

Was ist Feuer?

Ralf Geiß

2.1	Voraussetzungen und Lernziele – 42
2.2	Kapitelvorschau – 44
2.3	Feuermärchen – 45
2.4	Am Anfang war das Feuer – 47
2.5	Wie sieht eine Kerzenflamme aus? – 49
2.6	Was brennt in der Kerzenflamme? – 53
2.7	Woraus bestehen die Flammenzonen? – 68
2.8	Was passiert bei der Verbrennung von Kerzenwachs? – 79
2.9	Chemie und chemische Reaktionen – 104
2.10	Vom Phlogiston zum Sauerstoff – 115
2.11	Experimente zur Vertiefung des Themas Verbrennung – 117
2.12	Zusammenfassung – 123
2.13	Testaufgaben zur Standortbestimmung – 129
2.14	Lösungen der Aufgaben – 132
	Literatur – 148



a Lagerfeuer und **b** brennendes Streichholz. (© Frozen Action/Fotolia; Joachim Kreft/Fotolia)

Als Einstieg in Chemie wird, nur mit Experimenten, eine Antwort auf die Frage: „Was ist Feuer?“ gesucht. Da man in einem Chemiezimmer kein Lagerfeuer entzünden kann, werden Flammen von Kerzen und Gasbrennern untersucht. Durch die dabei gewonnenen Erkenntnisse kann man auch andere Flammen gut verstehen. Die zahlreichen chemischen Experimente dieses Kapitels lassen uns anschaulich erkennen: Chemische Reaktionen sind magische Vorgänge.

2.1 Voraussetzungen und Lernziele

Hilfreiche Kenntnisse und Fertigkeiten der Lernenden

Man kann dieses Projekt problemlos ohne Vorkenntnisse bearbeiten. Es ist jedoch hilfreich, wenn die folgenden Zusammenhänge bekannt sind:

- Stoffe können in drei Aggregatzuständen (fest, flüssig, gasförmig) auftreten – Erwärmung bzw. Abkühlung bewirkt den Übergang von einem Zustand zum anderen.
- Feuerdreieck: Ein Feuer kann entstehen, wenn drei Bedingungen erfüllt sind:
 - Ein Brennstoff ist vorhanden,
 - der Brennstoff ist ausreichend heiß,
 - der Brennstoff hat Kontakt mit Luft.
- Die Dichte ρ eines Stoffs kann über den Quotienten $\rho = m/V$ ermittelt werden.

- Gase, die eine geringere Dichte als ihre Umgebungsluft aufweisen, steigen nach oben. Heiße Luft ist weniger dicht als kalte Luft und steigt somit ebenfalls nach oben.

Richtziele

Lernende können anhand von Beispielen aufzeigen, dass bei einer chemischen Reaktion sehr rätselhafte Dinge passieren. Aus Ausgangsstoffen werden auf geheimnisvolle Weise neue Stoffe gebildet.

Sie können außerdem aufzeigen, dass man die grundlegenden Fragen, die sich aus der experimentellen Erforschung des Feuers ergeben, mit Experimenten alleine nicht beantworten kann.

Grobziele

Lernende können mit eigenen Worten die Eigenschaften der Kerzenflamme erklären. Sie können auch den Verbrennungsvorgang in der Kerzenflamme mit chemischen Wortgleichungen beschreiben.

Feinziele

A-Feinziele (kognitiv)

- Lernende können zwischen den drei Aggregatzuständen unterscheiden und anhand von Beispielen verdeutlichen, dass durch die Änderung des Aggregatzustands keine Stoffumwandlung stattfindet.
(WD 2 Konzeptwissen/KP 2 Verstehen)
- Lernende können mithilfe von chemischen Wortgleichungen aufschreiben, was in den Flammenzonen geschieht. Sie können schriftlich festhalten, wie diese Vorgänge zusammenhängen.
(WD 3 Prozesswissen/KP 4 Analysieren)
- Lernende können in eigenen Worten anhand von mindestens drei Beispielen darlegen, dass im Verlauf von chemischen Reaktionen neue Stoffe gebildet werden.
(WD 2 Konzeptwissen/KP 2 Verstehen)
- Lernende können Verbrennungen, die ähnlich wie die Wachsverbrennung ablaufen, mit chemischen Wortgleichungen beschreiben.
(WD 3 Prozesswissen/KP 3 Anwenden)

