

»Alle im Weltall wirkenden Gesetze ... «

Die Kerze nach Faraday als exemplarische Einführung in die Chemie in der 9. Klasse der Kestner-Gesamtschule in Wetzlar

von Eberhard Theophel

Einführung der Herausgeber

Leitsterne

Faraday – Wagenschein

Einleitung

Michael Faraday (1791-1867)

Faradays Vorlesungen

Faradays Kerze - genetisch-sokratisch-exemplarisch?

Die Schüler

Planungsskizze

Sechs Doppelstunden in der Wetzlarer Neunten

Erste Doppelstunde: Der Flammensprung - dampfiges Wachs

Zweite Doppelstunde: Der Blick in das Innere der Kerzenflamme

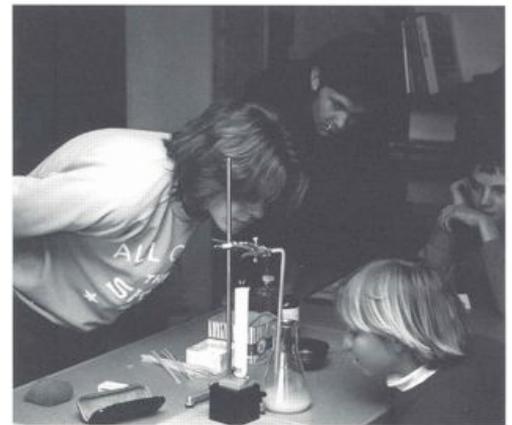
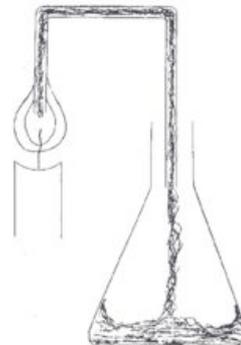
Dritte Doppelstunde: Wachsdampf aus der Kerzenflamme

Vierte Doppelstunde: Feuerwerk und leuchtender Ruß

Fünfte Doppelstunde: Aus Ruß wird Kohlendioxid

Sechste Doppelstunde: Feuerwasser und Kerzenkreislauf

Rückblick und Perspektiven



Einführung der Herausgeber

Michael Faradays im Winter 1860/1861 vorgetragenen »Lectures on the Chemical History of a Candle« (dt. »Naturgeschichte einer Kerze« 1979) sind eine ausgezeichnete Einführung in die Chemie und in naturwissenschaftliches Denken überhaupt. Das Ausgezeichnete dieser Vorlesungen besteht darin, daß Faraday an einem einzigen, einfachen, allgemein bekannten und für jederman verfügbaren Gegenstand entlang einen Weg aufweist, der vom nachvollziehenden Herstellen und aufmerksamen Hinsehen über zahlreiche Experimente bis zu grundlegenden chemischen Erkenntnissen und darüber hinaus zur Einsicht in umfassendere kosmologische Zusammenhänge führt. Allerdings, dieser Gegenstand ist in seiner Einfachheit eine geniale und wenn auch nicht eine der wirksamsten so doch der schönsten Erfindungen der Menschheit: die Bändigung der rasenden Naturgewalt des Feuers in eine still leuchtende und gleichmäßig abwärts brennende, sich selbst ernärende Kerzenflamme - durch Jahrhunderte tröstliches Licht in der Finsternis der Nacht spendend, bis die Helligkeit der elektrischen Beleuchtung die Nacht zum Tag werden ließ, und immer noch gern geschaut, ein Gleichnis des menschlichen Lebens. Zugleich wird man im Nachvollzug der Beobachtungen und Analysen Faradays den mühsamen Weg mitdenken müssen, der von der Vorstellung des Feuers als einem der vier welterschaffenden Elemente geführt hat über die Fiktion eines Feuerstoffs zur Einsicht in den Verbrennungsprozeß als einem Vorgang, in dem sich einfachste chemische Elemente voneinander trennen und neu verbinden und dabei ihren Charakter verändern.

Faradays Vorlage ist schon vielfach nachgestaltet und erprobt worden (z. B. Klein/Langenbach in Berg/Gideon/Rumpf 1986, S. 566-570; Buck und Klein in Berg 1990, S. 46-56 und 67-75 oder Sperrle und Döttling-Vogt in Berg/Gerth/Potthast 1990, S.177-190). Der Bericht von Eberhard Theophel über seinen Unterricht mit Schülern einer 9. Klasse in der Kestner-Gesamtschule in Wetzlar bietet eine der umfassendsten Inszenierungen des Lehrstücks. Er hat die von Faraday gewählte Form des Vortrags mit Demonstrationen übersetzt in einen mehr dialogisch gestaltet Unterrichtsgang mit Schülerversuchen. Aus der großen Zahl der an die 100 Experimente, die Faraday vorführt, hat er die wichtigsten ausgewählt und damit Raum für die Schülerinnen und Schüler geschaffen, die Kerzenflamme immer wieder anzuschauen, mit ihr zu experimentieren

und sie zu malen. Was ist es eigentlich, das da brennt? Und: Was geschieht da, wenn eine Kerze brennt? Mit diesen Fragen dringen Theopel und seine Schüler Zug um Zug in das Geheimnis der Kerzenflamme ein.

Martin Wagenschein hat auf den exemplarischen Charakter von Faradays Kerzenvorlesung in seinem Buch »Die pädagogischen Dimensionen der Physik« hingewiesen. Er hat dort gezeigt, welche unterschiedlichen Themen und Bereiche hier angesprochen werden und in wieviele Richtungen man von hier aus noch weiter fortschreiten könnte. Daher sei dieser Text im folgenden angeführt (zit. nach Wagenschein 1980, S.115 ff.). Noch eine ganz andere Möglichkeit das Thema weiterzuführen zeigt der französische Philosoph Gaston Bachelard in »Die Flamme einer Kerze«. Im Meditieren über eine brennende Kerze läßt er uns den Moment begreifen, wo sich die Träumereien der Dichter vom Denken der Naturwissenschaftler trennen und Poeme an die Stelle der Theoreme treten (vgl. Schulze in Berg 1990, S. 65 f.).

Leitsterne

Ich wende mich nunmehr zu unserem eigentlichen Thema, zunächst zur Flamme der Kerze. Wir wollen eine oder zwei anzünden und so in Ausübung ihrer eigenthümlichen Functionen setzen. Ihr bemerkt, wie ganz verschieden eine Kerze von einer Lampe ist. Bei einer Lampe hat man den mit Oel gefüllten Behälter, in welchen der aus Moos oder Baumwolle bereitete Docht gebracht wird; das Dochtende zündet man an, und wenn die Flamme bis zum Oel hinabgekommen, verlöscht sie dort, brennt aber in dem höher gelegenen Theile des Dochtes fort. Nun werdet Ihr unzweifelhaft fragen, wie es kommt, daß das Oel, welches für sich nicht brennen will, zur Spitze des Dochtes gelangt, wo es brennt; wir werden das sogleich untersuchen. Aber bei dem Brennen einer Kerze geschieht noch etwas weit Merkwürdigeres. Hier haben wir eine feste Masse, die keinen Behälter braucht wie kann wohl diese Masse da hinaufgelangen, wo wir die Flamme sehen, da sie doch nicht flüssig ist? Oder, wenn sie in eine Flüssigkeit verwandelt ist, wie kann sie dabei doch in festem Zusammenhalt bleiben? Wahrlich ein merkwürdig Ding, so eine Kerze!

Faraday 1861

Bei Michael Faradays »Naturgeschichte einer Kerze« ... strahlen die physikalischen (und auch chemischen) Erfahrungen aus von einem einzigen Ding ... Noch dazu ist dieses Ding eine Kerze: Sie zieht die Blicke an, sie macht die Augen rund und sammelt die Köpfe um sich, sie erregt das Nachdenken in ihnen auf eine eigentümliche sanfte Weise und beschenkt uns mit Verbindungen zur ganzen Physik (des Vordergrundes). Faradays »Kerze« sollte jeder Lehrer kennen! Was alles in ihr steckt! Das Handwerk des Kerzenziehens, der Anreiz, selber eine zu machen, die drei Aggregatzustände des Waxes: fest, als Vorrat unten in der Kerzenmasse bereitstehend, flüssig zubereitet in dem kleinen See, der oben auf der Kerze schwimmt mit seinem praktischen kleinen Außen-Wall, und das »Gas«, drinnen in der Flamme. Man meint erst, sie sei ein »Ding«, oben aufgesetzt wie ein Blatt, eine feuriges. Aber das ist sie nicht; wenn man genauer hinblickt: sie ist ein »Prozeß«, ein Vorgang, ein Geschehnis. Denn die Kerze verbrennt ja, verzehrt sich, wie man sieht. Wo bleibt sie? Folgen wir dem Brennstoff: Flüssig geworden, saugt er sich in dem Docht hoch (wie macht er das?); und um den Docht herum und über ihm steht dann der geheimnisvolle blaue dunkle Raum, der Kern der Flamme. Was ist darin? Man kann »es« abzapfen durch ein Röhrchen und am Ende des Röhrchens entzünden: es ist ein » Gas «, das brennt, es kommt aus dem Docht, und es brennt also außen, da wo die Luft ist. Aber wo bleibt es?

