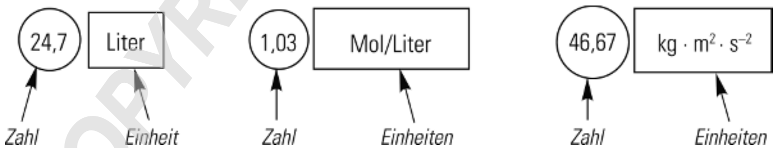
1 Zahlen und Einheiten

In diesem Kapitel …

- erfahren Sie, wie man mit Zahlen und Einheiten umgeht
- lernen Sie, wie man genau das richtige Maß an Präzision walten lässt
- erhalten Sie ein Werkzeug, das Ihnen die Umrechnung von Einheiten erleichtert

Wenn Sie Ihr Lehrbuch durchblättern und einen Blick auf die unterschiedlichen Übungsaufgaben werfen, die Sie in den jeweiligen Kapiteln eigenständig lösen sollen, erkennen Sie sofort, dass die Antwort fast immer aus einer Zahl besteht. Zwar wird gelegentlich auch nach einem Wirkprinzip oder der Erklärung eines Konzeptes gefragt, doch die meisten Lösungen erfordern irgendeine Art von *Berechnung*. Egal, ob es sich zum Beispiel um den pH-Wert einer Lösung oder die Standardbildungsenthalpie des Produktes irgendeiner chemische Reaktion handelt – in jedem Fall werden Sie relativ viel Zeit mit der Überlegung verbringen, welche Gleichungen erforderlich sind, um das gewünschte Resultat zu berechnen. Doch selbst wenn Sie die Gleichungen kennen und wissen, wie Sie die Berechnung durchführen müssen, ist es immer noch gut möglich, dass Ihre Lösung am Ende doch nicht stimmt.
Jede Lösung besteht aus ZWEI wichtigen Anteilen: (1) der Zahl und (2) der Einheit. Dazu drei einfache Beispiele:



Sobald Sie einen der beiden Teile nicht richtig angeben, ist Ihre ganze Lösung falsch. Sie sollten daher gleich von Anfang an lernen, wie Sie beide Teile der Lösung korrekt ermitteln, damit Sie nicht möglicherweise in einer Klausur entscheidende Punkte verlieren. Nehmen wir uns daher die Zeit, dieses Thema etwas detaillierter zu betrachten. (Fast alle Aufgaben in diesem Kapitel sind so einfach zu lösen, dass Sie es theoretisch überblättern könnten, und viele Fragen können Sie vermutlich mehr oder weniger intuitiv beantworten. Es geht hier aber vor allem darum, den *sicheren Umgang* mit der

korrekten Angabe der Lösung zu üben – oder würden Sie sich in einer wichtigen Prüfung allein auf Ihre Intuition verlassen wollen?)
Wenn es ein wenig weiter unten in diesem Kapitel um **Einheiten** geht, werden Sie eine sehr wichtige Methode kennenlernen, mit der Sie sicherstellen, dass Ihre Lösung die richtige Einheit besitzt. Diese Methode (die man **Dimensionsanalyse** nennt) durchzieht dieses ganze Buch, also sollten Sie die *unbedingt* sicher beherrschen – je früher, desto besser.
Fangen wir aber mit dem ersten Teil jeder Lösung an: dem Zahlenwert.

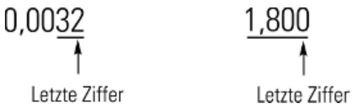
Die signifikanten Stellen

Die Bedeutung der signifikanten Stellen einer Zahl lässt sich am besten anhand eines Beispiels erklären. Die Anzahl der Menschen auf der Erde liegt Schätzungen zufolge derzeit bei *etwa* 7,1 Milliarden – das wichtige Wort in diesem Zusammenhang ist „etwa“. Niemand kennt die exakte Zahl, es ist „nur“ ein geschätzter Wert. Angenommen, Sie sollten die gesamte Weltbevölkerung (7,1 Milliarden Menschen) auf drei Kontinente verteilen. Rein rechnerisch betrachtet wären das 7,1 Milliarden dividiert durch 3. Wenn Sie das in Ihren Taschenrechner eingeben, wird als Ergebnis der Wert 2 366 666 667 angezeigt. Die Rechnung ist zwar korrekt, dennoch können Sie ziemlich sicher sein, dass sich am Ende NICHT *exakt* diese Anzahl an Menschen auf jedem Kontinent befinden wird, da ja bereits unsere Ausgangszahl (7,1 Milliarden) mit zwei signifikanten Ziffern lediglich geschätzt war. Auch unser Ergebnis kann daher nur eine Schätzung sein. Wenn unsere Ausgangszahl nur zwei signifikante Ziffern besitzt (die 7 und die 1), kann unser Ergebnis nicht mehr signifikante Stellen haben als zwei. Die korrekte Antwort lautet in diesem Fall: Bei unserem Experiment landen auf jedem der drei Kontinente 2,4 Milliarden Menschen. *Runden ist wichtig.*
Wenn Sie ein Resultat mit mehr signifikanten Stellen wünschen, müssen Sie von einer Schätzung ausgehen, die ebenfalls mehr signifikante Stellen umfasst. In diesem Fall nehmen wir an, die Weltbevölkerung liege bei schätzungsweise 7,147 Milliarden Menschen; folglich beginnen wir mit einer Zahl mit vier signifikanten Stellen (7,147 Milliarden) und teilen diese durch 3 (wir sind ja immer noch bei der Aufgabe von gerade eben). Wenn Sie das in Ihren Taschenrechner eintippen und das Resultat nach der vierten Stelle runden, lautet die korrekte Antwort 2,382 Milliarden.

Denken Sie immer daran, dass Ihr Ergebnis in einer Prüfung auch dann falsch ist, wenn Sie Ihre Antwort mit zu vielen oder zu wenigen signifikanten Stellen angeben. Wenn Sie 2,382 333 333 Milliarden anstatt 2,382 Milliarden als Lösung eintragen, ist Ihre Antwort FALSCH – **selbst wenn der Taschenrechner genau das anzeigt**. Wir werden also zunächst lernen, wie Sie die Anzahl der signifikanten Stellen bestimmen. Danach zeige ich Ihnen, wie Sie herausfinden, wie viele signifikante Stellen Ihre korrekte Antwort haben muss.

Sie zählen die signifikanten Ziffern wie folgt: Beginnen Sie auf der linken Seite der Zahl und bewegen sich nach rechts, bis Sie zur ersten Ziffer ungleich Null gelangen. Mit dieser Zahl beginnen Sie zu zählen. Dazu einige Beispiele:

Nun müssen Sie festlegen, wie weit Sie zählen müssen. Enthält die Zahl ein Komma (oder ein anderes Dezimaltrennzeichen; in der angloamerikanischen Fachliteratur wird z. B. kein Komma verwendet, sondern ein Punkt), zählen Sie immer bis zum Ende:



Bei einer Zahl ohne Dezimaltrennzeichen wird üblicherweise bis zur letzten Ziffer ungleich Null gezählt:

Im letzten Beispiel deutet sich bereits ein gewisses Problem an: Angenommen, es wird berichtet, die Anzahl der Zuschauer bei einem Fußballspiel betrage *ungefähr* 8500. (Das können dann genauso gut 8527 oder 8496 Zuschauer sein.) Aus der Art und Weise, wie Sie die Zuschauerzahl angeben (mit *zwei* signifikanten Ziffern, der 8 und der 5), wird bereits deutlich, dass Sie die Zahl auf den *nächsten Hunderter* gerundet haben. Gerundet auf den nächsten Tausender sind es geschätzte 9000 Zuschauer (mit nur *einer* signifikanten Stelle). Aber was, wenn Sie wissen, dass es ganz genau 8500 Zuschauer sind, keiner mehr und keiner weniger? Wie könnten Sie anzeigen, dass diese Zahl exakt gezählt und nicht geschätzt ist? Wenn Sie lediglich die Zahl 8500 nennen, wird jeder denken, hier seien nur zwei Stellen signifikant. Mit diesem Problem beschäftigen wir uns im nächsten Abschnitt. Momentan halten wir fest, dass die Zahl 8500 zunächst einmal *zwei* signifikante Stellen besitzt.

Üben wir das Zählen der signifikanten Stellen noch etwas, so dass Sie diese bei Ihren Berechnungen sicher angeben können.

BEISPIEL

Geben Sie die Anzahl signifikanter Stellen der Zahl 0,007520 an.

Lösung

Bewegen Sie sich von der linken Seite der Zahl nach rechts bis zur ersten Ziffer ungleich Null. Beginnen Sie Ihre Zählung mit dieser Ziffer, also in diesem Fall mit der Ziffer 7:

Nun überlegen Sie, wie weit Sie zählen sollten. Da in diesem Fall die Zahl ein Dezimaltrennzeichen enthält, zählen Sie bis zum Ende der Zahl.

Diese Zahl besitzt also vier signifikante Stellen.

Aufgaben

Bestimmen Sie bitte bei jeder der folgenden Aufgaben die Anzahl der signifikanten Stellen.

- **1.1** 0,00713200
- **1.2** 7 843 000
- **1.3** 1,4800
- **1.4** 100
- **1.5** 100,0
- **1.6** 894,003
- **1.7** 89 400
- **1.8** 0,03000
- **1.9** 74,000

Noch einmal zur Erinnerung:

- Sie beginnen immer mit der ersten Ziffer ungleich Null.
- Wo Sie aufhören zu zählen, hängt davon ab, ob die Zahl ein Dezimaltrennzeichen enthält oder nicht.
  - Bei Dezimalzahlen zählen Sie bis zum Ende der Zahl.
  - Bei Zahlen ohne Nachkommaanteil zählen Sie bis zur letzten Ziffer ungleich Null.

