000 \text{ Keime/mL} \\
 c_1 &= 1,6 \cdot 10^6 \text{ Keime/mL} \\
 c_2 &= 0 \text{ Keime/mL}
 \end{aligned}$$

gesucht:

 $V_{\text{Suspension}}$ und $V_{\text{Salzlösung}}$

Berechnung:

$$\left| \begin{array}{l} c_{\text{total}} \cdot V_{\text{total}} = c_1 \cdot V_1 + c_2 \cdot V_2 \\ V_1 + V_2 = V_{\text{total}} \end{array} \right| \quad \text{(Gleichungssystem mit zwei Unbekannten)}$$

$$\begin{aligned}
 V_2 &= V_{\text{total}} - V_1 \\
 c_{\text{total}} \cdot V_{\text{total}} &= c_1 \cdot V_1 + c_2 \cdot (V_{\text{total}} - V_1) \\
 &= c_1 \cdot V_1 + c_2 \cdot V_{\text{total}} - c_2 \cdot V_1 \\
 c_1 \cdot V_1 - c_2 \cdot V_1 &= c_{\text{total}} \cdot V_{\text{total}} - c_2 \cdot V_{\text{total}} \\
 V_1 \cdot (c_1 - c_2) &= c_{\text{total}} \cdot V_{\text{total}} - c_2 \cdot V_{\text{total}} \\
 V_1 &= \frac{c_{\text{total}} \cdot V_{\text{total}} - c_2 \cdot V_{\text{total}}}{c_1 - c_2} \\
 &= \frac{20.000 \text{ Keime/mL} \cdot 100 \text{ mL} - 0 \text{ Keime/mL} \cdot 100 \text{ mL}}{1,6 \cdot 10^6 \text{ Keime/mL} - 0 \text{ Keime/mL}} \\
 &= \underline{\underline{1,250 \text{ mL}}} \text{ (Suspension)} \\
 V_{\text{Salzlösung}} &= V_{\text{total}} - V_1 \\
 &= 100 \text{ mL} - 1,25 \text{ mL} \\
 &= \underline{\underline{98,75 \text{ mL}}}
 \end{aligned}$$

4.2.11.

gegeben:

$$V_1 = 15 \text{ Teile}$$

$$c_1 = 10 \text{ mmol/L}$$

$$V_2 = 5 \text{ Teile}$$

$$\beta_2 = 10 \text{ g/L}$$

$$M_{\text{KOH}} = 56,1056 \text{ g/mol}$$

gesucht:

$$c_{\text{total}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} c_1 \cdot V_1 + \frac{\beta_2 \cdot V_2}{M_{\text{KOH}}} &= c_{\text{total}} \cdot (V_1 + V_2) \\ c_{\text{total}} &= \frac{c_1 \cdot V_1 + \frac{\beta_2 \cdot V_2}{M_{\text{KOH}}}}{V_1 + V_2} \\ &= \frac{0,01 \text{ mol/L} \cdot 15 \text{ Teile} + \frac{10 \text{ g/L} \cdot 5 \text{ Teile}}{56,1056 \text{ g/mol}}}{15 \text{ Teile} + 5 \text{ Teile}} \\ &= \underline{\underline{52,06 \text{ mmol/L}}} \end{aligned}$$

4.2.12.

gegeben:

$$V_1 = 250 \text{ mL}$$

$$V_2 = 250 \text{ mL}$$

$$c_1 = 432,8 \text{ Zellen/mL}$$

$$c_{\text{total}} = 549,1 \text{ Zellen/mL}$$

gesucht:

$$c_2$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} c_1 \cdot V_1 + c_2 \cdot V_2 &= c_{\text{total}} \cdot (V_1 + V_2) \\ c_2 \cdot V_2 &= c_{\text{total}} \cdot (V_1 + V_2) - c_1 \cdot V_1 \\ c_2 &= \frac{c_{\text{total}} \cdot (V_1 + V_2) - c_1 \cdot V_1}{V_2} \\ &= \frac{549,1 \text{ Zellen/mL} \cdot (250 \text{ mL} + 250 \text{ mL}) - 432,8 \text{ Zellen/mL} \cdot 250 \text{ mL}}{250 \text{ mL}} \\ &= \underline{\underline{665,4 \text{ Zellen/mL}}} \end{aligned}$$

4.2.13.

gegeben:

$$\begin{aligned}\beta_{\text{Dodine}} &= 6 \text{ g/L} \\ \beta_{\text{Dinocap}} &= 12 \text{ g/L} \\ \omega &= 10 \text{ mL/L} = 0,01 \text{ L/L} \\ w_{\text{Melprex (Dodine)}} &= 50 \% = 0,5 \text{ g/g (WP 50)} \\ w_{\text{Karathane (Dinocap)}} &= 25 \% = 0,25 \text{ g/g (WP 25)} \\ V_{\text{total}} &= 5 \text{ L}\end{aligned}$$

gesucht:

 m_{Melprex} (für Dodine-Gebrauchslösung) und $m_{\text{Karathane}}$ (für Dinocap-Gebrauchslösung)

Berechnung:

$$\begin{aligned}\beta_{\text{Dodine}} &= \frac{m_{\text{Dodine}}}{V_{\text{total}}} \\ m_{\text{Dodine}} &= \beta_{\text{Dodine}} \cdot V_{\text{total}} \\ &= 6 \text{ g/L} \cdot 5 \text{ L} \\ &= 30 \text{ g} \\ w_{\text{Melprex (Dodine)}} &= \frac{m_{\text{Dodine}}}{m_{\text{Melprex (Dodine)}}} \\ m_{\text{Melprex (Dodine)}} &= \frac{m_{\text{Dodine}}}{w_{\text{Melprex (Dodine)}}} \\ &= \frac{30 \text{ g}}{0,5 \text{ g/g}} \\ &= 60 \text{ g} \\ m_{\text{Melprex (für Dodine-Gebrauchslösung)}} &= m_{\text{Melprex (Dodine)}} \cdot \omega \\ &= 60 \text{ g} \cdot 0,01 \text{ L/L} \\ &= \underline{\underline{600,0 \text{ mg}}} \\ \beta_{\text{Dinocap}} &= \frac{m_{\text{Dinocap}}}{V_{\text{total}}} \\ m_{\text{Dinocap}} &= \beta_{\text{Dinocap}} \cdot V_{\text{total}} \\ &= 12 \text{ g/L} \cdot 5 \text{ L} \\ &= 60 \text{ g} \\ w_{\text{Karathane (Dinocap)}} &= \frac{m_{\text{Dinocap}}}{m_{\text{Karathane (Dinocap)}}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Karathane (Dinocap)}} &= \frac{m_{\text{Dinocap}}}{w_{\text{Karathane (Dinocap)}}} \\
 &= \frac{60 \text{ g}}{0,25 \text{ g/g}} \\
 &= 240 \text{ g}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Karathane (für Dinocap-Gebrauchslösung)}} &= m_{\text{Karathane (Dinocap)}} \cdot \omega \\
 &= 240 \text{ g} \cdot 0,01 \text{ L/L} \\
 &= \underline{\underline{2,400 \text{ g}}}
 \end{aligned}$$

4.2.14.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Insektizid}} &= 6,25 \text{ L} \\
 \beta_{\text{Insektizid}} &= 400 \text{ g/L (EC 400)} \\
 V_{\text{Ende}} &= 4350 \text{ L} \\
 \beta_{\text{Ende}} &= 0,3 \text{ g/L}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$V_{\text{Insektizidzugabe}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 \beta_{\text{Ende}} &= \frac{m_{\text{Ende}}}{V_{\text{Ende}}} \\
 m_{\text{Ende}} &= \beta_{\text{Ende}} \cdot V_{\text{Ende}} \\
 &= 0,3 \text{ g/L} \cdot 4350 \text{ L} \\
 &= 1305 \text{ g} \\
 m_{\text{Insektizid}} &= \beta_{\text{Insektizid}} \cdot V_{\text{Insektizid}} \\
 &= 400 \text{ g/L} \cdot 6,25 \text{ L} \\
 &= 2500 \text{ g} \\
 \Delta m_{\text{Insektizid}} &= m_{\text{Insektizid}} - m_{\text{Ende}} \\
 &= 1195 \text{ g} \\
 V_{\text{Insektizidzugabe}} &= \frac{\Delta m_{\text{Insektizid}}}{\beta_{\text{Insektizid}}} \\
 &= \frac{1195 \text{ g}}{400 \text{ g/L}} \\
 &= \underline{\underline{2,988 \text{ L}}}
 \end{aligned}$$

4.2.15.

gegeben:

$$\beta_1 = 20 \text{ g/L}$$

$$c_2 = 12,5 \text{ mmol/L}$$

$$c_3 = 8,2 \text{ mmol/L}$$

$$V_1 = 0,25 \text{ L}$$

$$V_2 = 1,25 \text{ L}$$

$$V_3 = 0,05 \text{ L}$$

$$M_{\text{Galactose}} = 180,1572 \text{ g/mol}$$

gesucht:

$$\beta_{\text{total}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} \beta_2 &= c_2 \cdot M_{\text{Galactose}} \\ &= 12,5 \text{ mmol/L} \cdot 180,1572 \text{ mg/mmol} \\ &= 2251,965 \text{ mg/L} \\ &= 2,251965 \text{ g/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta_3 &= c_3 \cdot M_{\text{Galactose}} \\ &= 8,2 \text{ mmol/L} \cdot 180,1572 \text{ mg/mmol} \\ &= 1477,28904 \text{ gm/L} \\ &= 1,47728904 \text{ g/L} \end{aligned}$$

$$\beta_1 \cdot V_1 + \beta_2 \cdot V_2 + \beta_3 \cdot V_3 = \beta_{\text{total}} \cdot (V_1 + V_2 + V_3)$$

$$\begin{aligned} \beta_{\text{total}} &= \frac{\beta_1 \cdot V_1 + \beta_2 \cdot V_2 + \beta_3 \cdot V_3}{V_1 + V_2 + V_3} \\ &= \frac{20 \text{ g/L} \cdot 0,25 \text{ L} + 2,251965 \text{ g/L} \cdot 1,25 \text{ L} + 1,47728904 \text{ g/L} \cdot 0,05 \text{ L}}{0,25 \text{ L} + 1,25 \text{ L} + 0,05 \text{ L}} \\ &= \underline{\underline{5,090 \text{ g/L}}} \end{aligned}$$

4.2.16.

gegeben:

$$M_{\text{Pilocarpin}} = 208,2596 \text{ g/mol}$$

$$V_{\text{Ampulle}} = 2 \text{ mL}$$

$$c_1 = 1 \text{ mmol/L}$$

$$c_2 = 5 \text{ mmol/L}$$

$$\beta_{\text{total}} = 250 \text{ mg/L}$$

gesucht:

$$V_2$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} c_{\text{total}} &= \frac{\beta_{\text{total}}}{M_{\text{Pilocarpin}}} \\ &= \frac{250 \text{ mg/L}}{208,2596 \text{ mg/mmol}} \\ &= 1,200424854 \text{ mmol/L} \\ c_1 \cdot V_1 + c_2 \cdot V_2 &= c_{\text{total}} \cdot (V_1 + V_2) \\ &= c_{\text{total}} \cdot V_1 + c_{\text{total}} \cdot V_2 \\ c_2 \cdot V_2 - c_{\text{total}} \cdot V_2 &= c_{\text{total}} \cdot V_1 - c_1 \cdot V_1 \\ V_2 \cdot (c_2 - c_{\text{total}}) &= c_{\text{total}} \cdot V_1 - c_1 \cdot V_1 \\ V_2 &= \frac{c_{\text{total}} \cdot V_1 - c_1 \cdot V_1}{c_2 - c_{\text{total}}} \\ &= \frac{1,200424854 \text{ mmol/L} \cdot 2 \text{ mL} - 1 \text{ mmol/L} \cdot 2 \text{ mL}}{5 \text{ mmol/L} - 1,200424854 \text{ mmol/L}} \\ &= 0,1055 \text{ mL} \\ &= \underline{\underline{105,5 \mu\text{L}}} \end{aligned}$$

13.4.3 Lösungen Abschn. 4.3 – Verdünnungen

4.3.1.

gegeben:

$$\begin{aligned} c_{\text{HCl}} &= 0,2 \text{ mol/L} \\ n_{\text{HCl}} &= 1 \text{ Teil} \\ n_{\text{Wasser}} &= 5 \text{ Teile} \end{aligned}$$

gesucht:

$$c_{\text{total}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 c_{\text{HCl}} \cdot n_{\text{HCl}} &= c_{\text{total}} \cdot (n_{\text{HCl}} + n_{\text{Wasser}}) \\
 c_{\text{total}} &= \frac{c_{\text{HCl}} \cdot n_{\text{HCl}}}{n_{\text{HCl}} + n_{\text{Wasser}}} \\
 &= \frac{0,2 \text{ mol/L} \cdot 1 \text{ Teil}}{1 \text{ Teil} + 5 \text{ Teile}} \\
 &= 0,03333 \text{ mol/L} \\
 &= \underline{\underline{33,33 \text{ mmol/L}}}
 \end{aligned}$$

4.3.2.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 \beta_{\text{Zuckerlösung}} &= 50 \text{ g/L} \\
 n_{\text{Zuckerlösung}} &= 2 \text{ Teile} \\
 n_{\text{total}} &= 3 \text{ Teile} \\
 V_{\text{total}} &= 200 \text{ mL}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{Zucker}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 \beta_{\text{total}} &= \frac{\beta_{\text{Zuckerlösung}} \cdot n_{\text{Zuckerlösung}}}{n_{\text{total}}} \\
 &= \frac{50 \text{ g/L} \cdot 2 \text{ Teile}}{3 \text{ Teile}} \\
 &= 33,3333 \text{ g/L} \\
 m_{\text{Zucker}} &= \beta_{\text{total}} \cdot V_{\text{total}} \\
 &= 33,3333 \text{ g/L} \cdot 200 \text{ mL} \\
 &= 33,3333 \text{ g/L} \cdot 0,2 \text{ L} \\
 &= \underline{\underline{6,667 \text{ g}}}
 \end{aligned}$$

4.3.3.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Antibiotikum}} &= 20 \text{ mL} \\
 V_{\text{total}} &= 250 \text{ mL}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$n_{\text{Kochsalzlösung}} : n_{\text{Antibiotikum}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 \frac{n_{\text{Kochsalzlösung}}}{1} &= \frac{V_{\text{Kochsalzlösung}}}{V_{\text{Antibiotikum}}} \\
 &= \frac{V_{\text{total}} - V_{\text{Antibiotikum}}}{V_{\text{Antibiotikum}}} \\
 &= \frac{250 \text{ mL} - 20 \text{ mL}}{20 \text{ mL}} \\
 &= \frac{230 \text{ mL}}{20 \text{ mL}} \\
 &= \frac{11,5 \text{ Teile Kochsalzlösung}}{1 \text{ Teil Antibiotikum}}
 \end{aligned}$$

4.3.4.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 n_A &= 1 \text{ Teil} \\
 n_B &= 6 \text{ Teile} \\
 \beta_A &= 400 \text{ g/L} \\
 \beta_B &= 500 \text{ g/L} \\
 V_{\text{total}} &= 100 \text{ L} \\
 \beta_{\text{total}} &= 0,5 \text{ g/L}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$V_A \text{ und } V_B$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 m_A + m_B &= \beta_{\text{total}} \cdot V_{\text{total}} \\
 &= 0,5 \text{ g/L} \cdot 100 \text{ L} \\
 &= 50 \text{ g} \\
 m_A &= \frac{m_A + m_B}{n_A + n_B} \\
 &= \frac{50 \text{ g}}{1 + 6} \\
 &= 7,1428571 \text{ g} \\
 V_A &= \frac{m_A}{\beta_A} \\
 &= \frac{7,1428571 \text{ g}}{400 \text{ g/L}} \\
 &= \underline{\underline{17,86 \text{ mL}}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_B &= \frac{m_B}{\beta_B} \\
 &= \frac{7,1428571 \text{ g} \cdot 6}{500 \text{ g/L}} \\
 &= \underline{\underline{85,71 \text{ mL}}}
 \end{aligned}$$

4.3.5.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 \beta_1 &= 50,00 \text{ g/L} \\
 \beta_{\text{total}} &= 12,00 \text{ g/L} \\
 V_1 &= 50,00 \text{ mL}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$V_2$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 \beta_1 \cdot V_1 &= \beta_{\text{total}} \cdot (V_1 + V_2) \\
 &= \beta_{\text{total}} \cdot V_1 + \beta_{\text{total}} \cdot V_2 \\
 \beta_{\text{total}} \cdot V_2 &= \beta_1 \cdot V_1 - \beta_{\text{total}} \cdot V_1 \\
 V_2 &= \frac{\beta_1 \cdot V_1 - \beta_{\text{total}} \cdot V_1}{\beta_{\text{total}}} \\
 &= \frac{50 \text{ g/L} \cdot 50 \text{ mL} - 12 \text{ g/L} \cdot 50 \text{ mL}}{12 \text{ g/L}} \\
 &= \frac{1,9 \text{ g}}{12 \text{ g/L}} \\
 &= 0,1583 \text{ L} \\
 &= \underline{\underline{158,3 \text{ mL}}}
 \end{aligned}$$

4.3.6.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 c_1 &= 0,200 \text{ mol/L} \\
 c_{\text{total}} &= 0,030 \text{ mol/L} \\
 V_{\text{total}} &= 100,0 \text{ mL} = 0,10 \text{ L}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$V_2$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 c_1 \cdot V_1 &= c_{\text{total}} \cdot V_{\text{total}} \\
 V_1 &= \frac{c_{\text{total}} \cdot V_{\text{total}}}{c_1} \\
 &= \frac{0,030 \text{ mol/L} \cdot 0,10 \text{ L}}{0,200 \text{ mol/L}} \\
 &= 0,015 \text{ L} \\
 &= \underline{\underline{15,00 \text{ mL}}} \text{ (Essigsäure)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_1 + V_2 &= V_{\text{total}} \\
 V_2 &= V_{\text{total}} - V_1 \\
 &= 100,0 \text{ mL} - 15 \text{ mL} \\
 &= \underline{\underline{85,00 \text{ mL}}} \text{ (Wasser)}
 \end{aligned}$$

4.3.7.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 w_{\text{Fungizid}} &= 500 \text{ g/5 kg} = 80 \text{ g/kg} \\
 w_{\text{total}} &= 5 \text{ g/100 kg} = 0,05 \text{ g/kg} \\
 m_{\text{total}} &= 10 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{Kalk}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 w_{\text{Fungizid}} \cdot m_{\text{Fungizid}} &= w_{\text{total}} \cdot m_{\text{total}} \\
 m_{\text{Fungizid}} &= \frac{w_{\text{total}} \cdot m_{\text{total}}}{w_{\text{Fungizid}}} \\
 &= \frac{0,05 \text{ g/kg} \cdot 10 \text{ kg}}{80 \text{ g/kg}} \\
 &= 0,00625 \text{ kg} \\
 &= \underline{\underline{6,250 \text{ g}}} \text{ (Fungizid)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 w_{\text{Fungizid}} + m_{\text{Kalk}} &= m_{\text{total}} \\
 m_{\text{Kalk}} &= m_{\text{total}} - m_{\text{Fungizid}} \\
 &= 10,00 \text{ kg} - 0,00625 \text{ kg} \\
 &= \underline{\underline{9,994 \text{ kg}}} \text{ (Kalkstaub)}
 \end{aligned}$$

4.3.8.

gegeben:

$$c_1 = 1350 \text{ Keime}/0,05 \text{ mL} = 27.000 \text{ Keime/mL}$$

$$V_{\text{total}} = 24 \text{ mL}$$

$$c_{\text{total}} = 10^6 \text{ Keime/L}$$

gesucht:

$$V_1$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} c_1 \cdot V_1 &= c_{\text{total}} \cdot V_{\text{total}} \\ V_1 &= \frac{c_{\text{total}} \cdot V_{\text{total}}}{c_1} \\ &= \frac{10^6 \text{ Keime/L} \cdot 0,024 \text{ L}}{27.000 \text{ Keime/mL}} \\ &= \underline{\underline{0,8889 \text{ mL}}} \end{aligned}$$

4.3.9.

gegeben:

$$\beta_{\text{Stammlösung}} = 35 \text{ g/L}$$

$$V_{\text{Stammlösung}} = 0,8 \text{ L}$$

$$\beta_{\text{total}} = 0,0185 \text{ g/L}$$

gesucht:

$$V_{\text{Stammlösung}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} \beta_{\text{Stammlösung}} \cdot V_{\text{Stammlösung}} &= \beta_{\text{total}} \cdot V_{\text{total}} \\ V_{\text{Stammlösung}} &= \frac{\beta_{\text{total}} \cdot V_{\text{total}}}{\beta_{\text{Stammlösung}}} \\ &= \frac{0,0185 \text{ g/L} \cdot 0,8 \text{ L}}{35 \text{ g/L}} \\ &= \underline{\underline{422,9 \mu\text{L}}} \end{aligned}$$

4.3.10.

gegeben:

$$\beta_{\text{Stammlösung}} = 20 \text{ g/L}$$

$$\beta_{\text{benötigt}} = 12 \text{ g/L}$$

$$V_{\text{Stammlösung}} = 400 \text{ mL}$$

gesucht:

$$V_{\text{Wasser}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} \beta_{\text{Stammlösung}} \cdot V_{\text{Stammlösung}} &= \beta_{\text{benötigt}} \cdot (V_{\text{Stammlösung}} + V_{\text{Wasser}}) \\ &= \beta_{\text{benötigt}} \cdot V_{\text{Stammlösung}} + \beta_{\text{benötigt}} \cdot V_{\text{Wasser}} \\ \beta_{\text{benötigt}} \cdot V_{\text{Wasser}} &= \beta_{\text{Stammlösung}} \cdot V_{\text{Stammlösung}} - \beta_{\text{benötigt}} \cdot V_{\text{Stammlösung}} \\ V_{\text{Wasser}} &= \frac{\beta_{\text{Stammlösung}} \cdot V_{\text{Stammlösung}} - \beta_{\text{benötigt}} \cdot V_{\text{Stammlösung}}}{\beta_{\text{benötigt}}} \\ &= \frac{400 \text{ mL} \cdot (20 \text{ g/L} - 12 \text{ g/L})}{12 \text{ g/L}} \\ &= \underline{\underline{266,7 \text{ mL}}} \end{aligned}$$

4.3.11.

gegeben:

$$V_1 = 25 \text{ mL}$$

$$c_{\text{PEG}} = 2 \text{ mmol/L}$$

$$V_{\text{total}} = 500 \text{ mL}$$

gesucht:

$$c_{\text{total}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} c_1 \cdot V_1 &= c_{\text{total}} \cdot V_{\text{total}} \\ c_{\text{total}} &= \frac{c_1 \cdot V_1}{V_{\text{total}}} \\ &= \frac{2 \text{ mmol/L} \cdot 25 \text{ mL}}{500 \text{ mL}} \\ &= \underline{\underline{0,1000 \text{ mmol/L}}} \end{aligned}$$

4.3.12.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{total}} &= 120 \text{ mL} \\
 \beta_{\text{total}} &= 2,5 \text{ g/L} \\
 \beta_{\beta\text{-Carotin}} &= 8 \text{ g/L}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$V_{\text{Stammlösung}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 \beta_{\text{Stammlösung}} \cdot V_{\text{Stammlösung}} &= \beta_{\beta\text{-Carotin}} \cdot V_{\text{total}} \\
 V_{\text{Stammlösung}} &= \frac{\beta_{\beta\text{-Carotin}} \cdot V_{\text{total}}}{\beta_{\text{Stammlösung}}} \\
 &= \frac{2,5 \text{ g/L} \cdot 120 \text{ mL}}{8 \text{ g/L}} \\
 &= \underline{\underline{37,50 \text{ mL}}}
 \end{aligned}$$

4.3.13.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 c_1 &= 3,215 \cdot 10^9 \text{ Zellen/L} \\
 c_{\text{total}} &= 25.000 \text{ Zellen/mL} \\
 n_{\text{total}} &= 400.000 \text{ Zellen}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$V_1 \text{ und } V_{\text{NaCl-Lösung}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 c_1 \cdot V_1 &= n_{\text{total}} \\
 V_1 &= \frac{n_{\text{total}}}{c_1} \\
 &= \frac{400.000 \text{ Zellen}}{3,215 \cdot 10^9 \text{ Zellen/L}} \\
 &= \underline{\underline{0,1244 \text{ mL}}} \\
 c_{\text{total}} &= \frac{n_{\text{total}}}{V_{\text{total}}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{\text{total}} &= \frac{n_{\text{total}}}{c_{\text{total}}} \\
 &= \frac{400.000 \text{ Zellen}}{25.000 \text{ Zellen/mL}} \\
 &= 16 \text{ mL} \\
 V_{\text{NaCl-Lösung}} &= V_{\text{total}} - V_1 \\
 &= 16 \text{ mL} - 0,1244 \text{ mL} \\
 &= \underline{\underline{15,88 \text{ mL}}}
 \end{aligned}$$

4.3.14.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 \beta_{\text{Stammlösung}} &= 0,5 \text{ g/L (mg/mL)} \\
 V_{\text{total}} &= 5 \text{ mL} \\
 \beta_{\text{total}} &= 0,1 \text{ g/L (}\mu\text{g/}\mu\text{L)}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$V_{\text{Stammlösung}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 \beta_{\text{Stammlösung}} \cdot V_{\text{Stammlösung}} &= \beta_{\text{total}} \cdot V_{\text{total}} \\
 V_{\text{Stammlösung}} &= \frac{\beta_{\text{total}} \cdot V_{\text{total}}}{\beta_{\text{Stammlösung}}} \\
 &= \frac{0,1 \text{ g/L} \cdot 5 \text{ mL}}{0,5 \text{ g/L}} \\
 &= \underline{\underline{1,000 \text{ mL}}}
 \end{aligned}$$

4.3.15.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 c_1 &= 2,421 \cdot 10^7 \text{ Viren/L} \\
 V_{\text{total}} &= 10 \text{ mL} \\
 c_{\text{total}} &= 2500 \text{ Viren/mL} = 2,5 \cdot 10^6 \text{ Viren/L}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$V_1 \text{ und } V_2$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 c_1 \cdot V_1 &= c_{\text{total}} \cdot V_{\text{total}} \\
 V_1 &= \frac{c_{\text{total}} \cdot V_{\text{total}}}{c_1} \\
 &= \frac{2,5 \cdot 10^6 \text{ Viren/L} \cdot 10 \text{ mL}}{2,421 \cdot 10^7 \text{ Viren/L}} \\
 &= \underline{\underline{1,033 \text{ mL}}} \text{ (Stammlösung)} \\
 V_{\text{total}} &= V_1 + V_2 \\
 V_2 &= V_{\text{total}} - V_1 \\
 &= 10 \text{ mL} - 1,0326311 \text{ mL} \\
 &= \underline{\underline{8,967 \text{ mL}}} \text{ (Kochsalzlösung)}
 \end{aligned}$$

4.3.16.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{total}} &= 80 \text{ mL} \\
 \text{Amoxicillin} &= \text{C}_{17}\text{H}_{22}\text{N}_2\text{O}_6\text{S} \Rightarrow M_{\text{Amoxicillin}} = 382,4366 \text{ g/mol} \\
 \beta_{\text{total}} &= 1,25 \text{ mg/L} \\
 c_{\text{Stammlösung}} &= 0,2 \text{ mmol/L}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$V_{\text{Stammlösung}} \text{ und } V_{\text{Wasser}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 \beta_{\text{Amoxicillin}} &= c_{\text{Stammlösung}} \cdot M_{\text{Amoxicillin}} \\
 &= 0,2 \text{ mmol/L} \cdot 382,4366 \text{ mg/mmol} \\
 &= 76,48732 \text{ mg/L} \\
 \beta_{\text{Amoxicillin}} \cdot V_{\text{Stammlösung}} &= \beta_{\text{total}} \cdot V_{\text{total}} \\
 V_{\text{Stammlösung}} &= \frac{\beta_{\text{total}} \cdot V_{\text{total}}}{\beta_{\text{Amoxicillin}}} \\
 &= \frac{1,25 \text{ mg/L} \cdot 80 \text{ mL}}{76,48732 \text{ mg/L}} \\
 &= \underline{\underline{1,307 \text{ mL}}} \\
 V_{\text{Wasser}} &= V_{\text{total}} - V_{\text{Stammlösung}} \\
 &= 80 \text{ mL} - 1,307 \text{ mL} \\
 &= \underline{\underline{78,69 \text{ mL}}}
 \end{aligned}$$

4.3.17.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 c_1 &= 0,1 \text{ mol/L} \\
 \beta_{\text{total}} &= 250 \text{ mg/L} \\
 V_{\text{total}} &= 100 \text{ mL} \\
 M_{6\text{-Methylsalicylsäure}} &= 152,1494 \text{ g/mol}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$V_{6\text{-Methylsalicylsäure}} \text{ und } V_{\text{Wasser}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 \beta_{6\text{-Methylsalicylsäure}} &= c_1 \cdot M_{6\text{-Methylsalicylsäure}} \\
 &= 0,1 \text{ mol/L} \cdot 152,1494 \text{ g/mol} \\
 &= 15,21494 \text{ g/L} \\
 \beta_{6\text{-Methylsalicylsäure}} \cdot V_{6\text{-Methylsalicylsäure}} &= \beta_{\text{total}} \cdot V_{\text{total}} \\
 V_{6\text{-Methylsalicylsäure}} &= \frac{\beta_{\text{total}} \cdot V_{\text{total}}}{\beta_{6\text{-Methylsalicylsäure}}} \\
 &= \frac{0,25 \text{ g/L} \cdot 100 \text{ mL}}{15,21494 \text{ g/L}} \\
 &= \underline{\underline{1,643 \text{ mL}}} \\
 V_{\text{Wasser}} &= V_{\text{total}} - V_{6\text{-Methylsalicylsäure}} \\
 &= 100 \text{ mL} - 1,643121826 \text{ mL} \\
 &= \underline{\underline{98,36 \text{ mL}}}
 \end{aligned}$$

4.3.18.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 m_1 &= 35 \text{ g} \\
 w_1 &= 80 \% \text{ (WP 80)} \\
 m_2 &= 13 \text{ g} \\
 w_2 &= 94 \% \\
 w_{\text{total}} &= 25 \% \\
 w_{\text{Tm.}} &= 0 \% \text{ (Trägermaterial)}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{Trägermaterial}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 w_1 \cdot m_1 + w_2 \cdot m_2 + w_{\text{Tm.}} \cdot m_{\text{Tm.}} &= w_{\text{total}} \cdot (m_1 + m_2 + m_{\text{Tm.}}) \\
 &= w_{\text{total}} \cdot m_1 + w_{\text{total}} \cdot m_2 + w_{\text{total}} \cdot m_{\text{Tm.}} \\
 w_{\text{Tm.}} \cdot m_{\text{Tm.}} - w_{\text{total}} \cdot m_{\text{Tm.}} &= w_{\text{total}} \cdot m_1 + w_{\text{total}} \cdot m_2 - w_1 \cdot m_1 - w_2 \cdot m_2 \\
 m_{\text{Tm.}} \cdot (w_{\text{Tm.}} - w_{\text{total}}) &= w_{\text{total}} \cdot m_1 + w_{\text{total}} \cdot m_2 - w_1 \cdot m_1 - w_2 \cdot m_2 \\
 m_{\text{Trägermaterial}} &= \frac{w_{\text{total}} \cdot m_1 + w_{\text{total}} \cdot m_2 - w_1 \cdot m_1 - w_2 \cdot m_2}{w_{\text{Tm.}} - w_{\text{total}}} \\
 &= \frac{25 \% \cdot 35 \text{ g} + 25 \% \cdot 13 \text{ g} - 80 \% \cdot 35 \text{ g} - 94 \% \cdot 13 \text{ g}}{0 \% - 25 \%} \\
 &= \underline{\underline{112,9 \text{ g}}}
 \end{aligned}$$

4.3.19.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 w_1 &= 2,25 \mu\text{g/kg} \\
 w_{\text{total}} &= 2250 \mu\text{g/kg} \\
 m_1 &= 50 \text{ mg} \\
 w_{\text{Stammpreparat}} &= 5000 \text{ mg/kg}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{Stammpreparat}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 w_1 \cdot m_1 + w_{\text{Stammp.}} \cdot m_{\text{Stammp.}} &= w_{\text{total}} \cdot (m_1 + m_{\text{Stammp.}}) \\
 &= w_{\text{total}} \cdot m_1 + w_{\text{total}} \cdot m_{\text{Stammp.}} \\
 w_{\text{Stammp.}} \cdot m_{\text{Stammp.}} - w_{\text{total}} \cdot m_{\text{Stammp.}} &= w_{\text{total}} \cdot m_1 - w_1 \cdot m_1 \\
 m_{\text{Stammp.}} \cdot (w_{\text{Stammp.}} - w_{\text{total}}) &= w_{\text{total}} \cdot m_1 - w_1 \cdot m_1 \\
 m_{\text{Stammpreparat}} &= \frac{w_{\text{total}} \cdot m_1 - w_1 \cdot m_1}{w_{\text{Stammp.}} - w_{\text{total}}} \\
 &= \frac{2250 \mu\text{g/kg} \cdot 50 \text{ mg} - 2,25 \mu\text{g/kg} \cdot 50 \text{ mg}}{5000 \text{ mg/kg} - 2250 \mu\text{g/kg}} \\
 &= \underline{\underline{40,87 \text{ mg}}}
 \end{aligned}$$

4.3.20.

gegeben:

$$\begin{aligned}\beta_{\text{total}} &= 0,1 \text{ mg/mL} \\ d &= 0,1 \text{ g/L} \\ \beta_{\text{Stammlösung}} &= 25 \text{ g/L} \\ \varnothing_{\text{Fermenter}} &= 8 \text{ dm} \Rightarrow r_{\text{Fermenter}} = 4 \text{ dm} \\ h_{\text{Medium}} &= 12,5 \text{ dm}\end{aligned}$$

gesucht:

$$V_{\text{Stammlösung}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}V_{\text{Fermenter}} &= r^2 \cdot \pi \cdot h \\ &= (4 \text{ dm})^2 \cdot \pi \cdot 12,5 \text{ dm} \\ &= 628,3185307 \text{ L} \\ \beta_{\text{Stammlösung}} \cdot V_{\text{Stammlösung}} &= \beta_{\text{total}} \cdot V_{\text{Fermenter}} \\ V_{\text{Stammlösung}} &= \frac{\beta_{\text{total}} \cdot V_{\text{Fermenter}}}{\beta_{\text{Stammlösung}}} \\ &= \frac{0,1 \text{ g/L} \cdot 628,3185307 \text{ L}}{25 \text{ g/L}} \\ &= \underline{\underline{2,513 \text{ L}}}\end{aligned}$$

4.3.21.

gegeben:

$$\begin{aligned}V_{\text{Probe}} &= 40 \text{ mL} \\ V_{\text{Verdünnung}} &= 400 \text{ mL} \\ n_{\text{Ciliaten pro Zählfeld}} &= 0,083 \\ A_{\text{Zählfeld}} &= 0,0025 \text{ mm}^2 \\ h_{\text{Zählfeld}} &= 0,1 \text{ mm}\end{aligned}$$

gesucht:

$$C_{\text{Ciliaten im Magen}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Zählfeld}} &= A_{\text{Zählfeld}} \cdot h_{\text{Zählfeld}} \\
 &= 0,0025 \text{ mm}^2 \cdot 0,1 \text{ mm} \\
 &= 0,00025 \text{ mm}^3 \\
 &= 0,00025 \text{ } \mu\text{L} \\
 c_{\text{Ciliaten in Probe}} &= \frac{n_{\text{Ciliaten pro Zählfeld}}}{V_{\text{Zählfeld}}} \\
 &= \frac{0,083 \text{ Ciliaten}}{0,00025 \text{ } \mu\text{L}} \\
 &= 332 \text{ Ciliaten}/\mu\text{L} \\
 c_{\text{Ciliaten im Magen}} &= \frac{c_{\text{Ciliaten in Probe}} \cdot V_{\text{Verdünnung}}}{V_{\text{Probe}}} \\
 &= \frac{332 \text{ Ciliaten}/\mu\text{L} \cdot 400 \text{ mL}}{40 \text{ mL}} \\
 &= 3320 \text{ Ciliaten}/\mu\text{L} \\
 &= \underline{\underline{3,320 \cdot 10^9 \text{ Ciliaten/L}}}
 \end{aligned}$$

4.3.22.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 V_1 &= 250 \text{ mL} \\
 c_1 &= 4,619 \cdot 10^9 \text{ Sporen/L} \\
 c_{\text{total}} &= 8 \cdot 10^{10} \text{ Sporen/L} \\
 c_2 &= 9,502 \cdot 10^{11} \text{ Sporen/L}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$V_2$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 c_1 \cdot V_1 + c_2 \cdot V_2 &= c_{\text{total}} \cdot (V_1 + V_2) \\
 &= c_{\text{total}} \cdot V_1 + c_{\text{total}} \cdot V_2 \\
 c_2 \cdot V_2 - c_{\text{total}} \cdot V_2 &= c_{\text{total}} \cdot V_1 - c_1 \cdot V_1 \\
 V_2 \cdot (c_2 - c_{\text{total}}) &= c_{\text{total}} \cdot V_1 - c_1 \cdot V_1 \\
 V_2 &= \frac{c_{\text{total}} \cdot V_1 - c_1 \cdot V_1}{c_2 - c_{\text{total}}} \\
 &= \frac{8 \cdot 10^{10} \text{ Sporen/L} \cdot 250 \text{ mL} - 4,619 \cdot 10^9 \text{ Sporen/L} \cdot 250 \text{ mL}}{9,502 \cdot 10^{11} \text{ Sporen/L} - 8 \cdot 10^{10} \text{ Sporen/L}} \\
 &= \underline{\underline{21,66 \text{ mL}}}
 \end{aligned}$$

4.3.23.

gegeben:

$$m_1 = 200 \text{ g}$$

$$w_1 = 3 \%$$

$$w_{\text{total}} = 5 \%$$

$$M_{\text{Calciumchlorid}} = 110,986 \text{ g/mol}$$

$$M_{\text{Calciumchlorid-Hexahyd.}} = 219,0772 \text{ g/mol}$$

gesucht:

$$m_{\text{Calciumchlorid-Hexahydrat}} (= m_2)$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} w_{\text{Calciumchlorid}} &= \frac{M_{\text{Calciumchlorid}}}{M_{\text{Calciumchlorid-Hexahydrat}}} \\ &= \frac{110,986 \text{ g/mol}}{219,0772 \text{ g/mol}} \\ &= 50,66068034 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w_1 \cdot m_1 + w_2 \cdot m_2 &= w_{\text{total}} \cdot (m_1 + m_2) \\ &= w_{\text{total}} \cdot m_1 + w_{\text{total}} \cdot m_2 \end{aligned}$$

$$w_2 \cdot m_2 - w_{\text{total}} \cdot m_2 = w_{\text{total}} \cdot m_1 - w_1 \cdot m_1$$

$$m_2 \cdot (w_2 - w_{\text{total}}) = w_{\text{total}} \cdot m_1 - w_1 \cdot m_1$$

$$\begin{aligned} m_2 &= \frac{w_{\text{total}} \cdot m_1 - w_1 \cdot m_1}{w_2 - w_{\text{total}}} \\ &= \frac{5\% \cdot 200 \text{ g} - 3\% \cdot 200 \text{ g}}{50,66068034\% - 5\%} \\ &= \underline{\underline{8,760 \text{ g}}} \end{aligned}$$

4.3.24.

gegeben:

$$V_{\text{Probe}} = 20 \text{ mL}$$

$$V_{\text{Verd.}} = 1000 \text{ mL}$$

$$V_1 = 5 \text{ mL}$$

$$\beta_{\text{N verdünnt}} = 0,1539 \text{ mg/L}$$

$$w_{\text{Ammonium}} = 92,5 \%$$

$$M_{\text{N}} = 14,0067 \text{ g/mol}$$

$$M_{\text{Ammonium}} = 18,0383 \text{ g/mol}$$

gesucht:

$$\beta_{\text{Ammonium}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} c_{N \text{ verdünnt}} &= \frac{\beta_{N \text{ verdünnt}}}{M_N} \\ &= \frac{0,1539 \text{ mg/L}}{14,0067 \text{ mg/mmol}} \\ &= 0,0109875987 \text{ mmol/L} \\ c_{\text{Ammonium verdünnt}} &= c_{N \text{ verdünnt}} \cdot w_{\text{Ammonium}} \\ &= 0,0109875987 \text{ mmol/L} \cdot 92,5 \% \\ &= 0,0101635288 \text{ mmol/L} \\ \beta_{\text{Ammonium verdünnt}} &= c_{\text{Ammonium verdünnt}} \cdot M_{\text{Ammonium}} \\ &= 0,0101635288 \text{ mmol/L} \cdot 18,0383 \text{ g/mol} \\ &= 0,183332783 \text{ mg/L} \\ \beta_{\text{Ammonium}} &= \frac{\beta_{\text{Ammonium verdünnt}} \cdot V_{\text{verdünnt}}}{V_{\text{Probe}}} \\ &= \frac{0,183332783 \text{ mg/L} \cdot 1000 \text{ mL}}{20 \text{ mL}} \\ &= \underline{\underline{9,166 \text{ mg/L}}} \end{aligned}$$

4.3.25.

gegeben:

$$\begin{aligned} V_{\text{Wasser}} &= 1,5 \text{ L} \\ \rho_{\text{Wasser}} &= 0,998 \text{ g/mL} \\ w_{\text{Essigsäure}} &= 0,60 \text{ g/g} \\ c_{\text{total}} &= 8 \text{ mol/L} \\ \rho_{\text{total}} &= 1,054 \text{ g/mL} \\ M_{\text{Essigsäure}} &= 60,0524 \text{ g/mol} \end{aligned}$$

gesucht:

$$V_{\text{total}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} m_{\text{Wasser}} &= V_{\text{Wasser}} \cdot \rho_{\text{Wasser}} \\ &= 1,5 \text{ L} \cdot 0,998 \text{ kg/L} \\ &= 1,497 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\beta_{\text{total}} &= c_{\text{total}} \cdot M_{\text{Essigsäure}} \\ &= 8 \text{ mol/L} \cdot 60,0524 \text{ g/mol} \\ &= 480,4192 \text{ g/L}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}w_{\text{total}} &= \frac{\beta_{\text{total}}}{\rho_{\text{total}}} \\ &= \frac{480,4192 \text{ g/L}}{1054 \text{ g/L}} \\ &= 0,45580569 \text{ g/g}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}w_{\text{Essigsäure}} \cdot m_{\text{Essigsäure}} &= w_{\text{total}} \cdot (m_{\text{Essigsäure}} + m_{\text{Wasser}}) \\ &= w_{\text{total}} \cdot m_{\text{Essigsäure}} + w_{\text{total}} \cdot m_{\text{Wasser}}\end{aligned}$$

$$w_{\text{Essigs.}} \cdot m_{\text{Essigs.}} - w_{\text{total}} \cdot m_{\text{Essigs.}} = w_{\text{total}} \cdot m_{\text{Wasser}}$$

$$m_{\text{Essigsäure}} \cdot (w_{\text{Essigsäure}} - w_{\text{total}}) = w_{\text{total}} \cdot m_{\text{Wasser}}$$

$$\begin{aligned}m_{\text{Essigsäure}} &= \frac{w_{\text{total}} \cdot m_{\text{Wasser}}}{w_{\text{Essigsäure}} - w_{\text{total}}} \\ &= \frac{0,45580569 \text{ g/g} \cdot 1,497 \text{ kg}}{0,60 \text{ g/g} - 0,45580569 \text{ g/g}} \\ &= 4,732626269 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}m_{\text{total}} &= m_{\text{Wasser}} + m_{\text{Essigsäure}} \\ &= 1,497 \text{ kg} + 4,732626269 \text{ kg} \\ &= 6,229626269 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{total}} &= \frac{m_{\text{total}}}{V_{\text{total}}} \\ V_{\text{total}} &= \frac{m_{\text{total}}}{\rho_{\text{total}}} \\ &= \frac{6,229626269 \text{ kg}}{1,054 \text{ kg/L}} \\ &= \underline{\underline{5,910 \text{ L}}}\end{aligned}$$

4.3.26.

gegeben:

$$m_{\text{Mg-Sulfat}} = 12,55 \text{ mg}$$

$$m_{\text{K-Sulfat}} = 83,41 \text{ mg}$$

$$V_{\text{Lösung}} = 0,5 \text{ L}$$

$$V_1 = 20 \text{ mL}$$

$$V_2 = 500 \text{ mL}$$

$$M_{\text{Mg-Sulfat}} = 120,3626 \text{ g/mol}$$

$$M_{\text{K-Sulfat}} = 174,2542 \text{ g/mol}$$

$$M_{\text{Sulfat}} = 96,0576 \text{ g/mol}$$

gesucht:

$$\beta_{\text{Sulfat verdünnt}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} n_{\text{Mg-Sulfat}} &= \frac{m_{\text{Mg-Sulfat}}}{M_{\text{Mg-Sulfat}}} \\ &= \frac{12,55 \text{ mg}}{120,3626 \text{ mg/mmol}} \\ &= 0,1042682694 \text{ mmol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_{\text{Sulfat 1}} &= n_{\text{Mg-Sulfat}} \\ &= 0,1042682694 \text{ mmol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_{\text{K-Sulfat}} &= \frac{m_{\text{K-Sulfat}}}{M_{\text{K-Sulfat}}} \\ &= \frac{83,41 \text{ mg}}{174,2542 \text{ mg/mmol}} \\ &= 0,4786685199 \text{ mg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_{\text{Sulfat 1}} &= n_{\text{K-Sulfat}} \\ &= 0,4786685199 \text{ mg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_{\text{Sulfat total}} &= n_{\text{Sulfat 1}} + n_{\text{Sulfat 2}} \\ &= 0,1042683 \text{ mmol} + 0,4786685 \text{ mg} \\ &= 0,5829367893 \text{ mmol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c_{\text{Sulfat total}} &= \frac{n_{\text{Sulfat total}}}{V_{\text{Lösung}}} \\ &= \frac{0,5829367893 \text{ mmol}}{0,5 \text{ L}} \\ &= 1,165873579 \text{ mmol/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c_{\text{Sulfat verdünnt}} &= \frac{c_{\text{Sulfat total}} \cdot V_2}{V_1} \\ &= \frac{1,165873579 \text{ mmol/L} \cdot 20 \text{ mL}}{500 \text{ mL}} \\ &= 46,63494316 \text{ } \mu\text{mol/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta_{\text{Sulfat verdünnt}} &= c_{\text{Sulfat verdünnt}} \cdot M_{\text{Sulfat}} \\ &= 46,634943 \text{ } \mu\text{mol/L} \cdot 96,0576 \text{ } \mu\text{g/} \mu\text{mol} \\ &= \underline{\underline{4,480 \text{ mg/L}}} \end{aligned}$$

13.4.4 Lösungen Abschn. 4.4 – Geometrische Verdünnungsreihen

4.4.1.

gegeben:

$$c_{\text{Stammlösung}} = 1 \text{ mol/L}$$

$$\text{Verhältnis} = 1 \text{ Teil} + 9 \text{ Teile}$$

$$\text{Verhältnis} = 1 : 9$$

$$\text{Verdünnung} = 1 : 10$$

$$f_{\text{Verdünnung}} = 10 \text{ (Verdünnungsfaktor)}$$

$$n_{\text{Verdünnungsschritte}} = 5$$

gesucht:

$$c_{\text{Verdünnung 5}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} c_{\text{Verdünnung 5}} &= \frac{c_{\text{Stammlösung}}}{(f_{\text{Verdünnung}})^5} \\ &= \frac{1 \text{ mol/L}}{10^5} \\ &= \frac{1 \text{ mol/L}}{100.000} \\ &= 10^{-5} \text{ mol/L} \\ &= 0,01 \text{ mmol/L} \\ &= \underline{\underline{10,00 \mu\text{mol/L}}} \end{aligned}$$

4.4.2.

gegeben:

$$c_{\text{total}} = 35 \text{ Zellen/mL}$$

$$\text{Verhältnis} = 1 + 4$$

$$\text{Verdünnung} = 1 : 5$$

$$f_{\text{Verdünnung}} = 5 \text{ (Verdünnungsfaktor)}$$

$$n_{\text{Verdünnungsschritte}} = 5$$

gesucht:

$$c_{\text{Stammlösung}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 c_{\text{total}} &= \frac{c_{\text{Stammlösung}}}{(f_{\text{Verdünnung}})^n} \\
 c_{\text{Stammlösung}} &= c_{\text{total}} \cdot (f_{\text{Verdünnung}})^{n_{\text{Verdünnungen}}} \\
 &= 35 \text{ Zellen/mL} \cdot 5^5 \\
 &= 109.375 \text{ Zellen/mL} \\
 &= \underline{\underline{1,094 \cdot 10^5 \text{ Zellen/mL}}}
 \end{aligned}$$

4.4.3.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 c_{\text{NaAcetat}} &= 0,2 \text{ mol/L} \\
 f_{\text{Verdünnung}} &= 5 : 2 = 2,5 \\
 n_{\text{Verdünnungsschritte}} &= 4 \\
 M_{\text{Acetat}} &= 59,04501 \text{ mg/mmol}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$\beta_{\text{Acetat}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 c_{\text{Verdünnung 4}} &= \frac{c_{\text{Stammlösung}}}{(f_{\text{Verdünnung}})^n} \\
 &= \frac{0,2000 \text{ mol/L}}{2,5^4} \\
 &= 0,00512 \text{ mol/L} \\
 &= \underline{\underline{5,120 \text{ mmol/L}}} \\
 \beta_{\text{Acetat}} &= c_{\text{Verdünnung 4}} \cdot M_{\text{Acetat}} \\
 &= 5,120 \text{ mmol/L} \cdot 59,044501 \text{ mg/mmol} \\
 &= \underline{\underline{302,3 \text{ mg/L}}}
 \end{aligned}$$