Hier zweigt Chemie ab, ein »Einstieg« in sie eröffnet sich; ich lasse sie beiseite (bei Faraday findet man vieles dazu), denn auch Physik ist ja noch lange nicht fertig: Was tut die Luft dabei, die das Äußere brennen macht? Raucht man eine Zigarette dazu, oder betrachtet man den Schatten der Kerze im Sonnenlicht so sieht man ihre Strömung, dieselbe, die jeder Ofen um sich herum in Gang bringt und der Wassertopf in sich, der auf dem Herd steht. Woher die Strömung, wer ruft die Luft herzu? Die Kerze selber: »Wärme steigt auf« (aber warum?). Sie macht die Strömung, aber sie braucht sie auch, damit immer neue Luft an sie heran kann, denn die Luft »verbraucht sich« wie in jedem Feuer. -Was für eine zweckmäßig kleine Maschine eine solche Kerze ist! Einmal entzündet, erhält sich der Betrieb dieser kleinen Gasfabrik und regelt sich von selbst. Die Gas-Zunge oben, indem sie verbrennt, gibt Wärme; dieselbe Wärme schmilzt das Wachs. Im Docht steigt das flüssige Wachs »von selbst« auf (wirklich, von selbst?), und oben erzeugt die Verbrennungs-Wärme den Luftstrom, den die Flamme zum Leben wieder braucht. Zwei Aufgaben hat sie und löst sie zugleich: den Brennstoff schmelzen, verdampfen, bereit machen, und die Brennluft heranholen. Dazu die dritte, die uns die wichtigste ist: Sie leuchtet ihr warmes Licht. Sie lockt uns hinein in die Optik. –

Nicht die Sonne des Alltags, nicht das blendende elektrische Licht, sondern ihr, der Kerze, doch auch schon künstliches Licht im dunklen Zimmer ist der beste Führer: Wie die Schatten tanzen und dadurch auf sich aufmerksam machen, wie die Dinge widerstrahlen, wie das Licht sich verliert, eine Höhle macht in die Dunkelheit, ohne scharfe Wände, wie es also draußen immer dunkler wird: und warum eigentlich? Läuft das Licht sich müde? Saugt die Luft es auf, so wie das Wasser im Sande verrinnt? Oder ist es nur, weil es immer weiter sich öffnen muß, weil es sich verdünnt, verteilt, auseinanderstrahlt? »Strahlen« - gibt es sie? Kann man sie zählen? ...

Genug; brechen wir ab, und sagen wir es trocken, was alles in ihr steckt: Chemie, Verbrennung, Physik, Aggregatzustände und ihre Umwandlung durch die Wärme, Kapillarität, Wärmeströmung und Wärmestrahlung, Auftrieb, Luftdruck, Optik: Schatten, Beleuchtungsstärke. Aber die Kerze führt auch aus der Physik wieder heraus: Die Flamme ist kein Ding, sie ist ein Prozeß. So wie der Fluß, die Fontäne, der Wirbelwind (der im Herbst als rasselnder Turm welcher Blätter auf dem Acker vor dem Waldrand sichtbar steht), die Kumuluswolke (die das Kind lange für eine Art Federbett hält oder - wie auch viele Erwachsene vermutlich lebenslang - für ein wassergefülltes schlauchartiges »Ding«). - Aber auch der Organismus, »wir selbst«, unsere Körper sind nicht »Körper«, sondern Prozesse. - Dabei aber ist die Kerze kein biologischer Prozeß. Denn sie kann vieles nicht, was die Organismen können. Das Entscheidende kann sie nicht. - So ist die Kerze auch insofern eine Leuchte, als sie uns hineinführt in die Physik und wieder hinaus.

Wagenschein 1962

Eberhard Theophel

»Alle im Weltall wirkenden Gesetze ... «

Die Kerze nach Faraday als exemplarische Einführung in die Chemie in der 9. Klasse der Kestner-Gesamtschule in Wetzlar

Einleitung

Michael Faraday (1791-1867): Er wurde 1827 zum Professor an der Royal Institution in London ernannt. Etwa in die gleiche Zeit fällt eine wichtige Einrichtung dieser Royal Institution, nämlich die Weihnachtsvorlesungen für die Jugend. Diese Veranstaltungen hatten großen Zulauf. Schüler Londons konnten während der Weihnachtsferien gegen Eintritt Vorträge aus verschiedenen Wissensgebieten hören. Die Naturgeschichte einer Kerze, im Original treffender als Lectures an the Chemical History of a Candle benannt, datiert auf die Zeit um 1860. Faraday hatte, bei all seinen hervorragenden Leistungen im Bereich der Physik, aber auch in der Chemie, stets ein großes Interesse an jungen Menschen, denen er die Geheimnisse der Physik und Chemie offenbaren wollte. Immer blieb er dicht bei den Phänomenen - er war ein scharfer Beobachter; die Mathematisierung der Naturwissenschaften gehörte nicht zu seiner Arbeitsweise. Eine weitere Stärke Faradays lag im Erfinden von Apparaturen und technischen Anordnungen, die wiederum in seinen Experimentalvorträgen zum Tragen kam.

Faradays Vorlesungen: Die Lectures an the Chemical History of a Candle waren eine brillant gestaltete sechsteilige Vortragsreihe, bei der, von der brennenden Kerze ausgehend und immer wieder zu ihr zurückkehrend, wesentliche Grundlagen der Chemie erschlossen wurden (siehe Faraday 1979, S. 25, 54, 78, 106, 132 und 164):

»Erste Vorlesung: Die Kerze. Ihre Flamme. Schmelzen des Brennstoffs. Kapillarität des Doctes. Die Flamme, ein brennender Dampf. Gestalten und Theile der Flamme. Der aufsteigende Luftstrom. Andere Flammen.

Zweite Vorlesung: Nähere Untersuchung der brennbaren Dämpfe in der Flamme. Vertheilung der Hitze in der Flamme. Bedeutung der Luft. Unvollständige Verbrennung; Rußen der Flamme. Verbrennung ohne Flamme (Eisen). Das Leuchten der Flamme. Kohle in der Kerzenflamme. Verbrennungsproducte.

Dritte Vorlesung: Wasser als Verbrennungsproduct der Kerze. Eigenschaften des Wassers; seine Aggregatzustände. Wasserstoff als Bestandtheil des Wassers. Darstellung und Eigenschaften des Wasserstoffs. Wasser als Verbrennungsproduct des Wasserstoffs. Die Volta'sche Säule.

Vierte Vorlesung: Chemische Wirkungen des electrischen Stroms. Zerlegung des Wassers durch denselben. Wiederbildung von Wasser durch Entzünden des Knallgases. Sauerstoff, der zweite Bestandtheil des Wassers.

Quantitative Zusammensetzung des Wassers. Darstellung und Eigenschaften des Sauerstoffs. Seine Rolle bei den Verbrennungserscheinungen.

Fünfte Vorlesung: Die atmosphärische Luft, eine Mischung aus Sauerstoff und Stickstoff. Eigenschaften des Stickstoffs. Quantitative Zusammensetzung der Luft. Das Wägen der Gase. Luftdruck. Elasticität der Luft. - Kohlensäure als Verbrennungsproduct der Kerze. Erkennung der Kohlensäure. Ihr Vorkommen in der Natur. Darstellung und Eigenschaften der Kohlensäure.