Umgang mit Zahlen: Multiplizieren und Dividieren

Nachdem Sie jetzt mühelos die Anzahl der signifikanten Stellen bestimmen können, wenden wir dieses Wissen auf die Multiplikation und Division von Zahlen an, die nicht die gleiche Anzahl an signifikanten Stellen besitzen. Wenn Sie zum Beispiel 0,034 mit 127 multiplizieren wollen, wird Ihnen auffallen, dass 0,034 *zwei* und 127 *drei* signifikante Stellen besitzt.
Für die *Multiplikation* und *Division* gilt folgende Regel:

- Das Ergebnis sollte mit ebenso vielen signifikanten Stellen angegeben werden wie die Ausgangszahl mit der geringsten Anzahl an signifikanten Stellen.

In unserem Beispiel oben entscheidet die 0,034, die nur zwei signifikante Stellen aufweist – entsprechend sollte auch Ihre Antwort nur zwei signifikante Stellen haben.

BEISPIEL

Wenn Sie 0,034 mit 127 multiplizieren, zeigt der Taschenrechner als Ergebnis 4,318 an. Sie runden diese Zahl auf zwei Stellen ab und geben die korrekte Antwort mit 4,3 an.

Die gleiche Regel gilt für die Division von Zahlen. Ihr Endergebnis sollte die gleiche Anzahl an signifikanten Stellen aufweisen wie die Zahl mit der geringsten Anzahl signifikanter Stellen.

Aufgaben

Bestimmen Sie in den folgenden Übungsaufgaben jeweils die Anzahl der signifikanten Stellen Ihres Ergebnisses:

- **1.10** 472×101
- **1.11** $4600 \times 0{,}005$
- **1.12** $36{,}0 \times 4752$
- **1.13** $\frac{45{,}08}{36{,}2}$
- **1.14** $\frac{1{,}003}{8500}$
- **1.15** $\frac{0{,}003}{472} \times 12$
- **1.16** $\frac{3{,}003}{475{,}0} \times \frac{0{,}30}{524}$
- **1.17** $0{,}3005 \times 4{,}1$

Umgang mit Zahlen: Addieren und Subtrahieren

Nun können Sie Zahlen mit ungleicher Anzahl an signifikanten Stellen multiplizieren und dividieren. Für die *Addition* und *Subtraktion* gelten allerdings etwas andere Regeln:

- Hier entscheiden die *Nachkommastellen* (Dezimalstellen). Das Ergebnis sollte mit ebenso vielen Dezimalstellen angegeben werden wie die Ausgangszahl mit der geringsten Anzahl an Dezimalstellen.

BEISPIEL

Die Zahl 472,44 beispielsweise besitzt zwei Dezimalstellen (die zwei Ziffern nach dem Komma), während 890 keine Dezimalstelle besitzt. Nun suchen wir die Zahl mit der geringsten Anzahl an Dezimalstellen und sorgen dafür, dass unsere Antwort die gleiche Anzahl an Dezimalstellen aufweist.

Lösung

$$472{,}44 + 890 = 1362$$

Wenn Sie 45,62 und 3,7 addieren, wird Ihr Taschenrechner 49,32 anzeigen, doch dieses Ergebnis sollten Sie lieber *nicht* als Antwort in einer Klausur verwenden! Da eine der Ausgangszahlen (3,7) nur eine Dezimalstelle hat, sollte das Gleiche für ihre Lösung gelten; daher runden Sie das Ergebnis auf 49,3 ab.
Wenn Sie 45,62 und 24 addieren, ist 69 die korrekte Lösung (ohne Dezimalstelle), da 24 keine Nachkommastellen besitzt.

Aufgaben

Bestimmen Sie für jede der folgenden Übungsaufgaben die Anzahl der Dezimalstellen, die Ihre Lösung haben sollte:

- **1.18** 23,56 + 24,983
- **1.19** 4,78 – 2,892
- **1.20** 46,83 – 0,03
- **1.21** 34,892 + 5,0
- **1.22** 134,033 – 0,02
- **1.23** 48,2 – 46

Umgang mit Zahlen: Runden

Bis jetzt haben wir gelernt, wie viele signifikante Stellen bei unserer Lösung angegeben werden müssen. Für die Angabe der korrekten Lösung mit der richtigen Anzahl an Stellen müssen Sie allerdings oft die Zahl, die Ihr Taschenrechner angibt, auf- oder abrunden. In den meisten Fällen werden Sie intuitiv wissen, wie Sie runden müssen – doch hier gibt es eine Ausnahme, die definitiv nicht allein mit Intuition zu lösen ist.
Wenn Sie eine Zahl auf- oder abrunden, sehen Sie sich die Ziffer direkt hinter der letzten signifikanten Stelle an. Wenn Ihr Taschenrechner beispielsweise 34,27 als Ergebnis anzeigt und Sie bereits wissen, dass Sie nur drei signifikante Stellen benötigen, sehen Sie sich die vierte Ziffer an und fragen sich, ob diese größer oder kleiner als 5 ist. In unserem Beispiel (34,2**7**) ist 7 die erste nicht-signifikante Ziffer. Da 7 größer ist als 5, runden wir auf und unsere Antwort lautet 34,3. Wäre die letzte nicht-signifikante Ziffer kleiner als 5, müssten wir abrunden. Wenn Ihr Taschenrechner zum Beispiel 45,782 anzeigt und Sie nur vier signifikante Stellen angeben können, sehen Sie sich die fünfte Ziffer an (also die 2) und runden auf 45,78 ab.
Nun wissen Sie bereits, wie Sie vorgehen müssen, wenn die erste nicht-signifikante Ziffer kleiner oder größer als 5 ist, aber was tun Sie, wenn diese Ziffer genau 5 ist? Die Sache ist einfach, wenn nach der 5 noch weitere Stellen folgen. Wenn Sie zum Beispiel die Zahl 43,501 auf zwei signifikante Stellen runden sollen, runden Sie an dieser Stelle auf und die Lösung ist 44.
Aber was tun Sie, wenn nach der 5 *keine* weiteren Stellen folgen? – Nun kommt der Teil, der intuitiv nicht zu beantworten ist. Ihre Intuition sagt Ihnen vermutlich gerade, dass Sie wohl aufrunden sollten, also 43,5 sollte auf 44 und entsprechend 44,5 auf 45 aufgerundet werden. Aber das machen Chemiker leider ganz anders…!

- Wenn auf die letzte signifikante Ziffer eine 5 folgt, sehen Sie sich die letzte signifikante Ziffer an und überlegen, ob diese gerade oder ungerade ist.

(Im Fall von 43,5 ist die Ziffer vor der 5 ungerade, während sie bei 44,5 gerade ist. Sie mögen vermutlich jetzt den Kopf schütteln – der Konvention nach werden beide Fälle unterschiedlich behandelt.)

- Ist die letzte signifikante Ziffer *ungerade*, runden Sie AUF.
- Wenn die letzte signifikante Ziffer *gerade* ist, runden Sie AB.

Warnung

Ja, richtig gelesen, es klingt ziemlich unlogisch, doch 42,5 wird auf 42 ABGERUNDET, weil die letzte signifikante Ziffer (2) eine gerade Zahl ist. Die Null wird als gerade Zahl angesehen, folglich wird auch 40,5 auf 40 ABGERUNDET.

Einige Übungen dazu! Wenden Sie die Regeln an, die Sie gerade gelernt haben, und runden Sie die folgenden Zahlen auf zwei signifikante Stellen:

Aufgaben

1.24 34,78

1.25 24,33

1.26 17,51

1.27 17,50

1.28 18,50

1.29 20,5

1.30 45,50001

1.31 45,5000

Nun sollten Sie in der Lage sein, die bisher gelernten Regeln bei Ihren Berechnungen auch in Kombination einzusetzen.

Tipp

Noch einmal zusammenfasst:

1. Beginnen Sie mit der ersten Ziffer ungleich Null ganz links, um die signifikanten Stellen zu zählen.
   - Bei Dezimalzahlen zählen Sie bis zum Ende.
   - Bei nicht-Dezimalzahlen zählen Sie bis zur letzten Ziffer ungleich Null.
2. Für die Multiplikation oder Division von Zahlen müssen Sie zunächst diejenige Zahl bestimmen, die die geringste Anzahl an signifikanten Stellen besitzt. Genau die gleiche Anzahl an signifikanten Stellen sollte auch Ihr Ergebnis haben.

3. Bei der Addition und Subtraktion bestimmen Sie diejenige Zahl mit der geringsten Anzahl an Dezimalstellen – ebenso viele Dezimalstellen sollte auch Ihre Lösung aufweisen.
4. Für das Auf- oder Abrunden Ihrer Lösung ist die erste nicht-signifikante Ziffer entscheidend.
   - Ist diese kleiner als 5, runden Sie ab.
   - Bei Ziffern größer als 5 runden Sie auf.
   - Wenn die erste nicht-signifikante Ziffer eine 5 ist, sehen Sie nach, ob nach der Ziffer 5 weitere Stellen folgen. Wenn ja, runden Sie auf (42,500001 wird also auf 43 aufgerundet).Wenn auf die 5 keine Stellen außer 0 folgen, kommt es auf die Ziffer vor der 5 an: Ist diese ungerade, runden Sie auf, ist diese gerade, runden Sie ab (42,50000 wird also auf 42 abgerundet).

BEISPIEL

Lösen Sie die folgende Aufgabe und geben Ihr Ergebnis mit der korrekten Anzahl signifikanter Stellen an.

$8{,}410 \times 5{,}00 =$ ______________

Lösung
Zunächst bestimmen Sie die Anzahl der signifikanten Stellen beider Ausgangszahlen. Bei der ersten Zahl (8,410) beginnen Sie bei der 8. Da es sich hier um eine Dezimalzahl handelt, zählen Sie bis zum Ende alle Stellen einschließlich der Null; diese Zahl hat also vier signifikante Stellen. Die zweite Zahl beginnt mit 5 und ist ebenfalls eine Dezimalzahl, also zählen Sie auch hier die beiden Nullen mit und kommen auf drei signifikante Stellen. Ihr Ergebnis sollte ebenfalls mit drei signifikanten Stellen angegeben werden.
Sie nehmen Ihren Taschenrechner zur Hand und berechnen $8{,}410 \times 5{,}00$. Der Taschenrechner wird als Ergebnis 42,05 anzeigen, doch Sie benötigen lediglich *drei* signifikante Stellen und entscheiden anhand der vierten Ziffer, ob Sie auf- oder abrunden müssen. Die vierte Ziffer ist eine 5. Dumme Sache – das ist nun genau die Situation, in der uns die Intuition so gar nicht weiterhilft. Jetzt müssen Sie die Regeln anwenden, die Sie ja bereits kennen. Die letzte signifikante Ziffer ist eine Null, die hier per Definition als *gerade* Zahl gilt. Die 5 wird in diesem Fall ABGERUNDET und das Ergebnis ist 42,0.

