

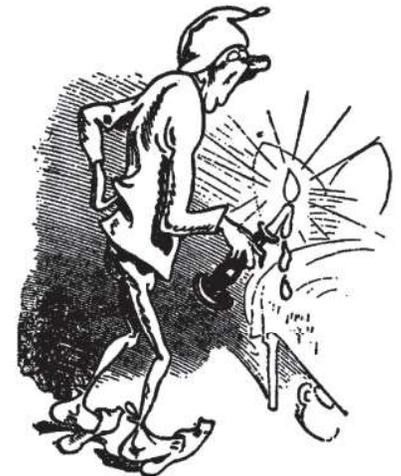
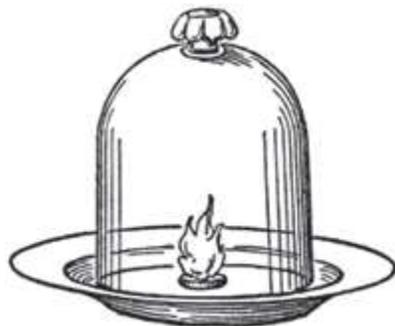


Pottlacher´s dritte Pöllauer Experimentiervorlesung

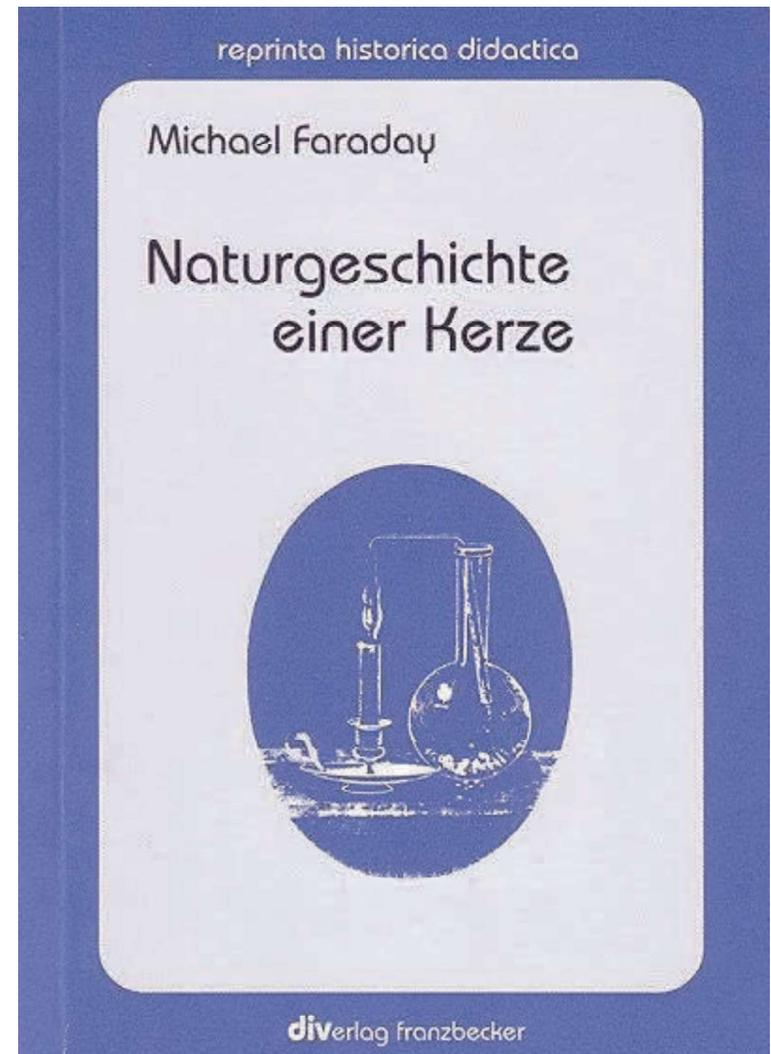
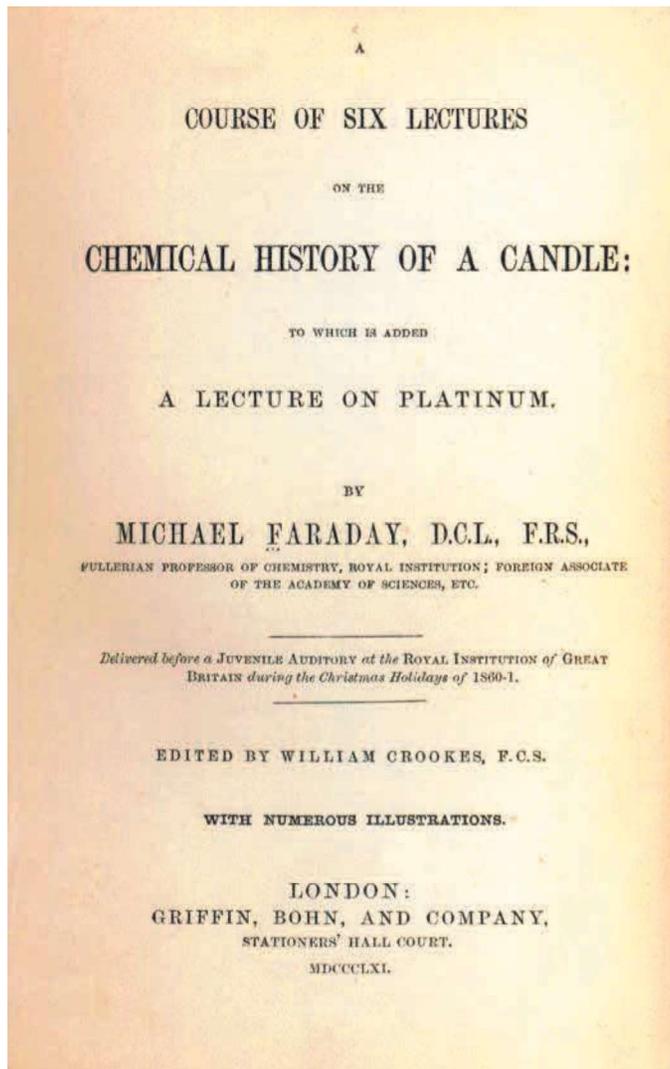
Schloss Pöllau im Freskensaal
8.11.2024

Experimente mit Kerzen –
eine feurige Veranstaltung

Natasha Gstettner - Kamera
Christian Gstettner – Computer
Roland Flois
Vincent Jenner
Gerhard Kelz



M. Faraday, Weihnachten 1860 6 Vorlesungen



M. Faraday, Naturgeschichte einer Kerze, 162 Seiten, Weihnachten 1860

Erste Vorlesung.

Die Kerze - Herstellung - Flamme der Kerze - Schmelz des Brennstoffs - Kapillarität - Verdampfung des Brennstoffs - Gestalt der Flamme - Der aufsteigende Luftstrom - Andere Flammen.

Ich will euch im Laufe dieser Vorlesungen die Naturgeschichte einer Kerze vortragen. Ich habe dieses Thema schon bei einer früheren Gelegenheit gewählt, und wer es meiner eigenen Entscheidung überlassen wäre, möcht ich am liebsten jedes Jahr wieder darüber sprechen. So überaus anziehend ist der Gegenstand, und so wunderbar abwechslungsreich sind die Wege, die von ihm aus zu den verschiedenen Gebieten der Naturbetrachtung führen. Unter den Gesetzen, nach denen unser Welt in allen seinen Teilen regiert wird, gibt es keine das nicht auch bei der Naturgeschichte der Kerze Betracht kommt. Kein besseres und bequemeres Gebiet bietet sich daher für den Eingang zum Studium der Physik. Ich glaube deshalb, daß ich euch nicht enttäuschen werde, wenn ich diesen Gegenstand lieber wähle als ein neueres Thema, das nicht besser sein könnte, wenn es auch noch so gut wäre.

Zunächst möchte ich die Bemerkung vorausschicken, daß ich, wenn wir auch unseren Gegenstand - sein Bedeutung entsprechend würdig, ernst und wissenschaftlich

Dritte Vorlesung.

Entstehung von Wasser bei der Verbrennung der Kerze - Eigenschaften des Wassers - Fester, flüssiger und gasförmiger Zustand - Wasserstoff; Darstellung und Eigenschaften - Verbrennung des Wasserstoffs zu Wasser - Die Voltaische Säule.

Ihr werdet euch erinnern, daß ich kurz vor unserem Auseinandergehen das Wort „Verbrennungsprodukte“ gebrauchte. Wenn eine Kerze brannte, konnten wir, wie wir gesehen haben, bei einer geeigneten Versuchsanordnung verschiedene derartige Produkte auffangen. Den einen Stoff konnten wir nicht erhalten, wenn die Kerze richtig brannte: die Kohle oder den Rauch; ein anderer Stoff stieg von der Flamme auf und erschien nicht als Rauch, sondern nahm eine andere unsichtbare Form an, indem er einen Teil des Stromes bildete, der stets von jeder Kerze aufsteigt und entweicht. Es waren ferner noch andere Produkte zu erwähnen. Ihr erinnert euch, daß wir in dem Strom, der von der Kerze seinen Ausgang nimmt, einen Bestandteil fanden, der sich an einem kalten Löffel oder an einem reinen Teller oder an irgendeinem kalten Gegenstand verdichten ließ, und daß sich andererseits ein zweiter Teil nicht verdichten ließ.

Wir wollten zuerst den verdichtbaren Teil genauer untersuchen; seltsamerweise finden wir, daß er Wasser ist - nichts als Wasser. Während ich das vorige Mal

Nachweis und Gewicht der Kohlensäure 133

(Fig. 32), das nichts als Luft enthält, und versuche nun es einem anderen, das voll Kohlensäure ist, etwas hinzuzugießen; ich bin neugierig, ob etwas hineingelassen oder nicht. Durch den Augenchein ist das nicht zu kennen, wohl aber auf diese Weise: [er bringt einen brennenden Wachsstock hinein] - seht, die Flamme erlischt; wir haben also Gas in das andere Gefäß hineingegossen. Ebenso deutlich erkenne ich die Kohlensäure mit alkalischem Wasser nachweisen. Jetzt werde ich einmal dies Glimmerchen in einem „Kohlensäurebrunnen“ hineinfließen lassen - es gibt leider oft wirkliche Kohlensäurebrunnen - und wenn da unten Kohlensäure ist, muß sich jetzt damit füllen; wir ziehen es wieder herauf und lassen seinen Inhalt mit einem brennenden Wachsstock da sehen - es ist Kohlensäure. Daß Kohlensäure ein schweres Gas ist, kann ich euch noch an folgendem Experiment (Fig. 33). Ich habe hier an das eine Ende des Balkens einer Waage ein Gefäß gebunden und es mit einem Gewicht auf der andern Seite ins Gleichgewicht gebracht. Gieße ich nun diese Kohlensäure in das Gefäß

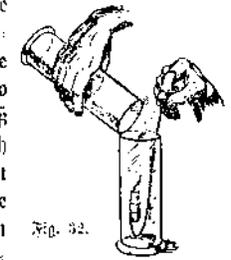


Fig. 32.

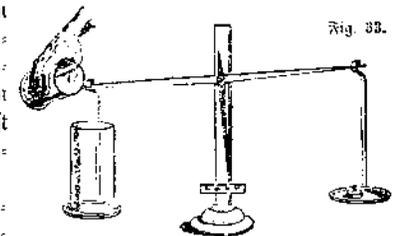


Fig. 33.

Inhalt

- Geschichtliche Entwicklung der Kerze
- Verwendete Materialien
- Herstellung von Kerzen
- Funktionsweise der Kerze
- Aufbau der Kerzenflamme

- Die Experimente

1 Kerze allgemein

2 Flamme

3 Lichttechnik

4 Anzünden von Kerzen

5 Optik

6 Bewegen von Kerzenflammen

7 Brandheisse Experimente

8 Auslöschen von Kerzen

Definition der Kerze

Im Universallexikon aus dem Jahre 1738 wird die Kerze noch sehr 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«*

Heutzutage sind Kerzen Lichtquellen, haben als wesentlichste Merkmale einen (oder mehrere) Docht(e) und sind von einer festen Brennmasse umgeben.

Sowohl mit der Definition von 1738 als auch mit der RAL 040 A2 ist eine deutliche Abgrenzung des Begriffs Kerze von

Öllampen, Öl oder andere brennbare Flüssigkeiten enthaltende Gefäße, Fackeln, Kienspan, Wunderkerzen usw. gegeben.

Daran ändert auch die gemeinsame Funktion der Erzeugung von Licht nichts.

Keine Kerzen



Geschichte der Kerze

Die Erfindung der Kerze liegt mindestens 5.000 Jahre zurück. Diese hatten allerdings mit den Kerzen, wie wir sie heute verwenden, nur wenig gemeinsam. Sie bestanden aus Stroh, Hanf oder Schilfrohr, das in Fett oder Harz eingetränkt wurde.

Die **antiken Römer** haben gerollten Papyrus wiederholt in flüssigen Talg oder flüssiges Bienenwachs getaucht. Frühe **chinesische Kerzen** wurden durch Eingießen in Papierrohre hergestellt, wobei Dochte aus gerolltem Reispapier und eine Kombination aus Wachsen von einheimischen Insekten und Samen verwendet wurden. **In Japan wurden Kerzen** aus dem Wachs von Baumnüssen gemacht. In **Indien wurde Kerzenwachs** durch Kochen der Früchte des Zimtbaumes gewonnen.

Die ersten westlichen Kulturen waren hauptsächlich auf Kerzen aus tierischem Fett (Talg) als Basis angewiesen. Eine bedeutende Verbesserung fand im Mittelalter statt, als in Europa Kerzen aus Bienenwachs aufkamen. Im Gegensatz zu tierischem Talg brannte Bienenwachs nicht mit einer qualmenden Flamme sondern rein und sauber. Außerdem gaben diese Kerzen einen angenehmen süßen Geruch ab und rochen nicht mehr verdorben und beißend nach Talg. Bienenwachskerzen wurden verbreitet für kirchliche Zeremonien benutzt, aber da sie sehr teuer waren, konnten es sich nur wenige Wohlhabende leisten, diese auch zu Hause abzubrennen.

19, 20. Jahrhundert

Um 1820 entdeckten französische Chemiker wie man Fettsäuren aus tierischen Fetten gewinnen kann. Dies führte zur Entwicklung von Stearin, das hart und unverderblich war und sauber brannte.

Paraffin trat erstmals um 1850 auf, nachdem Chemiker herausgefunden hatten, wie die natürlich vorkommende wächserne Substanz effizient von Erdöl getrennt und aufbereitet werden kann. Das geruchlose, bläulichweiß gefärbte Paraffin brennt sauber und gleichmäßig und ist günstiger herzustellen als alle anderen Kerzenbrennstoffe.

Mit der Vorstellung der Glühlampe im Jahr 1879 verlor die Kerzenherstellung an Bedeutung.

In der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts erfreuten sich Kerzen wieder einer größeren Beliebtheit, denn das Wachstum der Ölindustrie und der Fleischverarbeitung führten zur reichlichen Verfügbarkeit der Nebenprodukte, die zum Grundstoff von Kerzen geworden waren.

Die Beliebtheit der Kerzen blieb bis Mitte der 1980er Jahre mehr oder weniger konstant. Ein zunehmendes Interesse an Kerzen als Dekorationsbestandteil, als Stimmungsbereiter und als Geschenk führte dazu, dass Kerzen plötzlich in vielen Größen, Formen und Farben erhältlich waren und sich auch Duftkerzen bei den Verbrauchern durchsetzen konnten.

Seit mehr als einem Jahrhundert wurden wieder neue Kerzenbrennstoffe entwickelt.

In Europa kam zum Teil Palmwachs in Kerzen zum Einsatz, das im Vergleich zu Paraffin weicher ist. In der USA konzentrierte man sich auf Wachse aus Sojabohnen.

Paraffin: Die für die heutige Kerzenproduktion eingesetzten Paraffine werden überwiegend aus dem fossilen Rohstoff Erdöl gewonnen. Die Erstarrungspunkte der für die Kerzenherstellung gebräuchlichen Paraffine liegen zwischen 45° C und 70° C .

Aufgrund ihrer Eigenschaften sind Paraffine für alle Kerzenherstellungsverfahren geeignet.

Stearin: Ist ein festes, kristallines Gemisch verschiedener Fettsäuren, das aus Palmitin und Stearinsäure besteht. Es wird normalerweise nicht den Wachsen zugeordnet.

Ausgangsprodukte für die Herstellung von Stearin sind tierische bzw. pflanzliche Fette und Öle. Als pflanzlicher Rohstoff ist vorrangig Palmöl zu nennen. Tierische Rohstoffe sind hauptsächlich Rinder- und Schweinetalg, seltener Fischöl oder Fischfett. Die Hersteller setzen heute vorwiegend pflanzliche Stearine ein.

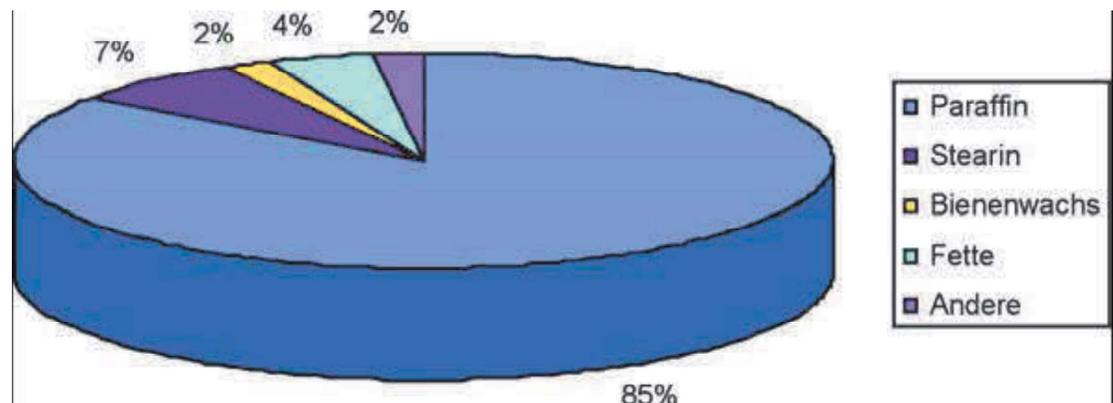
Der Erstarrungspunkt liegt im Bereich von 52° C bis 60° C . Eine Besonderheit der Stearine besteht darin, dass Erweichungs- und Schmelzpunkt nahezu identisch sind. Darauf ist auch die sehr gute Temperaturstabilität von Stearinkerzen zurückzuführen.