Sechste Vorlesung: Chemische Zusammensetzung der Kohlensäure. Ihre Bildung durch Verbrennung von Kohlenstoff. Mengenverhältniß der Bestandtheile. Zerlegung der Kohlensäure in ihre Elemente. Bildung von Kohlensäure durch Verbrennung des Holzes und des Leuchtgases. Feste und gasförmige Verbrennungsproducte der Körper. - Der Athmungsprozeß. Kohlenstoffgehalt der Nahrungsmittel. Die Körperwärme. Wechselwirkung zwischen Thier- und Pflanzenwelt. - Einfluß der Temperatur auf den Eintritt chemischer Prozesse. «

Faradays Kerze - genetisch-sokratisch-exemplarisch? Wenn auch durch faszinierende Experimente gestützt, waren die Vorlesungen Faradays doch jeweils ein sehr komprimiertes Ereignis. Seine Gedankengänge, wenn auch zwingend dargelegt, konnten von den Jugendlichen allenfalls nachvollzogen werden. Eine gewaltige Stofffülle (sicherlich für ein ganzes Schuljahr und länger ausreichend), die in der kurzen Zeitspanne von sechs Vorlesungen bewältigt wurde! Das ist zunächst ein Lehrstil, der sich in wesentlichen Punkten nicht mit Wagenscheins Prinzip des genetisch-sokratisch-exemplarischen Lehrens und Lernens vereinbaren läßt. Trotzdem bezieht Wagenschein Faradays Kerze in die Reihe der Exempla ein: »Faradays Kerze sollte jeder Lehrer kennen.« Beeindruckt von der Fülle der Phänomene, die es in und um die eine Sache, die brennende Kerze, zu entdecken gilt, und der aus ihnen zu entwickelnden Gedankengänge sieht Wagenschein in Faradays Kerze das Prinzip des Exemplarischen erfüllt. Faradays Betrachtungen und Gedanken aufgegriffen, nachund weitergedacht, entsprechen dem Prinzip des Genetischen. Anders jedoch als von Faraday vorgeführt, ist dabei die Rolle des Lehrers zu sehen; mehr abwartend, richtungsweisend, nachbohrend begleitet er die Gedankengänge der Schüler auf Wegen, die sie selbst finden und gehen sollen: Sokratisch.

Faradays Vorlesungen lassen sich, will man sie genetisch-sokratisch aufarbeiten, nicht in ihrem vollen Umfang auf den Physik- oder Chemieunterricht übertragen, es sei denn, man würde wenigstens den Zeitraum eines Schuljahres dafür verwenden. Wesentliche Inhalte und auch Zielstellungen der Lehrplanvorgaben ließen sich damit abdecken. Andererseits ist zu befürchten, daß die Erwartungshaltung der Schüler etwa einer B. Klasse im Chemieunterricht nicht auf eine langfristige Betrachtung der Kerze gerichtet ist. Der Spannungsbogen wäre, was die Erfahrung lehrt, zu groß angesetzt. Es gilt also, mit Blick auf die Bezugsgruppe, eine Auswahl aus dem reichhaltigen Angebot Faradays zu treffen, mit dem sich in einem überschaubaren Zeitraum das Prinzip des genetisch-sokratisch-exemplarischen Lehrens und Lernens am ehesten verwirklichen läßt.

Die Schüler: In den Wahlpflichtkurs Chemie der Jahrgangsstufe 9 haben sich zumeist solche Mädchen und Jungen eingewählt, die in Klasse 8, im Schülerübungsunterricht, ihr besonderes Interesse für die Chemie entwickeln oder verstärken konnten. Für einige war es auch nur der Zweitwunsch im Wahlverfahren, der sie in den Chemiekurs gelangen ließ. Nicht nach Leistung differenziert, steht der Kurs allen Schülern der Gesamtschule offen; sowohl jenen, die eine Versetzung in die gymnasiale Oberstufe anstreben, als auch solchen, die mit dem Hauptschulabschluß nach Klasse 9 in ein Ausbildungsverhältnis gehen wollen. Entsprechend breit gestreut sind in der Gruppe auch die individuellen Lernvoraussetzungen.

Neben dem zweistündigen Wahlpflichtunterricht haben die Schüler weiterhin ihren zweistündigen, kursierten Regelunterricht in Chemie. Im Gegensatz zu diesem gibt es für das Wahlpflichtfach Chemie keine verbindlichen Lehrplanvorgaben, außer, daß es den Pflichtunterricht ergänzen, vertiefen und erweitern soll. Es besteht also die Möglichkeit, die Schüler mit in die Planung der Inhalte und Zielstellung einzubeziehen.

Das erste Schulhalbjahr war auf Laborarbeit ausgerichtet: Bearbeiten von Glas, Aufbau und Anwendung einfacher Apparaturen, praktischer Umgang mit Chemikalien, Herstellung von Lösungen für das Labor und den Schülerübungsunterricht u. a. Tätigkeiten, die vorwiegend von der Aktivität der Jungen getragen wurden; die Mädchen waren eher zurückhaltend.

In diese Situation zielt nun die Planung eines nicht vordergründig handlungsorientierten, eines besinnlicheren Chemieunterrichts. Bedenkenswert ist auch, daß vieles von dem, was im Pflichtunterricht der Klasse 8 schon einmal auf der Tagesordnung stand, nun noch einmal genetisch-sokratisch entwickelt werden soll. Werden die Schüler mitmachen?

Planungskizze: Das Angebot aus Faradays Vorlesung ist groß. Es gilt eine Auswahl für ein genetisch-sokratisch-exemplarisches Lehren und Lernen zu treffen. Ein Zeitraum von fünf bis sechs Wochen mit je einer Doppelstunde scheint sinnvoll zu sein:

Betrachtung einer brennenden Kerze; Michael Faraday, seine Weihnachtsvorlesungen - die Kerze als ideales Objekt einer Vielzahl von chemischen Untersuchungen: der Flammensprung; die Aggregatzustände; Kapillarkräfte im Docht; Blick in die Flamme; Kerzenqualm und Flammengase; leuchtende Kerzenflamme; Schatten einer Kerzenflamme; die Rolle der Luft bei der Verbrennung; Kohlendioxid als Verbrennungsprodukt; Wasser aus der Flamme; Kreislauf der Kerze.

Sechs Doppelstunden in der Wetzlarer Neunten

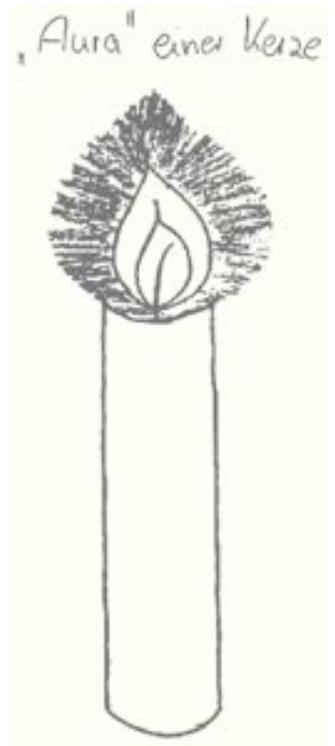
Erste Doppelstunde: Der Flammensprung - dampfiges Wachs: Die Schüler wurden entgegen der bisher üblichen Praxis nicht an der Vorplanung beteiligt. Sie wissen nur, daß eine neue Unterrichtseinheit beginnt. Haushaltskerzen, Kerzenständer und Streichhölzer werden verteilt.

Die Kerzen sind in die Ständer zu stecken und anzuzünden. Betrachtet die Kerzenflamme! Die Jungen sind mißtrauisch, folgen aber. Am ehesten haben sich die Mädchen gefangen; jetzt ist ihre Stunde gekommen. Die noch unsicheren Jungen wagen nicht, sich zu äußern. Die Mädchen beschreiben nun sehr genau die Kerzenflamme. Eine Schülerin spricht von einer Aura um die Kerzenflamme. Sie darf an der Wandtafel anzeichnen, was sie meint, und sie versteht es auch, die Aura der Kerzenflamme zeichnerisch darzustellen. Die jungen ergänzen nun mit ihren sachlichen Beobachtungen.