B-Feinziele (kognitiv)

- Lernende können erklären, warum in der Regel nur gasförmige Stoffe brennen.
(WD 2 Konzeptwissen/KP 2 Verstehen)

- Lernende können aufschreiben, woraus die Flammenzonen bestehen.
(WD 1 Faktenwissen/KP 1 Erinnern)

C-Feinziele (kognitiv und affektiv/emotional)

- Lernende können anhand von Beispielen aufzeigen, dass ein Stoff und seine Eigenschaften untrennbar miteinander verbunden sind.
(WD 2 Konzeptwissen/KP 2 Verstehen)
- Lernende werden auf die Grundfrage der Chemie, wie neue Stoffe entstehen können, aufmerksam.
(A1 aufmerksam werden)

2.2 Kapitelvorschau

Was ist Feuer? Man kann die Frage von vielen verschiedenen Blickwinkeln aus beantworten. Hier soll der chemische Blickwinkel in Bezug auf eine Kerzenflamme eingenommen werden. D. h., es geht letztendlich um die Frage: Was geschieht mit den Stoffen, die eine Kerzenflamme entstehen lassen? In diesem Kapitel wird noch keine chemische Theorie behandelt, es ist somit vollständig der Wirklichkeitsebene zuzuordnen. D. h., Phänomene und Experimente sowie konkrete Schlussfolgerungen daraus prägen den Inhalt.

- ► Abschn. 2.3: Feuermärchen
Die chemische Interpretation von Feuer ist nicht die einzig mögliche.
- ► Abschn. 2.4: Am Anfang war das Feuer
Hier wird kurz auf die Bedeutung des Feuers für die Entwicklung der Frühmenschen eingegangen. Außerdem wird die Rolle des Feuers für die Begründung der modernen Chemie angesprochen.
- ► Abschn. 2.5: Wie sieht eine Kerzenflamme aus?
 - Experiment 2.1
 - Das Aussehen einer Kerzenflamme wird gegliedert beschrieben.
 - Ziel der ► Abschn. 2.5 bis 2.7 ist es, Voraussetzungen für das Verständnis der Wachsverbrennung zu schaffen.
- ► Abschn. 2.6: Was brennt in der Kerzenflamme?
 - Experiment 2.2 bis Experiment 2.10
 - Das Flammensprung-Experiment (Experiment 2.2) wirft die Frage auf: „Was brennt in der Kerzenflamme?“ Mit weiteren Experimenten gelingt es, diese Frage zu beantworten.
- ► Abschn. 2.7: Woraus bestehen die Flammenzonen?
 - Experiment 2.11 bis Experiment 2.20
 - Diese Frage hätte auch schon in ► Abschn. 2.5 gestellt werden können. Mit den Erkenntnissen aus ► Abschn. 2.6 und den Experimenten in ► Abschn. 2.7 kann diese Frage für den Flammenkern und den Flammenmantel auf überzeugende

Weise beantwortet werden. Die Zusammensetzung des Flammensaums kann man mit einfachen Experimenten leider nicht bestimmen. Man kann aber erkennen, dass hier eine vollständige Verbrennung stattfindet, bei der keine glühenden Kohlenstoff-Partikel gebildet werden können.

- ► Abschn. 2.8: Was passiert bei der Verbrennung von Kerzenwachs?
 - Experiment 2.21 bis Experiment 2.37
 - In diesem Abschnitt wird die Verbrennung von Kerzenwachs mithilfe der Stoffe Wachs, Sauerstoff, Wasser und Kohlenstoffdioxid beschrieben. Wie zuvor auch gelangt man zu dieser Beschreibung mithilfe zahlreicher Experimente. Die Aufklärung der Verbrennung beginnt mit Versuchen zur Bedeutung der Luft. Es folgt eine experimentelle Auseinandersetzung mit den Fragen: „Woher kommt und wohin geht der Ruß (Kohlenstoff)?“ Experimente zum Nachweis von Wasser in der Kerzenflamme und zu seiner Entstehung beschließen die Erforschung der Wachsverbrennung.
 - Eine zentrale Erkenntnis zur Wachsverbrennung stellt die Unterscheidung zwischen vollständiger (Flammensaum) und unvollständiger Verbrennung (Flammenmantel) dar.
 - Ziel der Untersuchung der Wachsverbrennung ist die Beschreibung der dabei ablaufenden Stoffumwandlungen.
- ► Abschn. 2.9: Chemie und chemische Reaktionen
 - Experiment 2.38 bis Experiment 2.46
 - Anhand von Experimenten wird gezeigt, dass chemische Reaktionen immer zur Bildung neuer Stoffe führen.
- ► Abschn. 2.10: Vom Phlogiston zum Sauerstoff
 - Antoine Laurent Lavoisier hat als erster Naturforscher die Bedeutung des Sauerstoffs für Verbrennungen erkannt. Mit dieser Erkenntnis leistete er einen entscheidenden Beitrag zur Begründung der modernen Chemie.
- ► Abschn. 2.11: Experimente zur Vertiefung des Themas Verbrennung