Aufgaben

Berechnen Sie folgende Übungsaufgaben und geben Sie das Ergebnis mit der korrekten Anzahl an signifikanten Stellen an:

- **1.32** $34{,}03 \times 0{,}0072$
- **1.33** $\frac{3{,}003}{475{,}0}$
- **1.34** $67{,}75 - 7{,}2$
- **1.35** $356{,}50 + 6{,}0$
- **1.36** $356{,}50 + 12 =$
- **1.37** $356{,}50 + 13$
- **1.38** $\frac{3{,}003}{475{,}0} \times 0{,}0322$
- **1.39** $1{,}003 \times 5{,}0$
- **1.40** $46{,}7 - 0{,}4$
- **1.41** $\frac{12{,}4}{1{,}7}$

Bevor wir zum nächsten Abschnitt kommen, möchte ich zwei Punkte noch einmal betonen:

1. Wenn Sie mehrere Rechenschritte hintereinander durchführen, sollten Sie bis zum Schluss warten, bevor Sie das Ergebnis runden. *Nur das Endergebnis wird gerundet!*
2. Bei der Zählung diskreter Objekte spielen signifikante Stellen keine Rolle. Wenn Sie beispielsweise feststellen, dass um einen Tisch herum genau sechs Stühle aufgestellt sind, ist 6 eine *exakte Zahlenangabe* und keine Schätzung. Aus dem Grund wird die Zahl 6 hier nicht als Zahl mit nur einer, sondern *mit unendlich vielen signifikanten Stellen* betrachtet.

BEISPIEL

Wenn Sie zum Beispiel wissen, dass jeder Stuhl 2,34 Kilogramm wiegt, und nun das Gewicht der sechs Stühle berechnen möchten, multiplizieren Sie 2,34 × 6. Wie viele signifikante Stellen sollte Ihre Lösung haben? Das hängt von der Zahl mit der kleinsten Anzahl an signifikanten Stellen ab, wie Sie wissen. Die beiden Zahlen lauten 6 und 2,34, und normalerweise würden Sie annehmen, dass 6 die Zahl mit der geringsten Anzahl an signifikanten Stellen ist. Doch in diesem Fall gibt die Zahl 6 eine Menge an einzelnen Objekten an und gilt aus diesem Grund als eine Zahl mit unendlich vielen signifikante Stellen (6,00000…). Daher ist 2,34 die Zahl mit der geringsten Anzahl an signifikanten Stellen. Ihre Antwort sollte folglich ebenfalls drei signifikante Stellen aufweisen.

Größenordnungen

Die meisten Zahlen, die Ihnen in diesem Kurs begegnen werden, sind entweder sehr groß oder sehr klein. Es ist allerdings auf Dauer reichlich unpraktisch, mit Angaben wie beispielsweise 4 782 000 000 000 000 000 000 Molekülen oder mit Mengenangaben wie 0,0000000000843 Gramm zu hantieren. Beide Zahlen enthalten so viele Nullen, dass sie sich nicht auf einen Blick erfassen lassen – wir sehen lediglich, dass die erste Zahl wohl sehr groß und die zweite sehr klein sein dürfte. Um eine Vorstellung davon zu bekommen, *wie* groß oder *wie* klein eine Zahl ist, werden diese meist in wissenschaftlicher Notation dargestellt, einem System, das auf Zehnerpotenzen beruht. Exponentialzahlen kennen Sie vermutlich noch aus der Schulzeit, doch etwas Wiederholung kann nicht schaden.
In der Exponentialdarstellung sehen Zahlen wie folgt aus: 10^1, 10^2, 10^3, 10^4 usw. Der Exponent über der 10 gibt uns die *Größenordnung* der Zahl an, also:

$10^2 = 100$
$10^3 = 1000$
$10^4 = 10000$
und $10^{23} = 100\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000$

Wenn wir eine Zahl wie 4 782 000 000 000 000 000 000 anders ausdrücken wollen, sagen wir einfach $4{,}782 \times 10^{21}$.
Wie wir mit Exponentialzahlen rechnen können, erkläre ich Ihnen weiter unten. Zunächst sollten wir für einen Moment über die Größenordnungen nachdenken, die durch Zehnerpotenzen ausgedrückt werden können.
Nehmen wir beispielsweise das Alter des Universums – 13,8 Milliarden Jahre – und versuchen zu schätzen, viele Sekunden 13,8 Milliarden Jahre entsprechen. 10 hoch – ja was eigentlich? 10^{100}? Oder 10^{1000}? Hätten Sie gedacht, dass es lediglich 10^{17} Sekunden sind? Die Rechnung ist einfach: 13,8 Milliarden × 365 × 24 × 60 × 60, und Ihr Taschenrechner wird die Zahl 435 196 800 000 000 000 anzeigen. Wenn Sie das in wissenschaftlicher Notation mit der entsprechenden Anzahl signifikanten Stellen ausdrücken (wie das geht, zeige ich Ihnen gleich), erhalten Sie $4{,}35 \times 10^{17}$ Sekunden als Resultat.
Nun erkennen Sie auf einmal, wie GIGANTISCH groß die Zahl 10^{17} ist, doch jede Vorstellung dieser großen Zahlen bleibt schwierig. Noch ein Beispiel dazu: 10^{17} mit 10 multipliziert ergibt 10^{18}, noch einmal mit 10 multipliziert 10^{19}, dann wieder mal 10, wieder mal 10, wieder mal 10 und nochmals mal

10 – und schon erhalten Sie etwa die Anzahl der Moleküle in einem Teelöffel voll Wasser, nämlich 10^{23}. Eine wirklich riesige Zahl! Die Aussage, dass sich in einem Teelöffel Wasser Milliarden Moleküle befinden, wäre demnach eine komplette Untertreibung … etwa so wie die Behauptung, Bill Gates habe ein paar Cent auf dem Konto – was wohl ebenfalls nicht ganz der tatsächlichen Größenordnung entsprechen dürfte.

Die *Größenordnung* (der Exponent zur Basis 10) gibt an, wie groß oder klein eine Zahl ist. Die Zahl 10^9 ist beispielsweise um drei Größenordnungen größer als 10^6 – tja, tausendfach mehr ist schon viel, selbst wenn die Differenz im Exponenten (9 oder 6) eher klein erscheint. Viele Angaben in der Chemie verlassen sich einfach darauf, dass Sie ein gutes Gefühl für die Größenordnung haben – passen Sie an dieser Stelle bitte immer auf!

In Chemiekursen werden Sie oft mit Problemen konfrontiert, die eine Antwort in exponentieller Darstellung erfordern, doch vielen Studenten fällt der Umfang mit Exponenten sehr schwer. Daher werden wir nun die Umrechnung von normalen Zahlen in Exponenten und umgekehrt an dieser Stelle üben – ohne Üben geht es leider nicht.

Sehen Sie sich die Zahl 362 an. Diese Zahl lässt sich erhalten, wenn man $36{,}2 \times 10$ oder $3{,}62 \times 100$ rechnet. Fällt Ihnen auf, dass wir lediglich das Dezimalkomma der Zahl verschoben haben, bis dass *nur noch eine Ziffer links vom Komma* steht? Genau so weit werden wir das Dezimalkomma nun immer in unseren Berechnungen schieben. Der Rest der Zahl wird als Zehnerpotenz ausgedrückt, etwa: $3{,}62 \times 100$ ist das Gleiche wie $3{,}62 \times 10^2$. Die Angabe einer Zahl als **Exponentialzahl** in dieser Form wird auch als **wissenschaftliche Notation** bezeichnet.

Die Konversion einer normalen Zahl in wissenschaftliche Notation ist, wie Sie gesehen haben, relativ einfach: Das Dezimalzeichen wird so lange verschoben, bis nur noch eine Ziffer ungleich Null vor dem Komma steht. Danach multiplizieren wir mit einer Zehnerpotenz, die uns verrät, wie weit wir das Komma verschoben haben. Dazu ein Beispiel:

BEISPIEL

Drücken Sie die folgende Zahl in wissenschaftliche Notation aus:
400 374,0.

Lösung
Zunächst zählen Sie, wie weit Sie das Dezimalkomma nach links bewegen müssen, so dass genau eine Ziffer links vor dem Komma stehen bleibt:

4 0 0 3 7 4,0

Sie können das Komma hier um fünf Stellen nach links verschieben, doch damit wird der Wert diese Zahl zunächst ***sehr*** viel kleiner! Als Ausgleich für das Verschieben des Dezimalkommas wird die Zahl nun mit 10^5 multipliziert – Ihr Ergebnis lautet $\mathbf{4{,}003740 \times 10^5}$. Beachten Sie bitte, dass Sie die letzte Null nicht auslassen dürfen – die Null ist hier eine *signifikante* Ziffer, die in der Antwort nicht fehlen darf.

Aufgaben

Drücken Sie jede der folgenden Zahlen in wissenschaftlicher Notation aus:

- **1.42** 1435,27
- **1.43** 243,1
- **1.44** 3801
- **1.45** 274,30

Und ohne Komma?

Nicht alle Zahlen haben ein Dezimalkomma. In diesem Fall setzen Sie ein Komma an das Ende der Zahl und zählen dann, wie oft Sie das Komma nach links schieben können, wie im folgenden Beispiel:

BEISPIEL

Drücken Sie die folgende Zahl in wissenschaftlicher Notation aus: 4642.