4.4.4.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 c_{\text{Stamml.}} &= 1 \text{ mol/L} \\
 M_{\text{Traubenzucker}} &= 180,15894 \text{ g/mol} \\
 \beta_{\text{Verdünnung 2}} &= 2 \text{ g/L}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$\text{Verdünnung } (1 : f_{\text{Verdünnung}})$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}\beta_{\text{Stammlösung}} &= c_{\text{Stammlösung}} \cdot M_{\text{Traubenzucker}} \\ &= 1 \text{ mol/L} \cdot 180,15894 \text{ g/mol} \\ &= 180,15894 \text{ g/L}\end{aligned}$$

$$\beta_{\text{Verdünnung 2}} = \frac{\beta_{\text{Stammlösung}}}{(f_{\text{Verdünnung}})^2}$$

$$\begin{aligned}(f_{\text{Verdünnung}})^2 &= \frac{\beta_{\text{Stammlösung}}}{\beta_{\text{Verdünnung 2}}} \\ &= \frac{180,15894 \text{ g/L}}{2 \text{ g/L}} \\ &= 90,07947\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}f_{\text{Verdünnung}} &= \sqrt{90,07947} \\ &= 9,491\end{aligned}$$

$$\text{Verdünnung} = \underline{\underline{1: 9,491}}$$

4.4.5.

gegeben:

$$n_{\text{Verdünnung}} = 6$$

$$f_{\text{Verdünnung}} = 10 (1 + 9)$$

$$V_{\text{Lösung}} = 0,1 \text{ mL}$$

$$n_{\text{Kolonien}} = 38/28/30/41 \text{ Bakterien}$$

gesucht:

$$c_{\text{Stammlösung}}$$

Berechnung:

$$n_{\emptyset \text{ Bakterien}} = \frac{38 \text{ Bakt.} + 28 \text{ Bakt.} + 30 \text{ Bakt.} + 41 \text{ Bakt.}}{4}$$

$$= 34,25 \text{ Bakterien}$$

$$c_{\text{Verdünnung 6}} = \frac{n_{\emptyset \text{ Bakterien}}}{V_{\text{Lösung}}}$$

$$= \frac{34,25 \text{ Bakterien}}{0,1 \text{ mL}}$$

$$= 342,5 \text{ Bakt./mL}$$

$$c_{\text{Stammlösung}} = c_{\text{Verdünnung 6}} \cdot (f_{\text{Verdünnung}})^{n_{\text{Verdünnungen}}}$$

$$= 342,5 \text{ Bakterien/mL} \cdot 10^6$$

$$= \underline{\underline{3,425 \cdot 10^8 \text{ Bakterien/mL}}}$$

4.4.6.

gegeben:

$$c_{\text{Stammlösung}} = 10^{4,0} \text{ Viren/mL}$$

$$c_{\text{Verdünnung 1}} = 10^{3,5} \text{ Viren/mL}$$

$$V_{\text{total}} = 20,00 \text{ mL}$$

gesucht:

$$V_{\text{Übertrag}}$$

Berechnung:

$$c_{\text{Verdünnung 1}} = \frac{c_{\text{Stammlösung}}}{f_{\text{Verdünnung}}}$$

$$f_{\text{Verdünnung}} = \frac{c_{\text{Stammlösung}}}{c_{\text{Verdünnung 1}}}$$

$$= \frac{104,0 \text{ Viren/mL}}{103,5 \text{ Viren/mL}}$$

$$= 3,16227766$$

$$V_{\text{Übertrag}} = \frac{V_{\text{total}}}{f_{\text{Verdünnung}}}$$

$$= \frac{20 \text{ mL}}{3,16227766}$$

$$= \underline{\underline{6,325 \text{ mL}}}$$

4.4.7.

gegeben:

$$c_{\text{Stammlösung}} = 10 \text{ mmol/L}$$

$$n_{\text{Verdünnung}} = 5$$

$$f_{\text{Verdünnung}} = 5$$

gesucht:

$$c_{\text{Verdünnung 5}}$$

Berechnung:

$$c_{\text{Verdünnung 5}} = \frac{c_{\text{Stammlösung}}}{(f_{\text{Verdünnung}})^n}$$

$$= \frac{10 \text{ mmol/L}}{5^5}$$

$$= 0,0032 \text{ mmol/L}$$

$$= \underline{\underline{3,200 \mu\text{mol/L}}}$$

4.4.8.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 c_{\text{Stammlösung}} &= 9,821 \cdot 10^{12} \text{ Viren/mL} \\
 n_{\text{Verdünnungen}} &= 10 \\
 V_{\text{Übertrag}} &= 2,5 \text{ mL} \\
 V_{\text{aufgefüllt}} &= 20,00 \text{ mL}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$c_{\text{Verdünnung 10}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 f_{\text{Verdünnung}} &= \frac{V_{\text{aufgefüllt}}}{V_{\text{Übertrag}}} \\
 &= \frac{20 \text{ mL}}{2,5 \text{ mL}} \\
 &= 8 \\
 c_{\text{Verdünnung 10}} &= \frac{c_{\text{Stammlösung}}}{(f_{\text{Verdünnung}})^{n_{\text{Verdünnungen}}}} \\
 &= \frac{9,821 \cdot 10^{12} \text{ Viren/mL}}{8^{10}} \\
 &= \underline{\underline{9147 \text{ Viren/L}}}
 \end{aligned}$$

4.4.9.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 w_{\text{Fungizid}} &= 18,39 \text{ g/kg} \\
 f_{\text{Verdünnung}} &= 8 \\
 m_{\text{Präparat}} &= 150 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{Fungizid}} \text{ und } m_{\text{Steinmehl}} \text{ sowie } m_{\text{Wirkstoff}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} m_{\text{Fungizid}} &= \frac{m_{\text{Präparat}}}{f_{\text{Verdünnung}}} \\ &= \frac{150 \text{ kg}}{8} \\ &= \underline{\underline{18,75 \text{ kg}}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_{\text{Steinmehl}} &= m_{\text{Präparat}} - m_{\text{Fungizid}} \\ &= 150 \text{ kg} - 18,75 \text{ kg} \\ &= \underline{\underline{131,25 \text{ kg}}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w_{\text{Präparat}} &= \frac{w_{\text{Fungizid}}}{f_{\text{Verdünnung}}} \\ &= \frac{18,39 \text{ g/kg}}{8} \\ &= 2,29875 \text{ g/kg} \end{aligned}$$

$$w_{\text{Präparat}} = \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{m_{\text{Präparat}}}$$

$$\begin{aligned} m_{\text{Wirkstoff}} &= w_{\text{Präparat}} \cdot m_{\text{Präparat}} \\ &= 2,29875 \text{ g/kg} \cdot 150 \text{ kg} \\ &= \underline{\underline{344,8 \text{ g}}} \end{aligned}$$

4.4.10.

gegeben:

$$c_{\text{Verdünnung } 5} = 37 \text{ Zellen/mL}$$

$$n_{\text{Verdünnung}} = 5$$

$$f_{\text{Verdünnung}} = 5$$

$$m_{\text{Präparat}} = 150 \text{ kg}$$

gesucht:

$$c_{\text{Erythrocyten}}$$

Berechnung:

$$c_{\text{Verdünnung } 5} = \frac{c_{\text{Erythrocyten}}}{(f_{\text{Verdünnung}})^{n_{\text{Verdünnung}}}}$$

$$c_{\text{Erythrocyten}} = c_{\text{Verdünnung } 5} \cdot f_{\text{Verdünnungen}}^{n_{\text{Verdünnungen}}}$$

$$= 37 \text{ Zellen/mL} \cdot 5^5$$

$$= 115.625 \text{ Zellen/mL}$$

$$= \underline{\underline{1,156 \cdot 10^5 \text{ Zellen/mL}}}$$

4.4.11.

gegeben:

$$\begin{aligned}\beta_{\text{Lösung}} &= 25 \text{ mg/L} \\ n_{\text{Verdünnung}} &= 3 \\ f_{\text{Verdünnung}} &= 20\end{aligned}$$

gesucht:

$$\beta_{\text{Verdünnung } 3}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}\beta_{\text{Verdünnung } 3} &= \frac{\beta_{\text{Lösung}}}{(f_{\text{Verdünnung}})^{n_{\text{Verdünnung}}}} \\ &= \frac{25 \text{ mg/L}}{20^3} \\ &= \underline{\underline{3,125 \mu\text{g/L}}}\end{aligned}$$

4.4.12.

gegeben:

$$\begin{aligned}c_0 &= 10 \text{ mmol/L} = 10^{-2} \text{ mol/L (Stammlösung)} \\ c_1 &= 10^{-2,3} \text{ mol/L} \\ V_{\text{total}} &= 10 \text{ mL}\end{aligned}$$

gesucht:

$$V_{\text{Übertrag}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}f_{\text{Verdünnung}} &= \frac{c_0}{c_1} \\ &= \frac{10^{-2} \text{ mol/L}}{10^{-2,3} \text{ mol/L}} \\ &= 1,995262315 \\ f_{\text{Verdünnung}} &= \frac{V_{\text{total}}}{V_{\text{Übertrag}}} \\ &= \frac{V_{\text{Lösung}} + V_{\text{Übertrag}}}{V_{\text{Übertrag}}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Übertrag}} \cdot f_{\text{Verdünnung}} &= V_{\text{Lösung}} + V_{\text{Übertrag}} \\
 V_{\text{Übertrag}} \cdot f_{\text{Verdünnung}} - V_{\text{Übertrag}} &= V_{\text{Lösung}} \\
 V_{\text{Übertrag}} \cdot (f_{\text{Verdünnung}} - 1) &= V_{\text{Lösung}} \\
 V_{\text{Übertrag}} &= \frac{V_{\text{Lösung}}}{f_{\text{Verdünnung}} - 1} \\
 &= \frac{10 \text{ mL}}{1,995262315 - 1} \\
 &= \underline{\underline{10,05 \text{ mL}}}
 \end{aligned}$$

4.4.13.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 c_{\text{Na-Hydrogenphosphat}} &= 24,30 \text{ mmol/L} \\
 c_{\text{Na}} &= 48,60 \text{ mmol/L (weil 2 Na pro Natriumhydrogenphosphat)} \\
 f_{\text{Verdünnung}} &= 1,5 \\
 n_{\text{Verdünnung}} &= 5 \\
 M_{\text{Na}} &= 22,98977 \text{ g/mol}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$\beta_{\text{Na in Verdünnung 5}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 c_{\text{Na}} &= c_{\text{Na-Hydrogenphosphat}} \cdot 2 \\
 &= 24,30 \text{ mmol/L} \cdot 2 \\
 &= 48,60 \text{ mmol/L} \\
 c_{\text{Verdünnung 5}} &= \frac{c_{\text{Na}}}{(f_{\text{Verdünnung}})^{n_{\text{Verdünnungen}}}} \\
 &= \frac{48,60 \text{ mmol/L}}{1,5^5} \\
 &= 6,4 \text{ mmol/L} \\
 \beta_{\text{Na in Verdünnung 5}} &= c_{\text{Verdünnung 5}} \cdot M_{\text{Na}} \\
 &= 6,4 \text{ mmol/L} \cdot 22,98977 \text{ g/mol} \\
 &= \underline{\underline{147,1 \text{ mg/L}}}
 \end{aligned}$$

4.4.14.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Probe}} &= 1 \text{ g} \\
 V_{\text{aufgefüllt}} &= 50 \text{ mL} \\
 n_{\text{Verdünnung}} &= 5 \\
 V_{\text{Übertrag}} &= 2 \text{ mL} \\
 V_{\text{aufgefüllt}} &= 10 \text{ mL} \\
 V_{\text{ausplattiert}} &= 1 \text{ mL} \\
 r_{\text{Schale}} &= 6 \text{ cm} \\
 n_{\text{Kolonien}} &= 37
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$c_{\text{Bakterien im Boden}} \text{ (pro g Probe)}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 f_{\text{Verdünnung}} &= \frac{V_{\text{aufgefüllt}}}{V_{\text{Übertrag}}} \\
 &= \frac{10 \text{ mL}}{2 \text{ mL}} \\
 &= 5 \\
 c_{\text{Verdünnung 5}} &= \frac{n_{\text{Kolonien}}}{V_{\text{ausplattiert}}} \\
 &= \frac{37 \text{ Bakterien}}{1 \text{ mL}} \\
 &= 37 \text{ Bakterien/mL} \\
 c_{\text{Verdünnung 5}} &= \frac{c_{\text{Bakterien in Lösung}}}{(f_{\text{Verdünnung}})^{n_{\text{Verdünnung}}}} \\
 c_{\text{Bakterien in Lösung}} &= c_{\text{Verdünnung 5}} \cdot (f_{\text{Verdünnung}})^{n_{\text{Verdünnung}}} \\
 &= 37 \text{ Bakterien/mL} \cdot 5^5 \\
 &= 115.625 \text{ Bakterien/mL} \\
 &= 5.781.250 \text{ Bakterien/50 mL} \\
 c_{\text{Bakterien im Boden}} &= 5.781.250 \text{ Bakterien/g Boden} \\
 &= \underline{\underline{5,781 \cdot 10^6 \text{ Bakterien/g Boden}}}
 \end{aligned}$$

4.4.15.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 c_{\text{Suspension}} &= 3,264 \cdot 10^6 \text{ Zellen/L} \\
 f_1 &= 10 \text{ (1 : 10)} \\
 f_2 &= 8 \text{ (1 : 8)} \\
 f_3 &= 2,5 \text{ (2 : 5)}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$c_{\text{Verdünnung 3}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 c_{\text{Verdünnung 3}} &= \frac{c_{\text{Suspension}}}{f_1 \cdot f_2 \cdot f_3} \\
 &= \frac{3,264 \cdot 10^6 \text{ Zellen/L}}{10 \cdot 8 \cdot 2,5} \\
 &= 16.320 \text{ Zellen/L} \\
 &= \underline{\underline{16,32 \cdot 10^3 \text{ Zellen/L}}}
 \end{aligned}$$

4.4.16.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 \beta_{\text{Lösung}} &= 1 \text{ mg/mL} \\
 V_{\text{Übertrag}} &= 1 \text{ mL} \\
 V_{\text{aufgefüllt 1}} &= 10 \text{ mL} \\
 V_{\text{aufgefüllt 2}} &= 5 \text{ mL} \\
 V_{\text{aufgefüllt 3}} &= 250 \text{ mL} \\
 M_{\text{Acetylcholin}} &= 146 \text{ g/mol}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$c_{\text{Acetylcholin in Verdünnung 3}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 \beta_{\text{Verdünnung 3}} &= \frac{\beta_{\text{Lösung}} \cdot V_{\text{Übertrag}}}{V_{\text{aufgefüllt 1}} \cdot V_{\text{aufgefüllt 2}} \cdot V_{\text{aufgefüllt 3}}} \\
 &= \frac{1 \text{ mg/mL} \cdot 1 \text{ mL}}{10 \text{ mL} \cdot 5 \text{ mL} \cdot 250 \text{ mL}} \\
 &= 0,00008 \text{ mg/mL} \\
 &= 0,08 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c_{\text{Acetylcholin in Verdünnung 3}} &= \frac{\beta_{\text{Verdünnung 3}}}{M_{\text{Acetylcholin}}} \\
 &= \frac{0,08 \text{ mg/L}}{146 \text{ g/mol}} \\
 &= \underline{\underline{0,5479 \mu\text{mol/L}}}
 \end{aligned}$$

4.4.17.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Suspension}} &= 2 \text{ mL} \\
 V_{\text{aufgefüllt}} &= 25 \text{ mL} \\
 n_{\text{Verdünnungen}} &= 5 \\
 V_{\text{ausplattiert}} &= 1 \text{ mL} \\
 n_{\text{Bakterien}} &= 42
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$c_{\text{Bakterien}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 f_{\text{Verdünnung}} &= \frac{V_{\text{aufgefüllt}}}{V_{\text{Suspension}}} \\
 &= \frac{25 \text{ mL}}{2 \text{ mL}} \\
 &= 12,5 \\
 c_{\text{Bakterien ausplattiert}} &= \frac{n_{\text{Bakterien}}}{V_{\text{ausplattiert}}} \\
 &= \frac{42 \text{ Bakterien}}{1 \text{ mL}} \\
 &= 42 \text{ Bakt./mL} \\
 c_{\text{Bakterien}} &= c_{\text{Bakterien ausplattiert}} \cdot (f_{\text{Verdünnung}})^{n_{\text{Verdünnungen}}} \\
 &= 42 \text{ Bakt./mL} \cdot 12,5^5 \\
 &= 12.817.382 \text{ Bakterien/mL} \\
 &= 1,282 \cdot 10^7 \text{ Bakterien/mL} \\
 &= \underline{\underline{12,82 \cdot 10^9 \text{ Bakterien/L}}}
 \end{aligned}$$

4.4.18.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 V_A &= 5 \text{ mL} \\
 \beta_A &= 15 \text{ mg/mL} \\
 V_B &= 15 \text{ mL} \\
 w_B &= 0,03 \text{ g/g} \\
 \rho_B &= 1,161 \text{ g/mL} \\
 f_1 &= 5 \text{ (1 : 5)} \\
 f_2 &= 8 \text{ (1 : 8)} \\
 f_3 &= 2,5 \text{ (2 : 5)} \\
 V_{\text{total}} &= 1 \text{ mL}
 \end{aligned}$$

gesucht:

 m_A verdünnt und m_B verdünnt

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 \beta_A &= \frac{m_A}{V_A} \\
 m_A &= \beta_A \cdot V_A \\
 &= 15 \text{ mg/mL} \cdot 5 \text{ mL} \\
 &= 75 \text{ mg} \\
 \beta_{A \text{ verdünnt}} &= \frac{m_A}{(V_A + V_B) \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3} \\
 &= \frac{75 \text{ mg}}{(5 \text{ mL} + 15 \text{ mL}) \cdot 5 \cdot 8 \cdot 2,5} \\
 &= 0,00375 \text{ mg/mL} \\
 m_{A \text{ verdünnt}} &= \beta_{A \text{ verdünnt}} \cdot V_{\text{total}} \\
 &= 0,00375 \text{ mg/mL} \cdot 1 \text{ mL} \\
 &= \underline{\underline{37,50 \mu\text{g}}} \\
 \beta_B &= w_B \cdot \rho_B \\
 &= 0,03 \text{ g/g} \cdot 1,161 \text{ g/mL} \\
 &= 0,03483 \text{ g/mL} \\
 m_B &= \beta_B \cdot V_B \\
 &= 0,03483 \text{ g/mL} \cdot 15 \text{ mL} \\
 &= 0,52245 \text{ g}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \beta_{B \text{ verdünnt}} &= \frac{m_B}{(V_A + V_B) \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3} \\
 &= \frac{0,52245 \text{ g}}{(5 \text{ mL} + 15 \text{ mL}) \cdot 5 \cdot 8 \cdot 2,5} \\
 &= 0,000261225 \text{ g/mL} \\
 m_{B \text{ verdünnt}} &= \beta_{B \text{ verdünnt}} \cdot V_{\text{total}} \\
 &= 0,000261225 \text{ g/mL} \cdot 1 \text{ mL} \\
 &= 0,000261225 \text{ g} \\
 &= \underline{\underline{261,2 \mu\text{g}}}
 \end{aligned}$$

4.4.19.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 f_{\text{falsch}} &= 6 (1 + 5) \\
 f_{\text{richtig}} &= 5 (1 : 5) \\
 V_{\text{Stammlösung}} &= 1 \text{ (Annahme)} \\
 c_{\text{Stammlösung}} &= 1 \text{ (Annahme)}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$V_{\text{falsche Lösung}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 c_1 &= \frac{V_{\text{Stammlösung}}}{f_{\text{falsch}}} \\
 &= 1/6 \\
 &= 0,1666666667 \\
 c_{\text{total}} &= \frac{V_{\text{Stammlösung}}}{f_{\text{richtig}}} \\
 &= 1/5 \\
 &= 0,2 \\
 c_1 \cdot V_1 + c_{\text{Stammlösung}} \cdot V_{\text{Stammlösung}} &= c_{\text{total}} \cdot (V_1 + V_{\text{Stammlösung}}) \\
 &= c_{\text{total}} \cdot V_1 + c_{\text{total}} \cdot V_{\text{Stammlösung}} \\
 c_{\text{Stamml.}} \cdot V_{\text{Stamml.}} - c_{\text{total}} \cdot V_{\text{Stamml.}} &= c_{\text{total}} \cdot V_1 - c_1 \cdot V_1 \\
 V_{\text{Stamml.}} \cdot (c_{\text{Stamml.}} - c_{\text{total}}) &= c_{\text{total}} \cdot V_1 - c_1 \cdot V_1
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Stammlösung}} &= \frac{c_{\text{total}} \cdot V_1 - c_1 \cdot V_1}{c_{\text{Stammlösung}} - c_{\text{total}}} \\
 &= \frac{0,2 \cdot 1 - 0,1666666667 \cdot 1}{1 - 0,2} \\
 &= 0,0416666666667 \\
 V_{\text{falsche Lösung}} &= \frac{1}{V_{\text{Stammlösung}}} \\
 &= \frac{1}{0,0416666666667} \\
 &= \underline{\underline{24}}
 \end{aligned}$$

4.4.20.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 V_1 &= 50 \text{ mL} \\
 c_1 &= 4,541 \cdot 10^6 \text{ Sporen/L} \\
 V_2 &= 80 \text{ mL} \\
 c_2 &= 3,95 \cdot 10^5 \text{ Sporen/L} \\
 V_{\text{Übertrag}} &= 1 \text{ mL} \\
 V_{\text{aufgefüllt}} &= 20 \text{ mL} \\
 n &= 3
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$c_{\text{Verdünnung } 3}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 c_1 \cdot V_1 + c_2 \cdot V_2 &= c_{\text{total}} \cdot (V_1 + V_2) \\
 c_{\text{total}} &= \frac{c_1 \cdot V_1 + c_2 \cdot V_2}{V_1 + V_2} \\
 &= \frac{4,541 \cdot 10^6 \text{ Sp./L} \cdot 50 \text{ mL} + 3,95 \cdot 10^5 \text{ Sp./L} \cdot 80 \text{ mL}}{50 \text{ mL} + 80 \text{ mL}} \\
 &= 1,9896154 \cdot 10^6 \text{ Sporen/L} \\
 f_{\text{Verdünnung}} &= \frac{V_{\text{aufgefüllt}}}{V_{\text{Übertrag}}} \\
 &= \frac{20 \text{ mL}}{1 \text{ mL}} \\
 &= 20
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c_{\text{Verdünnung 3}} &= \frac{c_{\text{total}}}{(f_{\text{Verdünnung}})^{n_{\text{Verdünnungen}}}} \\
 &= \frac{1,9896154 \cdot 10^6 \text{ Sporen/L}}{20^3} \\
 &= \underline{\underline{248,7 \text{ Sporen/L}}}
 \end{aligned}$$

4.4.21.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 l_{\text{Quadrat}} &= 0,05 \text{ mm} \\
 h_{\text{Quadrat}} &= 0,1 \text{ mm} \\
 f_{\text{Verdünnung}} &= 200 \\
 n_{\text{Erythrocyten}} &= 6,5 \text{ (pro Quadrat)} \\
 V_{\text{Blut}} &= 1 \mu\text{L}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$c_{\text{Erythrocyten}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Quadrat}} &= (l_{\text{Quadrat}})^2 \cdot h_{\text{Quadrat}} \\
 &= (0,05 \text{ mm})^2 \cdot 0,1 \text{ mm} \\
 &= 0,00025 \text{ mm}^3 \\
 &= 0,25 \text{ nL} \\
 c_{\text{Erythrocyten verdünnt}} &= \frac{n_{\text{Erythrocyten}}}{V_{\text{Quadrat}}} \\
 &= \frac{6,5 \text{ Erythrocyten}}{0,25 \text{ nL}} \\
 &= 26 \text{ Erythrocyten/nL} \\
 c_{\text{Erythrocyten}} &= c_{\text{Erythrocyten verdünnt}} \cdot f_{\text{Verdünnung}} \\
 &= 26 \text{ Erythrocyten/nL} \cdot 200 \\
 &= 5200 \text{ Erythrocyten/nL} \\
 &= \underline{\underline{5,200 \cdot 10^6 \text{ Erythrocyten}/\mu\text{L}}}
 \end{aligned}$$

4.4.22.

gegeben:

$$m_{\text{Hund}} = 14,80 \text{ kg}$$

$$t = 2 \text{ h}$$

$$d_{\text{Wirkstoff}} = 150 \text{ mg/kg}$$

$$\beta_{\text{Wirkstoff}} = 50 \text{ g/L}$$

$$Q_{\text{Infusion}} = 30 \text{ mL/h}$$

gesucht:

$$f_{\text{Verdünnung}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} m_{\text{Wirkstoff}} &= m_{\text{Hund}} \cdot d_{\text{Wirkstoff}} \\ &= 14,80 \text{ kg} \cdot 150 \text{ mg/kg} \\ &= 2220 \text{ mg} \end{aligned}$$

$$\beta_{\text{Wirkstoff}} = \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{V_{\text{Präparat}}}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{Präparat}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{\beta_{\text{Wirkstoff}}} \\ &= \frac{2,22 \text{ g}}{50 \text{ g/L}} \\ &= 44,4 \text{ mL} \end{aligned}$$

$$Q_{\text{Infusion}} = \frac{V_{\text{Infusion}}}{t}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{Infusion}} &= Q_{\text{Infusion}} \cdot t \\ &= 30 \text{ mL/h} \cdot 2 \text{ h} \\ &= 60 \text{ mL} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{\text{Verdünnung}} &= \frac{V_{\text{Infusion}}}{V_{\text{Präparat}}} \\ &= \frac{60 \text{ mL}}{44,4 \text{ mL}} \\ &= \underline{\underline{1,351}} \end{aligned}$$

4.4.23.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 M_{\text{Streptomycin}} &= 580,591 \text{ g/mol} \\
 c_{\text{Streptomycin}} &= 5 \text{ mmol/L} \\
 f_{\text{Verdünnung}} &= 5 \quad (20 \text{ mL}/4 \text{ mL}) \\
 n_{\text{Verdünnung}} &= 6 \\
 m_{\text{Ratte}} &= 1,152 \text{ kg} \\
 d_{\text{Streptomycin}} &= 2,5 \text{ } \mu\text{g/kg}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$V_{\text{Applikation}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 \beta_{\text{Streptomycin}} &= c_{\text{Streptomycin}} \cdot M_{\text{Streptomycin}} \\
 &= 5 \text{ mmol/L} \cdot 580,591 \text{ g/mol} \\
 &= 2902,955 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \beta_{\text{Verdünnung } 6} &= \frac{\beta_{\text{Streptomycin}}}{(f_{\text{Verdünnung}})^{n_{\text{Verdünnungen}}}} \\
 &= \frac{2902,955 \text{ mg/L}}{5^6} \\
 &= 0,18578912 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d_{\text{Streptomycin}} &= \frac{m_{\text{Applikation}}}{m_{\text{Ratte}}} \\
 m_{\text{Applikation}} &= d_{\text{Streptomycin}} \cdot m_{\text{Ratte}} \\
 &= 2,5 \text{ } \mu\text{g/kg} \cdot 1,152 \text{ kg} \\
 &= 2,88 \text{ } \mu\text{g}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Applikation}} &= \frac{m_{\text{Applikation}}}{\beta_{\text{Verdünnung } 6}} \\
 &= \frac{2,88 \text{ } \mu\text{g}}{0,18578912 \text{ } \mu\text{g/mL}} \\
 &= \underline{\underline{15,50 \text{ mL}}}
 \end{aligned}$$

4.4.24.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 \beta_{\text{Wirkstoff}} &= 50,00 \text{ g/L} \\
 \beta_{\text{Verdünnung } 2} &= 8 \text{ g/L} \\
 n_{\text{Verdünnungen}} &= 2 \\
 V_{\text{Wasser}} &= 15 \text{ mL}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$V_{\text{Übertrag}}$$

Berechnung:

$$\beta_{\text{Verdünnung 2}} = \frac{\beta_{\text{Wirkstoff}}}{(f_{\text{Verdünnung}})^2}$$

$$\begin{aligned} (f_{\text{Verdünnung}})^2 &= \frac{\beta_{\text{Wirkstoff}}}{\beta_{\text{Verdünnung 2}}} \\ &= \frac{50,00 \text{ g/L}}{8 \text{ g/L}} \\ &= 6,25 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{\text{Verdünnung}} &= \sqrt{(f_{\text{Verdünnung}})^2} \\ &= \sqrt{6,25} \\ &= 2,5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{\text{Verdünnung}} &= \frac{V_{\text{auffüllen}}}{V_{\text{Übertrag}}} \\ &= \frac{V_{\text{Wasser}} + V_{\text{Übertrag}}}{V_{\text{Übertrag}}} \end{aligned}$$

$$f_{\text{Verdünnung}} \cdot V_{\text{Übertrag}} = V_{\text{Wasser}} + V_{\text{Übertrag}}$$

$$f_{\text{Verdünnung}} \cdot V_{\text{Übertrag}} - V_{\text{Übertrag}} = V_{\text{Wasser}}$$

$$V_{\text{Übertrag}} \cdot (f_{\text{Verdünnung}} - 1) = V_{\text{Wasser}}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{Übertrag}} &= \frac{V_{\text{Wasser}}}{f_{\text{Verdünnung}} - 1} \\ &= \frac{15 \text{ mL}}{2,5 - 1} \\ &= \underline{\underline{10,00 \text{ mL}}} \end{aligned}$$

13.5 Lösungen Kap. 5 – Massenanteile in Verbindungen

13.5.1 Lösungen Abschn. 5.1 – Massenanteile

5.1.1.

gegeben:

$$\begin{aligned} m_{\text{Glucose}} &= 50 \text{ g} \\ M_{\text{Glucose}} &= 180,15894 \text{ g/mol} \\ M_{\text{Sauerstoff}} &= 15,9994 \text{ g/mol} \\ n_{\text{Sauerstoff}} &= 6 \quad (\text{Anzahl O pro Glucose}) \end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{Sauerstoff}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} w_{\text{Sauerstoff}} &= \frac{6 \cdot M_{\text{Sauerstoff}}}{M_{\text{Glucose}}} \\ &= \frac{6 \cdot 15,9994 \text{ g/mol}}{180,15894 \text{ g/mol}} \\ &= 0,532843 \text{ g/g} \\ m_{\text{Sauerstoff}} &= w_{\text{Sauerstoff}} \cdot m_{\text{Glucose}} \\ &= 0,532843 \text{ g/g} \cdot 50 \text{ g} \\ &= \underline{\underline{26,64 \text{ g}}} \end{aligned}$$

5.1.2.

gegeben:

$$\begin{aligned} \beta_{\text{Harnstoff}} &= 8,271 \text{ g}/400 \text{ mL} = 20,6775 \text{ g/L} \\ M_{\text{Harnstoff}} &= 60,05583 \text{ g/mol} \\ M_{\text{N}} &= 14,0067 \text{ g/mol} \end{aligned}$$

gesucht:

$$\beta_{\text{Stickstoff}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 w_{\text{Stickstoff}} &= \frac{M_{\text{N}}}{M_{\text{Harnstoff}}} \\
 &= \frac{2 \cdot 14,0067 \text{ g/mol}}{60,05583 \text{ g/mol}} \\
 &= 0,4664559627 \text{ g/g} \\
 \beta_{\text{Stickstoff}} &= \beta_{\text{Harnstoff}} \cdot w_{\text{Stickstoff}} \\
 &= 20,6775 \text{ g/L} \cdot 0,4664559627 \text{ g/g} \\
 &= \underline{\underline{9,645 \text{ g/L}}}
 \end{aligned}$$

5.1.3.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 \beta_{\text{Nitrat}} &= 0,5 \text{ g/L} \\
 V_{\text{Lösung}} &= 200 \text{ L} \\
 M_{\text{Nitrat}} &= 62,0049 \text{ g/mol} \\
 M_{\text{Kaliumnitrat}} &= 101,1032 \text{ g/mol}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{Kaliumnitrat}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 c_{\text{Nitrat}} &= \frac{\beta_{\text{Nitrat}}}{M_{\text{Nitrat}}} \\
 &= \frac{0,5 \text{ g/L}}{62,0049 \text{ g/mol}} \\
 &= 8,06387882248 \text{ mmol/L} \\
 c_{\text{Nitrat}} &= c_{\text{Kaliumnitrat}} \\
 &= 8,06387882248 \text{ mmol/L} \\
 \beta_{\text{Kaliumnitrat}} &= c_{\text{Kaliumnitrat}} \cdot M_{\text{Kaliumnitrat}} \\
 &= 8,06387882248 \text{ mmol/L} \cdot 101,1032 \text{ g/mol} \\
 &= 0,8152839534 \text{ g/L} \\
 m_{\text{Kaliumnitrat}} &= \beta_{\text{Kaliumnitrat}} \cdot V_{\text{Lösung}} \\
 &= 0,8152839534 \text{ g/L} \cdot 200 \text{ L} \\
 &= \underline{\underline{163,1 \text{ g}}}
 \end{aligned}$$

5.1.4.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 M_{\text{N}} &= 14,0067 \text{ g/mol} \\
 M_{\text{Glutamin}} &= 146,146 \text{ g/mol} \\
 n_{\text{N}} &= 2
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$w_{\text{Stickstoff}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 w_{\text{Stickstoff}} &= \frac{n_{\text{N}} \cdot M_{\text{N}}}{M_{\text{Glutamin}}} \\
 &= \frac{2 \cdot 14,0067 \text{ g/mol}}{146,146 \text{ g/mol}} \\
 &= \underline{\underline{19,17 \%}}
 \end{aligned}$$

5.1.5.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 \beta_{\text{N}} &= 660 \text{ mg/m}^3 \\
 w_{\text{Nitrat}} &= 50 \% \\
 M_{\text{N}} &= 14,0067 \text{ g/mol} \\
 M_{\text{Nitrat}} &= 62,0049 \text{ g/mol}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$\beta_{\text{Nitrat}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 c_{\text{Stickstoff}} &= \frac{\beta_{\text{N}}}{M_{\text{N}}} \\
 &= \frac{660 \text{ mg/m}^3}{14,0067 \text{ mg/mmol}} \\
 &= 47,12030671 \text{ mmol/m}^3 \\
 c_{\text{Nitrat}} &= c_{\text{Stickstoff}} \cdot w_{\text{Nitrat}} \\
 &= 47,12030671 \text{ mmol/m}^3 \cdot 50 \% \\
 &= 23,56015336 \text{ mmol/m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \beta_{\text{Nitrat}} &= c_{\text{Nitrat}} \cdot M_{\text{Nitrat}} \\
 &= 23,56015336 \text{ mmol/m}^3 \cdot 62,0049 \text{ mg/mmol} \\
 &= 1460,844953 \text{ mg/m}^3 \\
 &= \underline{\underline{1,461 \text{ g/m}^3}}
 \end{aligned}$$

5.1.6.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 M_{\text{Chlorophyll b}} &= 895,475 \text{ g/mol} \\
 w_{\text{O}} &= 8,966 \% \\
 w_{\text{N}} &= 6,257 \% \\
 M_{\text{O}} &= 15,9994 \text{ g/mol} \\
 M_{\text{N}} &= 14,0067 \text{ g/mol}
 \end{aligned}$$

gesucht:

 n_{O} und n_{N} (pro Chlorophyll-b-Molekül)

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 w_{\text{O}} &= \frac{n_{\text{O}} \cdot M_{\text{O}}}{M_{\text{Chlorophyll b}}} \\
 n_{\text{O}} &= \frac{w_{\text{O}} \cdot M_{\text{Chlorophyll b}}}{M_{\text{O}}} \\
 &= \frac{0,08966 \text{ g/g} \cdot 895,475 \text{ g/mol}}{15,9994 \text{ g/mol}} \\
 &= \underline{\underline{5}} \quad (\text{gerundet}) \\
 w_{\text{N}} &= \frac{n_{\text{N}} \cdot M_{\text{N}}}{M_{\text{Chlorophyll b}}} \\
 n_{\text{N}} &= \frac{w_{\text{N}} \cdot M_{\text{Chlorophyll b}}}{M_{\text{N}}} \\
 &= \frac{0,06257 \text{ g/g} \cdot 895,475 \text{ g/mol}}{14,0067 \text{ g/mol}} \\
 &= \underline{\underline{4}} \quad (\text{gerundet})
 \end{aligned}$$

5.1.7.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Erythrocyte}} &= 10^{-10} \text{ g} \\
 w_{\text{Hämoglobin}} &= 1/3 = 0,3333333 \text{ g/g} \\
 w_{\text{Fe}} &= 3 \text{ g/kg} \\
 M_{\text{Fe}} &= 55,847 \text{ g/mol} \\
 N_{\text{Avogadro}} &= 6,022 \cdot 10^{23}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$n_{\text{Fe/Erythrocyte}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Hämoglobin}} &= m_{\text{Erythrocyte}} \cdot w_{\text{Hämoglobin}} \\
 &= 10^{-10} \text{ g} \cdot 1/3 \\
 &= 3,33333 \cdot 10^{-11} \text{ g} \\
 &= 3,33333 \cdot 10^{-14} \text{ kg} \\
 m_{\text{Fe/Erythrocyte}} &= m_{\text{Hämoglobin}} \cdot w_{\text{Fe}} \\
 &= 3,33333 \cdot 10^{-14} \text{ kg} \cdot 3 \text{ g/kg} \\
 &= 10^{-13} \text{ g} \\
 n_{\text{Fe/Erythrocyte}} &= \frac{m_{\text{Fe/Erythrocyte}}}{M_{\text{Fe}}} \\
 &= \frac{10^{-13} \text{ g} \cdot 6,022 \cdot 10^{23} \text{ Atome/mol}}{55,847 \text{ g/mol}} \\
 &= \underline{\underline{1,078 \cdot 10^9 \text{ Fe-Atome}}} \quad (\text{pro Erythrocyte})
 \end{aligned}$$

5.1.8.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 \beta_{\text{Brenztraubensäure}} &= 0,1761 \text{ g/L} \\
 M_{\text{Brenztraubensäure}} &= 88,0628 \text{ g/mol} \\
 M_{\text{Na-Pyruvat}} &= 110,04467 \text{ g/mol} \\
 V_{\text{total}} &= 2,5 \text{ L}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{Na-Pyruvat}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Brenztraubensäure}} &= \beta_{\text{Brenztraubensäure}} \cdot V_{\text{total}} \\
 &= 0,1761 \text{ g/L} \cdot 2,5 \text{ L} \\
 &= 0,44025 \text{ g} \\
 n_{\text{Brenztraubensäure}} &= \frac{m_{\text{Brenztraubensäure}}}{M_{\text{Brenztraubensäure}}} \\
 &= \frac{0,44025 \text{ g}}{88,0628 \text{ g/mol}} \\
 &= 0,0049992732 \text{ mol} \\
 n_{\text{Na-Pyruvat}} &= n_{\text{Brenztraubensäure}} \\
 &= 0,0049992732 \text{ mol} \\
 m_{\text{Na-Pyruvat}} &= n_{\text{Na-Pyruvat}} \cdot M_{\text{Na-Pyruvat}} \\
 &= 0,0049992732 \text{ mol} \cdot 110,04467 \text{ g/mol} \\
 &= \underline{\underline{550,0 \text{ mg}}}
 \end{aligned}$$

5.1.9.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 V_1 &= 50 \text{ mL} \\
 V_{\text{total}} &= 1000 \text{ mL} \\
 \beta_{\text{N}} &= 309,8 \text{ } \mu\text{g/L} \\
 w_{\text{Ammonium}} &= 93,88 \% \\
 M_{\text{N}} &= 14,0067 \text{ g/mol} \\
 M_{\text{Ammonium}} &= 18,0383 \text{ g/mol}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$\beta_{\text{Ammonium}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 \beta_{\text{N unverdünnt}} &= \frac{\beta_{\text{N}} \cdot V_{\text{total}}}{V_1} \\
 &= \frac{309,8 \text{ } \mu\text{g/L} \cdot 1000 \text{ mL}}{50 \text{ mL}} \\
 &= 6196 \text{ } \mu\text{g/L} \\
 &= 6,196 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c_{\text{N unverdünnt}} &= \frac{\beta_{\text{N unverdünnt}}}{M_{\text{N}}} \\
 &= \frac{6,196 \text{ mg/L}}{14,0067 \text{ } \mu\text{g}/\mu\text{mol}} \\
 &= 0,4423597278 \text{ mmol/L} \\
 c_{\text{Ammonium}} &= c_{\text{N unverdünnt}} \cdot w_{\text{Ammonium}} \\
 &= 0,4423597278 \text{ mmol/L} \cdot 0,9388 \\
 &= 0,4152873125 \text{ mmol/L} \\
 \beta_{\text{Ammonium}} &= c_{\text{Ammonium}} \cdot M_{\text{Ammonium}} \\
 &= 0,4152873125 \text{ mmol/L} \cdot 18,0383 \text{ } \mu\text{g}/\mu\text{mol} \\
 &= \underline{\underline{7,491 \text{ mg/L}}}
 \end{aligned}$$

5.1.10.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Hämoglobin}} &= 29,98 \text{ pg} \quad (\text{pro Erythrocyte}) \\
 c_{\text{Erythrocyte}} &= 5,011 \cdot 10^6 \text{ Zellen}/\mu\text{L} \\
 V_{\text{Blut}} &= 5,213 \text{ L} \\
 w_{\text{Fe}} &= 0,347 \%
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{Fe}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 n_{\text{Erythrocyte}} &= c_{\text{Erythrocyten}} \cdot V_{\text{Blut}} \\
 &= 5,011 \cdot 10^6 \text{ Zellen}/\mu\text{L} \cdot 5,213 \cdot 10^6 \mu\text{L} \\
 &= 2,6122343 \cdot 10^{13} \text{ Zellen} \\
 m_{\text{Hämoglobin total}} &= m_{\text{Hämoglobin}} \cdot n_{\text{Erythrocyte}} \\
 &= 29,98 \text{ pg/Zelle} \cdot 2,6122343 \cdot 10^{13} \text{ Zellen} \\
 &= 7,8314784 \cdot 10^{14} \text{ pg} \\
 &= 783,14784 \text{ g} \\
 m_{\text{Fe}} &= m_{\text{Hämoglobin total}} \cdot w_{\text{Fe}} \\
 &= 783,14784 \text{ g} \cdot 0,347 \% \\
 &= \underline{\underline{2,718 \text{ g}}}
 \end{aligned}$$

5.1.11.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 M_{\text{Asparagin}} &= 132,118 \text{ g/mol} \\
 n_{\text{N/Asparagin}} &= 2 \\
 \beta_{\text{N}} &= 84,52 \text{ mg/L} \\
 M_{\text{N}} &= 14,0067 \text{ g/mol}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$\beta_{\text{Asparagin}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 c_{\text{N}} &= \frac{\beta_{\text{N}}}{M_{\text{N}}} \\
 &= \frac{84,52 \text{ mg/L}}{14,0067 \text{ mg/mmol}} \\
 &= 6,034255035 \text{ mmol/L} \\
 c_{\text{Asparagin}} &= \frac{c_{\text{N}}}{n_{\text{N/Asparagin}}} \\
 &= \frac{6,034255035 \text{ mmol/L}}{2} \\
 &= 3,017127518 \text{ mmol/L} \\
 \beta_{\text{Asparagin}} &= c_{\text{Asparagin}} \cdot M_{\text{Asparagin}} \\
 &= 3,017127 \text{ mmol/L} \cdot 132,118 \text{ mg/mmol} \\
 &= \underline{\underline{398,6 \text{ mg/L}}}
 \end{aligned}$$

5.1.12.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 \beta_{\text{N}} &= 8 \text{ g/L} \\
 M_{\text{Cycloserin}} &= 102,0926 \text{ g/mol} \\
 M_{\text{N}} &= 14,0067 \text{ g/mol} \\
 n_{\text{N/Cycloserin}} &= 2
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$\beta_{\text{Cycloserin}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 c_{\text{N}} &= \frac{\beta_{\text{N}}}{M_{\text{N}}} \\
 &= \frac{8 \text{ g/L}}{14,0067 \text{ g/mol}} \\
 &= 0,5711552329 \text{ mol/L} \\
 c_{\text{Cycloserin}} &= \frac{c_{\text{N}}}{n_{\text{N/Cycloserin}}} \\
 &= \frac{0,5711552329 \text{ mol/L}}{2} \\
 &= 0,28557762 \text{ mol/L} \\
 \beta_{\text{Cycloserin}} &= c_{\text{Cycloserin}} \cdot M_{\text{Cycloserin}} \\
 &= 0,28557762 \text{ mol/L} \cdot 102,0926 \text{ g/mol} \\
 &= \underline{\underline{29,16 \text{ g/L}}}
 \end{aligned}$$

5.1.13.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 w_{\text{N}} &= 0,036 \text{ g/g} \\
 m_{\text{Stärkungsmittel}} &= 100 \text{ g} \\
 M_{\text{Glutamin}} &= 146,1456 \text{ g/mol} \\
 M_{\text{N}} &= 14,0067 \text{ g/mol} \\
 n_{\text{N/Glutamin}} &= 2
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{Glutamin}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{N}} &= m_{\text{Stärkungsmittel}} \cdot w_{\text{N}} \\
 &= 100 \text{ g} \cdot 0,036 \text{ g/g} \\
 &= 3,6 \text{ g} \\
 n_{\text{N}} &= \frac{m_{\text{N}}}{M_{\text{N}}} \\
 &= \frac{3,6 \text{ g}}{14,0067 \text{ g/mol}} \\
 &= 0,2570198548 \text{ mol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n_{\text{Glutamin}} &= \frac{n_{\text{N}}}{n_{\text{N/Glutamin}}} \\
 &= \frac{0,2570198548 \text{ mol}}{2} \\
 &= 0,1285099274 \text{ mol} \\
 m_{\text{Glutamin}} &= n_{\text{Glutamin}} \cdot M_{\text{Glutamin}} \\
 &= 0,1285099274 \text{ mol} \cdot 146,1456 \text{ g/mol} \\
 &= \underline{\underline{18,78 \text{ g}}}
 \end{aligned}$$

5.1.14.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 M_{\text{Phenacetin}} &= 179,2182 \text{ g/mol} \\
 M_{\text{Glucose}} &= 180,1572 \text{ g/mol} \\
 M_{\text{N}} &= 14,0067 \text{ g/mol} \\
 w_{\text{N}} &= 0,0390 \text{ g/g} \\
 m_{\text{total}} &= 100 \text{ g}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$w_{\text{Glucose}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{N}} &= w_{\text{N}} \cdot m_{\text{total}} \\
 &= 0,0390 \text{ g/g} \cdot 100 \text{ g} \\
 &= 3,9 \text{ g} \\
 n_{\text{N}} &= \frac{m_{\text{N}}}{M_{\text{N}}} \\
 &= \frac{3,9 \text{ g}}{14,0067 \text{ g/mol}} \\
 &= 0,278438176 \text{ mol} \\
 n_{\text{Phenacetin}} &= n_{\text{N}} \\
 &= 0,278438176 \text{ mol} \\
 m_{\text{Phenacetin}} &= n_{\text{Phenacetin}} \cdot M_{\text{Phenacetin}} \\
 &= 0,278438176 \text{ mol} \cdot 179,2182 \text{ g/mol} \\
 &= 49,90118871 \text{ g}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Glucose}} &= m_{\text{total}} - m_{\text{Phenacetin}} \\
 &= 100 \text{ g} - 49,90118871 \text{ g} \\
 &= 50,09881129 \text{ g} \\
 w_{\text{Glucose}} &= \frac{m_{\text{Glucose}}}{m_{\text{total}}} \\
 &= \frac{50,09881129 \text{ g}}{100 \text{ g}} \\
 &= \underline{\underline{50,10 \text{ g}/100 \text{ g}}}
 \end{aligned}$$

5.1.15.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{TM}} &= 7,5 \text{ g} \\
 w_{\text{Asche}} &= 17,2 \% \\
 w_{\text{MgO in Asche}} &= 7,4 \% \\
 M_{\text{MgO}} &= 40,3044 \text{ g/mol} \\
 M_{\text{Mg}} &= 24,305 \text{ g/mol}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{aufgenommenes Mg}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Asche}} &= m_{\text{TM}} \cdot w_{\text{Asche}} \\
 &= 7,5 \text{ g} \cdot 0,172 \text{ g/g} \\
 &= 1,29 \text{ g} \\
 m_{\text{MgO}} &= m_{\text{Asche}} \cdot w_{\text{MgO in Asche}} \\
 &= 1,29 \text{ g} \cdot 0,074 \text{ g/g} \\
 &= 0,09546 \text{ g} \\
 &= 95,46 \text{ mg} \\
 m_{\text{aufgenommenes Mg}} &= m_{\text{MgO}} \cdot \frac{M_{\text{Mg}}}{M_{\text{MgO}}} \\
 &= 95,46 \text{ mg} \cdot \frac{24,305 \text{ g/mol}}{40,3044 \text{ g/mol}} \\
 &= \underline{\underline{57,57 \text{ mg}}}
 \end{aligned}$$

5.1.16.