2.3 Feuermärchen

Die Aufgabe des Königs

Ein König hatte zwei Söhne. Als er alt wurde, da wollte er einen der beiden zu seinem Nachfolger bestellen. Er versammelte die Weisen seines Landes und rief seine beiden Söhne herbei. Er gab jedem der beiden fünf Silberstücke und sagte: „Ihr sollt für dieses Geld die Halle in unserem Schloss bis zum Abend füllen. Womit, das ist eure Sache.“

Die Weisen sagten: „Das ist eine gute Aufgabe.“

Der älteste Sohn ging davon und kam an einem Feld vorbei, wo die Arbeiter dabei waren, das Zuckerrohr zu ernten und in einer Mühle

auszupressen. Das ausgequetschte Zuckerrohr lag nutzlos herum. Da dachte er sich: „Das ist eine gute Gelegenheit, mit diesem nutzlosen Zeug die Halle meines Vaters zu füllen.“ Mit dem Aufseher der Arbeiter wurde er einig, und sie schafften bis zum späten Nachmittag das ausgedroschene Zuckerrohr in die Halle. Als sie gefüllt war, ging er zu seinem Vater und sagte: „Ich habe Deine Aufgabe erfüllt. Auf meinen Bruder brauchst du nicht mehr zu warten. Mach mich zu deinem Nachfolger.“

Der Vater antwortete: „Es ist noch nicht Abend. Ich werde warten.“

Bald darauf kam der jüngere Sohn. Er bat darum, das ausgedroschene Zuckerrohr wieder aus der Halle zu entfernen. So geschah es. Dann stellte er mitten in die Halle eine Kerze und zündete sie an. Ihr Schein füllte die Halle bis in die letzte Ecke hinein.

Der Vater sagte: „Du sollst mein Nachfolger sein. Dein Bruder hat fünf Silberstücke ausgegeben, um die Halle mit nutzlosem Zeug zu füllen. Du hast nicht einmal ein Silberstück gebraucht und hast sie mit Licht erfüllt. Du hast sie mit dem gefüllt, was die Menschen brauchen.“

Quelle: ► Internet-Maerchen.de (2010)

Das Zündholz und die Kerze

Eines Tages kam ein Zündholz zur Kerze und sagte: „Ich habe den Auftrag, dich anzuzünden.“

„O nein!“ erschrak die Kerze. „Nur das nicht. Wenn ich brenne, sind meine Tage gezählt! Niemand mehr wird meine Schönheit bewundern!“ Und sie begann zu weinen.

Das Zündholz fragte: „Aber willst du denn dein Leben lang kalt und hart bleiben, ohne je gelebt zu haben?“

„Aber brennen tut doch weh und zehrt an meinen Kräften“, schluchzte die Kerze unsicher und voller Angst.

