

„Chemie fürs Leben“



Dr. Gabriele Lange
Universität Rostock
Institut für Chemie / Abt. Didaktik
Dr.-Lorenz-Weg 1
18059 Rostock
E-Mail: gabriele.lange@uni-rostock.de
Tel.: 0381 / 498 6482
Fax: 0381 / 498 6481

1	FACHLICHE INFORMATIONEN	3
1.1	WAS DARF SICH KERZE NENNEN?	3
1.2	SEIT WANN GIBT ES KERZEN?	3
1.3	ROHSTOFFE FÜR DIE KERZENHERSTELLUNG	4
1.4	HERSTELLUNGSMETHODEN	5
1.5	PROZESSE IN DER KERZENFLAMME	5
1.5.1	Michael Faraday.....	5
1.5.2	Grundlagen des Verbrennungsvorganges.....	6
1.5.3	Flammenzonen.....	7
2	EXPERIMENTE RUND UM DIE KERZE.....	8
2.1	UNTERSUCHEN DER VORGÄNGE IN DER KERZENFLAMME	8
2.1.1	Was brennt in der Kerzenflamme? Der Docht oder das Wachs?	8
	Versuch 1: Dochtmaterial entzünden und die Verbrennung beobachten	8
	Versuch 2: Versuch Wachskerze ohne Docht zu entzünden	8
	Versuch 3: Wachs schmelzen und verdampfen, Wachsämpfe entzünden	8
	Versuch 4: Welche Aufgabe hat der Docht?	9
	Versuch 5: Tafelkreide als Docht	10
2.1.2	Untersuchung der Wachsämpfe	10
	Versuch 6: „Hüpfende Flamme“ – oder die Fernzündung einer Kerze	10
	Versuch 7: „Suchen“ der Wachsämpfe mit einem Kupferdrahtnetz	11
	Versuch 8: Erzeugen einer Tochterflamme	11
	Versuch 9: Ableiten und Auffangen von Wachsämpfen aus einer Kerzenflamme und Prüfen ihrer Brennbarkeit - „Kerze als Gasfabrik“	12
2.1.3	Woher kommt das Leuchten der Kerzenflamme?	12
	Versuch 10: Einstreuen von Holzkohlepulver in eine entleuchtete Brennerflamme	12
2.2	UNTERSUCHEN DER STOFFUMWANDLUNG IN DER KERZENFLAMME	13
	Versuch 11: Brenndauer von Kerzen in Abhängigkeit vom Luftvolumen	13
	Versuch 12: Auffangen eines Verbrennungsproduktes mit einem kalten Becherglas	14
	Versuch 13: Auffangen eines weiteren Verbrennungsproduktes und Prüfen mit Kalkwasser	14
	Versuch 14: Nachweis eines Verbrennungsproduktes mit einer weißen Porzellanschale	14
2.3	UNTERSUCHEN DER ENERGIEUMWANDLUNG IN DER KERZENFLAMME	15
	Versuch 15: „Wasserkochen“ mit einer Kerzenflamme: Kerze als Brennstoff	15
	Versuch 16: Ermitteln der Temperatur in der Kerzenflamme	15
	Versuch 17: Ermitteln der heißesten Zone in der Kerzenflamme	15
2.4	UNTERSUCHEN DER MASSESÄNDERUNG BEI DER BRENNENDEN KERZE.....	16
	Versuch 18: Untersuchen der Massenänderung bei einer brennenden Kerze	16
2.5	BEDINGUNGEN FÜR DIE VERBRENNUNG VON KERZENWACHS	18
	Versuch 19: Vergleich der Verbrennung einer Kerze in Luft und in reinem Sauerstoff	18
	Versuch 20: Vergleich der Verbrennung einer Kerze in Luft und Atemluft	19
	Versuch 21: „Knalleffekt“ mit Kerzenwachs	19
	Versuch 22: Explosionsartige Verbrennung von Paraffindampf mit Sauerstoff (n. V. Obendrauf)	20
2.6	LÖSCHEN DER KERZE EINMAL ANDERS.....	21
	Versuch 23: Flamme „drücken“ mit einem Kupferdrahtnetz	21
	Versuch 24: Die Lösch-Spirale	21
	Versuch 25: Brausetabletten – Feuerlöscher	21
	Versuch 26: Der Wachsflammenwerfer	22
2.7	ALLES HEIÖE LUFT?	23
	Versuch 27: Vergleich der Temperaturen neben und über der Kerzenflamme	23
	Versuch 28: Wie funktionieren eine Weihnachtspyramide und ein Heißluftballon?	23
2.8	KERZEN – KNOFF-HOFF.....	24
	Versuch 29: Wasserkochen in GefäÖen aus Papier bzw. Pappe?	24
	Versuch 30: „Kerzendimmer“	24
	Versuch 31: Feuerwerk mit Apfelsinenschalen	25
	Versuch 32: Trocken-Shampoo – „Von Zündquellen fernhalten!“	25
	Versuch 33: Wie kommt das Ei unbeschädigt in die Flasche?	26
	Versuch 34: Kerze hinter einer Flasche auspusten?	26
3	LITERATUR	27
4	ANHANG	28
4.1	FALTANLEITUNG: WASSERTÖTE	28
4.2	VORLAGE: SPIRALE	28
4.3	UMSCHMELZEN VON WACHS: KERZEN SELBER GIEÖEN	29
4.4	DAS KNATTERBOOT (ODER AUCH PUTT-PUTT-BOOT).....	30

1 Fachliche Informationen

1.1 Was darf sich Kerze nennen?

Im **Universallexikon** aus dem Jahre **1738** wird die Kerze noch poetisch definiert als

„...ein mit Talg oder Wachs überzogener Docht von Garn, welcher wenn er angezündet wird, einen hellen Schein von sich giebet und einen verfinsterten Ort erleuchtet“.

Heute klingt es wesentlich nüchterner. Im **RÖMPP Lexikon** wird die Kerze definiert als

„...Beleuchtungsmittel bestehend aus einer festen Brennmasse, die einen Docht umgibt“.

Somit gehören z.B. Öllampen bzw. andere eine brennbare Flüssigkeit enthaltene Gefäße - auch wenn diese Kerzenformen nachgebildet sind - sowie Fackeln oder Wunderkerzen nicht zu den Kerzen.

1.2 Seit wann gibt es Kerzen?

Es ist nicht einfach, Licht in das Dunkel der frühesten Kerzengeschichte zu bringen: Kerzen begleiten die Menschheit seit über 2 000 Jahren.

Das Wort Kerze kommt aus dem lateinischen „Cereus“ (=Wachslicht).

- **6. Jh. v. Chr.** im alten Griechenland: Holz und Kien wurden in Schalen mit Öl und Fett getränkt (Fackeln), die alten Ägypter verwendeten Rhizinusöl, die Römer Talg sowie Öl
- **2. Jh. n. Chr.:** Beherrschung der Dochtbrennbarkeit des Wachses ohne Benutzung eines Gefäßes. Bei den Römern waren niedrige Bienenwachskerzen so weit entwickelt, dass sie in geschlossenen Räumen brennen konnten – ohne lästiges, übermäßiges Rußen und üblen Geruch.

Bienenwachskerzen waren Kirchen, reichen Fürstenhäusern sowie wohlhabenden Bürgerhäusern vorbehalten. Allgemein nutzte das Volk Talg- oder sog. Unschlittkerzen. Sie wurden aus minderwertigem Rindernierenfett oder Hammeltalg hergestellt, rochen dementsprechend ranzig, qualmten und rußten.

- **Mitte des 19. Jh.** wurden Stearin und Paraffin neben Bienenwachs zur Kerzenherstellung genutzt. Im gleichen Zeitraum wurde der Docht entscheidend verbessert. Die Erfindung des heute noch üblichen geflochtenen Baumwolldochtes im Jahre 1828 war ein bedeutender Schritt in der Kerzengeschichte. Zuvor mussten Dochte ständig gekürzt werden (Wachsschneutzer), um die Kerzen vor dem Rußen zu bewahren.

So konnte in Erfüllung gehen, was Goethe sich schon so dringend gewünscht hatte:
„Wüsste nicht, was sie besseres erfinden könnten, als dass die Kerzen ohne Putzen brennen.“

1.3 Rohstoffe für die Kerzenherstellung

Brennmasse

Wachs ist ein Sammelbegriff für verschiedene Arten von Brennmassen mineralischen, tierischen oder pflanzlichen Ursprungs.