gegeben:

$$V_1 = 12 \text{ L}$$

$$\beta_{\text{FeHPO}_4} = 24 \text{ g/L}$$

$$V_2 = 25 \text{ L}$$

$$\beta_{\text{Fe(OH)}_3} = 6 \text{ g/L}$$

$$M_{\text{FeHPO}_4} = 151,82626 \text{ g/mol}$$

$$M_{\text{Fe(OH)}_3} = 106,8689 \text{ g/mol}$$

$$M_{\text{Fe}} = 55,847 \text{ g/mol}$$

gesucht:

$$c_{\text{Fe}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} c_{\text{FeHPO}_4} &= \frac{\beta_{\text{FeHPO}_4}}{M_{\text{FeHPO}_4}} \\ &= \frac{24 \text{ g/L}}{151,82626 \text{ g/mol}} \\ &= 0,1580754212 \text{ mol/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_{\text{FeHPO}_4} &= c_{\text{FeHPO}_4} \cdot V_1 \\ &= 0,1580754212 \text{ mol/L} \cdot 12 \text{ L} \\ &= 1,896905054 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c_{\text{Fe(OH)}_3} &= \frac{\beta_{\text{Fe(OH)}_3}}{M_{\text{Fe(OH)}_3}} \\ &= \frac{6 \text{ g/L}}{106,8689 \text{ g/mol}} \\ &= 0,0561435553 \text{ mol/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_{\text{Fe(OH)}_3} &= c_{\text{Fe(OH)}_3} \cdot V_2 \\ &= 0,1580754212 \text{ mol/L} \cdot 25 \text{ L} \\ &= 1,403588883 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_{\text{Fe}} &= n_{\text{FeHPO}_4} + n_{\text{Fe(OH)}_3} \\ &= 1,896905054 \text{ mol} + 1,403588883 \text{ mol} \\ &= 3,300493937 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c_{\text{Fe}} &= \frac{n_{\text{Fe}}}{V_1 + V_2} \\
 &= \frac{3,300493937 \text{ mol}}{12 \text{ L} + 25 \text{ L}} \\
 &= \underline{\underline{89,20 \text{ mmol/L}}}
 \end{aligned}$$

5.1.17.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 n_{\text{Tabletten}} &= 20 \\
 m_{\text{Tablette}} &= 8,52 \text{ g} \\
 m_{\text{S in 20 Tabletten}} &= 89,52 \text{ mg} \\
 M_{\text{Penicillin}} &= 334,3892 \text{ g/mol} \quad (\text{C}_{16}\text{H}_{18}\text{N}_2\text{O}_4\text{S}) \\
 M_{\text{S}} &= 32,066 \text{ g/mol}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$w_{\text{Penicillin}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{S/Tablette}} &= \frac{m_{\text{S in 20 Tabletten}}}{n_{\text{Tabletten}}} \\
 &= \frac{89,52 \text{ mg}}{20 \text{ Tabletten}} \\
 &= 4,476 \text{ mg} \\
 n_{\text{S/Tablette}} &= \frac{m_{\text{S/Tablette}}}{M_{\text{S}}} \\
 &= \frac{4,476 \text{ mg}}{32,066 \text{ mg/mmol}} \\
 &= 0,1395871016 \text{ mmol} \\
 n_{\text{Penicillin/Tablette}} &= n_{\text{S/Tablette}} \\
 &= 0,1395871016 \text{ mmol} \\
 m_{\text{Penicillin/Tablette}} &= n_{\text{Penicillin/Tablette}} \cdot M_{\text{Penicillin}} \\
 &= 0,139587 \text{ mmol} \cdot 334,3892 \text{ g/mol} \\
 &= 46,6763852604 \text{ mg} \\
 w_{\text{Penicillin}} &= \frac{m_{\text{Penicillin/Tablette}}}{m_{\text{Tablette}}} \\
 &= \frac{46,6763852604 \text{ mg}}{8520 \text{ mg}} \\
 &= \underline{\underline{0,5478 \%}}
 \end{aligned}$$

5.1.18.

gegeben:

$$m_{\text{N}} = 105 \text{ kg}$$

$$m_{\text{P}} = 15 \text{ kg}$$

$$M_{\text{N}} = 14,0067 \text{ g/mol}$$

$$M_{\text{Ammonium}} = 18,0383 \text{ g/mol}$$

$$M_{\text{P}} = 30,97376 \text{ g/mol}$$

$$M_{\text{Phosphat}} = 94,97136 \text{ g/mol}$$

gesucht:

$$m_{\text{Ammonium}} \text{ und } m_{\text{Phosphat}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} m_{\text{Ammonium}} &= m_{\text{N}} \cdot \frac{M_{\text{Ammonium}}}{M_{\text{N}}} \\ &= 105 \text{ kg} \cdot \frac{18,0383 \text{ g/mol}}{14,0067 \text{ g/mol}} \\ &= \underline{\underline{135,2 \text{ kg}}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_{\text{Phosphat}} &= m_{\text{P}} \cdot \frac{M_{\text{Phosphat}}}{M_{\text{P}}} \\ &= 15 \text{ kg} \cdot \frac{94,97136 \text{ g/mol}}{30,97376 \text{ g/mol}} \\ &= \underline{\underline{45,99 \text{ kg}}} \end{aligned}$$

5.1.19.

gegeben:

$$m_{\text{Mg-Sulfat}} = 12,55 \text{ mg}$$

$$m_{\text{K-Sulfat}} = 83,41 \text{ mg}$$

$$V_1 = 500 \text{ mL}$$

$$V_2 = 20 \text{ mL}$$

$$V_3 = 500 \text{ mL}$$

$$M_{\text{Mg-Sulfat}} = 120,3626 \text{ g/mol}$$

$$M_{\text{K-Sulfat}} = 174,2542 \text{ g/mol}$$

$$M_{\text{Sulfat}} = 96,0576 \text{ g/mol}$$

gesucht:

$$\beta_{\text{Sulfat}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} n_{\text{Mg-Sulfat}} &= \frac{m_{\text{Mg-Sulfat}}}{M_{\text{Mg-Sulfat}}} \\ &= \frac{12,55 \text{ mg}}{120,3626 \text{ mg/mmol}} \\ &= 0,1042682694 \text{ mmol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_{\text{K-Sulfat}} &= \frac{m_{\text{K-Sulfat}}}{M_{\text{K-Sulfat}}} \\ &= \frac{83,41 \text{ mg}}{174,2542 \text{ mg/mmol}} \\ &= 0,4786685199 \text{ mmol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_{\text{Sulfat}} &= n_{\text{Mg-Sulfat}} + n_{\text{K-Sulfat}} \\ &= 0,1042682694 \text{ mmol} + 0,4786685199 \text{ mmol} \\ &= 0,5829367893 \text{ mmol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta_{\text{Sulfat unverdünnt}} &= \frac{m_{\text{Sulfat}}}{V_1} \\ &= \frac{55,99550893 \text{ mg}}{0,5 \text{ L}} \\ &= 111,9910179 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta_{\text{Sulfat verdünnt}} &= \frac{\beta_{\text{Sulfat unverdünnt}} \cdot V_2}{V_1} \\ &= \frac{111,9910179 \text{ mg/L} \cdot 20 \text{ mL}}{500 \text{ mL}} \\ &= \underline{\underline{4,480 \text{ mg/L}}} \end{aligned}$$

13.5.2 Lösungen Abschn. 5.2 – Kristallwasser

5.2.1.

gegeben:

$$\begin{aligned} m_{\text{Co-Sulfat} \cdot 7 \text{H}_2\text{O}} &= 128 \text{ g} \\ m_{\text{Wasser}} &= 525 \text{ g} \\ M_{\text{Co-Sulfat}} &= 154,9908 \text{ g/mol} \\ M_{\text{Co-Sulfat} \cdot 7 \text{H}_2\text{O}} &= 281,0972 \text{ g/mol} \end{aligned}$$

gesucht:

$$w_{\text{Co-Sulfat in Lösung}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 w_{\text{Co-Sulfat}} &= \frac{M_{\text{Co-Sulfat}}}{M_{\text{Co-Sulfat} \cdot 7 \text{H}_2\text{O}}} \\
 &= \frac{154,9908 \text{ g/mol}}{281,0972 \text{ g/mol}} \\
 &= 55,13780 \% \\
 m_{\text{Co-Sulfat}} &= w_{\text{Co-Sulfat}} \cdot m_{\text{Co-Sulfat} \cdot 7 \text{H}_2\text{O}} \\
 &= 55,13780 \% \cdot 128 \text{ g} \\
 &= 70,57638 \text{ g} \\
 m_{\text{total}} &= m_{\text{Wasser}} + m_{\text{Co-Sulfat} \cdot 7 \text{H}_2\text{O}} \\
 &= 525 \text{ g} + 128 \text{ g} \\
 &= 653 \text{ g} \\
 w_{\text{Co-Sulfat in Lösung}} &= \frac{m_{\text{Co-Sulfat}}}{m_{\text{total}}} \\
 &= \frac{70,57638 \text{ g}}{653 \text{ g}} \\
 &= \underline{\underline{10,81 \%}}
 \end{aligned}$$

5.2.2.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Lösung}} &= 2 \text{ L} \\
 c_{3\text{-Na-Citrat}} &= 0,5 \text{ mol/L} \\
 M_{3\text{-Na-Citrat-Dihydrat}} &= 294,09651 \text{ g/mol}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{3\text{-Na-Citrat-Dihydrat}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 c_{3\text{-Na-Citrat}} &= \frac{n_{3\text{-Na-Citrat}}}{V_{\text{Lösung}}} \\
 n_{3\text{-Na-Citrat}} &= c_{3\text{-Na-Citrat}} \cdot V_{\text{Lösung}} \\
 &= 0,5 \text{ mol/L} \cdot 2 \text{ L} \\
 &= 1 \text{ mol} \\
 n_{3\text{-Na-Citrat}} &= n_{3\text{-Na-Citrat-Dihydrat}} \\
 &= 1 \text{ mol} \\
 m_{3\text{-Na-Citrat-Dihydrat}} &= n_{3\text{-Na-Citrat-Dihydrat}} \cdot M_{3\text{-Na-Citrat-Dihydrat}} \\
 &= 1 \text{ mol} \cdot 294,09651 \text{ g/mol} \\
 &= \underline{\underline{294,1 \text{ g}}}
 \end{aligned}$$

5.2.3.

gegeben:

$$c_{\text{Ca-Chlorid}} = 2 \text{ mol/L}$$

$$V_{\text{Lösung}} = 5 \text{ L}$$

$$M_{\text{Ca-Chlorid-Dihydrat}} = 147,01396 \text{ g/mol}$$

gesucht:

$$m_{\text{Ca-Chlorid-Dihydrat}}$$

Berechnung:

$$c_{\text{Ca-Chlorid}} = \frac{n_{\text{Ca-Chlorid}}}{V_{\text{Lösung}}}$$

$$\begin{aligned} n_{\text{Ca-Chlorid}} &= c_{\text{Ca-Chlorid}} \cdot V_{\text{Lösung}} \\ &= 2 \text{ mol/L} \cdot 5 \text{ L} \\ &= 10 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_{\text{Ca-Chlorid}} &= n_{\text{Ca-Chlorid-Dihydrat}} \\ &= 10 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_{\text{Ca-Chlorid-Dihydrat}} &= n_{\text{Ca-Chlorid-Dihydrat}} \cdot M_{\text{Ca-Chlorid-Dihydrat}} \\ &= 10 \text{ mol} \cdot 147,01396 \text{ g/mol} \\ &= 1470,1396 \text{ g} \\ &= \underline{\underline{1,470 \text{ kg}}} \end{aligned}$$

5.2.4.

gegeben:

$$V_{\text{Lösung}} = 20 \text{ mL}$$

$$c_{\text{Mg-Chlorid}} = 120 \text{ mmol/L}$$

$$M_{\text{Mg-Chlorid-Hexahydrat}} = 203,3022 \text{ g/mol}$$

gesucht:

$$m_{\text{Mg-Chlorid-Hexahydrat}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}n_{\text{Mg-Chlorid}} &= c_{\text{Mg-Chlorid}} \cdot V_{\text{Lösung}} \\ &= 120 \text{ mmol/L} \cdot 0,02 \text{ L} \\ &= 2,4 \text{ mmol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}n_{\text{Mg-Chlorid}} &= n_{\text{Mg-Chlorid-Hexahydrat}} \\ &= 2,4 \text{ mmol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}m_{\text{Mg-Chlorid-Hexahydrat}} &= n_{\text{Mg-Chlorid-Hexahydrat}} \cdot M_{\text{Mg-Chlorid-Hexahydrat}} \\ &= 2,4 \text{ mmol} \cdot 203,3022 \text{ mg/mmol} \\ &= \underline{\underline{487,9 \text{ mg}}}\end{aligned}$$

5.2.5.

gegeben:

$$\begin{aligned}m_{\text{Fe}} &= 100 \text{ mg} \\ M_{\text{Fe}} &= 55,847 \text{ g/mol} \\ M_{\text{Substanz}} &= 392,1276 \text{ g/mol}\end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{Substanz}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}n_{\text{Fe}} &= \frac{m_{\text{Fe}}}{M_{\text{Fe}}} \\ &= \frac{100 \text{ mg}}{55,847 \text{ g/mol}} \\ &= 1,790606478 \text{ mmol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}n_{\text{Substanz}} &= n_{\text{Fe}} \\ &= 1,790606478 \text{ mmol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}m_{\text{Substanz}} &= n_{\text{Substanz}} \cdot M_{\text{Substanz}} \\ &= 1,790606478 \text{ mmol} \cdot 392,1276 \text{ mg/mmol} \\ &= \underline{\underline{0,7021 \text{ g}}}\end{aligned}$$

5.2.6.

gegeben:

$$\begin{aligned}\alpha_{\text{Lösung}} &= 1 \text{ mL/kg} \\ d_{\text{Atropin}} &= 0,5 \text{ } \mu\text{mol/kg} \\ V_{\text{Lösung}} &= 50 \text{ mL} \\ M_{\text{Atropinsulfat-Monohydrat}} &= 694,8358 \text{ g/mol}\end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{Atropinsulfat-Monohydrat}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} n_{\text{Atropin}} &= \frac{d_{\text{Atropin}} \cdot V_{\text{Lösung}}}{\alpha_{\text{Lösung}}} \\ &= \frac{0,5 \mu\text{mol/kg} \cdot 50 \text{ mL}}{1 \text{ mL/kg}} \\ &= 25 \mu\text{mol} \\ m_{\text{Atropinsulfat-Monohydrat}} &= \frac{n_{\text{Atropin}}}{2} \cdot M_{\text{Atropinsulfat-Monohydrat}} \\ &= \frac{25 \mu\text{mol}}{2} \cdot 694,8358 \mu\text{g}/\mu\text{mol} \\ &= 8685,4475 \mu\text{g} \\ &= \underline{\underline{8,685 \text{ mg}}} \end{aligned}$$

5.2.7.

gegeben:

$$\begin{aligned} m_{\text{Na-Borat-Decahydrat}} &= 9,55 \text{ g} \\ V &= 250 \text{ mL} \\ M_{\text{Natriumborat-Decahydrat}} &= 381,36734 \text{ g/mol} \\ M_{\text{Na}} &= 22,98977 \text{ g/mol} \end{aligned}$$

gesucht:

$$\beta_{\text{Na}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} n_{\text{Na-Borat-Decahydrat}} &= \frac{m_{\text{Na-Borat-Decahydrat}}}{M_{\text{Natriumborat-Decahydrat}}} \\ &= \frac{9,55 \text{ g}}{381,36734 \text{ g/mol}} \\ &= 25,04147313716 \text{ mmol} \\ n_{\text{Na}} &= n_{\text{Na-Borat-Decahydrat}} \cdot 2 \\ &= 50,08294627432 \text{ mmol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Na}} &= n_{\text{Na}} \cdot M_{\text{Na}} \\
 &= 50,082946 \text{ mmol} \cdot 22,98977 \text{ mg/mmol} \\
 &= 1151,39541 \text{ mg} \\
 &= 1,15139541 \text{ g} \\
 \beta_{\text{Na}} &= \frac{m_{\text{Na}}}{V_{\text{Lösung}}} \\
 &= \frac{1,15139541 \text{ g}}{0,25 \text{ L}} \\
 &= \underline{\underline{4,606 \text{ g/L}}}
 \end{aligned}$$

5.2.8.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 n_{\text{Atropin}} &= 1,15 \text{ } \mu\text{mol} \\
 n_{\text{Atropin/Atropinsulfat-Monohydrat}} &= 2 \\
 M_{\text{Atropinsulfat-Monohydrat}} &= 694,8358 \text{ g/mol}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{Atropinsulfat-Monohydrat}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Atropinsulfat-Monohydrat}} &= \frac{n_{\text{Atropin}} \cdot M_{\text{Atropinsulfat-Monohydrat}}}{n_{\text{Atropin/Atropinsulfat-Monohydrat}}} \\
 &= \frac{1,15 \text{ } \mu\text{mol} \cdot 694,8358 \text{ } \mu\text{g}/\mu\text{mol}}{2} \\
 &= 399,5 \text{ } \mu\text{g} \\
 &= \underline{\underline{0,3995 \text{ mg}}}
 \end{aligned}$$

5.2.9.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Substanz}} &= 7,38 \text{ g} \\
 m_{\text{Wasser}} &= 3,59 \text{ g} \\
 M_{\text{Al-Sulfat}} &= 342,13588 \text{ g/mol} \\
 M_{\text{Wasser}} &= 18,0152 \text{ g/mol}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$n_{\text{Wasser/Al-Sulfat}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Al-Sulfat}} &= m_{\text{Substanz}} - m_{\text{Wasser}} \\
 &= 7,38 \text{ g} - 3,59 \text{ g} \\
 &= 3,79 \text{ g} \\
 n_{\text{Al-Sulfat}} &= \frac{m_{\text{Al-Sulfat}}}{M_{\text{Al-Sulfat}}} \\
 &= \frac{3,79 \text{ g}}{342,13588 \text{ g/mol}} \\
 &= 0,0110774701 \text{ mol} \\
 n_{\text{Wasser}} &= \frac{m_{\text{Wasser}}}{M_{\text{Wasser}}} \\
 &= \frac{3,59 \text{ g}}{18,0152 \text{ g/mol}} \\
 &= 0,1992761668 \text{ mol} \\
 n_{\text{Wasser/Al-Sulfat}} &= \frac{0,1992761668 \text{ mol}}{0,0110774701 \text{ mol}} \\
 &= \underline{\underline{18}}
 \end{aligned}$$

5.2.10.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Soda}} &= 15 \text{ g} \\
 m_{\text{Wasser}} &= 9,45 \text{ g} \\
 M_{\text{Na-Carbonat}} &= 105,98874 \text{ g/mol} \\
 M_{\text{Wasser}} &= 18,0152 \text{ g/mol}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$n_{\text{Wasser/Na-Carbonat}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Na-Carbonat}} &= m_{\text{Soda}} - m_{\text{Wasser}} \\
 &= 15 \text{ g} - 9,45 \text{ g} \\
 &= 5,55 \text{ g} \\
 n_{\text{Na-Carbonat}} &= \frac{m_{\text{Na-Carbonat}}}{M_{\text{Na-Carbonat}}} \\
 &= \frac{5,55 \text{ g}}{105,98874 \text{ g/mol}} \\
 &= 0,05236405301167 \text{ mol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n_{\text{Wasser}} &= \frac{m_{\text{Wasser}}}{M_{\text{Wasser}}} \\
 &= \frac{9,45 \text{ g}}{18,0152 \text{ g/mol}} \\
 &= 0,52455704072117 \text{ mol} \\
 n_{\text{Wasser/Na-Carbonat}} &= \frac{n_{\text{Wasser}}}{n_{\text{Na-Carbonat}}} \\
 &= \frac{0,52455704072117 \text{ mol}}{0,05236405301167 \text{ mol}} \\
 &= \underline{\underline{10}}
 \end{aligned}$$

5.2.11.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Zinksulfat}} &= 500 \text{ g} \\
 w_1 &= 2 \% \\
 w_{\text{total}} &= 6 \% \\
 M_{\text{Zinksulfat}} &= 161,4316 \text{ g/mol} \\
 M_{\text{Zinksulfat-Heptahydrat}} &= 287,53898 \text{ g/mol}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{Zinksulfat-Heptahydrat}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 w_{\text{Zinksulfat}} &= \frac{M_{\text{Zinksulfat}}}{M_{\text{Zinksulfat-Heptahydrat}}} \\
 &= \frac{161,4316 \text{ g/mol}}{287,53898 \text{ g/mol}} \\
 &= 0,5614250979 \text{ g/g} \\
 w_1 \cdot m_1 + w_2 \cdot m_2 &= w_{\text{total}} \cdot (m_1 + m_2) \\
 &= w_{\text{total}} \cdot m_1 + w_{\text{total}} \cdot m_2 \\
 w_2 \cdot m_2 - w_{\text{total}} \cdot m_2 &= w_{\text{total}} \cdot m_1 - w_1 \cdot m_1 \\
 m_2 \cdot (w_2 - w_{\text{total}}) &= w_{\text{total}} \cdot m_1 - w_1 \cdot m_1 \\
 m_2 &= \frac{w_{\text{total}} \cdot m_1 - w_1 \cdot m_1}{w_2 - w_{\text{total}}} \\
 &= \frac{500 \text{ g} \cdot 0,06 \text{ g/g} - 500 \text{ g} \cdot 0,02 \text{ g/g}}{0,5614250979 \text{ g/g} - 0,06 \text{ g/g}} \\
 &= \underline{\underline{39,89 \text{ g}}}
 \end{aligned}$$

5.2.12.

gegeben:

$$\begin{aligned}\beta_{\text{Mg-Chlorid}} &= 2,8 \text{ g/L} \\ V_{\text{Lösung}} &= 1 \text{ L} \\ M_{\text{Mg-Chlorid}} &= 95,211 \text{ g/mol} \\ M_{\text{Mg-Aspartat}} &= 360,5572 \text{ g/mol}\end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{Mg-Aspartat}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}c_{\text{Mg-Chlorid}} &= \frac{\beta_{\text{Mg-Chlorid}}}{M_{\text{Mg-Chlorid}}} \\ &= \frac{2,8 \text{ g/L}}{95,211 \text{ g/mol}} \\ &= 0,0294083666 \text{ mol/L} \\ c_{\text{Mg-Aspartat}} &= c_{\text{Mg}} \\ &= c_{\text{Mg-Chlorid}} \\ &= 0,0294083666 \text{ mol/L} \\ \beta_{\text{Mg-Aspartat}} &= c_{\text{Mg-Aspartat}} \cdot M_{\text{Mg-Aspartat}} \\ &= 0,0294084 \text{ mol/L} \cdot 360,5572 \text{ g/mol} \\ &= 10,6034104 \text{ g/L} \\ m_{\text{Mg-Aspartat}} &= \beta_{\text{Mg-Aspartat}} \cdot V_{\text{Lösung}} \\ &= 10,6034104 \text{ g/L} \cdot 1 \text{ L} \\ &= \underline{\underline{10,60 \text{ g}}}\end{aligned}$$

5.2.13.

gegeben:

$$\begin{aligned}m_1 &= 160 \text{ g} \\ w_1 &= 3,2 \% \\ w_{\text{total}} &= 3,5 \% \\ M_{\text{Na-Citrat}} &= 258,07061 \text{ g/mol} \\ M_{\text{Na-Citrat-5.5-Hydrat}} &= 357,15421 \text{ g/mol}\end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{Natriumcitrat-5.5-Hydrat}} \quad (= m_2)$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 w_2 &= \frac{M_{\text{Na-Citrat}}}{M_{\text{Na-Citrat-5.5-Hydrat}}} \\
 &= \frac{258,07061 \text{ g/mol}}{357,15421 \text{ g/mol}} \\
 &= 72,25747388 \% \\
 w_1 \cdot m_1 + w_2 \cdot m_2 &= w_{\text{total}} \cdot (m_1 + m_2) \\
 &= w_{\text{total}} \cdot m_1 + w_{\text{total}} \cdot m_2 \\
 w_2 \cdot m_2 - w_{\text{total}} \cdot m_2 &= w_{\text{total}} \cdot m_1 - w_1 \cdot m_1 \\
 m_2 \cdot (w_2 - w_{\text{total}}) &= w_{\text{total}} \cdot m_1 - w_1 \cdot m_1 \\
 m_2 &= \frac{3,5 \% \cdot 160 \text{ g} - 3,2 \% \cdot 160 \text{ g}}{72,25747388 \% - 3,5 \%} \\
 &= 0,6981 \text{ g} \\
 &= \underline{\underline{698,1 \text{ mg}}}
 \end{aligned}$$

5.2.14.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 M_{\text{Glutamin}} &= 146,1456 \text{ g/mol} \\
 M_{\text{Amphetamin}} &= 149,2352 \text{ g/mol} \\
 M_{\text{N}} &= 14,0067 \text{ g/mol} \\
 w_{\text{N}} &= 16,73 \text{ g/100 g} \\
 m_{\text{Gemisch}} &= 100 \text{ g}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{Glutamin}} \text{ und } m_{\text{Amphetamin}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{N}} &= w_{\text{N}} \cdot m_{\text{Gemisch}} \\
 &= 16,73 \% \cdot 100 \text{ g} \\
 &= 16,73 \text{ g} \\
 w_{\text{N}} &= \frac{m_{\text{N}}}{M_{\text{N}}} \\
 &= \frac{16,73 \text{ g}}{14,0067 \text{ g/mol}} \\
 &= 1,19442838 \text{ mol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 w_N &= \frac{2 \cdot m_{\text{Glu}}}{M_{\text{Glu}}} + \frac{m_{\text{Am}}}{M_{\text{Am}}} \\
 &= \frac{2 \cdot m_{\text{Glu}}}{M_{\text{Glu}}} + \frac{m_{\text{Gemisch}} - m_{\text{Glu}}}{M_{\text{Am}}} \\
 &= \frac{2 \cdot m_{\text{Glu}}}{M_{\text{Glu}}} + \frac{m_{\text{Gemisch}}}{M_{\text{Am}}} - \frac{m_{\text{Glu}}}{M_{\text{Am}}} \\
 &= \frac{2 \cdot m_{\text{Glu}}}{M_{\text{Glu}}} - \frac{m_{\text{Glu}}}{M_{\text{Am}}} + \frac{m_{\text{Gemisch}}}{M_{\text{Am}}} \\
 &= m_{\text{Glu}} \cdot \left(\frac{2}{M_{\text{Glu}}} - \frac{1}{M_{\text{Am}}} \right) + \frac{m_{\text{Gemisch}}}{M_{\text{Am}}} \\
 m_{\text{Glu}} \cdot \left(\frac{2}{M_{\text{Glu}}} - \frac{1}{M_{\text{Am}}} \right) &= w_N - \frac{m_{\text{Gemisch}}}{M_{\text{Am}}} \\
 m_{\text{Glu}} &= \frac{w_N - \frac{m_{\text{Gemisch}}}{M_{\text{Am}}}}{\frac{2}{M_{\text{Glu}}} - \frac{1}{M_{\text{Am}}}} \\
 &= \frac{1,19442838 \text{ g} - \frac{100 \text{ g}}{149,2352 \text{ g/mol}}}{\frac{2}{146,1456 \text{ g/mol}} - \frac{1}{149,2352 \text{ g/mol}}} \\
 &= \frac{1,19442838 \text{ mol} - 0,67008320 \text{ mol}}{0,01368498 \text{ mol/g} - 0,00670083 \text{ mol/g}} \\
 &= \frac{0,52434518 \text{ g}}{0,00698415 \text{ mol/g}} \\
 &= \underline{\underline{75,08 \text{ g}}} \\
 m_{\text{Amphetamin}} &= m_{\text{Gemisch}} - m_{\text{Glu}} \\
 &= 100 \text{ g} - 75,076442 \text{ g} \\
 &= \underline{\underline{24,92 \text{ g}}}
 \end{aligned}$$

13.6 Lösungen Kap. 6 – Fotometrie

13.6.1 Lösungen Abschn. 6.2 – Spektrofotometrie

6.2.1.

gegeben:

$$\varepsilon_{\text{Farbstoff}} = 154,2 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm})$$

$$E_{\text{max}} = 0,7216$$

$$d_{\text{Küvette}} = 5 \text{ cm}$$

gesucht:

$$C_{\text{max. Farbstoff}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 E_{\max} &= \varepsilon_{\text{Farbstoff}} \cdot c_{\max. \text{Farbstoff}} \cdot d \\
 c_{\max. \text{Farbstoff}} &= \frac{E_{\max}}{\varepsilon_{\text{Farbstoff}} \cdot d} \\
 &= \frac{0,7216}{154,2 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm}) \cdot 5 \text{ cm}} \\
 &= \underline{\underline{0,9359 \text{ mmol/L}}}
 \end{aligned}$$

6.2.2.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 c_1 &= 1 \mu\text{mol/L} \\
 c_2 &= 2 \mu\text{mol/L} \\
 c_3 &= 4 \mu\text{mol/L} \\
 c_4 &= 6 \mu\text{mol/L} \\
 c_5 &= 8 \mu\text{mol/L} \\
 E_1 &= 0,01481 \\
 E_2 &= 0,02962 \\
 E_3 &= 0,05924 \\
 E_4 &= 0,08886 \\
 E_5 &= 0,11848 \\
 d &= 1 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$\varepsilon$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 E &= \varepsilon \cdot c \cdot d \\
 \varepsilon_1 &= \frac{E_1}{c_1 \cdot d} \\
 &= \frac{0,01481}{1 \mu\text{mol/L} \cdot 1 \text{ cm}} \\
 &= \frac{0,01481}{10^{-6} \text{ mol/L} \cdot 1 \text{ cm}} \\
 &= \underline{\underline{14.810 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm})}}
 \end{aligned}$$

bzw.

$$\begin{aligned}\varepsilon_2 &= \frac{E_1}{c_1 \cdot d} \\ &= \frac{0,02962}{2 \mu\text{mol/L} \cdot 1 \text{ cm}} \\ &= \frac{0,02962}{2 \cdot 10^{-6} \text{ mol/L} \cdot 1 \text{ cm}} \\ &= \underline{\underline{14.810 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm})}}\end{aligned}$$

usw.

6.2.3.

gegeben:

$$\begin{aligned}d &= 2 \text{ cm} \\ E &= 0,552 \\ \varepsilon_{\text{sp}} &= 1260 \text{ L}/(\text{g} \cdot \text{cm})\end{aligned}$$

gesucht:

$$\beta_{\text{Chlor}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}E &= \varepsilon_{\text{sp}} \cdot \beta_{\text{Chlor}} \cdot d \\ \beta_{\text{Chlor}} &= \frac{E}{\varepsilon_{\text{sp}} \cdot d} \\ &= \frac{0,552}{1260 \text{ L}/(\text{g} \cdot \text{cm}) \cdot 2 \text{ cm}} \\ &= \underline{\underline{0,2190 \text{ mg/L}}}\end{aligned}$$

6.2.4.

gegeben:

$$\begin{aligned}d &= 0,2 \text{ cm} \\ E &= 0,776 \\ M &= 286,4 \text{ g/mol} \\ \varepsilon &= 24.788 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm})\end{aligned}$$

gesucht:

$$\beta$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 E &= \varepsilon \cdot c \cdot d \\
 c &= \frac{E}{\varepsilon \cdot d} \\
 &= \frac{0,776}{24.788 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm}) \cdot 0,2 \text{ cm}} \\
 &= 0,1565273419 \text{ mmol/L} \\
 \beta &= c \cdot M \\
 &= 0,1565273419 \text{ mmol/L} \cdot 286,4 \text{ g/mol} \\
 &= \underline{\underline{44,83 \text{ mg/L}}}
 \end{aligned}$$

6.2.5.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Abwasser}} &= 25 \text{ mL} \\
 V_2 &= 250 \text{ mL} \\
 d &= 1 \text{ cm} \\
 E &= 0,478 \\
 \varepsilon_{\text{sp}} &= 9585 \text{ L}/(\text{g} \cdot \text{cm})
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$\beta_{\text{Cd}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 E &= \varepsilon_{\text{sp}} \cdot \beta_{\text{Cd verdünnt}} \cdot d \\
 \beta_{\text{Cd verdünnt}} &= \frac{E}{\varepsilon_{\text{sp}} \cdot d} \\
 &= \frac{0,478}{9585 \text{ L}/(\text{g} \cdot \text{cm}) \cdot 1 \text{ cm}} \\
 &= 0,0498695879 \text{ mg/L} \\
 \beta_{\text{Cd}} &= \frac{\beta_{\text{Cd verdünnt}} \cdot V_2}{V_{\text{Abwasser}}} \\
 &= \frac{0,0498695879 \text{ mg/L} \cdot 250 \text{ mL}}{25 \text{ mL}} \\
 &= \underline{\underline{0,4987 \text{ mg/L}}}
 \end{aligned}$$

6.2.6.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Fungizid}} &= 200 \text{ mg} \\
 V_{\text{Lösung}} &= 100 \text{ mL} \\
 d &= 1 \text{ cm} \\
 E &= 0,658 \\
 \varepsilon_{\text{sp Wirkstoff}} &= 86,90 \text{ L}/(\text{g} \cdot \text{cm})
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$w_{\text{Wirkstoff}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 E &= \varepsilon_{\text{sp Wirkstoff}} \cdot \beta_{\text{Wirkstoff}} \cdot d \\
 \beta_{\text{Wirkstoff}} &= \frac{E}{\varepsilon_{\text{sp Wirkstoff}} \cdot d} \\
 &= \frac{0,658}{86,90 \text{ L}/(\text{g} \cdot \text{cm}) \cdot 1 \text{ cm}} \\
 &= 7,571921749 \text{ mg/L} \\
 m_{\text{Wirkstoff}} &= \beta_{\text{Wirkstoff}} \cdot V_{\text{Lösung}} \\
 &= 0,7571921749 \text{ mg}/100 \text{ mL} \cdot 100 \text{ mL} \\
 &= 0,7571921749 \text{ mg} \\
 w_{\text{Wirkstoff}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{m_{\text{Fungizid}}} \\
 &= \frac{0,7571921749 \text{ mg}}{200 \text{ mg}} \\
 &= \underline{\underline{0,3786 \%}}
 \end{aligned}$$

6.2.7.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Substrat}} &= 10 \text{ g} \\
 V_{\text{aufgeschlämmt}} &= 200 \text{ mL} \\
 V_{\text{Probe}} &= 50 \text{ mL} \\
 d_{\text{Küvette}} &= 2 \text{ cm} \\
 E_{\text{max}} &= 0,783 \\
 \varepsilon_{\text{sp Ammoniak}} &= 125,3 \text{ L}/(\text{g} \cdot \text{cm}) \\
 m_{\text{total}} &= 100,0 \text{ g}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$w_{\text{Ammoniak}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 E &= \varepsilon_{\text{sp Ammoniak}} \cdot \beta_{\text{Ammoniak}} \cdot d \\
 \beta_{\text{Ammoniak}} &= \frac{E}{\varepsilon_{\text{sp Ammoniak}} \cdot d} \\
 &= \frac{0,783}{125,3 \text{ L}/(\text{g} \cdot \text{cm}) \cdot 2 \text{ cm}} \\
 &= 3,124501197 \text{ mg/L} \\
 &= 0,6249002394 \text{ mg}/200 \text{ mL} \\
 m_{\text{Ammoniak}} &= \beta_{\text{Ammoniak}} \cdot V_{\text{aufgeschlämmt}} \\
 &= 3,124501197 \text{ mg/L} \cdot 200 \text{ mL} \\
 &= 0,6249002394 \text{ mg} \\
 w_{\text{Ammoniak}} &= \frac{m_{\text{Ammoniak}}}{m_{\text{Substrat}}} \cdot m_{\text{total}} \\
 &= \frac{0,6249002394 \text{ mg}}{10 \text{ g}} \\
 &= \underline{\underline{6,249 \text{ mg}/100 \text{ g}}}
 \end{aligned}$$

6.2.8.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Insektizid}} &= 250 \text{ mg} \\
 V_{\text{Lösung}} &= 200 \text{ mL} \\
 d_{\text{Küvette}} &= 0,5 \text{ cm} \\
 E &= 0,558 \\
 \varepsilon_{\text{sp Wirkstoff}} &= 89,61 \text{ L}/(\text{g} \cdot \text{cm})
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$w_{\text{Wirkstoff}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 E_{\max} &= \varepsilon_{\text{sp Wirkstoff}} \cdot \beta_{\text{Wirkstoff}} \cdot d \\
 \beta_{\text{Wirkstoff}} &= \frac{E}{\varepsilon_{\text{sp Wirkstoff}} \cdot d} \\
 &= \frac{0,558}{89,61 \text{ L}/(\text{g} \cdot \text{cm}) \cdot 0,5 \text{ cm}} \\
 &= 12,45396719 \text{ mg/L} \\
 &= 2,490793438 \text{ mg}/200 \text{ mL} \\
 m_{\text{Wirkstoff}} &= \beta_{\text{Wirkstoff}} \cdot V_{\text{Lösung}} \\
 &= 12,45396719 \text{ mg/L} \cdot 0,2 \text{ L} \\
 &= 2,490793438 \text{ mg} \\
 w_{\text{Wirkstoff}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{m_{\text{Insektizid}}} \\
 &= \frac{2,490793438 \text{ mg}}{250 \text{ mg}} \\
 &= 9,963 \text{ mg/g} \\
 &= \underline{\underline{0,9963 \%}}
 \end{aligned}$$

6.2.9.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Substanz}} &= 502,6 \text{ mg} = 0,5026 \text{ g} \\
 M_{\text{Substanz}} &= 190,1504 \text{ g/mol} \\
 V_1 &= 1000 \text{ mL} = 1 \text{ L} \\
 V_2 &= 10 \text{ mL} \\
 V_3 &= 250 \text{ mL} \\
 d &= 1 \text{ cm} \\
 E &= 0,447
 \end{aligned}$$

gesucht:

ε

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 \beta_{\text{Substanz}} &= \frac{m_{\text{Substanz}}}{V_1} \\
 &= \frac{0,5026 \text{ g}}{1 \text{ L}} \\
 &= 0,5026 \text{ g/L}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c_1 &= \frac{\beta_1}{M_{\text{Substanz}}} \\
 &= \frac{0,5026 \text{ g/L}}{190,1504 \text{ g/mol}} \\
 &= 2,6431709 \text{ mmol/L} \\
 c_2 &= \frac{c_1 \cdot V_2}{V_3} \\
 &= \frac{2,6431709 \text{ mmol/L} \cdot 10 \text{ mL}}{250 \text{ mL}} \\
 &= 0,1057268 \text{ mmol/L} \\
 E &= \varepsilon \cdot c \cdot d \\
 \varepsilon &= \frac{E}{c \cdot d} \\
 &= \frac{0,447}{0,1057268 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L} \cdot 1 \text{ cm}} \\
 &= \underline{\underline{4228 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm})}}
 \end{aligned}$$

6.2.10.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 \beta_{\text{total}} &= 5,556 \text{ mg/L} \\
 f_{\text{Verdünnung}} &= 10.000 \\
 d &= 1 \text{ cm} \\
 E &= 0,104 \\
 V_{\text{Farbstoff}} &= 95 \text{ mL} \\
 \varepsilon_{\text{sp Farbstoff}} &= 18.702 \text{ L}/(\text{g} \cdot \text{cm})
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$V_{\text{Aceton}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 E &= \varepsilon_{\text{sp Farbstoff}} \cdot \beta_{\text{Farbstoff verdünnt}} \cdot d \\
 \beta_{\text{Farbstoff verdünnt}} &= \frac{E}{\varepsilon_{\text{sp Farbstoff}} \cdot d} \\
 &= \frac{0,104}{18.702 \text{ L}/(\text{g} \cdot \text{cm}) \cdot 1 \text{ cm}} \\
 &= 5,56090258 \text{ } \mu\text{g/L}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \beta_{\text{Farbstoff}} &= \beta_{\text{Farbstoff verdünnt}} \cdot f_{\text{Verdünnung}} \\
 &= 5,56090258 \mu\text{g/L} \cdot 10.000 \\
 &= 55,6090258 \text{ mg/L} \\
 \beta_{\text{Farbstoff}} \cdot V_{\text{Farbstoff}} &= \beta_{\text{total}} \cdot (V_{\text{Farbstoff}} + V_{\text{Aceton}}) \\
 &= \beta_{\text{total}} \cdot V_{\text{Farbstoff}} + \beta_{\text{total}} \cdot V_{\text{Aceton}} \\
 \beta_{\text{total}} \cdot V_{\text{Aceton}} &= \beta_{\text{Farbstoff}} \cdot V_{\text{Farbstoff}} - \beta_{\text{total}} \cdot V_{\text{Farbstoff}} \\
 V_{\text{Aceton}} &= \frac{\beta_{\text{Farbstoff}} \cdot V_{\text{Farbstoff}} - \beta_{\text{total}} \cdot V_{\text{Farbstoff}}}{\beta_{\text{total}}} \\
 &= \frac{55,6090258 \text{ mg/L} \cdot 95 \text{ mL} - 5,556 \text{ mg/L} \cdot 95 \text{ mL}}{5,556 \text{ mg/L}} \\
 &= \underline{\underline{855,8 \text{ mL}}}
 \end{aligned}$$

6.2.11.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 M_{\text{Substanz}} &= 281,2531 \text{ g/mol} \\
 \varepsilon_{\text{Substanz}} &= 4018 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm})
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$\varepsilon_{\text{sp Substanz}}$$

Berechnung:

$$\left| \begin{array}{l} E = \varepsilon_{\text{sp Substanz}} \cdot \beta_{\text{Substanz}} \cdot d \\ E = \varepsilon_{\text{Substanz}} \cdot c_{\text{Substanz}} \cdot d \end{array} \right|$$

$$\varepsilon_{\text{sp Substanz}} \cdot \beta_{\text{Substanz}} \cdot d = \varepsilon_{\text{Substanz}} \cdot c_{\text{Substanz}} \cdot d$$

$$\varepsilon_{\text{sp Substanz}} \cdot \beta_{\text{Substanz}} \cdot \cancel{d} = \varepsilon_{\text{Substanz}} \cdot c_{\text{Substanz}} \cdot \cancel{d}$$

$$\varepsilon_{\text{sp Substanz}} \cdot \beta_{\text{Substanz}} = \varepsilon_{\text{Substanz}} \cdot c_{\text{Substanz}}$$

$$\varepsilon_{\text{sp Substanz}} = \frac{\varepsilon_{\text{Substanz}} \cdot c_{\text{Substanz}}}{\beta_{\text{Substanz}}}$$

$$\beta_{\text{Substanz}} = c_{\text{Substanz}} \cdot M_{\text{Substanz}}$$

einsetzen:

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_{\text{sp Substanz}} &= \frac{\varepsilon_{\text{Substanz}} \cdot c_{\text{Substanz}}}{c_{\text{Substanz}} \cdot M_{\text{Substanz}}} \\
 &= \frac{\varepsilon_{\text{Substanz}}}{M_{\text{Substanz}}} \\
 &= \frac{4018 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm})}{281,2531 \text{ g/mol}} \\
 &= \underline{\underline{14,29 \text{ L}/(\text{g} \cdot \text{cm})}}
 \end{aligned}$$

6.2.12.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 M_{\text{Substanz}} &= 288,6 \text{ g/mol} \\
 \varepsilon &= 10.750 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm}) \\
 m_{\text{verunreinigt}} &= 102,4 \text{ g} \\
 V_{\text{Lösung 1}} &= 500 \text{ mL} \\
 V_{\text{Übertrag}} &= 5 \text{ mL} \\
 V_{\text{Lösung 2}} &= 100 \text{ mL} \\
 d &= 1 \text{ cm} \\
 E &= 0,355
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$w_{\text{Reinsubstanz}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 E &= \varepsilon_{\text{Reinsubstanz}} \cdot c_{\text{Reinsubstanz}} \cdot d \\
 c_{\text{Reinsubstanz}} &= \frac{E}{\varepsilon_{\text{Reinsubstanz}} \cdot d} \\
 &= \frac{0,355}{10.750 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm}) \cdot 1 \text{ cm}} \\
 &= 3,3023255 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L} \\
 \beta_{\text{Reinsubstanz}} &= c_{\text{Reinsubstanz}} \cdot M_{\text{Substanz}} \\
 &= 3,3023255 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L} \cdot 288,6 \text{ g/mol} \\
 &= 9,530511627 \text{ mg/L} \\
 \beta_{\text{verunreinigt}} &= \frac{m_{\text{verunreinigt}} \cdot V_{\text{Übertrag}}}{V_{\text{Lösung 1}} \cdot V_{\text{Lösung 2}}} \\
 &= \frac{102,4 \text{ mg} \cdot 5 \text{ mL}}{0,5 \text{ L} \cdot 100 \text{ mL}} \\
 &= 10,24 \text{ mg/L} \\
 w_{\text{Reinsubstanz}} &= \frac{\beta_{\text{Reinsubstanz}}}{\beta_{\text{verunreinigt}}} \\
 &= \frac{9,530511627 \text{ mg/L}}{10,24 \text{ mg/L}} \\
 &= \underline{\underline{93,07 \%}}
 \end{aligned}$$

6.2.13.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 M_{\text{Diphenylether}} &= 170,2104 \text{ g/mol} \\
 \varepsilon &= 11.000 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm}) \\
 m_{\text{Muster}} &= 95,04 \text{ mg} \\
 V_{\text{Lösung 1}} &= 500 \text{ mL} \\
 V_{\text{Übertrag}} &= 10 \text{ mL} \\
 V_{\text{Lösung 2}} &= 250 \text{ mL} \\
 d &= 2 \text{ cm} \\
 E &= 0,638
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$w_{\text{Diphenylether}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 E &= \varepsilon_{\text{Diphenylether}} \cdot c_{\text{Diphenylether}} \cdot d \\
 c_{\text{Diphenylether}} &= \frac{E}{\varepsilon_{\text{Diphenylether}} \cdot d} \\
 &= \frac{0,638}{11.000 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm}) \cdot 2 \text{ cm}} \\
 &= 2,9 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L} \\
 \beta_{\text{Diphenylether}} &= c_{\text{Diphenylether}} \cdot M_{\text{Diphenylether}} \\
 &= 2,9 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L} \cdot 170,2104 \text{ g/mol} \\
 &= 4,9361016 \text{ mg/L} \\
 \beta_{\text{Muster verdünnt}} &= \frac{m_{\text{Muster}}}{V_{\text{Lösung 1}}} \\
 &= \frac{95,04 \text{ mg}}{0,5 \text{ L}} \\
 &= 190,08 \text{ mg/L} \\
 \beta_{\text{Muster unverdünnt}} &= \frac{\beta_{\text{Muster verdünnt}} \cdot V_{\text{Übertrag}}}{V_{\text{Lösung 2}}} \\
 &= \frac{190,08 \text{ mg/L} \cdot 10 \text{ mL}}{250 \text{ mL}} \\
 &= 7,6032 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 w_{\text{Diphenylether}} &= \frac{\beta_{\text{Diphenylether}}}{\beta_{\text{Muster unverdünnt}}} \\
 &= \frac{4,9361016 \text{ mg/L}}{7,6032 \text{ mg/L}} \\
 &= \underline{\underline{64,92 \%}}
 \end{aligned}$$

6.2.14.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 n_{\text{Tabletten}} &= 10 \\
 m_{\text{total}} &= 6,24 \text{ g} \\
 m_{\text{Probe}} &= 3,12 \text{ g} \\
 V_{\text{Messkolben}} &= 100 \text{ mL} \\
 V_{\text{Lösung}} &= 10 \text{ mL} \\
 V_{\text{Lösung aufgefüllt}} &= 100 \text{ mL} \\
 E &= 0,366 \\
 \varepsilon_{\text{sp}} &= 47,50 \text{ L}/(\text{g} \cdot \text{cm}) \\
 d &= 1 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{Wirkstoff/Tablette}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 E &= \varepsilon_{\text{sp Wirkstoff}} \cdot \beta_{\text{Wirkstoff}} \cdot d \\
 \beta_{\text{Wirkstoff}} &= \frac{E}{\varepsilon_{\text{sp Wirkstoff}} \cdot d} \\
 &= \frac{0,366}{47,50 \text{ L}/(\text{g} \cdot \text{cm}) \cdot 1 \text{ cm}} \\
 &= 0,00770526 \text{ g/L} \\
 &= 7,70526 \text{ mg/L} \\
 \beta_{\text{Wirkstoff unverdünnt}} &= \frac{\beta_{\text{Wirkstoff}} \cdot V_{\text{Lösung aufgefüllt}}}{V_{\text{Lösung}}} \\
 &= \frac{7,70526 \text{ mg/L} \cdot 100 \text{ mL}}{10 \text{ mL}} \\
 &= 77,0526 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 w_{\text{Wirkstoff}} &= \frac{\beta_{\text{Wirkstoff unverdünnt}} \cdot V_{\text{Messkolben}}}{m_{\text{Probe}}} \\
 &= \frac{77,0526 \text{ mg/L} \cdot 0,1 \text{ L}}{3,12 \text{ g}} \\
 &= 2,46964 \text{ mg/g} \\
 m_{\text{Wirkstoff/Tablette}} &= \frac{w_{\text{Wirkstoff}} \cdot m_{\text{total}}}{n_{\text{Tabletten}}} \\
 &= \frac{2,46964 \text{ mg/g} \cdot 6,24 \text{ g}}{10 \text{ Tabletten}} \\
 &= \underline{\underline{1,541 \text{ mg/Tablette}}}
 \end{aligned}$$