„Das ist schon wahr“, entgegnete das Zündholz. „Aber es ist doch das Geheimnis unserer Bestimmung: Wir sind berufen, Licht zu sein. Was ich tun kann, ist wenig. Zünde ich dich nicht an, so verpasse ich den Sinn meines Lebens. Denn ich bin dafür da, Feuer zu entfachen. Du bist die Kerze. Du sollst für andere leuchten und Wärme schenken. Alles, was du an Schmerz und Leid und Kraft hingibst, wird verwandelt in Licht. Du gehst nicht verloren, wenn du dich verzehrst. Andere werden dein Feuer weitertragen. Nur wenn du dich versagst, wirst du sterben.“

Da spitzte die Kerze ihren Docht und sprach voller Erwartung: „Ich bitte dich, zünde mich an.“

Quelle: ► Zeitzuleben.de (2016)

■ Fazit

Beide Märchen zeigen, dass wir Feuer auf viele verschiedene Weisen wahrnehmen und interpretieren können. In diesem Kapitel steht jedoch die chemische Wahrnehmung und Interpretation im Mittel-

punkt. Dabei sollten wir jedoch nicht vergessen, dass dies nicht die einzige und somit auch nicht „die richtige“ Sichtweise ist.

2.4 Am Anfang war das Feuer

Bevor wir uns in die chemische Erforschung des Feuers vertiefen, machen wir zuerst zwei kleine Exkurse in die Geschichte des Feuers.

Von der Mythologie bis zur modernen Chemie

Nach der griechischen Mythologie erschuf der Titan Prometheus die Menschen. Er begab sich auf die Erde und formte sie aus Ton. Zeus jedoch, der oberste aller olympischen Götter und mächtiger als alle anderen griechischen Götter zusammen, versagte den Sterblichen den Besitz des Feuers.

Gegen den Willen des Zeus kam Prometheus den Menschen zu Hilfe – er entzündete den Stängel eines Riesenfenchels am Funken sprühenden Wagen des Sonnengottes Helios. Mit dieser Flamme versetzte er auf der Erde einen Holzstoß in Brand und brachte so den Menschen das Feuer. Selbst Zeus konnte es ihnen nun nicht mehr entreißen.

Auch wenn wir diese Geschichte über den Ursprung des Feuers heute nicht mehr glauben, so sagt sie uns doch etwas Bedeutsames über das Altertum. Damals war Feuer etwas göttliches, etwas, das von oben, vom Himmel kam. Damit erübrigten sich Fragen nach seiner Natur, denn göttliche Vorgänge waren für die Menschen des Altertums fundamentale Gegebenheiten. Man akzeptierte sie als unantastbare Wahrheiten und bediente sich ihrer, um den Lauf der Welt zu erklären. Durch seinen göttlichen Status war das Feuer vor der menschlichen Neugier geschützt. Doch ewig währte dieser Schutz nicht.

Die sogenannten griechischen Naturphilosophen begnügten sich schon 500 v. Chr. nicht mehr mit Göttergeschichten. Sie machten sich auf die Suche nach natürlichen Erklärungen für die Vorgänge der Natur. Sie wollten also die Natur verstehen, indem sie die Natur selbst beobachteten. An die Frage: „Was ist Feuer?“ wagten sie sich jedoch noch nicht. Für die Anhänger des Empedokles war das Feuer einer der vier Grundstoffe, aus denen sich alle anderen Stoffe zusammensetzen.

Die Naturphilosophen haben zwar die Frage, was Feuer ist, noch nicht gestellt. Sie haben aber das Denken der Menschen weg von den Mythologien und hin zur Natur selbst gelenkt und damit haben sie diese Frage vorbereitet.

Eine erste Antwort kam erst sehr lange Zeit nach den Naturphilosophen. Georg Ernst Stahl (1659–1734) erklärte das Feuer zu Beginn des 18. Jhd. mithilfe des Phlogistons (Phlogiston ist nach Stahl ein Stoff, der bei allen Verbrennungen abgegeben wird). Indem Antoine Laurent Lavoisier (1743–1794) die Bedeutung des Sauerstoffs erkannte, widerlegte er gegen Ende des 18. Jahrhunderts diese Theo-

rie. Er leistete damit den entscheidenden Beitrag zur Begründung der modernen Chemie. Die wissenschaftlichen Auseinandersetzungen um die Frage: „Was ist Feuer?“ führten also zu dem, was wir heute Chemie nennen. Was könnte also passender sein, als diese große alte Frage, um einen Einstieg in die Geheimnisse der Chemie zu unternehmen?

Feuer und die Entwicklung der Urmenschen

Obwohl zuverlässige archäologische Fundstellen von Lagerfeuern maximal nur 500.000 Jahre alt sind, ist es wahrscheinlich, dass es vor über 1,5 Mio. Jahren bereits dem frühen *Homo erectus* gelang, Feuer für sich nutzbar zu machen.