Hauptrohstoffe	Paraffin	Stearin	Bienenwachs
Marktanteil	90-95 %	3-4 %	1-2 %
Herkunft	Erdöldestillation	tierische (Talg) und pflanzliche Fette und Öle (Palm- und Kokosfett)	Stoffwechselprodukt der Biene, ältester Kerzenrohstoff
Zusammensetzung	langkettige gesättigte Kohlenwasserstoffe (Alkane)	Gemisch verschiedener Fettsäuren (Palmitin- und Stearinsäure)	Gemisch aus Triglyceriden (Wachsester) und Fettsäuren
Eigenschaften	Schmp.: bei 60 °C Sdp.: > 300°C weich, plastisch	Schmp.: 52-60°C Erweichungs- und Erstarrungspunkt fast gleich, daher gute Temperaturstabilität hart, spröde	Schmp.: bei 65 °C klebrig, knetbar
Verarbeitung	alle Verfahren der Kerzenherstellung (Ziehen, Gießen, Pressen, Tauchen)	Gießen, Pressen	Gießen
Geschichte	zwischen 1830 und 1840 erstmals eingesetzt	erstmal 1825 von den franz. Chemikern Gay Lussac und Chevreul durch Fettspaltung (Talg) hergestellt	ältester Kerzenrohstoff, der etwa ab Mitte des 2. Jh. n. Chr. von den Römern verwendet wurde

Alle Rohstoffe können sowohl in **reiner Form** als auch in **Mischungen** für Kerzen eingesetzt werden. Durch Mischung von Paraffin mit einem bestimmten Anteil Stearin entstehen so genannte **Kompositionskerzen**. Bei den Kompositionskerzen sollte die Zusammensetzung für den Verbraucher erkennbar sein.

Docht

Der Docht hat sehr großen Einfluss auf den Kerzenabbrand. Von seiner Beschaffenheit hängt das einwandfreie Brennen der Kerze ab:

Er muss eine ausreichende Menge an geschmolzenem Wachs ansaugen, damit sich ein Gleichgewicht zwischen der geschmolzenen und verbrannten Wachsmenge einstellt.

- Ein zu schwacher Docht kann das geschmolzene Wachs der Brennschüssel nicht aufsaugen. Die Schüssel läuft über, die Kerze tropft.
- Ein zu starker Docht lässt die Flamme zu groß werden, die Brennschüssel ist ständig leer, die Verbrennung verläuft unvollständig, die Kerze rußt.

Man unterscheidet zwischen **Flach- und Runddochten**. Sie werden vorzugsweise aus Baumwolle geflochten und sind imprägniert mit wässrigen Lösungen von

- Ammoniumsalzen (verhindern ein zu schnelles Abbrennen des Dochtes in der Flamme) und
- Borsäure und Phosphaten (bilden am Dochtende eine Schmelzperle, die ein Abfallen von Ascheteilen und das Nachglühen der Dochtspitze nach dem Ausblasen vermeiden).

Die Saugkraft der Dochte kann über die Anzahl der Einzelfäden der Kerze angepasst werden. Zusätzlich übt die Flechtung einen entscheidenden Einfluss auf eine optimale, leichte Dochtkrümmung aus. Die Dochtspitze muss sich zum äußeren heißen Flammenrand biegen, so dass eine vollständige Verbrennung des Dochtes stattfindet, eine Art „automatische Dochtstützung“.

Farben und Lacke

Zum Färben von Kerzen werden Anilin-Farben oder Pigmentfarbstoffe verwendet, meist als farbiger Tauchüberzug. Seltener wird die gesamte Wachsmasse durchgefärbt. Durch einen Lacküberzug können Kerzen zusätzlich dekorativ gestaltet werden.

Duftstoffe

Durch Zusatz ätherischer Öle (in der Regel naturidentisch) entstehen so genannte Duftkerzen.

1.4 Herstellungsmethoden

Grundprinzip: Der zentrierte Docht muss mit Wachs ummantelt werden.

Kerzenziehen (Kerzenzugmaschine)

- 2 Zugtrommeln (\varnothing 1,5 m, Abstand 4-5 m) mit mehreren hundert Meter Dochtstrang umwickelt, als Rundstrecke konstruiert
- die untere Dochtstrecke durchläuft ein Wachsbad, wobei der Docht jeweils eine Wachsschicht aufnimmt. Die aufgenommene Wachsschicht kühlt auf der weiteren Rundstrecke des Dochtes ab, bis er zum Wachsbad zurückkehrt. Je öfter der Docht durch das Wachsbad gezogen wird, umso stärker wird der Strang. Anschließend wird die gewünschte Kerzenlänge zurechtgeschnitten.

Gießen

Das Gießen von Wachs in Formen geschieht heute auch maschinell. Reine Stearinkerzen lassen sich nur im Gießverfahren herstellen.

Pressen

Das Pressverfahren hat in letzter Zeit an Bedeutung gewonnen. Man verwendet pulverisiertes Paraffin oder ein Granulat, das in ein Rohrsystem geleitet oder in eine Stempelpresse gegeben und unter Druck verdichtet wird.

Auftauchen

Das wiederholte Eintauchen des Dochtes in flüssiges Wachs hat in den letzten Jahren an Bedeutung verloren (Herstellung von durchgefärbten Kerzen und Bienenwachskerzen).

1.5 Prozesse in der Kerzenflamme

1.5.1 Michael Faraday

Bereits der Naturforscher M. FARADAY (1791 – 1867) beschäftigte sich sehr intensiv mit den Vorgängen in der Kerzenflamme.

Zeit seines Lebens arbeitete er am berühmten „Royal Institution of Great Britain“ in London, zunächst als Labordiener, später wurde er Direktor der Institution.

Faradays Hauptarbeitsgebiet war die Elektrizitätslehre. Viele Begriffe und Gesetzmäßigkeiten sind mit seinem Namen verbunden.

Eine wichtige Einrichtung der Royal Institution war z. B. die „Weihnachtsvorlesung für die Jugend“. Es wurden Vorträge über verschiedene Wissensgebiete gehalten, die die Londoner Schüler während der Weihnachtsferien gegen Eintrittsgeld hören konnten und die großen Zulauf hatten.

In diesem Zusammenhang entstand die Experimentalvorlesung „Naturgeschichte einer Kerze“, die um die Jahreswende 1860/61 gehalten wurde.

Ausgehend von den Phänomenen verstand es Faraday mit einfachen und zugleich raffinierten Experimenten den Schülern relativ komplexe chemische und physikalische Zusammenhänge am Beispiel eines zunächst trivial erscheinenden Alltagsgegenstandes nahe zu bringen.

Faradays Darstellungen haben bis heute nicht ihre Gültigkeit und Faszination verloren.

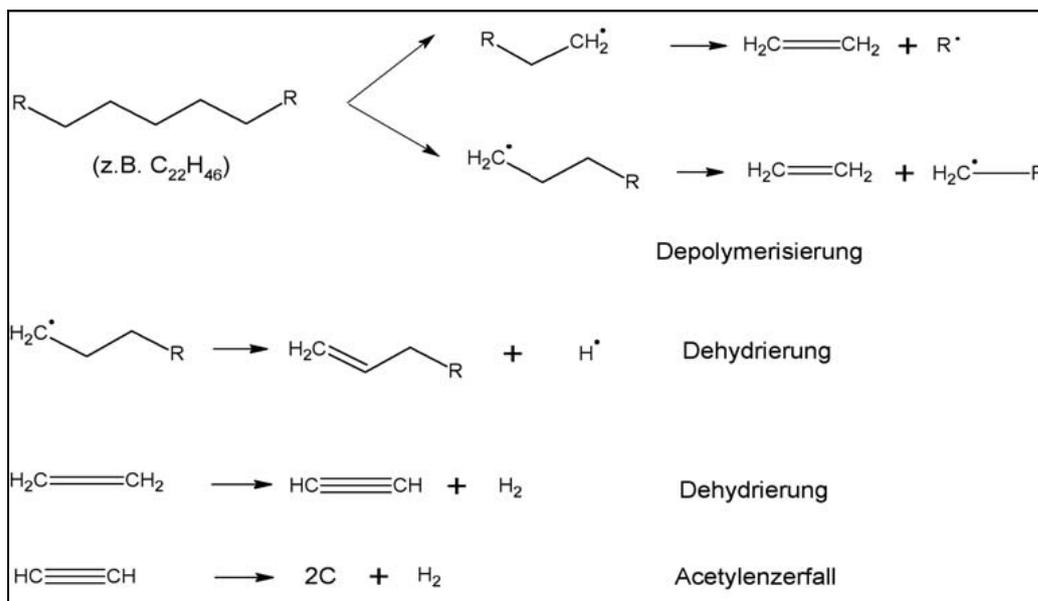
1.5.2 Grundlagen des Verbrennungsvorganges

Der Verbrennungsvorgang kann in folgende Phasen unterteilt werden:

1. Aufschmelzen des Brennstoffes
2. Transport des Brennstoffes durch die Kapillarität des Dochtes
3. Übergang des flüssigen Brennstoffes in die Gasphase (Verdampfen)
4. Thermischer Abbau des Brennstoffes (Pyrolyse)
5. Oxidation der Pyrolyseprodukte

Bei Anzünden des Dochtes beginnt festes Paraffin zu schmelzen.

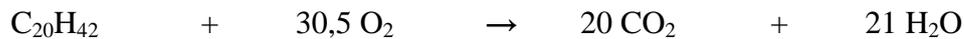
Durch weitere Wärmezufuhr erfolgt das Verdampfen und dann die Zersetzung (Pyrolyse) in gasförmige Kohlenwasserstoffe, Kohlenwasserstofffragmente (Radikale) und festen Kohlenstoff. Die von dieser Zone ausgehende Lichtstrahlung ergibt sich aus dem Glühen des abgespaltenen festen Kohlenstoffs in feinstverteilter Form.