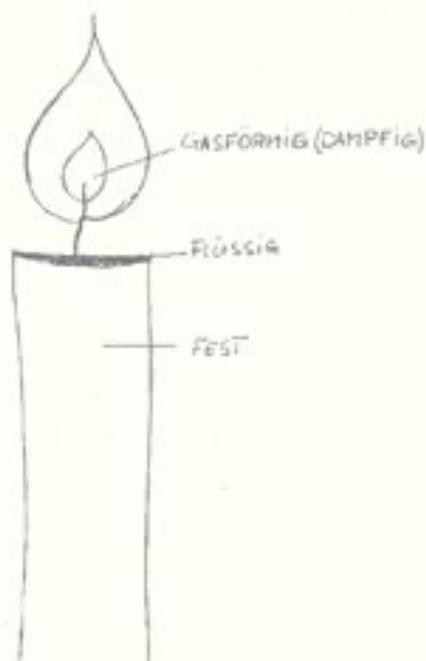
Länger kann die eher besinnliche Phase des Unterrichts nicht mehr ausgedehnt werden. Es ist an der Zeit, über Michael Faraday und seine Weihnachtsvorlesung, die Naturgeschichte einer Kerze, zu berichten. Wenn auch die Kerze zu Faradays Zeiten einen anderen Stellenwert hatte als heute, so bietet sie, das ist das Versprechen an die Schülergruppe, die Möglichkeit zu einer Vielzahl interessanter chemischer Untersuchungen.

Die Schüler sehen eine kurze Demonstration des Flammensprungs (noch wirkungsvoller würde dieser sein, wenn er im abgedunkelten Raum erfolgte!). Nun dürfen sie selbst ausprobieren. Es folgt ein Wettbewerb: Wer schafft den weitesten Flammensprung?

Beim Spiel mit der Flamme klärt sich vieles; es kann nur Wachsdampf sein, der aus dem Docht entweicht, sich entzünden läßt und die Flamme wieder zurück zum Docht bringt, so wird die Frage nach den Vorgängen beantwortet.



ZUSTANDSFORMEN von KERZENWACHS.



Ob vielleicht nicht doch etwas anderes als Wachsdampf aus dem Docht kommt? Zweifel lassen sich wecken. Festes Wachs müsse geschmolzen und so lange erhitzt werden, bis es verdampft, und dann müßte man den Dampf anzünden können. Schüler zerkleinern eine Kerze und geben sie in eine Eisenschale. Sie wird mit dem Brenner kräftig erhitzt. Ein Demonstrationsversuch; die Schüler haben sich um den Tisch gruppiert. Das Wachs schmilzt, läßt sich aber in diesem Zustand nicht anzünden. Bald steigt dichter Wachsdampf auf. Es riecht wie beim Flammensprung. Der brennende Holzspan zündet den Nebel; eine qualmende Flamme lodert aus der Schale. Bevor der Raum total verrußt, wird die Flamme mit einem Deckel erstickt. Die Schale kommt in den Abzugskasten; es muß kräftig gelüftet werden.

Festes Wachs, flüssiges Wachs und Wachsdampf zeigt der Demonstrationsversuch. Die Schüler erinnern sich an die in Klasse 8 erarbeiteten Aggregatzustände: fest, flüssig und gas-

förmig. Ein Unterschied bei den Begriffen wird deutlich. Gasförmig bedeutet hier: man muß das bereits geschmolzene Wachs noch einmal kräftig erhitzen, damit es verdampft. Wachsdampf ist also kein Gas wie etwa Sauerstoff, der auch ohne unser Zutun gasförmig vorhanden ist. Die Begriffe dampfförmig oder auch dampfig wollen eher einleuchten.

Festes Wachs und Wachsdampf bei der Kerze sind klar; wo aber ist das flüssige Wachs zu finden? Das Schüsselchen der brennenden Kerze wird benannt. Noch einmal wird die Brennbarkeit des Wachses im Schülerexperiment untersucht. Faszinierend ist nach wie vor der Flammensprung.

Einer neuen Zeichnung der Kerze werden die drei Aggregatzustände zugeordnet. Unsicherheit besteht noch, wo denn genau in der (exakt gezeichneten) Kerzenflamme der Wachsdampf zu finden sei, sie sähe nämlich teilweise hohl aus. Eine Vermutung, die offensichtlich durch das noch nicht eingeplante Spiel mit dem Holzspan gestützt wird. Quer in die Flamme gehalten, zeigt er Brandspuren nur von den Rändern der Flamme. Die Klärung dieser Frage wird auf die nächste Doppelstunde vertagt.

Zur Ergebnissicherung werden die Tafelzeichnungen, auch eine solche des Demonstrationsversuchs in die Hefte übernommen. Die Versuchsergebnisse sind in einer Zusammenfassung festzuhalten.

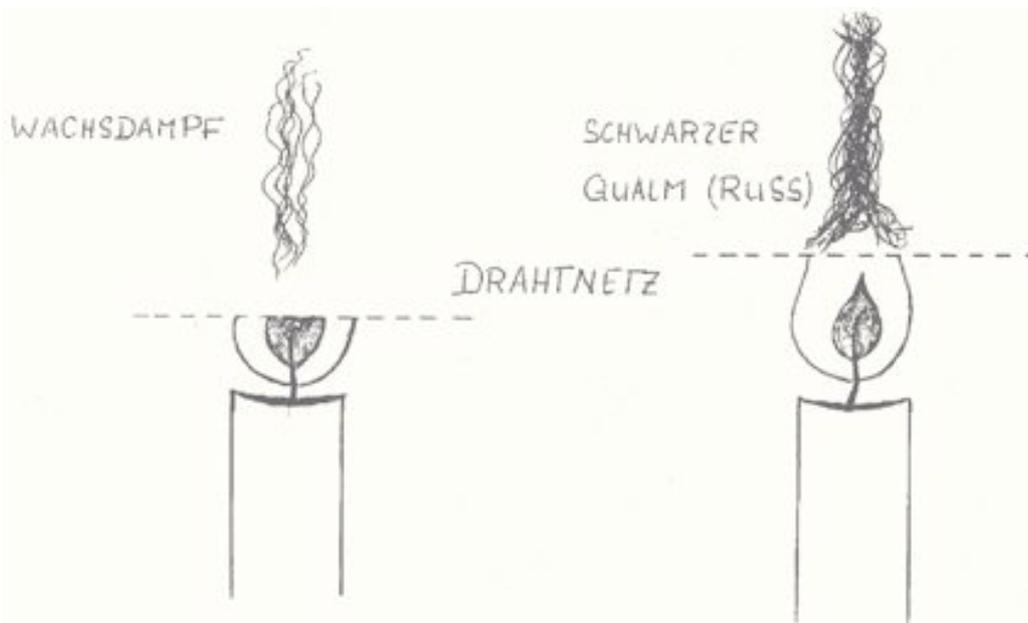
Zweite Doppelstunde: Der Blick in das Innere der Kerzenflamme: Um an die Problematik der vergangenen Doppelstunde anzuknüpfen, wird die Kerze mit den zugeordneten Aggregatzuständen an die Tafel gezeichnet. Woher kommt das gasförmige Wachs, der Wachsdampf? Erneut wird der Flammensprung durchgeführt. Der Wachsdampf muß aus dem Docht kommen! Eine Längsschnittszeichnung der Kerze legt den Docht frei, führt ihn durch das Schüsselchen mit dem geschmolzenen Wachs, endet aber etwas unpräzise im Hohlraum (ein etwas zu früh verwendeter Begriff) der Kerzenflamme. Dort, vom Docht kommend, müsse das Wachs durch die Hitze der umgebenden Kerzenflamme verdampfen. Also unsichtbarer Kerzendampf? Es gäbe, so der Hinweis, vergleichbare Vorgänge; so z. B., wenn Dampf aus dem Wasserkessel austrete. Zunächst sei er unsichtbar, dann bilde sich Nebel.

Es ist Zeit, die vermuteten Vorgänge in der Kerzenflamme experimentell zu hinterfragen. Ein Blatt Filterpapier, von oben kurz in die Flamme gehalten, zeigt Spuren. Eine Parallele zur Erfahrung mit dem Holzspan. In der Mitte ein unversehrter Fleck, der Hohlraum; rundherum die Brandspuren der leuchtenden Flamme. Nicht immer gelingt der Versuch auf Anhieb. Um Papierfeuerchen auf den Schülertischen zu vermeiden, bleibt es beim Lehrerexperiment; zeichnet es doch auch nur ein unvollständiges Bild der Kerzenflamme.

Die Schüler hingegen sollen in die Flamme hineinsehen. Ein Drahtnetz, langsam in die Flamme bis auf den Docht herabgesenkt, läßt einen Blick von oben in den Hohlraum zu. Gleichzeitig sieht man Kerzendampf entweichen und riecht ihn auch. Wachs kommt aus dem Docht und verdampft; der vermeintliche Hohlraum enthält tatsächlich unsichtbaren Wachsdampf.