Die fehlende Plastizität bedingt, dass reine Stearinkerzen vorwiegend im Gießverfahren hergestellt wurden.

Bienenwachs: Als ältester Kerzenrohstoff – ist ein Stoffwechselprodukt der Honigbiene. Dieser Rohstoff steht nur begrenzt zur Verfügung.

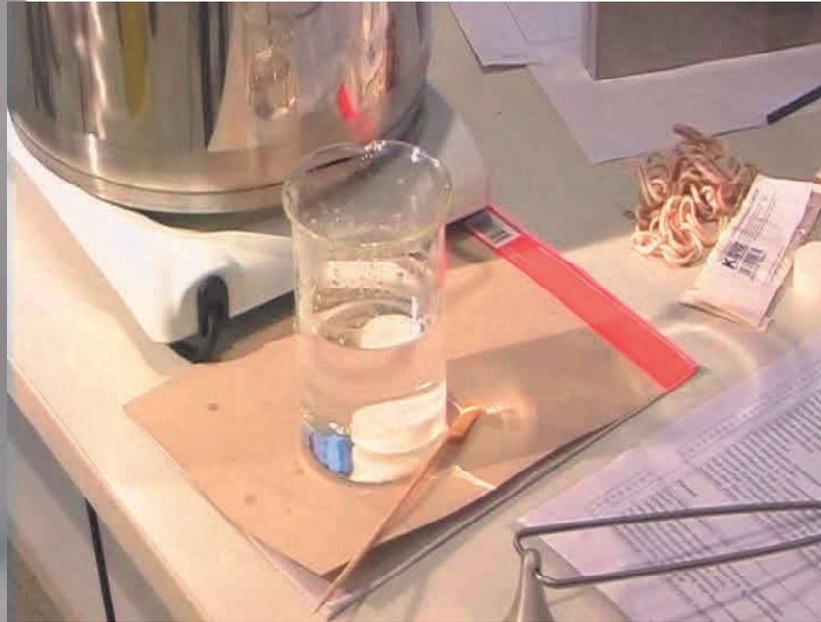
Der Schmelzpunkt des Bienenwachses liegt bei ca. 65° C .

Rohstoffe





Eiswürfel in
Wasser



Festes Wachs
in flüssigem Wachs



Eiswürfel in Wasser

Essigsäure Würfel
in Essigsäure

Wie werden heute Kerzen hergestellt?

Pressen

Das Pressen geschieht in sogenannten Pressmaschinen. Dieses Verfahren ermöglicht die Herstellung von Teelichte, Stumpen und Tafelkerzen. Es ist das gängigste Verfahren:

Das Strangpressverfahren

Der Kerzenrohstoff wird als Granulat zusammen mit dem Docht in einem Zylinder unter hohem Druck gepresst. Am Ende der Presse wird ein endloser Strang durch die Maschine, der dann in die gewünschte Länge geschnitten wird.

Das Pulverpressverfahren

Hierbei wird der Rohstoff in Pulverform zusammen mit dem Docht zu einer Kugel gepresst. In diesem Verfahren können die Werkzeuge so eingestellt werden, so dass sich Kerzen unterschiedlicher Länge und Durchmesser von einer Maschine herstellen lassen.



Ziehen

Beim Ziehen wird der Docht durch eine geschmolzene Wachsmasse gezogen. Dabei legt sich eine Wachsschicht um den Docht. Dieses Verfahren wird solange wiederholt, bis sich ausreichend Schichten um den Docht gelegt haben und der Kerzenstrang die gewünschte Dicke erreicht hat. In der durchschnittlichen Kerze sind die Schichten wie die Ringe eines Baumes zu erkennen.

Gezogene Kerzen sind durchgefärbt. Durch die besondere Art der Herstellung haben sie eine außerordentlich lange Brenndauer und eine sehr schöne Flamme.

Gießen

Das Gießen ist eine der ältesten Produktionsarten überhaupt. Beim Gießen benötigt man eine Form. In diese Form wird der Docht eingespannt. Danach wird sie mit flüssigem Wachs gefüllt. Nach dem Abkühlen kann man die fertige Kerze entnehmen. Diese Herstellungsart eignet sich für besondere Kerzenformen, die sich durch andere Produktionsmethoden nicht erreichen lassen.

Auftauchen (oder Tunken)

Die Herstellung erfolgt hierbei durch wiederholtes Eintauchen des Dochtes in eine flüssige Wachsmasse, bis die gewünschte Stärke der Kerze erreicht ist. Getunkte Kerzen haben typischerweise eine nach oben spitz zulaufende Form und sind durchgefärbt.

Rollen

Bienenwachsplatte wird um Docht gerollt

Wachs brennt

Bei einer Kerze ist Wachs der Brennstoff. Wachs besteht aus einfach gebauten Kohlenwasserstoffketten : ca. 18 - 20 Kohlenstoffatome ($C_{20}H_{42}$), die an den Seiten noch Wasserstoffatome tragen.

Bei Zimmertemperatur ist Wachs fest; zündet man den Docht an, beginnt das Wachs zu schmelzen, das Wachs wird "flüssig" - und vom Docht durch Kapillarwirkung hochgesogen, in der starken Hitze lösen sich die Kohlenwasserstoffketten vom Docht und zerbrechen schliesslich in kurzen Stücken als Gase. Diese Spaltung durch Hitzeenergie nennt man "Pyrolyse"; die kurzen Bruchstücke sind viel reaktionsfreudiger als die langen, trägen Wachsketten.

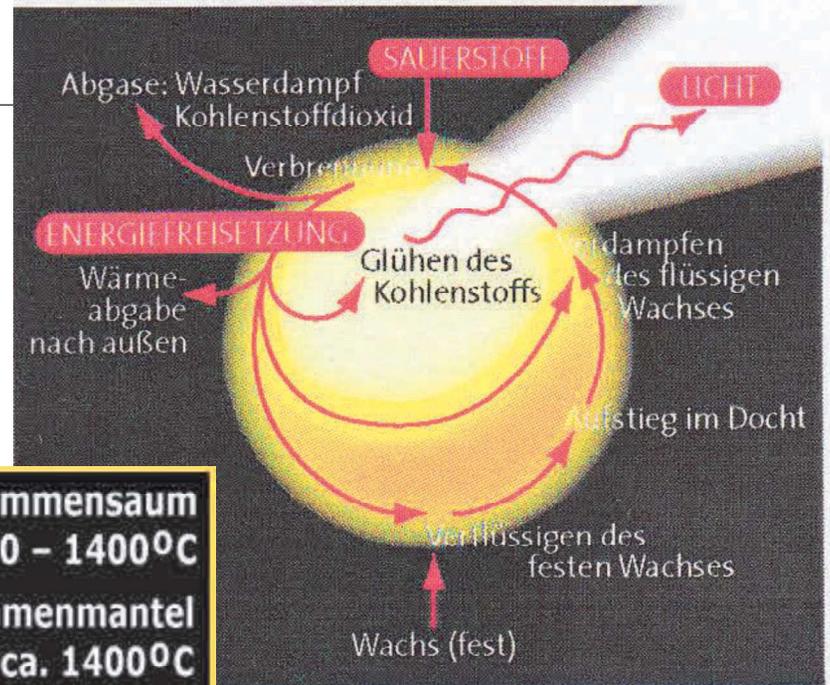
Jetzt kommt der Luftsauerstoff und reagiert mit dem Wasserstoff in den Bruchstücken. Aus Sauerstoff und Wasserstoff entsteht unsichtbarer Wasserdampf. Dabei wird viel Energie in Form von Licht und Wärme frei. Diese Energie zerlegt immer mehr Brennstoff in kleine Bruchstücke, die dann wiederum mit Sauerstoff reagieren. Eine **Kettenreaktion** ist in Gang gekommen. Das Feuer brennt von alleine weiter. Ein Teil der Energie wird dabei in Form von blauem Licht abgestrahlt, wie es an der Basis der Kerzenflamme sichtbar ist.

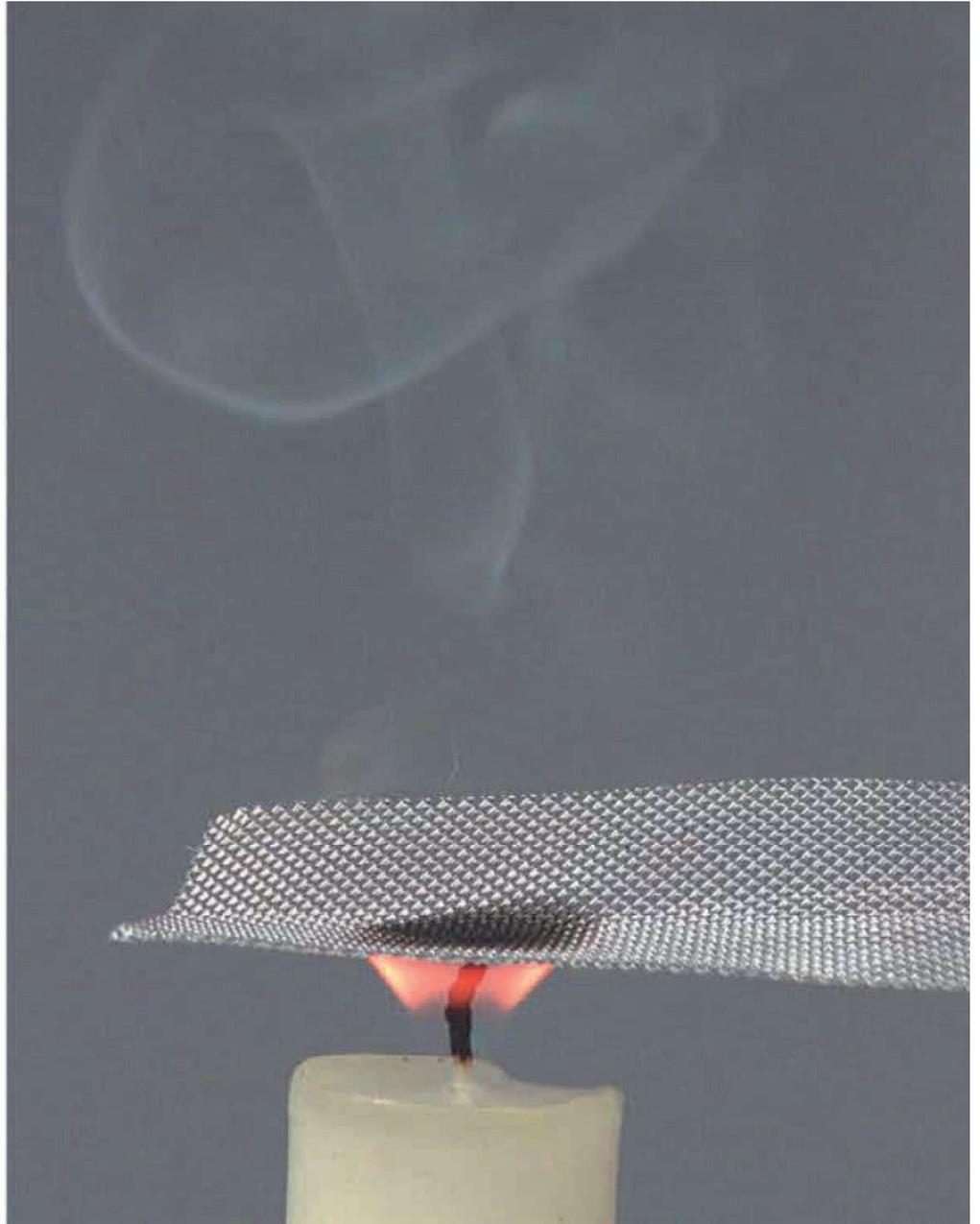
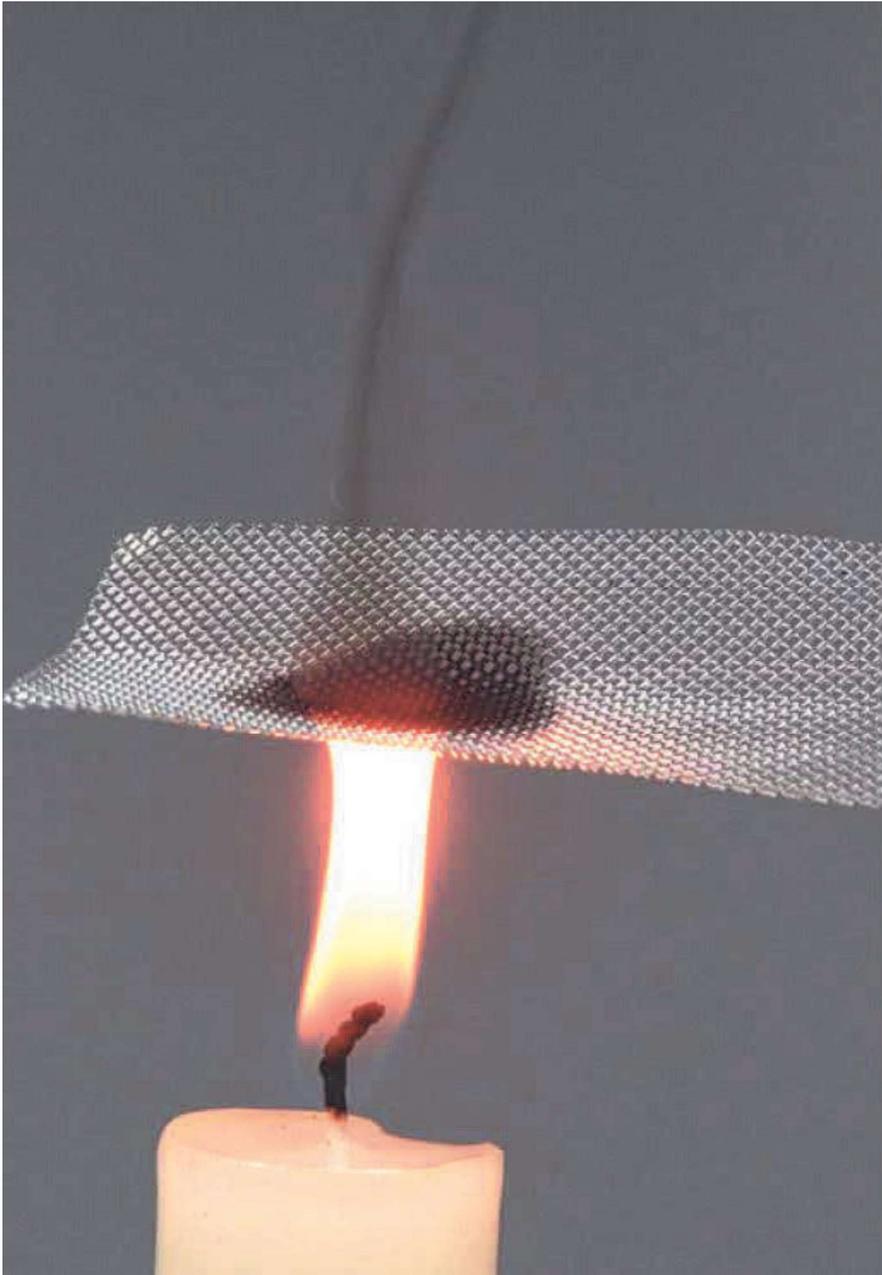
Zurück bleiben die Kohlenstoffatome, die kleine, kugelförmige Russpartikel bilden; diese Russpartikel sind über 1000 Grad Celsius heiss und glühen in dem warmen, gelben Licht, das eine Kerze so gemütlich macht.

Während sich die glühenden Russpartikel nach oben bewegen, reagieren auch sie mit dem Luftsauerstoff und werden zu Kohlendioxid. Auch dabei wird Energie frei, die zum Teil in Form von Hitze abgestrahlt wird und zum Teil den Zerlegungsprozess an der Basis der Flamme aufrechterhält .

Der reine Kohlenstoff verbrennt erst oberhalb der gelben Flamme bei $T > 1000^\circ \text{C}$.