Homo erectus ist eine ausgestorbene Art der Gattung *Homo*: Älteste Spuren wurden auf ein Alter von 1,9 Mio. Jahre datiert. Wann *Homo erectus* ausstarb, ist nicht bekannt.

Die Beherrschung des Feuers gehört zu den höchsten kulturellen Leistungen des Menschen und hat sein Leben wie kaum eine andere Entdeckung verändert. Spätestens mit der Beherrschung des Feuers war die Grenze zwischen Tier und Mensch überschritten. Die Bedeutung des Feuers für die Urmenschen wird auf sehr eindrückliche Weise verständlich in Jean-Jacques Annauds Film *Am Anfang war das Feuer* (Annaud 1981).

► Evolution-Mensch.de (2009) schreibt dazu: „Als sich vor 2,5 Mio. Jahren das Klima in Afrika zu verändern begann und es zu immer längeren Trockenzeiten kam, schrumpften die Regenwälder des Äquatorialgürtels. Besonders der östliche Teil des Kontinents [...] war davon betroffen. Savannen mit ihren weiten Grasfluren und vereinzelt Bäumen breiteten sich aus. Aus den ursprünglichen Savannen hingegen wurden weite Steppen, Heimat für die großen Weidetiere. Doch sie mussten immer größere Strecken zurücklegen, um an frischen Graswuchs und zu den wenigen Wasserstellen zu kommen. Davon waren auch die ersten Menschen betroffen, denn auch sie waren wie alle Lebewesen vom Wasser abhängig.“

Bei einer dieser Wanderungen oder bei einer Rast muss es dann geschehen sein: Der Himmel verdunkelt sich, Wolken türmen sich drohend auf. Blitze durchzucken den Himmel und das Grollen des Donners kommt immer näher. Dann ein greller Blitz, ein Knall zerreißt die Luft. Ein Baum hat Feuer gefangen, ein Ast senkt sich brennend zu Boden; die strohtrockene Savanne beginnt zu brennen. Eine Gruppe früher Menschen hat die Szenerie beobachtet – aus sicherer Entfernung. Dieser Vorgang wird für sie nichts Neues gewesen sein, denn Buschbrände waren aufgrund der klimatischen Verhältnisse häufiger als heute. Diese Menschen gehen zum Baum, dessen Inneres noch glimmt. Die Glut betten sie in Rinde und Blätter. Sie werden das Feuer zu ihrem Lagerplatz tragen. Dort werden sie es wieder entfachen. Es wird ihnen Licht und Wärme geben und sie vor allem vor den nächtlichen Angriffen der Leoparden schützen. Das Feuer ist gefährlich – und das Feuer ist gut. [...]

2.5 • Wie sieht eine Kerzenflamme aus?

Zwei Methoden eignen sich zum Feuermachen, allerdings setzen beide einigen Aufwand und viel Geschick voraus. Zum einen kann ein Stöckchen aus Hartholz entweder mit bloßen Händen oder mit einem kleinen Bogen in weichem Holz gedreht werden. Reibung erzeugt Hitze, vor allem dann, wenn zwischen die Hölzer noch Sand oder Asche gestreut wird. Nach einigen Minuten Reiben entsteht so viel Hitze, dass ein getrockneter Baumschwamm zum Glimmen gebracht werden und als Zunder fungieren kann. Mit dem Zunder wiederum lässt sich leicht anderes brennbares Material wie trockenes Gras entzünden. Für die andere Methode wird Feuerstein gegen das Mineral Pyrit, ein Eisensulfid, geschlagen. Die davonfliegenden Funken werden mit dem Zunderschwamm aufgefangen und mit der Glut das eigentliche Feuer entfacht. [...]