Kettenabbaumechanismus in der Flamme

Erst nach der Vermischung mit Sauerstoff und dem Erreichen der Zündtemperatur erfolgt das eigentliche Verbrennen der gasförmigen Pyrolyseprodukte sowie des Kohlenstoffs. Jetzt wird genügend Verbrennungswärme frei, so dass selbständiges Brennen ohne zusätzliche Energiezufuhr möglich ist.

Gibt man das Kerzenmaterial vereinfacht als Kohlenwasserstoff mit der Formel $C_{20}H_{42}$ an, lautet die Reaktionsgleichung für die vollständige Verbrennung:

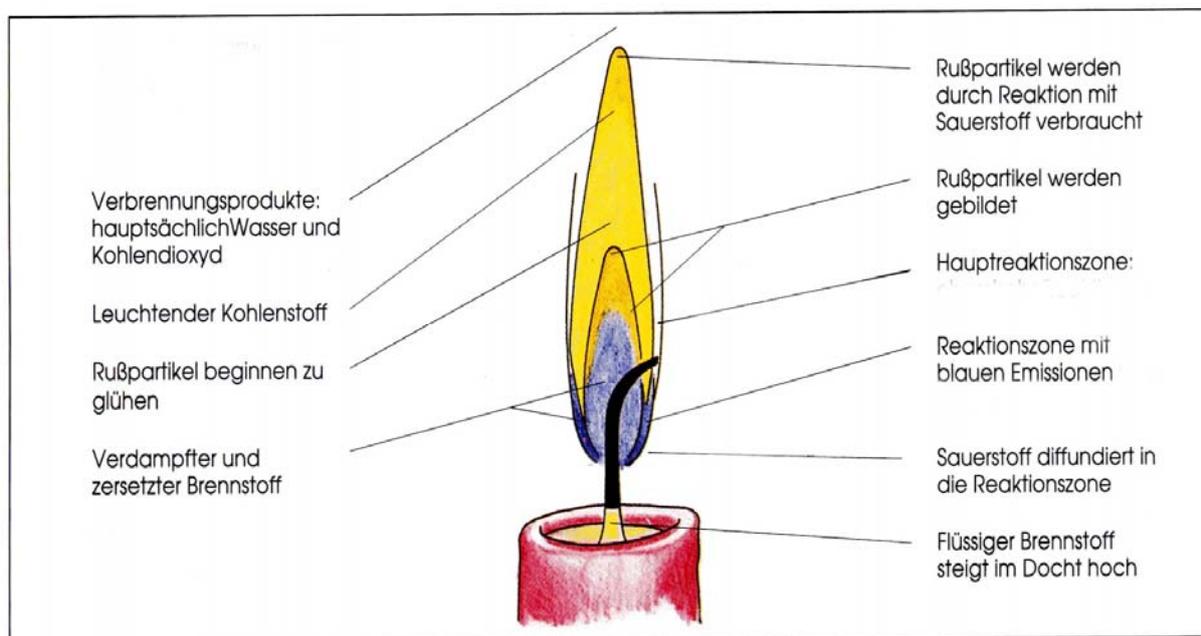


Die summarische Reaktionsgleichung sagt nichts über die Einzelreaktionen des Verbrennungsprozesses aus. Lediglich der Ausgangs- und Endzustand werden dargestellt. Der einfache Nachweis von Ruß in der Flamme beweist, dass die Reaktion in mehreren Schritten erfolgen muss. In Untersuchungen werden mehr als 60 Einzelreaktionen in der Kerzenflamme aufgeführt und eine weitaus größere Zahl wird noch vermutet.

Die Verbrennungsreaktion ist also ein sehr komplexes Geschehen, bei der viele Reaktionen neben- und nacheinander ablaufen: Sie ist eine Folge so genannter Elementarreaktionen, an denen Radikale maßgeblich beteiligt sind. Die Kombination aller Elementarreaktionen bezeichnet man als Reaktionsmechanismus. Erst eine große Zahl von Elementarreaktionen ergibt die Stoffumwandlung, die von der Reaktionsgleichung summarisch beschrieben wird.

1.5.3 Flammenzonen

Betrachtet man eine Kerzenflamme, so erkennt man den in der nachfolgenden Abbildung skizzierten schematischen Aufbau. Die Vorgänge in der Kerzenflamme sind noch einmal zusammenfassend dargestellt:



2 Experimente rund um die Kerze

2.1 Untersuchen der Vorgänge in der Kerzenflamme

2.1.1 Was brennt in der Kerzenflamme? Der Docht oder das Wachs?

Versuch 1: Dochtmaterial entzünden und die Verbrennung beobachten

**Durchführung:**

Eine Kerze und ein Kerzendocht werden entzündet und die Flammen verglichen. Kerzendochte erhält man in Bastelläden. Alternativ kann auch ein Baumwollfaden verwendet werden.

Auswertung:

Das Dochtmaterial verbrennt relativ schnell mit kleiner Flamme. Das Ergebnis ist nicht mit der Kerzenflamme vergleichbar.

Versuch 2: Versuch Wachskerze ohne Docht zu entzünden

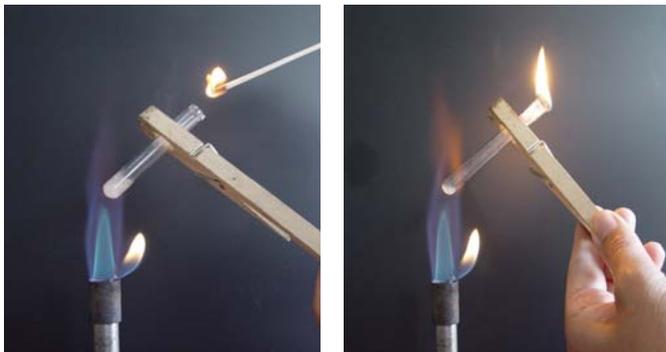
**Durchführung:**

Man versucht, eine Kerze ohne Docht mit der Brennerflamme zu entzünden. Es kann auch ein Bruchstück einer größeren Kerze verwendet werden.

Auswertung:

Bei Wärmezufuhr beginnt Wachs zu schmelzen. Das flüssige Wachs brennt nicht.

Versuch 3: Wachs schmelzen und verdampfen, Wachsämpfe entzünden

**Durchführung:**

Eine kleine Wachsprobe (erbsengroß) wird im Reagenzglas bis zum Schmelzen und Verdampfen erhitzt, die austretenden Dämpfe werden entzündet.

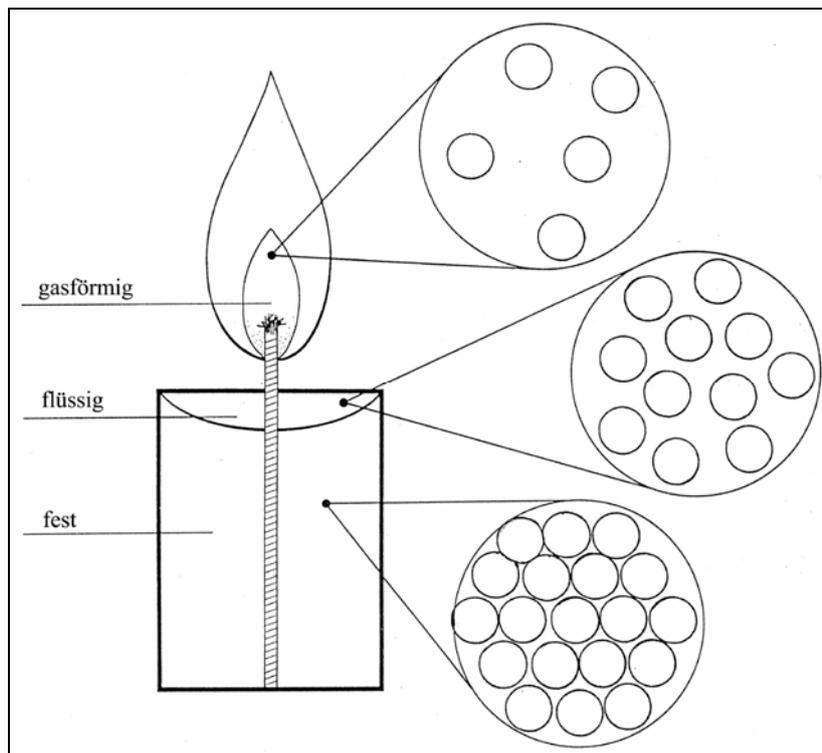
Auswertung:

Die Wachsämpfe entzünden sich bzw. lassen sich entzünden. Die Dämpfe brennen mit einer Flamme so lange weiter bis alles Wachs verbraucht ist. Die Flamme besteht aus brennenden Gasen/Dämpfen!

Zustandsänderungen von Kerzenwachs in der Kerzenflamme



Aggregatzustände und Teilchenanordnung



Versuch 4: Welche Aufgabe hat der Docht?