Vorgänge beim Brennen der Kerze



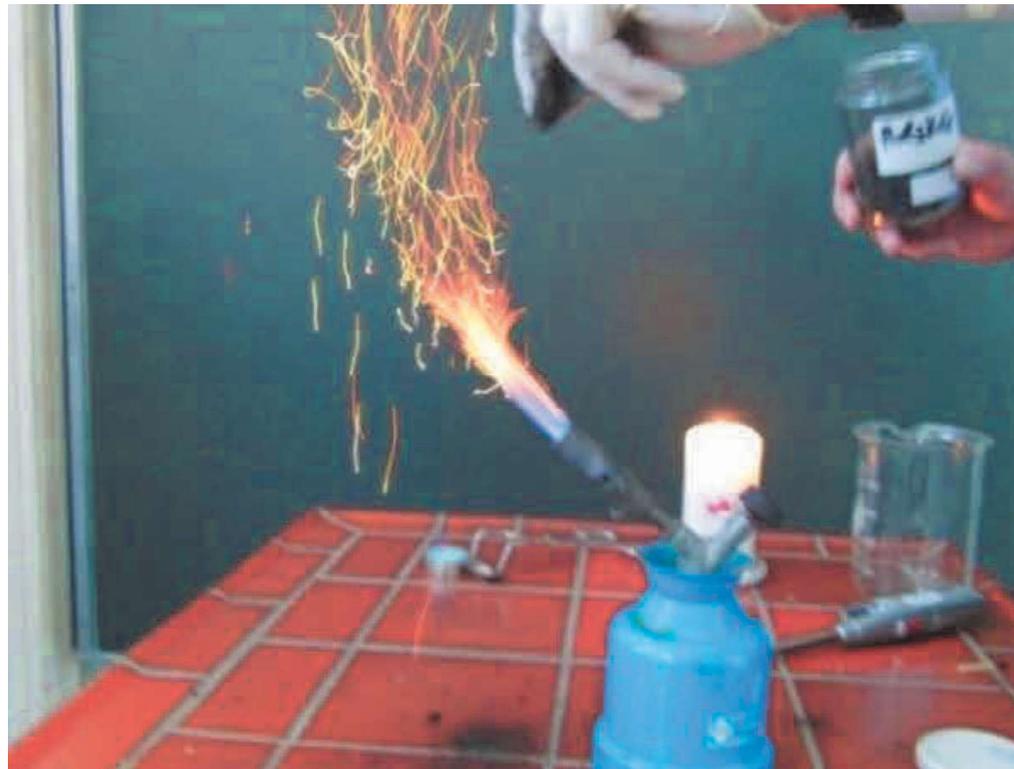




Eis – Wasser am Löffel

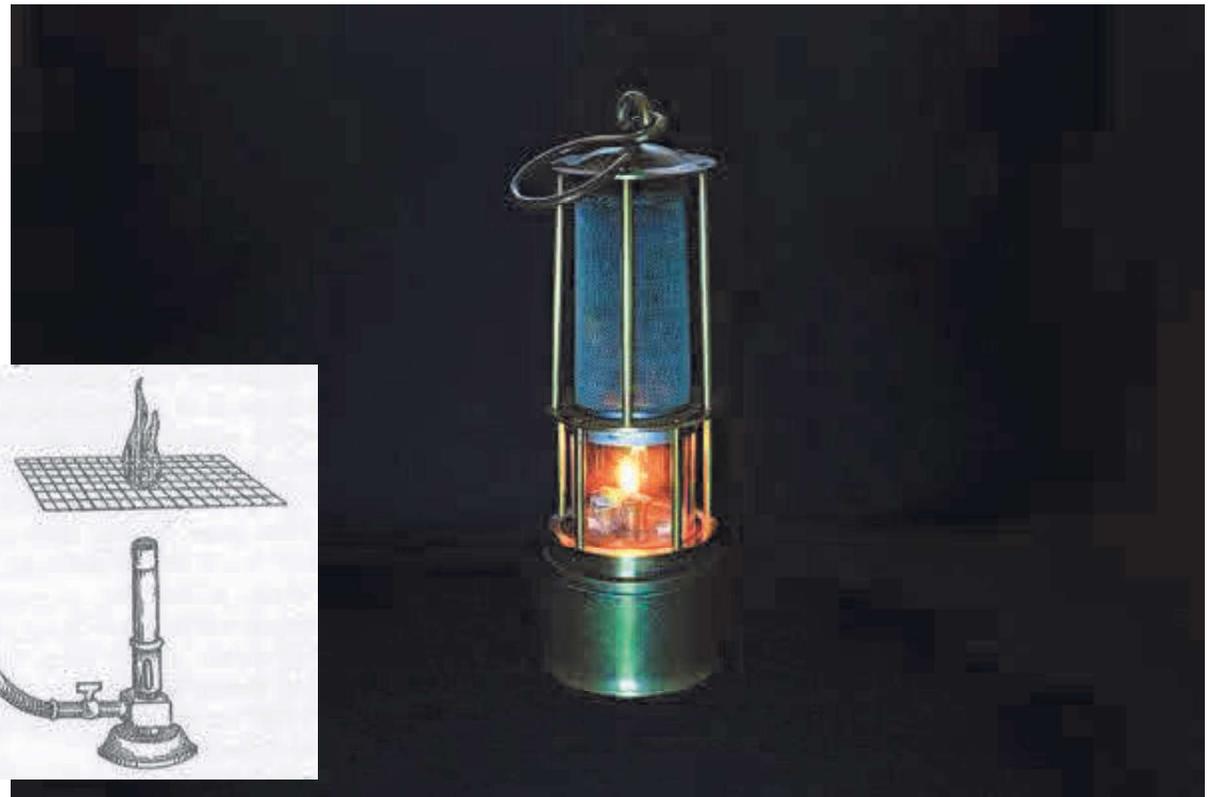
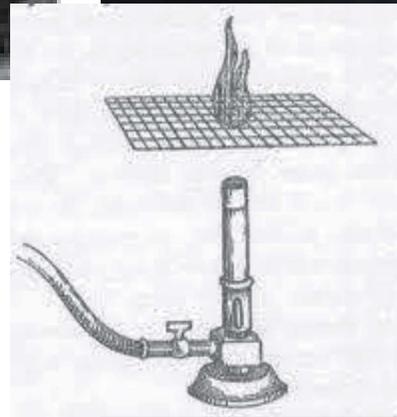


Ruß am Stäbchen

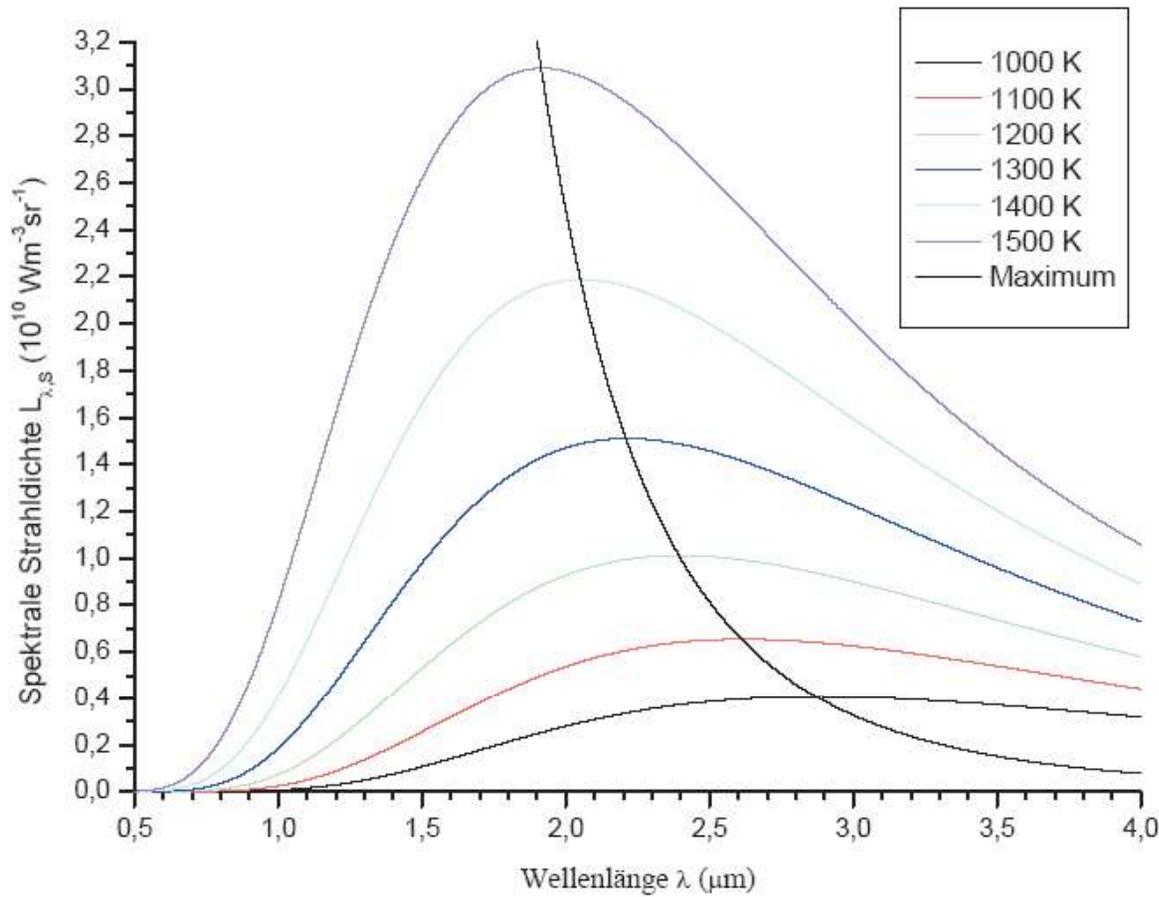


Ruß leuchtet in Bunsenbrennerflamme

Sicherheitslampe von Sir Humphry Davy

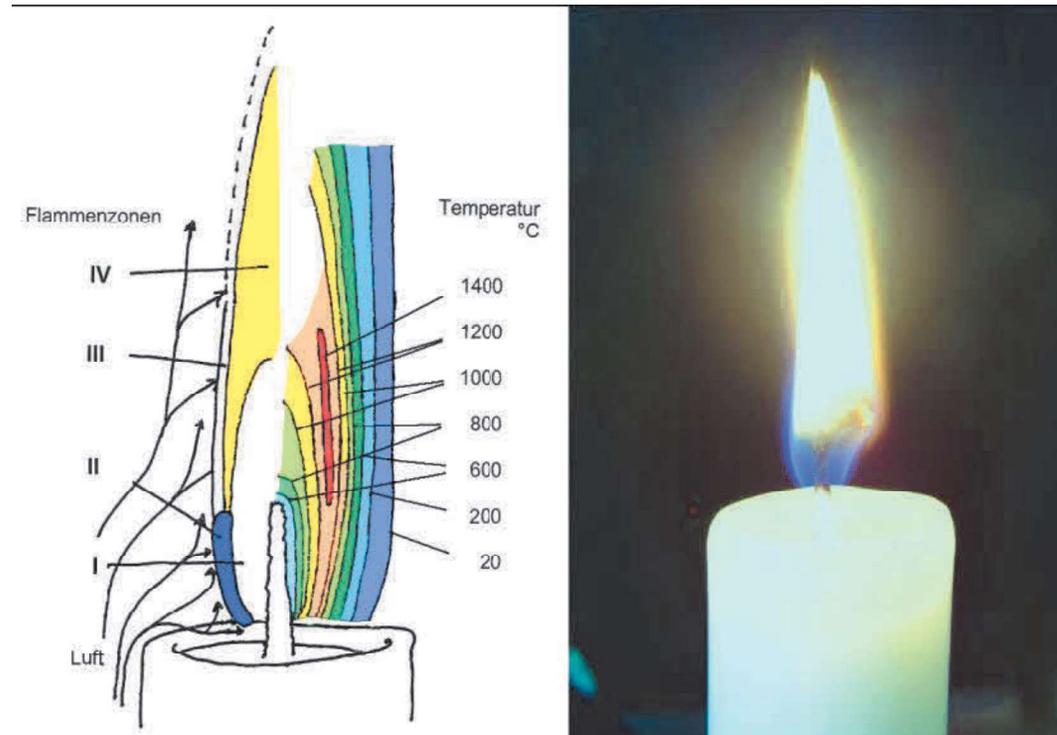


Planck'sches Strahlungsgesetz



$$L_{\lambda,S}(\lambda, T) = \frac{c_1}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1}$$

Die Kerzenflamme



Rechts: Real

Nach längerer Brennzeit erreicht der Docht seine maximale Länge. Durch die erwünschte Dochtkrümmung verbrennt die Dochtspitze im heißesten Flammenteil, die Dochtlänge bleibt unverändert und die Kerze brennt russfrei ab.

Links: Idealisiert.

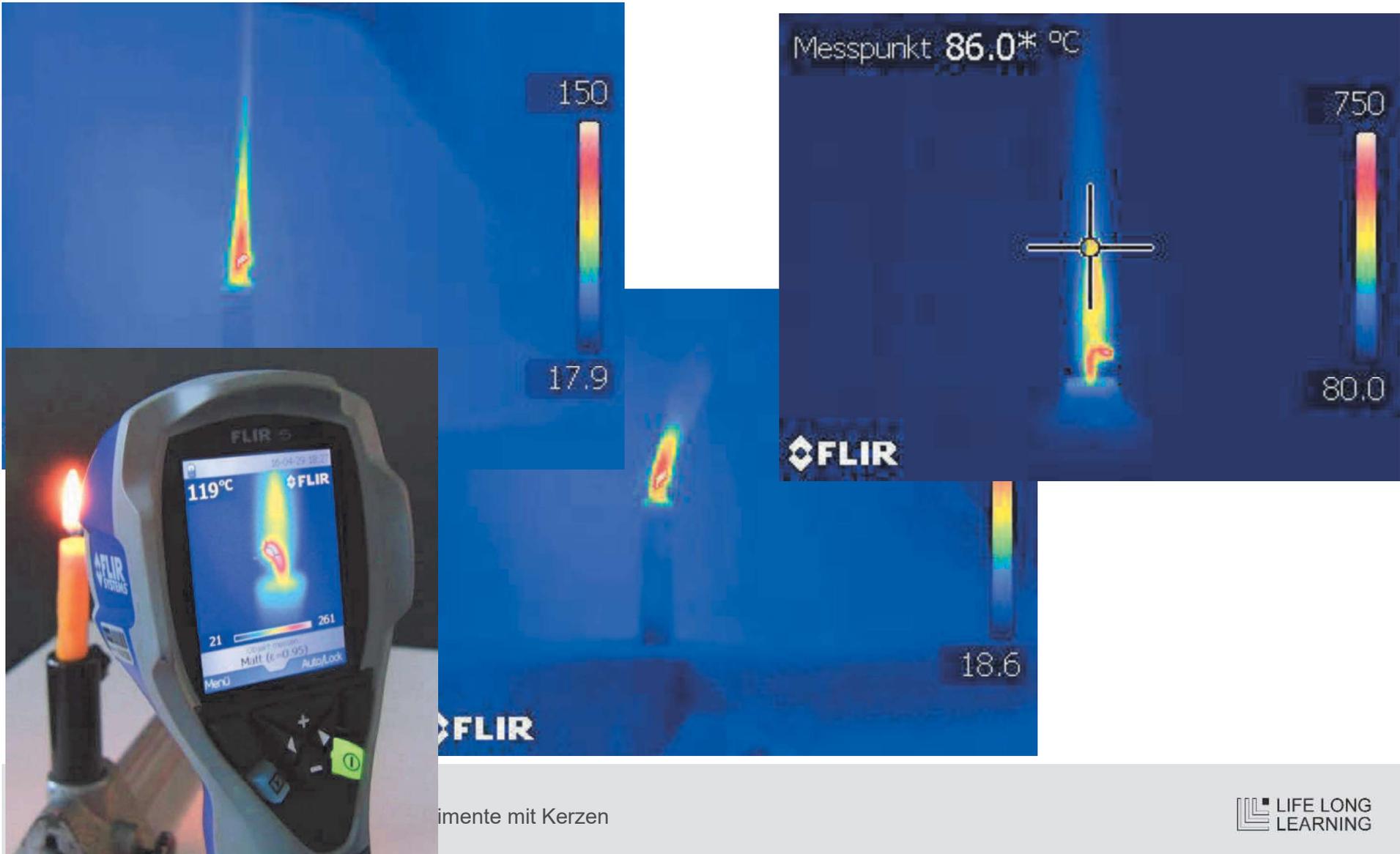
Die Flammenform wird durch Konvektionsströmungen bestimmt, da die aufsteigenden, heißen Verbrennungsgase kalte Frischluft von der Seite und von unten anziehen und dadurch die Flamme vertikal in die Länge strecken.

Docht

- Der Docht aus Baumwollmaterial beeinflusst entscheidend das Brennverhalten einer Kerze.
- Der Docht reguliert das Schmelzen, Aufsaugen, Verdampfen und Verbrennen der eingesetzten Brennmasse.
- Benetzbarkeit, Kapillarbildung und möglichst rückstandsfreies Verbrennen sind wichtige Anforderungen.
- Die Krümmung des Dochtes in der Flamme kann darüber hinaus durch das Einbringen spezieller Fäden beeinflusst werden.
- Die anorganischen Bestandteile der Dochtpräparation bilden Mikroschmelzperlen an der Dochtspitze und verhindern das Weiterglühen des Dochtes nach dem Auslöschen.



Konvektion über Kerze mit Thermokamera



Abschließende Beobachtungen an einer Kerzenflamme

Der Docht ist immer etwa gleich lang.

Die Flamme ist immer etwa gleich hoch.

Die Flamme beginnt nicht direkt am Docht.

Wasser kann als Kondensat nachgewiesen werden.