Lösung
Fügen Sie ein Komma hinter der letzten Ziffer ein und zählen Sie, wie weit Sie das Komma nach links bewegen müssen, so dass nur noch eine Ziffer links vor dem Komma stehen bleibt:

4 6 4 2

Sie sehen, dass Sie das Komma um drei Stellen nach links verschieben können, folglich müssen Sie diese neue Zahl mit $\mathbf{10^3}$ multiplizieren. Ihr Ergebnis lautet $\mathbf{4{,}642} \times \mathbf{10^3}$.

Aufgaben

Drücken Sie jede der folgenden Zahlen in wissenschaftlicher Notation aus:

1.46 243

1.47 372 567

1.48 28 942

Nun können Sie souverän die Frage aus dem vorherigen Abschnitt beantworten, in dem es um die signifikanten Ziffern ging: Wie viele signifikante Stellen hat die Zahl 8500? Wenn Sie die zuvor erklärten Regeln anwenden, sind es *zwei* signifikante Stellen (die 8 und die 5). Aber was wäre, wenn gezählte Anzahl der Zuschauer eines Fußballspieles exakt 8500 betragen würde? Wie könnten Sie anzeigen, dass es sich hier nicht um einen Schätzwert handelt und die Nullen daher signifikante Ziffern sind? Wenn wir ausdrücken wollen, dass es sich bei 8500 lediglich um eine Schätzung handelt, runden wir auf den nächsten Hunderter ($8{,}5 \times 10^3$) mit nur zwei signifikanten Stellen auf. Wenn Sie betonen wollen, dass es sich bei der Zahl 8500 um eine exakte Zählung handelt, geben Sie die Zahl mit $8{,}500 \times 10^3$ an. Diese Art der Darstellung zeigt an, dass hier *alle vier Ziffern signifikant* sind.

Die Anzahl der signifikanten Stellen einer Zahl in wissenschaftlicher Notation ist leicht zu erkennen: *Hier zählt jede Ziffer.* Wenn Sie sich noch einmal die Regeln vor Augen halten, die wir im letzten Abschnitt besprochen haben, sehen Sie auch sofort, warum das so ist: In der wissenschaftlichen Notation ist die erste Ziffer (per Definition) immer die erste signifikante Stelle, und Zahlen in wissenschaftlicher Notation sind immer Dezimalzahlen (Sie zählen also immer alle Ziffern bis zum Ende der Zahl).

Stellen Sie jede der folgenden Zahlen unten in wissenschaftlicher Notation dar (immer mit der Annahme, die Nullen am Ende seien nicht signifikant):

1.49 4890

1.50 240

1.51 3700

Bis jetzt haben wir gesehen, wie sich sehr große Zahlen in wissenschaftlicher Notation dargestellen lassen – nun wenden wir uns den sehr kleinen Zahlen zu, beispielsweise der Zahl 0,000043. In diesem Fall müssen Sie das Komma fünfmal *nach rechts* verrücken, bis eine Zahl ungleich Null links vor dem Komma steht.

0,0 0 0 0 4 3

Das drücken wir aus, indem wir einen *negativen* Exponenten verwenden: $4{,}3 \times 10^{-5}$. Warum negativ, werden Sie fragen? Zunächst müssen Sie verstehen, was ein negativer Exponent bedeutet, der für kleine Zahlen verwendet wird. Wir haben bereits gesehen, dass $1000 = 10^3$ ist. Entsprechend ist 1/1000 das gleiche wie $1/10^3$ – und nun kommt der negative Exponent ins Spiel:

$$\frac{1}{10^3} = 10^{-3}$$

Wenn wir also eine *negative Zehnerpotenz* verwenden, drücken wir damit aus, dass diese Zahl wirklich klein ist – wie etwa die Zahl $4{,}3 \times 10^{-5}$ aus oben gezeigtem Beispiel.

Warnung

Theoretisch können Sie sich auch merken, dass das Verschieben des Dezimalkommas nach links einen positiven Exponenten ergibt und das Verschieben des Kommas nach rechts einen negativen Exponenten. Doch diese Methode kann zu Verwirrung führen, wenn Sie später Zahlen in wissenschaftlicher Notation wieder in „normale" Zahlen konvertieren wollen.

Sie merken sich das Verschieben des Kommas daher besser anhand der Größe der Zahl, wie in dem folgenden Beispiel:

BEISPIEL

Drücken Sie die folgende Zahl in wissenschaftlicher Notation aus: 0,008620.

Lösung
Zunächst bestimmen Sie, wie weit Sie das Dezimalkomma verschieben müssen, bevor genau eine Zahl ungleich Null links vor dem Komma steht:

0,0 0 8 6 2 0

Sie müssen das Komma dreimal verschieben. Lautet der Exponent nun 3 oder –3? Anstatt darüber nachzudenken, ob Sie das Komma nun nach rechts oder nach links verschoben haben, vergleichen Sie die Ausgangszahl (0,008 620) mit der neuen Zahl (8,620) und fragen sich, welche der Zahlen größer ist. Keine Frage – die neue Zahl (8,620) ist größer. Da beide Zahlen aber gleich groß bleiben müssen (wir haben ja nichts an der Zahl verändert), wird nun so mit Zehnerpotenzen multipliziert, dass die neue Zahl (8,620) wieder kleiner wird und der Zahl 0,008 620 entspricht. Der Exponent kann daher nur negativ ausfallen und das Ergebnis lautet $8{,}620 \times 10^{-3}$. Vergessen Sie bitte auch nicht die Null am Ende der Zahl, so dass Sie die korrekte Anzahl an signifikanten Stellen behalten.

Aufgaben

Stellen Sie jede der Zahlen unten in wissenschaftlicher Notation dar und entscheiden Sie dabei jeweils, ob der Exponent positiv oder negativ sein muss:

- **1.52** 0,000567
- **1.53** 2400,7
- **1.54** 370,24
- **1.55** 0,00000564
- **1.56** 0,00432
- **1.57** 0,03840

Nun haben Sie gesehen, wie Sie Zahlen in wissenschaftlicher Notation darstellen können. Für den umgekehrten Vorgang machen Sie einfach das Gegenteil – auch dazu ein Beispiel:

BEISPIEL

Wandeln Sie die Zahl $4{,}634 \times 10^{-3}$ in die normale Darstellung um.

Lösung

Überlegen Sie lieber nicht, in welche Richtung Sie das Komma verschieben müssen, wenn der Exponent positiv oder negativ ist. Das wird Sie nur verwirren, da Sie auch immer berücksichtigen müssen, ob Sie die Zahl von der wissenschaftlichen Notation in eine normale Darstellung oder andersherum konvertieren wollen. Entscheiden Sie lieber anhand der Größe der Zahl. 10^{-3} bedeutet, dass hier von einer kleinen Zahl die Rede ist. Sie müssen daher das Komma drei Stellen nach links verschieben und erhalten 0,004634.

Überprüfen wir noch einmal unser Ergebnis. Hätten Sie das Komma in die andere Richtung verschoben, wäre das Ergebnis 4634. Das kann nicht stimmen, denn am negativen Exponenten ($4{,}634 \times 10^{-3}$) erkennen Sie bereits, dass es sich um eine kleine Zahl handelt.

Aufgaben

Stellen Sie jede der Zahlen unten in normaler Notation dar. Entscheiden Sie anhand der relativen Größe der Zahl, in welche Richtung Sie das Komma verschieben müssen:

- **1.58** $2{,}48 \times 10^{3}$
- **1.59** $4{,}64 \times 10^{-3}$
- **1.60** $7{,}924 \times 10^{-2}$
- **1.61** $7{,}924 \times 10^{2}$
- **1.62** $8{,}456 \times 10^{-4}$
- **1.63** $3{,}84 \times 10^{5}$

Sie wissen jetzt, wie Sie Zahlen in wissenschaftlicher Schreibweise darstellen können. Doch wie lassen sich Zahlen in wissenschaftlicher Notation multiplizieren? Angenommen, wir wollen die Multiplikation $(3{,}45 \times 10^{2})$ $(8{,}9 \times 10^{4})$ durchführen. Dazu *addieren wir die Exponenten* und erhalten $3{,}45 \times 8{,}9 \times 10^{(2+4)}$. Unsere Zehnerpotenz ist jetzt 10^{6}, da wir die Exponenten addiert haben. Doch an dieser Stelle gibt es einige Dinge, die Sie beachten müssen.

- Vergessen Sie nicht, was Sie im vorherigen Abschnitt gelernt haben: Auch hier müssen Sie die *signifikanten Stellen* berücksichtigen! Die erste Zahl (3,45) besitzt *drei* signifikante Stellen, die zweite Zahl (8,9) nur *zwei*. Multiplizieren wir $3{,}45 \times 8{,}9$, gibt Ihr Taschenrechner gibt den Wert 30,705 an – doch diese Zahl hat zu viele Stellen. Sie müssen auf zwei signifikante Stellen runden und erhalten 31.
- Basierend auf diesen Überlegungen möchten Sie vielleicht 31×10^{6} als Antwort aufschreiben, doch das ist nicht korrekt. Bei Zahlen in wissenschaftlicher Notation sollte nur eine Ziffer links des Kommas stehen, Ihre Antwort muss daher $3{,}1 \times 10^{7}$ lauten. (Warum die Antwort $3{,}1 \times 10^{7}$ und nicht etwa $3{,}1 \times 10^{5}$ lautet, sollten Sie mittlerweile verstanden haben. Machen Sie sich noch einmal anhand der Größe klar, worum es hier geht. Wenn Sie 31 verkleinern, indem Sie diese Zahl in 3,1 umwandeln, müssen Sie als Ausgleich 10^{6} vergrößern.)