6.2.15.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 n_{\text{Kapsel}} &= 20 \\
 m_{\text{total}} &= 6,09 \text{ g} \\
 m_{\text{Probe}} &= 203 \text{ mg} \\
 V_{\text{Probe}} &= 200 \text{ mL} \\
 V_{\text{Übertrag}} &= 20 \text{ mL} \\
 V_{\text{Lösung 2}} &= 100 \text{ mL} \\
 d &= 1 \text{ cm} \\
 E &= 0,498 \\
 \varepsilon_{\text{sp}} &= 3110 \text{ L}/(\text{g} \cdot \text{cm})
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{Wirkstoff/Kapsel}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 E &= \varepsilon_{\text{sp Wirkstoff}} \cdot \beta_{\text{Wirkstoff}} \cdot d \\
 \beta_{\text{Wirkstoff}} &= \frac{E}{\varepsilon_{\text{sp Wirkstoff}} \cdot d} \\
 &= \frac{0,498}{3110 \text{ L}/(\text{g} \cdot \text{cm}) \cdot 1 \text{ cm}} \\
 &= 0,1601286174 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Wirkstoff in Probe}} &= \frac{\beta_{\text{Wirkstoff}} \cdot V_{\text{Lösung}} \cdot V_{\text{Probe}}}{V_{\text{Übertrag}}} \\
 &= \frac{0,1601286174 \text{ mg/L} \cdot 100 \text{ mL} \cdot 200 \text{ mL}}{20 \text{ mL}} \\
 &= 160,1286174 \text{ mg} \\
 w_{\text{Wirkstoff}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff im Probe}}}{m_{\text{Probe}}} \\
 &= \frac{160,1286174 \text{ mg}}{203 \text{ g}} \\
 &= 0,7888109 \text{ mg/g} \\
 m_{\text{Wirkstoff total}} &= w_{\text{Probe}} \cdot m_{\text{total}} \\
 &= 0,7888109232 \text{ mg/g} \cdot 6,09 \text{ g} \\
 &= 4,803858522 \text{ mg} \\
 m_{\text{Wirkstoff/Kapsel}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff total}}}{n_{\text{Kapsel}}} \\
 &= \frac{4,803858522 \text{ mg}}{20 \text{ Kapsel}} \\
 &= \underline{\underline{0,2402 \text{ mg/Kapsel}}}
 \end{aligned}$$

6.2.16.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Urin}} &= 2 \text{ mL} \\
 V_{\text{Lösung}} &= 100 \text{ mL} \\
 d &= 0,5 \text{ cm} \\
 E &= 0,662 \\
 \varepsilon &= 2130 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm}) \\
 M_{\text{Ammoniak}} &= 17,0304 \text{ g/mol}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$\beta_{\text{Ammoniak im Urin}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 E &= \varepsilon_{\text{Ammoniak}} \cdot c_{\text{Ammoniak}} \cdot d \\
 c_{\text{Ammoniak}} &= \frac{E}{\varepsilon_{\text{Ammoniak}} \cdot d} \\
 &= \frac{0,622}{2130 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm}) \cdot 0,5 \text{ cm}} \\
 &= 0,5840375587 \text{ mmol/L}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c_{\text{Ammoniak im Urin}} &= \frac{c_{\text{Ammoniak}} \cdot V_{\text{Lösung}}}{V_{\text{Urin}}} \\
 &= \frac{0,5840375587 \text{ mmol/L} \cdot 100 \text{ mL}}{2 \text{ mL}} \\
 &= 29,2018779345 \text{ mmol/L} \\
 \beta_{\text{Ammoniak im Urin}} &= c_{\text{Ammoniak im Urin}} \cdot M_{\text{Ammoniak}} \\
 &= 29,201878 \text{ mol/L} \cdot 17,0304 \text{ mg/mmol} \\
 &= \underline{\underline{497,3 \text{ mg/L}}}
 \end{aligned}$$

6.2.17.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Legierung}} &= 224,7 \text{ mg} \\
 V_{\text{Lösung}} &= 500 \text{ mL} \\
 V_{\text{Übertrag}} &= 10 \text{ mL} \\
 V_{\text{Lösung 2}} &= 250 \text{ mL} \\
 d &= 2 \text{ cm} \\
 E &= 0,723 \\
 \varepsilon_{\text{sp. Cu}} &= 820 \text{ L}/(\text{g} \cdot \text{cm})
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$w_{\text{Cu}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 E &= \varepsilon_{\text{sp Cu}} \cdot \beta_{\text{Cu}} \cdot d \\
 \beta_{\text{Cu}} &= \frac{E}{\varepsilon_{\text{sp Cu}} \cdot d} \\
 &= \frac{0,723}{820 \text{ L}/(\text{g} \cdot \text{cm}) \cdot 2 \text{ cm}} \\
 &= 0,4408536585 \text{ mg/L} \\
 \beta_{\text{Cu-Lösung 1}} &= \frac{\beta_{\text{Cu}} \cdot V_{\text{Lösung 2}}}{V_{\text{Übertrag}}} \\
 &= \frac{0,4408536585 \text{ mg/L} \cdot 250 \text{ mL}}{10 \text{ mL}} \\
 &= 11,0213415 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 w_{\text{Cu}} &= \frac{\beta_{\text{Cu-Lösung}} \cdot V_{\text{Lösung}}}{m_{\text{Legierung}}} \\
 &= \frac{11,0213415 \text{ mg/L} \cdot 0,5 \text{ L}}{224,7 \text{ mg}} \\
 &= 0,02452457 \text{ mg/mg} \\
 &= \underline{\underline{2,452 \%}}
 \end{aligned}$$

6.2.18.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 n_{\text{Tabletten}} &= 10 \\
 m_{\text{Wirkstoff/Tablette}} &= 100 \text{ mg/Tablette} \\
 w_{\text{Wirkstoff}} &= 0,2 \text{ g/100 g} \\
 V_{\text{Lösung}} &= 100 \text{ mL} \\
 d &= 1 \text{ cm} \\
 E &= 0,0417 \\
 M_{\text{Wirkstoff}} &= 12.658 \text{ g/mol}
 \end{aligned}$$

gesucht:

 ε

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Tabletten}} &= m_{\text{Wirkstoff/Tablette}} \cdot n_{\text{Tabletten}} \\
 &= 100 \text{ mg/Tablette} \cdot 10 \text{ Tabletten} \\
 &= 1 \text{ g} \\
 m_{\text{Wirkstoff}} &= w_{\text{Wirkstoff}} \cdot m_{\text{Tabletten}} \\
 &= 0,2 \text{ g/100 g} \cdot 1 \text{ g} \\
 &= 2 \text{ mg} \\
 n_{\text{Wirkstoff}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{M_{\text{Wirkstoff}}} \\
 &= \frac{2 \text{ mg}}{12.658 \text{ mg/mmol}} \\
 &= 0,15800284 \mu\text{mol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c_{\text{Lösung 1}} &= \frac{n_{\text{Wirkstoff}}}{V_{\text{Lösung}}} \\
 &= \frac{0,15800284 \mu\text{mol}}{0,1 \text{ L}} \\
 &= 1,5800284 \mu\text{mol/L} \\
 &= 1,5800284 \cdot 10^{-6} \text{ mol/L} \\
 E &= \varepsilon \cdot c \cdot d \\
 \varepsilon &= \frac{E}{c \cdot d} \\
 &= \frac{0,0417}{1,5800284 \cdot 10^{-6} \text{ mol/L} \cdot 1 \text{ cm}} \\
 &= \underline{\underline{26.392 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm})}}
 \end{aligned}$$

6.2.19.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 \beta_{\text{Anfang}} &= 1,25 \text{ mg/L} \\
 t &= 48 \text{ h} \\
 \varepsilon_{\text{sp}} &= 987,2 \text{ L}/(\text{g} \cdot \text{cm}) \\
 E &= 0,552 \\
 d &= 1 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$v_{\text{Abbau}} \quad (\text{in } \mu\text{g}/(\text{L} \cdot \text{h}))$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 E &= \varepsilon_{\text{sp}} \cdot \beta_{\text{Ende}} \cdot d \\
 \beta_{\text{Ende}} &= \frac{E}{\varepsilon_{\text{sp}} \cdot d} \\
 &= \frac{0,552}{987,2 \text{ L}/(\text{g} \cdot \text{cm}) \cdot 1 \text{ cm}} \\
 &= 0,55915721 \text{ mg/L} \\
 \Delta\beta &= \beta_{\text{Anfang}} - \beta_{\text{Ende}} \\
 &= 1,25 \text{ mg/L} - 0,55915721 \text{ mg/L} \\
 &= 0,6908427877 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 v_{\text{Abbau}} &= \frac{\Delta\beta}{t} \\
 &= \frac{0,6908427877 \text{ mg/L}}{48 \text{ h}} \\
 &= \underline{\underline{14,39 \mu\text{g}/(\text{L} \cdot \text{h})}}
 \end{aligned}$$

6.2.20.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Boden}} &= 215 \text{ mg} \\
 \varepsilon &= 21.500 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm}) \\
 V_{\text{aufgefüllt}} &= 250 \text{ mL} \\
 d &= 1 \text{ cm} \\
 E &= 0,1155 \\
 M_{\text{Fe}} &= 55,845 \text{ g/mol}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$w_{\text{Fe}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 E &= \varepsilon \cdot c_{\text{Fe}} \cdot d \\
 c_{\text{Fe}} &= \frac{E}{\varepsilon \cdot d} \\
 &= \frac{0,1155}{21.500 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm}) \cdot 1 \text{ cm}} \\
 &= 5,372093023 \mu\text{mol/L} \\
 \beta_{\text{Fe}} &= c_{\text{Fe}} \cdot M_{\text{Fe}} \\
 &= 5,372093 \mu\text{mol/L} \cdot 55,845 \mu\text{g}/\mu\text{mol} \\
 &= 300,0045349 \mu\text{g/L} \\
 m_{\text{Fe}} &= \beta_{\text{Fe}} \cdot V_{\text{aufgefüllt}} \\
 &= 300,0045349 \mu\text{g/L} \cdot 0,25 \text{ L} \\
 &= 75,0011337 \mu\text{g} \\
 w_{\text{Fe}} &= \frac{m_{\text{Fe}}}{m_{\text{Boden}}} \\
 &= \frac{75,0011337 \mu\text{g}}{215 \text{ mg}} \\
 &= 0,3488425 \mu\text{g}/\text{mg} \\
 &= \underline{\underline{0,3488 \text{ ‰}}}
 \end{aligned}$$

6.2.21.

gegeben:

$$\varepsilon = 3,417 \cdot 10^{-9} \text{ L}/(\text{Sporen} \cdot \text{cm})$$

$$n_{\text{verd.}} = 5$$

$$V_{\text{Übertrag}} = 5 \text{ mL}$$

$$V_{\text{Lösung}} = 20 \text{ mL}$$

$$d = 1 \text{ cm}$$

$$E = 0,8104$$

$$M_{\text{Wirkstoff}} = 12.853 \text{ g/mol}$$

gesucht:

$$c_{\text{Sporen}}$$

Berechnung:

$$E = \varepsilon \cdot c_{\text{verdünnt}} \cdot d$$

$$c_{\text{verdünnt}} = \frac{E}{\varepsilon \cdot d}$$

$$= \frac{0,8104}{3,417 \cdot 10^{-9} \text{ L}/(\text{Sporen} \cdot \text{cm}) \cdot 1 \text{ cm}}$$

$$= 237.167.105 \text{ Sporen/L}$$

$$f_{\text{Verdünnung}} = \frac{V_{\text{Übertrag}}}{V_{\text{Lösung}}}$$

$$= \frac{5 \text{ mL}}{20 \text{ mL}}$$

$$= 4$$

$$c_{\text{Sporen}} = c_{\text{verdünnt}} \cdot (f_{\text{Verdünnung}})^{n_{\text{Verdünnungen}}}$$

$$= 237.167.105 \text{ Sporen/L} \cdot 4^5$$

$$= \underline{\underline{242,9 \cdot 10^9 \text{ Sporen/L}}}$$

6.2.22.

gegeben:

$$E = 0,07964$$

$$\varepsilon_{\text{DNSC-Ovalbumin-Komplex}} = 3300 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm})$$

$$M_{\text{Ovalbumin}} = 42.800 \text{ g/mol}$$

gesucht:

$$\beta_{\text{Ovalbumin}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 E &= \varepsilon \cdot c_{\text{DNSC}} \cdot d \\
 c_{\text{DNSC}} &= \frac{E}{\varepsilon \cdot d} \\
 &= \frac{0,07964}{3300 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm}) \cdot 1 \text{ cm}} \\
 &= 2,41333 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L} \\
 \beta_{\text{Ovalbumin}} &= c_{\text{DNSC}} \cdot M_{\text{Ovalbumin}} \\
 &= 2,41333 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L} \cdot 42.800 \text{ g/mol} \\
 &= \underline{\underline{1,033 \text{ g/L}}}
 \end{aligned}$$

6.2.23.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 V_1 &= 3 \text{ mL} \\
 \beta_1 &= 20 \text{ mg/L} \\
 V_{\text{Dithizon}} &= 8 \text{ mL} \\
 d &= 1 \text{ cm} \\
 E_1 &= 0,757 \\
 V_{\text{Abwasser}} &= 50 \text{ mL} \\
 E_2 &= 0,307 \\
 V_{\text{total}} &= 10.000 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{Schwermetall}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 \beta_1 \cdot V_1 &= \beta_{\text{verdünnt}} \cdot (V_1 + V_2) \\
 \beta_{\text{verdünnt}} &= \frac{\beta_1 \cdot V_1}{V_1 + V_2} \\
 &= \frac{20 \text{ mg/L} \cdot 3 \text{ mL}}{3 \text{ mL} + 8 \text{ mL}} \\
 &= 5,4545454545 \text{ mg/L} \\
 E_1 &= \varepsilon_{\text{sp}} \cdot \beta_1 \cdot d
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_{\text{sp}} &= \frac{E}{\beta_{\text{verdünnt}} \cdot d} \\
 &= \frac{0,757}{0,005454545454545 \text{ g/L} \cdot 1 \text{ cm}} \\
 &= 0,00013878333 \text{ L}/(\text{g} \cdot \text{cm}) \\
 \beta_{\text{Abwasser verdünnt}} &= \frac{E}{\varepsilon_{\text{sp}} \cdot d} \\
 &= \frac{0,307}{0,00013878333 \text{ L}/(\text{g} \cdot \text{cm}) \cdot 1 \text{ cm}} \\
 &= 2,2120812 \text{ mg/L} \\
 \beta_{\text{Abwasser}} &= \frac{\beta_{\text{Abwasser verd.}} \cdot (V_{\text{Abwasser}} + V_{\text{Dithizon}})}{V_{\text{Abwasser}}} \\
 &= \frac{2,2120812 \text{ mg/L} \cdot (50 \text{ mL} + 8 \text{ mL})}{50 \text{ mL}} \\
 &= 2,566014171 \text{ mg/L} \\
 &= 2,566014171 \text{ g/m}^3 \\
 &= \underline{\underline{25,66 \text{ kg}/10.000 \text{ m}^3}}
 \end{aligned}$$

6.2.24.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Hund}} &= 9,560 \text{ kg} \\
 \varepsilon &= 11,498 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm}) \\
 d &= 50 \mu\text{g/kg} \\
 E &= 0,5351 \\
 d &= 1 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$V_{\text{Lösung}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 E &= \varepsilon \cdot c \cdot d \\
 c &= \frac{E}{\varepsilon \cdot d} \\
 &= \frac{0,5351}{11,498 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm}) \cdot 1 \text{ cm}} \\
 &= 46,53852844 \mu\text{mol/L}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \beta &= c \cdot M \\
 &= 46,538 \mu\text{mol/L} \cdot 376,36 \mu\text{g}/\mu\text{mol} \\
 &= 17515,24056 \mu\text{g/L} \\
 &= 17,51524056 \text{ mg/L} \\
 d &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{m_{\text{Hund}}} \\
 m_{\text{Wirkstoff}} &= d \cdot m_{\text{Hund}} \\
 &= 50 \mu\text{g/kg} \cdot 9,560 \text{ kg} \\
 &= 478 \mu\text{g} \\
 \beta_{\text{Wirkstoff}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{V_{\text{Lösung}}} \\
 V_{\text{Lösung}} &= \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{\beta_{\text{Wirkstoff}}} \\
 &= \frac{0,478 \text{ mg}}{17,51524056 \text{ mg/L}} \\
 &= \underline{\underline{27,29 \text{ mL}}}
 \end{aligned}$$

6.2.25.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 M_{\text{Estradiol}} &= 272,39 \text{ g/mol} \\
 V_{\text{Urin}} &= 5 \text{ mL} \\
 V_{\text{aufgefüllt}} &= 10 \text{ mL} \\
 \varepsilon &= 1460 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm}) \\
 E &= 0,001106
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$\beta_{\text{Estradiol}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 E &= \varepsilon \cdot c_{\text{Estradiol-PABA}} \cdot d \\
 c_{\text{Estradiol-PABA}} &= \frac{E}{\varepsilon \cdot d} \\
 &= \frac{0,001106}{1460 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm}) \cdot 10 \text{ cm}} \\
 &= 7,575342 \cdot 10^{-8} \text{ mol/L} \\
 &= 75,75342 \text{ nmol/L}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E &= \varepsilon \cdot c_{\text{Estradiol-PABA}} \cdot d \\
 c_{\text{Estradiol}} &= \frac{c_{\text{Estradiol-PABA}} \cdot V_{\text{aufgefüllt}}}{V_{\text{Urin}}} \\
 &= \frac{75,75342 \text{ nmol/L} \cdot 10 \text{ mL}}{5 \text{ mL}} \\
 &= 151,50684 \text{ nmol/L} \\
 \beta_{\text{Estradiol}} &= c_{\text{Estradiol-PABA}} \cdot M_{\text{Estradiol}} \\
 &= 151,50684 \text{ nmol/L} \cdot 272,39 \text{ g/mol} \\
 &= 41268,95 \text{ ng/L} \\
 &= \underline{\underline{42,27 \mu\text{g/L}}}
 \end{aligned}$$

13.6.2 Lösungen Abschn. 6.3 – Enzyme

6.3.1.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Zellen}} &= 10 \text{ g} \\
 V_{\text{Suspension}} &= 250 \text{ mL} \\
 V_{\text{Messsuspension}} &= 10 \text{ mL} \\
 \beta_{\text{Ethanol Anfang}} &= 2,500 \text{ g/L} \\
 \beta_{\text{Ethanol Ende}} &= 2,297 \text{ g/L} \\
 \Delta t &= 60 \text{ min} \\
 M_{\text{Ethanol}} &= 46,0668 \text{ g/mol}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$v_{\text{Dehydrogenase}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Ethanol}} &= V_{\text{Suspension}} - V_{\text{Messsuspension}} \\
 &= 250 \text{ mL} - 10 \text{ mL} \\
 &= 240 \text{ mL} \\
 \beta_{\text{Zellen}} &= \frac{m_{\text{Zellen}}}{V_{\text{Suspension}}} \\
 &= \frac{10 \text{ g}}{250 \text{ mL}} \\
 &= 40 \text{ mg/mL}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_{\text{eingesetzte Zellen}} &= \beta_{\text{Zellen}} \cdot V_{\text{Messsuspension}} \\
 &= 40 \text{ mg/mL} \cdot 10 \text{ mL} \\
 &= 400 \text{ mg} \\
 \beta_{\text{Ethanol Anfang}} &= \frac{m_{\text{Ethanol Anfang}}}{V_{\text{Ethanol}}} \\
 m_{\text{Ethanol Anfang}} &= \beta_{\text{Ethanol Anfang}} \cdot V_{\text{Ethanol}} \\
 &= 2,500 \text{ g/L} \cdot 240 \text{ mL} \\
 &= 0,6 \text{ g} \\
 n_{\text{Ethanol Anfang}} &= \frac{m_{\text{Ethanol Anfang}}}{M_{\text{Ethanol}}} \\
 &= \frac{0,6 \text{ g}}{46,0668 \text{ g/mol}} \\
 &= 0,01302456 \text{ mol} \\
 &= 13,02456 \text{ mmol} \\
 \beta_{\text{Ethanol Ende}} &= \frac{m_{\text{Ethanol Ende}}}{V_{\text{Ethanol}}} \\
 m_{\text{Ethanol Ende}} &= \beta_{\text{Ethanol Anfang}} \cdot V_{\text{Suspension}} \\
 &= 2,297 \text{ g/L} \cdot 250 \text{ mL} \\
 &= 0,57425 \text{ g} \\
 n_{\text{Ethanol Ende}} &= \frac{m_{\text{Ethanol Ende}}}{M_{\text{Ethanol}}} \\
 &= \frac{0,57425 \text{ g}}{46,0668 \text{ g/mol}} \\
 &= 0,0124656 \text{ mol} \\
 &= 12,4656 \text{ mmol} \\
 \Delta n_{\text{Ethanol}} &= n_{\text{Ethanol Anfang}} - n_{\text{Ethanol Ende}} \\
 &= 13,02456 \text{ mmol} - 12,4656 \text{ mmol} \\
 &= 0,55896 \text{ mmol} \\
 v_{\text{Dehydrogenase}} &= \frac{\Delta n_{\text{Ethanol}}}{m_{\text{Zellen}} \cdot \Delta t} \\
 &= \frac{0,55896 \text{ mmol}}{0,4 \text{ g} \cdot 60 \text{ min}} \\
 &= \underline{\underline{23,29 \mu\text{mol}/(\text{g} \cdot \text{min})}}
 \end{aligned}$$

6.3.2.

gegeben:

$$\varepsilon_{\text{Nitrophenol}} = 18.800 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm})$$

$$d_{\text{Küvette}} = 10 \text{ cm}$$

$$\Delta t = 1 \text{ min}$$

$$\Delta E = 0,383$$

$$V_{\text{Lösung}} = 1 \text{ mL}$$

gesucht:

$$\Delta n_{\text{Nitrophenol}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} \Delta E &= \varepsilon_{\text{Nitrophenol}} \cdot \Delta c_{\text{Nitrophenol}} \cdot d \\ \Delta c_{\text{Nitrophenol}} &= \frac{E}{\varepsilon_{\text{Nitrophenol}} \cdot d} \\ &= \frac{0,383}{18.800 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm}) \cdot 10 \text{ cm}} \\ &= 2,03724 \mu\text{mol/L} \\ \Delta n_{\text{Nitrophenol}} &= \frac{\Delta c_{\text{Nitrophenol}} \cdot V_{\text{Lösung}}}{\Delta t} \\ &= \frac{2,03724 \mu\text{mol/L} \cdot 0,001 \text{ L}}{1 \text{ min}} \\ &= \underline{\underline{2,037 \text{ nmol/min}}} \end{aligned}$$

6.3.3.

gegeben:

$$d = 1 \text{ cm}$$

$$V_{\text{Riboflavin}} = 4 \text{ mL}$$

$$\beta_{\text{Riboflavin}} = 20 \text{ g/L}$$

$$V_{\text{Enzym}} = 1 \text{ mL}$$

$$c_{\text{Enzym}} = 2,5 \text{ nmol/L}$$

$$t = 30 \text{ min}$$

$$E = 0,4215$$

$$\varepsilon_{\text{Riboflavin}} = 11.500 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm})$$

$$M_{\text{Riboflavin}} = 375,3804 \text{ g/mol} \quad (\text{C}_{18}\text{H}_{21}\text{N}_3\text{O}_6)$$

gesucht:

$$v_{\text{Enzym}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 c_{\text{Riboflavin 0 min}} &= \frac{\beta_{\text{Riboflavin}}}{M_{\text{Riboflavin}}} \\
 &= \frac{20 \text{ g/L}}{375,3804 \text{ g/mol}} \\
 &= 53,27928682 \text{ mmol/L} \\
 n_{\text{Riboflavin 0 min}} &= c_{\text{Riboflavin 0 min}} \cdot V_{\text{Riboflavin}} \\
 &= 53,27928682 \text{ mmol/L} \cdot 0,004 \text{ mL} \\
 &= 0,2131171473 \text{ mmol} \\
 E_{30 \text{ min}} &= \varepsilon \cdot c_{\text{Riboflavin nach 30 min}} \cdot d \\
 c_{\text{Riboflavin nach 30 min}} &= \frac{E_{30 \text{ min}}}{\varepsilon \cdot d} \\
 &= \frac{0,4215}{11,500 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm}) \cdot 1 \text{ cm}} \\
 &= 0,036652173913043 \text{ mmol/L} \\
 n_{\text{Riboflavin nach 30 min}} &= c_{\text{Riboflavin nach 30 min}} \cdot (V_{\text{Riboflavin}} + V_{\text{Enzym}}) \\
 &= 0,03665217 \mu\text{mol/mL} \cdot (4 \text{ mL} + 1 \text{ mL}) \\
 &= 0,1832608696 \mu\text{mol} \\
 \Delta n_{\text{Riboflavin}} &= n_{\text{Riboflavin 0 min}} - n_{\text{Riboflavin 30 min}} \\
 &= 213,11714 \mu\text{mol} - 0,18326 \mu\text{mol} \\
 &= 212,9338864 \mu\text{mol} \\
 &= 212.933,8864 \text{ nmol} \\
 n_{\text{Enzym}} &= c_{\text{Enzym}} \cdot V_{\text{Enzym}} \\
 &= 2,5 \text{ nmol/L} \cdot 0,001 \text{ L} \\
 &= 0,0025 \text{ nmol} \\
 v_{\text{Enzym}} &= \frac{\Delta n_{\text{Riboflavin}}}{n_{\text{Enzym}} \cdot t} \\
 &= \frac{212.933,8864 \text{ nmol}}{0,0025 \text{ nmol} \cdot 30 \text{ min}} \\
 &= \underline{\underline{2,839 \cdot 10^6 \text{ Ribofl.}/(\text{Enzym} \cdot \text{min})}}
 \end{aligned}$$

6.3.4.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_{\text{Substrat}} &= 45.714 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm}) \\
 V_{\text{Substrat}} &= 500 \text{ mL} \\
 V_{\text{Enzym}} &= 2 \text{ mL} \\
 c_{\text{Enzym}} &= 4 \mu\text{mol/L} \\
 d &= 1 \text{ cm} \\
 E_{0'/32^\circ\text{C}} &= 0,4762 \\
 E_{60'/32^\circ\text{C}} &= 0,2758 \\
 E_{0'/37^\circ\text{C}} &= 0,4762 \\
 E_{60'/37^\circ\text{C}} &= 0,2458
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$\Delta v_{\text{Enzym } 32^\circ\text{C}/37^\circ\text{C}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 \Delta E &= \varepsilon_{\text{Substrat}} \cdot \Delta c_{\text{Substrat}} \cdot d \\
 \Delta c_{\text{Substrat}} &= \frac{\Delta E}{\varepsilon_{\text{Substrat}} \cdot d} \\
 \Delta E_{0-60'/32^\circ\text{C}} &= E_{0'/32^\circ\text{C}} - E_{60'/32^\circ\text{C}} \\
 &= 0,4762 - 0,2758 \\
 &= 0,2004 \\
 \Delta c_{\text{Substrat } 32^\circ\text{C}} &= \frac{\Delta E_{0-60'/32^\circ\text{C}}}{\varepsilon_{\text{Substrat}} \cdot d} \\
 &= \frac{0,2004}{45.714 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm}) \cdot 1 \text{ cm}} \\
 &= 4,383777399 \mu\text{mol/L} \\
 \Delta E_{0-60'/37^\circ\text{C}} &= E_{0'/37^\circ\text{C}} - E_{60'/37^\circ\text{C}} \\
 &= 0,4762 - 0,2458 \\
 &= 0,2304 \\
 \Delta c_{\text{Substrat } 37^\circ\text{C}} &= \frac{\Delta E_{0-60'/37^\circ\text{C}}}{\varepsilon_{\text{Substrat}} \cdot d} \\
 &= \frac{0,2304}{45.714 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm}) \cdot 1 \text{ cm}} \\
 &= 5,0400315 \mu\text{mol/L} \\
 n_{\text{Enzym}} &= c_{\text{Enzym}} \cdot V_{\text{Enzym}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 4 \mu\text{mol/L} \cdot 2 \text{ mL} \\
 &= 8 \text{ nmol} \\
 v_{\text{Enzym } 32^\circ\text{C}} &= \frac{\Delta c_{\text{Substrat } 32^\circ\text{C}}}{n_{\text{Enzym}} \cdot t} \\
 &= \frac{4383,777399 \text{ nmol/L}}{8 \text{ nmol} \cdot 60 \text{ min}} \\
 &= 9,13287 \text{ Substrat/min} \\
 v_{\text{Enzym } 37^\circ\text{C}} &= \frac{\Delta c_{\text{Substrat } 37^\circ\text{C}}}{n_{\text{Enzym}} \cdot t} \\
 &= \frac{5040,0315 \text{ nmol/L}}{8 \text{ nmol} \cdot 60 \text{ min}} \\
 &= 10,5001 \text{ Substrat/min} \\
 \Delta v_{\text{Enzym } 32^\circ\text{C}/37^\circ\text{C}} &= v_{\text{Enzym } 37^\circ\text{C}} - v_{\text{Enzym } 32^\circ\text{C}} \\
 &= 10,5001 \text{ Substr./min} - 9,13287 \text{ Substr./min} \\
 &= \underline{\underline{1,367 \text{ Substratmoleküle/Enzym} \cdot \text{min}}}
 \end{aligned}$$

6.3.5.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Zellen}} &= 0,5317 \text{ g} \\
 V_{\text{Lösung}} &= 50 \text{ mL} \\
 \beta_{\text{Vitamin}} &= 50 \text{ mg/L} \\
 E &= 0,7328 \\
 \varepsilon_{\text{sp Vitamin}} &= 30,56 \text{ L}/(\text{g} \cdot \text{cm}) \\
 d &= 1 \text{ cm} \\
 t &= 120 \text{ min}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$v_{\text{Enzym}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Vitamin Anfang}} &= \beta_{\text{Vitamin}} \cdot V_{\text{Lösung}} \\
 &= 50 \text{ mg/L} \cdot 0,05 \text{ L} \\
 &= 2,5 \text{ mg} \\
 E &= \varepsilon_{\text{sp Vitamin}} \cdot \beta_{\text{Vitamin am Ende}} \cdot d
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \beta_{\text{Vitamin am Ende}} &= \frac{E}{\varepsilon_{\text{sp Vitamin}} \cdot d} \\
 &= \frac{0,7328}{30,56 \text{ L}/(\text{g} \cdot \text{cm}) \cdot 1 \text{ cm}} \\
 &= 0,0239791 \text{ g/L} \\
 &= 23,9791 \text{ mg/L} \\
 m_{\text{Vitamin am Ende}} &= \beta_{\text{Vitamin am Ende}} \cdot V_{\text{Lösung}} \\
 &= 23,9791 \text{ mg/L} \cdot 0,05 \text{ L} \\
 &= 1,19895 \text{ mg} \\
 \Delta m_{\text{Vitamin}} &= m_{\text{Vitamin Anfang}} - m_{\text{Vitamin Ende}} \\
 &= 2,5 \text{ mg} - 1,19895 \text{ mg} \\
 &= 1,301045 \text{ mg} \\
 v_{\text{Enzym}} &= \frac{\Delta m_{\text{Vitamin Ende}}}{m_{\text{Zellen}} \cdot t} \\
 &= \frac{1,301045 \text{ mg}}{0,5317 \text{ g} \cdot 120 \text{ min}} \\
 &= \underline{\underline{20,39 \mu\text{g}/(\text{g} \cdot \text{min})}}
 \end{aligned}$$

6.3.6.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Proteinlösung}} &= 9 \text{ mL} \\
 \beta_{\text{Protein}} &= 1 \text{ g/L} \\
 V_{\text{Enzymlösung}} &= 1 \text{ mL} \\
 D &= 0,5 \text{ cm} \\
 E_1 &= 0,2465 \\
 E_2 &= 0,2463 \\
 E_3 &= 0,2464 \\
 E_4 &= 0,2467 \\
 E_5 &= 0,2466 \\
 M_{\text{Tryptophan}} &= 204,228 \text{ g/mol} \\
 \varepsilon_{\text{Tryptophan}} &= 5600 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm})
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$w_{\text{Tryptophan}}$$

Berechnung:

$$E_{\emptyset} = \frac{E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5}{n_E}$$

$$= \frac{0,2465 + 0,2463 + 0,2464 + 0,2467 + 0,2466}{5}$$

$$= 0,2465$$

$$E_{\emptyset} = c_{\text{Tryptophan}} \cdot \varepsilon_{\text{Tryptophan}} \cdot d$$

$$c_{\text{Tryptophan}} = \frac{E_{\emptyset}}{\varepsilon_{\text{Tryptophan}} \cdot d}$$

$$= \frac{0,2465}{5600 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm})}$$

$$= 8,8035714 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L}$$

$$c_{\text{Tryptophan unverdünnt}} = \frac{c_{\text{Tryptophan}} \cdot (V_{\text{Proteinlösung}} + V_{\text{Enzymlösung}})}{V_{\text{Proteinlösung}}}$$

$$= \frac{8,8035714 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L} \cdot (9 \text{ mL} + 1 \text{ mL})}{9 \text{ mL}}$$

$$= 9,7817460 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L}$$

$$\beta_{\text{Tryptophan unverdünnt}} = c_{\text{Tryptophan unverdünnt}} \cdot M_{\text{Tryptophan}}$$

$$= 9,7817460 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L} \cdot 204,228 \text{ g/mol}$$

$$= 19,97706429 \text{ mg/L}$$

$$m_{\text{Tryptophan}} = \beta_{\text{Tryptophan unverdünnt}} \cdot V_{\text{Proteinlösung}}$$

$$= 19,97706429 \text{ mg/L} \cdot 0,009 \text{ L}$$

$$= 0,1797935786 \text{ mg}$$

$$m_{\text{Protein}} = \beta_{\text{Protein}} \cdot V_{\text{Proteinlösung}}$$

$$= 1 \text{ g/L} \cdot 0,009 \text{ L}$$

$$= 9 \text{ mg}$$

$$w_{\text{Tryptophan}} = \frac{m_{\text{Tryptophan}}}{m_{\text{Protein}}}$$

$$= \frac{0,1797935786 \text{ mg}}{9 \text{ mg}}$$

$$= 1,998 \%$$

$$= \underline{\underline{1,998 \%}}$$

6.3.7.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 c_{\text{Substrat}} &= 12 \text{ mmol/L} \\
 V_{\text{Lösung}} &= 50 \text{ mL} \\
 V_{\text{Enzym}} &= 1 \text{ mL} \\
 c_{\text{Enzym}} &= 5 \text{ } \mu\text{mol/L} \\
 V_{\text{Hemmstoff}} &= 1 \text{ mL} \\
 c_{\text{Hemmstoff}} &= 5 \text{ } \mu\text{mol/L} \\
 t &= 30 \text{ min} \\
 \varepsilon_{\text{Produkt}} &= 1,631 \cdot 10^5 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm}) \\
 E_{\text{ohne Hemmstoff}} &= 0,4241 \\
 E_{\text{mit Hemmstoff}} &= 0,08635
 \end{aligned}$$

gesucht:

 $w_{\text{gehemmte Enzyme}}$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 E &= \varepsilon \cdot c_{\text{Produkt}} \cdot d \\
 c_{\text{Produkt}} &= \frac{E}{\varepsilon \cdot d} \\
 c_{\text{Produkt ohne Hemmstoff}} &= \frac{E_{\text{ohne Hemmstoff}}}{\varepsilon_{\text{Produkt}} \cdot d} \\
 &= \frac{0,4241}{1,631 \cdot 10^5 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm}) \cdot 1 \text{ cm}} \\
 &= 2,600245 \text{ } \mu\text{mol/L} \\
 n_{\text{Produkt ohne Hemmstoff}} &= c_{\text{ohne Hemmstoff}} \cdot (V_{\text{Lösung}} + V_{\text{Enzym}}) \\
 &= 2,600245 \text{ } \mu\text{mol/L} \cdot (0,05 \text{ L} + 0,001 \text{ L}) \\
 &= 132,6125 \text{ nmol} \\
 c_{\text{Produkt mit Hemmstoff}} &= \frac{E_{\text{mit Hemmstoff}}}{\varepsilon_{\text{Produkt}} \cdot d} \\
 &= \frac{0,08635}{1,631 \cdot 10^5 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm}) \cdot 1 \text{ cm}} \\
 &= 0,529430 \text{ } \mu\text{mol/L}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n_{\text{Produkt mit Hemmstoff}} &= c_{\text{mit Hemmstoff}} \cdot (V_{\text{Lösung}} + V_{\text{Enzym}} + V_{\text{Hemmstoff}}) \\
 &= 0,529430 \mu\text{mol/L} \cdot (0,05 \text{ L} + 0,001 \text{ L} + 0,001 \text{ L}) \\
 &= 27,53036 \text{ nmol} \\
 w_{\text{gehemmte Enzyme}} &= \frac{n_{\text{Produkt mit Hemmstoff}}}{n_{\text{Produkt ohne Hemmstoff}}} \\
 &= \frac{27,53036 \text{ nmol}}{132,6125 \text{ nmol}} \\
 &= 0,2076000377 \\
 &= \underline{\underline{20,76 \%}}
 \end{aligned}$$

13.7 Lösungen Kap. 7 – Säuren und Basen

13.7.1 Lösungen Abschn. 7.3 – pH-Wert

7.3.1.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 c_{\text{HCl}} &= 25,50 \text{ mmol/L} \\
 pK_{\text{S}} &= -7,4 \quad (\text{starke Säure})
 \end{aligned}$$

gesucht:

pH-Wert

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 \text{pH} &= -\log c_{\text{Säure}} \\
 &= -\log 0,0255 \text{ mol/L} \\
 &= \underline{\underline{1,59}}
 \end{aligned}$$

7.3.2.

gegeben:

$$c_{\text{Säure}} = 0,15 \text{ mmol/L}$$

gesucht:

pH-Wert

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 \text{pH} &= -\log c_{\text{Säure}} \\
 &= -\log 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L} \\
 &= \underline{\underline{3,82}}
 \end{aligned}$$

7.3.3.

gegeben:

$$\begin{aligned} \text{pH} &= 2,5 \\ M_{\text{Perchlorsäure}} &= 100,4585 \text{ g/mol} \end{aligned}$$

gesucht:

$$\beta_{\text{Perchlorsäure}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} \text{pH} &= -\log c_{\text{Perchlorsäure}} \\ c_{\text{Perchlorsäure}} &= 10^{-\text{pH}} \\ &= 10^{-2,5} \\ &= 3,16227766 \text{ mmol/L} \\ \beta_{\text{Perchlorsäure}} &= c_{\text{Perchlorsäure}} \cdot M_{\text{Perchlorsäure}} \\ &= 3,16228 \text{ mmol/L} \cdot 100,46 \text{ mg/mmol} \\ &= \underline{\underline{317,7 \text{ mg/L}}} \end{aligned}$$

7.3.4.

gegeben:

$$\begin{aligned} c_{\text{Propansäure}} &= 0,25 \text{ mmol/L} = 0,25 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L} \\ \text{p}K_S &= 4,87 \quad (\text{schwache Säure}) \end{aligned}$$

gesucht:

$$\text{pH-Wert}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} \text{pH}_{\text{Näherung}} &= \frac{\text{p}K_S - \log c_{\text{Propansäure}}}{2} \\ &= \frac{4,87 - \log(0,25 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L})}{2} \\ &= \underline{\underline{4,24}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{pH}_{\text{exakt}} &= -\log \left(\frac{-K_S + \sqrt{(K_S)^2 + 4 \cdot K_S \cdot c_{\text{Säure}}}}{2} \right) \\ &= -\log \left(\frac{-10^{-4,87} + \sqrt{(10^{-4,87})^2 + 4 \cdot 10^{-4,87} \cdot 0,25 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}}}{2} \right) \\ &= \underline{\underline{4,29}} \end{aligned}$$

7.3.5.

gegeben:

$$\begin{aligned} c_{\text{Salpetersäure}} &= 0,02 \text{ mol/L} \\ \text{p}K_S &= -1,32 \quad (\text{starke Säure}) \end{aligned}$$

gesucht:

pH-Wert

Berechnung:

$$\begin{aligned} \text{pH} &= -\log c_{\text{Säure}} \\ &= -\log 0,02 \text{ mol/L} \\ &= \underline{\underline{1,70}} \end{aligned}$$

7.3.6.

gegeben:

$$\begin{aligned} \text{pH} &= 4,52 \\ \text{p}K_S &= 6,37 \quad (\text{schwache Säure}) \end{aligned}$$

gesucht:

 $c_{\text{Kohlensäure}}$

Berechnung:

$$\begin{aligned} \text{pH} &= \frac{\text{p}K_S - \log c_{\text{Kohlensäure}}}{2} \\ \text{pH} \cdot 2 &= \text{p}K_S - \log c_{\text{Kohlensäure}} \\ \log c_{\text{Kohlensäure}} &= \text{p}K_S - \text{pH} \cdot 2 \\ &= 6,37 - 4,52 \cdot 2 \\ &= -2,67 \\ c_{\text{Kohlensäure}} &= 10^{-2,67} \text{ mol/L} \\ &= 0,002137962 \text{ mol/L} \\ &= \underline{\underline{2,138 \text{ mmol/L}}} \end{aligned}$$

7.3.7.

gegeben:

$$\begin{aligned}m_{\text{Ameisensäure}} &= 8 \text{ g} \\M_{\text{Ameisensäure}} &= 46,0256 \text{ g/mol} \\V_{\text{Lösung}} &= 0,25 \text{ L} \\pK_S &= 3,75 \quad (\text{schwache Säure})\end{aligned}$$

gesucht:

pH-Wert

Berechnung:

$$\begin{aligned}c_{\text{Ameisensäure}} &= \frac{m_{\text{Ameisensäure}}}{M_{\text{Ameisensäure}} \cdot V_{\text{Lösung}}} \\&= \frac{8 \text{ g}}{46,0256 \text{ g/mol} \cdot 0,25 \text{ L}} \\&= 0,695265 \text{ mol/L} \\pH_{\text{Näherung}} &= \frac{pK_S - \log c_{\text{Ameisensäure}}}{2} \\&= \frac{3,75 - \log 0,695265 \text{ mol/L}}{2} \\&= \underline{\underline{1,95}} \\pH_{\text{exakt}} &= \underline{\underline{1,96}}\end{aligned}$$

7.3.8.

gegeben:

$$\begin{aligned}\text{pH} &= 4,4 \\c_{\text{Essigsäure}} &= 2 \text{ mmol/L} \\L\ddot{o}sung &= 0,1 \text{ L} \\pK_S &= 4,75 \quad (\text{schwache Säure})\end{aligned}$$

gesucht:

 $V_{\text{Essigsäure}}$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 \text{pH} &= \frac{\text{p}K_{\text{S}} - \log c_{\text{Essigsäure}}}{2} \\
 \text{pH} \cdot 2 &= \text{p}K_{\text{S}} - \log c_{\text{Essigsäure}} \\
 \log c_{\text{Essigsäure}} &= \text{p}K_{\text{S}} - \text{pH} \cdot 2 \\
 &= 4,75 - 4,4 \cdot 2 \\
 &= -4,05 \\
 c_{\text{Essigsäure}} &= 10^{-4,05} \text{ mol/L} \\
 &= 8,9125093 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L} \\
 V_{\text{Essigsäure}} \cdot c_{\text{Essigsäure}} &= c_{\text{Lösung}} \cdot V_{\text{Lösung}} \\
 V_{\text{Essigsäure}} &= \frac{c_{\text{Lösung}} \cdot V_{\text{Lösung}}}{c_{\text{Essigsäure}}} \\
 &= \frac{8,9125093 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L} \cdot 0,1 \text{ L}}{0,002 \text{ mol/L}} \\
 &= 0,0044562546 \text{ L} \\
 &= \underline{\underline{4,456 \text{ mL}}}
 \end{aligned}$$

7.3.9.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Milchsäure}} &= 0,9 \text{ g} \\
 V_{\text{Lösung}} &= 0,5 \text{ L} \\
 M_{\text{Milchsäure}} &= 90,0786 \text{ g/mol} \\
 \text{p}K_{\text{S}} &= 3,87 \quad (\text{schwache Säure})
 \end{aligned}$$

gesucht:

pH-Wert

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 c_{\text{Milchsäure}} &= \frac{m_{\text{Milchsäure}}}{V_{\text{Lösung}} \cdot M_{\text{Milchsäure}}} \\
 &= \frac{0,9 \text{ g}}{0,5 \text{ L} \cdot 90,0786 \text{ g/mol}} \\
 &= 0,019982549 \text{ mol/L}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{pH}_{\text{Näherung}} &= \frac{\text{p}K_{\text{S}} - \log c_{\text{Milchsäure}}}{2} \\
 &= \frac{3,87 - \log(0,019982549 \text{ mol/L})}{2} \\
 &= \underline{\underline{2,78}} \\
 \text{pH}_{\text{exakt}} &= \underline{\underline{2,80}}
 \end{aligned}$$

7.3.10.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 \text{pH} &= 5,4 \\
 w_{\text{Ameisensäure}} &= 0,1 \% \\
 V_{\text{Lösung}} &= 100 \text{ mL} \\
 \text{p}K_{\text{S}} &= 3,75 \quad (\text{schwache Säure}) \\
 M_{\text{Ameisensäure}} &= 46,0256 \text{ g/mol}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{Lösung}} 0,1 \%$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 \text{pH}_{\text{Näherung}} &= \frac{\text{p}K_{\text{S}} - \log c_{\text{Ameisensäure}}}{2} \\
 \text{pH} \cdot 2 &= \text{p}K_{\text{S}} - \log c_{\text{Ameisensäure}} \\
 \log c_{\text{Ameisensäure}} &= \text{p}K_{\text{S}} - \text{pH} \cdot 2 \\
 &= 3,75 - 5,4 \cdot 2 \\
 &= -7,05 \\
 c_{\text{Ameisensäure}} &= 10^{-7,05} \text{ mol/L} \\
 &= 8,9125093 \cdot 10^{-8} \text{ mol/L} \\
 \beta_{\text{Ameisensäure}} &= c_{\text{Ameisensäure}} \cdot M_{\text{Ameisensäure}} \\
 &= 8,9125093 \cdot 10^{-8} \text{ mol/L} \cdot 46,0256 \text{ g/mol} \\
 &= 4,1020359 \cdot 10^{-6} \text{ g/L} \\
 m_{\text{Ameisensäure}} &= \beta_{\text{Ameisensäure}} \cdot V_{\text{Lösung}} \\
 &= 4,1020359 \cdot 10^{-6} \text{ g/L} \cdot 0,1 \text{ L} \\
 &= 4,1020359 \cdot 10^{-7} \text{ g}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Lösung } 0,1\%} &= \frac{m_{\text{Ameisensäure}}}{w_{\text{Ameisensäure}}} \\
 &= \frac{4,1020359 \cdot 10^{-7} \text{ g}}{0,1\%} \\
 &= 4,1020359 \cdot 10^{-4} \text{ g} \\
 &= \underline{\underline{0,4102 \text{ mg}}}
 \end{aligned}$$

7.3.11.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 V_1 &= 120 \text{ mL} \\
 c_1 &= 2 \text{ mmol/L} \\
 \text{p}K_S &= 3,46 \\
 V_{\text{total}} &= 500 \text{ mL}
 \end{aligned}$$

gesucht:

pH

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 c_1 \cdot V_1 &= c_{\text{Säure verdünnt}} \cdot V_{\text{total}} \\
 c_{\text{Säure verdünnt}} &= \frac{c_1 \cdot V_1}{V_{\text{total}}} \\
 &= \frac{2 \text{ mmol/L} \cdot 120 \text{ mL}}{500 \text{ mL}} \\
 &= 0,48 \text{ mmol/L} \\
 &= 0,48 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L} \\
 \text{pH}_{\text{Näherung}} &= \frac{\text{p}K_S - \log c_{\text{Säure verdünnt}}}{2} \\
 &= \frac{3,46 - \log(0,48 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L})}{2} \\
 &= \underline{\underline{3,39}} \\
 \text{pH}_{\text{exakt}} &= \underline{\underline{3,57}}
 \end{aligned}$$

7.3.12.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 c_{\text{KOH}} &= 0,02 \text{ mol/L} \\
 \text{p}K_S &= 15,74 \\
 \text{p}K_B &= 14 - \text{p}K_S = 14 - 15,74 = -1,74 \quad (\text{starke Base})
 \end{aligned}$$

gesucht:

pH-Wert

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 \text{pOH} &= -\log c_{\text{Base}} \\
 &= -\log 0,02 \text{ mol/L} \\
 &= 1,70 \\
 \text{pH} &= 14 - \text{pOH} \\
 &= 14 - 1,70 \\
 &= \underline{\underline{12,30}}
 \end{aligned}$$

7.3.13.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 M_{\text{Ammoniak}} &= 17,0304 \text{ g/mol} \\
 m_{\text{Ammoniak}} &= 2,5 \text{ g} \\
 \text{p}K_{\text{S}} &= 9,24 \\
 \text{p}K_{\text{B}} &= 14 - 9,24 = 4,76 \quad (\text{schwache Base})
 \end{aligned}$$

gesucht:

pH-Wert

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 c_{\text{Ammoniak}} &= \frac{m_{\text{Ammoniak}}}{M_{\text{Ammoniak}}} \\
 &= \frac{2,5 \text{ g}}{17,0304 \text{ g/mol}} \\
 &= 0,146797 \text{ mol/L} \\
 \text{pOH} &= \frac{\text{p}K_{\text{B}} - \log c_{\text{Ammoniak}}}{2} \\
 &= \frac{4,76 - \log 0,146797 \text{ mol/L}}{2} \\
 &= 2,79664 \\
 \text{pH}_{\text{Näherung}} &= 14 - \text{pOH} \\
 &= 14 - 2,79664 \\
 &= \underline{\underline{11,20}} \\
 \text{pH}_{\text{exakt}} &= \underline{\underline{11,20}}
 \end{aligned}$$

7.3.14.

gegeben:

$$\beta_{\text{NaCN}} = 35,5 \text{ g/L}$$

$$M_{\text{NaCN}} = 49,007469 \text{ g/mol}$$

$$pK_S = 9,31$$

$$pK_B = 14 - pK_S = 14 - 9,31 = 4,69 \quad (\text{schwache Base})$$

gesucht:

pH-Wert

Berechnung:

$$\begin{aligned} c_{\text{NaCN}} &= \frac{m_{\text{NaCN}}}{M_{\text{NaCN}}} \\ &= \frac{35,5 \text{ mg/L}}{49,007469 \text{ mg/mmol}} \\ &= 0,724379375 \text{ mmol/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{pOH} &= \frac{pK_B - \log c_{\text{NaCN}}}{2} \\ &= \frac{4,69 - \log 0,0007243793795 \text{ mmol/L}}{2} \\ &= 3,915016961 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{pH}_{\text{Näherung}} &= 14 - \text{pOH} \\ &= 14 - 3,915016961 \\ &= \underline{\underline{10,08}} \end{aligned}$$

$$\text{pH}_{\text{exakt}} = \underline{\underline{10,05}}$$

7.3.15.

gegeben:

$$\text{pH} = 10,31$$

$$pK_S = 9,21$$

$$pK_B = 14 - pK_S = 14 - 9,21 = 4,79 \quad (\text{schwache Base})$$

gesucht:

 c_{Ammoniak}

Berechnung:

$$\begin{aligned} \text{pOH} &= 14 - \text{pH} \\ &= 14 - 10,31 \\ &= 3,69 \end{aligned}$$

$$\text{pOH} = \frac{\text{p}K_{\text{B}} - \log c_{\text{Ammoniak}}}{2}$$

$$\begin{aligned} \log c_{\text{Ammoniak}} &= \text{p}K_{\text{B}} - \text{pOH} \cdot 2 \\ &= 4,79 - 3,69 \\ &= -2,59 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c_{\text{Ammoniak}} &= 10^{-2,62} \text{ mol/L} \\ &= \underline{\underline{2,570 \text{ mmol/L}}} \end{aligned}$$

7.3.16.

gegeben:

$$\begin{aligned} V_1 &= 100 \text{ mL} \\ c_1 &= 2 \text{ mmol/L} \\ V_2 &= 150 \text{ mL} \\ c_2 &= 1,25 \text{ mmol/L} \end{aligned}$$

gesucht:

pH-Wert

Berechnung:

$$\begin{aligned} c_1 \cdot V_1 + c_2 \cdot V_2 &= c_{\text{total}} \cdot (V_1 + V_2) \\ c_{\text{total}} &= \frac{c_1 \cdot V_1 + c_2 \cdot V_2}{V_1 + V_2} \\ &= \frac{2 \text{ mmol/L} \cdot 100 \text{ mL} + 1,25 \text{ mmol/L} \cdot 150 \text{ mL}}{100 \text{ mL} + 150 \text{ mL}} \\ &= 1,55 \text{ mmol/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c_{\text{OH}^-} &= c_{\text{total}} \\ &= 0,00155 \text{ mol/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{pOH} &= -\log c_{\text{OH}^-} \\ &= -\log(0,00155 \text{ mol/L}) \\ &= 2,811218302 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{pH} &= 14 - \text{pOH} \\ &= 14 - 2,811218302 \\ &= \underline{\underline{11,19}} \end{aligned}$$

13.7.2 Lösungen Abschn. 7.4 – Pufferlösungen**7.4.1.**

a. gegeben:

$$\begin{aligned}c_{\text{Essigsäure}} &= 0,1 \text{ mol/L} \\c_{\text{Acetat}} &= 0,1 \text{ mol/L} \\pK_S &= 4,75\end{aligned}$$

gesucht:

$$pH_{\text{Puffer}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}pH_{\text{Puffer}} &= pK_S + \log \frac{c_{\text{Acetat}}}{c_{\text{Essigsäure}}} \\&= 4,75 + \log \frac{0,1 \text{ mol/L}}{0,1 \text{ mol/L}} \\&= 4,75 + \log 1 \\&= 4,75 + 0 \\&= \underline{\underline{4,75}}\end{aligned}$$

b. gegeben:

$$\begin{aligned}V_{\text{Puffer}} &= 1 \text{ L} \\c_{\text{HCl}} &= 1 \text{ mol/L} \\V_{\text{HCl}} &= 1 \text{ mL}\end{aligned}$$

gesucht:

$$\Delta pH$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}pH_{\text{Puffer}} &= pK_S + \log \frac{n_{\text{Acetat}} - n_{\text{H}^+}}{n_{\text{Essigsäure}} + n_{\text{H}^+}} \\&= 4,75 + \log \frac{0,1 \text{ mol} - 0,001 \text{ mol}}{0,1 \text{ mol} + 0,001 \text{ mol}} \\&= 4,75 + \log 0,980198 \text{ mol} \\&= 4,74131 \\ \Delta pH &= pH_{\text{Puffer}} - pH \\&= 4,75 - 4,74131 \\&= \underline{\underline{0,008686}}\end{aligned}$$

c. gegeben:

$$\begin{aligned}V_{\text{Wasser}} &= 1 \text{ L} \\V_{\text{HCl}} &= 1 \text{ mL} \\c_{\text{HCl}} &= 1 \text{ mol/L}\end{aligned}$$

gesucht:

pH-Wert

Berechnung:

$$\begin{aligned}c_{\text{HCl}} &= \frac{n_{\text{HCl}}}{V_{\text{Lösung}}} \\&= \frac{c_{\text{HCl}} \cdot V_{\text{HCl}}}{V_{\text{Wasser}} + V_{\text{HCl}}} \\&= \frac{1 \text{ mol/L} \cdot 0,001 \text{ L}}{1 \text{ L} + 0,001 \text{ L}} \\&= 9,9900999 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L} \\pH &= -\log c_{\text{HCl}} \\&= -\log 9,9900999 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L} \\&= \underline{\underline{3,00}}\end{aligned}$$

d. Wasser kann die Wirkung der Säure nicht puffern, sodass es zu einem starken pH-Abfall kommt.