Der mit dem Drahtnetz abgezweigte Wachsdampf muß brennbar sein. Ein neues, faszinierendes Spiel kann beginnen: die tanzende Flamme. Ein seitlich, dicht über dem Docht in die Flamme geschobenes Drahtnetz trennt die Restflamme vom aufsteigenden Dampf. Das Spiel verlangt einiges Geschick. Ein Schüler führt das

Drahtnetz, hebt es langsam, der andere zündet mit dem Span den Wachsdampf an. Zarte Flämmchen schweben einige Zentimeter oberhalb des Drahtnetzes. Neue Erkenntnisse werden formuliert, neue Fragen tauchen auf: Am Docht muß eine Restflamme erhalten bleiben, sonst kann kein Wachs verdampfen. Weshalb aber der Wachsdampf nicht direkt am Drahtnetz verbrennt, ist



UNTERSUCHUNG der KERZENFLAMME

schwerer zu beantworten. Der aufsteigende, wenn auch schwache Luftstrom scheint eine Rolle zu spielen. Daß das Drahtnetz Wärme ableiten und den Wachsdampf in direkter Nähe unter die Zündtemperatur abkühlen kann, muß mit Anwendungsbeispielen belegt werden. Bekannt ist aus chemischen Experimenten die Rückschlagsicherung und nachvollziehbar auch das Prinzip der Davy'schen Sicherheitslampe.

Nebenbei angefallen ist auch die Beobachtung, daß, hält man das Drahtnetz in den leuchtenden Teil der Flamme, schwarzer Qualm entweicht. Die Untersuchung der Kerzenflamme mit dem Drahtnetz wird in Zeichnungen festgehalten. Auch die Tafelzeichnung des Kerzenlängsschnitts kann nun ergänzt werden. Vom Schlüsselchen kommend, steigt, durch Pfeile angedeutet, das Wachs im Docht hoch und wird im Bereich der abgegrenzten Flamme am Docht zu unsichtbarem Wachs verdampft.

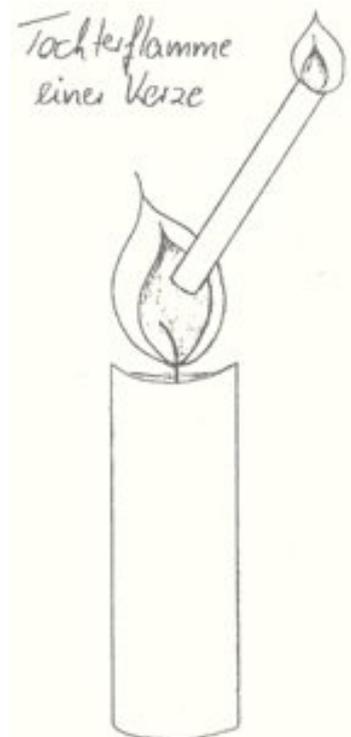
Nicht beantwortet aber ist die Frage, wie und durch welche Kräfte denn das Wachs im Docht nach oben steigen kann. Wird es etwa durch die Hitze nach oben gezogen? Wie kommt das Wasser von den Baumwurzeln bis zu den Blättern? Begriffe wie Haarröhrchen und Kapillaren werden hervorgeholt. Die Aussagen sind experimentell zu überprüfen: An verschiedenen dünnen Röhren ist zu beobachten, daß das Wasser am Rande nach oben steigt, je dünner, desto höher. Anhangskräfte befinden sich im Widerstreit zur Schwerkraft. Auch die Kapillarwirkung wird experimentell nachvollzogen. Aus Glasröhrchen werden Haarröhrchen gezogen. In angefärbtes Wasser gestellt, steigt dieses nach oben. In Textilgewebe, zu beobachten an der Saugwirkung des Handtuchs, in Baumwollfäden, im Kerzendocht gibt es Kapillaren. Stellvertretend für geschmolzenes Wachs werden unterschiedliche Materialien in Heizöl getaucht; nach kurzer Zeit läßt sich das Heizöl am oberen Ende des Dochts anzünden. Selbst ein Stück Tafelkreide läßt sich als Docht verwenden.

Dritte Doppelstunde: Wachsdampf aus der Kerzenflamme: Die Beobachtungen und Erkenntnisse beim Blick in den Hohlraum der Kerze werden wieder aufgegriffen. Der dort entstehende Wachsdampf muß sich ableiten und auffangen lassen. Aus den Vorschlägen der Schüler - hier sind die jungen wieder am Zuge - läßt sich eine brauchbare Versuchsanordnung entwickeln. Wachsdampf soll durch ein zweifach gewinkeltes Rohr in einen Erlenmeyerkolben geleitet werden. Glasröhren werden erhitzt und gebogen. Da bereits geübt, kein besonderes Problem; aber es kostet Zeit und auch eine Brandblase. Man sieht dem bereits einmal gebogenen Rohr halt nicht an, daß es noch heiß ist. Die Ableitung des Wachsdampfes bleibt dem Geschick der Schüler überlassen. Es entweichen weiße, aber auch braune bis schwarze Dämpfe. Sichtbarer Wachsdampf ist weiß. Die Gasableitung aus der Flamme läßt sich aber so korrigieren, daß nur weißer Dampf entweicht. Dicht über dem Docht, im Hohlraum, kann er abgezapft werden. Wie ein dichter Nebel, eine träge Flüssigkeit, sinkt er aus dem Glasrohr auf den Boden des Erlenmeyerkolbens und quillt seitlich wieder nach oben. Die Schüler sind begeistert bei der Sache, sie zeigen sich gegenseitig ihre Versuche.

Ein mit Wachsdampf gefüllter Kolben wird mit der Öffnung an die Brennerflamme gehalten. Eine schwach-blaue Flamme schlägt in den Kolben hinein und verbrennt den Wachsdampf. Da harmlos, dürfen auch die Schüler den Versuch durchführen. Neue Kolben müssen gefüllt werden, denn zwischenzeitlich hat sich der Wachsdampf an den Glaswänden niedergeschlagen - kondensiert oder sublimiert? Begriffe aus dem Chemieunterricht der Klasse 8 werden hervorgeholt. Es sieht so aus, als würde der Wachsdampf direkt aus dem gasförmigen (dampfigen) Zustand in den festen Zustand übergehen, also resublimieren. Wieder erhalten Begriffe, wenn auch längst bekannt, durch die Intensität des Phänomens eine neue Qualität.

In einer anderen Variante des Versuchs wird der Wachsdampf aus dem Hohlraum durch ein gerades Röhrchen schräg nach oben geleitet. Mit dem Span entzündet, brennt nun eine kleine Tochterflamme neben der größeren Hauptflamme.

Bei beiden Versuchsanordnungen setzt sich an dem in die Flamme eintauchenden Ende des Glasröhrchens Ruß ab. Man kann ihn auch aus der Flamme ableiten, wenn das Röhrchen oberhalb des Hohlraums in den leuchtenden Teil der Kerze eintaucht; dort, wo auch das Drahtnetz in der Kerzenflamme schwarzen Qualm verursachte. Er läßt sich, so die Ergebnisse der Schülerversuche, weniger schön auffangen als der weiße Kerzendampf, und eine Tochterflamme will auch nicht gelingen. Zwei verschiedene Stoffe aus einer Flamme; der eine brennbar, der andere anscheinend nicht. Auch das ist verwunderlich: So ist es logisch, daß weißer Dampf aus einer weißen Kerze kommt; aber es paßt natürlich nicht, daß die Kerzenflamme schwarzen Ruß abscheidet. Ein Problem, das in der nächsten Stunde aufgegriffen werden soll.



Die intensiven Schülerexperimente haben die Doppelstunde ausgefüllt. Es bleibt gerade noch Zeit, die Versuchsdurchführungen zur Gasableitung (vgl. Titelbild) und zur Tochterflamme zu skizzieren. Die Reinzeichnungen, als Ergebnissicherung gedacht, sollen alle wesentlichen Details und die bei den Experimenten beobachteten Phänomene enthalten.