Sehen wir uns ein weiteres Beispiel an:

BEISPIEL

Multiplizieren Sie die folgenden Zahlen:

$$(3{,}01 \times 10^7)\ (4{,}644 \times 10^{-3}) = ???$$

Lösung
Wieder einmal addieren Sie die Exponenten und erhalten $3{,}01 \times 4{,}644 \times 10^{(7-3)}$, die Zehnerpotenz ist demnach 10^4. Wenn Sie $3{,}01 \times 4{,}644$ multiplizieren, wird Ihr Taschenrechner 13,97844 anzeigen. Das sind eindeutig zu viele Stellen, denn Ihre Antwort darf nur drei signifikante Ziffern aufweisen (da 3,01 auch drei signifikante Stellen hat). Folglich runden wir auf 14,0 auf.
Das Ergebnis ist $14{,}0 \times 10^4$, doch dieses Ergebnis müssen Sie noch so umwandeln, dass sich *nur eine Ziffer vor dem Dezimalkomma* befindet. Die korrekte Antwort lautet also $1{,}40 \times 10^5$.

Aufgaben

Einige Übungsbeispiele zu diesem Thema: Multiplizieren Sie bei jeder der folgenden Aufgaben die beiden Zahlen miteinander:

- **1.64** $(2{,}43 \times 10^3)\ (8{,}273 \times 10^6)$
- **1.65** $(7{,}89 \times 10^{-12})\ (4{,}6 \times 10^{-22})$
- **1.66** $(4{,}65 \times 10^8)\ (5{,}432 \times 10^{-4})$
- **1.67** $(2{,}59 \times 10^{-3})\ (2{,}0 \times 10^{-5})$
- **1.68** $(9{,}4 \times 10^7)\ (3{,}45 \times 10^4)$

Wir haben nun gesehen, wie sich Zahlen in wissenschaftlicher Notation multiplizieren lassen. Nun kommt die Division: Erinnern Sie sich daran, dass wir zuvor festgehalten haben, ein Exponent im Nenner sei das Gleiche wie ein negativer Exponent?

$$1/10^3 = 10^{-3}$$

Anstatt die *Exponenten* zu addieren, werden diese bei der Division *subtrahiert*. Betrachten Sie dazu ein Beispiel:

BEISPIEL

Dividieren Sie die folgenden Zahlen:

$$\frac{3{,}64 \times 10^5}{4{,}2 \times 10^2}$$

Lösung
Subtrahieren Sie die Exponenten. Sie erhalten $\frac{3{,}64}{4{,}2} \times 10^{(5-2)}$, die Zehnerpotenz ergibt subtrahiert 10^3. Nun dividieren Sie $\frac{3{,}64}{4{,}2}$. Ihr Taschenrechner wird 0,866666667 anzeigen – eindeutig zu viele Stellen, denn Ihre Antwort darf nur zwei signifikante Ziffern aufweisen (da 4,2 auch nur zwei signifikante Stellen hat). Also runden wir an dieser Stelle auf 0,87 auf.

Das Ergebnis lautet $0{,}87 \times 10^3$, doch dieses Ergebnis müssen Sie nun noch so verändern, dass sich vor dem Dezimalkomma eine Zahl ungleich Null befindet. Ihre Antwort lautet also $8{,}7 \times 10^2$.

Aufgaben

Üben Sie das Dividieren von Zahlen in wissenschaftlicher Notation noch etwas und führen folgende Divisionen durch:

- **1.69** $(2{,}43 \times 10^3) / (8{,}273 \times 10^6)$
- **1.70** $(7{,}89 \times 10^{-12}) / (4{,}6 \times 10^{-22})$
- **1.71** $(4{,}65 \times 10^8) / (5{,}432 \times 10^{-4})$

Die Einheiten

Bereits am Anfang dieses Kapitels habe ich erwähnt, dass jedes numerische Ergebnis aus zwei Teilen besteht:

1. der Zahl
   und
2. den Einheiten.

Bisher ist es hier nur um die Zahlen gegangen, nun wenden wir uns den Einheiten zu.
In der Chemie kommen durchaus auch Zahlen ohne Einheit vor (hier spricht man von *dimensionslosen Zahlen*) – das trifft beispielsweise auf manche Gleichgewichtskonstanten zu. Doch immer, wenn solche Zahlen ohne jegliche Einheit auftauchen, sollte Sie das zunächst einmal überraschen – und dann sollten sie nachvollziehen, warum hier keine Einheiten erforderlich sind. Bei den meisten Berechnungen, die Sie in diesem Kurs durchführen, gehören zu Ihren Antworten jedenfalls auch Einheiten.
Jetzt wissen Sie also, wie wichtig korrekte Einheiten für die Verständigung sind. Doch noch ein weiterer Punkt ist wichtig – anhand der Einheiten können Sie oft Ihre Antwort auf eine (Prüfungs-)Frage am Ende noch einmal kontrollieren.

Tipp

Wenn Sie beispielsweise ein Volumen errechnen sollen und Sie zu einem Resultat in m^2 anstatt m^3 kommen, ist das ein deutlicher Hinweis darauf, dass Sie irgendwo in Ihrer Rechnung einen Fehler gemacht haben. Wann immer Sie die Lösung einer Aufgabe berechnen, werfen Sie einen Blick auf die Einheiten und überprüfen Sie, ob diese logisch sind.

Für jede Menge, die Sie bestimmen, gibt es bestimmte sinnvolle Einheiten. Wenn Sie zum Beispiel die Länge eines Objektes messen, geben Sie Ihr Ergebnis in Zentimetern, Metern oder Kilometern an. Jede diese Einheiten ist ein geeignetes Längenmaß, das Sie in einer sinnvollen Unterhaltung über die Länge eines Objektes verwenden können. Da so viele verschiedene Arten von Einheiten existieren, die bei einer Berechnung Verwirrung stiften könnten, gibt es eine weltweit akzeptierte Vereinbarung bezüglich bestimmter **Basiseinheiten**, die als „bevorzugte“ Einheiten gelten. Diese Einheiten werden als SI-Einheiten (von französisch *Système international d’unités*) bezeichnet, und zwar:

- *Länge* wird in Metern (m) gemessen.
- *Masse* wird in Kilogramm (kg) gemessen.
- *Zeit* wird in Sekunden (s) gemessen.
- *Temperatur* wird in Kelvin (K) gemessen.
- *Stoffmengen* werden in Mol (mol) gemessen.

Es gibt noch zwei weitere SI-Einheiten, die wir in der Chemie aber nicht benötigen (elektrischer Strom und Lichtstärke), so dass wir es an dieser Stelle bei den fünf oben genannten SI-Einheiten belassen.

Alles andere, was Sie messen möchten, lässt sich mit einer Kombination dieser Basiseinheiten darstellen. Fläche ist nichts anderes als m × m oder m^2, Volumen wird in m × m × m oder m^3 angegeben. Selbst die Energie lässt sich mit einer Kombination der oben genannten Basiseinheiten messen, und zwar so:

$$\frac{kg \times m^2}{s^2}$$

Sie werden später sehen, warum Energie mit genau diesen Einheiten angegeben wird. Im Moment sollten Sie lediglich im Kopf behalten, dass alle Einheiten, die für die Messung der Energie verwendet werden, auf Einheiten des SI-Systems basieren.

Wie Einheiten umgerechnet werden können und was es bedeutet, wenn eine Einheit einen Exponenten hat (wie in dem oben gezeigten Beispiel für die Energie), erkläre ich später. Zunächst wollen wir uns die Präfixe ansehen, die oft einer Einheit vorangestellt sind, wie zum Beispiel *Milli*gramm oder *Mikro*sekunde usw. Diese Präfixe werden auch als Dezimalmultiplikatoren bezeichnet, da sie die Verwendung von Zehnerpotenzen ersetzen. Ein *Milli*gramm ist beispielsweise das gleiche wie 10^{-3} Gramm, eine *Mikro*sekunde entspricht 10^{-6} Sekunden. Anstatt über 2,4 Mikrosekunden zu reden, könnte man auch $2{,}4 \times 10^{-6}$ Sekunden sagen, selbst wenn der Begriff Mikrosekunden schneller und einfacher ist. Es gibt zahlreiche Dezimalmultiplikatoren, doch nur die in Tabelle 1.1 angegebenen werden Ihnen in der Chemie oft begegnen. Dort ist das jeweils zugehörige Symbol, das dem Einheitenzeichen vorangestellt wird, in der letzten Spalte aufgeführt. Nanometer werden also mit nm abgekürzt, Millisekunden mit ms usw. Das einzige Symbol, das Ihnen vielleicht unbekannt ist, ist das µ, ein griechischer Buchstabe (ausgesprochen: mü). Ein Mikrometer wird als µm abgekürzt.

Präfix	Zehnerpotenz	Symbol
Kilo	10^3	k
Dezi	10^{-1}	d
Zenti	10^{-2}	c
Milli	10^{-3}	m
Mikro	10^{-6}	µ
Nano	10^{-9}	n

Tabelle 1.1 gebräuchliche Präfixe

Um den sicheren Umgang mit den Dezimalmultiplikatoren zu üben, lösen Sie bitte folgende einfache Aufgaben (möglichst ohne in der Tabelle nachzuschlagen). Geben Sie Ihre Antwort in wissenschaftlicher Notation an.

Aufgaben

- **1.72** 34 km = ______________ m
- **1.73** 2 µs = ______________ s
- **1.74** 482 cm = ______________ m
- **1.75** 24,5 m = ______________ dm

Warnung

Bei den Dezimalmultiplikatoren werden bevorzugt Zehnerpotenzen verwendet, die durch 3 teilbar sind. Die Verwendung von Zentimetern und vor allem von Dezimetern wird allgemein als „unwissenschaftlich" angesehen. Wenn Sie also auf Nummer Sicher gehen wollen (vor allem in Prüfungen!), arbeiten Sie lieber mit Millimetern als mit Zentimetern.