7.4.2.

gegeben:

$$\begin{aligned}V_{\text{Essigsäure}} &= 25 \text{ mL} \\c_{\text{Essigsäure}} &= 1 \text{ mol/L} \\m_{\text{Na-Acetat}} &= 2,051 \text{ g} \\M_{\text{Na-Acetat}} &= 82,03427 \text{ g/mol} \\V_{\text{Puffer}} &= 0,5 \text{ L}\end{aligned}$$

gesucht:

pH_{Puffer}

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 c_{\text{Pufferbase}} &= \frac{m_{\text{Na-Acetat}}}{M_{\text{Na-Acetat}} \cdot V_{\text{Puffer}}} \\
 &= \frac{2,051 \text{ g}}{82,03427 \text{ g/mol} \cdot 0,5 \text{ L}} \\
 &= 0,0500034924 \text{ mol/L} \\
 c_{\text{Puffersäure}} &= \frac{V_{\text{Essigsäure}} \cdot c_{\text{Essigsäure}}}{V_{\text{Puffer}}} \\
 &= \frac{25 \text{ mL} \cdot 1 \text{ mol/L}}{500 \text{ mL}} \\
 &= 0,05 \text{ mol/L} \\
 \text{pH}_{\text{Puffer}} &= \text{p}K_{\text{S}} + \log \frac{c_{\text{Acetat}}}{c_{\text{Essigsäure}}} \\
 &= 4,75 + \log \frac{0,0500034924 \text{ mol/L}}{0,05 \text{ mol/L}} \\
 &= \underline{\underline{4,75}}
 \end{aligned}$$

7.4.3.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 V &= 500 \text{ mL} \\
 m_{\text{Essigsäure}} &= 10 \text{ g} \\
 M_{\text{Essigsäure}} &= 60,0524 \text{ g/mol} \\
 m_{\text{Na-Acetat}} &= 12 \text{ g} \\
 M_{\text{Na-Acetat}} &= 82,03527 \text{ g/mol} \\
 \text{p}K_{\text{S}} &= 4,75
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$\text{pH}_{\text{Puffer}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 c_{\text{Puffersäure}} &= \frac{m_{\text{Essigsäure}}}{M_{\text{Essigsäure}} \cdot V} \\
 &= \frac{10 \text{ g}}{60,0524 \text{ g/mol} \cdot 0,5 \text{ L}} \\
 &= 0,3330424762 \text{ mol/L}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c_{\text{Pufferbase}} &= \frac{12 \text{ g}}{82,03527 \text{ g/mol} \cdot 0,5 \text{ L}} \\
 &= 0,2925570916 \text{ mol/L} \\
 \text{pH}_{\text{Puffer}} &= \text{p}K_{\text{S}} + \log \frac{c_{\text{Acetat}}}{c_{\text{Essigsäure}}} \\
 &= 4,75 + \log \frac{0,2925570916 \text{ mol/L}}{0,3330424762 \text{ mol/L}} \\
 &= \underline{\underline{4,69}}
 \end{aligned}$$

7.4.4.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Lösung}} &= 1 \text{ L} \\
 m_{\text{NaHCO}_3} &= 1 \text{ g} \\
 M_{\text{NaHCO}_3} &= 84,00687 \text{ g/mol} \\
 m_{\text{Na}_2\text{CO}_3} &= 1 \text{ g} \\
 M_{\text{Na}_2\text{CO}_3} &= 105,98874 \text{ g/mol} \\
 \text{p}K_{\text{S}} &= 10,33
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$\text{pH}_{\text{Puffer}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 c_{\text{Puffersäure}} &= \frac{m_{\text{NaHCO}_3}}{M_{\text{NaHCO}_3} \cdot V_{\text{Lösung}}} \\
 &= \frac{1 \text{ g}}{84,00687 \text{ g/mol} \cdot 1 \text{ L}} \\
 &= 11,90378834 \text{ mmol/L} \\
 c_{\text{Pufferbase}} &= \frac{m_{\text{Na}_2\text{CO}_3}}{M_{\text{Na}_2\text{CO}_3} \cdot V_{\text{Lösung}}} \\
 &= \frac{1 \text{ g}}{105,98874 \text{ g/mol} \cdot 1 \text{ L}} \\
 &= 9,434964507 \text{ mmol/L} \\
 \text{pH}_{\text{Puffer}} &= \text{p}K_{\text{S}} + \log \frac{c_{\text{Na}_2\text{CO}_3}}{c_{\text{NaHCO}_3}} \\
 &= 10,33 + \log \frac{9,434964507 \text{ mmol/L}}{11,90378834 \text{ mmol/L}} \\
 &= \underline{\underline{10,23}}
 \end{aligned}$$

7.4.5.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Na-H-Oxalat}} &= 20 \text{ g} \\
 M_{\text{Na-H-Oxalat}} &= 112,0173 \text{ g/mol} \\
 m_{\text{Oxalsäure}} &= 20 \text{ g} \\
 M_{\text{Oxalsäure}} &= 90,0354 \text{ g/mol} \\
 V_{\text{Lösung}} &= 0,25 \text{ L} \\
 \text{p}K_{\text{S}} &= 1,23
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$\text{pH}_{\text{Puffer}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 c_{\text{Pufferbase}} &= \frac{m_{\text{Na-H-Oxalat}}}{m_{\text{Na-H-Oxalat}} \cdot V_{\text{Lösung}}} \\
 &= \frac{20 \text{ g}}{112,0173 \text{ g/mol} \cdot 0,25 \text{ L}} \\
 &= 0,7141753997 \text{ mol/L} \\
 c_{\text{Puffersäure}} &= \frac{m_{\text{Oxalsäure}}}{m_{\text{Oxalsäure}} \cdot V_{\text{Lösung}}} \\
 &= \frac{20 \text{ g}}{90,0354 \text{ g/mol} \cdot 0,25 \text{ L}} \\
 &= 0,8885393967 \text{ mol/L} \\
 \text{pH}_{\text{Puffer}} &= \text{p}K_{\text{S}} + \log \frac{c_{\text{Na-H-Oxalat}}}{c_{\text{Oxalsäure}}} \\
 &= 1,23 + \log \frac{0,7141753997 \text{ mol/L}}{0,8885393967 \text{ mol/L}} \\
 &= \underline{\underline{1,14}}
 \end{aligned}$$

7.4.6.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 \text{pH} &= 7,19 \\
 \beta_{\text{K-Hydrogenphosphat}} &= 25 \text{ g/L} \\
 M_{\text{K-H-Phosphat}} &= 174,17586 \text{ g/mol} \\
 \beta_{\text{K-di-H-Phosphat}} &= 20 \text{ g/L} \\
 M_{\text{K-di-H-Phosphat}} &= 136,08546 \text{ g/mol} \\
 M_{\text{K}} &= 39,0983 \text{ g/mol} \\
 \text{p}K_{\text{S}} &= 7,21
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$\beta_{\text{K total}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} c_{\text{K-di-H-Phosphat}} &= \frac{\beta_{\text{K-di-H-Phosphat}}}{M_{\text{K-di-H-Phosphat}}} \\ &= \frac{20 \text{ g/L}}{136,08546 \text{ g/mol}} \\ &= 0,1469664724 \text{ mol/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c_{\text{K-H-Phosphat}} &= \frac{\beta_{\text{K-H-Phosphat}}}{M_{\text{K-H-Phosphat}}} \\ &= \frac{25 \text{ g/L}}{174,17586 \text{ g/mol}} \\ &= 0,1435330935 \text{ mol/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c_{\text{K1}} &= c_{\text{K-di-H-Phosphat}} \\ &= 0,1469664724 \text{ mol/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c_{\text{K2}} &= c_{\text{K-H-Phosphat}} \cdot 2 \\ &= 0,1435330935 \text{ mol/L} \cdot 2 \\ &= 0,287066187 \text{ mol/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c_{\text{K total}} &= c_{\text{K1}} + c_{\text{K2}} \\ &= 0,1435330935 \text{ mol/L} + 0,287066187 \text{ mol/L} \\ &= 0,4305992805 \text{ mol/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta_{\text{K total}} &= c_{\text{K total}} \cdot M_{\text{K}} \\ &= 0,4305992805 \text{ mol/L} \cdot 39,0983 \text{ g/mol} \\ &= \underline{\underline{16,84 \text{ g/L}}} \end{aligned}$$

7.4.7.

gegeben:

$$\text{p}K_{\text{S}} = 6,35$$

$$\text{pH} = 7,35$$

gesucht:

$$c_{\text{Base}} : c_{\text{Säure}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} \text{pH}_{\text{Puffer}} &= \text{p}K_{\text{S}} + \log \frac{c_{\text{Pufferbase}}}{c_{\text{Puffersäure}}} \\ \log \frac{c_{\text{Pufferbase}}}{c_{\text{Puffersäure}}} &= \text{pH}_{\text{Puffer}} - \text{p}K_{\text{S}} \\ &= 7,35 - 6,35 \\ &= 1 \\ \frac{c_{\text{Pufferbase}}}{c_{\text{Puffersäure}}} &= 10^1 \\ &= 10 \\ c_{\text{Pufferbase}} : c_{\text{Puffersäure}} &= \underline{\underline{10 : 1}} \end{aligned}$$

7.4.8.

gegeben:

$$\begin{aligned} V_{\text{Medium}} &= 1,25 \text{ L} \\ c_{\text{Säure}} &= 3,5 \text{ mmol/L} \\ \text{pH} &= 4,0 \\ \text{p}K_{\text{S}} &= 3,87 \\ M_{\text{Na-Lactat}} &= 112,06047 \text{ g/mol} \end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{Na-Lactat}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} \text{pH}_{\text{Puffer}} &= \text{p}K_{\text{S}} + \log \frac{c_{\text{Pufferbase}}}{c_{\text{Puffersäure}}} \\ \log \frac{c_{\text{Pufferbase}}}{c_{\text{Puffersäure}}} &= \text{pH}_{\text{Puffer}} - \text{p}K_{\text{S}} \\ &= 4 - 3,87 \\ &= 0,13 \\ \frac{c_{\text{Pufferbase}}}{c_{\text{Puffersäure}}} &= 10^{0,13} \\ &= 1,348962 \\ c_{\text{Pufferbase}} &= 1,348962 \cdot c_{\text{Puffersäure}} \\ &= 1,348962 \cdot 3,5 \text{ mmol/L} \\ &= 4,721370091 \text{ mmol/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n_{\text{Pufferbase}} &= c_{\text{Pufferbase}} \cdot V_{\text{Lösung}} \\
 &= 4,721370091 \text{ mmol/L} \cdot 1,25 \text{ L} \\
 &= 5,901712614 \text{ mmol} \\
 n_{\text{Na-Lactat}} &= n_{\text{Pufferbase}} \cdot M_{\text{Na-Lactat}} \\
 &= 5,9017126 \text{ mmol} \cdot 112,06047 \text{ g/mol} \\
 &= \underline{\underline{661,3 \text{ mg}}}
 \end{aligned}$$

7.4.9.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 \text{p}K_{\text{S}} &= 7,2 \\
 \text{pH} &= 6,8 \\
 M_{\text{Na-Hydrogensulfit}} &= 104,05587 \text{ g/mol} \\
 M_{\text{Na-Sulfit}} &= 126,03774 \text{ g/mol}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{Na-Sulfit}} : m_{\text{Na-Hydrogensulfit}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 \text{pH}_{\text{Puffer}} &= \text{p}K_{\text{S}} + \log \frac{c_{\text{Pufferbase}}}{c_{\text{Puffersäure}}} \\
 \log \frac{c_{\text{Pufferbase}}}{c_{\text{Puffersäure}}} &= \text{pH}_{\text{Puffer}} - \text{p}K_{\text{S}} \\
 &= 6,8 - 7,2 \\
 &= -0,4 \\
 \frac{c_{\text{Pufferbase}}}{c_{\text{Puffersäure}}} &= 10^{-0,4} \\
 &= 0,3981071706 \text{ mol/L} : 1 \text{ mol/L} \\
 \frac{\beta_{\text{Na-Sulfit}}}{\beta_{\text{Na-Hydrogensulfit}}} &= \frac{c_{\text{Pufferbase}} \cdot M_{\text{Na-Sulfit}}}{c_{\text{Puffersäure}} \cdot M_{\text{Na-Hydrogensulfit}}} \\
 &= \frac{0,398107 \text{ mol/L} \cdot 126,038 \text{ g/mol}}{1 \text{ mol/L} \cdot 104,05587 \text{ g/mol}} \\
 &= 0,4822075685 \\
 m_{\text{Na-Sulfit}} : m_{\text{Na-Hydrogensulfit}} &= 0,4822075685 \text{ g} : 1 \text{ g} \\
 &= 1 \text{ g} : (0,4822075685 \text{ g})^{-1} \\
 &= \underline{\underline{1 \text{ g} : 2,074 \text{ g}}}
 \end{aligned}$$

7.4.10.

gegeben:

$$\begin{aligned} \text{p}K_{\text{S}} &= 7,2 \\ c_{\text{Pufferbase}} &= 25 \text{ mmol/L} \\ c_{\text{Puffersäure}} &= 25 \text{ mmol/L} \\ \text{pH} &= 7,12 \end{aligned}$$

gesucht:

$$c_{\text{H}^+}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} \text{pH}_{\text{Puffer}} &= \text{p}K_{\text{S}} + \log \frac{c_{\text{Pufferbase}} - c_{\text{H}^+ \text{ zugegeben}}}{c_{\text{Puffersäure}} + c_{\text{H}^+ \text{ zugegeben}}} \\ \log \frac{c_{\text{Pufferbase}} - c_{\text{H}^+ \text{ zugegeben}}}{c_{\text{Puffersäure}} + c_{\text{H}^+ \text{ zugegeben}}} &= \text{p}K_{\text{S}} - \text{pH}_{\text{Puffer}} \\ &= 7,12 - 7,2 \\ &= -0,08 \\ 10^{-0,08} &= \frac{c_{\text{Pufferbase}} - c_{\text{H}^+ \text{ zugegeben}}}{c_{\text{Puffersäure}} + c_{\text{H}^+ \text{ zugegeben}}} \\ &= \frac{0,025 \text{ mol/L} - c_{\text{H}^+}}{0,025 \text{ mol/L} + c_{\text{H}^+}} \\ 0,025 \text{ mol/L} - c_{\text{H}^+} &= 10^{-0,08} \cdot (0,025 \text{ mol/L} + c_{\text{H}^+}) \\ &= 10^{-0,08} \cdot 0,025 \text{ mol/L} + 10^{-0,08} \cdot c_{\text{H}^+} \\ &= 0,0207940 \text{ mol/L} + 0,8317638 \cdot c_{\text{H}^+} \\ 0,025 \text{ mol/L} - 0,0207940 \text{ mol/L} &= 0,8317638 \cdot c_{\text{H}^+} + c_{\text{H}^+} \\ 0,0042059 \text{ mol/L} &= 0,8317637711 \cdot c_{\text{H}^+} + c_{\text{H}^+} \\ &= c_{\text{H}^+} \cdot (0,8317637711 + 1) \\ &= c_{\text{H}^+} \cdot 1,8317637711 \\ c_{\text{H}^+} &= \frac{0,0042059 \text{ mol/L}}{1,8317637711} \\ &= \underline{\underline{2,296 \text{ mmol/L}}} \end{aligned}$$

7.4.11.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Lösung}} &= 0,5 \text{ L} \\
 \text{p}K_{\text{S}} &= 7,2 \\
 \text{pH} &= 7,1 \\
 \beta_{\text{K max.}} &= 0,154 \text{ g/L} \\
 M_{\text{KH}_2\text{PO}_4} &= 136,08546 \text{ g/mol}
 \end{aligned}$$

gesucht:

*m*K-Dihydrogenphosphat

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 c_{\text{K max.}} &= \frac{\beta_{\text{K max.}}}{M_{\text{K}}} \\
 &= \frac{0,154 \text{ g/L}}{39,0983 \text{ g/mol}} \\
 &= 3,93879 \text{ mmol/L} \\
 n_{\text{K max.}} &= c_{\text{K max.}} \cdot V_{\text{Lösung}} \\
 &= 3,93879017758 \text{ mmol/L} \cdot 0,5 \text{ L} \\
 &= 1,969395089 \text{ mmol} \\
 &= 2 \cdot n_{\text{K}_2\text{HPO}_4} + n_{\text{KH}_2\text{PO}_4} \\
 2 \cdot n_{\text{K}_2\text{HPO}_4} + n_{\text{KH}_2\text{O}_4} &= 1,969395089 \text{ mmol} \\
 \text{pH}_{\text{Puffer}} &= \text{p}K_{\text{S}} + \log \frac{c_{\text{Pufferbase}}}{c_{\text{Puffersäure}}} \\
 \log \frac{c_{\text{Pufferbase}}}{c_{\text{Puffersäure}}} &= \text{pH}_{\text{Puffer}} - \text{p}K_{\text{S}} \\
 &= 7,1 - 7,2 \\
 &= 0,1 \\
 \frac{c_{\text{Pufferbase}}}{c_{\text{Puffersäure}}} &= 10^{-0,1} \\
 &= 0,79432823 \text{ mol/L} \\
 \frac{n_{\text{K}_2\text{HPO}_4}}{n_{\text{KH}_2\text{PO}_4}} &= \frac{0,79432823 \text{ mol/L}}{1 \text{ mol/L}} \\
 &= \frac{0,79432823}{1} \\
 n_{\text{K}_2\text{HPO}_4} &= 0,79432823 \cdot n_{\text{KH}_2\text{PO}_4}
 \end{aligned}$$

Gleichungssystem (zwei Gleichungen, zwei Unbekannte):

$$\left| \begin{array}{l} 1,969395089 \text{ mmol} = 2 \cdot n_{\text{K}_2\text{HPO}_4} + n_{\text{KH}_2\text{PO}_4} \\ n_{\text{K}_2\text{HPO}_4} = 0,79432823 \cdot n_{\text{KH}_2\text{PO}_4} \end{array} \right|$$

$$\begin{aligned} 1,969395089 \text{ mmol} &= 2 \cdot 0,79432823 \cdot n_{\text{KH}_2\text{PO}_4} + n_{\text{KH}_2\text{PO}_4} \\ &= 1,58865646 \cdot n_{\text{KH}_2\text{PO}_4} + 1 \cdot n_{\text{KH}_2\text{PO}_4} \\ &= n_{\text{KH}_2\text{PO}_4} \cdot (1,588656460 + 1) \\ &= n_{\text{KH}_2\text{PO}_4} \cdot 2,588656460 \\ n_{\text{KH}_2\text{PO}_4} &= \frac{1,969395089 \text{ mmol}}{2,588656460} \\ &= 0,760778849 \text{ mmol} \\ m_{\text{KH}_2\text{PO}_4} &= n_{\text{KH}_2\text{PO}_4} \cdot M_{\text{KH}_2\text{PO}_4} \\ &= 0,7607788 \text{ mmol} \cdot 136,08546 \text{ mg/mmol} \\ &= \underline{\underline{103,5 \text{ mg}}} \end{aligned}$$

13.7.3 Lösungen Abschn. 7.5 – Säuren und Basen/Titration

7.5.1.

gegeben:

$$\begin{aligned} V_{\text{Perchlorsäure}} &= 12 \text{ mL} \\ c_{\text{NaOH}} &= 0,2 \text{ mol/L} \\ V_{\text{NaOH}} &= 5,3 \text{ mL} \end{aligned}$$

gesucht:

$$c_{\text{Perchlorsäure}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} c_{\text{Perchlorsäure}} \cdot V_{\text{Perchlorsäure}} &= c_{\text{NaOH}} \cdot V_{\text{NaOH}} \\ c_{\text{Perchlorsäure}} &= \frac{c_{\text{NaOH}} \cdot V_{\text{NaOH}}}{V_{\text{Perchlorsäure}}} \\ &= \frac{5,3 \text{ mL} \cdot 0,2 \text{ mol/L}}{12 \text{ mL}} \\ &= 0,08833 \text{ mol/L} \\ &= \underline{\underline{88,33 \text{ mmol/L}}} \end{aligned}$$

7.5.2.

gegeben:

$$\begin{aligned}V_{\text{HCl}} &= 54 \text{ mL} \\c_{\text{HCl}} &= 50 \text{ mmol/L} \\c_{\text{NaOH}} &= 100 \text{ mmol/L}\end{aligned}$$

gesucht:

$$V_{\text{NaOH}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}c_{\text{HCl}} \cdot V_{\text{HCl}} &= c_{\text{NaOH}} \cdot V_{\text{NaOH}} \\V_{\text{NaOH}} &= \frac{c_{\text{HCl}} \cdot V_{\text{HCl}}}{c_{\text{NaOH}}} \\&= \frac{54 \text{ mL} \cdot 50 \text{ mmol/L}}{100 \text{ mmol/L}} \\&= \underline{\underline{27,00 \text{ mL}}}\end{aligned}$$

7.5.3.

gegeben:

$$\begin{aligned}V_{\text{KOH}} &= 220 \text{ mL} \\V_{\text{HCl}} &= 112 \text{ mL} \\c_{\text{HCl}} &= 0,1 \text{ mol/L}\end{aligned}$$

gesucht:

$$c_{\text{KOH}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}c_{\text{HCl}} \cdot V_{\text{HCl}} &= c_{\text{KOH}} \cdot V_{\text{KOH}} \\c_{\text{KOH}} &= \frac{c_{\text{HCl}} \cdot V_{\text{HCl}}}{V_{\text{KOH}}} \\&= \frac{0,1 \text{ mol/L} \cdot 112 \text{ mL}}{220,0 \text{ mL}} \\&= \underline{\underline{50,91 \text{ mmol/L}}}\end{aligned}$$

7.5.4.

gegeben:

$$\begin{aligned}V_{\text{Essig}} &= 60 \text{ mL} \\c_{\text{KOH}} &= 20 \text{ mmol/L} \\V_{\text{KOH}} &= 36,7 \text{ mL}\end{aligned}$$

gesucht:

$$c_{\text{Essigsäure}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} c_{\text{Essigsäure}} \cdot V_{\text{Essig}} &= c_{\text{KOH}} \cdot V_{\text{KOH}} \\ c_{\text{Essigsäure}} &= \frac{c_{\text{KOH}} \cdot V_{\text{KOH}}}{V_{\text{Essig}}} \\ &= \frac{20 \text{ mmol/L} \cdot 36,70 \text{ mL}}{60,00 \text{ mL}} \\ &= \underline{\underline{12,23 \text{ mmol/L}}} \end{aligned}$$

7.5.5.

gegeben:

$$\begin{aligned} V_{\text{Urin}} &= 250 \text{ mL} \\ V_{\text{Indikator}} &= 0,5 \text{ mL} \\ c_{\text{HCl}} &= 50 \text{ mmol/L} \\ V_{\text{HCl}} &= 85,29 \text{ mL} \end{aligned}$$

gesucht:

$$c_{\text{Ammoniak}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} V_{\text{Base}} &= V_{\text{Urin}} + V_{\text{Indikator}} \\ &= 250 \text{ mL} + 0,5 \text{ mL} \\ &= 250,5 \text{ mL} \\ c_{\text{HCl}} \cdot V_{\text{HCl}} &= c_{\text{Ammoniak}} \cdot V_{\text{Base}} \\ c_{\text{Ammoniak}} &= \frac{c_{\text{HCl}} \cdot V_{\text{HCl}}}{V_{\text{Base}}} \\ &= \frac{50 \mu\text{mol/L} \cdot 85,29 \text{ mL}}{250,5 \text{ mL}} \\ &= \underline{\underline{17,02 \mu\text{mol/L}}} \end{aligned}$$

7.5.6.

gegeben:

$$\begin{aligned} V_{\text{Essigsäure}} &= 50 \text{ mL} \\ c_{\text{NaOH}} &= 100 \text{ mmol/L} \\ V_{\text{NaOH}} &= 32,68 \text{ mL} \\ M_{\text{Essigsäure}} &= 60,0524 \text{ g/mol} \end{aligned}$$

gesucht:

$$\beta_{\text{Essigsäure}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} c_{\text{Essigsäure}} \cdot V_{\text{Essigsäure}} &= c_{\text{NaOH}} \cdot V_{\text{NaOH}} \\ c_{\text{Essigsäure}} &= \frac{c_{\text{NaOH}} \cdot V_{\text{NaOH}}}{V_{\text{Essigsäure}}} \\ &= \frac{100 \text{ mmol/L} \cdot 32,68 \text{ mL}}{50 \text{ mL}} \\ &= 65,36 \text{ mmol/L} \\ \beta_{\text{Essigsäure}} &= c_{\text{Essigsäure}} \cdot M_{\text{Essigsäure}} \\ &= 65,36 \text{ mmol/L} \cdot 60,0524 \text{ mg/mmol} \\ &= 3925 \text{ mg/L} \\ &= \underline{\underline{3,925 \text{ g/L}}} \end{aligned}$$

7.5.7.

gegeben:

$$\begin{aligned} V_{\text{Ameisensäure}} &= 20 \text{ mL} \\ c_{\text{KOH}} &= 200 \text{ mmol/L} \\ V_{\text{KOH}} &= 29,20 \text{ mL} \\ n_{\text{Ameisensäure}} &= 1 \quad (\text{aus Reaktionsgleichung}) \\ n_{\text{KOH}} &= 1 \\ M_{\text{Ameisensäure}} &= 46,0256 \text{ g/mol} \end{aligned}$$

gesucht:

$$\beta_{\text{Ameisensäure}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} c_{\text{Ameisensäure}} \cdot V_{\text{Ameisensäure}} &= c_{\text{KOH}} \cdot V_{\text{KOH}} \\ c_{\text{Ameisensäure}} &= \frac{c_{\text{KOH}} \cdot V_{\text{KOH}}}{V_{\text{Ameisensäure}}} \\ &= \frac{200 \text{ mmol/L} \cdot 29,2 \text{ mL}}{20 \text{ mL}} \\ &= 292 \text{ mmol/L} \\ \beta_{\text{Ameisensäure}} &= c_{\text{Ameisensäure}} \cdot M_{\text{Ameisensäure}} \\ &= 0,292 \text{ mol/L} \cdot 46,0256 \text{ g/mol} \\ &= \underline{\underline{13,44 \text{ g/L}}} \end{aligned}$$

7.5.8.

gegeben:

$$\begin{aligned}\beta_{\text{Anfang}} &= 120 \text{ g/L} \\ V_{\text{Lösung}} &= 50 \text{ mL} \\ c_{\text{NaOH}} &= 0,1 \text{ mmol/L} \\ V_{\text{NaOH}} &= 83,9 \text{ mL} \\ M_{\text{Propansäure}} &= 74,0792 \text{ g/mol}\end{aligned}$$

gesucht:

$$\beta_{\text{Propansäure}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}c_{\text{Propansäure}} \cdot V_{\text{Lösung}} &= c_{\text{NaOH}} \cdot V_{\text{NaOH}} \\ c_{\text{Propansäure}} &= \frac{c_{\text{NaOH}} \cdot V_{\text{NaOH}}}{V_{\text{Lösung}}} \\ &= \frac{0,1 \text{ mmol/L} \cdot 83,9 \text{ mL}}{50 \text{ mL}} \\ &= 0,1678 \text{ mmol/L} \\ \beta_{\text{Propansäure}} &= c_{\text{Propansäure}} \cdot M_{\text{Propansäure}} \\ &= 0,1678 \text{ mmol/L} \cdot 74,0792 \text{ g/mol} \\ &= \underline{\underline{12,43 \text{ g/L}}}\end{aligned}$$

7.5.9.

gegeben:

$$\begin{aligned}V_{\text{Luft}} &= 15,5 \text{ m}^3 \\ V_{\text{Tank}} &= 8,5 \text{ L} \\ V_{\text{Ammoniak}} &= 120 \text{ mL} \\ c_{\text{HCl}} &= 50 \text{ } \mu\text{mol/L} \\ V_{\text{HCl}} &= 4,61 \text{ mL} \\ M_{\text{Ammoniak}} &= 17,0304 \text{ g/mol}\end{aligned}$$

gesucht:

$$\beta_{\text{Ammoniak in der Luft}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 c_{\text{HCl}} \cdot V_{\text{HCl}} &= c_{\text{Ammoniak}} \cdot V_{\text{Ammoniak}} \\
 c_{\text{Ammoniak}} &= \frac{c_{\text{HCl}} \cdot V_{\text{HCl}}}{V_{\text{Ammoniak}}} \\
 &= \frac{50 \mu\text{mol/L} \cdot 4,61 \text{ mL}}{120 \text{ mL}} \\
 &= 1,92083333 \mu\text{mol/L} \\
 n_{\text{Ammoniak in Probe}} &= c_{\text{Ammoniak}} \cdot V_{\text{Tank}} \\
 &= 1,92083333 \mu\text{mol/L} \cdot 8,5 \text{ L} \\
 &= 16,32708333 \mu\text{mol} \\
 m_{\text{Ammoniak in Probe}} &= n_{\text{Ammoniak in Probe}} \cdot M_{\text{Ammoniak}} \\
 &= 16,32708333 \mu\text{mol} \cdot 17,0304 \mu\text{g}/\mu\text{mol} \\
 &= 278,0567596 \mu\text{g} \\
 \beta_{\text{Ammoniak in der Luft}} &= \frac{m_{\text{Ammoniak in Probe}}}{V_{\text{Luft}}} \\
 &= \frac{278,0567596 \mu\text{g}}{15,5 \text{ m}^3} \\
 &= \underline{\underline{17,94 \mu\text{g}/\text{m}^3}}
 \end{aligned}$$

7.5.10.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Joghurt}} &= 100 \text{ mL} \\
 V_{\text{NaOH}} &= 23,2 \text{ mL} \\
 c_{\text{NaOH}} &= 1 \text{ mmol/L} \\
 M_{\text{Glucose}} &= 180,1572 \text{ g/mol} \\
 V_{\text{Milch}} &= 1 \text{ L}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{Glucose}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 c_{\text{Milchsäure}} \cdot V_{\text{Joghurt}} &= c_{\text{NaOH}} \cdot V_{\text{NaOH}} \\
 c_{\text{Milchsäure}} &= \frac{c_{\text{NaOH}} \cdot V_{\text{NaOH}}}{V_{\text{Joghurt}}} \\
 &= \frac{1 \text{ mmol/L} \cdot 23,2 \text{ mL}}{100 \text{ mL}} \\
 &= 0,232 \text{ mmol/L}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c_{\text{Glucose}} &= \frac{c_{\text{Milchsäure}}}{2} \\
 &= \frac{0,232 \text{ mmol/L}}{2} \\
 &= 0,116 \text{ mmol/L} \\
 m_{\text{Glucose}} &= c_{\text{Glucose}} \cdot M_{\text{Glucose}} \cdot V_{\text{Milch}} \\
 &= 0,116 \text{ mmol/L} \cdot 180,1572 \text{ g/mol} \cdot 1 \text{ L} \\
 &= \underline{\underline{20,90 \text{ mg}}}
 \end{aligned}$$

7.5.11.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Schwefelsäure}} &= 25,0 \text{ mL} \\
 c_{\text{NaOH}} &= 1 \text{ mmol/L} \\
 V_{\text{NaOH}} &= 14,58 \text{ mL} \\
 n_{\text{Schwefelsäure}} &= 2 \\
 n_{\text{NaOH}} &= 1
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$c_{\text{Schwefelsäure}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 c_{\text{Säure}} \cdot V_{\text{Säure}} \cdot n_{\text{Säure}} &= c_{\text{Base}} \cdot V_{\text{Base}} \cdot n_{\text{Base}} \\
 c_{\text{Schwefelsäure}} &= \frac{c_{\text{NaOH}} \cdot V_{\text{NaOH}} \cdot n_{\text{NaOH}}}{V_{\text{Schwefelsäure}} \cdot n_{\text{Schwefelsäure}}} \\
 &= \frac{1 \text{ mmol/L} \cdot 14,58 \text{ mL} \cdot 1}{25 \text{ mL} \cdot 2} \\
 &= 0,2916 \text{ mmol/L} \\
 &= \underline{\underline{291,6 \mu\text{mol/L}}}
 \end{aligned}$$

7.5.12.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Ca-Hydroxid}} &= 50 \text{ mL} \\
 c_{\text{Ca-Hydroxid}} &= 300 \text{ mmol/L} \\
 c_{\text{HCl}} &= 200 \text{ mmol/L} \\
 n_{\text{HCl}} &= 1 \\
 n_{\text{Ca-Hydroxid}} &= 2
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$V_{\text{HCl}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} c_{\text{HCl}} \cdot V_{\text{HCl}} \cdot n_{\text{HCl}} &= c_{\text{Ca-Hydroxid}} \cdot V_{\text{Ca-Hydroxid}} \cdot n_{\text{Ca-Hydroxid}} \\ &= \frac{300 \text{ mmol/L} \cdot 50 \text{ mL} \cdot 2}{200 \text{ mmol/L} \cdot 1} \\ &= \underline{\underline{150,0 \text{ mL}}} \end{aligned}$$

7.5.13.

gegeben:

$$\begin{aligned} c_{\text{KOH}} &= 10 \text{ mmol/L} \\ V_{\text{Oxalsäure}} &= 250 \text{ mL} \\ V_{\text{KOH}} &= 124,8 \text{ mL} \\ n_{\text{Oxalsäure}} &= 2 \\ n_{\text{KOH}} &= 1 \\ M_{\text{KOH}} &= 56,1056 \text{ g/mol} \end{aligned}$$

gesucht:

$$c_{\text{Oxalsäure}} \text{ und } m_{\text{KOH}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} c_{\text{Ox.}} \cdot V_{\text{Ox.}} \cdot n_{\text{Ox.}} &= c_{\text{KOH}} \cdot V_{\text{KOH}} \cdot n_{\text{KOH}} \\ c_{\text{Oxalsäure}} &= \frac{c_{\text{KOH}} \cdot V_{\text{KOH}} \cdot n_{\text{KOH}}}{V_{\text{Ox.}} \cdot n_{\text{Ox.}}} \\ &= \frac{10 \text{ mmol/L} \cdot 124,8 \text{ mL} \cdot 1}{250,0 \text{ mL} \cdot 2} \\ &= \underline{\underline{2,496 \text{ mmol/L}}} \\ m_{\text{KOH}} &= c_{\text{KOH}} \cdot V_{\text{KOH}} \cdot M_{\text{KOH}} \\ &= 10 \text{ mmol/L} \cdot 0,1248 \text{ L} \cdot 56,1056 \text{ mg/mmol} \\ &= \underline{\underline{70,02 \text{ mg}}} \end{aligned}$$

7.5.14.

gegeben:

$$V_{\text{Medium}} = 200 \text{ mL}$$

$$c_{\text{NaOH}} = 10 \text{ mmol/L}$$

$$V_{\text{NaOH}} = 84,10 \text{ mL}$$

$$n_{\text{Fumarsäure}} = 2$$

$$n_{\text{NaOH}} = 1$$

gesucht:

$$c_{\text{Fumarsäure}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} c_{\text{Säure}} \cdot V_{\text{Säure}} \cdot n_{\text{Säure}} &= c_{\text{Base}} \cdot V_{\text{Base}} \cdot n_{\text{Base}} \\ c_{\text{Fumarsäure}} &= \frac{c_{\text{NaOH}} \cdot V_{\text{NaOH}} \cdot n_{\text{NaOH}}}{V_{\text{Fumarsäure}} \cdot n_{\text{Fumarsäure}}} \\ &= \frac{10 \text{ mmol/L} \cdot 84,1 \text{ mL} \cdot 1}{200 \text{ mL} \cdot 2} \\ &= \underline{\underline{2,103 \text{ mmol/L}}} \end{aligned}$$

7.5.15.

gegeben:

$$V_{\text{Citronensäure}} = 50 \text{ mL}$$

$$c_{\text{NaOH}} = 0,1 \text{ mol/L}$$

$$V_{\text{NaOH}} = 15,7 \text{ mL}$$

$$V_{\text{Fermenter}} = 520 \text{ L}$$

$$n_{\text{Citronensäure}} = 3$$

$$M_{\text{Citronensäure}} = 192,1278 \text{ g/mol}$$

gesucht:

$$m_{\text{Citronensäure}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 c_{\text{Säure}} \cdot V_{\text{Säure}} \cdot n_{\text{Säure}} &= c_{\text{Base}} \cdot V_{\text{Base}} \cdot n_{\text{Base}} \\
 c_{\text{Citronensäure}} &= \frac{c_{\text{NaOH}} \cdot V_{\text{NaOH}} \cdot n_{\text{NaOH}}}{V_{\text{Citronensäure}} \cdot n_{\text{Citronensäure}}} \\
 &= \frac{0,1 \text{ mol/L} \cdot 15,7 \text{ mL} \cdot 1}{50 \text{ mL} \cdot 3} \\
 &= 0,01046666667 \text{ mol/L} \\
 \beta_{\text{Citronensäure}} &= c_{\text{Citronensäure}} \cdot M_{\text{Citronensäure}} \\
 &= 0,01046667 \text{ mol/L} \cdot 192,1278 \text{ g/mol} \\
 &= 2,01093764 \text{ g/L} \\
 m_{\text{Citronensäure}} &= \beta_{\text{Citronensäure}} \cdot V_{\text{Fermenter}} \\
 &= 2,01093764 \text{ g/L} \cdot 520 \text{ L} \\
 &= \underline{\underline{1,046 \text{ kg}}}
 \end{aligned}$$

7.5.16.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Übertrag}} &= 20 \text{ mL} \\
 V_{\text{aufgefüllt}} &= 50 \text{ mL} \\
 V_{\text{Säure}} &= 10 \text{ mL} \\
 c_{\text{NaOH}} &= 0,5 \text{ mol/L} \\
 V_{\text{NaOH}} &= 27,54 \text{ mL} \\
 t &= 1,078 \\
 n_{\text{Phosphorsäure}} &= 2
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$c_{\text{Phosphorsäure unverdünnt}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 c_{\text{Säure}} \cdot V_{\text{Säure}} \cdot n_{\text{Säure}} \cdot t &= c_{\text{Base}} \cdot V_{\text{Base}} \cdot n_{\text{Base}} \\
 c_{\text{Phosphorsäure}} &= \frac{c_{\text{NaOH}} \cdot V_{\text{NaOH}} \cdot n_{\text{NaOH}}}{V_{\text{Phosphorsäure}} \cdot n_{\text{Phosphorsäure}} \cdot t} \\
 &= \frac{0,5 \text{ mol/L} \cdot 27,54 \text{ mL} \cdot 1}{10 \text{ mL} \cdot 2 \cdot 1,078} \\
 &= 0,6386827458 \text{ mol/L}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c_{\text{Phosphorsäure unverdünnt}} &= \frac{c_{\text{Phosphorsäure}} \cdot V_{\text{aufgefüllt}}}{V_{\text{Übertrag}}} \\
 &= \frac{0,6386827458 \text{ mol/L} \cdot 50 \text{ mL}}{20 \text{ mL}} \\
 &= \underline{\underline{1,597 \text{ mol/L}}}
 \end{aligned}$$

7.5.17.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Kalkwasser}} &= 100 \text{ mL} \\
 c_{\text{HCl}} &= 0,1 \text{ mmol/L} \\
 V_{\text{HCl}} &= 42,16 \text{ mL} \\
 n_{\text{HCl}} &= 1 \\
 n_{\text{Kalkwasser}} &= 2 \\
 M_{\text{Ca}} &= 40,08 \text{ g/mol}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$\beta_{\text{Ca}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 c_{\text{HCl}} \cdot V_{\text{HCl}} \cdot n_{\text{HCl}} &= c_{\text{Ca-Hydroxid}} \cdot V_{\text{Ca-Hydroxid}} \cdot n_{\text{Ca-Hydroxid}} \\
 c_{\text{Ca-Hydroxid}} &= \frac{c_{\text{HCl}} \cdot V_{\text{HCl}} \cdot n_{\text{HCl}}}{V_{\text{Ca-Hydroxid}} \cdot n_{\text{Ca-Hydroxid}}} \\
 &= \frac{0,1 \text{ mmol/L} \cdot 42,16 \text{ mL} \cdot 1}{100 \text{ mL} \cdot 2} \\
 &= 0,02108 \text{ mmol/L} \\
 c_{\text{Ca}} &= c_{\text{Ca-Hydroxid}} \\
 &= 0,02108 \text{ mmol/L} \\
 \beta_{\text{Ca}} &= c_{\text{Ca}} \cdot M_{\text{Ca}} \\
 &= 0,02108 \text{ mmol/L} \cdot 40,08 \text{ g/mol} \\
 &= \underline{\underline{0,8449 \text{ mg/L}}}
 \end{aligned}$$

7.5.18.

gegeben:

$$m_{\text{Nährboden}} = 123,8 \text{ mg}$$

$$V_{\text{Suspension}} = 50 \text{ mL}$$

$$V_{\text{NaOH}} = 12,9 \text{ mL}$$

$$c_{\text{NaOH}} = 1 \text{ mmol/L}$$

$$n_{\text{Oxalsäure}} = 2$$

$$n_{\text{NaOH}} = 1$$

$$M_{\text{Oxalsäure}} = 90,0354 \text{ g/mol}$$

gesucht:

$$w_{\text{Oxalsäure}}$$

Berechnung:

$$c_{\text{Ox.}} \cdot V_{\text{Suspension}} \cdot n_{\text{Ox.}} = c_{\text{NaOH}} \cdot V_{\text{NaOH}} \cdot n_{\text{NaOH}}$$

$$\begin{aligned} c_{\text{Oxalsäure}} &= \frac{c_{\text{NaOH}} \cdot V_{\text{NaOH}} \cdot n_{\text{NaOH}}}{V_{\text{Suspension}} \cdot n_{\text{Oxalsäure}}} \\ &= \frac{1 \text{ mmol/L} \cdot 12,9 \text{ mL} \cdot 1}{50 \text{ mL} \cdot 2} \\ &= 0,129 \text{ mmol/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta_{\text{Oxalsäure}} &= c_{\text{Oxalsäure}} \cdot M_{\text{Oxalsäure}} \\ &= 0,129 \text{ mmol/L} \cdot 90,0354 \text{ mg/mmol} \\ &= 11,6145666 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_{\text{Oxalsäure}} &= \beta_{\text{Oxalsäure}} \cdot V_{\text{Oxalsäure}} \\ &= 11,6145666 \text{ mg/L} \cdot 0,05 \text{ L} \\ &= 0,58072833 \text{ mg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w_{\text{Oxalsäure}} &= \frac{m_{\text{Oxalsäure}}}{m_{\text{Nährboden}}} \\ &= \frac{0,58072833 \text{ mg}}{0,1238 \text{ g}} \\ &= \underline{\underline{4,691 \text{ mg/g}}} \end{aligned}$$

7.5.19.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Isocitronensäure}} &= 200 \text{ mL} \\
 c_{\text{NaOH}} &= 0,1 \text{ mmol/L} \\
 V_{\text{NaOH}} &= 45,27 \text{ mL} \\
 n_{\text{Isocitronensäure}} &= 3 \\
 n_{\text{NaOH}} &= 1 \\
 M_{\text{Isocitronensäure}} &= 192,1278 \text{ g/mol}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$\beta_{\text{Isocitronensäure}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 c_{\text{Isocitr.}} \cdot V_{\text{Isocitr.}} \cdot n_{\text{Isocitr.}} &= c_{\text{NaOH}} \cdot V_{\text{NaOH}} \cdot n_{\text{NaOH}} \\
 c_{\text{Isocitronensäure}} &= \frac{c_{\text{NaOH}} \cdot V_{\text{NaOH}} \cdot n_{\text{NaOH}}}{V_{\text{Isocitronensäure}} \cdot n_{\text{Isocitronensäure}}} \\
 &= \frac{0,1 \text{ mmol/L} \cdot 45,27 \text{ mL} \cdot 1}{200 \text{ mL} \cdot 3} \\
 &= 0,007545 \text{ mmol/L} \\
 \beta_{\text{Isocitronensäure}} &= c_{\text{Isocitronensäure}} \cdot M_{\text{Isocitronensäure}} \\
 &= 7,545 \text{ } \mu\text{mol/L} \cdot 192,1278 \text{ } \mu\text{g}/\mu\text{mol} \\
 &= \underline{\underline{1,450 \text{ mg/L}}}
 \end{aligned}$$