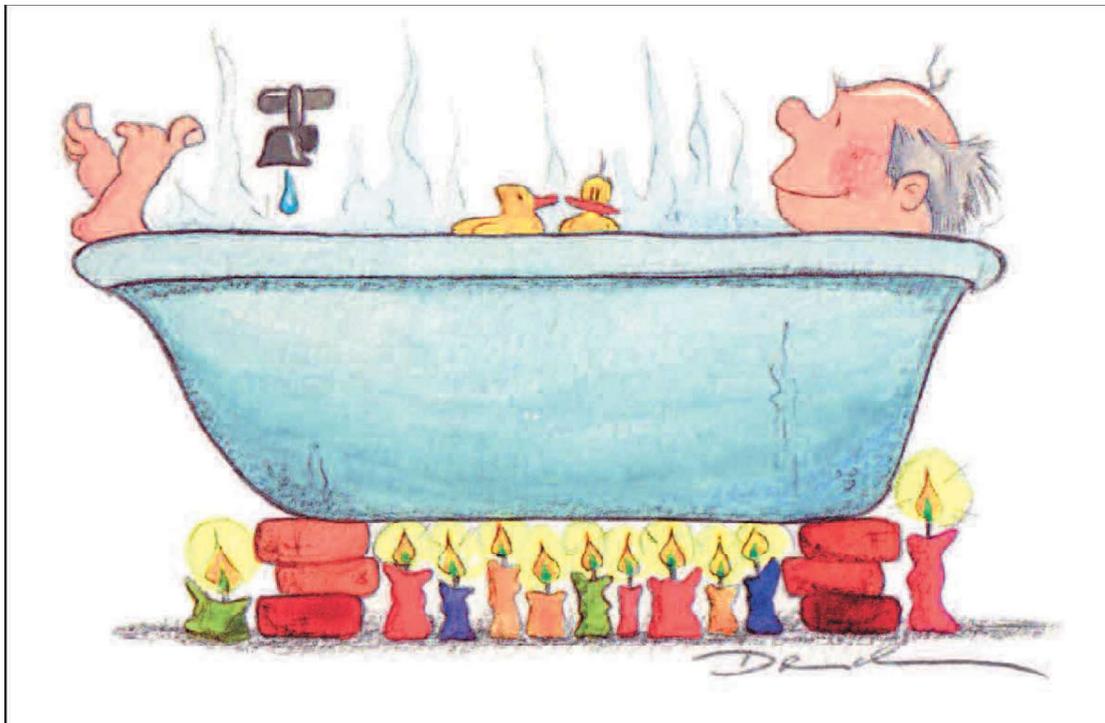
Russ ist nur im gelben Teil nachzuweisen.

Über der Flammenspitze gibt es keinen Russ mehr.

CO lässt sich im gelben Teil der Flamme nachweisen.

Wenn die Flamme leicht angeblasen wird, bildet sich eine Russwolke.

Energieinhalt einer Kerze



Ein Teelicht hat etwa 35 W,
eine Kerze bis zu 100 W

Eine brennende Kerze unter Einfluss der irdischen Schwerkraft und im schwerelosen Raum



Links: Im Schwerfeld der Erde brennende Kerze (Durchmesser 5 mm).

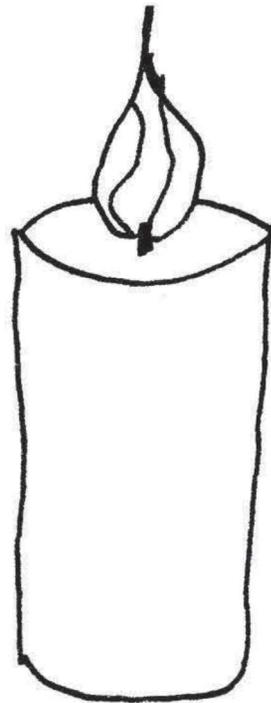
Rechts: Die gleiche Kerze im schwerlosen Raum. Dieses Foto wurde mit sehr langer Belichtungszeit aufgenommen, da das blaue Kerzenlicht sehr schwach und von den Astronauten mit bloßem Auge kaum erkennbar ist.

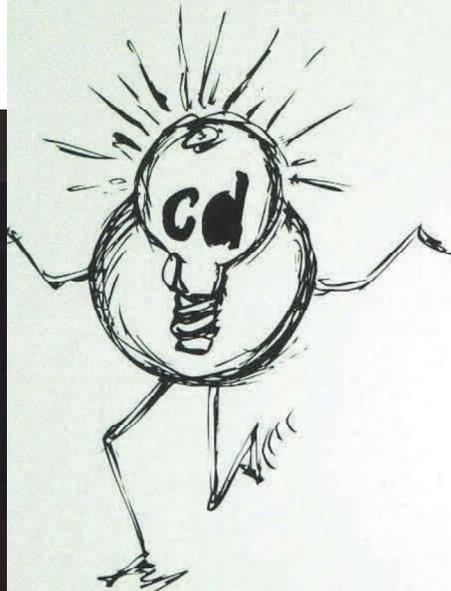




Diffusion von roter Farbe in Paraffin

Ein bisschen Lichttechnik zur Kerze





Die Candela

Die Candela ist die Lichtstärke in einer bestimmten Richtung einer Strahlungsquelle, die monochromatische Strahlung der Frequenz $540 \cdot 10^{12}$ Hertz aussendet und deren Strahlstärke in dieser Richtung $(1/683)$ Watt durch Steradian beträgt.

Hefnerkerze (HK)

Ein Lichtnormal muss folgende Bedingungen erfüllen:

1. In einer bestimmten Richtung unter bestimmten äußeren Bedingungen eine konstante Lichtstärke haben.
2. Leicht reproduzierbar sein, so dass die einzelnen nach bestimmten Vorschriften hergestellten Lichtquellen untereinander vergleichbar sind, d.h. die Lichtstärke in einer bestimmten Richtung bei bestimmten äußeren Bedingungen
3. Die Farbe der Lichtquelle muss eine bestimmte sein.



Von allen diesen Bedingungen ist die im Jahre 1890 festgelegt war. Sie sind in der folgenden Tabelle angegeben. Die Richtung der Lichtmessung ist reiner aus dem Brenner aus der gesättigten Flamme. Dochtröhrchen. äußere

vollkommen ausfüllt bei einer Flammenhöhe von 40 mm vom Rande des Dochtröhrchens aus und wenigstens 10 Minuten nach dem Anzünden gemessen".

$$1\text{HK} = 0,9 \text{ cd}$$

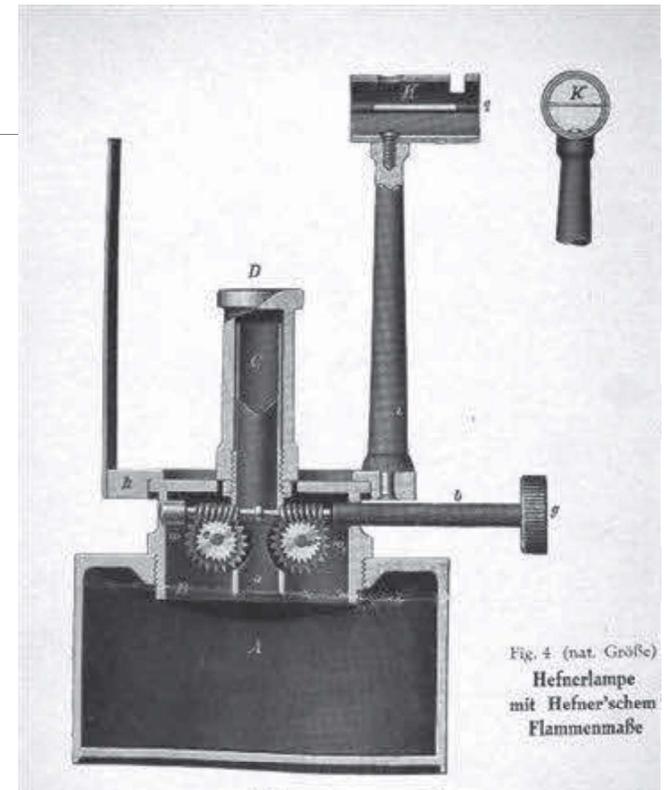


Fig. 4 (nat. Größe)
Hefnerlampe
mit Hefner'schem
Flammenmaße

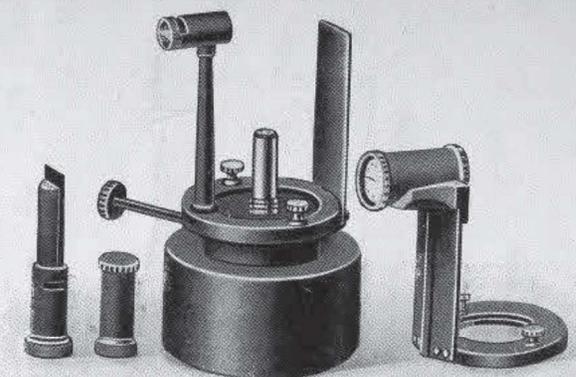
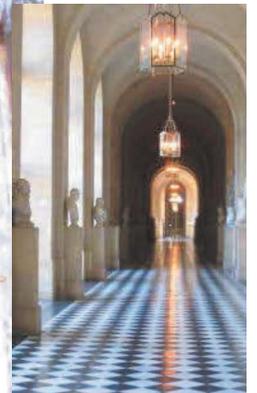


Fig. 1 Maßstab 1:5
Hefnerlampe mit Zubehör

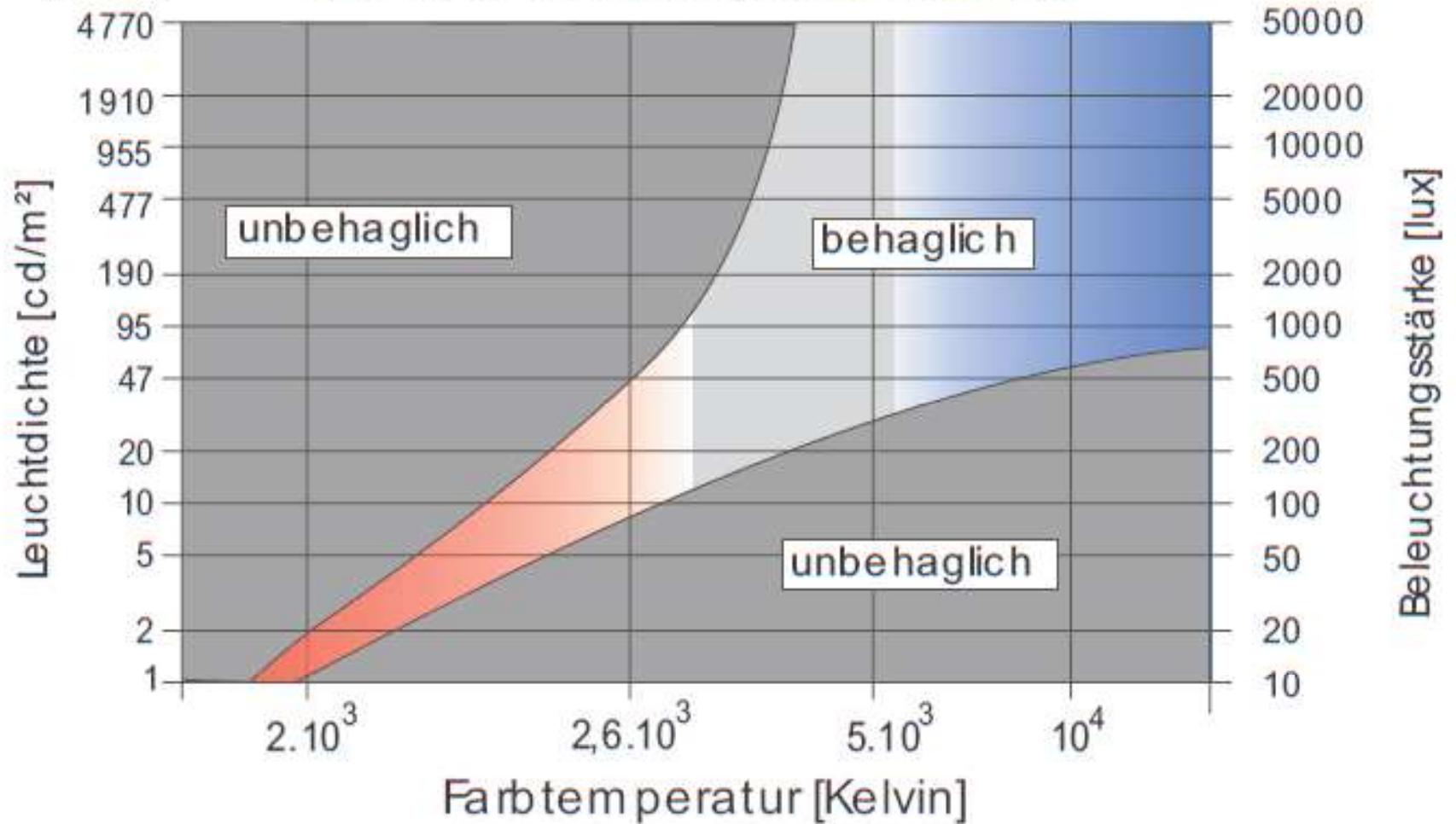


Diverse Kerzenlampen

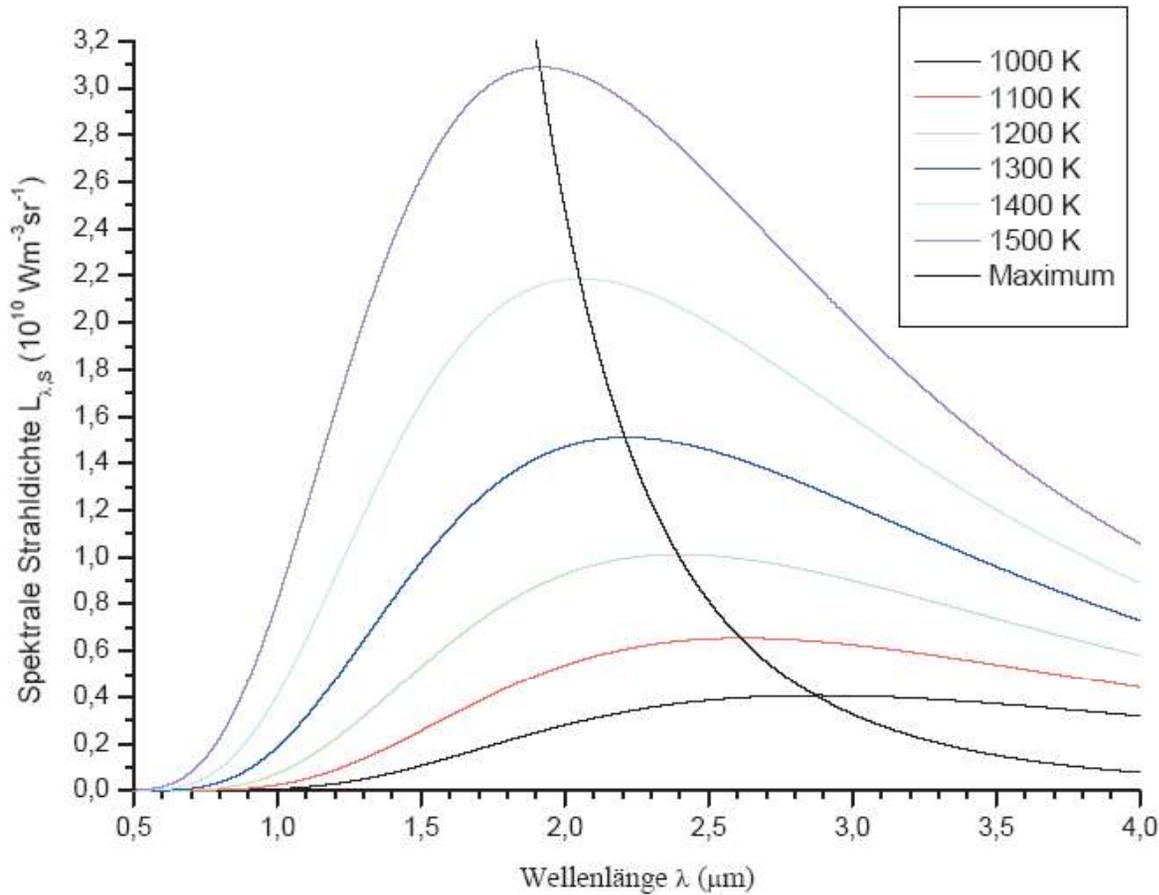
Ledkerzen in Schloss Versailles



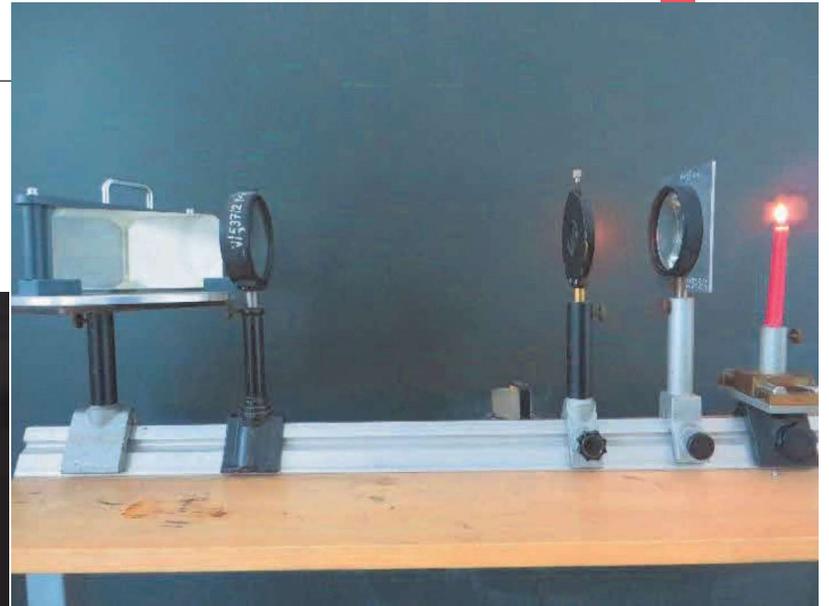
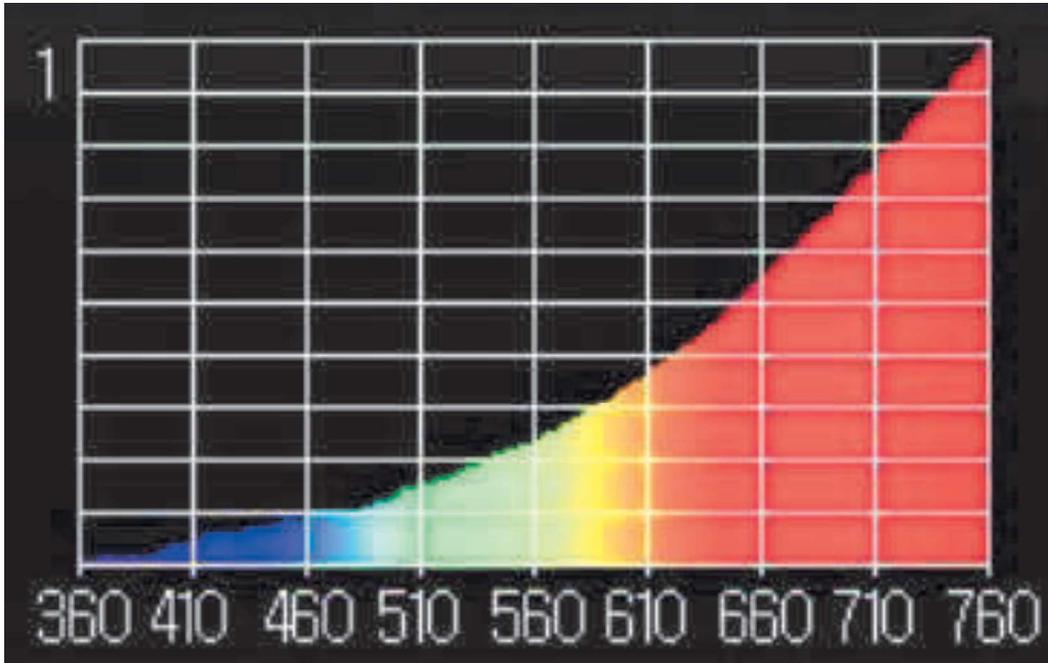
Kruithoff'sche Behaglichkeitskurven