Von der Fähigkeit Feuer zu machen und es zu hüten hing schon bald das Überleben der ganzen Gruppe ab, gerade in kälteren Gebieten. [...] Der Mensch konnte nun auch nach Sonnenuntergang noch arbeiten, spielen, essen oder Riten abhalten. Der Gebrauch des Feuers eröffnete dem Menschen neue Freiheiten, allerdings begab er sich gleichzeitig in eine starke Abhängigkeit, eine Abhängigkeit, die bis in unsere Zeit andauert.“

Wir sind uns dieser Abhängigkeit vom Feuer kaum noch bewusst, denn es brennt meist im Verborgenen: in fast allen Motoren, die unseren Blicken entzogen, Fahrzeuge antreiben, in den Brennern der Heizungskeller und in thermischen Kraftwerken zur Stromgewinnung. Selbst heutzutage werden in Deutschland etwa 80 % der Primärenergie aus fossilen Brennstoffen (Mineralöl, Erdgas, Kohle) gewonnen. Es gilt also mehr denn je: Feuer hält die Welt in Gang.

? Aufgabe 2.1 Was ich weiß, was ich wissen möchte und was ich gelernt habe

Schreibe auf, was Du über Feuer weißt, was Du in ► Abschn. 2.4 gelernt hast und was Du gerne noch darüber wissen möchtest.

(WD 1 Faktenwissen bis WD 4 Metakognition/KP 1 Erinnern bis KP 4 Analysieren)

2.5 Wie sieht eine Kerzenflamme aus?

Da in Gebäuden normalerweise keine offenen Feuer gemacht werden können, bearbeiten wir die Frage: „Was ist Feuer?“ vor allem mit Hilfe von Kerzenflammen. Wenn man die Möglichkeit dazu hat, kann man dieses Forschungsprojekt sehr gut mit einem großen Lagerfeuer beginnen.

Um die Auseinandersetzung mit der Kerzenflamme einzuleiten, bieten sich zwei Aufgaben an, die uns mit dem Aussehen der Kerzenflamme vertraut machen.

? Aufgabe 2.2 Kerzenflamme aus der Erinnerung zeichnen

Zeichne in ca. 10–15 min, auf ein weißes DIN-A4-Blatt eine Kerzenflamme, und zwar aus der Erinnerung.

- Verwende das Blatt im Hochformat.
- Die Flamme sollte deutlich mehr als die Hälfte des Blatts bedecken.
- Zeichne die Flamme mit Farbstiften.
- Zeichne auch die Kerze, aber nur das oberste Stück – der Schwerpunkt liegt bei der Flamme.

(WD 1 Faktenwissen/KP 2 Verstehen)

? Aufgabe 2.3 Kerzenflamme beobachten

Beobachte eine Kerzenflamme sowie den oberen Teil der Kerze.

Halte deine Beobachtungen schriftlich fest und gliedere sie so weit als möglich.

Hinweise:

- Mögliche Themen für die Gliederung:
 - Flammenform,
 - Flammenzonen,
 - Docht,
 - oberes Ende der Kerze.
- Wenn man mit dem Docht spielt, kann man etwas Interessantes feststellen.

(WD 3 Prozesswissen/KP 2 Verstehen bis KP 4 Analysieren)

Mit den Merkmalen der Kerzenflamme (■ Abb. 2.1) werden wir uns in den folgenden Abschnitten intensiv beschäftigen.

Flammenzonen

Beim Betrachten der Kerzenflamme kann man drei unterschiedliche Zonen erkennen:

- **Flammenkern:**
 - innerer, unterer Bereich der Flamme,
 - umhüllt den Docht,
 - ist durchsichtig und farblos.
- **Flammenmantel:**
 - äußerer, oberer Bereich der Flamme,
 - umhüllt den oberen Teil des Flammenkerns,
 - ist undurchsichtig und gelb.
- **Flammensaum:**
 - äußerer, unterer Bereich der Flamme,
 - umhüllt den unteren Teil des Flammenkerns,
 - ist durchsichtig und blau.

Die Übergänge von der einen zur anderen Zone sind fließend.

(WD 1 Faktenwissen)



a



b



c

■ **Abb. 2.1** a Kerzenflamme mit gekrümmtem Docht – Flammensaum gut, Flammenkern kaum sichtbar, b Kerzenflamme mit geradem Docht, c Vergrößerung: Kerzenflamme mit gekrümmtem Docht – Flammensaum gut, Flammenkern kaum sichtbar. (© Ralf Geiß 2017)

Die Verwandlung der Stoffe

Geiß, R.

2017, XIII, 421 S. 237 Abb. in Farbe., Softcover

ISBN: 978-3-662-54707-6