Im weiteren Verlauf des Kurses werden sie festellen, dass bei den meisten Übungsaufgaben die erforderlichen Informationen ohnehin in SI-Einheiten angegeben werden. Eine der am häufigsten vorkommenden Ausnahmen ist vermutlich die Temperatur: Diese wird oft in *Grad Celsius* angegeben und MUSS in *Kelvin* umgewandelt werden, bevor Sie mit Ihrer Berechnung fortfahren können. Dieser Punkt führt sehr oft zu falschen Ergebnissen. Stellen Sie daher sicher, dass Sie die folgende Umrechnung beherrschen:

Bei einer Temperaturangabe in °C MÜSSEN Sie 273,15 addieren, um die Temperatur in Kelvin zu erhalten. Wird Ihnen mitgeteilt, dass eine Reaktion bei 100° C stattfindet, müssen Sie dies in 373 K umrechnen.

Warnung

Warum haben wir nicht in 373,**15** K umgerechnet? Weil hier wieder die *signifikanten Stellen* eine Rolle spielen: 100 + 273,15 = 373 K. Die Zahl 100 besitzt keine Dezimalstellen, so dass auch Ihre Antwort ohne Dezimalstellen auskommen muss. 25 °C entspricht also 298 K.

Die Umrechnung von Einheiten über die Dimensionsanalyse

Bevor wir uns mit der Umrechnung von Einheiten beschäftigen, müssen Sie wissen, wie Sie innerhalb einer Berechnung mit Einheiten umgehen müssen. Einheiten werden ebenso behandelt wie Zahlenwerte. Bei der Multiplikation von Brüchen werden Zähler und Nenner multipliziert, zum Beispiel:

$$\frac{3}{5} \times \frac{4}{6} = \frac{3 \times 4}{5 \times 6}$$

Wenn eine Zahl kein Bruch ist, wird diese wie ein Zähler behandelt:

$$\frac{3}{5} \times 4 = 3 \times \frac{4}{5}$$

Das Gleiche gilt für die Einheiten, zum Beispiel:

$$\text{kg} \times \frac{\text{m}}{\text{s}} \times \frac{\text{m}}{\text{s}} = \frac{\text{kg} \times \text{m} \times \text{m}}{\text{s} \times \text{s}}$$

Um die Lösung übersichtlicher zu gestalten, werden Exponenten verwendet, wenn ein und dieselbe Einheit mehrmals multipliziert wird. Zum Beispiel:

$$\frac{\text{kg} \times \text{m} \times \text{m}}{\text{s} \times \text{s}} = \frac{\text{kg} \times \text{m}^2}{\text{s}^2}$$

Am Beispiel oben erkennen wir, dass anstatt von m × m die Angabe auch m^2 lauten kann; das Gleiche gilt für s × s. Wir haben bereits weiter vorn in diesem Kapitel Größenordnungen angesprochen und dabei gesehen, dass eine

Zahl im Nenner durch einen negativen Exponenten angegeben wird. Das gilt auch hier, also:

$$s^{-2} \text{ ist das Gleiche wie } \frac{1}{s^2}$$

Mit diesen Angaben können wir die Einheiten von oben auch so ausdrücken:

$$\frac{kg \times m^2}{s^2} = kg \times m^2 \times s^{-2}$$

Einheiten-Kürzen

Gelegentlich finden Sie im Nenner und im Zähler die gleichen Einheiten, zum Beispiel:

$$kg \times \frac{m \times m}{s \times s} \times \frac{1}{m}$$

Vielleicht ist Ihnen schon aufgefallen, dass wir hier sowohl im Nenner wie im Zähler die Einheit „m" haben. Da $\frac{m}{m} = 1$ ist, können wir beide Einheiten im Nenner und Zähler an dieser Stelle wie folgt kürzen:

$$kg \times \frac{m \times m}{s \times s} \times \frac{1}{m} = kg \times \frac{m}{s \times s}$$

Nach dem Kürzen der Einheiten, multiplizieren wir wie zuvor und erhalten als Ergebnis $kg \times m \times s^{-2}$.

Aufgaben

Kürzen Sie in jeder der folgenden Aufgaben die Einheiten, die sowohl im Nenner als auch im Zähler auftreten. Danach multiplizieren Sie die Einheiten und drücken den ganzen Term mit Exponent aus. Ihr Ergebnis sollte so ähnlich wie folgende Vorlage aussehen: $kg \times m^2 \times s^{-2}$.

- **1.76** $\frac{g}{mol} \times \frac{mol}{cm^3}$
- **1.77** $g \times \frac{kg}{g} =$
- **1.78** $\frac{g}{cm^3} \times \frac{cm^3}{m^3} =$
- **1.79** $\frac{ft}{s} \times \frac{in.}{ft} \times \frac{cm}{in.} =$

Kommen wir nun zu der Methode, die Chemiker meist zur Umwandlung von Einheiten verwenden. Vermutlich werden Sie oft Gramm in Kilogramm umrechnen müssen, oder Sekunden in Mikrosekunden. Das sieht auf den ersten Blick relativ simpel aus, doch irgendwann werden Sie bei sehr umfangreichen Umrechnungen auf Probleme stoßen, die Sie nicht einfach so im Kopf lösen können.
Unsere Methode für die Konversion von Einheiten wird als Dimensionsanalyse bezeichnet, gelegentlich (englisch) auch als *factor-label-method*, bei der Grundgrößen ineinander umgerechnet werden. Die Methode beruht auf zwei sehr einfachen mathematischen Prinzipien:

1. Jede Zahl dividiert durch sich selbst ist gleich Eins. Zum Beispiel:

   $$\frac{24}{24} = 1 \qquad \frac{3{,}6}{3{,}6} = 1 \qquad \frac{\frac{1}{2}}{0{,}5} = 1$$

   Betrachten Sie das letzte Beispiel noch einmal genauer. Obwohl wir den gleichen Zahlenwert unterschiedlich angegeben haben ($\frac{1}{2}$ und 0,5), erhalten wir noch immer 1 als Resultat, da $\frac{1}{2}$ das Gleiche wie 0,5 ist, und $\frac{0{,}5}{0{,}5} = 1$.
   Wir können diese Überlegung auch auf zwei Maßeinheiten ausweiten, die exakt die gleiche Menge beschreiben. Ein Karton mit einem Dutzend Eier ist ein Karton mit 12 Eiern – beide Begriffe beschreiben exakt die gleiche Zahl. Daher können wir sagen:

   $$\frac{1\ \text{Dutzend Eier}}{12\ \text{Eier}} = 1 \quad \text{und} \quad \frac{12\ \text{Eier}}{1\ \text{Dutzend Eier}} = 1$$

   Dieses Konzept lässt sich ebenfalls nutzen, um Präfixe bei Basiseinheiten zu konvertieren. Um zum Beispiel das Verhältnis zwischen Gramm und Kilogramm zu zeigen, denken Sie daran, dass 1 kg = 1000 g sind. Folglich gilt:

   $$\frac{1 \times 10^3\ \text{g}}{1\ \text{kg}} = 1 \quad \text{und} \quad \frac{1\ \text{kg}}{1 \times 10^3\ \text{g}} = 1$$

   In beiden Brüchen steht im Zähler und im Nenner die gleiche Zahl, so dass beide Brüche gleich 1 sind.

2. Jede Zahl kann mit 1 multipliziert werden, ohne diese Zahl zu verändern. Zum Beispiel.

   $$3 \times 1 = 3$$

   $$6{,}73 \times 1 = 6{,}73$$

Wirklich überraschend ist das wohl nicht...! Doch wenn wir diese beiden Prinzipien kombinieren, haben wir eine bombensichere Methode zur Konversion von Einheiten in der Hand. Die Methode funktioniert so: Wir multiplizieren immer mit einem Bruch, der gleich 1 ist. Dazu ein Beispiel: Angenommen, Sie seien Amerikaner(in) und möchten eine Entfernung wissen. Jemand sagt Ihnen, die Distanz betrage 34,7 m. Da in den USA das metrische System im Alltagsleben kaum eine Rolle spielt, sind Sie mit Metern nicht ganz so vertraut und hätten gern eine Antwort in Fuß (ft). Nun heißt es, Meter in Fuß zu konvertieren! Sie suchen in Ihrem Lehrbuch eine entsprechende Umrechnungstabelle der Einheiten und erfahren, dass 1 ft = 0,3048 m entspricht.
Wir haben gesehen, dass jede Zahl immer mit 1 multipliziert werden kann, und auch, dass sich die Zahl 1 wie folgt schreiben lässt:

$$\frac{1\ \text{ft}}{0{,}3048\ \text{m}} \quad \text{oder} \quad \frac{0{,}3048\ \text{m}}{1\ \text{ft}}$$

Wir können demnach unseren Ausgangswert (34,7 m) mit jedem der beiden Brüche oben multiplizieren, ohne den Wert zu verändern. Da wir von Metern in Fuß umrechnen wollen, verwenden wir sinnvoller Weise denjenigen Bruch, bei dem die Meter im Nenner auftauchen – das ist die einzige Möglichkeit, wie sich die Einheit Meter durch Kürzen aus dem Bruch vollständig entfernen lässt:

$$34{,}7\ \text{m} \times \frac{1\ \text{ft}}{0{,}3048\ \text{m}}$$

Wir haben unseren Ausgangswert nicht verändert, da wir hier nur mit eins multipliziert haben. Nun können wir die Einheiten kürzen, denn die Einheit "Meter" taucht sowohl im Nenner als auch im Zähler auf:

$$34{,}7\ \cancel{\text{m}} \times \frac{1\ \text{ft}}{0{,}3048\ \cancel{\text{m}}} = 34,7 \times \frac{1\ \text{ft}}{0{,}3048}$$

Und damit haben auch schon wir unsere Antwort in Fuß! Sie müssen lediglich 34,7 durch 0,3048 dividieren und Ihre Antwort mit der korrekten Anzahl signifikanter Ziffern angeben. In diesem Fall sind es drei signifikante Stellen, also lautet die Antwort 114 ft. Unser Resultat ist mit der korrekten Anzahl signifikanter Stellen ***und*** mit den korrekten Einheiten angegeben.
Mit dieser Methode können Sie zwei beliebige Einheiten ineinander umrechnen, sofern Sie den *Umrechnungsfaktor* kennen (so wir im Beispiel

oben, bei dem wir wussten, dass 1 ft = 0,3048 m sind). Jedes Mal, wenn sie diese Methode zur Konversion verwenden, haben Sie die Wahl, welchen der beiden Multiplikatoren Sie verwenden wollen. Im Beispiel oben hatten wir die Wahl zwischen

$$\frac{1\ \text{ft}}{0{,}3048\ \cancel{\text{m}}} \quad \text{oder} \quad \frac{0{,}3048\ \cancel{\text{m}}}{1\ \text{ft}},$$

doch nur der erste Bruch führte zu einer sinnvollen Antwort. Hätten wir hier den zweiten Bruch verwendet, hätten wir eine Antwort mit zu vielen Einheiten bekommen:

$$34{,}7 \times \frac{0{,}3048\ \cancel{\text{m}}}{1\ \text{ft}} = 34{,}7 \times 0{,}3048 \times \text{m}^2 \times \text{ft}^{-1}$$

Wenn Sie sich die Einheiten in dieser Gleichung ansehen, erkennen Sie sofort, dass Sie den falschen Multiplikator verwendet haben. Den zweiten Bruch wählen Sie nur dann, wenn Sie Fuß in Meter umrechnen wollen, nicht Meter in Fuß. Nach einigen Übungsaufgaben haben Sie bestimmt schon ein Gespür dafür entwickelt, wann welcher Multiplikator gebraucht wird.