Vierte Doppelstunde: Feuerwerk und leuchtender Ruß: Ruß aus dem leuchtenden Teil der Kerzenflamme! Man kann ihn ableiten, sichtbar machen. Eine weiße Porzellanschale in die Kerzenflamme gehalten, überzieht sich mit einer dicken Rußschicht. Daß sich der Ruß tatsächlich im leuchtenden Teil der Kerze befinden muß, läßt sich mit einem verblüffenden Experiment belegen. Die Kerzenflamme, mit dem Lichtstrahl eines Diaprojektors angeleuchtet, wirft einen Schatten. Der Hohlraum bleibt hell, denn dort befindet sich unsichtbarer Wachsdampf; der leuchtende Kranz aber wirft einen Schatten. Hier muß also etwas dem Licht im Wege sein, der Ruß. Noch etwas läßt sich beobachten. Flimmernde Luft oberhalb der Kerze malt ein Bild der Luftströmung. Es wird an anderer Stelle nochmals aufgegriffen.

Ist es der Ruß, der die Kerzenflamme zum Leuchten bringt? Die Schüler verweisen auf den Gasbrenner, der eine leuchtende und eine entleuchtete Flamme haben kann. Sie experimentieren mit dem Gasbrenner. Auch eine Rußabscheidung aus der leuchtenden Brennerflamme wird festgestellt, während die entleuchtete Flamme keine Rußspuren hinterläßt. Wenn die Luftzufuhr am Brenner ganz geöffnet sei, dann würde der in der Flamme enthaltene Ruß vollständig verbrennen, bei geschlossener Luftzufuhr würde er nur verglühen. Bekommt also die Kerzenflamme zu wenig Luft, leuchtet sie nur deshalb? Ob sich eine Kerzenflamme bei verstärkter Luftzufuhr verändert, bleibt zu untersuchen.

Zunächst hat der Lehrer Gelegenheit zu seiner großen Show. Im abgedunkelten Raum, nur die fahle Flamme des Brenners ist sichtbar, bläst er Metallpulver in die Flamme: grelles Aufleuchten bei Aluminium, orangefarbener Funkenregen vom Eisen, weißgrüne Funken mit Rauchspuren beim Zinn, leuchtend grüne Flammenfärbung vom Kupfer. Wie beim Feuerwerk, so äußern sich die Schüler. Feste Stoffe, in die Brennerflamme gebracht, verbrennen oder verglühen, so folgern sie weiter. Die Vermutung von glühendem Ruß in der Kerzenflamme erhärtet sich.

Wieder im abgedunkelten Raum, eine brennende Kerze, daneben die entleuchtete Brennerflamme eines (sauberen!) Gasbrenners. Diesmal wird Ruß aus der Chemikalienflasche in die Flamme geblasen. Die Brennerflamme nimmt die Färbung der Kerzenflamme an. Ruß, Kohlenstoff, so weist das Etikett aus, gibt der Flamme ihre warmleuchtende Farbe.

Hatte hier der Lehrer Gelegenheit zu einem beeindruckenden Flammenzauber, so schont er gleichzeitig auch seine Gasbrenner, die beim Schülerexperiment hoffnungslos mit Metallpulvern und Ruß verstopft würden.

Die Frage nach mehr Luft für die Kerzenflamme ist allerdings noch nicht beantwortet. Sämtliche Versuche der Schüler in diese Richtung scheitern; mehr Luft pustet die Flamme aus. Einer erinnert sich, daß die Luft nur einen geringen Teil Sauerstoff enthält, und daß man der Kerzenflamme reinen Sauerstoff zuführen könne. Die brennende Kerze wird in einen sauerstoffgefüllten Standzylinder getaucht; die Flamme leuchtet eine Weile mit greller Flamme, bis der Sauerstoff verbraucht ist. Die verfügbare Luft bzw. die Luftzusammensetzung hat also durchaus einen Einfluß auf die Flammenfärbung, wenn auch nicht in der erwarteten Richtung.

Fünfte Doppelstunde: Aus Ruß wird Kohlendioxid: Wurde also unwiderlegbar festgestellt, daß das Leuchten der Kerzenflamme auf glühende Ruß- bzw. Kohlenstoffpartikel zurückzuführen ist, so taucht nun die Frage auf, was denn mit dem Kohlenstoff in der Flamme geschieht. Außerhalb der Flamme ist er nicht mehr nachweisbar. Vermutlich verbrenne er; dazu sei ja die Luft notwendig.

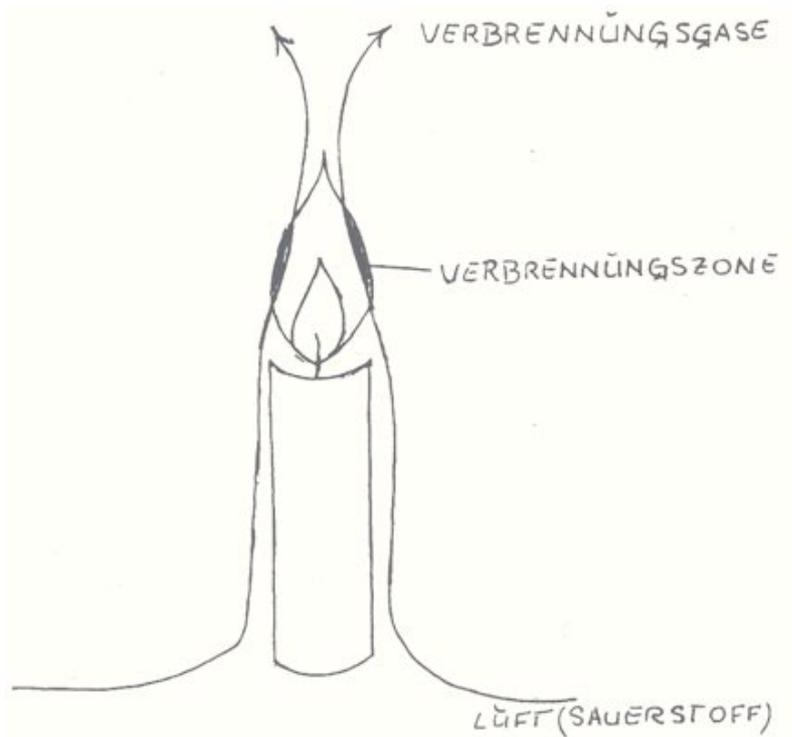
Die vermutliche Verbrennungszone wird anhand einer Tafelzeichnung ermittelt. Luft streicht an der Kerze nach oben und berührt den Flammensaum. Dort müsse die Verbrennung des Kohlenstoffs erfolgen. Auch experimentell läßt sich diese Vermutung bestätigen. Mit angefeuchteten Fingern können die Schüler bei zugfreier Umgebung den aufsteigenden Luftstrom spüren. Fast nebenbei findet sich nun auch eine Erklärung für das Schüsselchen. Eine heiße Flamme, die von oben das Wachs zum Schmelzen bringt, und ein aufsteigender, kühlender Luftstrom, der einen festen Rand stehen läßt. Stört man dieses Gleichgewicht, so läßt sich zeigen, beginnt die Kerze zu tropfen.

Zurück zum Kohlenstoff. Ist es denn denkbar, daß seine Verbrennung keine Spuren hinterläßt? Asche ist jedenfalls nicht zu sehen! Aus dem Chemieunterricht der Klasse 8 weiß man noch, daß bei Verbrennungsvorgängen Oxide entstehen. Man erinnert sich an die festen Metalloxide und an gasförmiges Schwefeldioxid und auch daran, daß Oxide Verbindungen mit Sauerstoff sind. Es müsse also gasförmiges Kohlendioxid entstehen. Auch Kohlenmonoxid gebe es.