Planck'sches Strahlungsgesetz

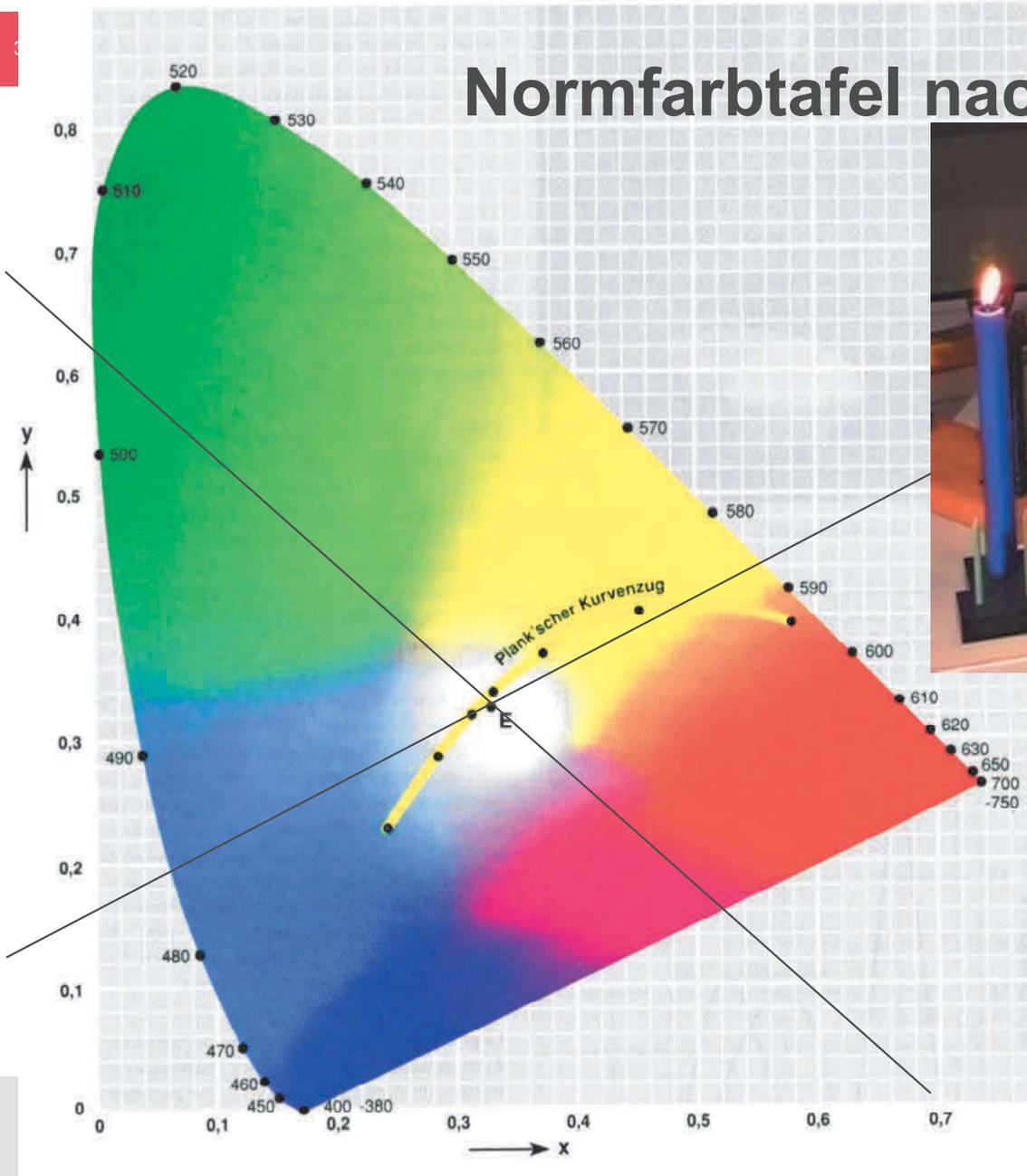


$$L_{\lambda,S}(\lambda, T) = \frac{c_1}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1}$$

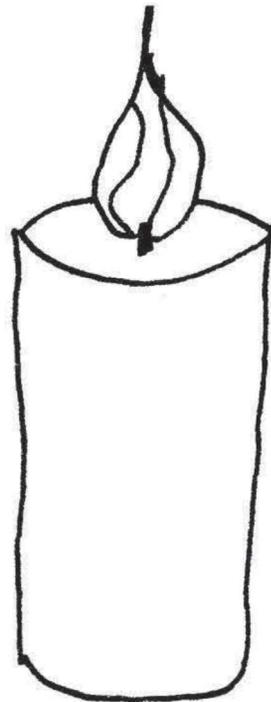


Spektrum einer Kerze mit UPRtek MK350N

Normfarbtafel nach CIE 1931, DIN 5033



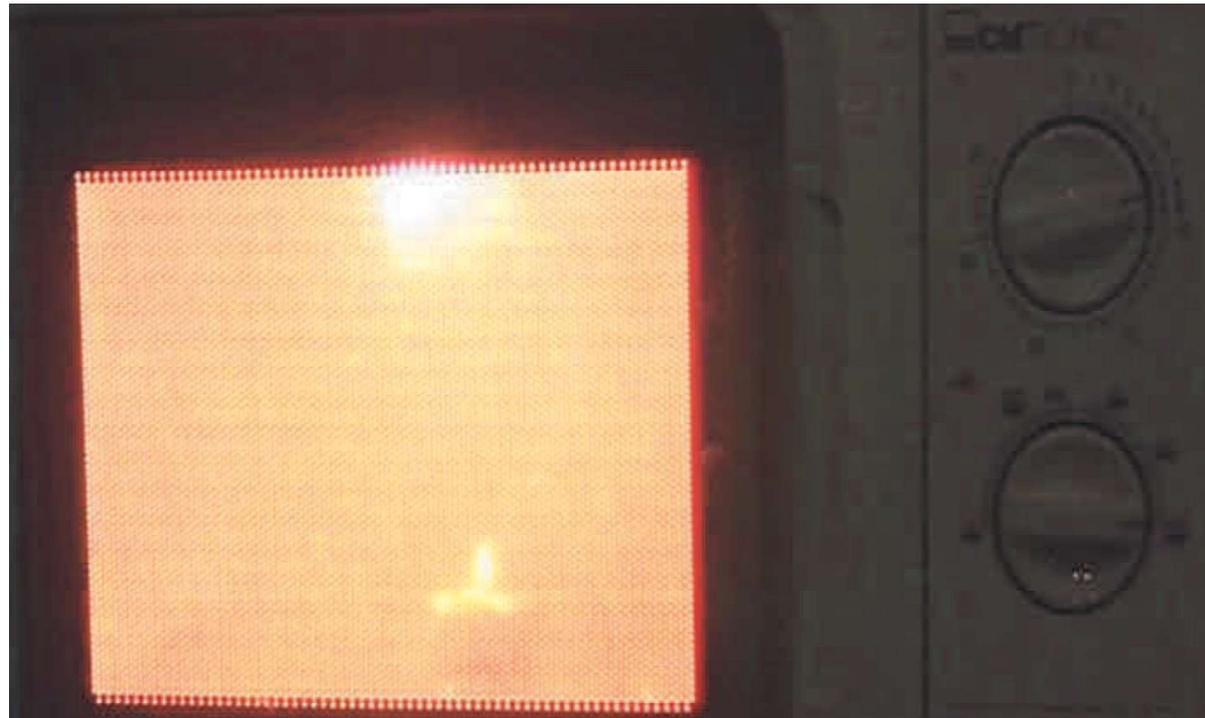
Anzünden von Kerzen geht nur mit einer offenen Flamme (z. B. eines Zündholzes!)



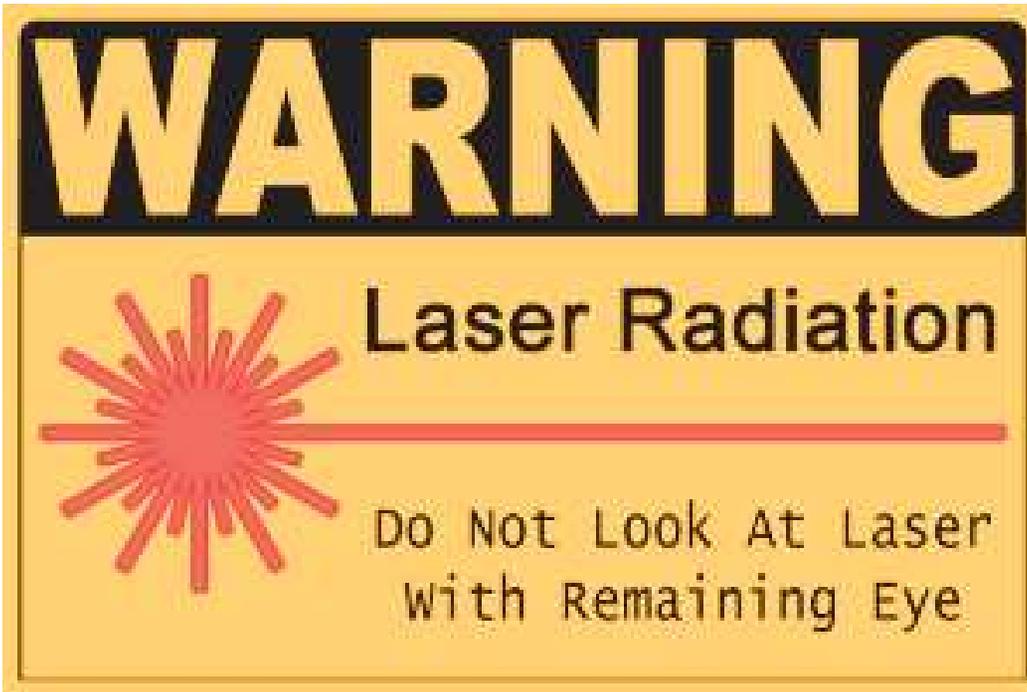




Plasma-anzünder



Anzünden einer Kerze in der Mikrowelle



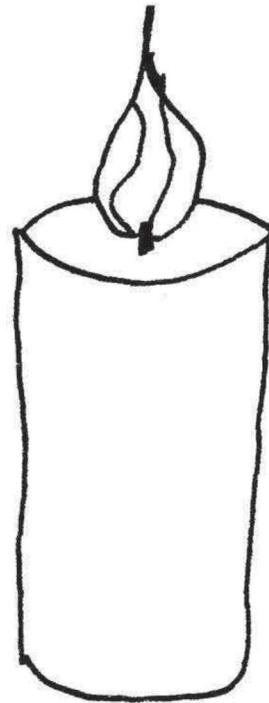


Brennen tiefgefrorene Kerzen?

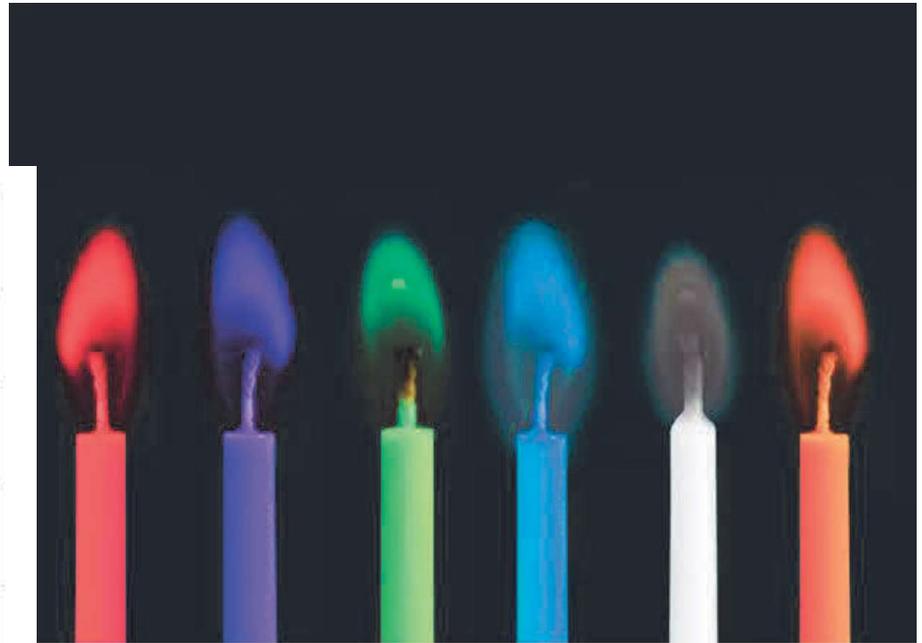


Konvektionsmotor

Optikversuche



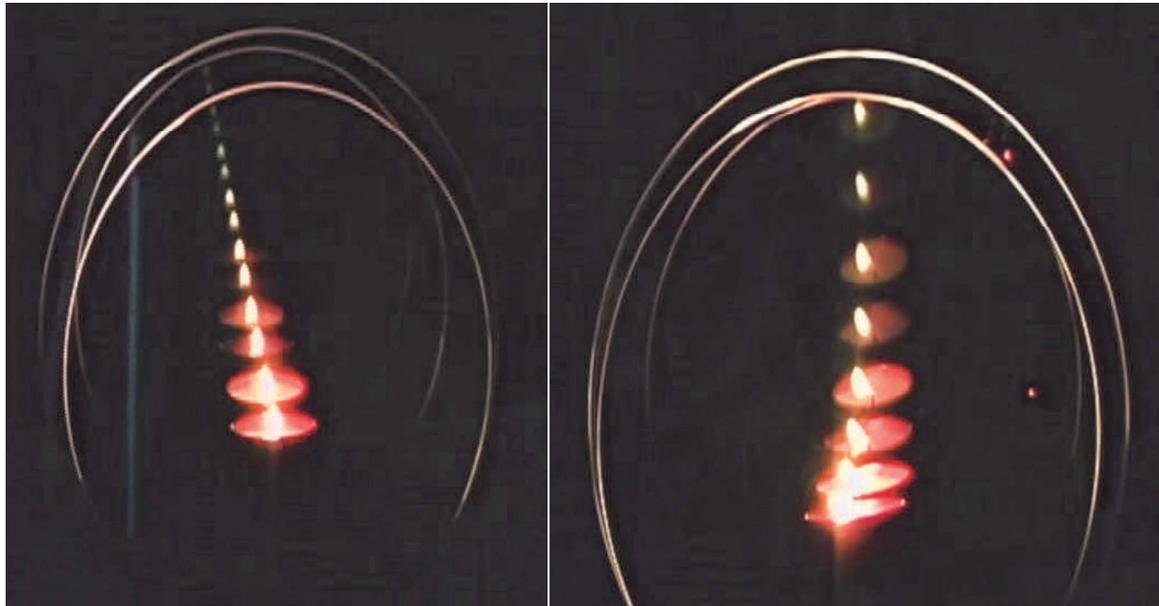
	Element	Flammenfärbung
1	Lithium	rot
2	Strontium	rot
3	Calcium	orangerot
4	Natrium	gelb
5	Barium	grün
6	Bor	grün
7	Kupfer	blaugrün
8	Cäsium	blauviolett
9	Kalium	violett



Färbige Flammen



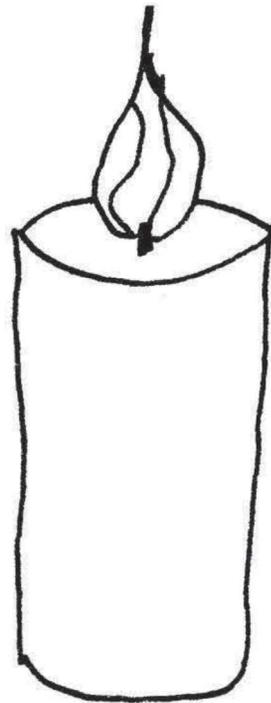
Adventkranz für Physiker



Unendlich?