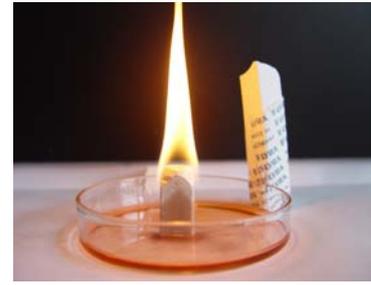
Durchführung:

Ein Docht wird in eine brennbare Flüssigkeit (z.B. farbiges Lampenöl) gestellt. Das Aufsteigen der Flüssigkeit ist zu beobachten und das obere Dochtende zu entzünden.

Auswertung:

Agrund der Kapillarität (Haarröhrchenwirkung) steigt flüssiges Wachs im Docht auf und verdampft. Am Dochtende können die Wachsdämpfe entzündet werden. Durch den Docht erzielt man eine kontrollierte Verbrennung der Wachsdämpfe (Größe und Ausbreitung der Flamme).

Versuch 5: Tafelkreide als Docht



Durchführung:

Zunächst ist zu prüfen, ob sich die Kreide entzünden lässt. Dann wird ein kleines Gefäß mit Lampenöl gefüllt (2 cm) und ein Stück Tafelkreide hineingestellt. Nachdem das Lampenöl bis in die Spitze der Kreide aufgestiegen ist, wird erneut versucht, die Kreide zu entzünden.

Auswertung:

Es handelt sich um ein Modellexperiment zur Wirkungsweise des Dochtes. Weiter vgl. Vers. 4

2.1.2 Untersuchung der Wachsdämpfe

Mit den folgenden Experimenten kann verdeutlicht werden, dass tatsächlich die **Wachsdämpfe** in der Kerzenflamme brennen!

Wenn in den folgenden Experimenten von „weißen Wachsdämpfen“ gesprochen wird, so ist das fachlich nicht korrekt. Wachsdampf ist farblos. Durch schnelles Abkühlen der Dämpfe z.B. beim Auspusten entsteht **Wachsqualm**, der eine Mischung aus **Wachsnebel** (flüssig-gasförmig) und **Wachsrach** (fest-gasförmig) darstellt.

Versuch 6: „Hüpfende Flamme“ – oder die Fernzündung einer Kerze



Durchführung:

Eine brennende Kerze wird vorsichtig gelöscht und ein brennender Span sofort in die Nähe der aufsteigenden Dämpfe gebracht.

Auswertung:

Um den Docht herum hat sich ein brennbares Wachsdampf - Luft - Gemisch gebildet, das sich leicht entzünden lässt. Die Flamme „springt“ über und entzündet den noch heißen Docht.

Versuch 7: „Suchen“ der Wachsdämpfe mit einem Kupferdrahtnetz



Durchführung:

Ein Kupferdrahtnetz wird in die Flamme gehalten

a) dicht über den Docht und

b) in den oberen Flammensaum

Auswertung:

Weißer Qualm (Mischung aus Wachsnebel und Wachsrauch) befindet sich direkt über dem Docht.

Schwarzer Rauch ist im oberen Flammensaum nachweisbar.

Versuch 8: Erzeugen einer Tochterflamme

a) Glasröhrchen-Variante



Durchführung:

Mit einem kleinen Glasröhrchen wird Wachsdampf unmittelbar aus der Umgebung des Doctes aus der Flamme heraus geleitet und mit einem Span entzündet.

Auswertung:

Weiße Wachsdämpfe lassen sich am Ende des Glasröhrchens entzünden.

b) Alu-Folien-Variante



Vorbereitung:

Ein Stück Alu-Folie (ca. 8 x 8 cm) wird über einen Bleistift oder ein Glasrohr zu einer Röhre gewickelt. Der \varnothing sollte nicht größer als 0,5 - 0,6 cm sein.

Eine aufgebogene Büroklammer (oder ein Stück Blumendraht) wird zu einer passenden Halterung umgeformt.



Durchführung und Auswertung:

siehe Variante a

Versuch 9: Ableiten und Auffangen von Wachsdämpfen aus einer Kerzenflamme und Prüfen ihrer Brennbarkeit - „Kerze als Gasfabrik“



Durchführung:

Über ein gebogenes Glasrohr werden Wachsdämpfe in ein tieferstehendes Becherglas geleitet. Nachdem das Becherglas mit Dämpfen gefüllt ist, werden diese sofort mit einem Span entzündet.

Auswertung:

Weißer Wachsdampf „fällt“ direkt in das Becherglas. Die Wachsdämpfe im Becherglas sind brennbar.

2.1.3 Woher kommt das Leuchten der Kerzenflamme?

Im oberen (leuchtenden) Teil der Kerzenflamme ist bereits Ruß (schwarzer Rauch) nachgewiesen worden. Ruß wird als feinverteilter Kohlenstoff beschrieben. Was passiert, wenn feinverteilter Kohlenstoff in eine entleuchtete Brennerflamme gestreut wird?

Versuch 10: Einstreuen von Holzkohlepulver in eine entleuchtete Brennerflamme



Durchführung:

Fein zerriebene Holzkohle wird in die entleuchtete Flamme eines Brenners gestreut.

Auswertung:

Unter Funken sprühen verbrennt Holzkohlepulver in der Flamme. Die Flamme leuchtet effektiv auf.

2.2 Untersuchen der Stoffumwandlung in der Kerzenflamme

Kerzen erzeugen Licht und Wärme. Im Vordergrund stehen also die Beobachtungen zur Energieumwandlung. Die Stoffumwandlung wird hauptsächlich über das „Kleinerwerden“ der Kerze registriert. Diese Beobachtung wird allerdings in der Regel nicht der Stoffumwandlung zugeordnet.

Die Brenndauer einer Kerze ist häufig auf der Verpackung angegeben. Bei einer Größe von 21,5 x 175 mm beträgt die Brenndauer ca. 6 h.

Die Brenndauer der Kerzen ist selbst bei gleicher Größe und gleichem Aussehen, bedingt durch die verschiedenen Rohstoffe und Herstellungsarten, sehr unterschiedlich. Hinzu kommen die äußeren Umstände, wie Sauerstoffzufuhr und Belüftung des Raumes, Raumtemperatur und sonstige Einflüsse, die ein schnelleres oder langsames Brennen der Kerzen verursachen können. Es lassen sich somit keine genauen Normen aufstellen, und man muss deshalb auf Erfahrungswerte zurückgreifen, um dem Verbraucher wenigstens zu den gebräuchlichsten Konsumkerzen Anhaltswerte nennen zu können. Als Faustregel gilt, dass der Verbrauch der Brennmasse bei 7 bis 10 Gramm pro Stunde liegt.

- **Warum wird eine brennende Kerze immer kleiner und verschwindet schließlich ganz?**
- **Was passiert mit dem Kerzenwachs bei der Verbrennung? Wird die Kerze vernichtet? Schmilzt die Kerze einfach?**

Es soll untersucht werden, ob die Verbrennung einer Kerze eine Stoffumwandlung darstellt.

Das Kerzenmaterial ist als Ausgangsstoff erkennbar. Ein zweiter Ausgangsstoff ist bei der Verbrennung der Kerze nicht zu sehen. Ist ein zweiter Ausgangsstoff für die Verbrennung notwendig?

Versuch 11: Brenndauer von Kerzen in Abhängigkeit vom Luftvolumen



Durchführung:

Drei Bechergläser unterschiedlicher Größe werden gleichzeitig über brennende Kerzen gestülpt. Die Brenndauer der Kerzen ist zu vergleichen.

Auswertung:

Für die Verbrennung einer Kerze ist Luft notwendig. In Abhängigkeit vom Volumen der Bechergläser verlöschen die Kerzen nacheinander. Je mehr Luft vorhanden ist, desto länger brennt eine Kerze.

Ausgangsstoffe sind also Paraffin und Luft (bzw. der Sauerstoff der Luft).

Anwendung: Löcher im Stövchen oder Windlicht

Welche Reaktionsprodukte entstehen beim Verbrennen der Kerze?

Zunächst sind keine Reaktionsprodukte zu sehen. Es liegt die Vermutung nahe, dass farblose, gasförmige Reaktionsprodukte entstehen. Diese sollen nachfolgend untersucht werden:

Versuch 12: Auffangen eines Verbrennungsproduktes mit einem kalten Becherglas

**Durchführung:**

Ein kaltes Becherglas wird einige Sekunden über die Flamme gehalten.

Auswertung:

Das Becherglas beschlägt.

Bei der Verbrennung entsteht Wasserdampf, der an der kalten Wandung kondensiert und als Wasserbeschlag sichtbar gemacht werden kann.

Versuch 13: Auffangen eines weiteren Verbrennungsproduktes und Prüfen mit Kalkwasser

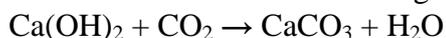
**Durchführung:**

Ein Reagenzglas wird über die Kerzenflamme gehalten, um einige Sekunden die Verbrennungsprodukte aufzufangen.

Anschließend wird etwas Kalkwasser in das Reagenzglas gegeben und geschüttelt.

Auswertung:

Das Kalkwasser trübt sich. Es bildet sich ein weißer Niederschlag. Mit dieser Reaktion kann Kohlenstoffdioxid nachgewiesen werden:



Versuch 14: Nachweis eines Verbrennungsproduktes mit einer weißen Porzellanschale

**Durchführung:**

Eine weiße Porzellanschale wird in die Flamme gehalten.