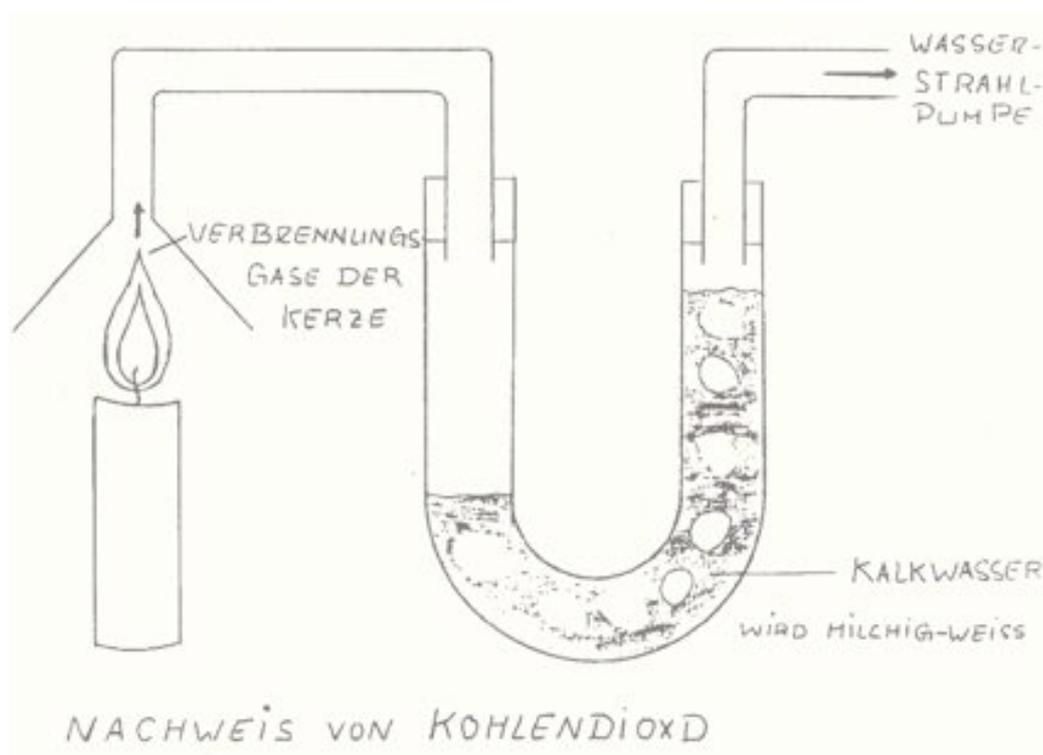
Wenn ein Stoff nicht sichtbar ist, so kennt die Chemie zumeist Mittel, ihn sichtbar zu machen, nachzuweisen. Kalkwasser als Nachweismittel für Kohlendioxid (Kohlenstoffdioxid) ist anscheinend noch nicht bekannt. Aus der Stahlflasche eingeleitetes Kohlendioxid zeigt die Wirkung. Man erinnert sich an einen Versuch aus dem Biologieunterricht; er wird nachvollzogen. Atemluft, durch Kalkwasser geleitet, färbt dieses milchig trüb.

Die Schüler untersuchen die aufsteigenden Verbrennungsgase der Kerze. In einem mit Kalkwasser ausgeschwenkten Becherglas haften noch einige Tropfen. Sie trüben sich, fängt man die Verbrennungsgase mit dem Becherglas auf. Als Beweis eigentlich genug, aber die Schüler sind nicht zufrieden. Wie also besser? Wie könnte man sämtliche Verbrennungsgase der Kerze in das Kalkwasser bringen? Der Vorschlag, alles Gas in einem entsprechend großen Behälter aufzufangen und dann Kalkwasser hinzuzugeben, erweist sich als wenig praktikabel. Der einfachste Weg, die Verbrennungsgase durch das Nachweismittel hindurchzuleiten, wird nur mit Hilfestellung gefunden; aber eine geeignete Apparatur - die wird von den Jungen entwickelt. Nebenbei muß dazu noch das Prinzip der Wasserstrahlpumpe erarbeitet werden. Von einem Trichter aufgefangan und durch ein U-Rohr gesaugt, perlen dicke Blasen der Verbrennungsluft durch das Kalkwasser. Eine kräftige Trübung beweist das Vorhandensein von Kohlendioxid; im U-Rohr setzt sich nach dem Durchsaugen Kalk ab. Eine Zeichnung zum Versuch dient der Ergebnissicherung. Die chemischen Reaktionen: Oxidation des Kohlenstoffs und Nachweis des Kohlenstoffdioxids werden als Wortgleichungen formuliert.

Einige Schüler verlangen allerdings nach Formeln; diese gehören offensichtlich zum Bild, das man sich von der Chemie macht. Weil es denn sein muß, werden die beteiligten Stoffe auch mit Formeln versehen.



Einige Schüler verlangen allerdings nach Formeln; diese gehören offensichtlich zum Bild, das man sich von der Chemie macht. Weil es denn sein muß, werden die beteiligten Stoffe auch mit Formeln versehen.



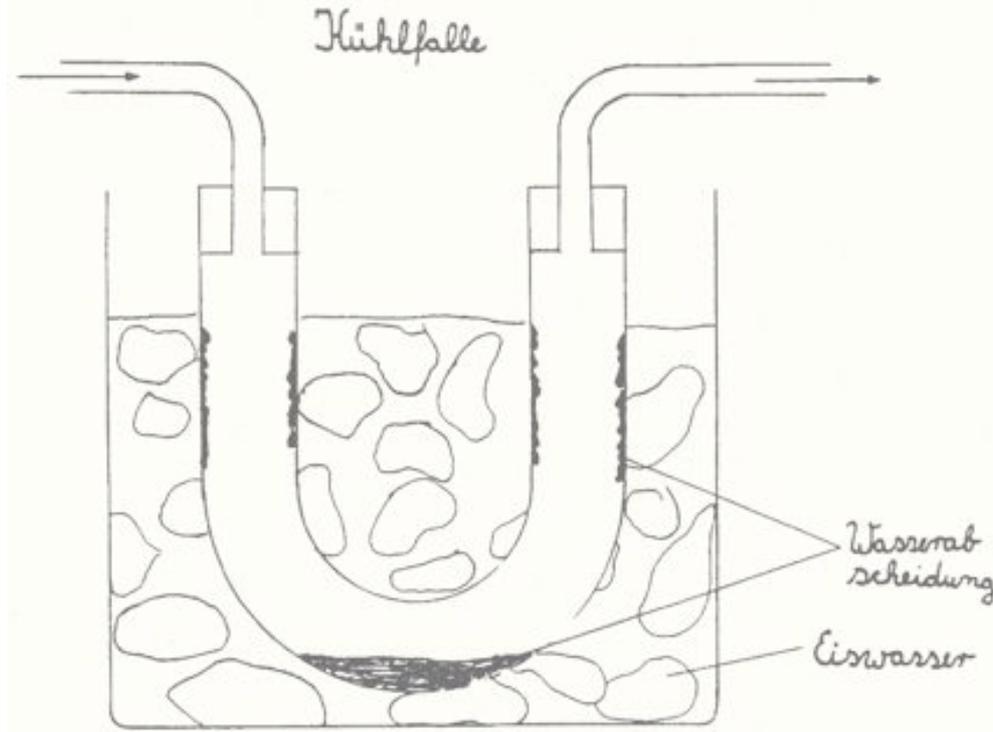
Es bleibt noch Zeit, das Gespräch auf einen Widerspruch zu lenken. Da ist eine weiße Kerze, und daraus entsteht ebenso weißer Kerzendampf. Also kann es doch nicht reiner, schwarzer Kohlenstoff sein, der da in der Flamme glüht und schließlich verbrennt. Ruß oder Kohlenstoff muß aber im Wachsdampf enthalten sein. Ein Stoffgemisch kommt nicht in Frage, sonst wäre der Wachsdampf nicht weiß; so bleibt nur die Möglichkeit der chemischen Verbindung des

Kohlenstoffs mit einem anderen Stoff. Glücklicherweise ist dieser andere Stoff noch nicht bekannt. Er soll, so lautet die Ankündigung, in der nächsten Doppelstunde identifiziert werden.

Sechste Doppelstunde: Feuerwasser und Kerzenkreislauf: Im Wachsdampf, so haben die Überlegungen der sechste Verbindung aus Kohlenstoff und?? Wenn Kohlenstoff in der Kerzenflamme verbrenne, dann müsse auch dieser andere Stoff verbrennen. Nachzuweisen sei er dann auch als Verbrennungsprodukt, also einer chemischen Verbindung mit Sauerstoff.

Da auch dieses Oxid nicht sichtbar sei, genauso wenig wie das Kohlendioxid, müsse es sichtbar gemacht werden.

Da es nun wenig sinnvoll ist, die Schüler raten zu lassen, welches der zweite Bestandteil des Waxes sein könne, erhalten sie nun einen konkreten Auftrag zur Nachweisführung. Ein großes, trockenes Becherglas ist über die Flamme zu halten. Es beschlägt. Das könnte Wasser sein, so wie Wasserdampf an der



Fensterscheibe! Aber Wasser aus der Kerzenflamme? Auch dieses Versuchsergebnis ist nicht ganz überzeugend. Wenn also beim Verbrennen von Wachsdampf wirklich Wasser entstehe, dann müsse es auch in größeren Mengen nachweisbar sein.