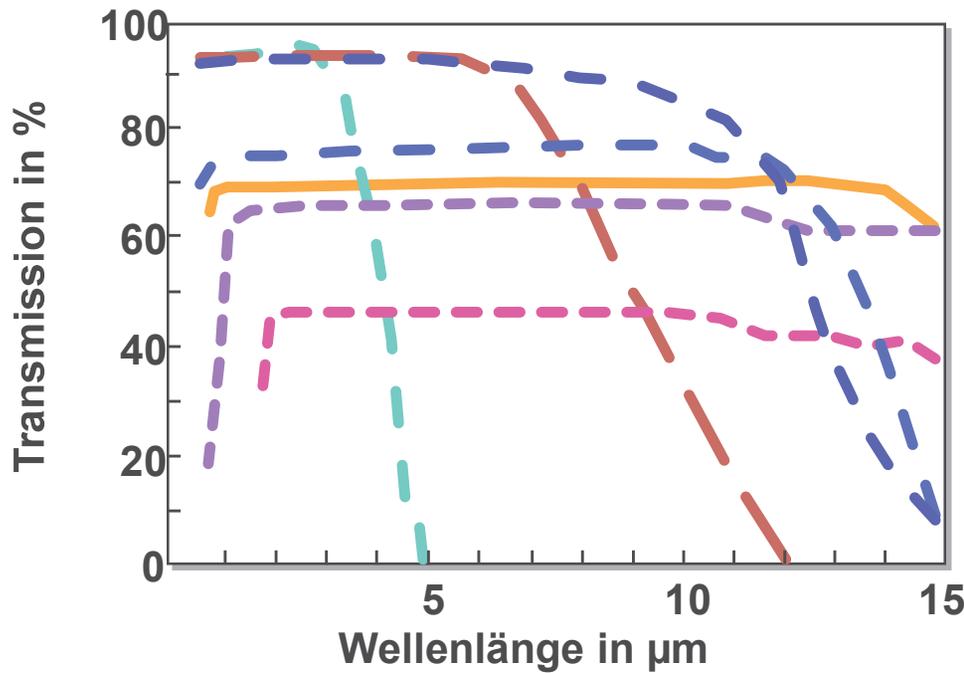
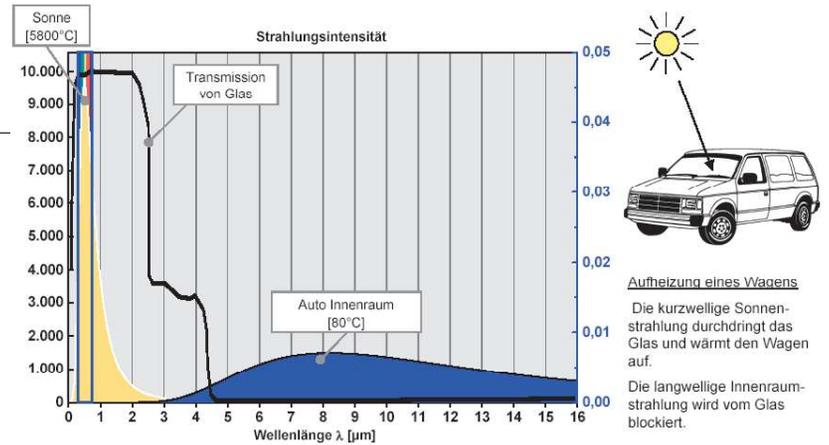


Schusterkugel

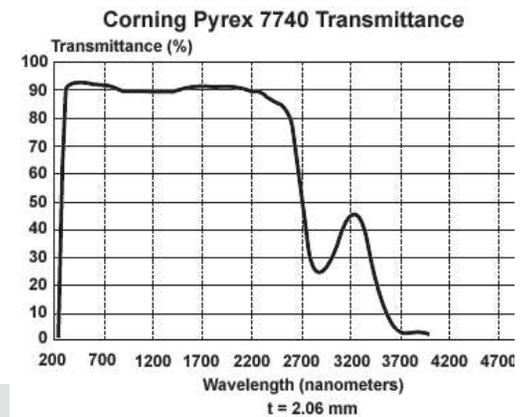


Kerze
Glasscheibe
Siliziumscheibe
Thermokamera (FLIR System T 360)

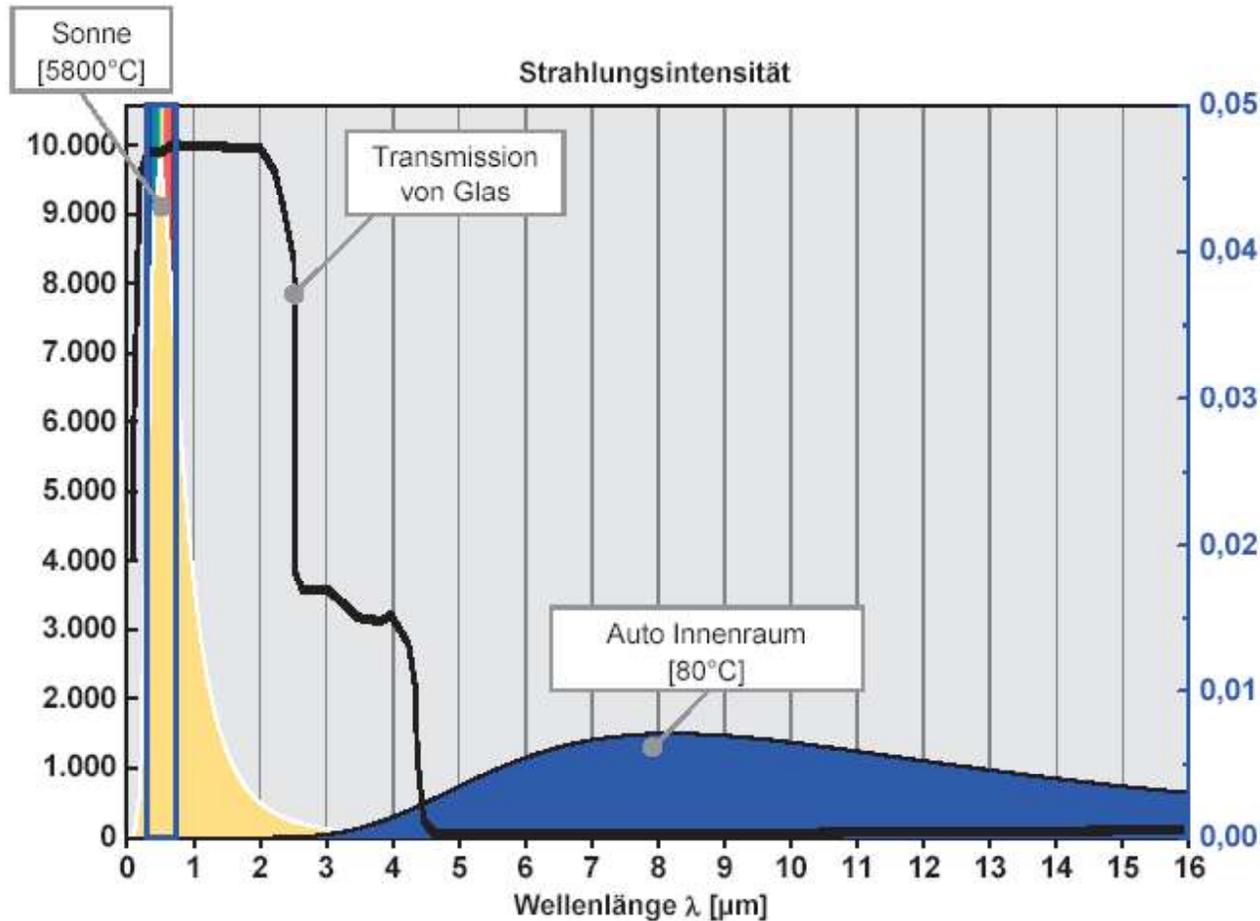
Transmission von IR Fenstermaterialien



Materialien	
	Barium Fluorid
	Kalzium Fluorid
	AMTIR-1
	Quarzglas
	Germanium
	Zink Selenid
	Zink Sulfid

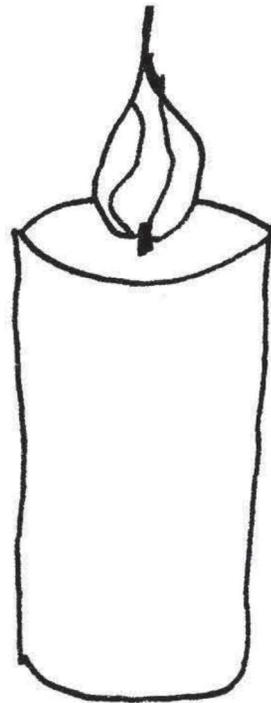


Aufheizen eines Wagens

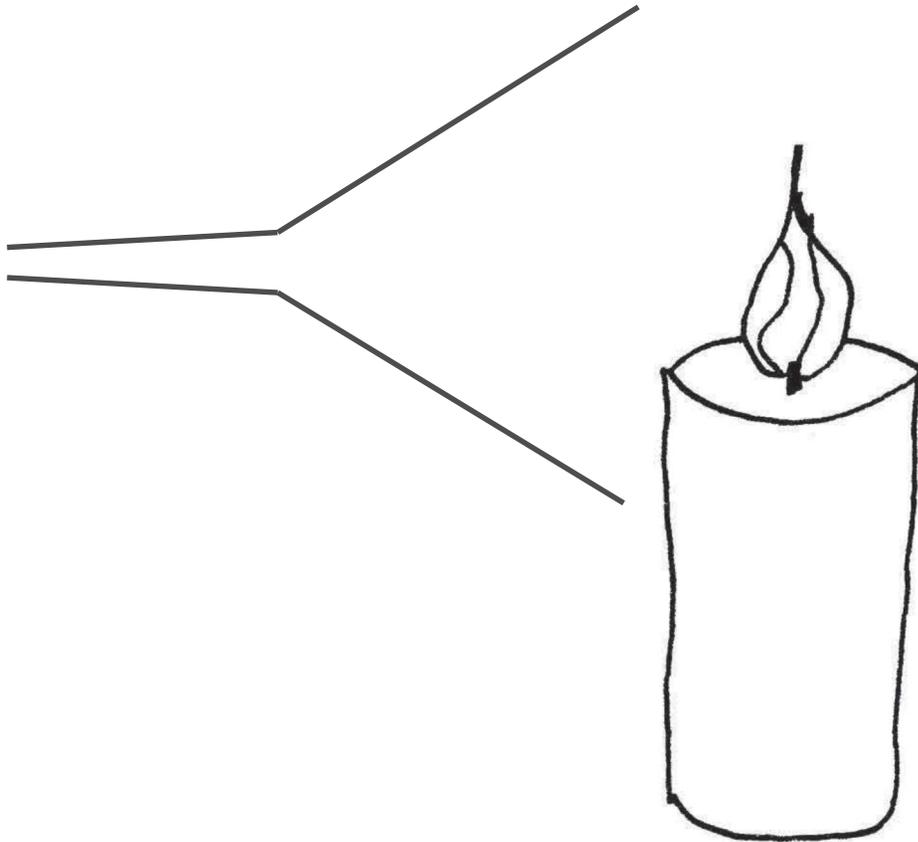


Aufheizung eines Wagens
 Die kurzwellige Sonnenstrahlung durchdringt das Glas und wärmt den Wagen auf.
 Die langwellige Innenraumstrahlung wird vom Glas blockiert.

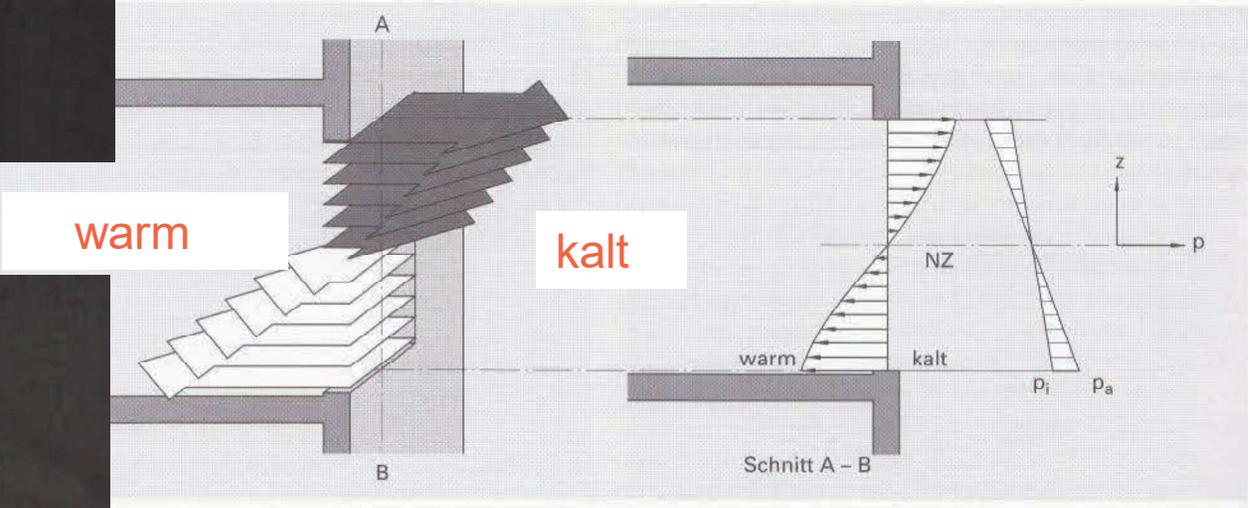
Bewegen von Kerzenflammen



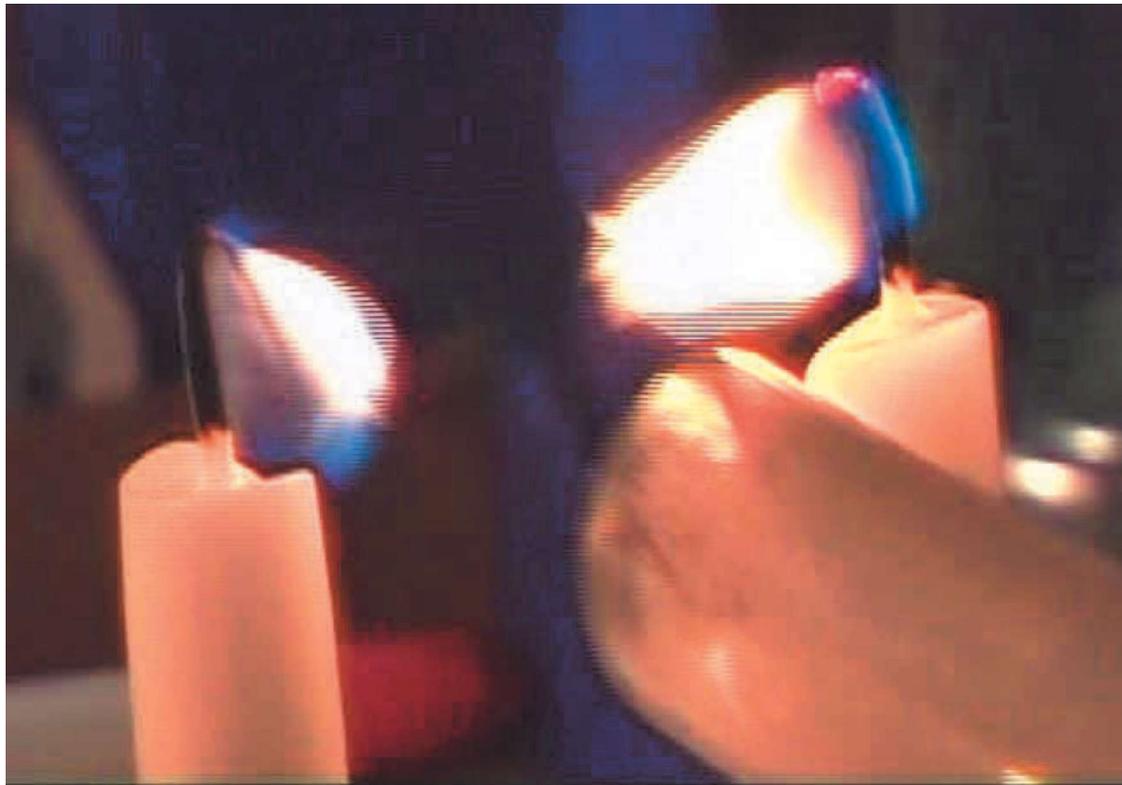
Kerze mit Trichter anblasen



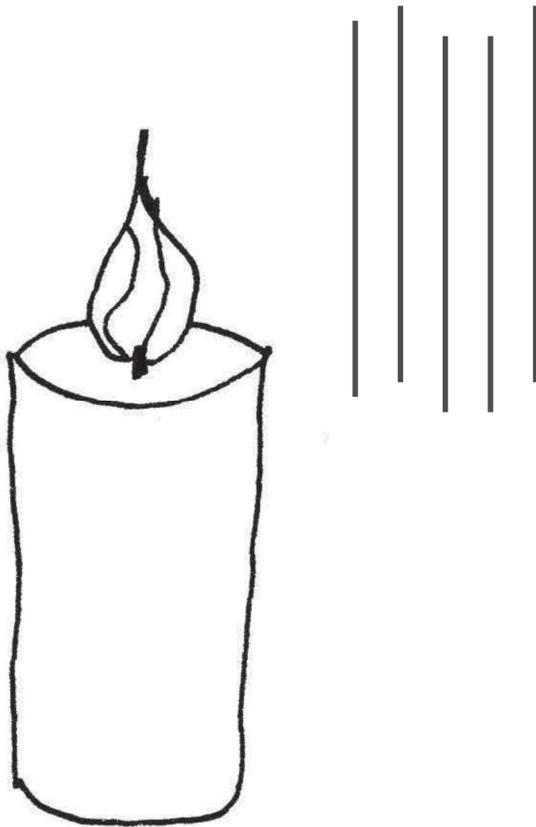
Luftströmungen an einer offenen Türe



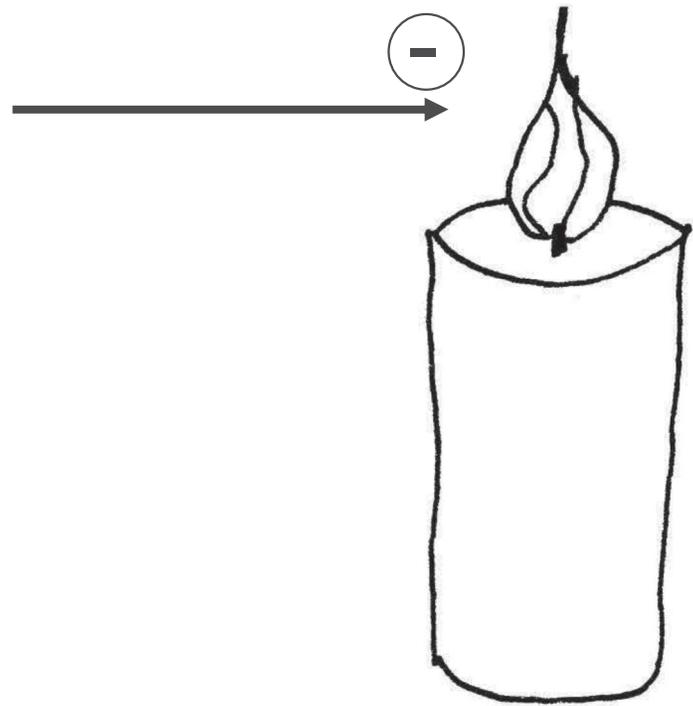
Bernoulligleichung, gezeigt mit zwei Kerzen