Auswertung:

Sehr schnell beobachtet man einen schwarzen Beschlag (Fingerprobe). Aufgrund der unvollständigen Verbrennung von Paraffindampf im Innern der Kerzenflamme bildet sich Ruß, eine Erscheinungsform des Kohlenstoffs.

Feinverteilter Kohlenstoff verglüht in der Flamme und verursacht das charakteristische Leuchten.

2.3 Untersuchen der Energieumwandlung in der Kerzenflamme

Brennende Kerzen spenden Licht und Wärme. Diese ursprüngliche Funktion der Kerze soll näher untersucht werden. Wärmeabgabe und Lichterscheinung sind Merkmale der Energieumwandlung.

Im Zusammenhang mit der Stoffumwandlung findet eine Energieumwandlung statt. Ein Teil der chemischen Energie von Kerzenwachs (Paraffin, Stearin) wandelt sich um in thermische Energie, die in Form von Wärme und Licht an die Umgebung abgegeben wird. Die Energie der Ausgangsstoffe ist größer als die Energie der Reaktionsprodukte. Die Kerze ist ein energiereicher Stoff, ein Energieträger.

$$E_{\text{chem.}} \rightarrow E_{\text{therm.}}$$



Abgabe an die Umgebung
als Licht und Wärme

$$E_{\text{chem.}} \text{ (Ausgangsstoffe)} > E_{\text{chem.}} \text{ (Reaktionsprodukte)}$$

Die Verbrennung der Kerze ist also eine exotherme Reaktion. Nach kurzer Entzündung der Kerze verbrennt diese vollständig unter Abgabe von Licht und Wärme solange beide Ausgangsstoffe vorhanden sind.

Versuch 15: „Wasserkochen“ mit einer Kerzenflamme: Kerze als Brennstoff



„Dosenbrenner“

Versuch 16: Ermitteln der Temperatur in der Kerzenflamme



Hinweis:

Für die Messung ist eine sehr ruhige Flamme erforderlich. Weiterhin beeinflusst die Rußabscheidung am Thermofühler das Messergebnis.

Unsere Temperaturen lagen immer unter den in der Literatur angegebenen Werten.

Versuch 17: Ermitteln der heißesten Zone in der Kerzenflamme



Durchführung:

Ein Stück etwas stabileres weißes Papier wird kurzzeitig so zügig unmittelbar über der Dochtspitze durch die Kerzenflamme gezogen, dass es nicht zu brennen beginnt. Alternativ kann ein Holzstab durch die Flamme gezogen werden.

Auswertung:

Auf dem Papier zeigt sich eine ringförmige verkohlte Zone. In der Mitte der Kerze um den Docht herum verändert sich das Papier kaum. Der Holzstab zeigt zwei verkohlte Zonen an, die dem Flammenrand entsprechen. Im Flammenrand herrschen demnach die höchsten Temperaturen.

2.4 Untersuchen der Massenänderung bei der brennenden Kerze

Eine brennende Kerze wird immer kleiner bis sie schließlich ganz „verschwindet“, also abgebrannt ist. Der Massenverlust lässt sich auf einer Waage bestätigen.

Was passiert bei der Verbrennung mit der Kerze? Wird sie „vernichtet“? Reaktionsprodukte sind nicht zu sehen. Die Schüler wissen, dass gasförmige Reaktionsprodukte entstehen. Stoffe verschwinden nicht einfach oder werden vernichtet sondern wandeln sich um.

Was passiert, wenn die Kerze auf einer Waage verbrannt wird und die gasförmigen Reaktionsprodukte gleichzeitig aufgefangen (absorbiert) werden?

Versuch 18: Untersuchen der Massenänderung bei einer brennenden Kerze

a) Variante mit der Fertigapparatur „Schwere Flamme“

**Hinweis:**

Fertigapparatur „Schwere Flamme“ ist z.B. über die Lehrmittelfirma HEDINGER, Stuttgart zu beziehen.

Durchführung:

Ein brennendes Teelicht wird auf die Waage gestellt und die Massenabnahme ermittelt. Dann wird ein „Gasfang“ mit Ätznatron bzw. Natronkalk als Absorptionmittel über das brennende Teelicht gestellt. Nach dem Austarieren der Waage wird wiederum die Massenänderung beobachtet.

Auswertung:

Ermittelt wird eine kontinuierliche Massenzunahme. Das heißt, dass die Verbrennungsprodukte eine größere Masse haben als die Kerze. Bei der Verbrennung verbindet sich Paraffin mit dem Sauerstoff der umgebenden Luft und es entstehen Kohlenstoffdioxid und Wasserdampf als gasförmige Reaktionsprodukte, die vom Ätznatron absorbiert werden. Der bei der Verbrennung aus der Luft aufgenommene Sauerstoff geht in die Masse der Reaktionsprodukte ein und verursacht somit die Massenzunahme auf der Waage.

b) LOW-COST-Variante nach V. Obendrauf:

Verbrennen eines Teelichtes auf einer Waage ohne und mit "Gasfang"

(Für diesen Versuch eignet sich eine elektronische Waage mit Schnittstelle mit folgenden Mindestanforderungen: Wägebereich 200 g, Ablesbarkeit 0,01 g)



Zunächst wird eine Kerze „offen“ auf einer Waage *ohne Gasfang* verbrannt. Erwartungsgemäß wird eine Massenabnahme festgestellt.

Die Schüler wissen, dass bei der Verbrennung z.B. Kerzenparaffin mit Sauerstoff reagiert und dabei gasförmige Reaktionsprodukte entstehen, die an die Umgebung abgegeben werden.

Was passiert, wenn die Kerze auf einer Waage verbrannt wird und die gasförmigen Reaktionsprodukte gleichzeitig aufgefangen (absorbiert) werden?

Vorbereitung:

Alternativ zu der vorgestellten Fertigapparatur kann mit einfachen Mitteln eine **LOW-COST-Variante** eingesetzt werden:

Als „Gasfang“ dient z.B. eine PET-Cola-Flasche (1 bzw. 1,5 l), deren Flaschenhals sowie der Boden abgetrennt worden sind entweder mit einer entsprechenden Säge oder mit einem Schmelzdraht (Prinzip: Heißdraht-Schneidegerät).

Ebenso kann eine Metalldose mit ähnlichen Größenverhältnissen, deren Boden mit einem Dosenöffner entfernt wurde, verwendet werden. Die Metalldose hat gegenüber dem Kunststoffzylinder den Vorteil weniger temperaturempfindlich zu sein. Der Flaschenzylinder verformt sich am oberen Ende nach etwa 4 Minuten durch die aufsteigende Wärme merklich!

In die obere Öffnung wird ein passendes, möglichst feinmaschiges Sieb (z.B. Teesieb von *Fackelmann*) gesetzt. Als Absorbionsmittel wird Rohrreiniger-Granulat (enthält ca. 50 % Ätznatron) auf das Sieb verteilt.



Durchführung:

Ein brennendes Teelicht wird auf die Waage gestellt und die Massenabnahme ermittelt. Dann wird die Verbrennung *mit dem LOW-COST-Gasfang* untersucht:

Dazu werden um die Kerze herum 3 zurechtgeschnittene Flaschenkorken bzw. Gummistopfen gestellt (wenige Millimeter höher als die Höhe des Teelichtes) und darauf der LOW-COST-Gasfang gesetzt. Etwa 3 Minuten lang ist die Massenänderung zu ermitteln.



Auswertung:
siehe Variante a

2.5 Bedingungen für die Verbrennung von Kerzenwachs

Rußende Kerzen sind für den Verbraucher der auffälligste Eindruck schlechter Kerzenqualität. Eine Qualitätskerze darf nur minimal Ruß abgeben, so dass die Rußabgabe nicht sichtbar ist. Tatsache ist, dass Kerzen nicht ganz rußfrei abbrennen können, sondern nur rußarm. Kerzenhersteller sind bemüht, durch regelmäßige Messungen bestimmte Qualitätsnormen einzuhalten im Sinne des Verbraucherschutzes. Faktoren, die das Abbrandverhalten beeinflussen:

Abbrandbedingungen:
Luftzufuhr
Zugluft
Abstand zwischen den Kerzen



Qualität der Rohstoffe

**Optimales Verhältnis
von Brennmasse – Docht**

Die Verbrennung einer Kerze bzw. von Kerzenwachs unter verschiedenen Bedingungen soll untersucht werden:

Versuch 19: Vergleich der Verbrennung einer Kerze in Luft und in reinem Sauerstoff



Durchführung:

Eine kleine auf einem Verbrennungslöffel befestigte Kerze wird entzündet und die Verbrennung (Flamme) an der Luft beobachtet. Dann wird die Kerze in einen Zylinder mit Sauerstoff gestellt. Die Kerzenflammen an der Luft und in Sauerstoff sind zu vergleichen.

Auswertung:

Die Kerzenflamme in reinem Sauerstoff leuchtet wesentlich heller, es wird also in einer bestimmten Zeit mehr Wärme und Licht abgegeben. Die Konzentration des Sauerstoffs hat einen Einfluss auf die Geschwindigkeit von Stoff- und Energieumwandlung.