7.5.20.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 c_{\text{soll}} &= 5 \text{ } \mu\text{mol/L} \\
 V_{\text{Säure}} &= 150 \text{ mL} \\
 c_{\text{KOH}} &= 0,1 \text{ mmol/L} \\
 V_{\text{KOH}} &= 14,92 \text{ mL} \\
 n_{\text{KOH}} &= 1 \\
 n_{\text{Bernsteinsäure}} &= 2
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$\Delta c_{\text{Bernsteinsäure rel. (in \%)}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 c_{\text{Bernst.}} \cdot V_{\text{Bernst.}} \cdot n_{\text{Bernst.}} &= c_{\text{KOH}} \cdot V_{\text{KOH}} \cdot n_{\text{KOH}} \\
 c_{\text{Bernsteinsäure}} &= \frac{c_{\text{KOH}} \cdot V_{\text{KOH}} \cdot n_{\text{KOH}}}{V_{\text{Bernsteinsäure}} \cdot n_{\text{Bernsteinsäure}}} \\
 &= \frac{0,1 \text{ mmol/L} \cdot 14,92 \text{ mL} \cdot 1}{150 \text{ mL} \cdot 2} \\
 &= 4,9733333 \text{ } \mu\text{mol/L} \\
 \Delta c_{\text{Bernsteinsäure}} &= c_{\text{soll}} - c_{\text{Bernsteinsäure}} \\
 &= 5 \text{ mmol/L} - 4,9733333 \text{ } \mu\text{mol/L} \\
 &= 0,026666667 \text{ } \mu\text{mol/L} \\
 \Delta c_{\text{Bernsteinsäure rel.}} &= \frac{\Delta c_{\text{Bernsteinsäure}}}{c_{\text{soll}}} \\
 &= \frac{0,026666667 \text{ } \mu\text{mol/L}}{5 \text{ } \mu\text{mol/L}} \\
 &= \underline{\underline{0,5333 \%}}
 \end{aligned}$$

7.5.21.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Na-Carbonat}} &= 50 \text{ mL} \\
 c_{\text{HCl}} &= 9,97 \text{ mol/L} \\
 V_{\text{HCl}} &= 93,21 \text{ mL} \\
 n_{\text{Na-Carbonat}} &= 2 \\
 n_{\text{HCl}} &= 1 \\
 M_{\text{Na-Carbonat}} &= 105,98874 \text{ g/mol}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$\beta_{\text{Na-Carbonat}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 c_{\text{HCl}} \cdot V_{\text{HCl}} \cdot n_{\text{HCl}} &= c_{\text{Na-Carbonat}} \cdot V_{\text{Na-Carbonat}} \cdot n_{\text{Na-Carbonat}} \\
 c_{\text{Na-Carbonat}} &= \frac{c_{\text{HCl}} \cdot V_{\text{HCl}} \cdot n_{\text{HCl}}}{V_{\text{Na-Carbonat}} \cdot n_{\text{Na-Carbonat}}} \\
 &= \frac{9,97 \text{ mmol/L} \cdot 93,21 \text{ mL} \cdot 1}{50 \text{ mL} \cdot 2} \\
 &= 9,293037 \text{ mmol/L} \\
 \beta_{\text{Na-Carbonat}} &= 9,2930 \text{ mmol/L} \cdot 105,98874 \text{ mg/mmol} \\
 &= \underline{\underline{985,0 \text{ mg/L}}}
 \end{aligned}$$

7.5.22.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Citronensäure}} &= 25 \text{ mL} \\
 c_{\text{NaOH}} &= 2 \text{ mmol/L} \\
 t &= 0,9724 \\
 V_{\text{NaOH}} &= 30,92 \text{ mL} \\
 n_{\text{Citronensäure}} &= 3
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$c_{\text{Citronensäure}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 c_{\text{Cit.}} \cdot V_{\text{Cit.}} \cdot n_{\text{Cit.}} \cdot t &= c_{\text{NaOH}} \cdot V_{\text{NaOH}} \cdot n_{\text{NaOH}} \\
 c_{\text{Citronensäure}} &= \frac{c_{\text{NaOH}} \cdot V_{\text{NaOH}} \cdot n_{\text{NaOH}}}{V_{\text{Citronensäure}} \cdot n_{\text{Citronensäure}} \cdot t} \\
 &= \frac{2 \text{ mmol/L} \cdot 30,92 \text{ mL} \cdot 1}{25 \text{ mL} \cdot 3 \cdot 0,9724} \\
 &= \underline{\underline{0,8479 \text{ mmol/L}}}
 \end{aligned}$$

7.5.23.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 n_{\text{Verdünnung}} &= 5 \\
 c_{\text{Stammlösung}} &= 100 \text{ mmol/L} \\
 \beta_1 &= 500 \text{ mg/L} \\
 V_{\text{Übertrag}} &= 20 \text{ mL} \\
 V_{\text{aufgefüllt}} &= 120 \text{ mL} \\
 V_{\text{Oxalsäure titriert}} &= 20 \text{ mL} \\
 c_{\text{NaOH}} &= 0,01 \text{ mmol/L} \\
 V_{\text{NaOH}} &= 16,94 \text{ mL} \\
 M_{\text{Ameisensäure}} &= 46,0256 \text{ g/mol}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$\Delta c_{\text{Ameisensäure rel. (in \%)}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} f_{\text{Verdünnung}} &= \frac{V_{\text{aufgefüllt}}}{V_{\text{Übertrag}}} \\ &= \frac{120 \text{ mL}}{20 \text{ mL}} \\ &= 6 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta_{\text{soll Verdünnung 5}} &= \frac{\beta_1}{(f_{\text{Verdünnung}})^{(n_{\text{Verdünnung}}-1)}} \\ &= \frac{500 \text{ mg/L}}{6^{(5-1)}} \\ &= 0,3858024691 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c_{\text{soll Verdünnung 5}} &= \frac{\beta_{\text{soll Verdünnung 5}}}{M_{\text{Ameisensäure}}} \\ &= \frac{0,3858024691 \text{ mg/L}}{46,0256 \text{ mg/mmol}} \\ &= 8,38234524 \mu\text{mol/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c_{\text{Ameisensäure}} \cdot V_{\text{Ameisensäure}} &= c_{\text{NaOH}} \cdot V_{\text{NaOH}} \\ c_{\text{Ameisensäure}} &= \frac{c_{\text{NaOH}} \cdot V_{\text{NaOH}}}{V_{\text{Ameisensäure}}} \\ &= \frac{0,01 \text{ mmol/L} \cdot 16,94 \text{ mL}}{20 \text{ mL}} \\ &= 8,47 \mu\text{mol/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta c_{\text{Ameisensäure rel.}} &= \frac{c_{\text{Ameisensäure}} - c_{\text{soll Verdünnung 5}}}{c_{\text{Ameisensäure}}} \\ &= \frac{8,47 \mu\text{mol/L} - 8,38234524 \mu\text{mol/L}}{8,47 \mu\text{mol/L}} \\ &= \underline{\underline{1,046 \%}} \end{aligned}$$

7.5.24.

gegeben:

$$V_{\text{Ammonium-Cl}} = 1 \text{ L}$$

$$V_{\text{Schwefelsäure}} = 18,41 \text{ mL}$$

$$c_{\text{Schwefelsäure}} = 0,5 \text{ mol/L}$$

$$t = 1,022$$

$$n_{\text{Schwefelsäure}} = 2$$

$$M_{\text{Ammoniumchlorid}} = 53,4913 \text{ g/mol}$$

gesucht:

$$\beta_{\text{Ammoniumchlorid}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} n_{\text{Ammoniak}} &= c_{\text{Schwefelsäure}} \cdot V_{\text{Schwefelsäure}} \cdot n_{\text{Schwefelsäure}} \cdot t \\ &= 0,5 \text{ mol/L} \cdot 0,01841 \text{ L} \cdot 2 \cdot 1,022 \\ &= 0,01881502 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_{\text{Ammoniumchlorid}} &= n_{\text{Ammoniak}} \\ &= 0,01881502 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_{\text{Ammoniumchlorid}} &= n_{\text{Ammoniumchlorid}} \cdot M_{\text{Ammoniumchlorid}} \\ &= 0,01881502 \text{ mol} \cdot 53,4913 \text{ g/mol} \\ &= 1,006439879 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta_{\text{Ammoniumchlorid}} &= \frac{m_{\text{Ammoniumchlorid}}}{V_{\text{Ammoniumchlorid}}} \\ &= \frac{1,006439879 \text{ g}}{1 \text{ L}} \\ &= \underline{\underline{1,006 \text{ g/L}}} \end{aligned}$$

7.5.25.

gegeben:

$$\begin{aligned} m_{\text{Nährboden}} &= 20 \text{ g} \\ V_{\text{Suspension}} &= 100 \text{ mL} \\ V_{\text{Probe}} &= 50 \text{ mL} \\ c_{\text{HCl}} &= 0,1 \text{ mol/L} \\ V_{\text{HCl}} &= 12,91 \text{ mL} \\ m_{\text{total}} &= 1 \text{ kg} \\ M_{\text{Ammoniak}} &= 17,0304 \text{ g/mol} \end{aligned}$$

gesucht:

$$w_{\text{Ammoniak}} \text{ (in g/kg)}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} c_{\text{HCl}} \cdot V_{\text{HCl}} &= c_{\text{Ammoniak}} \cdot V_{\text{Probe}} \\ c_{\text{Ammoniak}} &= \frac{c_{\text{HCl}} \cdot V_{\text{HCl}}}{V_{\text{Probe}}} \\ &= \frac{0,1 \text{ mol/L} \cdot 12,91 \text{ mL}}{50 \text{ mL}} \\ &= 0,02582 \text{ mol/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \beta_{\text{Ammoniak}} &= c_{\text{Ammoniak}} \cdot M_{\text{Ammoniak}} \\
 &= 0,02582 \text{ mol/L} \cdot 17,0304 \text{ g/mol} \\
 &= 0,439724928 \text{ g/L} \\
 m_{\text{Ammoniak}} &= \beta_{\text{Ammoniak}} \cdot V_{\text{Probe}} \\
 &= 0,439724928 \text{ g/L} \cdot 0,1 \text{ L} \\
 &= 43,9724928 \text{ mg} \\
 w_{\text{Ammoniak}} &= \frac{m_{\text{Ammoniak}}}{m_{\text{Nährboden}}} \\
 &= \frac{43,9724928 \text{ mg}}{20 \text{ g}} \\
 &= 2,19862464 \text{ mg/g} \\
 &= \underline{\underline{2,199 \text{ g/kg}}}
 \end{aligned}$$

7.5.26.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 \beta_{\text{Ethanol}} &= 14,06 \text{ g/100 mL} \\
 t &= 30 \text{ d} \\
 V_{\text{Probe}} &= 100 \text{ mL} \\
 c_{\text{NaOH}} &= 2 \text{ mmol/L} \\
 V_{\text{NaOH}} &= 4,013 \text{ mL} \\
 M_{\text{Ethanol}} &= 46,0688 \text{ g/mol}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$\Delta\beta_{\text{EtOH}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 c_{\text{Essigsäure}} \cdot V_{\text{Probe}} &= c_{\text{NaOH}} \cdot V_{\text{NaOH}} \\
 c_{\text{Essigsäure}} &= \frac{c_{\text{NaOH}} \cdot V_{\text{NaOH}}}{V_{\text{Probe}}} \\
 &= \frac{2 \text{ mmol/L} \cdot 4,013 \text{ mL}}{100 \text{ mL}} \\
 &= 0,08026 \text{ mmol/L} \\
 \Delta c_{\text{Ethanol}} &= c_{\text{Essigsäure}} \\
 &= 0,08026 \text{ mmol/L} \\
 \Delta\beta_{\text{Ethanol}} &= \Delta c_{\text{EtOH}} \cdot M_{\text{Ethanol}} \\
 &= 0,08026 \text{ mmol/L} \cdot 46,0688 \text{ mg/mmol} \\
 &= \underline{\underline{3,697 \text{ mg/L}}}
 \end{aligned}$$

7.5.27.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Blätter}} &= 53,57 \text{ g} \\
 V_{\text{Lösung}} &= 200 \text{ mL} \\
 c_{\text{NaOH}} &= 10 \text{ mmol/L} \\
 V_{\text{NaOH}} &= 31,59 \text{ mL} \\
 V_{\text{Oxals.}} &= 50 \text{ mL} \\
 M_{\text{Oxals.}} &= 90,0354 \text{ g/mol}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$c_{\text{Oxalsäure}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 c_{\text{Ox.}} \cdot V_{\text{Ox.}} \cdot n_{\text{Ox.}} &= c_{\text{NaOH}} \cdot V_{\text{NaOH}} \\
 c_{\text{Oxalsäure}} &= \frac{c_{\text{NaOH}} \cdot V_{\text{NaOH}}}{V_{\text{Oxalsäure}} \cdot n_{\text{Oxalsäure}}} \\
 &= \frac{10 \text{ mmol/L} \cdot 31,59 \text{ mL}}{50 \text{ mL} \cdot 2} \\
 &= 3,159 \text{ mmol/L} \\
 \beta_{\text{Oxalsäure}} &= c_{\text{Oxalsäure}} \cdot M_{\text{Oxalsäure}} \\
 &= 3,159 \text{ mmol/L} \cdot 90,0354 \text{ mg/mmol} \\
 &= 284,4218 \text{ mg/L} \\
 &= 56,88437 \text{ mg/200 mL} \\
 m_{\text{Oxalsäure}} &= \beta_{\text{Oxalsäure}} \cdot V_{\text{Lösung}} \\
 &= 284,4218 \text{ mg/L} \cdot 0,2 \text{ L} \\
 &= 56,88437 \text{ mg} \\
 w_{\text{Oxalsäure}} &= \frac{56,88437 \text{ mg}}{53,57 \text{ g}} \\
 &= 1,06187 \text{ mg/g} \\
 &= 0,106187 \text{ g/100 g} \\
 &= \underline{\underline{0,1062 \%}}
 \end{aligned}$$

7.5.28.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Stearinsäure}} &= 23,31 \text{ g} \\
 c_{\text{NaOH}} &= 1 \text{ mol/L} \\
 V_{\text{NaOH}} &= 250 \text{ mL} \\
 c_{\text{HCl}} &= 0,9871 \text{ mol/L} \\
 V_{\text{HCl}} &= 12,81 \text{ mL} \\
 M_{\text{Stearinsäure}} &= 284,4812 \text{ g/mol}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$w_{\text{Stearinsäure}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 n_{\text{Basenüberschuss}} &= c_{\text{HCl}} \cdot V_{\text{HCl}} \\
 &= 0,9871 \text{ mmol/mL} \cdot 12,81 \text{ mL} \\
 &= 12,644751 \text{ mmol} \\
 n_{\text{Base verbraucht}} &= c_{\text{HCl}} \cdot V_{\text{HCl}} \\
 &= c_{\text{NaOH}} \cdot V_{\text{NaOH}} - n_{\text{Basenüberschuss}} \\
 &= 1 \text{ mmol/mL} \cdot 25 \text{ mL} - 12,644751 \text{ mmol} \\
 &= 25 \text{ mmol} - 12,644751 \text{ mmol} \\
 &= 12,355249 \text{ mmol} \\
 n_{\text{Stearinsäure}} &= n_{\text{Base verbraucht}} \\
 &= 12,355249 \text{ mmol} \\
 m_{\text{Stearinsäure}} &= n_{\text{Stearinsäure}} \cdot M_{\text{Stearinsäure}} \\
 &= 12,355249 \text{ mmol} \cdot 284,4812 \text{ mg/mmol} \\
 &= 3,514836062 \text{ g} \\
 w_{\text{Stearinsäure}} &= \frac{m_{\text{Stearinsäure}}}{m_{\text{verunreinigte Säure}}} \\
 &= \frac{3,514836062 \text{ g}}{23,31 \text{ g}} \\
 &= \underline{\underline{15,08 \%}}
 \end{aligned}$$

7.5.29.

gegeben:

$$M_{\text{Enzym}} = 141,0 \text{ kg/mol}$$

$$V_{\text{Lösung}} = 120 \text{ mL}$$

$$\beta_{\text{EtOH}} = 2,5 \text{ g/L}$$

$$V_{\text{NADH}} = 2 \text{ mL}$$

$$m_{\text{Enzym}} = 50 \text{ mg}$$

$$t = 48 \text{ h}$$

$$V_{\text{Säure}} = 50 \text{ mL}$$

$$c_{\text{KOH}} = 50 \text{ mmol/L}$$

$$V_{\text{KOH}} = 31,06 \text{ mL}$$

gesucht:

$$v_{\text{Enzym}} \text{ (in mol EtOH/(mol Enzym} \cdot \text{h))}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} n_{\text{Enzym}} &= \frac{m_{\text{Enzym}}}{M_{\text{Enzym}}} \\ &= \frac{50 \text{ mg}}{141 \text{ mg}/\mu\text{mol}} \\ &= 0,3546099291 \mu\text{mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c_{\text{Essigsäure}} \cdot V_{\text{Essigsäure}} &= c_{\text{KOH}} \cdot V_{\text{KOH}} \\ c_{\text{Essigsäure}} &= \frac{c_{\text{KOH}} \cdot V_{\text{KOH}}}{V_{\text{Essigsäure}}} \\ &= \frac{50 \text{ mmol/L} \cdot 31,06 \text{ mL}}{50 \text{ mL}} \\ &= 31,06 \text{ mmol/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_{\text{Essigsäure}} &= c_{\text{Essigsäure}} \cdot (V_{\text{Lösung}} + V_{\text{NADH}}) \\ &= 31,06 \text{ mmol/L} \cdot (0,12 \text{ L} + 0,002 \text{ L}) \\ &= 3,78932 \text{ mmol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v_{\text{Essigsäure}} &= \frac{n_{\text{Essigsäure}}}{n_{\text{Enzym}} \cdot t} \\ &= \frac{3789,32 \mu\text{mol}}{0,3546099291 \mu\text{mol} \cdot 48 \text{ h}} \\ &= 222,6 \frac{\text{mol Ethanol}}{\text{mol Enzym} \cdot \text{h}} \end{aligned}$$

7.5.30.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 \beta_{\text{BSPE}} &= 5 \text{ g/L} \\
 V_{\text{Lösung}} &= 100 \text{ mL} \\
 V_{\text{Enzym}} &= 1 \text{ mL} \\
 c_{\text{Enzym}} &= 0,5 \text{ nmol/L} \\
 t &= 20 \text{ min} \\
 V_{\text{Probe}} &= 25 \text{ mL} \\
 V_{\text{KOH}} &= 3,614 \text{ mL} \\
 c_{\text{KOH}} &= 2,5 \text{ mmol/L}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$v_{\text{Enzym}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 n_{\text{Enzym}} &= c_{\text{Enzym}} \cdot V_{\text{Enzym}} \\
 &= 0,5 \text{ nmol/L} \cdot 0,001 \text{ L} \\
 &= 5 \cdot 10^{-10} \text{ mmol/L} \\
 c_{\text{Buttersäure}} \cdot V_{\text{Probe}} &= c_{\text{KOH}} \cdot V_{\text{KOH}} \\
 c_{\text{Buttersäure}} &= \frac{c_{\text{KOH}} \cdot V_{\text{KOH}}}{V_{\text{Probe}}} \\
 &= \frac{2,5 \text{ mmol/L} \cdot 3,614 \text{ mL}}{25 \text{ mL}} \\
 &= 0,3614 \text{ mmol/L} \\
 \Delta n_{\text{Buttersäure}} &= c_{\text{Buttersäure}} \cdot (V_{\text{Lösung}} + V_{\text{Enzym}}) \\
 &= 0,3614 \text{ mmol/L} \cdot (0,1 \text{ L} + 0,001 \text{ L}) \\
 &= 0,0365014 \text{ mmol} \\
 n_{\text{Enzym}} &= \frac{\Delta n_{\text{Buttersäure}}}{n_{\text{Enzym}} \cdot t} \\
 &= \frac{0,0365014 \text{ mmol}}{5 \cdot 10^{-10} \text{ mmol/L} \cdot 20 \text{ min}} \\
 &= 3,650 \cdot 10^6 \frac{\text{Buttersäuren}}{\text{Enzym} \cdot \text{min}}
 \end{aligned}$$

13.8 Lösungen Kap. 8 – Chemisches Rechnen

13.8.1 Lösungen Abschn. 8.2 – Chemische Berechnungen

8.2.1.

gegeben:

$$\begin{aligned}n_{\text{Essigsäure}} &= 1 \text{ mol} \\n_{\text{NaOH}} &= 0,5 \text{ mol} \\M_{\text{Na-Acetat}} &= 82,03427 \text{ g/mol}\end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{Na-Acetat}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}n_{\text{Na-Acetat}} &= n_{\text{NaOH}} \\&= 0,5 \text{ mol} \\m_{\text{Na-Acetat}} &= n_{\text{Na-Acetat}} \cdot M_{\text{Na-Acetat}} \\&= 0,5 \text{ mol} \cdot 82,0343 \text{ g/mol} \\&= \underline{\underline{41,02 \text{ g}}}\end{aligned}$$

8.2.2.

gegeben:

$$\begin{aligned}M_{\text{Cys}} &= 121,15874 \text{ mg/mmol} \\M_{\text{S}} &= 32,064 \text{ } \mu\text{g}/\mu\text{mol} \\w_{\text{Cys ursprünglich}} &= 12 \text{ mg}/100 \text{ g} \\w_{\text{S}} &= 0,86 \text{ } \mu\text{g}/100 \text{ g}\end{aligned}$$

gesucht:

$$w_{\text{Cys verwertet}} \text{ (in \%)}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}\chi_{\text{S}} &= \frac{w_{\text{S}}}{M_{\text{S}}} \\&= \frac{0,8600 \text{ } \mu\text{g}/100 \text{ g}}{32,064 \text{ } \mu\text{g}/\mu\text{mol}} \\&= 0,0268213572 \text{ } \mu\text{mol}/100 \text{ g} \\ \chi_{\text{Cys noch vorhanden}} &= \chi_{\text{S}} \\&= 0,0268213572 \text{ } \mu\text{mol}/100 \text{ g}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 w_{\text{Cys noch vorhanden}} &= \chi_{\text{Cys noch vorhanden}} \cdot M_{\text{Cys}} \\
 &= 0,02682136 \mu\text{mol}/100 \text{ g} \cdot 121,15874 \mu\text{g}/\mu\text{mol} \\
 &= 3,249641843 \mu\text{g}/100 \text{ g} \\
 w_{\text{Cys verwertet}} &= w_{\text{Cys ursprünglich}} - w_{\text{Cys noch vorhanden}} \\
 &= 12,00 \text{ mg}/100 \text{ g} - 0,003249641843 \mu\text{g}/100 \text{ g} \\
 &= 11,99675036 \text{ mg}/100 \text{ g} \\
 w_{\text{Cys rel. verwertet}} &= \frac{w_{\text{Cys verwertet}}}{w_{\text{Cys ursprünglich}}} \\
 &= \frac{11,99675036 \text{ mg}/100 \text{ g}}{12,00 \text{ mg}/100 \text{ g}} \\
 &= \underline{\underline{99,97 \%}}
 \end{aligned}$$

8.2.3.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 \beta_{\text{Glucose ursprünglich}} &= 163,0 \text{ g/L} \\
 \sigma_{\text{Ethanol}} &= 10,10 \% = 0,1010 \text{ mL/ml} \\
 \rho_{\text{Ethanol}} &= 789,0 \text{ g/L} \\
 M_{\text{Glucose}} &= 180,15894 \text{ g/mol} \\
 M_{\text{Ethanol}} &= 46,06952 \text{ g/mol}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$\beta_{\text{Glucose}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 \beta_{\text{Ethanol}} &= \sigma_{\text{Ethanol}} \cdot \rho_{\text{Ethanol}} \\
 &= \frac{10,10 \text{ mL}}{100 \text{ mL}} \cdot 789,0 \text{ g/L} \\
 &= 79,689 \text{ g/L} \\
 c_{\text{Ethanol}} &= \frac{\beta_{\text{Ethanol}}}{M_{\text{Ethanol}}} \\
 &= \frac{79,689 \text{ g/L}}{46,06952 \text{ g/mol}} \\
 &= 1,729755378 \text{ mol/L} \\
 \Delta c_{\text{Glucose umgewandelt}} &= \frac{c_{\text{Ethanol}}}{2} \\
 &= \frac{1,729755378 \text{ mol/L}}{2} \\
 &= 0,864877689 \text{ mol/L}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta\beta_{\text{Glucose umgewandelt}} &= \Delta c_{\text{Glucose umgewandelt}} \cdot M_{\text{Glucose}} \\ &= 0,864878 \text{ mol/L} \cdot 180,159 \text{ g/mol} \\ &= 155,8154477 \text{ g/L}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\beta_{\text{Glucose Rest}} &= \beta_{\text{Glucose ursprünglich}} - \Delta\beta_{\text{Glucose umgewandelt}} \\ &= 163,0 \text{ g/L} - 155,8154477 \text{ g/L} \\ &= \underline{\underline{7,185 \text{ g/L}}}\end{aligned}$$

8.2.4.

gegeben:

$$\begin{aligned}m_{\text{Boden}} &= 150 \text{ g} \\ c_{\text{HCl}} &= 10 \text{ mmol/L} \\ V_{\text{total}} &= 500 \text{ mL} \\ \beta_{\text{Ca-Chlorid}} &= 3,519 \text{ g/L} \\ M_{\text{Ca-Chlorid}} &= 110,986 \text{ g/mol} \\ M_{\text{Ca-Carbonat}} &= 100,0892 \text{ g/mol}\end{aligned}$$

gesucht:

$$w_{\text{Ca-Carbonat}} \text{ (in g/kg)}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}c_{\text{Ca-Chlorid}} &= \frac{\beta_{\text{Ca-Chlorid}}}{M_{\text{Ca-Chlorid}}} \\ &= \frac{3,519 \text{ g/L}}{110,986 \text{ g/mol}} \\ &= 0,0317067 \text{ mol/L} \\ c_{\text{Ca-Carbonat}} &= c_{\text{Ca-Chlorid}} \\ &= 0,0317067 \text{ mol/L} \\ \beta_{\text{Ca-Carbonat}} &= c_{\text{Ca-Carbonat}} \cdot M_{\text{Ca-Carbonat}} \\ &= 0,0317067 \text{ mol/L} \cdot 100,0892 \text{ g/mol} \\ &= 3,173498412 \text{ g/L} \\ m_{\text{Ca-Carbonat}} &= \beta_{\text{Ca-Carbonat}} \cdot V_{\text{total}} \\ &= 3,173498412 \text{ g/L} \cdot 0,5 \text{ L} \\ &= 1,586749206 \text{ g} \\ w_{\text{Ca-Carbonat}} &= \frac{m_{\text{Ca-Carbonat}}}{m_{\text{Boden}}} \\ &= \frac{1,586749206 \text{ g}}{150 \text{ g}} \\ &= \underline{\underline{10,58 \text{ g/kg}}}\end{aligned}$$

8.2.5.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Probe}} &= 8,419 \text{ g} \\
 V_{\text{Wasserstoff}} &= 215,9 \text{ mL} = 0,2159 \text{ L} \\
 M_{\text{Wasserstoff}} &= 2,0158 \text{ g/mol} \\
 M_{\text{Ölsäure}} &= 282,4654 \text{ g/mol} \\
 V_{\text{m}} &= 22,41 \text{ L/mol}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$w_{\text{Ölsäure}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 n_{\text{Wasserstoff}} &= \frac{V_{\text{Wasserstoff}}}{V_{\text{m}}} \\
 &= \frac{0,2159 \text{ L}}{22,41 \text{ L/mol}} \\
 &= 9,638392857 \text{ mmol} \\
 n_{\text{Ölsäure}} &= n_{\text{Wasserstoff}} \\
 &= 9,638392857 \text{ mmol} \\
 m_{\text{Ölsäure}} &= n_{\text{Ölsäure}} \cdot M_{\text{Ölsäure}} \\
 &= 9,63839 \text{ mmol} \cdot 282,465 \text{ mg/mmol} \\
 &= 2,722512494 \text{ g} \\
 w_{\text{Ölsäure}} &= \frac{m_{\text{Ölsäure}}}{m_{\text{Probe}}} \\
 &= \frac{2,722512494 \text{ g}}{8,419 \text{ g}} \\
 &= 0,3233771819 \text{ g/g} \\
 &= \underline{\underline{32,34 \%}}
 \end{aligned}$$

8.2.6.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 d_{\text{Sulfonamid}} &= 50 \text{ mg/kg} \\
 \alpha_{\text{Lösung}} &= 5 \text{ mL/kg} \\
 V_{\text{Lösung}} &= 10 \text{ mL} \\
 M_{\text{Sulfonamid}} &= 188,2008 \text{ g/mol} && (\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_3\text{N}_2\text{S}) \\
 M_{\text{Na-Sulfonamid}} &= 210,18267 \text{ g/mol} && (\text{NaC}_6\text{H}_7\text{O}_3\text{N}_2\text{S})
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{Na-Sulfonamid}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} m_{\text{Sulfonamid}} &= \frac{V_{\text{Lösung}} \cdot d_{\text{Sulfonamid}}}{\alpha_{\text{Lösung}}} \\ &= \frac{10 \text{ mL} \cdot 50 \text{ mg/kg}}{5 \text{ mL/kg}} \\ &= 100 \text{ mg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_{\text{Sulfonamid}} &= \frac{m_{\text{Sulfonamid}}}{M_{\text{Sulfonamid}}} \\ &= \frac{100 \text{ mg}}{188,2008 \text{ mg/mmol}} \\ &= 0,5313473694 \text{ mmol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_{\text{Na-Sulfonamid}} &= n_{\text{Sulfonamid}} \\ &= 0,5313473694 \text{ mmol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_{\text{Na-Sulfonamid}} &= n_{\text{Na-Sulfonamid}} \cdot M_{\text{Na-Sulfonamid}} \\ &= 0,53134737 \text{ mmol} \cdot 210,18267 \text{ mg/mmol} \\ &= \underline{\underline{111,7 \text{ mg}}} \end{aligned}$$

8.2.7.

gegeben:

$$m_{\text{Adrenalin}} = 120 \text{ mg}$$

$$M_{\text{Adrenalin}} = 183,2 \text{ g/mol}$$

$$c_{\text{HCl}} = 0,1 \text{ mol/L}$$

$$M_{\text{HCl}} = 36,4609 \text{ g/mol}$$

gesucht:

$$V_{\text{HCl}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} n_{\text{Adrenalin}} &= \frac{m_{\text{Adrenalin}}}{M_{\text{Adrenalin}}} \\ &= \frac{120 \text{ mg}}{183,2 \text{ mg/mmol}} \\ &= 0,655021834 \text{ mmol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_{\text{HCl}} &= n_{\text{Adrenalin}} \\ &= 0,655021834 \text{ mmol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c_{\text{HCl}} &= \frac{n_{\text{HCl}}}{V_{\text{HCl}}} \\
 V_{\text{HCl}} &= \frac{n_{\text{HCl}}}{c_{\text{HCl}}} \\
 &= \frac{0,655021834 \text{ mmol}}{0,1 \text{ mmol/mL}} \\
 &= \underline{\underline{6,550 \text{ mL}}}
 \end{aligned}$$

8.2.8.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Saft}} &= 3 \text{ L} \\
 \beta_{\text{Glucose}} &= 160 \text{ g/L} \\
 \beta_{\text{Ethanol}} &= 300 \text{ g/L} \\
 M_{\text{Glucose}} &= 180,1572 \text{ g/mol} \\
 M_{\text{Ethanol}} &= 46,0688 \text{ g/mol}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$V_{\text{Ethanol}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Glucose}} &= \beta_{\text{Glucose}} \cdot V_{\text{Saft}} \\
 &= 160 \text{ g/L} \cdot 3 \text{ L} \\
 &= 480 \text{ g} \\
 n_{\text{Glucose}} &= \frac{m_{\text{Glucose}}}{M_{\text{Glucose}}} \\
 &= \frac{480 \text{ g}}{180,1572 \text{ g/mol}} \\
 &= 2,66433981 \text{ mol} \\
 n_{\text{Ethanol}} &= n_{\text{Glucose}} \cdot 2 \\
 &= 2,66433981 \text{ mol} \cdot 2 \\
 &= 5,32867962 \text{ mol} \\
 m_{\text{Ethanol}} &= n_{\text{Ethanol}} \cdot M_{\text{Ethanol}} \\
 &= 5,32867962 \text{ mol} \cdot 46,0688 \text{ g/mol} \\
 &= 245,4858757 \text{ g} \\
 V_{\text{Ethanol}} &= \frac{m_{\text{Ethanol}}}{\beta_{\text{Ethanol}}} \\
 &= \frac{245,4858757 \text{ g}}{300 \text{ g/L}} \\
 &= 0,8182862523 \text{ L} \\
 &= \underline{\underline{818,3 \text{ mL}}}
 \end{aligned}$$

8.2.9.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Nierensteine}} &= 2 \text{ g} \\
 m_{\text{Ca-Chlorid}} &= 444 \text{ mg} \\
 M_{\text{Ca-Chlorid}} &= 110,986 \text{ g/mol} \\
 M_{\text{Kalk}} &= 100,0892 \text{ g/mol}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$w_{\text{Kalk}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 n_{\text{Ca-Chlorid}} &= \frac{m_{\text{Ca-Chlorid}}}{M_{\text{Ca-Chlorid}}} \\
 &= \frac{444 \text{ mg}}{110,986 \text{ mg/mmol}} \\
 &= 4,000504568 \text{ mmol} \\
 n_{\text{Kalk}} &= n_{\text{Ca-Chlorid}} \\
 &= 4,000504568 \text{ mmol} \\
 m_{\text{Kalk}} &= n_{\text{Kalk}} \cdot M_{\text{Kalk}} \\
 &= 4,00050457 \text{ mmol} \cdot 100,0892 \text{ mg/mmol} \\
 &= 400,4073018 \text{ mg} \\
 w_{\text{Kalk}} &= \frac{m_{\text{Kalk}}}{m_{\text{Nierensteine}}} \\
 &= \frac{400,4073018 \text{ mg}}{2 \text{ g}} \\
 &= \underline{\underline{200,2 \text{ mg/g}}}
 \end{aligned}$$

8.2.10.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 \beta_{\text{KCl}} &= 125 \text{ mg/L} \\
 V_{\text{Lösung}} &= 5 \text{ L} \\
 M_{\text{KCl}} &= 74,5513 \text{ g/mol} \\
 w_{\text{K-Nitrat}} &= 0,97 \text{ g/g} \\
 M_{\text{K-Nitrat}} &= 101,1032 \text{ g/mol}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{K-Nitrat technisch}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 c_{\text{KCl}} &= \frac{\beta_{\text{KCl}}}{M_{\text{KCl}}} \\
 &= \frac{125 \text{ mg/L}}{74,5513 \text{ mg/mmol}} \\
 &= 1,676697791 \text{ mmol/L} \\
 c_{\text{K-Nitrat}} &= c_{\text{KCl}} \\
 &= 1,676697791 \text{ mmol/L} \\
 \beta_{\text{K-Nitrat}} &= c_{\text{K-Nitrat}} \cdot M_{\text{K-Nitrat}} \\
 &= 1,6766978 \text{ mmol/L} \cdot 101,1032 \text{ mg/mmol} \\
 &= 169,5195121 \text{ mg/L} \\
 m_{\text{K-Nitrat rein}} &= \beta_{\text{K-Nitrat}} \cdot V_{\text{Lösung}} \\
 &= 169,5195121 \text{ mg/L} \cdot 5 \text{ L} \\
 &= 847,5975605 \text{ mg} \\
 m_{\text{K-Nitrat technisch}} &= \frac{m_{\text{K-Nitrat rein}}}{w_{\text{K-Nitrat}}} \\
 &= \frac{847,5975605 \text{ mg}}{0,97 \text{ g/g}} \\
 &= \underline{\underline{873,8 \text{ mg}}}
 \end{aligned}$$

8.2.11.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 M_{\text{Sorbinsäure}} &= 112,128 \text{ g/mol} \\
 w_{\text{Sorbinsäure}} &= 1,5 \text{ g/kg} \\
 M_{\text{K-Sorbat}} &= 150,2184 \text{ g/mol} \\
 w_{\text{K-Sorbat}} &= 0,935 \text{ g/g} \\
 m_{\text{Medium}} &= 13,7 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{K-Sorbat technisch}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Sorbinsäure}} &= m_{\text{Medium}} \cdot w_{\text{Sorbinsäure}} \\
 &= 13,7 \text{ kg} \cdot 1,5 \text{ g/kg} \\
 &= 20,55 \text{ g}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n_{\text{Sorbinsäure}} &= \frac{m_{\text{Sorbinsäure}}}{M_{\text{Sorbinsäure}}} \\
 &= \frac{20,55 \text{ g}}{112,128 \text{ g/mol}} \\
 &= 0,1832726884 \text{ mol} \\
 n_{\text{K-Sorbat}} &= n_{\text{Sorbinsäure}} \\
 &= 0,1832726884 \text{ mol} \\
 m_{\text{K-Sorbat}} &= n_{\text{Kaliumsorbat}} \cdot M_{\text{Kaliumsorbat}} \\
 &= 0,183272688 \text{ mol} \cdot 150,2184 \text{ g/mol} \\
 &= 27,53093002 \text{ g} \\
 m_{\text{K-Sorbat technisch}} &= \frac{m_{\text{Kaliumsorbat}}}{w_{\text{Kaliumsorbat}}} \\
 &= \frac{27,53093002 \text{ g}}{0,935 \text{ g/g}} \\
 &= \underline{\underline{29,44 \text{ g}}}
 \end{aligned}$$

8.2.12.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 \beta_{\text{Glucose}} &= 174 \text{ g/L} \\
 M_{\text{Glucose}} &= 180,1572 \text{ g/mol} \\
 \sigma_{\text{Ethanol}} &= 103 \text{ mL/L} \\
 \rho_{\text{Ethanol}} &= 0,789 \text{ g/mL} \\
 M_{\text{Ethanol}} &= 46,0699 \text{ g/mol} \\
 V_{\text{Wein}} &= 1 \text{ L}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$\Delta m_{\text{Glucose}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 \beta_{\text{Ethanol}} &= \sigma_{\text{Ethanol}} \cdot \rho_{\text{Ethanol}} \\
 &= 103 \text{ mL/L} \cdot 0,789 \text{ g/mL} \\
 &= 81,267 \text{ g/L} \\
 c_{\text{Ethanol}} &= \frac{\beta_{\text{Ethanol}}}{M_{\text{Ethanol}}} \\
 &= \frac{81,267 \text{ g/L}}{46,0699 \text{ g/mol}} \\
 &= 1,764035529 \text{ mol/L}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c_{\text{Glucose abgebaut}} &= \frac{c_{\text{Ethanol}}}{2} \\
 &= \frac{1,764035529 \text{ mol/L}}{2} \\
 &= 0,8820177645 \text{ mol/L} \\
 \beta_{\text{Glucose abgebaut}} &= c_{\text{Glucose abgebaut}} \cdot M_{\text{Glucose}} \\
 &= 0,8820178 \text{ mol/L} \cdot 180,1572 \text{ g/mol} \\
 &= 158,9018508 \text{ g/L} \\
 \Delta\beta_{\text{Glucose}} &= \beta_{\text{Glucose}} - \beta_{\text{Glucose abgebaut}} \\
 &= 174 \text{ g/L} - 158,9018508 \text{ g/L} \\
 &= 15,0981492 \text{ g/L} \\
 \Delta m_{\text{Glucose}} &= \Delta\beta_{\text{Glucose}} \cdot V_{\text{Wein}} \\
 &= 15,0981492 \text{ g/L} \cdot 1 \text{ L} \\
 &= \underline{\underline{15,10 \text{ g}}}
 \end{aligned}$$

8.2.13.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 \beta_{\text{Nitrat}} &= 520 \text{ mg/L} \\
 M_{\text{Nitrat}} &= 62,0049 \text{ g/mol} \\
 M_{\text{K-Nitrat}} &= 101,1032 \text{ g/mol} \\
 V_{\text{Lösung}} &= 150 \text{ L}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{K-Nitrat}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 c_{\text{Nitrat}} &= \frac{\beta_{\text{Nitrat}}}{M_{\text{Nitrat}}} \\
 &= \frac{520 \text{ mg/L}}{62,0049 \text{ mg/mmol}} \\
 &= 8,386433975 \text{ mmol/L} \\
 c_{\text{K-Nitrat}} &= c_{\text{Nitrat}} \\
 &= 8,386433975 \text{ mmol/L} \\
 \beta_{\text{K-Nitrat}} &= c_{\text{K-Nitrat}} \cdot M_{\text{K-Nitrat}} \\
 &= 8,38643 \text{ mmol/L} \cdot 101,1032 \text{ g/mol} \\
 &= 847,8953115 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_{\text{K-Nitrat}} &= \beta_{\text{K-Nitrat}} \cdot V_{\text{Lösung}} \\
 &= 847,8953115 \text{ mg/L} \cdot 150 \text{ L} \\
 &= \underline{\underline{127,2 \text{ g}}}
 \end{aligned}$$

8.2.14.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Wasserstoff}} &= 120 \text{ g} \\
 M_{\text{Wasserstoff}} &= 2,0158 \text{ g/mol} \\
 M_{\text{Wasser}} &= 18,0152 \text{ g/mol} \\
 \rho_{\text{Wasser}} &= 0,9982 \text{ kg/L}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$V_{\text{Wasser}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 n_{\text{Wasserstoff}} &= \frac{m_{\text{Wasserstoff}}}{M_{\text{Wasserstoff}}} \\
 &= \frac{120 \text{ g}}{2,0158 \text{ g/mol}} \\
 &= 59,52971525 \text{ mol} \\
 n_{\text{Wasser}} &= n_{\text{Wasserstoff}} \\
 &= 59,52971525 \text{ mol} \\
 m_{\text{Wasser}} &= n_{\text{Wasser}} \cdot M_{\text{Wasser}} \\
 &= 59,52971525 \text{ mol} \cdot 18,0152 \text{ g/mol} \\
 &= 1,072439726 \text{ kg} \\
 V_{\text{Wasser}} &= \frac{m_{\text{Wasser}}}{\rho_{\text{Wasser}}} \\
 &= \frac{1,072439726 \text{ kg}}{0,9982 \text{ kg/L}} \\
 &= \underline{\underline{1,074 \text{ L}}}
 \end{aligned}$$

8.2.15.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 \beta_{\text{Phenol}} &= 1,42 \text{ mg/L} \\
 M_{\text{Phenol}} &= 94,1128 \text{ g/mol} \\
 M_{\text{Fe-Sulfat}} &= 151,9046 \text{ g/mol}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{Fe-Sulfat}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} c_{\text{Phenol}} &= \frac{\beta_{\text{Phenol}}}{M_{\text{Phenol}}} \\ &= \frac{1,42 \text{ mg/L}}{94,1128 \text{ mg/mmol}} \\ &= 0,015088277 \text{ mmol/L} \\ &= 0,015088277 \text{ mol/m}^3 \\ n_{\text{Fe-Sulfat}} &= \frac{n_{\text{Phenol}}}{2} \\ &= \frac{0,015088277 \text{ mol}}{2} \\ &= 0,0075441385 \text{ mol} \\ m_{\text{Fe-Sulfat}} &= n_{\text{Fe-Sulfat}} \cdot M_{\text{Fe-Sulfat}} \\ &= 0,007544139 \text{ mol} \cdot 151,9046 \text{ g/mol} \\ &= \underline{\underline{1,146 \text{ g}}} \end{aligned}$$

8.2.16.

gegeben:

$$\begin{aligned} m_{\text{Baum}} &= 5429 \text{ kg} \\ w_{\text{Glucose}} &= 83,29 \% \\ M_{\text{Glucose}} &= 180,1572 \text{ g/mol} \\ M_{\text{Kohlendioxid}} &= 44,0098 \text{ g/mol} \\ M_{\text{Wasser}} &= 18,0152 \text{ g/mol} \end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{Kohlendioxid}} \text{ und } m_{\text{Wasser}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} m_{\text{Glucose}} &= m_{\text{Baum}} \cdot w_{\text{Glucose}} \\ &= 5429 \text{ kg} \cdot 0,8329 \text{ kg/kg} \\ &= 4521,8141 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n_{\text{Glucose}} &= \frac{m_{\text{Glucose}}}{M_{\text{Glucose}}} \\
 &= \frac{4521,8141 \text{ kg}}{180,1572 \text{ kg/kmol}} \\
 &= 25,09926942 \text{ kmol} \\
 n_{\text{CO}_2} &= 6 \cdot n_{\text{Glucose}} \\
 &= 6 \cdot 25,09926942 \text{ kmol} \\
 &= 150,5956165 \text{ kmol} \\
 m_{\text{CO}_2} &= n_{\text{CO}_2} \cdot M_{\text{CO}_2} \\
 &= 150,5956165 \text{ kmol} \cdot 44,0098 \text{ kg/kmol} \\
 &= 6627,682963 \text{ kg} \\
 &= \underline{\underline{6,628 \text{ t}}} \\
 n_{\text{Wasser}} &= 6 \cdot n_{\text{Glucose}} \\
 &= 6 \cdot 25,09926942 \text{ kmol} \\
 &= 150,5956165 \text{ kmol} \\
 m_{\text{Wasser}} &= n_{\text{Wasser}} \cdot M_{\text{Wasser}} \\
 &= 150,5956165 \text{ kmol} \cdot 18,0152 \text{ kg/kmol} \\
 &= 2713,01015 \text{ kg} \\
 &= \underline{\underline{2,713 \text{ t}}}
 \end{aligned}$$

8.2.17.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 \beta_{\text{Propionsäure}} &= 0,2009 \text{ g/L} \\
 M_{\text{Propionsäure}} &= 74,08007 \text{ g/mol} \\
 M_{\text{Milchsäure}} &= 90,0786 \text{ g/mol}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{Milchsäure}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 c_{\text{Propionsäure}} &= \frac{\beta_{\text{Propionsäure}}}{M_{\text{Propionsäure}}} \\
 &= \frac{0,2009 \text{ g/L}}{74,08007 \text{ g/mol}} \\
 &= 0,0027119304 \text{ mol/L} \\
 &= 2,7119304 \text{ mmol/L}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c_{\text{Milchsäure}} &= \frac{c_{\text{Propionsäure}} \cdot 3}{2} \\
 &= \frac{2,7119304 \text{ mmol/L} \cdot 3}{2} \\
 &= 4,0678957 \text{ mmol/L} \\
 m_{\text{Milchsäure}} &= c_{\text{Milchsäure}} \cdot M_{\text{Milchsäure}} \\
 &= 4,0678957 \text{ mmol/L} \cdot 90,0786 \text{ mg/mmol} \\
 &= \underline{\underline{366,4 \text{ mg/L}}}
 \end{aligned}$$

8.2.18.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 V_1 &= 50 \text{ mL} \\
 c_1 &= 2 \text{ mmol/L} \\
 c_2 &= 3,5 \text{ mmol/L} \\
 V_{\text{total}} &= 100 \text{ mL}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$c_K$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 V_2 &= V_{\text{total}} - V_1 \\
 &= 100 \text{ mL} - 50 \text{ mL} \\
 &= 50 \text{ mL} \\
 c_1 \cdot V_1 + c_2 \cdot V_2 &= c_{\text{total}} \cdot V_{\text{total}} \\
 c_{\text{total}} &= \frac{c_1 \cdot V_1 + c_2 \cdot V_2}{V_{\text{total}}} \\
 &= \frac{2 \text{ mmol/L} \cdot 50 \text{ mL} + 3,5 \text{ mmol/L} \cdot 50 \text{ mL}}{100 \text{ mL}} \\
 &= 2,75 \text{ mmol/L} \\
 c_K &= c_{\text{total}} \\
 &= \underline{\underline{2,750 \text{ mmol/L}}}
 \end{aligned}$$