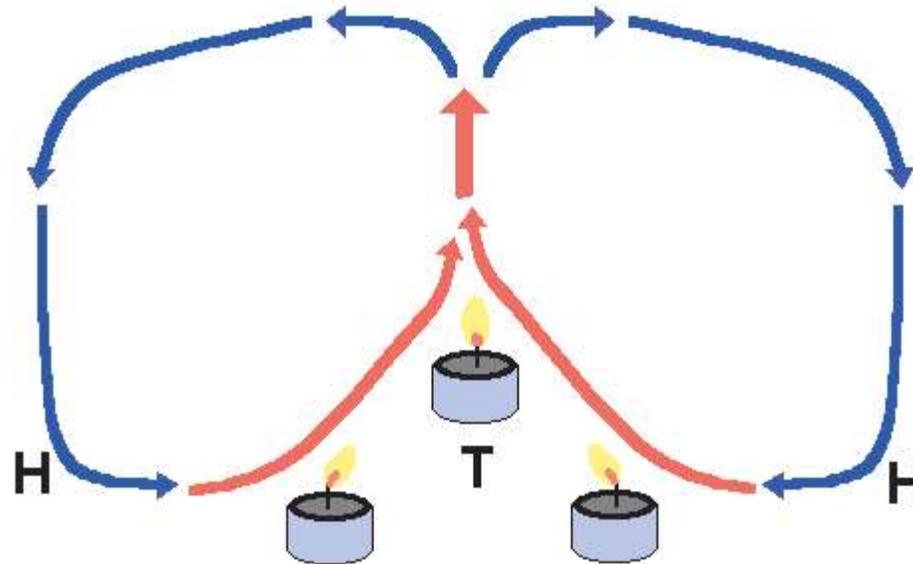
Schallwellen aus Lautsprecher



elektrischer Wind



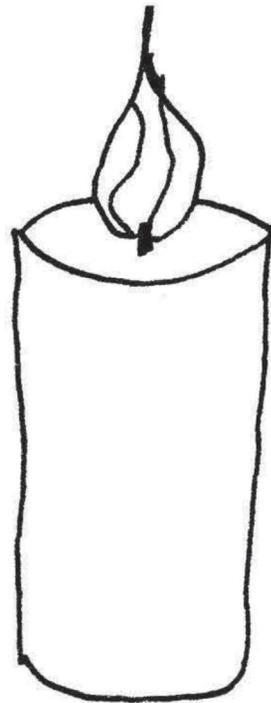
Tiefdruckgebiet mit 9 Kerzen



Die Kerzen erwärmen die Luft. Diese steigt auf, wodurch der Luftdruck im Kreis sinkt. Es entsteht ein Tiefdruckgebiet. Die aufsteigende Luft kühlt sich mit zunehmender Höhe wieder ab. Aufgrund des tiefen Luftdrucks im Kreis wird weitere Luft angesogen, wodurch sich die Kerzenflammen nach innen neigen. In ein Tiefdruckgebiet T strömt also Luft ein.

Um den Kreis bildet sich ein höherer Luftdruck als im Kreis aus (H, Hochdruckgebiet). Zwischen diesen beiden Druckgebieten entstehen Ausgleichströmungen - Wind.

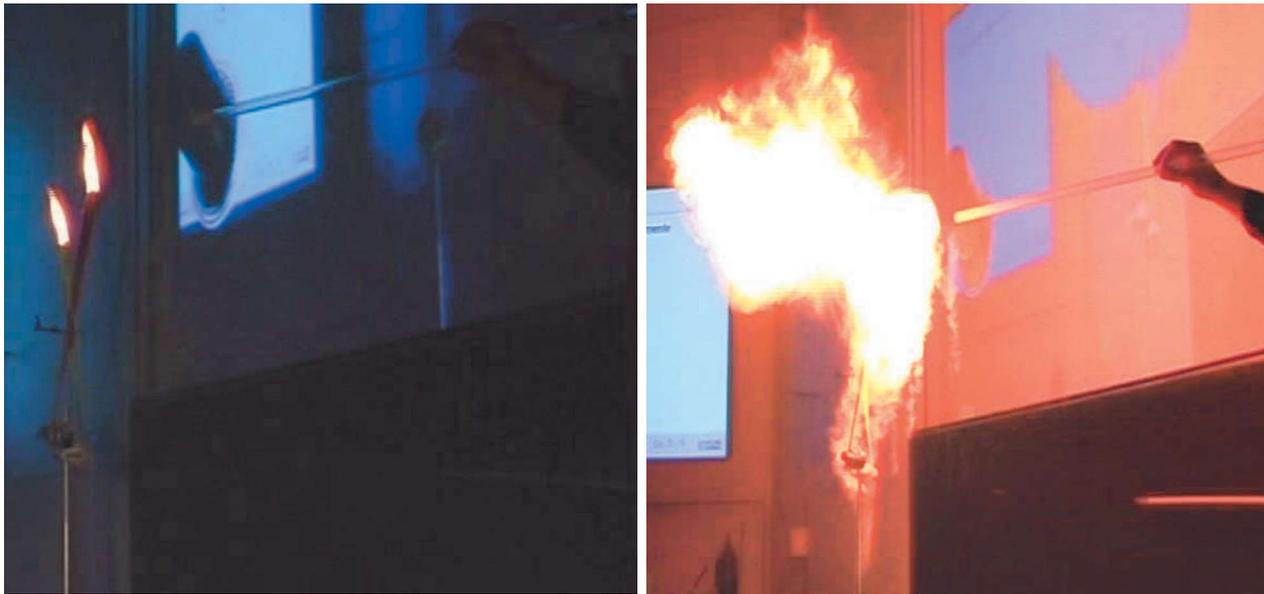
Brandheisse Experimente





Ballon und Kerze 2 x

Staubexplosion mit Lycopodium



Brennende Fackel

Flaschengeist

Ethanol verdampft schon bei Zimmertemperatur. Durch das schwenken der Flasche wird der Ethanol über die ganze Oberfläche an der Innenseite der Flasche verteilt und kann somit leichter verdampfen und in der Flasche entsteht ein Ethanol-Luft-Gemisch, welches sehr leicht entzündlich ist. Die aus der Flasche austretenden Dämpfe werden durch die Wärmeenergie der Flamme des Sicherheitsstabfeuerzeuges entflammt und erreichen eine Temperatur von mehreren hundert Grad Celsius. Die brennenden Gase entzünden das in der Nähe befindliche Ethanol, welches einen Flammpunkt von 81°C aufweist. Die Flammen breiten sich rasch in der ganzen Flasche aus und die darin befindliche Luft dehnt sich durch die Erhöhung der Temperatur stark aus. Ein Teil des entflamnten Ethanol-Luft-Gemisches wird so aus dem Flaschenhals gedrückt und erzeugt die helle Stichflamme mit dem charakteristischen Zischen. Ist die Stichflamme erloschen verbrennt das restliche Ethanol-Luft-Gemisch mit blauer Flamme in der Flasche. Diese Flamme pulsiert und wandert in der Flasche in vertikaler Richtung, da frischer Sauerstoff in die Flasche gezogen wird und dieser die Dämpfe neu entzündet. Das geschieht so lange, bis das Ethanol-Luft-Gemisch vollständig verbrannt ist.





Spraydose



Kerze und Orange

Fettbrand

Das brennende Wachs ist mehrere hundert Grad heiß und das darauf gesprühte Wasser verdampft sofort. Dabei nimmt es an Volumen stark zu. Der Wasserdampf reißt nun Wachsmoleküle mit sich, die sich an der Flamme entzünden und das Wachs verpufft mit einer großen Feuererscheinung

Dieser Versuch demonstriert sehr eindrucksvoll wie wichtig die Bekämpfung eines Brandes mit den richtigen Mitteln ist. Einen Fettbrand in der Küche bekämpft man am besten mit der Unterbindung der Sauerstoffzufuhr, also mit dem Zudecken der Pfanne mit einem Deckel, einer Löschdecke oder ähnlichem.

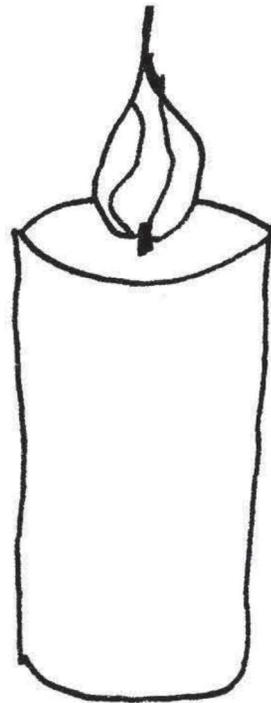
Achtung: Schutzbrille, Handschuhe!!!



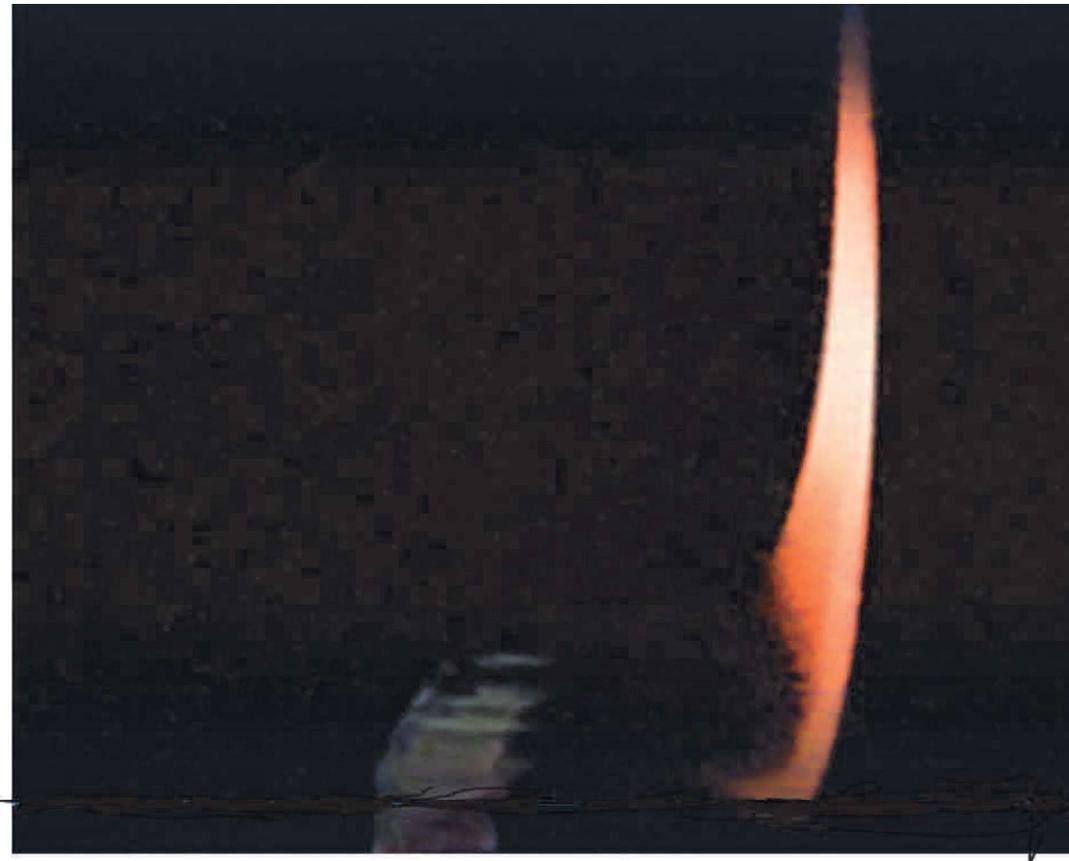
Das Verbrennungsdreieck - Löschmöglichkeiten