Die Versuchsanordnung zum Nachweis von Kohlendioxid steht noch; sie soll in abgewandelter Form zum Wassernachweis eingesetzt werden. Eine Kühlfalle wird entwickelt. Im U-Rohr kann nun kein Kalkwasser mehr sein; hingegen muß es gekühlt werden. Fließendes Wasser wie bei der Destillation ist hier kaum möglich; aber man kann das U-Rohr in ein großes Becherglas mit kaltem Wasser stellen. Noch besser ist die Kühlung, wenn das Wasser durch Eiswürfel ersetzt wird.

Die Kerze verbrennt unter dem Trichter; die Verbrennungsgase werden durch das U-Rohr gesaugt. An den Wänden des U-Rohrs bilden sich Wassertropfen, am Boden entsteht langsam eine kleine Wasserpfütze. Luftfeuchtigkeit, wie auch vermutet wurde, kann das wohl nicht sein. Ob diese kondensierte Flüssigkeit denn auch wirklich Wasser sei? Es gäbe auch andere Flüssigkeiten, die wie Wasser aussähen. Eine Nachweisreaktion für Wasser muß zwischengeschoben werden. Genau wie mit Leitungswasser färbt sich weißes Kupfersulfat auch mit dem verflüssigten Verbrennungsprodukt blau. Also ist beim Verbrennen von Wachs neben Kohlendioxid auch Wasser entstanden. Wasser aus der Flamme, aus Feuer - Feuerwasser.

Es schließt sich die Frage an, wieviel Wasser denn beim Verbrennen einer ganzen Kerze entstehen würde. Der Wassernachweis läuft als Dauerversuch weiter.

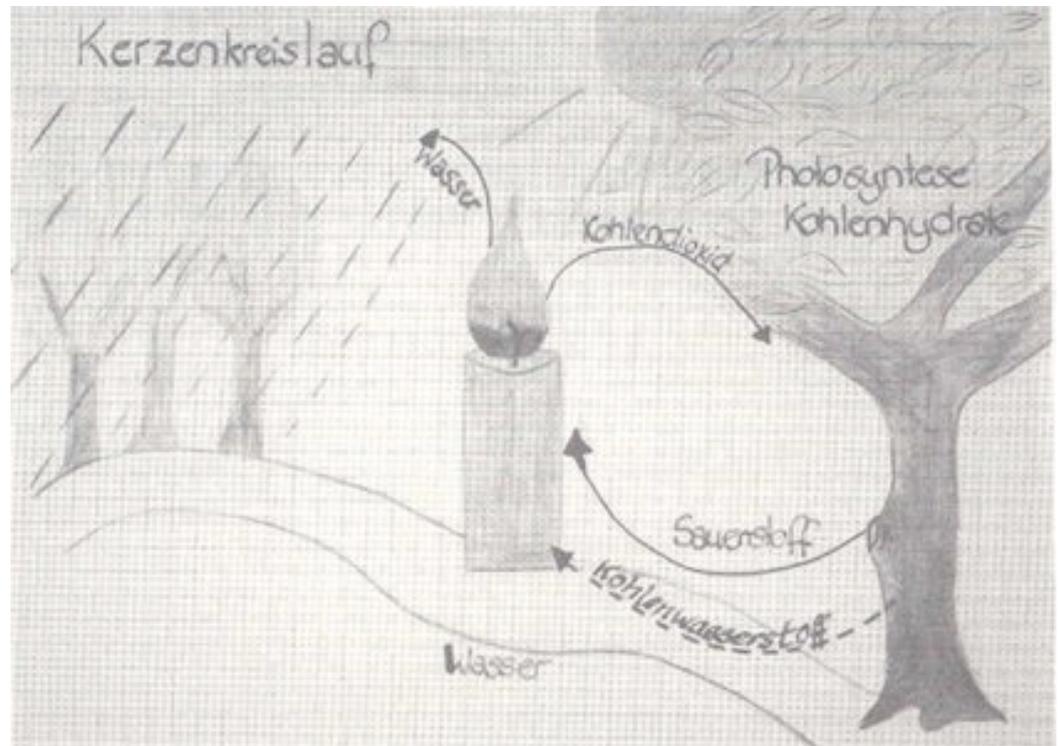
Wenn Wasser ein Verbrennungsprodukt, also ein Oxid ist, dann muß noch die Frage nach dem Partner des Sauerstoffs im Oxid beantwortet werden. Man könnte zur Beweisführung jetzt reinen Wasserstoff aus der Vorratsflasche verbrennen, aber die Zeit reicht dazu nicht mehr aus. Aber Wasser wird von den Schülern mit H_2O gleichgesetzt; und O sei Sauerstoff, und H sei Wasserstoff. Also sei der gesuchte Stoff Wasserstoff. Wachsdampf enthalte Kohlenstoff und Wasserstoff als chemische Verbindung; Kohlenwasserstoff.

Chemische Formeln als Krücke für genetisches Lehren und Lernen. Die Wortgleichung und diesmal auch eine Formelgleichung werden an der Tafel entwickelt. Eine Zeichnung der Kühlfalle dient der Ergebnissicherung.

Faraday stellt am Ende seiner Vorlesungen die Kerze noch einmal symbolhaft in den Mittelpunkt seiner Betrachtungen. Darin beschreibt er als Wechselwirkung zwischen Tier und Pflanze einen Kohlenstoffkreislauf, in den er auch die Kerze mit einbezieht.

Wenn es auch wenig effektiv erscheint, die Kerze als Symbol für Lebensvorgänge in die Lerngruppe einzubringen, so soll aber auch hier abschließend ein Kerzenkreislauf entwickelt werden. Dabei steht einzig die Paraffinkerze, also ein Erdölprodukt, im Mittelpunkt der Überlegungen:

Kohlenstoff und Wasserstoff der Kerze verbrennen zu Kohlendioxid und Wasser. Pflanzen, hier nun die Meerespflanzen, wandeln mit Hilfe des Sonnenlichts Kohlendioxid und Wasser in Kohlenhydrate um und spenden dabei den Sauerstoff für Verbrennungsvorgänge (und Lebensvorgänge) wichtigen Sauerstoff. Plankton, ein Gemisch aus pflanzlichen und tierischen Kleinstlebewesen der Meere, stirbt ab, bildet Faulschlamm und verwandelt sich unter Luftabschluß und bakterieller Einwirkung im Laufe von Millionen Jahren zu Erdöl. Daraus kann man u. a. wieder Paraffin zur Herstellung von Kerzen gewinnen. Ein etwas prosaischer Kreislauf. Eine Tafelzeichnung wird parallel zum Gedankengang entwickelt.



Rückblick und Perspektiven

Sechs Wochen mit je einer Doppelstunde zum Thema Kerze sind eine lange Zeit. In der Mitte gab es auch Durchhängephasen, die aber nur zu Beginn der Unterrichtsstunden auftraten. Sowohl bei der Entwicklung der Gedanken und wie bei den Experimenten, war dann die Kerze doch wieder interessant und ergiebig. Wünschenswert, man könnte die sechs Doppelstunden an sechs Tagen der Woche unterrichten; der inhaltliche Zusammenhang bliebe eher gewahrt, der Spannungsbogen würde nicht überdehnt.

Galt im Unterricht das Prinzip, nicht nur alle Gedanken um die Sache sich entwickeln, sondern auch die experimentellen Untersuchungen von den Schülern erdenken und ausführen zu lassen, so war dieses Verfahren doch sehr zeitaufwendig. Manche Versuche, wie etwa der Flammenzauber, können durchaus vom Lehrer dargeboten werden; vorausgesetzt, daß sie von den Schülern vor-, mit- und nachgedacht werden.

Faradays Kerze; genetisch-sokratisch-exemplarisch? In wesentlichen Phasen des Unterrichts konnte das Prinzip verwirklicht werden. Einwurzelung von Bestand? Man könnte sich nach etwa einem Jahr noch einmal rückbesinnen, um zu sehen, was geblieben ist.

Ein neuer Wahlpflichtkurs Chemie wird im kommenden Schuljahr voraussichtlich nicht zustande kommen. Aber denkbar ist auch ein Anfangsunterricht mit Faradays Kerze in der Jahrgangsstufe B. Die Voraussetzungen sind anders; ein allgemeines Interesse an der Chemie kann nicht erwartet werden, Vorwissen wird nur in wenigen Fällen verfügbar sein. Aber vielleicht ergeben sich gerade hieraus besondere Chancen für ein genetisch-sokratisch-exemplarisches Lehren und Lernen mit Faradays Kerze.