Versuch 20: Vergleich der Verbrennung einer Kerze in Luft und Atemluft



Durchführung:

Ein Luftballon wird aufgeblasen und mit einer Klammer verschlossen. Zwei kleine Kerzen werden entzündet und z. B. zwei gleich große Bechergläser bereitgestellt. Ein Becherglas wird mit der Atemluft aus dem Ballon befüllt. Anschließend werden beide Bechergläser gleichzeitig über die brennenden Kerzen gestellt. Die Brenndauer der Kerzen ist zu vergleichen.

Auswertung:

Die Kerze in der Atemluft erlischt schneller. Ausgeatmete Luft enthält im Vergleich zur umgebenden Luft nur noch 16 % Sauerstoff und rund 4 % Kohlenstoffdioxid.

Wachsdämpfe verbrennen an der **Luft** mit ruhiger Flamme. Wie verbrennen aber Wachsdämpfe im **Sauerstoffstrom**?

Versuch 21: „Knalleffekt“ mit Kerzenwachs



Durchführung:

Ein Reagenzglas wird ca. 2 cm hoch mit Oxi-Reiniger gefüllt und darauf etwas Glaswolle gebracht. Direkt auf die Glaswolle wird etwas Kerzenwachs gegeben. Der Oxi-Reiniger und das Kerzenwachs sind möglichst gleichzeitig zu erhitzen.

Auswertung:

Aus dem Oxi-Reiniger wird Sauerstoff freigesetzt. Gleichzeitig schmilzt und verdampft Paraffin. Nach kurzer Zeit erfolgt eine heftige lautstarke Verbrennung (Knall) der Paraffindämpfe in der Sauerstoffatmosphäre.

Versuch 22: Explosionsartige Verbrennung von Paraffindampf mit Sauerstoff (n. V. Obendrauf)

Vorbereitung:

1. Herstellung von MnO_2 -Katalysator-Tabletten

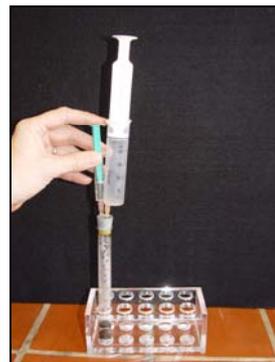
In den Vertiefungen von Tablettenverpackungen lässt man eine mit Wasser angerührte teigige Masse aus etwa 3 Massenteilen Zement und 2 Massenteilen hochaktivem Braunsteinpulver etwa 1-2 Tage verfestigen.

2. Gewinnung von Sauerstoff aus H_2O_2

Ein Gasentwickler, bestehend aus dem Reagenzglas (16/160) wird mit etwa 5 MnO_2 -Katalysator-Tabletten beschickt und mit dem Gummistopfen mit den 2 darin befindlichen Kanülen gut verschlossen. Der Gummistopfen muss trocken und fettfrei sein, damit ein guter Halt gegeben ist.

Die 2-ml-Spritze wird mit H_2O_2 (30 %ig) gefüllt, außen gut abgespült bzw. trocken gewischt und auf einen Kanülensatz fest aufgesetzt. Auf den 2. Kanülensatz steckt man die 20 ml-Spritze und lässt langsam H_2O_2 auf die Tabletten tropfen. Nachdem die Luft aus der Apparatur verdrängt wurde (die ersten 20 ml Gas werden verworfen), kann in der 20-ml-Spritze ziemlich reiner Sauerstoff gesammelt werden.

Katalytisch zersetztes Wasserstoffperoxid setzt Sauerstoff frei, der Verbrennungen fördert:



Durchführung:

Ein Halbmikro-Reagenzglas wird mit kleinen Paraffin-Stücken beschickt und mit dem Microbrenner sehr stark erhitzt bis das Paraffin siedet und sich *weiße Dämpfe* bilden. Die mit Sauerstoff gefüllte Spritze wird mit einer Kanüle versehen, die mit der Spitze ca. 1-2 cm tief in das Reagenzglas gehalten wird. Nun düst man stoßweise in kleinen Portionen (ca. 5 ml) Sauerstoff in die weißen Schwaden.



Auswertung:

Sauerstoff fördert die Verbrennung. Die Paraffin-Dämpfe verbrennen mit Sauerstoff sofort explosionsartig mit lautem Knall und Stichflamme.

2.6 Löschen der Kerze einmal anders

Eine Kerzenflamme kann konventionell durch Auspusten oder Überstülpen eines Gefäßes (Entzug von Sauerstoff) gelöscht werden.

Kann eine Kerzenflamme aber auch mit Hilfe eines Kupferdrahtnetzes oder einer Kupferspirale gelöscht werden?

Versuch 23: Flamme „drücken“ mit einem Kupferdrahtnetz



Durchführung:

Ein Kupferdrahtnetz wird waagrecht von der Flammenspitze bis zum Docht durch die Flamme geführt.

Auswertung:

Die Flamme verkleinert sich, sie wirkt wie abgeschnitten. Oberhalb des Drahtnetzes verschwindet die Flamme. Kupfer ist ein guter Wärmeleiter. Wärme wird also aus der Flamme abgeleitet und damit die Entzündungstemperatur des Paraffins unterschritten. Die Flamme wird gelöscht.

Versuch 24: Die Lösch-Spirale



Durchführung:

Eine locker gewundene Spirale aus Kupferdraht wird in die Flamme geführt.

Auswertung:

Nach kurzer Zeit ist die Flamme gelöscht. Begründung siehe Versuch 22.

Neben dem Herabsetzen der Entzündungstemperatur kann auch Kohlenstoffdioxid als Löschmittel eingesetzt werden. Gelingt das Löschen der Flamme mit Brausetabletten?

Versuch 25: Brausetabletten – Feuerlöscher



Durchführung:

In einen 50-ml Erlenmeyerkolben wird eine Brausetablette gegeben, ca. 25 ml Wasser hinzugefügt und mit einem passenden durchbohrten Stopfen mit Ableitungsrohr verschlossen. Der Ableitungsschlauch ist auf etwa 10 brennende Kerzen zu richten.

Auswertung:

Beim Lösen der Brausetablette in Wasser entsteht CO_2 . Kohlenstoffdioxid ist ein farbloses Gas mit einer größeren Dichte als Luft und hat eine erstickende Wirkung auf Flammen.

Versuch 26: Der Wachsflammenwerfer

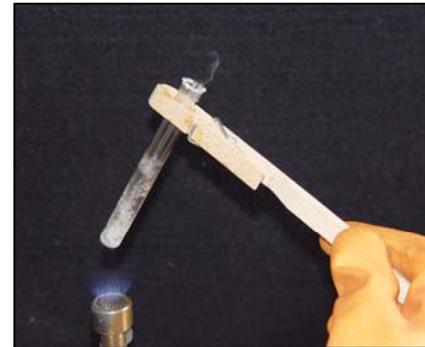
Dieser Versuch kann zur Brandschutzerziehung eingesetzt werden. Fett- und Wachsbrände gehören zu den alltäglichen Gefahren im Haushalt. Intuitiv greifen viele in einer solchen Situation zu Wasser um den Brand zu Löschen. Dieser Versuch zeigt, welche verheerende Folgen das haben kann.

Durchführung:

Vorsicht! Schutzbrille! Sicherheitsabstand !

Ein Reagenzglas wird 2-3 cm hoch mit Wachsstückchen gefüllt. Die Menge bestimmt nachher die Größe der Stichflamme. In unserem Versuch füllten wir ein Halbmikroreagenzglas ca. 2 cm hoch, der Effekt ist immer noch beträchtlich.

Das Kerzenwachs wird zügig bis zum Sieden erhitzt. Es ist wichtig, dass das Wachs richtig siedet und Wachsdämpfe zu beobachten sind! Auch die Siededauer beeinflusst die Größe der Stichflamme.



Anschließend wird das Reagenzglas zügig etwa 3-4 cm in ein Gefäß mit kaltem Wasser getaucht. Dabei ist darauf zu achten, dass die Öffnung des Reagenzglases vom Experimentierenden weg schräg nach oben in eine ungefährliche Richtung zeigt!



Auswertung:

Sofort schießt weißer Rauch aus dem Reagenzglas, der in einem beeindruckendem Feuerball aufgeht - ähnlich einem Flammenwerfer!

Was ist passiert?

Kerzenwachs besteht hauptsächlich aus langkettigen Kohlenwasserstoffen, die beim Erhitzen gespalten werden (gecrackt) werden, wobei sich u.a. Wasserstoffradikale bilden.

Das ca. 400 °C heiße Reagenzglas kühlt sich in kaltem Wasser sprunghaft ab und zerspringt am Reagenzglasboden. Durch die entstandenen Risse dringt Wasser in das Reagenzglas ein, kommt mit dem heißen Wachs in Kontakt und verdampft schlagartig. Durch den sich ausdehnenden Wasserdampf wird das heiße Wachs aus dem Reagenzglas geschleudert und fein verteilt. Durch Hitze, feine Verteilung und dementsprechender guter Durchmischung mit Sauerstoff entzünden sich die Wasserstoffradikale und reagieren unter Flammenerscheinung mit dem Sauerstoff der Luft zu Wasser. Die Flamme wiederum zündet den Wachsdampf. Bei genauer Beobachtung lassen sich zwei Flammenerscheinungen unterscheiden.