8.2.19.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{NaCl}} &= 500 \text{ mL} \\
 \beta_{\text{NaCl}} &= 40 \text{ mg/L} \\
 V_{\text{NaCitrat}} &= 120 \text{ mL} \\
 \beta_{\text{NaCitrat}} &= 25 \text{ mg/L} \\
 M_{\text{Na}} &= 22,98977 \text{ g/mol} \\
 M_{\text{NaCl}} &= 58,44277 \text{ g/mol} \\
 M_{\text{NaCitrat}} &= 258,07061 \text{ g/mol}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$\beta_{\text{Na}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 c_{\text{NaCl}} &= \frac{\beta_{\text{NaCl}}}{M_{\text{NaCl}}} \\
 &= \frac{40 \text{ mg/L}}{58,44277 \text{ mg/mmol}} \\
 &= 0,6844302554 \text{ mmol/L} \\
 c_{\text{Na im NaCl}} &= c_{\text{NaCl}} \\
 &= 0,6844302554 \text{ mmol/L} \\
 n_{\text{Na 1}} &= c_{\text{Na im NaCl}} \cdot V_{\text{NaCl}} \\
 &= 0,6844302554 \text{ mmol/L} \cdot 0,5 \text{ L} \\
 &= 0,34221513 \text{ mmol} \\
 c_{\text{Na-Citrat}} &= \frac{\beta_{\text{Na-Citrat}}}{M_{\text{Na-Citrat}}} \\
 &= \frac{25 \text{ mg/L}}{258,07061 \text{ g/mol}} \\
 &= 0,0968727124 \text{ mmol/L} \\
 c_{\text{Na im Na-Citrat}} &= c_{\text{Na-Citrat}} \cdot 3 \\
 &= 0,0968727124 \text{ mmol/L} \cdot 3 \\
 &= 0,2906181374 \text{ mmol/L} \\
 n_{\text{Na 2}} &= c_{\text{Na im Na-Citrat}} \cdot V_{\text{Na-Citrat}} \\
 &= 0,2906181374 \text{ mmol/L} \cdot 0,12 \text{ L} \\
 &= 0,03487417649 \text{ mmol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n_{\text{Na total}} &= n_{\text{Na1}} + n_{\text{Na2}} \\
 &= 0,34221513 \text{ mmol} + 0,034874176 \text{ mmol} \\
 &= 0,3770893042 \text{ mmol} \\
 m_{\text{Na total}} &= n_{\text{Na total}} \cdot M_{\text{Na}} \\
 &= 0,3770893 \text{ mmol} \cdot 22,98977 \text{ mg/mmol} \\
 &= 8,669196373 \text{ mg} \\
 \beta_{\text{Na}} &= \frac{m_{\text{Na total}}}{V_{\text{NaCl}} + V_{\text{Na Citrat}}} \\
 &= \frac{8,669196373 \text{ mg}}{0,5 \text{ L} + 0,12 \text{ L}} \\
 &= \underline{\underline{13,98 \text{ mg/L}}}
 \end{aligned}$$

8.2.20.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 h_{\text{Medium}} &= 0,8 \text{ cm} = 0,08 \text{ dm} \\
 \varnothing_{\text{Petrishale}} &= 12 \text{ cm} \Rightarrow r = 0,6 \text{ dm} \\
 \beta_{\text{Glucose}} &= 65 \text{ g/L} \\
 w_{\text{verwertbar}} &= 95,5 \% \\
 M_{\text{Glucose}} &= 180,15894 \text{ g/mol}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$n_{\text{ATP}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Medium}} &= (r_{\text{Petrishale}})^2 \cdot \pi \cdot h_{\text{Medium}} \\
 &= (0,6 \text{ dm})^2 \cdot \pi \cdot 0,08 \text{ dm} \\
 &= 0,0904778684 \text{ L} \\
 m_{\text{Glucose}} &= \beta_{\text{Glucose}} \cdot V_{\text{Medium}} \\
 &= 65 \text{ g/L} \cdot 0,0904778684 \text{ L} \\
 &= 5,881061447 \text{ g} \\
 n_{\text{Glucose}} &= \frac{m_{\text{Glucose}}}{M_{\text{Glucose}}} \\
 &= \frac{5,881061447 \text{ g}}{180,15894 \text{ g/mol}} \\
 &= 32,64405445 \text{ mmol} \\
 n_{\text{ATP}} &= n_{\text{Glucose}} \cdot 2 \cdot w_{\text{verwertbar}} \\
 &= 32,64405445 \text{ mmol} \cdot 2 \cdot 95,5 \% \\
 &= \underline{\underline{62,35 \text{ mmol}}}
 \end{aligned}$$

8.2.21.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Essigsäure}} &= 50 \text{ mL} \\
 c_{\text{NaOH}} &= 0,1 \text{ mol/L} \\
 V_{\text{NaOH}} &= 36,2 \text{ mL} \\
 m_{\text{Ethanol}} &= 1 \text{ L} \\
 M_{\text{Ethanol}} &= 46,06952 \text{ g/mol}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{Ethanol}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 c_{\text{Essigsäure}} \cdot V_{\text{Essigsäure}} &= c_{\text{NaOH}} \cdot V_{\text{NaOH}} \\
 c_{\text{Essigsäure}} &= \frac{c_{\text{NaOH}} \cdot V_{\text{NaOH}}}{V_{\text{Essigsäure}}} \\
 &= \frac{0,1 \text{ mol/L} \cdot 36,2 \text{ mL}}{50 \text{ mL}} \\
 &= 0,0724 \text{ mol/L} \\
 n_{\text{Essigsäure}} &= c_{\text{Essigsäure}} \cdot V_{\text{Essigsäure}} \\
 &= 0,0724 \text{ mol/L} \cdot 1 \text{ L} \\
 &= 0,0724 \text{ mol} \\
 n_{\text{Ethanol}} &= n_{\text{Essigsäure}} \\
 &= 0,0724 \text{ mol} \\
 m_{\text{Ethanol}} &= n_{\text{Ethanol}} \cdot M_{\text{Ethanol}} \\
 &= 0,0724 \text{ mol} \cdot 46,06952 \text{ g/mol} \\
 &= \underline{\underline{3,335 \text{ g}}}
 \end{aligned}$$

8.2.22.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 \varnothing_{\text{Inkubator}} &= 4 \text{ dm} \\
 h_{\text{Inkubator}} &= 6 \text{ dm} \\
 m_{\text{Propanol am Anfang}} &= 800 \text{ g} \\
 V_{\text{Medium}} &= 50 \text{ mL} \\
 c_{\text{NaOH}} &= 0,1 \text{ mol/L} \\
 V_{\text{NaOH}} &= 28,91 \text{ mL} \\
 M_{\text{Propanol}} &= 60,0956 \text{ g/mol}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{Propanol}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} V_{\text{Inkubator}} &= (r_{\text{Inkubator}})^2 \cdot \pi \cdot h_{\text{Inkubator}} \\ &= (2 \text{ dm})^2 \cdot \pi \cdot 6 \text{ dm} \\ &= 75,39822369 \text{ L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c_{\text{Propionsäure}} \cdot V_{\text{Medium}} &= c_{\text{NaOH}} \cdot V_{\text{NaOH}} \\ c_{\text{Propionsäure}} &= \frac{c_{\text{NaOH}} \cdot V_{\text{NaOH}}}{V_{\text{Medium}}} \\ &= \frac{0,1 \text{ mol/L} \cdot 28,91 \text{ mL}}{50 \text{ mL}} \\ &= 0,05782 \text{ mol/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_{\text{Propionsäure}} &= c_{\text{Propionsäure}} \cdot V_{\text{Inkubator}} \\ &= 0,05782 \text{ mol/L} \cdot 75,39822369 \text{ L} \\ &= 4,359525294 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_{\text{Propanol verbraucht}} &= n_{\text{Propionsäure}} \\ &= 4,359525294 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_{\text{Propanol verbraucht}} &= n_{\text{Propanol}} \cdot M_{\text{Propanol}} \\ &= 4,359525294 \text{ mol} \cdot 60,0956 \text{ g/mol} \\ &= 261,9882883 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_{\text{Propanol}} &= m_{\text{Propanol am Anfang}} - m_{\text{Propanol verbraucht}} \\ &= 800 \text{ g} - 261,9882883 \text{ g} \\ &= \underline{\underline{538,0 \text{ g}}} \end{aligned}$$

13.9 Lösungen Kap. 9 – Gase

13.9.1 Lösungen Abschn. 9.2 – Molvolumen idealer Gase

9.2.1.

gegeben:

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{Stickstoff}} &= 0,78 \text{ L/L} \\ l_{\text{Raum}} &= 4 \text{ m} \\ b_{\text{Raum}} &= 3 \text{ m} \\ h_{\text{Raum}} &= 2,3 \text{ m} \\ M_{\text{Stickstoffgas}} &= 28,0134 \text{ g/mol} \\ V_{\text{m}} &= 22,41 \text{ L/mol}\end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{Stickstoffgas}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}V_{\text{Raum}} &= l \cdot b \cdot h \\ &= 4 \text{ m} \cdot 3 \text{ m} \cdot 2,3 \text{ m} \\ &= 27,6 \text{ m}^3 \\ n_{\text{Stickstoff}} &= \frac{V_{\text{Raum}} \cdot \sigma_{\text{Stickstoff}}}{V_{\text{m}}} \\ &= \frac{27.600 \text{ L} \cdot 0,78 \text{ L/L}}{22,41 \text{ L/mol}} \\ &= 960,64257 \text{ mol} \\ m_{\text{Stickstoffgas}} &= n_{\text{Stickstoff}} \cdot M_{\text{Stickstoffgas}} \\ &= 960,64257 \text{ mol} \cdot 28,0134 \text{ g/mol} \\ &= \underline{\underline{26,91 \text{ kg}}}\end{aligned}$$

9.2.2.

gegeben:

$$\begin{aligned}m_{\text{Buthan}} &= 100 \text{ g} \\ M_{\text{Buthan}} &= 58,123 \text{ g/mol} \\ V_{\text{m}} &= 22,41 \text{ L/mol}\end{aligned}$$

gesucht:

$$V_{\text{Kohlendioxid}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 n_{\text{Buthan}} &= \frac{m_{\text{Buthan}}}{M_{\text{Buthan}}} \\
 &= \frac{100 \text{ g}}{58,123 \text{ g/mol}} \\
 &= 1,720489307 \text{ mol} \\
 n_{\text{CO}_2} &= 4 \cdot n_{\text{Buthan}} \\
 &= 4 \cdot 1,720489307 \text{ mol} \\
 &= 6,881957228 \text{ mol} \\
 V_{\text{CO}_2} &= n_{\text{CO}_2} \cdot V_{\text{m}} \\
 &= 6,881957228 \text{ mol} \cdot 22,41 \text{ L/mol} \\
 &= \underline{\underline{154,2 \text{ L}}}
 \end{aligned}$$

9.2.3.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Methanol}} &= 50 \text{ mL} \\
 \rho_{\text{Methanol}} &= 0,792 \text{ g/mL} \\
 M_{\text{Methanol}} &= 32,042 \text{ g/mol} \\
 V_{\text{m}} &= 22,41 \text{ L/mol}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$V_{\text{Kohlendioxid}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{Methanol}} &= \frac{m_{\text{Methanol}}}{V_{\text{Methanol}}} \\
 m_{\text{Methanol}} &= \rho_{\text{Methanol}} \cdot V_{\text{Methanol}} \\
 &= 0,792 \text{ g/mL} \cdot 50 \text{ mL} \\
 &= 39,6 \text{ g} \\
 n_{\text{Methanol}} &= \frac{m_{\text{Methanol}}}{M_{\text{Methanol}}} \\
 &= \frac{39,6 \text{ g}}{32,042 \text{ g/mol}} \\
 &= 1,23587791 \text{ mol} \\
 n_{\text{CO}_2} &= n_{\text{Methanol}} \\
 &= 1,23587791 \text{ mol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{\text{CO}_2} &= n_{\text{CO}_2} \cdot V_m \\
 &= 1,23587791 \text{ mol} \cdot 22,41 \text{ L/mol} \\
 &= \underline{\underline{27,70 \text{ L}}}
 \end{aligned}$$

9.2.4.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{NaCl}} &= 10 \text{ kg} \\
 M_{\text{NaCl}} &= 58,44277 \text{ g/mol} \\
 V_m &= 22,41 \text{ L/mol}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$V_{\text{Chlorgas}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 n_{\text{NaCl}} &= \frac{m_{\text{NaCl}}}{M_{\text{NaCl}}} \\
 &= \frac{10.000 \text{ g}}{58,44277 \text{ g/mol}} \\
 &= 171,1075639 \text{ mol} \\
 n_{\text{Cl}_2} &= \frac{n_{\text{NaCl}}}{2} \\
 &= \frac{171,1075639 \text{ mol}}{2} \\
 &= 85,5537819 \text{ mol} \\
 V_{\text{Cl}_2} &= n_{\text{Cl}_2} \cdot V_m \\
 &= 85,5537819 \text{ mol} \cdot 22,41 \text{ L/mol} \\
 &= 1917,26 \text{ L} \\
 &= \underline{\underline{1,917 \text{ m}^3}}
 \end{aligned}$$

9.2.5.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{K-Permanganat}} &= 100 \text{ mL} \\
 c_{\text{K-Permanganat}} &= 50 \text{ mmol/L} \\
 V_{\text{Abgas}} &= 65,83 \text{ L} \\
 \eta_{\text{Schwefeldioxid}} &= 97,7 \% \\
 V_m &= 22,41 \text{ L/mol}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$\sigma_{\text{Schwefeldioxid}} \text{ (in \%)}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} n_{\text{KMnO}_4} &= c_{\text{KMnO}_4} \cdot V_{\text{KMnO}_4} \\ &= 50 \text{ mmol/L} \cdot 0,1 \text{ L} \\ &= 5 \text{ mmol} \\ n_{\text{SO}_2} &= \frac{5 \cdot n_{\text{KMnO}_4}}{2 \cdot \eta_{\text{SO}_2}} \\ &= \frac{5 \cdot 5 \text{ mmol}}{2 \cdot 97,7 \%} \\ &= 12,79426817 \text{ mmol} \\ V_{\text{SO}_2} &= n_{\text{SO}_2} \cdot V_m \\ &= 12,79426817 \text{ mmol} \cdot 22,41 \text{ mL/mmol} \\ &= 286,7195497 \text{ mL} \\ \sigma_{\text{SO}_2} &= \frac{V_{\text{SO}_2}}{V_{\text{Abgas}}} \\ &= \frac{0,2867195497 \text{ L}}{65,83 \text{ L}} \\ &= \underline{\underline{0,4355 \%}} \end{aligned}$$

13.9.2 Lösungen Abschn. 9.3 – Allgemeines Gasgesetz

9.3.1.

gegeben:

$$\begin{aligned} V &= 20 \text{ L} \\ T_1 &= 293,15 \text{ K} \\ T_2 &= 338,15 \text{ K} \\ p_1 &= 183,5 \text{ bar} \\ R &= 8,314 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K}) \end{aligned}$$

gesucht:

$$\Delta p$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} &= \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} \\ p_2 &= \frac{p_1 \cdot V_1 \cdot T_2}{T_1 \cdot V_2} \\ &= \frac{183,5 \text{ bar} \cdot 20 \text{ L} \cdot 338,15 \text{ K}}{293,15 \text{ K} \cdot 20 \text{ L}} \\ &= 211,66817329 \text{ bar} \\ \Delta p &= p_2 - p_1 \\ &= 211,66817329 \text{ bar} - 183,5 \text{ bar} \\ &= \underline{\underline{28,17 \text{ bar}}}\end{aligned}$$

9.3.2.

gegeben:

$$\begin{aligned}V_1 &= 4,2 \text{ mL} \\ p_1 &= 1 \text{ bar} \\ p_2 &= 0,75 \text{ bar} \\ T_1 &= 305,15 \text{ K} \\ T_2 &= 244,15 \text{ K}\end{aligned}$$

gesucht:

$$\Delta V$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} &= \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} \\ V_2 &= \frac{p_1 \cdot V_1 \cdot T_2}{T_1 \cdot p_2} \\ &= \frac{1 \text{ bar} \cdot 4,2 \text{ mL} \cdot 244,15 \text{ K}}{305,15 \text{ K} \cdot 0,75 \text{ bar}} \\ &= 4,480514 \text{ mL} \\ \Delta V &= V_2 - V_1 \\ &= 4,480514 \text{ mL} - 4,2 \text{ mL} \\ &= \underline{\underline{0,2805 \text{ mL}}}\end{aligned}$$

9.3.3.

gegeben:

$$V_1 = 35 \text{ L}$$

$$V_2 = 35 \text{ L}$$

$$p_1 = 200 \text{ bar}$$

$$T_1 = 298,15 \text{ K}$$

$$T_2 = 358,15 \text{ K}$$

gesucht:

$$p_2$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} \frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} &= \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} \\ p_2 &= \frac{p_1 \cdot V_1 \cdot T_2}{T_1 \cdot V_2} \\ &= \frac{200 \text{ bar} \cdot 35 \text{ L} \cdot 358,15 \text{ K}}{298,15 \text{ K} \cdot 35 \text{ L}} \\ &= \underline{\underline{240,3 \text{ bar}}} \end{aligned}$$

9.3.4.

gegeben:

$$T_1 = 291,15 \text{ K}$$

$$T_2 = 345,15 \text{ K}$$

$$p_1 = 4,5 \text{ bar}$$

$$V_1 = V_2$$

gesucht:

$$\Delta p_{\text{relativ}} \text{ (in \%)}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 \frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} &= \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} \\
 p_2 &= \frac{p_1 \cdot V_1 \cdot T_2}{T_1 \cdot V_2} \\
 &= \frac{p_1 \cdot \cancel{V_1} \cdot T_2}{T_1 \cdot \cancel{V_2}} \\
 &= \frac{p_1 \cdot T_2}{T_1} \\
 &= \frac{4,5 \text{ bar} \cdot 345,15 \text{ K}}{291,15 \text{ K}} \\
 &= 5,334621329 \text{ bar} \\
 \Delta p &= p_2 - p_1 \\
 &= 5,334621329 \text{ bar} - 4,5 \text{ bar} \\
 &= 0,834621329 \text{ bar} \\
 \Delta p_{\text{relativ}} &= \frac{\Delta p}{p_1} \\
 &= \frac{0,834621329 \text{ bar}}{4,5 \text{ bar}} \\
 &= \underline{\underline{18,55 \%}}
 \end{aligned}$$

9.3.5.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 V_1 &= 0,01 \text{ m}^3 \\
 p_1 &= 126,4 \text{ bar} = 12.640.000 \text{ Pa} \\
 T_1 &= 293,15 \text{ K} \\
 M_{\text{Kohlendioxid}} &= 44,0098 \text{ g/mol} \\
 R &= 8,314 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{Kohlendioxid}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 p \cdot V &= n \cdot R \cdot T \\
 n_{\text{CO}_2} &= \frac{p \cdot V}{R \cdot T} \\
 &= \frac{12.640.000 \text{ Pa} \cdot 0,01 \text{ m}^3}{8,314 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K}) \cdot 293,15 \text{ K}} \\
 &= 51,86174856 \text{ mol} \\
 m_{\text{CO}_2} &= n_{\text{CO}_2} \cdot M_{\text{CO}_2} \\
 &= 51,86174856 \text{ mol} \cdot 44,0098 \text{ g/mol} \\
 &= \underline{\underline{2,282 \text{ kg}}}
 \end{aligned}$$

9.3.6.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Sauerstoff}} &= 5 \text{ L} \\
 \sigma_{\text{Ozon}} &= 14 \% \\
 M_{\text{Sauerstoff}} &= 31,9988 \text{ g/mol} \\
 M_{\text{Ozon}} &= 47,9982 \text{ g/mol}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$V_{\text{Gasgemisch}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{O}_2 \text{ verwertet}} &= V_{\text{Sauerstoff}} \cdot \sigma_{\text{Ozon}} \\
 &= 5 \text{ L} \cdot 14 \% \\
 &= 0,7 \text{ L} \\
 V_{\text{O}_2 \text{ noch vorhanden}} &= V_{\text{Sauerstoff}} - V_{\text{O}_2 \text{ verwertet}} \\
 &= 5 \text{ L} - 0,7 \text{ L} \\
 &= 4,3 \text{ L} \\
 V_{\text{Ozon}} &= \frac{V_{\text{O}_2 \text{ verwertet}} \cdot 2}{3} \\
 &= \frac{0,7 \text{ L} \cdot 2}{3} \\
 &= 0,466666666666667 \text{ L} \\
 V_{\text{Gasgemisch}} &= V_{\text{O}_2 \text{ noch vorhanden}} + V_{\text{Ozon}} \\
 &= 4,3 \text{ L} + 0,466666666666667 \text{ L} \\
 &= \underline{\underline{4,767 \text{ L}}}
 \end{aligned}$$

9.3.7.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Wasser}} &= 5 \text{ L} \\
 \rho_{\text{Wasser}} &= 0,9998 \text{ kg/L} \\
 T_1 &= 273,15 \text{ K} \\
 T_2 &= 373,15 \text{ K} \\
 p &= 1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} \\
 M_{\text{Wasser}} &= 18,0152 \text{ g/mol} \\
 R &= 8,314 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$V_{\text{Dampf}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Wasser}} &= \rho_{\text{Wasser}} \cdot V_{\text{Wasser}} \\
 &= 0,9998 \text{ kg/L} \cdot 5 \text{ L} \\
 &= 4,999 \text{ kg} \\
 &= 4999 \text{ g} \\
 n_{\text{Wasser}} &= \frac{m_{\text{Wasser}}}{M_{\text{Wasser}}} \\
 &= \frac{4999 \text{ g}}{18,0152 \text{ g/mol}} \\
 &= 277,4878991074422 \text{ mol} \\
 p \cdot V &= n \cdot R \cdot T \\
 V &= \frac{n \cdot R \cdot T}{p} \\
 &= \frac{277,487899 \text{ mol} \cdot 8,314 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K}) \cdot 373,15 \text{ K}}{10^5 \text{ Pa}} \\
 &= \underline{\underline{8,609 \text{ m}^3}}
 \end{aligned}$$

9.3.8.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 V &= 0,035 \text{ m}^3 \\
 T &= 293,15 \text{ K} \\
 p &= 162,5 \text{ bar} = 162,5 \cdot 10^5 \text{ Pa} \\
 M_{\text{Ethen}} &= 28,0536 \text{ g/mol} \\
 R &= 8,314 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{Ethen}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} p \cdot V &= n \cdot R \cdot T \\ n_{\text{Ethen}} &= \frac{p \cdot V}{R \cdot T} \\ &= \frac{162,5 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot 0,035 \text{ m}^3}{8,314 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K}) \cdot 293,15 \text{ K}} \\ &= 233,3573536 \text{ mol} \\ m_{\text{Ethen}} &= n_{\text{Ethen}} \cdot M_{\text{Ethen}} \\ &= 233,3573536 \text{ mol} \cdot 28,0536 \text{ g/mol} \\ &= \underline{\underline{6,547 \text{ kg}}} \end{aligned}$$

9.3.9.

gegeben:

$$\begin{aligned} V_{\text{Flasche}} &= 40 \text{ L} \\ p_{\text{Flasche}} &= 200 \text{ bar} \\ p_{\text{Flaschenrestdruck}} &= 10 \text{ bar} \\ T_{\text{Flasche}} &= 293,15 \text{ K} \\ r_{\text{Ballon}} &= 5 \text{ m} \\ p_{\text{Luft}} &= 722 \text{ mmHg} = 0,962587 \text{ bar} \\ T_{\text{Luft}} &= 289,15 \text{ K} \end{aligned}$$

gesucht:

$$n_{\text{Flaschen}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} V_{\text{Ballon}} &= \frac{4}{3} \cdot r^3 \cdot \pi \\ &= \frac{4}{3} \cdot (5 \text{ m})^3 \cdot \pi \\ &= 523,5987756 \text{ m}^3 \\ p_{\text{verwertbar}} &= p_{\text{Flasche}} - p_{\text{Flaschenrestdruck}} \\ &= 200 \text{ bar} - 10 \text{ bar} \\ &= 190 \text{ bar} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} &= \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} \\
 V_2 &= \frac{p_1 \cdot V_1 \cdot T_2}{T_1 \cdot p_2} \\
 &= \frac{p_{\text{verwertbar}} \cdot V_{\text{Flasche}} \cdot T_{\text{Luft}}}{T_{\text{Flasche}} \cdot p_{\text{Luft}}} \\
 &= \frac{190 \text{ bar} \cdot 40 \text{ L} \cdot 289,15 \text{ K}}{293,15 \text{ K} \cdot 0,962587 \text{ bar}} \\
 &= 7787,657739 \text{ L} \\
 &= 7,787657739 \text{ m}^3 \\
 n_{\text{Flaschen}} &= \frac{V_{\text{Ballon}}}{V_2} \\
 &= \frac{523,5987756 \text{ m}^3}{7,787657739 \text{ m}^3/\text{Flasche}} \\
 &= \underline{\underline{67,23 \text{ Flaschen}}}
 \end{aligned}$$

9.3.10.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Rauchgas}} &= 0,25 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \text{ (pro h)} \\
 p &= 96.000 \text{ Pa} \\
 T &= 433,14 \text{ K} \\
 \sigma_{\text{Schwefeldioxid}} &= 1,2 \text{ L/m}^3 \\
 M_S &= 32,06 \text{ g/mol} \\
 R &= 8,314 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$q_{\text{m Schwefel/Tag}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{Schwefeldioxid}} &= Q_{\text{Rauchgas}} \cdot \sigma_{\text{Schwefeldioxid}} \\
 &= 0,25 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 1,2 \text{ L/m}^3 \\
 &= 300.000 \text{ L/h} \\
 &= 300 \text{ m}^3/\text{h} \\
 p \cdot Q &= \dot{n} \cdot R \cdot T
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \dot{n}_{\text{Schwefeldioxid}} &= \frac{p \cdot V}{R \cdot T} \\
 &= \frac{96.000 \text{ Pa} \cdot 300 \text{ m}^3/\text{h}}{8,314 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K}) \cdot 433,14 \text{ K}} \\
 &= 7997,054165 \text{ mol/h} \\
 \dot{n}_{\text{S}} &= \dot{n}_{\text{Schwefeldioxid}} \\
 &= 7997,054165 \text{ mol/h} \\
 q_{\text{mS}} &= \dot{n}_{\text{S}} \cdot M_{\text{S}} \\
 &= 7997,054165 \text{ mol/h} \cdot 32,06 \text{ g/mol} \\
 &= 256,3855565 \text{ kg/h} \\
 q_{\text{m Schwefel/Tag}} &= q_{\text{mS}} \cdot t \\
 &= 256,3855565 \text{ kg/h} \cdot 24 \text{ h} \\
 &= \underline{\underline{6153 \text{ kg/Tag}}}
 \end{aligned}$$

9.3.11.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Probe}} &= 5,649 \text{ g} \\
 p &= 96.300 \text{ Pa} \\
 T &= 273,14 \text{ K} \\
 V_{\text{Wasserstoffgas}} &= 2,36 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \\
 M_{\text{Ölsäure}} &= 284,4812 \text{ g/mol} \\
 R &= 8,314 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$w_{\text{Ölsäure}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 p \cdot V &= n \cdot R \cdot T \\
 n_{\text{H}_2} &= \frac{p \cdot V}{R \cdot T} \\
 &= \frac{96.300 \text{ Pa} \cdot 2,36 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3}{8,314 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K}) \cdot 273,14 \text{ K}} \\
 &= 0,0100079 \text{ mol} \\
 n_{\text{Ölsäure}} &= n_{\text{H}_2} \\
 &= 0,0100079 \text{ mol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Ölsäure}} &= n_{\text{Ölsäure}} \cdot M_{\text{Ölsäure}} \\
 &= 0,0100079 \text{ mol} \cdot 284,4812 \text{ g/mol} \\
 &= 2,847059453 \text{ g} \\
 w_{\text{Ölsäure}} &= \frac{m_{\text{Ölsäure}}}{m_{\text{Probe}}} \\
 &= \frac{2,847059453 \text{ g}}{5,649 \text{ g}} \\
 &= \underline{\underline{504,0 \text{ g/kg}}}
 \end{aligned}$$

9.3.12.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 p &= 1,005 \text{ bar} \\
 T &= 293,15 \text{ K} \\
 \rho &= 2910 \text{ g/m}^3 \\
 R &= 8,3144621 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$M_{\text{Gas}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{m}{V} \\
 &= \frac{n \cdot M}{V} \\
 n &= \frac{\rho \cdot V}{M} \\
 p \cdot V &= n \cdot R \cdot T \\
 p &= \frac{n \cdot R \cdot T}{V} \\
 &= \frac{\rho \cdot V \cdot R \cdot T}{M \cdot V} \\
 &= \frac{\rho \cdot R \cdot T}{M} \\
 M &= \frac{\rho \cdot R \cdot T}{p} \\
 &= \frac{2910 \text{ g/m}^3 \cdot 8,314 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)} \cdot 293,15 \text{ K}}{1,005 \cdot 10^5 \text{ Pa}} \\
 &= \underline{\underline{70,57 \text{ g/mol}}}
 \end{aligned}$$

9.3.13.

gegeben:

$$V_1 = 15 \text{ L}$$

$$T_1 = 293,14 \text{ K}$$

$$T_2 = 285,14 \text{ K}$$

$$p_1 = 210 \text{ bar} = 210 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$p_2 = 20 \text{ bar} = 20 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{\text{Sauerstoff}} = 21 \%$$

$$M_{\text{Sauerstoff}} = 31,9988 \text{ g/mol}$$

gesucht:

$$\Delta m_{\text{Sauerstoff}}$$

Berechnung:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

$$\begin{aligned} n_1 &= \frac{p_1 \cdot V_1}{R \cdot T_1} \\ &= \frac{210 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot 0,015 \text{ m}^3}{8,314 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K}) \cdot 293,14 \text{ K}} \\ &= 129,24848 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_2 &= \frac{p_2 \cdot V_2}{R \cdot T_2} \\ &= \frac{20 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot 0,015 \text{ m}^3}{8,314 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K}) \cdot 285,14 \text{ K}} \\ &= 12,654736 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta n_{\text{Gasteilchen}} &= n_1 - n_2 \\ &= 129,24848 \text{ mol} - 12,654736 \text{ mol} \\ &= 116,59374 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta n_{\text{Sauerstoff}} &= \Delta n_{\text{Gasteilchen}} \cdot \sigma_{\text{Sauerstoff}} \\ &= 116,59374 \text{ mol} \cdot 21 \% \\ &= 24,48469 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_{\text{Sauerstoff}} &= \Delta n_{\text{Sauerstoff}} \cdot M_{\text{Sauerstoff}} \\ &= 24,48469 \text{ mol} \cdot 31,9988 \text{ g/mol} \\ &= \underline{\underline{783,5 \text{ g}}} \end{aligned}$$

9.3.14.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 V_1 &= 12 \text{ L} \\
 T_1 &= 293,14 \text{ K} \\
 p_1 &= 125 \text{ bar} \\
 p_2 &= 0,88 \text{ bar} \\
 r_{\text{Ventil}} &= 1,5 \text{ mm} \\
 t &= 45 \text{ min} \\
 T_2 &= 268,14 \text{ K}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$v_{\text{Gas}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 \frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} &= \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} \\
 V_2 &= \frac{p_1 \cdot V_1 \cdot T_2}{T_1 \cdot p_2} \\
 &= \frac{125 \text{ bar} \cdot 12 \text{ L} \cdot 268,14 \text{ K}}{293,14 \text{ K} \cdot 0,88 \text{ bar}} \\
 &= 1559,175882 \text{ L} \\
 &= 1.559.175,882 \text{ cm}^3 \\
 v_{\text{Gas}} &= \frac{V_2}{r^2 \cdot \pi \cdot t} \\
 &= \frac{1.559.175,882 \text{ cm}^3}{(0,15 \text{ cm})^2 \cdot \pi \cdot 45 \text{ min}} \\
 &= 490.173,9235 \text{ cm/min} \\
 &= 81,69565392 \text{ m/s} \\
 &= \underline{\underline{294,1 \text{ km/h}}}
 \end{aligned}$$

9.3.15.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Abgas}} &= 250 \text{ L} \\
 p &= 1,24 \cdot 10^5 \text{ Pa} \\
 T &= 323,14 \text{ K} \\
 m_{\text{Bleisulfid}} &= 11,25 \text{ g} \\
 M_{\text{Bleisulfid}} &= 239,26 \text{ g/mol}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$\sigma_{\text{Schwefelwasserstoff}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} n_{\text{Bleisulfid}} &= \frac{m_{\text{Bleisulfid}}}{M_{\text{Bleisulfid}}} \\ &= \frac{11,25 \text{ g}}{239,26 \text{ g/mol}} \\ &= 47,01997827 \text{ mmol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_{\text{Schwefelwasserstoff}} &= n_{\text{Bleisulfid}} \\ &= 47,01997827 \text{ mmol} \end{aligned}$$

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

$$\begin{aligned} V_{\text{Schwefelwasserstoff}} &= \frac{n \cdot R \cdot T}{p} \\ &= \frac{0,04702 \text{ mol} \cdot 8,314 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K}) \cdot 323,14 \text{ K}}{1,24 \cdot 10^5 \text{ Pa}} \\ &= 0,001018736 \text{ m}^3 \\ &= 1,018736 \text{ L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{Schwefelwasserstoff}} &= \frac{V_{\text{Schwefelwasserstoff}}}{V_{\text{Abgas}}} \\ &= \frac{1,018736 \text{ L}}{250 \text{ L}} \\ &= \underline{\underline{0,4075 \%}} \end{aligned}$$

9.3.16.

gegeben:

$$\begin{aligned} m_{\text{Stickstoffgas}} &= 65 \text{ g} \\ m_{\text{Sauerstoffgas}} &= 27 \text{ g} \\ m_{\text{Kohlendioxid}} &= 8 \text{ g} \\ M_{\text{Stickstoffgas}} &= 28,0134 \text{ g/mol} \\ M_{\text{Sauerstoff}} &= 31,9988 \text{ g/mol} \\ M_{\text{Kohlendioxid}} &= 44,0098 \text{ g/mol} \\ V_{\text{Gas}} &= 1 \text{ m}^3 \\ p &= 98.000 \text{ Pa} \\ T &= 273,14 \text{ K} \\ R &= 8,314 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K}) \end{aligned}$$

gesucht:

$$m_{\text{Gasgemisch}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} n_{\text{Stickstoff}} &= \frac{m_{\text{Stickstoff}}}{M_{\text{Stickstoff}}} \\ &= \frac{65 \text{ g}}{28,0134 \text{ g/mol}} \\ &= 2,320318133 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_{\text{Sauerstoff}} &= \frac{m_{\text{Sauerstoff}}}{M_{\text{Sauerstoff}}} \\ &= \frac{27 \text{ g}}{31,9988 \text{ g/mol}} \\ &= 0,8437816418 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_{\text{Kohlendioxid}} &= \frac{m_{\text{Kohlendioxid}}}{M_{\text{Kohlendioxid}}} \\ &= \frac{8 \text{ g}}{44,0098 \text{ g/mol}} \\ &= 0,181777695 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_{\text{Gasteilchen}} &= n_{\text{Stickstoff}} + n_{\text{Sauerstoff}} + n_{\text{Kohlendioxid}} \\ &= 2,32031813 \text{ mol} + 0,8437816418 \text{ mol} + 0,181777695 \text{ mol} \\ &= 3,34587747 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

$$\begin{aligned} n_{\text{Gasteilchen/m}^3} &= \frac{p \cdot V}{R \cdot T} \\ &= \frac{98.000 \text{ Pa} \cdot 1 \text{ m}^3}{8,314 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)} \cdot 273,14 \text{ K}} \\ &= 43,154963 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_{\text{Stickstoff}} &= \frac{n_{\text{Gasteilchen/m}^3} \cdot m_{\text{Stickstoffgas}}}{n_{\text{Stickstoff}}} \\ &= \frac{43,154963 \text{ mol} \cdot 65 \text{ g}}{3,34587747 \text{ mol}} \\ &= 838,3668 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_{\text{Sauerstoff}} &= \frac{n_{\text{Gasteilchen/m}^3} \cdot m_{\text{Sauerstoff}}}{n_{\text{Stickstoff}}} \\ &= \frac{43,154963 \text{ mol} \cdot 27 \text{ g}}{3,34587747 \text{ mol}} \\ &= 348,2447 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Kohlendioxid}} &= \frac{n_{\text{Gasteilchen/m}^3} \cdot m_{\text{Kohlendioxid}}}{n_{\text{Stickstoff}}} \\
 &= \frac{43,154963 \text{ mol} \cdot 8 \text{ g}}{3,34587747 \text{ mol}} \\
 &= 103,1836 \text{ g} \\
 m_{\text{Gasgemisch}} &= m_{\text{Stickstoff}} + m_{\text{Sauerstoff}} + m_{\text{Stickstoff}} \\
 &= 838,3668 \text{ g} + 348,2447 \text{ g} + 103,1836 \text{ g} \\
 &= \underline{\underline{1,290 \text{ kg}}}
 \end{aligned}$$

9.3.17.

gegeben:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Amylose}} &= 200 \text{ L} \\
 \beta_{\text{Amylose}} &= 50,00 \text{ g/L} \\
 p &= 0,982 \text{ bar} = 0,982 \cdot 10^5 \text{ Pa} \\
 T &= 297,15 \text{ K} \\
 M_{\text{Glucose}} &= 180,1572 \text{ g/mol} \\
 M_{\text{Wasser}} &= 18,0152 \text{ g/mol}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$V_{\text{Biogas}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Amylose}} &= \beta_{\text{Amylose}} \cdot V_{\text{Amylose}} \\
 &= 50,00 \text{ g/L} \cdot 200 \text{ L} \\
 &= 10 \text{ kg} \\
 n_{\text{Glucose}} &= \frac{m_{\text{Amylose}}}{M_{\text{Glucose}} - M_{\text{Wasser}}} \\
 &= \frac{10.000 \text{ g}}{180,1572 \text{ g/mol} - 18,0152 \text{ g/mol}} \\
 &= 61,67433484 \text{ mol} \\
 n_{\text{Biogas}} &= 6 \cdot n_{\text{Glucose}} \\
 &= 6 \cdot 61,67433484 \text{ mol} \\
 &= 370,046009 \text{ mol} \\
 p \cdot V_{\text{Biogas}} &= n_{\text{Biogas}} \cdot R \cdot T
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Biogas}} &= \frac{n_{\text{Biogas}} \cdot R \cdot T}{p} \\
 &= \frac{370,046009 \text{ mol} \cdot 8,314 \text{ J/mol K} \cdot 297,15 \text{ K}}{0,982 \cdot 10^5 \text{ Pa}} \\
 &= \underline{\underline{9,310 \text{ m}^3}}
 \end{aligned}$$

9.3.18

gegeben:

$$\begin{aligned}
 \varnothing_{\text{Tank}} &= 6,5 \text{ m} \\
 h_{\text{Tank}} &= 12,2 \text{ m} \\
 V_{\text{Zylinder}} &= 2 \text{ L} \\
 V_{\text{Restwasser}} &= 0,6385 \text{ L} \\
 \beta_{\text{Sulfurylfluorid}} &= 128 \text{ g/m}^3 \\
 M_{\text{Sulfurylfluorid}} &= 102,0616 \text{ g/mol} \\
 T &= 291,15 \text{ K} \\
 p_{\text{Flasche}} &= 204,4 \text{ bar}
 \end{aligned}$$

gesucht:

$$V_{\text{Biogas}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Tank}} &= r_{\text{Tank}}^2 \cdot \pi \cdot h_{\text{Tank}} \\
 &= (3,25 \text{ m})^2 \cdot \pi \\
 &= 404,8334833 \text{ m}^3 \\
 V_{\text{Zwischenraum}} &= V_{\text{Tank}} \cdot V_{\text{Restwasser}} / V_{\text{Zylinder}} \\
 &= 404,8334833 \text{ m}^3 \cdot 0,6385 \text{ L} / 2 \text{ L} \\
 &= 129,2430895 \text{ m}^3 \\
 m_{\text{Sulfurylfluorid}} &= \beta_{\text{Sulfurylfluorid}} \cdot V_{\text{Tank}} \\
 &= 128 \text{ g/m}^3 \cdot 129,2430895 \text{ m}^3 \\
 &= 16543,11546 \text{ g} \\
 n_{\text{Sulfurylfluorid}} &= m_{\text{Sulfurylfluorid}} / M_{\text{Sulfurylfluorid}} \\
 &= 16543,11546 \text{ g} / 102,0616 \text{ g/mol} \\
 &= 162,0895171 \text{ mol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta p &= \frac{n_{\text{Sulfurylfluorid}} \cdot R \cdot T}{V_{\text{Zwischenraum}}} \\
 &= \frac{162,08952 \text{ mol} \cdot 8,314 \text{ J/(mol K)} \cdot 291,15 \text{ K}}{0,02 \text{ m}^3} \\
 &= 19.617.865,26 \text{ Pa} \\
 &= 196,1786526 \text{ bar} \\
 p_{\text{Ende}} &= p_{\text{Flasche}} - \Delta p \\
 &= 204,4 \text{ bar} - 196,1786526 \text{ bar} \\
 &= 8,221 \text{ bar}
 \end{aligned}$$

13.10 Lösungen Kap. 10 – Statistik

13.10.1 Lösungen Abschn. 10.2 – Mittelwert und Median

10.3.1.

12. Tag	13. Tag	Δm
153	201	48
158	219	61
156	215	59
154	213	59
158	207	49
155	204	49
159	218	59
150	203	53
157	211	54
160	209	49

$$\bar{\emptyset} = \underline{\underline{54 \text{ mg}}}$$

$$s = \underline{\underline{5,121 \text{ mg}}}$$

10.3.2.

$$\bar{\emptyset}_{\text{Kontrollgruppe}} = \underline{\underline{28,42 \text{ g}}}$$

$$s_{\text{Kontrollgruppe}} = \underline{\underline{3,960 \text{ g}}}$$

$$\bar{\emptyset}_{\text{Versuchsgruppe}} = \underline{\underline{23,48 \text{ g}}}$$

$$s_{\text{Versuchsgruppe}} = \underline{\underline{2,576 \text{ g}}}$$

10.3.3.

$$\bar{\varnothing} = \underline{\underline{3,497 \text{ g/m}^3}}$$

$$s = \underline{\underline{5,053 \text{ g/m}^3}}$$

10.3.4.

$$\bar{\varnothing}_{\text{relativ}} = \underline{\underline{-0,9366 \%}}$$

$$s = \underline{\underline{604,2 \mu\text{L}}}$$

10.3.5.

$$s = \underline{\underline{131,3 \text{ mg}}}$$

$$s_{\text{relativ}} = \underline{\underline{2,721 \%}}$$

10.3.6.

$$\bar{\varnothing}_{\text{Extraktionsausbeute}} = \underline{\underline{192,8 \mu\text{g/kg}}}$$

$$s = \underline{\underline{13,47 \mu\text{g/kg}}}$$

$$s_{\text{relativ}} = \underline{\underline{6,984 \%}}$$

10.3.7.

$$\bar{\varnothing} = \underline{\underline{30,9 \text{ g/L}}}$$

$$s = \underline{\underline{0,03317 \text{ g/L}}}$$

$$s_{\text{relativ}} = \underline{\underline{1,073 \%}}$$

10.3.8.

gegeben:

$$V = 100 \text{ mL}$$

$$f_{\text{Verdünnung}} = 100$$

$$d = 1 \text{ cm}$$

$$m_1 = 104,3 \text{ mg}$$

$$m_2 = 99,6 \text{ mg}$$

$$m_3 = 106,3 \text{ mg}$$

$$E_1 = 0,635$$

$$E_2 = 0,605$$

$$E_3 = 0,648$$

gesucht:

$$\varnothing_\varepsilon \text{ und } s_\varepsilon$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} \beta &= \frac{m}{V \cdot f_{\text{Verdünnung}}} \\ \beta_{\text{Lösung 1}} &= \frac{m_1}{V \cdot f_{\text{Verdünnung}}} \\ &= \frac{0,1043 \text{ g}}{0,1 \text{ L} \cdot 100} \\ &= 0,01043 \text{ g/L} \\ \beta_{\text{Lösung 2}} &= \frac{m_2}{V \cdot f_{\text{Verdünnung}}} \\ &= \frac{0,0996 \text{ g}}{0,1 \text{ L} \cdot 100} \\ &= 0,00996 \text{ g/L} \\ \beta_{\text{Lösung 3}} &= \frac{m_3}{V \cdot f_{\text{Verdünnung}}} \\ &= \frac{0,1063 \text{ g}}{0,1 \text{ L} \cdot 100} \\ &= 0,01063 \text{ g/L} \\ E &= \beta \cdot \varepsilon \cdot d \\ \varepsilon &= \frac{E}{\beta \cdot \varepsilon \cdot d} \\ \varepsilon_1 &= \frac{E}{\beta_{\text{Lösung 1}} \cdot \varepsilon \cdot d} \\ &= \frac{0,635}{0,01043 \text{ g/L} \cdot 1 \text{ cm}} \\ &= 60,88207095 \text{ L}/(\text{g} \cdot \text{cm}) \\ \varepsilon_2 &= \frac{E}{\beta_{\text{Lösung 2}} \cdot \varepsilon \cdot d} \\ &= \frac{0,605}{0,00996 \text{ g/L} \cdot 1 \text{ cm}} \\ &= 60,74297189 \text{ L}/(\text{g} \cdot \text{cm}) \\ \varepsilon_3 &= \frac{0,648}{0,01063 \text{ g/L} \cdot 1 \text{ cm}} \\ &= 60,95954845 \text{ L}/(\text{g} \cdot \text{cm}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{\varnothing}_\varepsilon &= \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3}{n_\varepsilon} \\ &= \frac{60,882071 \text{ L}/(\text{g} \cdot \text{cm}) + 60,742972 \text{ L}/(\text{g} \cdot \text{cm}) + 60,959548 \text{ L}/(\text{g} \cdot \text{cm})}{3} \\ &= \underline{\underline{60,86 \text{ L}/(\text{g} \cdot \text{cm})}} \\ s_\varepsilon &= \underline{\underline{0,1097 \text{ L}/(\text{g} \cdot \text{cm})}}\end{aligned}$$

10.3.9.

Hormonzugabe	Δ Länge (mm)	Δ Masse (g)
-	6	0,2
-	7	0,3
-	8	0,3
-	9	0,3
-	8	0,3
-	8	0,2
-	8	0,2
-	7	0,2
-	8	0,3
-	8	0,4
+	11	0,4
+	10	0,3
+	11	0,5
+	9	0,2
+	10	0,2
+	10	0,3
+	11	0,4
+	11	0,4
+	12	0,4
+	11	0,4

a.

$$\begin{aligned}\bar{\varnothing}_{\text{Längenwachstum ohne Hormone}} &= 7,7 \text{ mm} \\ \bar{\varnothing}_{\text{Längenwachstum mit Hormonen}} &= 10,6 \text{ mm} \\ \bar{\varnothing}_{\text{rel., hormongefördertes Zusatzwachstum}} &= \underline{\underline{37,66 \%}}\end{aligned}$$

b.

$$\begin{aligned}s_{\text{Längenwachstum ohne Hormone}} &= 0,843274 \text{ mm} \\ s_{\text{Längenwachstum mit Hormonen}} &= 0,823273 \text{ mm} \\ s_{\text{rel., hormongefördertes Zusatzwachstum}} &= \underline{\underline{2,423 \%}}\end{aligned}$$

c.

$$\begin{aligned}\emptyset_{\text{Massenzunahme ohne Hormone}} &= 0,27 \text{ g} \\ \emptyset_{\text{Massenzunahme mit Hormonen}} &= 0,35 \text{ g} \\ \emptyset_{\text{rel., hormongeförderte Massenzunahme}} &= \underline{\underline{29,63 \%}}\end{aligned}$$

d.

$$\begin{aligned}s_{\text{Massenzunahme ohne Hormone}} &= 67,49486 \text{ mg} \\ s_{\text{Massenzunahme mit Hormonen}} &= 97,18253 \text{ mg} \\ s_{\text{rel., hormongeförderte Massenzunahme}} &= \underline{\underline{43,99 \%}}\end{aligned}$$

10.3.10.
gegeben:

$$\begin{aligned}c_{\text{Stammlösung}} &= 1,405 \cdot 10^{12} \text{ Sporen/L} \\ \varepsilon &= 3,417 \cdot 10^{-7} \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm}) \\ n_{\text{Verdünnungen}} &= 6 \\ V_{\text{Übertrag}} &= 2 \text{ mL} \\ V_{\text{aufgefüllt}} &= 20 \text{ mL} \\ d_{\text{Küvette}} &= 1 \text{ cm} \\ \emptyset_{\text{E}} &= 0,47728\end{aligned}$$

gesucht:

$$\Delta c_{\text{relativ}} \text{ und } s_{\text{E relativ}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned}E &= \varepsilon \cdot c \cdot d \\ c_{\text{Verdünnung 5 effektiv}} &= \frac{E}{\varepsilon \cdot d} \\ &= \frac{0,47728}{3,417 \cdot 10^{-7} \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm}) \cdot 1 \text{ cm}} \\ &= 1,396780 \cdot 10^{-6} \text{ Sporen/L} \\ f_{\text{Verdünnung}} &= \frac{V_{\text{aufgefüllt}}}{V_{\text{Übertrag}}} \\ &= \frac{20 \text{ mL}}{2 \text{ mL}} \\ &= 10\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c_{\text{Verdünnung 5 soll}} &= \frac{\text{Stammlösung}}{(f_{\text{Verdünnung}})^n_{\text{Verdünnungen}}} \\
 &= \frac{1,405 \cdot 10^{12} \text{ Sporen/L}}{(10)^6} \\
 &= 1,405 \cdot 10^6 \text{ Sporen/L} \\
 \Delta c_{\text{relativ}} &= \frac{c_{\text{Verdünnung 5 effektiv}} - c_{\text{Verdünnung 5 soll}}}{c_{\text{Verdünnung 5 soll}}} \\
 &= \frac{1,405 \cdot 10^6 \text{ Sporen/L} - 1,396780 \cdot 10^6 \text{ Sporen/L}}{1,405 \cdot 10^6 \text{ Sporen/L}} \\
 &= \underline{\underline{0,5851 \%}} \\
 s_{\text{relativ}} &= \underline{\underline{0,4454 \%}}
 \end{aligned}$$

10.4.1.

$$\begin{aligned}
 \emptyset_{\beta} &= 50 \text{ mg/L} \\
 \emptyset_{\text{Mortalität}} &= 47,6 \% \\
 \text{Steigung (a)} &= \underline{\underline{1,055}} \\
 \text{Achsenabschnitt (b)} &= \underline{\underline{-0,2083}}
 \end{aligned}$$

10.4.2.

$$\begin{aligned}
 \emptyset_{\beta_{\text{Zuckergehalt}}} &= 197,2167 \text{ g/L} \\
 \emptyset_{\sigma_{\text{Ethanol}}} &= 12,833 \text{ Vol. \%} \\
 \text{Steigung (a)} &= \underline{\underline{0,07995}} \\
 \text{Achsenabschnitt (b)} &= \underline{\underline{-2,921}}
 \end{aligned}$$

10.4.3.