Aufgaben

1.80

Ein Gegenstand wiegt 153,2 lb. Wie groß ist seine Masse in kg?
(1 lb = 0,4536 kg.)

1.81

Ein Gegenstand hat eine Masse von 2,0 kg. Wie groß ist das Gewicht dieses Gegenstandes in lb?

Berechnungen mit mehreren Konversionsfaktoren

Gelegentlich benötigen wir mehr als einen Konversionsfaktor, um unser Ergebnis in die korrekten Einheiten umzuwandeln. Sehen wir uns dazu ein Beispiel an:

BEISPIEL

Die Entfernung zwischen zwei Punkten beträgt 1,07 Meilen. Rechnen Sie diese Distanz anhand der folgenden Angaben in Zoll (in.) um:

1 Meile = 5280 Fuß und 1 Fuß = 12 Zoll

Lösung
Um Meilen in Zoll zu konvertieren, müssen Sie zunächst Meilen in Fuß umrechnen und dann Fuß in Zoll. Aber Sie können die beiden Schritte hier sehr elegant und zeitsparend in einem Schritt *zusammenfassen*:

$$1{,}07\ \cancel{\text{Meilen}} \times \frac{5280\ \cancel{\text{ft}}}{1\ \cancel{\text{Meile}}} \times \frac{12\ \text{in.}}{1\ \cancel{\text{ft}}} = 67\,795{,}2\ \text{in.}$$

Am Ende runden Sie auf drei signifikante Stellen und erhalten als Resultat: **67 800 in**.

Der Trick besteht hier darin, dass Sie das Problem nicht in zwei Schritten lösen müssen. Schneller und einfacher geht es, wenn Sie beide Umrechnungsfaktoren parallel verwenden. Wenn Sie keinen Fehler dabei machen, bleibt nach dem Kürzen nur noch die gewünschte Einheit stehen.
Diese Vorgehensweise ist vor allem dann sehr nützlich, wenn wir uns nun Aufgaben mit *mehr als zwei* Umrechnungsfaktoren zuwenden. Bei fünf oder sechs Konversionsfaktoren dauert es einfach zu lange, jeden Schritt einzeln zu berechnen. Gewöhnen Sie sich daher am besten schnell an den Umgang mit mehreren Konversionsfaktoren innerhalb einer Gleichung. Versuchen wir noch einmal eine ähnliche Aufgabe wie im Beispiel und führen alle Umrechnungen in einem Schritt durch.

Aufgabe

1.82

Die Entfernung zwischen zwei Punkten beträgt 1,07 Meilen. Rechnen Sie diese Distanz anhand der folgenden Angaben in Yard (yd) um und verwenden Sie dazu folgende Informationen:

1 Meile = 1,609 km und 1 km = 1094 Yard

Einheiten mit Exponenten

Manchmal müssen wir Einheiten konvertieren, die einen Exponenten haben. Dazu ein Beispiel:

BEISPIEL

Das Volumen eines Körpers beträgt 34,0 ft^3 (Kubikfuß). Rechnen Sie das Volumen anhand der folgenden Information in m^3 (Kubikmeter) um: 1 ft = 0,3048 m.

Lösung

Überlegen Sie zunächst, was der Exponent an dieser Stelle bedeutet – ft^3 bedeutet ft × ft × ft. Das leuchtet ein, denn das Volumen eines Körpers wird mit (Länge) × (Breite) × (Höhe) berechnet.

Damit Sie alle Einheiten in Fuß kürzen können und am Ende nur die Einheiten in Metern übrig bleiben, müssten Sie den Konversionsfaktor *dreimal* verwenden:

$$34,0\ \cancel{\text{ft}} \times \cancel{\text{ft}} \times \cancel{\text{ft}} \times \frac{0{,}348\ \text{m}}{1\ \cancel{\text{ft}}} \times \frac{0{,}348\ \text{m}}{1\ \cancel{\text{ft}}} \times \frac{0{,}348\ \text{m}}{1\ \cancel{\text{ft}}}$$

Wenn Sie das Ergebnis am Ende auf drei signifikante Stellen runden, erhalten Sie 0,963 m^3.

Aufgabe

1.83

Das Volumen eines Körpers beträgt 12 Kubikmeter. Rechnen Sie diesen Wert in Kubikzentimeter um.

Mit mehreren Einheiten

Bei den vorherigen Aufgaben mussten Sie nur eine Art von Einheiten umrechnen (etwa Meter in Fuß). Sehen wir uns nun einige Aufgaben an, bei denen Sie die Einheiten im Zähler UND im Nenner umrechnen müssen. Dazu ein Beispiel:

BEISPIEL

Ein Molekül bewegt sich mit einer Geschwindigkeit von 520 m/s. Rechnen Sie diese Angabe in Meilen pro Stunde um (1 Meile = 1,609 km).

Lösung
In dieser Aufgabe müssen Sie im Zähler Meter in Meilen konvertieren:

$$520\,\frac{\text{m}}{\text{s}} \times \frac{1\text{ km}}{1000\text{ m}} \times \frac{1\text{ Meile}}{1{,}609\text{ km}}$$

Zudem müssen Sie im Nenner mithilfe folgender Multiplikatoren Sekunden in Stunden konvertieren:

$$\frac{60\text{ s}}{1\text{ min}} \times \frac{60\text{ min}}{1\text{ h}}$$

Wie bereits zuvor erwähnt, sollten Sie immer versuchen, alles in einem Schritt zu berechnen. Wir haben hier vier Konversionsfaktoren, die Sie gleichzeitig multiplizieren sollen. Wenn Sie hier richtig vorgehen, kürzen Sie alle Einheiten bis auf Meilen/Stunde heraus:

$$520\,\frac{\cancel{\text{m}}}{\cancel{\text{s}}} \times \frac{1\,\cancel{\text{km}}}{1000\,\cancel{\text{m}}} \times \frac{1\text{ Meile}}{1{,}609\,\cancel{\text{km}}} \times \frac{60\,\cancel{\text{s}}}{1\,\cancel{\text{min}}} \times \frac{60\,\cancel{\text{min}}}{1\text{ h}}$$

Wenn Sie das Ergebnis am Ende auf zwei signifikante Stellen runden, erhalten Sie 1200 Meilen/Stunde. Hier haben Sie eine Situation, in der Sie die wissenschaftliche Notation verwenden sollten, um ganz klar anzuzeigen, um wie viele signifikante Stellen es geht. Wenn Sie die obige Berechnung durchführen, wird Ihr Taschenrechner 1163,45556 angeben, aber Sie müssen ja auf zwei signifikante Stellen aufrunden. Um deutlich zu machen, dass es sich hier nur um *zwei* signifikante Stellen handelt (und mit 1200 hier nicht die exakte Zahl mit vier signifikanten Ziffern gemeint ist), verwenden Sie am besten die wissenschaftliche Notation: $1{,}2 \times 10^3$

Meilen/Stunde. Damit ist klargestellt, dass es sich nur um zwei signifikante Stellen handelt.

Aufgabe

1.84

Ein Objekt bewegt sich mit 342,2 Metern pro Sekunde. Berechnen Sie die Geschwindigkeit in Meilen pro Stunde.

Spezielle Konversionsfaktoren

Im vorherigen Abschnitt haben wir gesehen, wie sich Einheiten umrechnen lassen. Bei allen Beispielen wurden entweder Längen in Längen oder Zeiteinheiten in Zeiteinheiten konvertiert – es wird Sie nicht wundern, dass man Meilen in Kilometer oder Sekunden in Jahre umrechnen kann. Doch lassen sich auch Meilen in Jahre konvertieren? Die Einheit Meile und die Einheit Jahr messen zwei komplett verschiedene Eigenschaften: Länge und Zeit. Physiker konvertieren in der Tat diese Einheiten trotzdem ineinander! Schauen wir wie das geht – und warum.
Strecken und Zeit sind über die spezielle Relativitätstheorie eng miteinander verknüpft. Wir wollen an dieser Stelle nun wirklich nicht auf die Relativitätstheorie eingehen (schließlich ist das hier kein Physikkurs), doch selbst bei einfachen Messungen im Alltag können wir die Verbindung zwischen Strecken und Zeit erkennen. Wir zählen beispielsweise die Sekunden zwischen Blitzeinschlag und Donner, um abzuschätzen, wie weit ein Gewitter noch entfernt ist. Und für die Angabe einer Geschwindigkeit (km/h) messen wir die innerhalb einer bestimmten Zeit zurückgelegte Strecke. Doch nur dann, wenn sich etwas mit ***konstanter*** Geschwindigkeit ausbreitet, so wie der Schall oder das Licht, können Sie anhand der *Zeit*, die verstreicht, auch die zurückgelegte Strecke bestimmen. Wenn Physiker über ein „Lichtjahr" reden, beziehen sie sich nicht auf eine Zeiteinheit, sondern auf eine bestimmte Strecke – eben die Strecke, die das Licht innerhalb eines Jahres zurücklegt. Wenn Physiker angeben, eine Galaxie sei eine Millionen *Lichtjahre* entfernt, geht es um die *Strecke*, nicht um die Zeitdauer.