Achtung: Dieses Experiment darf nur von Fachleuten unter Beachtung entsprechender Sicherheitsmaßnahmen in geeigneten Fachräumen durchgeführt werden. Es eignet sich keinesfalls als Hausexperiment!

2.7 Alles heiÙe Luft?

Versuch 27: Vergleich der Temperaturen neben und über der Kerzenflamme



Durchführung:

Eine Kerze wird entzündet. Es wird versucht, eine Hand soweit wie möglich von der Seite sowie von oben der Kerze zu nähern.

Auswertung:

Die heißen Verbrennungsgase haben eine kleinere Dichte und steigen nach oben. Daher kann die Hand seitlich sehr nah an die Kerzenflamme gehalten werden. Nach oben ist ein größerer Sicherheitsabstand einzuhalten infolge der aufsteigenden Warmluft.

Was geschieht, wenn Luft erwärmt wird?

Was haben eine Weihnachtspyramide und ein Heißluftballon gemeinsam?

Versuch 28: Wie funktionieren eine Weihnachtspyramide und ein Heißluftballon?



Auswertung:

Die Bewegung (der Antrieb) der Pyramide und das Aufsteigen des „Ballons“ lassen sich auf die Wärmeströmung zurückführen.

Die heißen Verbrennungsgase der Kerze haben eine kleinere Dichte als die umgebende kältere Luft und steigen nach oben, sie erhalten einen Auftrieb. Dabei hinterlassen sie einen luftverdünnten Raum, in den sofort kalte, frische Luft nachströmt (Wärmeströmung).

Mit der aufsteigenden Luft wird Energie übertragen (Konvektion), die z.B. die Pyramidenflügel antreibt oder den Ballon aufsteigen lässt. Die aufsteigende Warmluft ist also in der Lage, Arbeit zu verrichten.

2.8 Kerzen – KNOFF-HOFF

Versuch 29: Wasserkochen in Gefäßen aus Papier bzw. Pappe?



Durchführung:

Aus einem quadratischen Stück Papier etwas festerer Qualität ($l = 27 \text{ cm}$) faltet man eine Papiertüte. Eine Kerze wird entzündet und gezeigt, dass „normales“ Papier sich sofort entzündet. Die Entzündungstemperatur von Papier beträgt etwa 250°C . Nun füllt man die Tüte zur Hälfte mit Wasser und hält sie so lange in die Kerzenflamme bis sich das Wasser merklich erwärmt hat.

Alternativ kann eine Streichholzschachtel verwendet werden. Die Kanten der Schachtel sollten mit Klebeband verstärkt werden.

Auswertung:

Das Wasser kühlt das Papier, so dass die Entzündungstemperatur nicht erreicht wird. Vorsicht bei doppelten Papierschichten! Hier fehlt außen die Kühlung, so dass überstehendes Papier sich schnell an der Kerze entzünden kann.

Versuch 30: „Kerzendimmer“



Durchführung:

Zwei unterschiedlich große Kerzen werden in ein zylindrisches Gefäß gestellt und entzündet. Anschließend wird das Gefäß abgedeckt. Es können Vermutungen darüber angestellt werden, in welcher Reihenfolge die beiden Kerzen erlöschen.

Auswertung:

Die größere Kerze erlischt vor der kürzeren Kerze obwohl Kohlenstoffdioxid als Verbrennungsprodukt entsteht, ein Gas mit einer größeren Dichte als Luft und das sich daher am Boden sammeln müsste. Aufgrund der Wärmeabgabe der Kerzenflammen dehnt sich das Gas aber aus und steigt aufgrund der verringerten Dichte nach oben und löscht die obere Flamme zuerst.

Versuch 31: Feuerwerk mit Apfelsinenschalen



Durchführung:

Durch Zusammendrücken einer (frischen) Apfelsinenschale wird etwas Flüssigkeit in die Flamme einer Kerze gespritzt.

Auswertung:

In der Nähe der Kerzenflamme verbreitet sich ein lebhaftes Funkensprühen, das besonders bei Abdunklung eindrucksvoll ist. Die Apfelsinenschale enthält ätherische Öle, die sich leicht entzünden lassen. Beim Zusammendrücken der Schale spritzen sie in kleinen feinverteilten Tröpfchen heraus. Diese Tröpfchen entzünden sich vielfach in der Kerzenflamme bzw. in deren Nähe, so dass ein Funkensprühen zu beobachten ist.

Versuch 32: Trocken-Shampoo – „Von Zündquellen fernhalten!“



Durchführung:

Trocken-Shampoo wird - entgegen den Gefahrenhinweisen auf der Spraydose - aus ca. 20 cm Entfernung kurz in die Kerzenflamme gespritzt.

Auswertung:

Vorsicht! Hochentzündlich!

Das feinverteilte Trocken-Shampoo, Butan als Treibgas sowie weitere Inhaltsstoffe verbrennen mit eindrucksvoller Stichflamme!

Das Gefahrstoffsymbol und die Gefahrenhinweise sind vom Verbraucher unbedingt zu beachten!

Versuch 33: Wie kommt das Ei unbeschädigt in die Flasche?



Durchführung:

Benötigt wird eine Flasche (Milch- oder Getränkeflasche) mit einem etwas breiteren Hals (etwa zwei Drittel des Durchmessers vom Ei). Eine auf einen Verbrennungslöffel befestigte kurze Kerze wird entzündet und in die Flasche gestellt. Anschließend setzt man ein gekochtes und geschältes „5-Minutenei“, mit der Spitze nach unten auf die Flaschenöffnung.

Auswertung:

Die Kerze erlischt nach kurzer Zeit und wie von Zauberhand „zieht“ sich das Ei scheinbar von selbst in die Flasche.

Die Luft dehnt sich in der Flasche aus und kann z.T. zwischen der Flaschenwand und dem aufgesetzten Ei entweichen. Nach dem Erlöschen der Kerze kühlt sich die Luft ab und zieht sich zusammen. Das Ei rutscht immer tiefer in die Flasche hinein, denn der Luftdruck außen ist größer als der Innendruck der Restluft in der Flasche. Das Ei wird sozusagen in die Flasche hinein gesogen.

Versuch 34: Kerze hinter einer Flasche auspusten?



Durchführung:

Hinter eine dickbauchige Flasche wird eine brennende Kerze gestellt. Nun wird versucht, die Kerze von der anderen Seite her auszupusten.

Auswertung:

Obwohl die Kerze im „Windschatten“ steht, geht sie augenblicklich aus. Durch die runde Form stellt die Flasche für den Luftstrom kein besonderes Hindernis dar.

Er teilt sich vor der Flasche und strömt an beiden Seiten um die Flasche herum und fließt hinter der Flasche - von beiden Seiten kommend - wieder zusammen, so dass er genügend Druck hat, die Flamme zu löschen.

Der Luftstrom erzeugt hinter der Flasche einen Unterdruck, so dass die vorbeiströmende Luft geradezu in diesen Raum „hineingesogen“ und dabei beschleunigt wird.

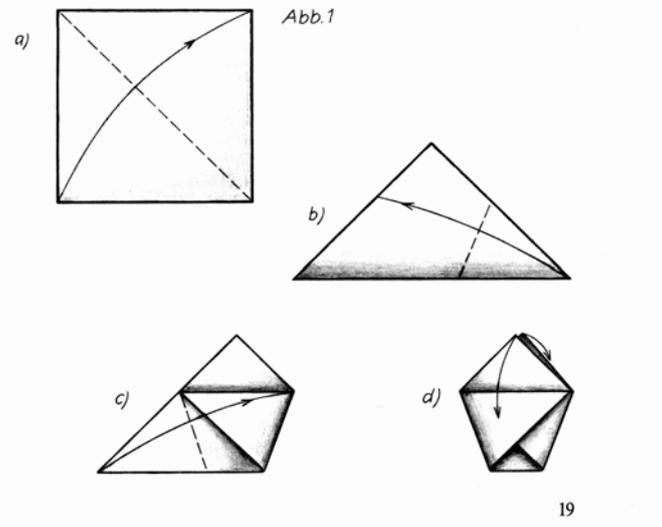
Es ist also zwecklos bei Wind und Sturm hinter einer Plakatsäule Schutz zu suchen!