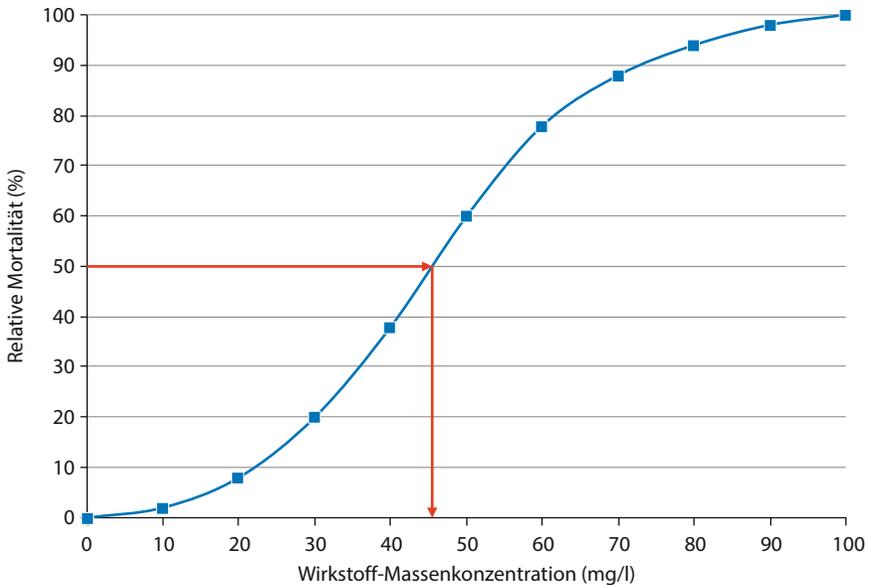
$$\begin{aligned}
 \emptyset_{\beta_{\text{Wirkstoff}}} &= 933,333 \text{ g/L} \\
 \emptyset_{c_{\text{Zellen}}} &= 9,26833 \text{ Zellen}/\mu\text{L} \\
 \text{Steigung (a)} &= \underline{\underline{-7042}} \\
 \text{Achsenabschnitt (b)} &= \underline{\underline{15,84 \cdot 10^6}}
 \end{aligned}$$

13.11 Lösungen Kap. 11 – Grafische Darstellungen

13.11.1 Lösungen Abschn. 11.4 – Bestimmung von Werten mittels grafischer Darstellungen

11.4.1.

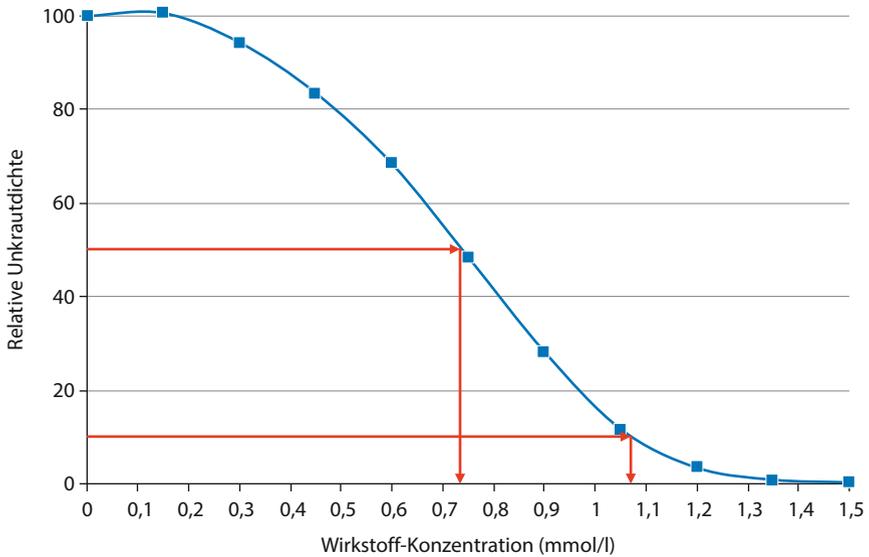
β Wirkstoff	Anz. tote Zikaden	Mortalität (%)
100 mg/L	50	100
90 mg/L	49	98
80 mg/L	47	94
70 mg/L	44	88
60 mg/L	39	78
50 mg/L	30	60
40 mg/L	19	38
30 mg/L	10	20
20 mg/L	4	8
10 mg/L	1	2
Kontrolle	0	0



$$LC_{50} = \underline{\underline{45,45 \text{ mg/L}}}$$

11.4.2.

$c_{\text{Wirkstoff}}$ (mmol/L)	\varnothing Unkrautdichte (Pflanzen/m ²)	Relative Unkrautdichte (%)
0,0	351	100
0,15	353	100,5698006
0,3	331	94,3019943
0,45	293	83,47578348
0,6	240	68,37606838
0,75	170	48,43304843
0,9	99	28,20512821
1,05	41	11,68091168
1,2	12	3,418803419
1,35	3	0,854700855
1,5	1	0,284900285

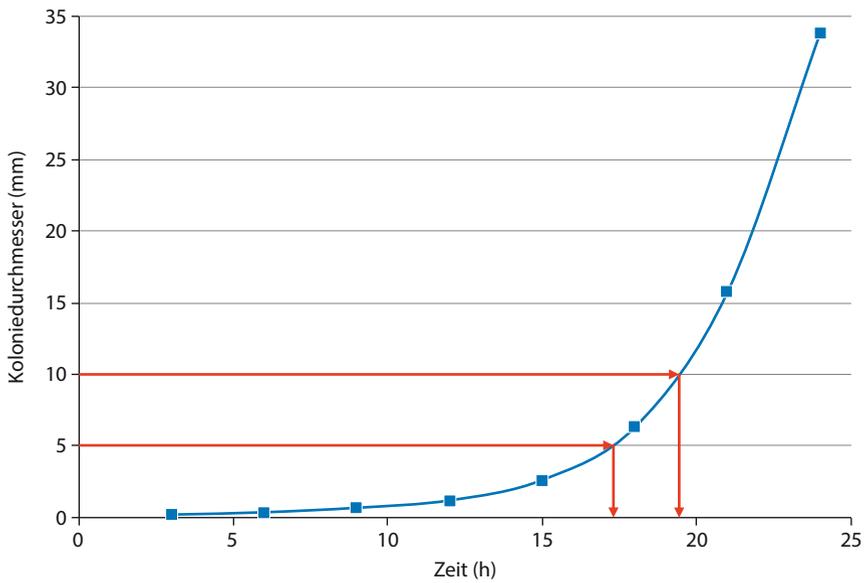


$$LC_{50} = \underline{\underline{0,735 \text{ mmol/L}}}$$

$$LC_{90} = \underline{\underline{1,07 \text{ mmol/L}}}$$

11.4.3.

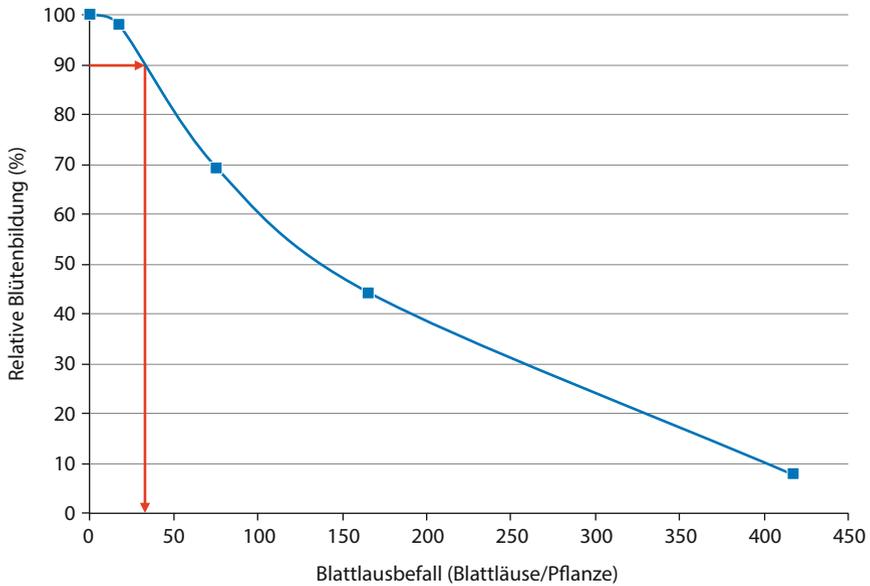
Zeit (h)	Kolonie (Ø in mm)					
	A	B	C	D	E	Ø
3	0,2	0,18	0,21	0,19	0,23	0,202
6	0,35	0,45	0,29	0,38	0,39	0,372
9	0,62	0,71	0,67	0,7	0,73	0,686
12	1,24	1,31	0,98	1,11	1,37	1,202
15	2,41	3,23	1,89	2,2	3,41	2,628
18	5,02	7,42	6,32	5,01	7,83	6,32
21	14,87	18,85	12,36	12,54	20,21	15,766
24	30,33	45,61	19,41	25,33	48,62	33,86



$$\Delta t_{\text{Kolonie-}\varnothing\text{-Verdoppelung}} = \underline{\underline{2,15 \text{ h}}}$$

11.4.4.

Ø Blattläuse	Ø Blüten	% Blüten
0	13,0	100
17,25	12,75	98,077
75,5833	9,0	69,231
165,833	5,75	44,231
417,667	1,0	7,692



10 % Blütenreduktion = 34 Blattläuse

11.4.5.

$$c_{50\%} = \underline{\underline{0,57 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}}}$$

11.4.6.

$$DE_{50} = \underline{\underline{0,59 \text{ mg/kg}}}$$

11.4.7.

$$t_{\text{Verdoppelung}} = \underline{\underline{19 \text{ min}}}$$

11.4.8.

$$t_{50\% \text{ max.}} = \underline{\underline{13,4 \text{ h}}}$$

11.4.9.

$$\beta_{\text{Wirkstoff}} = \underline{\underline{16,5 \text{ mg/L}}}$$

11.4.10.

$$\beta_{\text{Cyan-HB im Blut}} = \underline{\underline{176 \text{ g/L}}}$$

11.4.11.

$$\text{Hemmung} = \underline{\underline{29\%}}$$

11.4.12.

$$\text{LC}_{50} = \underline{\underline{0,06 \text{ mg/L}}}$$

11.4.13.

$$\beta_{\text{Hemmstoff}} = \underline{\underline{4,90 \mu\text{g/mL}}}$$

11.4.14.

$$t_{50} = \underline{\underline{16,9 \text{ h}}}$$

11.4.15.

$$t_{50\% \text{ Gärung}} = \underline{\underline{88 \text{ h}}}$$

11.4.16.

$$\beta_{\text{Wirkstoff}} = \underline{\underline{13,0 \text{ mg/L}}}$$

13.12 Lösungen Kap. 12 – Gemischte Themen

12.1.

$$m_{\text{Produkt}} = \underline{\underline{861,5 \text{ mg}}}$$

12.2.

$$M_{\text{Salpetersäure}} = 63,0128 \text{ g/mol}$$

$$c_{\text{Salpetersäure}} = \underline{\underline{15,22 \text{ mol/L}}}$$

12.3.

$$m_{\text{Phenol}} = \underline{\underline{17,75 \text{ g}}}$$

12.4.

$$V_{\text{NaCl-Lösung}} = \underline{\underline{1,600 \text{ L}}}$$

12.5.

$$c_{\text{Schwefelsäure}} = \underline{\underline{19,40 \text{ mol/L}}}$$

12.6.

$$M_{\text{Isoniazid-Stammlösung}} = \underline{\underline{1,105 \text{ mL}}}$$

12.7.

$$V_{\text{Wasser}} = \underline{\underline{123,0 \text{ mL}}}$$

12.8.

$$c_{\text{NaOH}} = \underline{\underline{1,362 \text{ mol/L}}}$$

12.9.

$$c_{\text{Bakterien}} = \underline{\underline{3,425 \cdot 10^8 \text{ Keime/mL}}}$$

12.10.

$$M_{\text{Calciumchlorid}} = 110,986 \text{ g/mol}$$

$$\beta_{\text{Calciumchlorid}} = \underline{\underline{94,34 \text{ mg/kg}}}$$

12.11.

$$d_{\text{Antibiotikum}} = \underline{\underline{26,0 \mu\text{g}/(\text{kg} \cdot \text{h})}}$$

12.12.

$$V_{\text{Spritze}} = \underline{\underline{8,400 \text{ L}}}$$

12.13.

$$n_{\text{Zellzyklen}} = \underline{\underline{6,496}}$$

12.14.

$$n_{\text{Kristallwasser}} = 10,02 \text{ mol}$$

$$X = \underline{\underline{10}} \text{ (ganzzahlig gerundet)}$$

12.15.

$$M_{\text{Phenacetin}} = 179,2182 \text{ g/mol}$$

$$w_{\text{Glucose}} = \underline{\underline{50,09 \text{ g}/100 \text{ g}}}$$

12.16.

$$m_{\text{MgO}} = 95,46 \text{ mg}$$

$$m_{\text{Mg}} = \underline{\underline{57,57 \text{ mg}}}$$

12.17.

$$\rho_{\text{Lösung}} = \underline{\underline{1,057 \text{ kg/L}}}$$

12.18.

$$\beta_{\text{Zuporadin-Lösung}} = \underline{\underline{4104,0 \mu\text{g/mL}}}$$

12.19.

$$n_{50\%} = \underline{\underline{8000 \text{ Biegungen}}}$$

12.20.

$$V_{\text{Wasser}} = \underline{\underline{33,40 \text{ mL}}}$$

12.21.

$$c_{\text{Stammlösung}} = \underline{\underline{21,69 \cdot 10^6 \text{ Sporen/L}}}$$

12.22.

$$c_{\text{Samen}} = 155,339 \text{ Samen/Schale}$$

$$m_{\text{Samen}} = \underline{\underline{491,6 \text{ mg Samen}}}$$

12.23.

$$w_{\text{Calciumchlorid}} = 50,7 \%$$

$$m_{\text{Calciumchlorid-Hexahydrat}} = \underline{\underline{8,760 \text{ g}}}$$

12.24.

$$m_{\text{Kaliumnitrat}} = \underline{\underline{415,2 \text{ mg}}}$$

12.25.

$$\Delta\beta_{\text{Ethanol}} = \underline{\underline{2,904 \text{ mg/L}}}$$

12.26.

$$\beta_{\text{Wirkstoff}} = \underline{\underline{1,600 \text{ mg/mL}}}$$

12.27.

$$d_{\text{Acetylcholin}} = \underline{\underline{1,610 \mu\text{g/kg}}}$$

12.28.

$$\begin{aligned} V_{\text{Silo}} &= 300,588 \text{ m}^3 \\ m_{\text{Weizen}} &= 246,482 \text{ t} \\ m_{\text{Wirkstoff}} &= \underline{\underline{246,5 \text{ kg}}} \end{aligned}$$

12.29.

$$\begin{aligned} V_{\text{Bakterien}} &= 2,2089 \cdot 10^{-10} \mu\text{L} \\ w_{\text{Bakterien}} &= \underline{\underline{815,0 \mu\text{L/L}}} \end{aligned}$$

12.30.

$$\begin{aligned} V_{\text{Suspension}} &= \underline{\underline{1,25 \text{ mL}}} \\ V_{\text{NaCl-Lösung}} &= \underline{\underline{98,75 \text{ mL}}} \end{aligned}$$

12.31.

$$m_{\text{KOH}} = \underline{\underline{42,08 \text{ mg}}}$$

12.32.

$$v_{\text{Infusion}} = \underline{\underline{8 \text{ Tropfen/min}}}$$

12.33.

$$\begin{aligned} c_1 &= 0,158075 \text{ mol/L} \\ c_2 &= 0,05614 \text{ mol/L} \\ c_{\text{Fe}} &= \underline{\underline{89,20 \text{ mmol/L}}} \end{aligned}$$

12.34.

$$c_{\text{Zellen}} = \underline{\underline{0,1804 \cdot 10^6 \text{ Zellen/mL}}}$$

12.35.

$$m_{\text{Mais}} = \underline{\underline{18,32 \text{ g}}}$$

12.36.

$$\emptyset_{\text{Kontrollgruppe}} = \underline{\underline{28,42 \text{ g}}}$$

$$s_{\text{Kontrollgruppe}} = \underline{\underline{3,96 \text{ mg}}}$$

$$\emptyset_{\text{Versuchsgruppe}} = \underline{\underline{23,48 \text{ g}}}$$

$$s_{\text{Versuchsgruppe}} = \underline{\underline{2,58 \text{ mg}}}$$

12.37.

$$c_{\text{Acetylcholin}} = \underline{\underline{5,475 \cdot 10^{-7} \text{ mol/L}}}$$

12.38.

$$n_{\text{Zerfälle}} = 23$$

$$m_{\text{Iod}} = \underline{\underline{1,192 \cdot 10^{-4} \mu\text{g}}}$$

12.39.

$$w_{\text{NaOH}} = \underline{\underline{2,963 \%}}$$

12.40.

$$Q_{\text{Infusion}} = \underline{\underline{25,00 \text{ mL/h}}}$$

12.41.

$$V_{\text{Stammlösung}} = \underline{\underline{1,000 \text{ mL}}}$$

12.42.

$$c_{\text{Glucose}} = \underline{\underline{32,76 \text{ mmol/L}}}$$

12.43.

$$\beta_{\text{HEPES}} = \underline{\underline{762,6 \mu\text{g/L}}}$$

12.44.

$$M_{\text{Ca-Hydrogenphosphat}} = 136,05726 \text{ g/mol}$$

$$m_{\text{Ca-Hydrogenphosphat}} = 458,2995683 \text{ mg}$$

$$V_{\text{Ca-Hydrogenphosphat-Lösung}} = \underline{\underline{18,33 \text{ mL}}}$$

12.45.

$$M_{\text{Sulfonamid}} = 255,309 \text{ g/mol}$$
$$V_{\text{Injektionslösung}} = \underline{\underline{8,000 \text{ mL}}}$$

12.46.

$$m_{\text{Fe}} = \underline{\underline{2,707 \text{ g}}}$$

12.47.

$$M_{\text{Glutamin}} = 146,1456 \text{ g/mol}$$
$$c_{\text{Glutamin}} = 3,01677 \text{ mmol/L}$$
$$\beta_{\text{Glutamin}} = \underline{\underline{440,9 \text{ mg/L}}}$$

12.48.

$$M_{\text{Penicillin}} = 332,3734 \text{ g/mol}$$
$$m_{\text{Penicillin/Tablette}} = 46,3985 \text{ mg}$$
$$w_{\text{Penicillin}} = \underline{\underline{0,5446 \%}}$$

12.49.

$$m_{\text{BT-Pulver}} = \underline{\underline{72,00 \text{ g}}}$$

12.50.

$$m_{\text{Barbiturat}} = 1,1025 \text{ g}$$
$$V_{\text{Lösung}} = 0,441 \text{ L}$$
$$n_{\text{Umdrehungen}} = 145,07$$
$$v_{\text{Rotation}} = \underline{\underline{14,51 \text{ Umdrehungen/h}}}$$

12.51.

$$t = \underline{\underline{32,57 \text{ h}}}$$

12.52.

$$p_{145^\circ\text{C}} = \underline{\underline{3,38 \text{ bar}}}$$

12.53.

$$\beta_{\text{A}} = 5 \text{ g/L}$$
$$\text{LD}_{50} = \underline{\underline{24 \mu\text{g}/\text{Biene}}}$$

12.54.

$$\beta_{\text{Essigsäure}} = \underline{\underline{345,6 \text{ mg/L}}}$$

12.55.

$$V_{\text{Fungizid-Brühe}} = \underline{\underline{5000 \text{ L}}}$$

12.56.

$$A_{\text{Petrischale}} = 72,38229 \text{ cm}^2$$
$$\beta_{\text{Wirkstoff}} = \underline{\underline{0,2413 \text{ g/L}}}$$

12.57.

$$t = 2,5 \text{ h}$$
$$V_{\text{Infusion}} = 25 \text{ mL}$$
$$f_{\text{Verdünnung}} = \underline{\underline{5}}$$

12.58.

$$V_{\text{Wasser}} = \underline{\underline{266,7 \text{ mL}}}$$

12.59.

$$V_{\text{Stammlösung}} = \underline{\underline{1,033 \text{ mL}}}$$

12.60.

$$m_{\text{Hämoglobin}} = \underline{\underline{847,5 \mu\text{g}}}$$

12.61.

$$m_{\text{Wirkstoff pro Kapsel}} = \underline{\underline{3,446 \text{ mg}}}$$

12.62.

$$f_{\text{Verdünnung}} = 3,162$$
$$V_{\text{Übertrag}} = \underline{\underline{15,81 \text{ mL}}}$$

12.63.

$$m_{\text{KOH}} = \underline{\underline{14,03 \text{ mg}}}$$

12.64.

$$\beta = 30 \text{ mg/L}$$
$$\varepsilon_{\text{sp}} = \underline{\underline{3,900 \text{ L}/(\text{g} \cdot \text{cm})}}$$

12.65.

$$m_{\text{technisches NaCl}} = \underline{\underline{60,42 \text{ g}}}$$

12.66.

$$V_{\text{ddATP}} = \underline{\underline{156,3 \mu\text{L}}}$$

12.67.

$$m_{\text{Wirkstoff}} = \underline{\underline{0,2062 \mu\text{g}}}$$

12.68.

$$c_{\text{NaOH}} = \underline{\underline{400,0 \text{ mmol/L}}}$$

12.69.

$$\beta_{\text{total}} = \underline{\underline{5,090 \text{ g/L}}}$$

12.70.

$$c_{\text{Viren}} = \underline{\underline{9147 \text{ Viren/L}}}$$

12.71.

$$c_{\text{verdünnt}} = 4,8 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$$
$$\text{pH} = \underline{\underline{3,39}}$$

12.72.

$$V_{\text{Wasser}} = \underline{\underline{90,91 \text{ mL}}}$$

12.73.

$$m_{\text{Spritzmittel}} = \underline{\underline{691,2 \text{ g}}}$$

12.74.

$$M_{\text{Acetylcholin}} = 146,2089 \text{ g/mol}$$

$$\beta_{\text{Acetylcholin}} = \underline{\underline{58,48 \mu\text{g/L}}}$$

12.75.

$$\beta_{\text{Enzym}} = \underline{\underline{0,2656 \mu\text{g/L}}}$$

12.76.

$$M_{\text{Pelletierin}} = 141,2126 \text{ g/mol}$$

$$n_{\text{N}} = 0,0902 \mu\text{mol}$$

$$m_{\text{Pelletierin}} = \underline{\underline{12,74 \mu\text{g/L}}}$$

12.77.

$$w_{\text{Cu}} = \underline{\underline{4,308 \mu\text{g/g}}}$$

12.78.

$$m_{\text{Fungizid}} = \underline{\underline{6,942 \text{ kg}}}$$

12.79.

$$\text{Therap. Index} = \underline{\underline{2,4}}$$

12.80.

$$V = \underline{\underline{131,2 \text{ mL}}}$$

12.81.

$$V_{\text{Erythrocyte}} = 4,9348 \cdot 10^{-11} \text{ mL}$$

$$V_{\text{total}} = \underline{\underline{1,234 \text{ L}}}$$

12.82.

$$m_{\text{Ratte } \emptyset} = 200 \text{ g}$$

$$m_{\text{Wirksubstanz}} = \underline{\underline{52,50 \text{ g}}}$$

12.83.

$$m_{\text{Wirksubstanz}} = \underline{\underline{500,0 \text{ ng}}}$$

12.84.

$$V_{\text{Tank}} = 25,47341 \text{ m}^3$$

$$t = \underline{\underline{10,41 \text{ h}}}$$

12.85.

$$m_{\text{Na-Carbonat}} = \underline{\underline{194,7 \text{ kg}}}$$

12.86.

$$m_{\text{Präparat}} = \underline{\underline{1,770 \text{ mg}}}$$

12.87.

$$m_{\text{Substrat}} = \underline{\underline{13,00 \text{ mg}}}$$

12.88.

$$m_{\text{Applikation}} = 200 \text{ mg}$$
$$w_{\text{Applikation nach 4 h}} = \underline{\underline{34,67 \%}}$$

12.89.

$$p_{\text{Gas}} = \underline{\underline{108,9 \text{ bar}}}$$

12.90.

$$M_{\text{HCl}} = 36,4609 \text{ g/mol}$$
$$c_{\text{HCl } 1} = 500,536 \text{ mmol/L}$$
$$V_{\text{HCl } 18,25 \text{ mg/mL}} = \underline{\underline{875,0 \text{ mL}}}$$
$$V_{\text{HCl } 4,5 \text{ mol/L}} = \underline{\underline{125,0 \text{ mL}}}$$

12.91.

$$\beta_{\text{HEPES}} = \underline{\underline{243,1 \text{ g/L}}}$$

12.92.

$$\beta_{\text{Insektizid}} = \underline{\underline{0,9375 \text{ mg/L}}}$$

12.93.

$$m_{\text{tri-Natriumcitrat-Dihydrat}} = \underline{\underline{154,4 \text{ g}}}$$

12.94.

$$c_{\text{Bakterien}} = \underline{\underline{5,781 \cdot 10^6 \text{ Bakterien/g Boden}}}$$

12.95.

$$m_{\text{Adrenalin-Bitartrat}} = \underline{\underline{160,0 \mu\text{g}}}$$

12.96.

$$M_{\text{Acetylglucosamin}} = 221,21185 \text{ g/mol}$$

$$V_{\text{Stammlösung}} = \underline{\underline{11,30 \text{ mL}}}$$

12.97.

$$\beta_{\text{Ammonium}} = \underline{\underline{128,1 \mu\text{g/L}}}$$

12.98.

$$\beta_{4\text{-Aminohippursäure}} = \underline{\underline{388,4 \text{ mg/L}}}$$

12.99.

$$LC_{50} = \underline{\underline{16,00 \mu\text{g/L}}}$$

12.100.

$$m_A = \underline{\underline{250,0 \text{ mg}}}$$

$$V_B = \underline{\underline{4,000 \text{ mL}}}$$

12.101.

$$M_{\text{Ziprasidon}} = 412,9361 \text{ g/mol}$$

$$M_{\text{Ziprasidon-HCl-Wasser}} = 467,4122 \text{ g/mol}$$

$$m_{\text{Ziprasidon-HCl-Wasser}} = \underline{\underline{141,5 \text{ mg}}}$$

12.102.

$$n_{\text{Keime}} = \underline{\underline{2,411 \cdot 10^9 \text{ Keime}}}$$

12.103.

$$m_{\text{Pyrit}} = \underline{\underline{153,1 \text{ kg}}}$$

12.104.

$$\beta_{\text{Apfelsäure max.}} = \underline{\underline{660,7 \text{ g/L}}}$$

12.105.

$$v_{\text{Schienentraktor}} = \underline{\underline{2,462 \text{ km/h}}}$$

12.106.

$$m_{\text{Algizid}} = \underline{\underline{1,235 \text{ kg}}}$$

12.107.

$$V_{\text{Wasserstoffgas}} = \underline{\underline{124,5 \text{ L}}}$$

12.108.

$$m_{\text{Bakterien}} = \underline{\underline{1,900 \text{ g}}}$$

12.109.

$$V_{0,1 \text{ M}} = \underline{\underline{300,0 \text{ mL}}}$$

$$V_{0,05 \text{ M}} = \underline{\underline{200,0 \text{ mL}}}$$

12.110.

$$m_{\text{Eisen(II)-lactat-Trihydrat}} = \underline{\underline{3,582 \text{ g}}}$$

12.111.

$$n_{\text{Keime}} = \underline{\underline{5,498 \cdot 10^{11} \text{ Keime}}}$$

12.112.

$$M_{\text{Guajacol}} = 124,149 \text{ g/mol}$$

$$m_{\text{Guajacol}} = \underline{\underline{3,879 \text{ mg}}}$$

12.113.

$$M_{\text{Mn(II)-sulfat-Monohydrat}} = 169,0108 \text{ g/mol}$$

$$m_{\text{Mn(II)-sulfat-Monohydrat}} = \underline{\underline{0,6742 \text{ mg}}}$$

12.114.

$$\varnothing = \underline{\underline{35,71 \text{ mm}}}$$

$$s = \underline{\underline{1,496 \text{ mm}}}$$

12.115.

$$v_{\text{Abbau}} = \underline{\underline{14,39 \mu\text{g}/(\text{L} \cdot \text{h})}}$$

12.116.

$$\beta_{\text{Apfelsäure}} = \underline{\underline{109,6 \text{ mg/L}}}$$

12.117.

$$t_{\text{Infusion}} = \underline{\underline{26,99 \text{ min}}}$$

12.118.

$$V_{\text{Lösung}} = \underline{\underline{2,894 \text{ mL}}}$$

12.119.

$$\beta_{\text{Wirkstoff}} = \underline{\underline{67,00 \mu\text{g/L}}}$$

12.120.

$$V_{\text{Stammlösung}} = \underline{\underline{4,530 \text{ mL}}}$$

12.121.

$$\varepsilon = \underline{\underline{30,011 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm})}}$$

12.122.

$$\beta_{\text{Lösung}} = \underline{\underline{1,024 \text{ kg/L}}}$$

12.123.

$$q_{\text{mSO}_2 \text{ im Rauchgas}} = \underline{\underline{18,20 \text{ kg/h}}}$$

12.124.

$$c_{\text{Keime}} = \underline{\underline{1,500 \cdot 10^{12} \text{ Keime/L}}}$$

12.125.

$$V_{\text{HCl}} = \underline{\underline{10,40 \text{ mL}}}$$

12.126.

$$V_{\text{Wasser}} = \underline{\underline{87,40 \text{ mL}}}$$

12.127.

$$M_{\text{Noradrenalin}} = 184,2145 \text{ g/mol}$$

$$\beta_{\text{Noradrenalin}} = \underline{\underline{128,3 \mu\text{g/L}}}$$

12.128.

$$V_{\text{Adrenalin-Bitartrat-Lösung}} = \underline{\underline{6,494 \text{ mL}}}$$

12.129.

$$V_{\text{Ampullenlösung}} = \underline{\underline{23,52 \text{ mL}}}$$

12.130.

$$m_{\text{Glucose}} = \underline{\underline{2,500 \text{ g}}}$$

$$m_{\text{Na-Pyruvat}} = \underline{\underline{550,2 \text{ mg}}}$$

12.131.

$$m_{\text{Mg-Sulfat-Heptahydrat}} = \underline{\underline{6,143 \text{ mg}}}$$

12.132.

$$c_{\text{Schwefelsäure}} = \underline{\underline{17,54 \text{ mol/L}}}$$

12.133.

$$V_{\text{Lösung}} = \underline{\underline{124,8 \text{ mL}}}$$

12.134.

$$c_{\text{Erythrocyten}} = \underline{\underline{3,250 \cdot 10^{12} \text{ Erythrocyten/L}}}$$

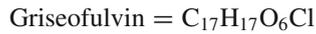
12.135.

$$d_{\text{Fungizid}} = \underline{\underline{1,109 \text{ g/m}^2}}$$

12.136.

$$V_{\text{Na-Barbiturat}} = \underline{\underline{1,880 \text{ mL}}}$$

12.137.



$$m_{\text{Griseofulvin}} = \underline{\underline{17,64 \text{ g}}}$$

12.138.

$$n_{\text{Substrat}} = \underline{\underline{2,250 \text{ mmol}}}$$

12.139.

$$V_{\text{falsche Lösung}} = \underline{\underline{24 \text{ Volumenteile}}}$$

12.140.

$$d_{\text{Vitamin}} = \underline{\underline{5,000 \text{ g/kg}}}$$

12.141.

$$\text{LC}_{50} = \underline{\underline{229,2 \text{ mg/m}^3}}$$

12.142.

$$w_{\text{Anteil resistenter Bakterien}} = \underline{\underline{4,594 \%}}$$

12.143.

$$m_{\text{Cu-Sulfat-Heptahydrat}} = \underline{\underline{124,8 \text{ g}}}$$

12.144.

$$V_{\text{HCl}} = \underline{\underline{105,3 \text{ mL}}}$$

$$V_{\text{Wasser}} = \underline{\underline{894,7 \text{ mL}}}$$

12.145.

$$\beta_{\text{Infusionslösung}} = \underline{\underline{24,00 \text{ mg/L}}}$$

12.146.

$$d_{\text{Wirkstoff}} = \underline{\underline{180,0 \mu\text{g/kg}}}$$

12.147.

$$V_{\text{Stammlösung}} = \underline{\underline{1,000 \text{ mL}}}$$

12.148.

$$m_{\text{Konzentrat}} = \underline{\underline{120,0 \text{ g}}}$$

12.149.

$$V_{\text{Wasser}} = \underline{\underline{40,00 \text{ mL}}}$$

12.150.

$$p = \underline{\underline{3,847 \text{ bar}}}$$

12.151.

$$\beta_{\text{Oxalsäure}} = \underline{\underline{25,32 \text{ mg/L}}}$$

12.152.

$$\Delta p = \underline{\underline{5,196 \text{ bar}}}$$

12.153.

$$w_{\text{Wirkstoff}} = \underline{\underline{0,3114 \%}}$$

12.154.

$$m_{\text{Natriumlactat}} = \underline{\underline{20,69 \text{ g}}}$$

12.155.

$$v = \underline{\underline{18,99 \text{ km/h}}}$$

12.156.

$$\beta_{\text{Insektizid}} = \underline{\underline{2,180 \text{ mg/L}}}$$

12.157.

$$c_{\text{Zn}} = \underline{\underline{11,67 \mu\text{mol/L}}}$$

12.158.

$$m_{\text{Sr-Chlorid-Hexahydrat}} = \underline{\underline{0,5021 \text{ mg}}}$$

12.159.

$$w_{\text{Fungizidwirkstoff}} = \underline{\underline{19,29\%}}$$

12.160.

$$\sigma_{\text{Bakterien}} = \underline{\underline{1,336\ \mu\text{L/L}}}$$

12.161.

$$\text{Enzymhemmung} = 20,63\%$$

12.162.

$$\emptyset = \underline{\underline{54,00\ \text{mg}}}$$

$$s = \underline{\underline{5,121\ \text{mg}}}$$

12.163.

$$w_{\text{Tryptophan}} = \underline{\underline{1,998\%}}$$

12.164.

$$V_{\text{Wasser}} = \underline{\underline{98,36\ \text{mL}}}$$

12.165.

$$c_{\text{Methylmalonsäure}} = \underline{\underline{9,995\ \text{mmol/L}}}$$

12.166.

$$m_{\text{Kaliumchlorid-Lösung}} = \underline{\underline{49,70\ \text{g}}}$$

12.167.

$$V_{\text{Sporensuspension}} = \underline{\underline{4,444\ \text{L}}}$$

12.168.

$$V_{\text{Zellsuspension}} = \underline{\underline{6,142\ \text{mL}}}$$

$$V_{\text{NaCl-Lösung}} = \underline{\underline{93,86\ \text{mL}}}$$

12.169.

$$w_{\text{Fe}} = \underline{\underline{3,489\ \text{mg/kg}}}$$

12.170.

$$\text{pH} = \underline{\underline{7,17}}$$

12.171.

$$c_{\text{Mg}} = \underline{\underline{995,0 \text{ mmol/L}}}$$

12.172.

$$n_{\text{Kristallwasser}} = \underline{\underline{1,998 \text{ Wassermoleküle}}}$$

12.173.

$$m_{\text{Wirkstoff pro Tablette}} = \underline{\underline{21,18 \text{ mg}}}$$

12.174.

$$\text{Säurezahl} = \underline{\underline{1,646 \text{ mg KOH/mg Fett}}}$$

12.175.

$$c_{\text{Bakterien}} = \underline{\underline{3,438 \cdot 10^9 \text{ Bakterien/L}}}$$

Anhang

A.1 Tabellen

Tab. A.1 Molmassen der wichtigsten Elemente

Element	Symbol	Molare Masse (M ; in g/mol)	Element	Symbol	Molare Masse (M ; in g/mol)
Aluminium	Al	26,98154	Lithium	Li	6,941
Arsen	As	74,9216	Magnesium	Mg	24,305
Barium	Ba	137,328	Mangan	Mn	54,938
Blei	Pb	207,210	Natrium	Na	22,98977
Bor	B	10,812	Nickel	Ni	58,693
Brom	Br	79,904	Phosphor	P	30,97376
Cadmium	Cd	112,412	Platin	Pt	195,078
Calcium	Ca	40,078	Quecksilber	Hg	200,592
Chlor	Cl	35,453	Sauerstoff	O	15,9994
Chrom	Cr	51,996	Schwefel	S	32,066
Cobalt	Co	58,933	Silber	Ag	107,888
Eisen	Fe	55,847	Silicium	Si	28,0855
Fluor	F	18,998	Strontium	Sr	87,621
Helium	He	4,0026	Stickstoff	N	14,0067
Iod	I	126,9045	Wasserstoff	H	1,0079
Kalium	K	39,0983	Zink	Zn	65,38
Kohlenstoff	C	12,011	Zinn	Sn	118,69
Kupfer	Cu	63,546			

Tab. A.2 pK_S -Werte wichtiger Säure-Basen-Paare

Name der Säure	Säure	Konj. Base	pK_S -Wert
Schwefelsäure	H_2SO_4	HSO_4^-	-3
Salpetersäure	HNO_3	NO_3^-	-1,32
Schweflige Säure	H_2SO_3	HSO_3^-	1,96
Phosphorsäure	H_3PO_4	$H_2PO_4^-$	2,12
Fluorwasserstoffsäure	HF	F^-	3,14
Salpetrige Säure	HNO_2	NO_2^-	3,37
Kohlensäure	H_2CO_3	HCO_3^-	6,37
Schwefelwasserstoff	H_2S	HS^-	7,06
Hydrogensulfit	HSO_3^-	SO_3^{2-}	7,20
Dihydrogenphosphat	$H_2PO_4^-$	HPO_4^{2-}	7,21
Ammonium	NH_4^+	NH_3	9,21
Cyanwasserstoff	HCN	CN^-	9,31
Hydrogencarbonat	HCO_3^-	CO_3^{2-}	10,4
Wasserstoffperoxid	H_2O_2	HO_2^-	11,62
Hydrogensulfat	HSO_4^-	SO_4^{2-}	12,1
Hydrogenphosphat	HPO_4^{2-}	PO_4^{3-}	12,32
Hydrogensulfid	HS^-	S^{2-}	12,9
Wasser	H_2O	OH^-	15,74
Ammoniak	NH_3	NH_2^-	23
Hydroxid	OH^-	O^{2-}	24
Trichloressigsäure	Cl_3CCOOH	Cl_3CCOO^-	0,52
Oxalsäure	$HOOC-COOH$	$HOOC-COO^-$	1,46
Brenztraubensäure	$H_3CCO-COOH$	$H_3CCO-COO^-$	2,49
Weinsäure	$HOOC-(CHOH)_2-COOH$	$HOOC-(CHOH)_2-COO^-$	2,98
Milchsäure	$H_3CCHOH-COOH$	$H_3CCHOH-COO^-$	3,08
Apfelsäure	$HOOCCH_2-CHOH-COOH$	$HOOCCH_2-CHOH-COO^-$	3,46
Ameisensäure	$HCOOH$	$HCOO^-$	3,75
Milchsäure	$H_4C_2OHCOOH$	$H_4C_2OHCOO^-$	3,87
Benzoessäure	H_6C_6COOH	$H_6C_6COO^-$	4,19
Tartrat	$HOOC-(CHOH)_2-COO^-$	$^-OOC-(CHOH)_2-COO^-$	4,34
Essigsäure	H_3CCOOH	H_3CCOO^-	4,75
Sorbinsäure	$H_3C-(CH)_4-COOH$	$H_3C-(CH)_4-COOH^-$	4,76
Propionsäure	H_5C_2COOH	$H_5C_2COO^-$	4,87
Malat	$HOOCCH_2-CHOH-COO^-$	$^-OOCCH_2-CHOH-COO^-$	5,10

A.2 Formeln und Symbole

Flächen

$$A_{\text{Kreis}} = r^2 \cdot \pi$$

$$A_{\text{Kugel}} = d^2 \cdot \pi$$

Volumen, Volumenstrom, Massenstrom

$$V_{\text{Zylinder}} = r^2 \cdot \pi \cdot h$$

$$V_{\text{Kugel}} = \frac{4}{3} \cdot r^3 \cdot \pi$$

$$\underline{Q} = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$q_m = \frac{\Delta m}{\Delta t}$$

$$\dot{n} = \frac{\Delta n}{\Delta t}$$

$$v = \frac{\underline{Q}}{A}$$

Massenanteil, Volumenanteil, Konzentrationen, Dichte

$$w_{\text{Wirkstoff}} = \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{m_{\text{total}}}$$

$$\sigma_{\text{Wirkstoff}} = \frac{V_{\text{Wirkstoff}}}{V_{\text{total}}}$$

$$\beta_{\text{Wirkstoff}} = \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{V_{\text{total}}}$$

$$c_{\text{Wirkstoff}} = \frac{n_{\text{Wirkstoff}}}{V_{\text{total}}}$$

$$= \beta_{\text{Wirkstoff}} \cdot M_{\text{Wirkstoff}}$$

$$= \frac{\beta_{\text{Wirkstoff}}}{M_{\text{Wirkstoff}}}$$

$$\rho = \frac{m_{\text{Lösung}}}{V_{\text{Lösung}}}$$

Dosis

$$d_{\text{Wirkstoff}} = \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{m_{\text{Versuchstier}}}$$

$$d_{\text{Wirkstoff}} = \frac{m_{\text{Wirkstoff}}}{A_{\text{Versuchsfläche}}}$$

Mischen

$$\begin{aligned}
 w_1 \cdot m_1 + w_2 \cdot m_2 &= w_{\text{total}} \cdot (m_1 + m_2) \\
 &= w_{\text{total}} \cdot m_1 + w_{\text{total}} \cdot m_2 \\
 \beta_1 \cdot V_1 + \beta_2 \cdot V_2 &= \beta_{\text{total}} \cdot (V_1 + V_2) \\
 &= \beta_{\text{total}} \cdot V_1 + \beta_{\text{total}} \cdot V_2 \\
 c_1 \cdot V_1 + c_2 \cdot V_2 &= c_{\text{total}} \cdot (V_1 + V_2) \\
 &= c_{\text{total}} \cdot V_1 + c_{\text{total}} \cdot V_2
 \end{aligned}$$

Verdünnen

$$\begin{aligned}
 w_1 \cdot m_1 &= w_{\text{total}} \cdot (m_1 + m_2) \\
 &= w_{\text{total}} \cdot m_1 + w_{\text{total}} \cdot m_2 \\
 \beta_1 \cdot V_1 &= \beta_{\text{total}} \cdot (V_1 + V_2) \\
 &= \beta_{\text{total}} \cdot V_1 + \beta_{\text{total}} \cdot V_2 \\
 c_1 \cdot V_1 &= c_{\text{total}} \cdot (V_1 + V_2) \\
 &= c_{\text{total}} \cdot V_1 + c_{\text{total}} \cdot V_2
 \end{aligned}$$

Verdünnungsreihen

$$\begin{aligned}
 \beta_n &= \frac{\beta_0}{f^n} \\
 c_n &= \frac{c_0}{f^n}
 \end{aligned}$$

Fotometrie

$$\begin{aligned}
 E &= \varepsilon \cdot c \cdot d \\
 E &= \varepsilon_{\text{sp}} \cdot \beta \cdot d
 \end{aligned}$$

Enzymaktivität

$$v_{\text{Enzym}} = \frac{\Delta n_{\text{Substrat}}}{n_{\text{Enzym}} \cdot \Delta t}$$

pH-Berechnung (Näherung)

$$\begin{aligned}
 \text{pH} &= -\log c_{\text{Protonen}} \\
 \text{pH} &= 14 - \text{pOH}
 \end{aligned}$$

Starke Säure:

$$\text{pH} = -\log c_{\text{Säure}}$$

Schwache Säure:

$$\text{pH} = \frac{\text{p}K_{\text{S}} - \log c_{\text{Säure}}}{2} \quad (\text{Näherung})$$

Starke Base:

$$\text{pOH} = -\log c_{\text{Base}}$$

Schwache Base:

$$\text{pOH} = \frac{\text{p}K_{\text{B}} - \log c_{\text{Base}}}{2} \quad (\text{Näherung})$$

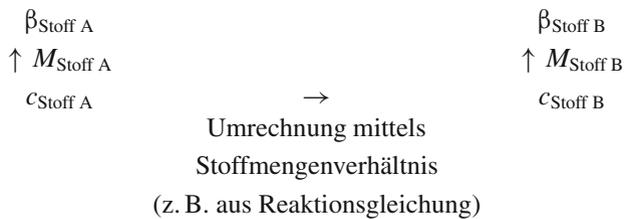
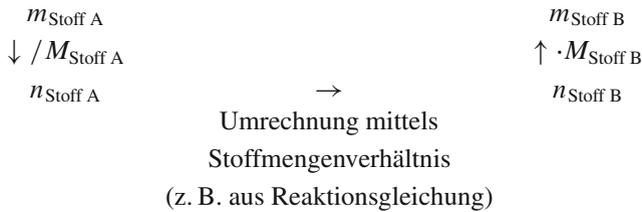
Pufferlösung

$$\text{pH} = \text{p}K_{\text{S}} + \log \frac{c_{\text{Pufferbase}}}{c_{\text{Puffersäure}}}$$

Titration

$$c_{\text{Säure}} \cdot V_{\text{Säure}} \cdot n_{\text{Säure}} \cdot t = c_{\text{Base}} \cdot V_{\text{Base}} \cdot n_{\text{Base}}$$

Chemische Reaktionen



Gase

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

Statistik

$$\bar{\emptyset} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

$$\text{var} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{\emptyset})^2}{n - 1}$$

$$s = \sqrt{\text{var}}$$

Symbole und Einheiten

c	= Stoffmengenkonzentration (mol/L)
d	= Dosis (g/kg) oder (kg/m ²) oder (L/m ²)
d	= Küvettendurchmesser (cm)
f	= Faktor (ohne Einheit)
h	= Höhe (m)
m	= Masse (kg)
M	= Molmasse (g/mol)
n	= Anzahl
n	= Anzahl Teilchen (mol)
\dot{n}	= Teilchenstrom (mol/s)
$n_{\text{Säure}}$	= Säurewertigkeit (d. h. Anzahl der abspaltbaren H ⁺)
p	= Druck (Pa) (1 bar = 10 ⁵ Pa)
Q	= Volumenstrom (L/min), (mL/s)
q_m	= Massenstrom (kg/min), (g/s)
r	= Radius (m)
R	= allg. Gaskonstante = 8,314 J/(mol · K)
t	= Titer (ohne Einheit)
t	= Zeit (s), (min), (h)
T	= Temperatur (K) (K = °C + 273,15)
v	= Geschwindigkeit (m/s), (km/h)
V	= Volumen (L), (mL)
w	= Massenanteil (%), (g/100 g)
α	= Applikationsvolumen (alpha) (L/m ²), (mL/kg)
β	= Massenkonzentration (beta) (g/L), (g/mL)
Δ	= Differenz (Delta) (ohne Einheit)
ε	= molarer Extinktionskoeffizient (epsilon) (L/(mol · cm))
ε_{sp}	= spezifischer Extinktionskoeffizient (epsilon) (L/(g · cm))
λ	= Wellenlänge (lambda) (nm)
η	= Wirkungsgrad (eta)
ρ	= Dichte (rho) (g/L), (kg/m ³)

τ	= fotometrische Durchlässigkeit (tau) (ohne Einheit)
τ	= Celsius-Temperatur (tau) ($^{\circ}\text{C}$)
σ	= Volumenanteil (sigma) (L/m^3), (Vol.-%)
χ	= Stoffmengenanteil (chi) (mol/kg)
\emptyset	= Durchmesser (m), (cm)



Willkommen zu den Springer Alerts

Jetzt
anmelden!

- Unser Neuerscheinungs-Service für Sie:
aktuell *** kostenlos *** passgenau *** flexibel

Springer veröffentlicht mehr als 5.500 wissenschaftliche Bücher jährlich in gedruckter Form. Mehr als 2.200 englischsprachige Zeitschriften und mehr als 120.000 eBooks und Referenzwerke sind auf unserer Online Plattform SpringerLink verfügbar. Seit seiner Gründung 1842 arbeitet Springer weltweit mit den hervorragendsten und anerkanntesten Wissenschaftlern zusammen, eine Partnerschaft, die auf Offenheit und gegenseitigem Vertrauen beruht.

Die SpringerAlerts sind der beste Weg, um über Neuentwicklungen im eigenen Fachgebiet auf dem Laufenden zu sein. Sie sind der/die Erste, der/der über neu erschienene Bücher informiert ist oder das Inhaltsverzeichnis des neuesten Zeitschriftenheftes erhält. Unser Service ist kostenlos, schnell und vor allem flexibel. Passen Sie die SpringerAlerts genau an Ihre Interessen und Ihren Bedarf an, um nur diejenigen Information zu erhalten, die Sie wirklich benötigen.

Mehr Infos unter: springer.com/alert