Auch in der Chemie können verschiedene Einheiten miteinander verknüpft sein. Sobald Sie die Begriffe für diese Verknüpfungen verstanden haben, besitzen Sie den Schlüssel für die Lösung zahlreicher Probleme. Da diese Begriffe für die Lösung bestimmter Aufgaben sehr wichtig sind, werde ich im Verlauf dieses Buches immer wieder darauf zurückkommen. Im nächsten Abschnitt richten wir unsere Aufmerksamkeit auf einen weiteren speziellen Umrechnungsfaktor: *die Dichte*.
Die Dichte einer Substanz ist das Maß für die *Masse*, die in einem bestimmten *Volumen* enthalten ist und wird üblicherweise in g/cm^3 angegeben. Eine andere Ausdrucksweise für cm^3 ist Milliliter (mL). Bevor wir lernen, wie sich die Dichte als spezieller Konversionsfaktor verwenden lässt, üben wir kurz die Berechnung von Dichten.

Warnung

Vielleicht überrascht Sie das „große L“ als Abkürzung für den Begriff „Liter“ (mit dem man dann zu Einheitenzeichen wie mL kommt). Tatsächlich ist auch die im Alltag üblichere Variante mit dem „kleinen L“ (und damit das „ml“) fachsprachlich völlig korrekt. Dennoch setzt sich die Schreibweise mit großem L immer weiter durch, da hier keine Gefahr besteht, l und 1 (also den Buchstaben L und die Zahl Eins) zu verwechseln, was je nach Schriftsatz praktisch vorprogrammiert ist. Aus diesem Grund wird auch in diesem Buch durchgängig die Großbuchstaben-Variante verwendet.

BEISPIEL

Eine Substanz mit einer Masse von $1{,}62 \times 10^3$ mg füllt einen Behälter mit folgenden Ausmaßen: 21,3 mm × 10,7 mm × 12,0 mm. Berechnen Sie die Dichte in g/cm^3.

Lösung
In dieser Aufgabe sollen Sie anhand der Angabe von Masse und Volumen die Dichte berechnen. Dazu teilen wir einfach die Masse durch das Volumen und erhalten:

$$\frac{\text{Masse}}{\text{Volumen}} = \frac{1{,}62 \times 10^3 \text{ mg}}{21{,}3 \text{ mm} \times 10{,}7 \text{ mm} \times 12{,}0 \text{ mm}}$$

Aber die Aufgabe lautet, den Wert in g/cm^3 anzugeben. Dazu rechnen wir mg in g um und ebenso mm in cm. Um mg in g zu konvertieren, verwenden wir folgenden Multiplikator:

$$\frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mg}}$$

Um mm in cm zu konvertieren, verwenden wir:

$$\frac{10\ \text{mm}}{1\ \text{cm}}$$

Die Antwort berechnen wir wie folgt:

$$\frac{1{,}62 \times 10^3\ \cancel{\text{mg}}}{21{,}3\ \cancel{\text{mm}} \times 10{,}7\ \cancel{\text{mm}} \times 12{,}0\ \cancel{\text{mm}}} \times \frac{1\ \text{g}}{1000\ \cancel{\text{mg}}} \times \frac{10\ \cancel{\text{mm}}}{1\ \text{cm}} \times \frac{10\ \cancel{\text{mm}}}{1\ \text{cm}} \times \frac{10\ \cancel{\text{mm}}}{1\ \text{cm}} = 0{,}592\ \text{g/cm}^3$$

Beachten Sie, dass die Antwort drei signifikante Ziffern enthält.

Aufgabe

1.85

Eine Substanz mit einer Masse von 0,012 kg füllt einem Behälter mit folgenden Ausmaßen: 25,4 mm × 12,3 mm × 13,4 mm. Berechnen Sie die Dichte in g/cm^3 (unter Berücksichtigung der signifikanten Stellen).

Die Dichte als spezieller Konversionsfaktor

Da wir nun gesehen haben, wie sich die Dichte einer Substanz berechnen lässt, können wir nun auch die Dichte als speziellen Konversionsfaktor verwenden. Die Dichte verrät uns, welche Masse ein genau definiertes Volumen einer Substanz aufweist. Kennen wir beispielsweise die Dichte einer Substanz bei einer bestimmten Temperatur und auch ihre Masse, können wir daraus ihr Volumen ableiten – oder eben die Masse berechnen, wenn wir Dichte und Volumen kennen. Dabei gehen wir genauso vor wie bei der Umrechnung von Einheiten im vorherigen Abschnitt dieses Kapitels.

BEISPIEL

Die Dichte von Wasser bei 25° C beträgt 1,00 g/mL. Wie groß ist die Masse in Gramm von 1,78 Gallonen (1 Gallone = 3785 mL)?

Lösung

Bevor Sie loslegen, denken Sie daran, amerikanische Gallonen in Milliliter umzuwandeln, da die Dichte ja auch in mL angegeben ist. Sie benötigen dazu den oben angegebenen Umrechnungsfaktor:

$$1{,}78 \text{ Gallonen} \times \frac{3785 \text{ mL}}{1 \text{ Gallone}}$$

Nun können Sie mit der Berechnung fortfahren. Gegeben ist die Dichte von Wasser bei Raumtemperatur, und Sie kennen die Beziehung zwischen Masse und Volumen. Die weitere Berechnung ist ganz ähnlich wie die Umwandlung von Einheiten im vorhergehenden Abschnitt. Anhand der Dichte des Wassers erkennen Sie, dass 1,00 g = 1 mL entsprechen, so dass Sie nun wie zuvor zwei Brüche aufstellen können, die jeweils = 1 sind:

$$\frac{1{,}00 \text{ g}}{1 \text{ mL}} = 1 \quad \text{und} \quad \frac{1 \text{ mL}}{1{,}00 \text{ g}} = 1$$

Im Bruch oben wird 1 mL als exakte Zahl (mit unendlich vielen signifikante Stellen) und nicht als Zahl mit nur einer signifikanten Stelle behandelt, da diese Anzahl an Gramm *exakt* einem mL Volumen entspricht. Nun müssen Sie das Volumen (umgerechnet in Millilitern) mit einem der beiden Brüche von oben multiplizieren. Da Sie am Ende die Volumeneinheit loswerden wollen, nehmen Sie den ersten Bruch:

$$1{,}78 \text{ Gallone} \times \frac{3785 \text{ mL}}{1 \text{ Gallone}} \times \frac{1{,}00 \text{ g}}{1 \text{ mL}} = 6740 \text{ g}$$

Vergessen Sie nicht, Ihre Antwort mit drei signifikanten Stellen anzugeben. Um jede Unklarheit bezüglich der Anzahl der signifikanten Stellen auszuräumen, sollten Sie an dieser Stelle die Zahl in wissenschaftlicher Notation angeben: **$6{,}74 \times 10^3$ g**

Bevor Sie dieses Kapitel beenden, möchte ich noch zwei Punkte ansprechen. Wenn die Dichte als Konversionsfaktor verwendet wird, müssen Sie an zwei Stellen aufpassen, denn es gibt zwei wichtige Unterschiede zwischen den Umrechnungen, die Sie im letzten Abschnitt kennen gelernt haben, und den Konversionen der Dichte, um die es hier geht:

1. Die Rolle der signifikanten Stellen: Anders als bei normalen Konversionsfaktoren muss dieser Konversionsfaktor (die Dichte) mit der korrekten An-

zahl an signifikanten Stellen angegeben werden. Um zu verstehen, was ich meine, sehen wir uns einen normalen Konversionsfaktor genauer an. Wenn wir sagen, dass 1 kg = 1000 g sind, meinen wir in Wirklichkeit, dass

1,000000000000… kg = 1000,000000000… g sind.

Anders ausgedrückt, mit der Umrechnung (1 kg = 1000 g) suggerieren wir nicht, der Ausdruck 1 kg würde nur eine signifikante Stelle besitzen, sondern unendlich viele. Doch wenn wir die Dichte eines Objektes mit 0,592 g/cm^3 angeben, sagen wir damit, dass wir vom Wert dieser Zahl nur drei signifikante Stellen kennen. Wann immer Sie mit der Dichte arbeiten (entweder eine Dichte berechnen oder sie als speziellen Konversionsfaktor verwenden), sollten Sie diese Besonderheit der Regeln in Bezug auf die signifikanten Stellen im Kopf behalten.

2. Bei regulären Konversionsfaktoren gelten immer die normalen Beziehungen. Betrachten sie zum Beispiel den Konversionsfaktor 1 kg = 1000 g, eine Beziehung, die – egal unter welchen Bedingungen – von keinen weiteren Faktoren abhängt. Wenn wir hingegen sagen, dass 1,00 g = 1 mL entsprechen, reden wir über ein Verhältnis, das von vielen Faktoren beeinflusst wird, beispielsweise der Temperatur oder dem Druck. Dieses Verhältnis gilt nur bei einer bestimmten Temperatur oder einem bestimmten Druck. Sobald einer dieser Faktoren sich ändert, ändert sich auch das Verhältnis.

Aufgaben

1.86

Bei einer bestimmten Temperatur beträgt die Dichte von Wasser 0,9978 g/mL. Wie groß ist die Masse von 1,782 Gallonen Wasser in Gramm bei dieser Temperatur? (1 Gallone = 3785 mL). Geben Sie Ihre Antwort in wissenschaftlicher Notation unter Berücksichtigung der signifikanten Stellen an.

1.87

Bei 20 °C beträgt die Dichte von Wasser 0,9978 g/mL. Welches Volumen nimmt 1,75 kg Wasser mit dieser Temperatur ein? Geben Sie Ihre Antwort in wissenschaftlicher Notation unter Berücksichtigung der signifikanten Stellen an.