3 Literatur

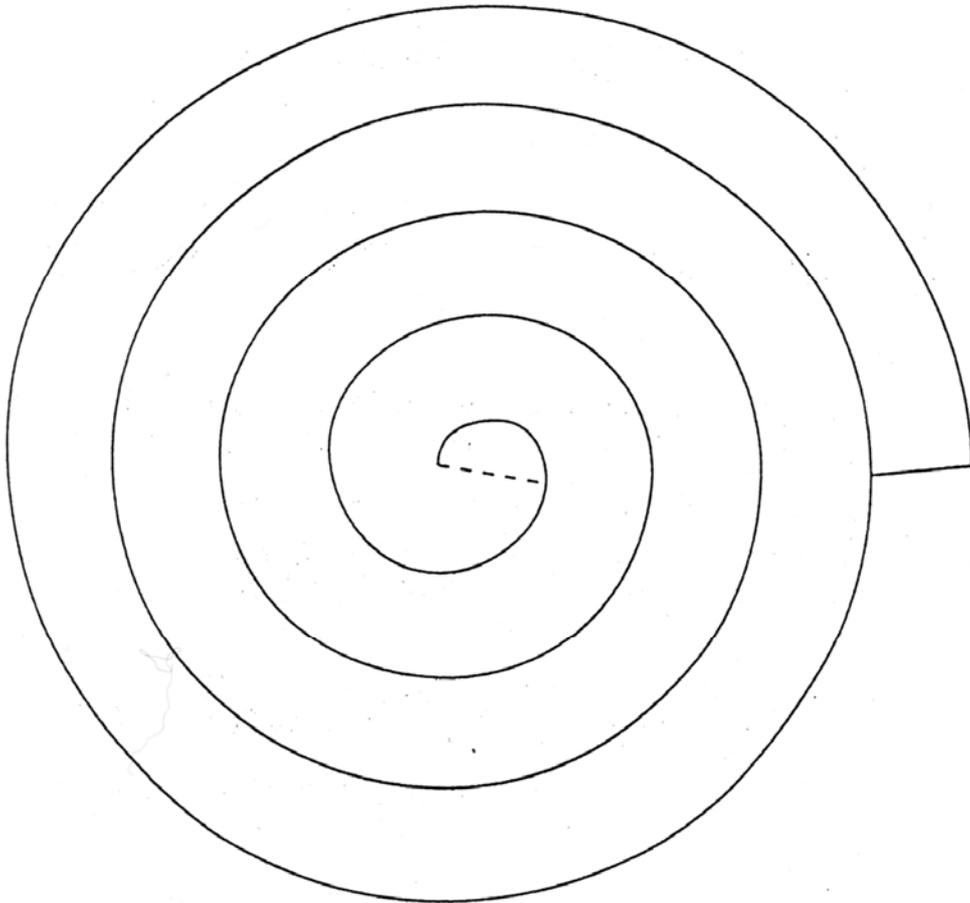
1. Michael Faraday, Naturgeschichte einer Kerze, Verlag Franzbecker KG, Bad Salzdetfurth
2. <http://www.kerzenverband.de/index.html>: Viele Informationen und Materialien über Kerzen
Folgende Literatur kann z.B. bestellt werden:
 - Die Qualitätskerze (Artikel) von Dr. M. Matthäi, Dr. N. Peterleit
Der Artikel beschreibt u.a. die für die Kerzenherstellung verwendeten Roh- und Zusatzstoffe und erläutert den Verbrennungsvorgang in der Kerzenflamme.
 - Kerzen / Wachswaren (Broschüre)
Aus der Praxis - für die Praxis: Information über Rohstoffe, Herstellungsverfahren, die Vorgänge in der Kerzenflamme; Hinweise für Verbraucher;
Verband Deutscher Kerzenhersteller e.V.
3. Johannes Berg, The Chemical History of a Candle – Faradays Weihachtsvorlesung im Chemieunterricht, CHEMKON 2005, 12, Nr.2
4. Klaus Roth; Alle Jahre wieder: die Chemie der Weihnachtskerze: in „Chemie in unserer Zeit“: www.chiuz.de: 2003, 37, S. 424 - 429
5. Georg Schwedt, Chemie in Flammen, Aulis Verlag Deubner, Köln 2004
6. <http://de.wikipedia.org/wiki/Kerze>: Enzyklopädie
7. <http://home.snafu.de/helmert/Kerze/index.htm>: Unterrichtseinheit für den Anfangsunterricht
8. <http://dc2.uni-bielefeld.de/dc2/grundscho.htm>: Unterrichtseinheit Feuer (Grundschule)
9. <http://www.seilnacht.com/versuche/kerze.html>: Unterrichtsskizze zur Einführung der Kerze
10. <http://di-kerzen.de/kerze/kerzi/kerzi1/>: Interessante Informationen rund um die Kerze
11. August Hedinger GmbH & Co. KG – Lehrmittel – Heiligenwiesen 26, 70327 Stuttgart
FAX: 0711/4020536
12. Viktor Obendrauf, Gewichtige „Abluft“, Chem.Sch. (Salzbg.) 18 (2003), Nr.4
13. Victor Obendrauf, Mit H₂O₂ zur „Elephant’s Toothpaste“, Chem.Sch.(Salzbg.) 22 (2007), Nr.4

4 Anhang

4.1 Faltanleitung: Wassertüte



4.2 Vorlage: Spirale



4.3 Umschmelzen von Wachs: Kerzen selber gießen



Kinder nie unbeaufsichtigt Kerzen gießen lassen! Verbrennungsgefahr!

Vorbereitung:

- Kerzenreste sind nach Farben sortiert zu zerkleinern. Die Dochte sind aufzuheben.
- Formen aus Kunststoff oder Metall (Ausstechformen) sind auf der Unterseite mit Alufolie abzudichten und in einen Metalldeckel (Konservenglas) zu stellen.

Durchführung:

- Teelichtbecher werden mit Wachsstückchen gefüllt, auf das Stativ gestellt und das Wachs geschmolzen.

Vorsicht – Wachsschmelze nicht überhitzen! Temperaturkontrolle: ca. 60 °C!

- Sobald alles Wachs geschmolzen ist, werden die Teelichtbecher mit der Tiegelfzange (Wäscheklammer) gefasst und die Schmelze in eine vorbereitete Form gegossen. Schmelze erstarren lassen!
- Das feste Wachs ist aus der Form herauszulösen.
- Das Loch für den Docht kann z.B. mit einem heißen Nagel eingeschmolzen werden. Abschließend wird der Docht eingesetzt. Fertig!
- **Variante:** Wachsreste lassen sich auch sehr gut in einem Edelstahl-Kaffeelöffel schmelzen.

Auswertung:

Das „Kerzengießen“ demonstriert anwendungsorientiert die Änderung des Aggregatzustandes eines Stoffes in Abhängigkeit von der Temperatur.

Wird festes Wachs (Paraffin) erhitzt, schmilzt es bei ca. 60 °C. Durch Abkühlung erstarrt die Schmelze wieder. Bei den Zustandsänderungen ändert der Stoff z.B. die Form, der Stoff mit seinen charakteristischen Eigenschaften bleibt erhalten.

4.4 Das Knatterboot (oder auch Putt-Putt-Boot)

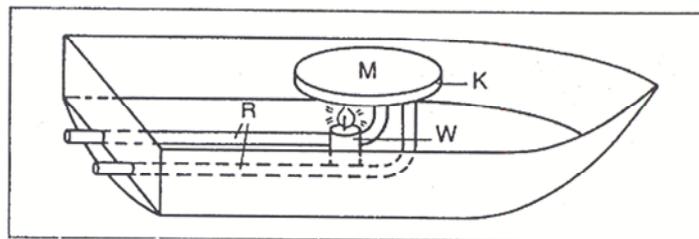


Abb. 1: Schematische Darstellung des Dampf-Jet-Boots K = Kessel, M = Membrane, R = Röhren, W = Wärmequelle

Funktionsprinzip

Eine verbreitete Konstruktion des Motors ist in der Abbildung oben dargestellt: Ein flacher Verdampfer aus Kupferblech ist horizontal über der Flamme positioniert. Von zwei Seiten des Verdampfers laufen die Rückstoßröhren zum Heck des Bootes, wo sie unterhalb der Wasserlinie münden. Die zweite Röhre ist für die Funktion nicht notwendig. Sie erleichtert aber die blasenfreie Befüllung mit Wasser vor der Inbetriebnahme. Erreicht das Wasser den Siedepunkt, kommt es im Verdampfer zu einer schlagartigen Verdampfung und das Wasser in den Röhren wird ausgestoßen. Wegen der Masseträgheit des Wassers in den Röhren und der Abkühlung des Verdampfers durch die Ausdehnung des Dampfes entsteht im Verdampfer ein Unterdruck, der dazu führt, dass durch die Röhren frisches Wasser in den Verdampfer angesaugt wird. Somit beginnt ein neuer Zyklus, der das System in einer permanenten Schwingung hält. Während der Ausstoß schnell und gerichtet erfolgt, geht das Zurückströmen langsamer, weil das Wasser von allen Richtungen angesaugt wird, sodass das Boot vorwärts getrieben wird.

Geräuscherzeugung

Das charakteristische namensgebende knatternde Geräusch des Bootes entsteht nicht direkt durch den Verdampfungsvorgang, sondern durch eine spezielle Konstruktion des Verdampfers: Die Oberseite ist aus Federstahlblech als Knackfrosch ausgeformt, der bei den schnellen Druckwechseln hin- und herspringt und dabei jeweils ein knackendes Geräusch erzeugt.

<http://de.wikipedia.org>

<http://www.wundersamessammelsurium.de/Warmes/PuttPuttBoot/index.html>

www.knatter-tom.de

www.knatterboot.de