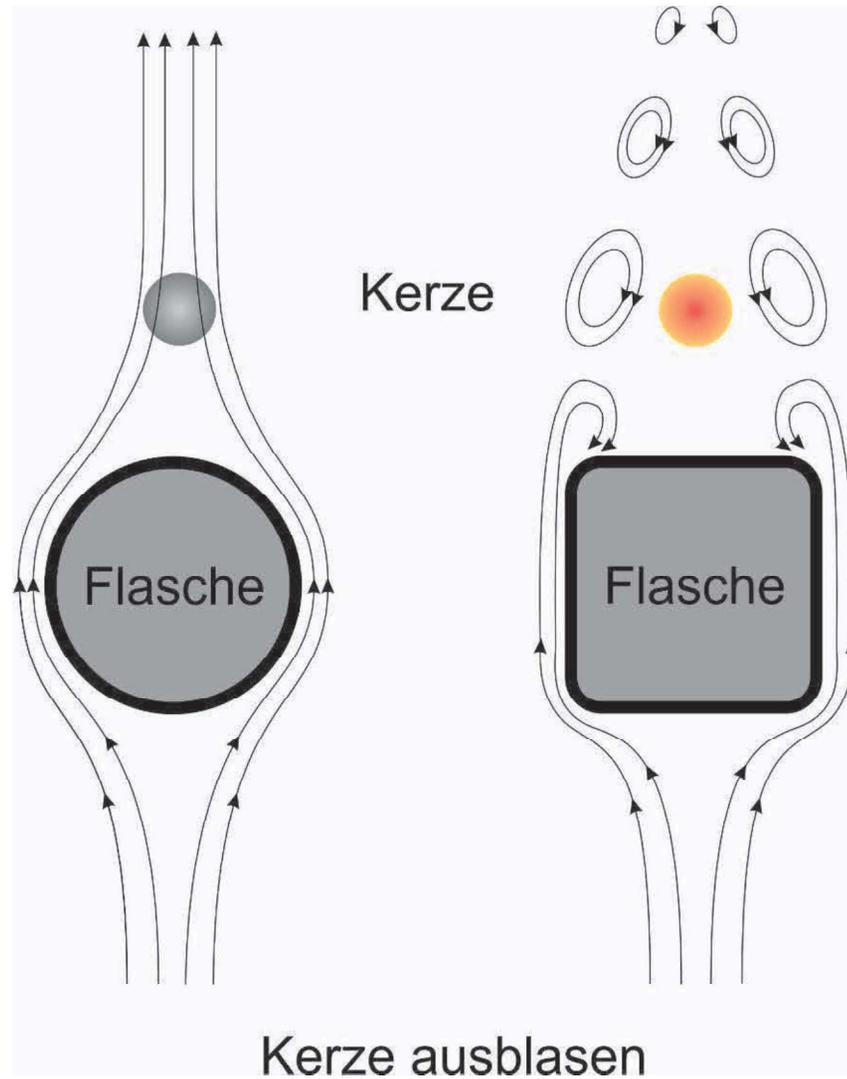


Auslöschen von Kerzenflammen

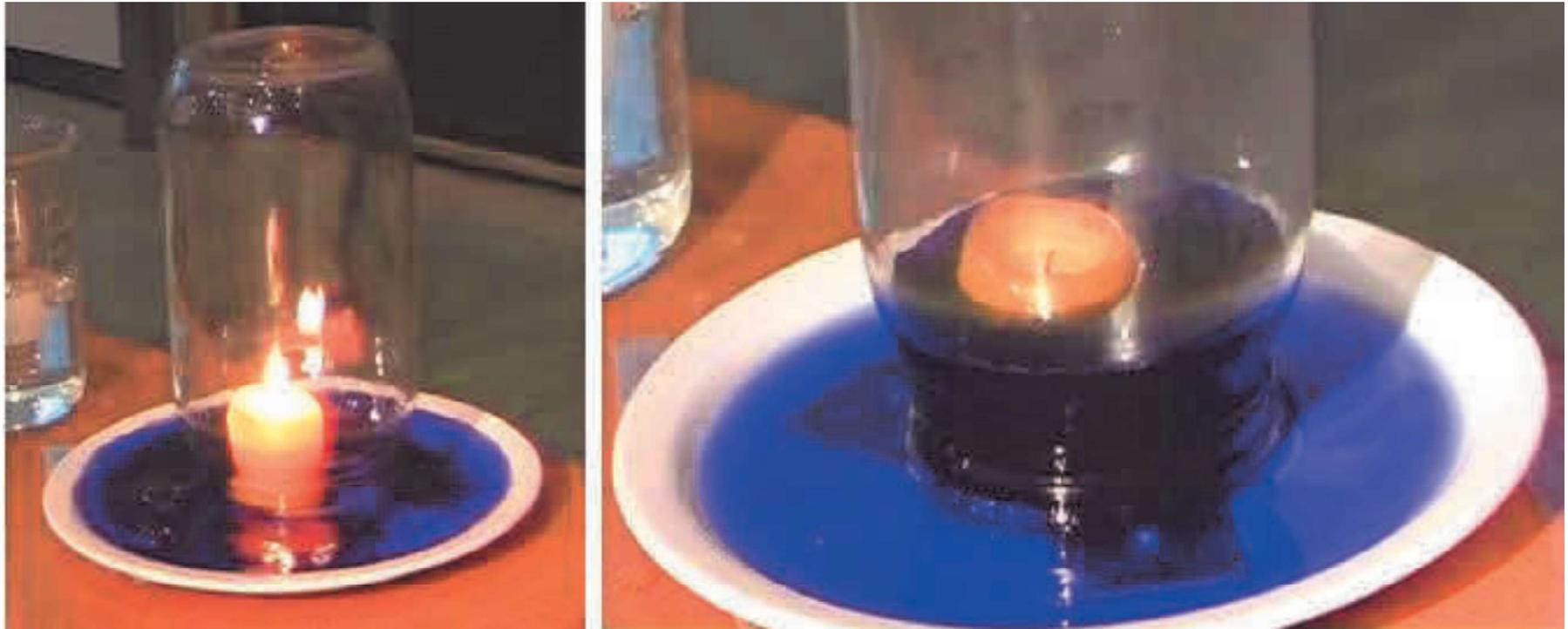


Ausblase









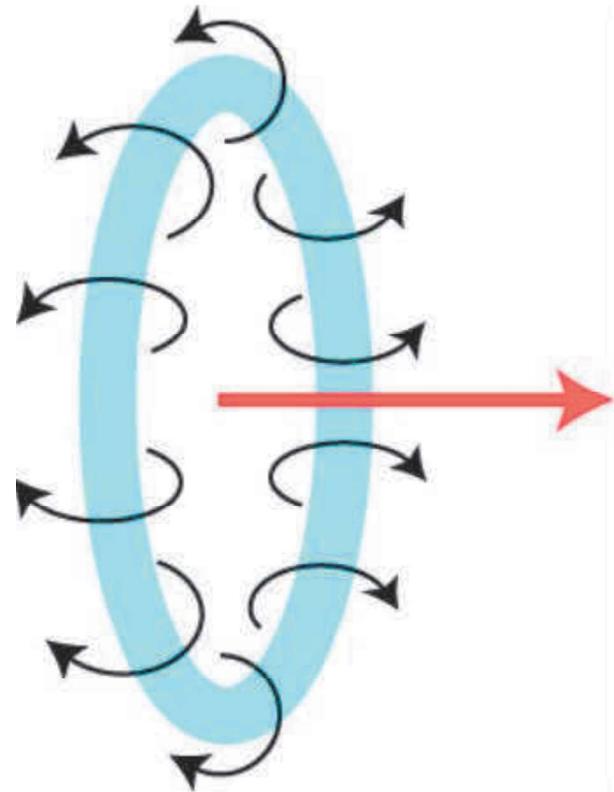
Kerzenlift



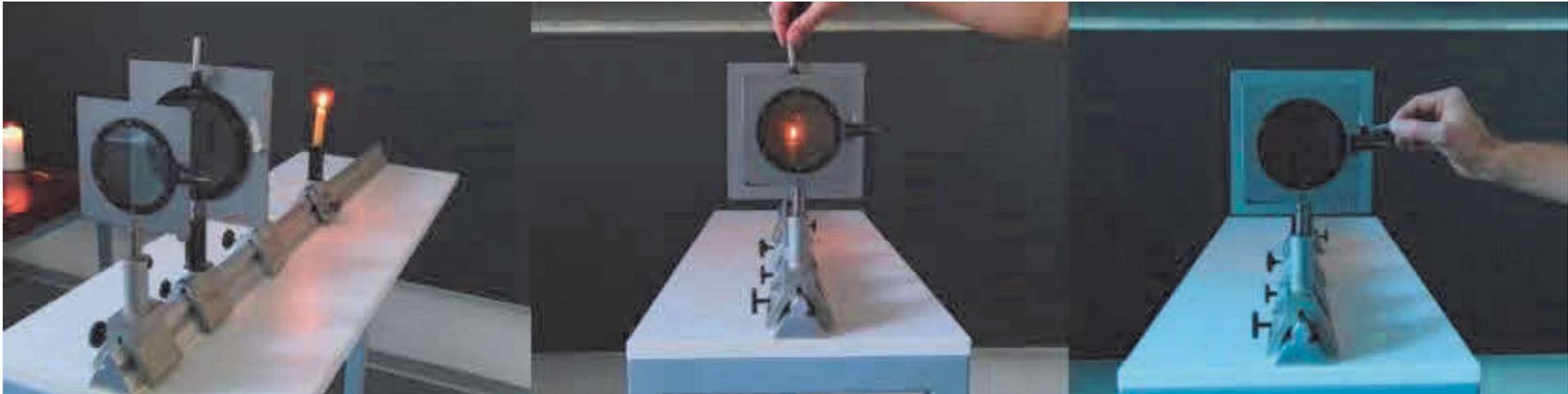
Mit CO₂ löschen



Mit Stickstoff löschen



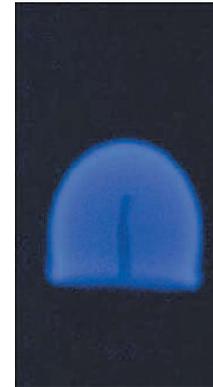
Vortexkanone



Zwei Polarisationsfolien

Eine brennende Kerze im schwerelosen Raum

Kerze im schwerelosen Raum.
 Dieses Foto wurde mit sehr langer Belichtungszeit aufgenommen, da das blaue Kerzenlicht sehr schwach und von den Astronauten mit bloßem Auge kaum erkennbar ist.



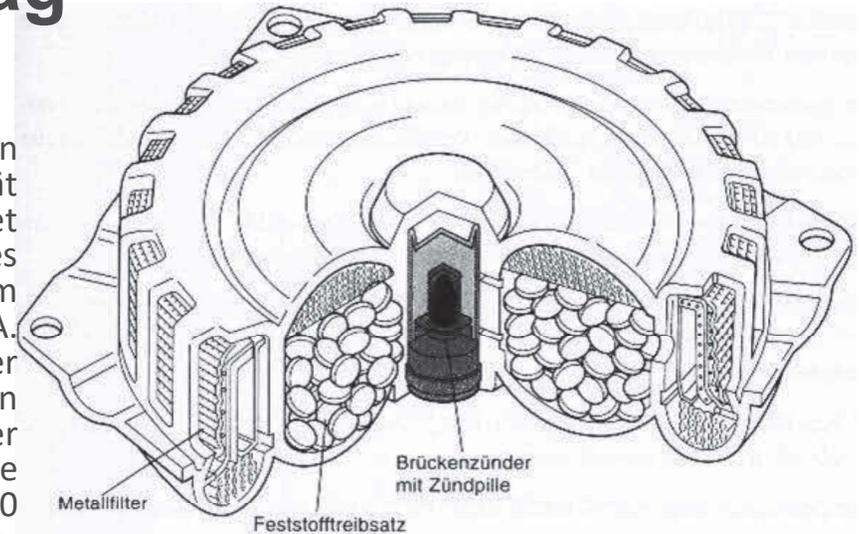
Airbag

79

Wirkungsweise

Der Gasgenerator enthält einen Feststofftreibsatz auf Basis von **Natriumacid (NaN_3)** in Tablettenform. Der Sensor im Steuergerät aktiviert den elektrischen Brückenzünder und die Zündpille leitet die Verbrennung des Treibstoffes ein. Die Erwärmung eines dünnen Drahtes im Brückenzünder erfolgt durch den im Zündkondensator gespeicherten Zündstrom von etwa 800 mA. Diese Wärme reicht aus um die ca. 8 g Schwarzpulver, die in der Zündpille sind, zu zünden. Es findet keine Explosion sondern ein definierter Abbrand des Festtreibstoffes statt unter Nutzung der Expansion des entstehenden Gases. Durch die chemische Umsetzung entsteht im Brennraum eine Temperatur von etwa 600 bis 800 ° C. Es entsteht das für die Insassen ungefährliche Airbag-Füllgas Stickstoff, das durch das Metallfilter gereinigt und von 300 ° C abgekühlt wird. Mit 120 bar Druck strömt das Gas durch ein grobes Filtersieb in die Filtereinheit. Beim Eintritt in den Luftsack hat das Gas noch eine Temperatur von ca. 60 - 80 ° C, sodass eine Gefährdung der Fahrzeuginsassen ausgeschlossen werden kann. Der beim Aufblasen entstehende Knall (ca. 130 - 160 dBA) dauert nur 3 ms und führt daher zu keiner Gehörschädigung.

Die Frontairbags werden etwa 15 ms nach dem Aufprallbeginn gezündet. Bereits nach 50 ms sind die Airbags voll entfaltet. Unmittelbar danach tauchen die Insassen mit Kopf und Brust in die vollständig gefüllten Airbags ein und drücken die Luft über Löcher auf der Rückseite des Airbags wieder hinaus. Nach 150 ms sind die Airbags wieder vollständig entleert.

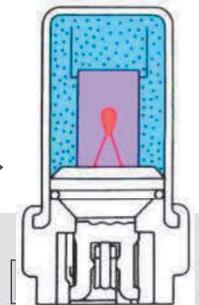


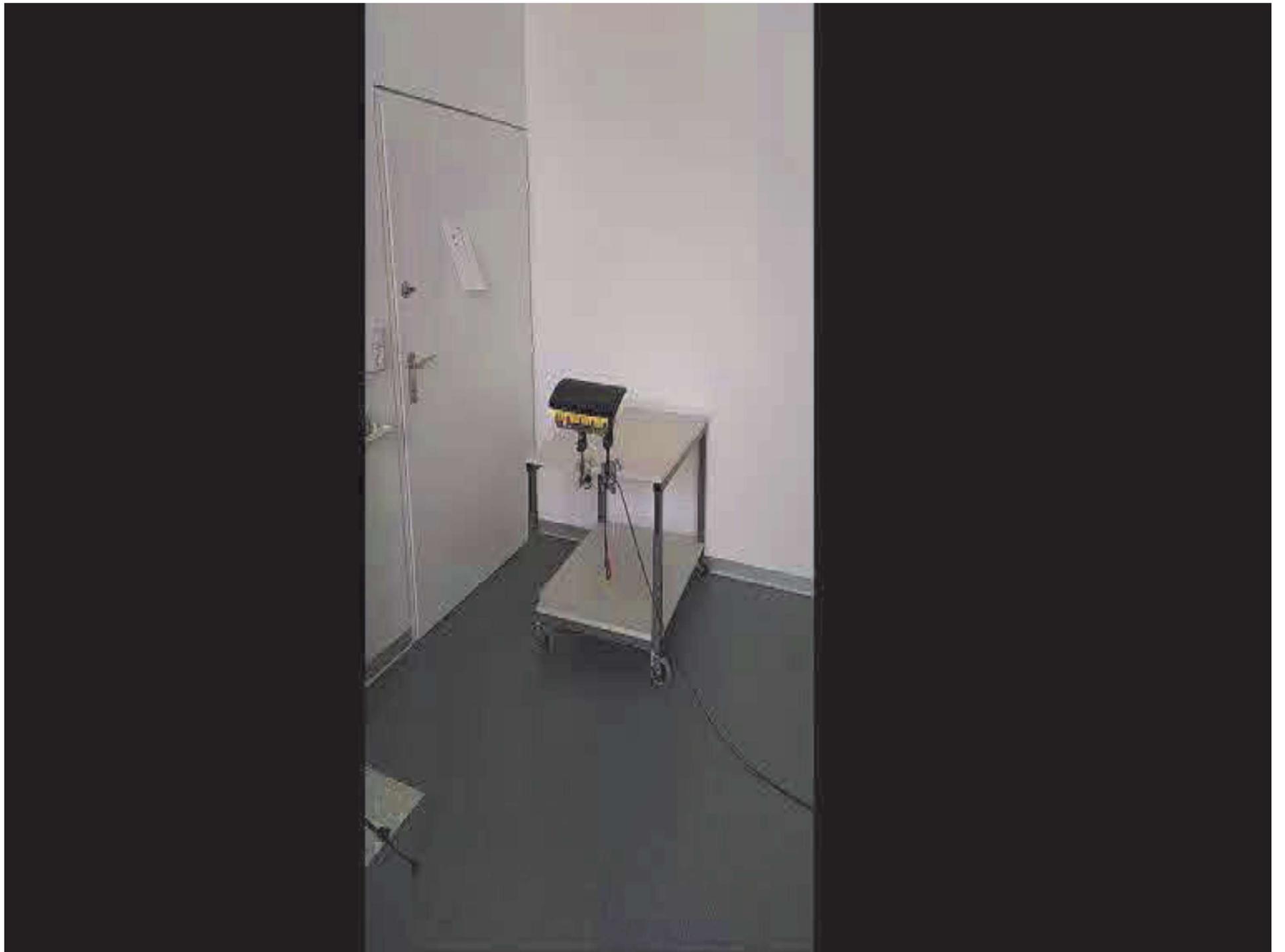
Die Darstellung zeigt einen Topfgenerator wie er hauptsächlich beim Fahrerairbag zum Einsatz kommt.

Aufbau Topfgenerator:

Gehäuse, Metallfilter, Festtreibstoff in Tablettenform ca. 500 g

Brückenzünder mit Zündpille ⇒





Kerzentipps - Was Sie beim Abbrand beachten sollten



Kerzen niemals unbeaufsichtigt brennen lassen!

Kerzen außerhalb der Reichweite von Kindern und Haustieren abbrennen!



Kerzen nicht auf oder in der Nähe von brennbaren Materialien abbrennen!

Zwischen brennenden Kerzen einen Mindestabstand von 10 cm einhalten!



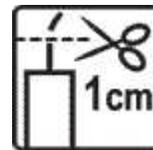
Kerzen vor Zugluft schützen!

Kerzen nicht in der Nähe von Wärmequellen platzieren!

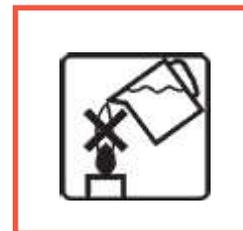


Kerzen senkrecht aufstellen!

Docht vor dem Anbrennen auf 1 cm kürzen!



Flamme ersticken! Nicht ausblasen!



Immer Kerzenhalter verwenden!



Und ein besonderes Danke meinen Mitarbeitern:

**Natasha Gstettner - Kamera
Christian Gstettner - Computer
Vincent Jenner
Roland Flois
Gerhard Kelz
und meiner Gattin Ursula**

Danke für Ihre Aufmerksamkeit



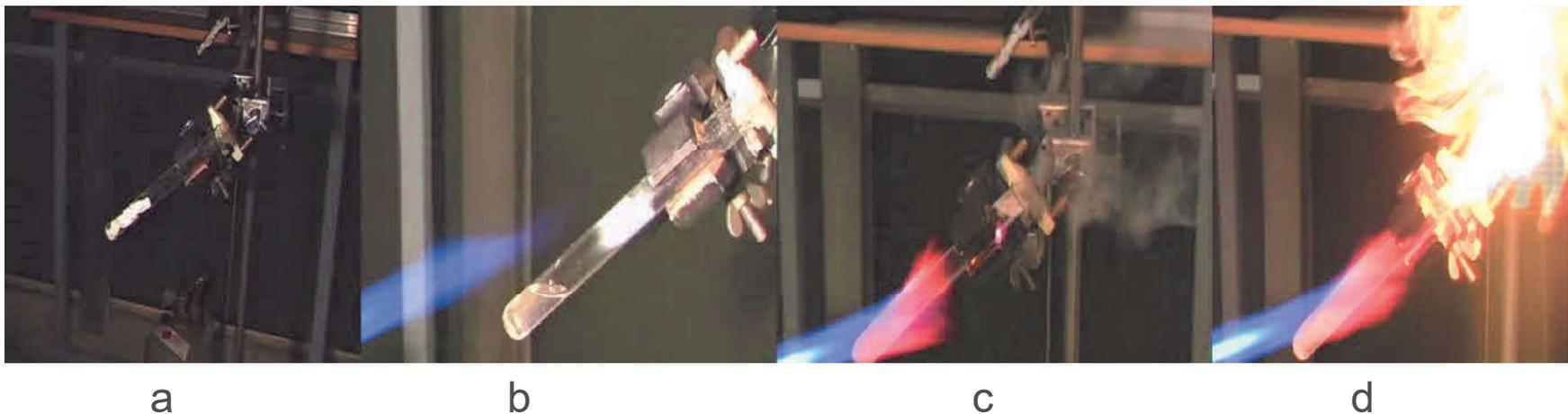
Europäisches Zentrum für Physikgeschichte



Implodierende Dose



Mit Hohlspiegel und mit Linse



Die verschiedenen Aggregatzustände inklusive blauer Flamme (Bunsenbrenner) a) Fest b) Flüssig c) Gasförmig d) Plasma



Spektrum einer Kerze mit CD