

Dr. Christiane Collin

Prof. Dr. Alfred Flint

„Chemie fürs Leben“

am Beispiel von

Einweggeschirr, Kohlendioxid und Fleckenwasser

- eine alltags- und schülerorientierte Unterrichtseinheit
für den Chemieanfangsunterricht -

- Stand: September 2019 -

Unter Mitwirkung von:

Dr. Babette Freiheit
Dr. Gabriele Lange
André Reinke
Dr. Tom Wagner
Tom Kempke
Anika Neumann

Inhaltsverzeichnis

I. Für den Anfangsunterricht relevante Schülervorstellungen	6
1. Schülervorstellungen zum Thema Stoffe und ihre Eigenschaften	6
2. Schülervorstellungen zu den Aggregatzuständen und deren Änderungen	8
3. Schülervorstellungen im Zusammenhang mit dem Teilchenmodell	10
4. Schülervorstellungen zur chemischen Reaktion	12
II. Grundsätze des Unterrichtskonzepts „Chemie fürs Leben“	15
III. Die Unterrichtseinheit	17
<u>1. Der Unterrichtseinstieg</u>	17
1.1 Ordnung nach der Verwendung	19
1.2 Ordnung nach dem Material	20
1.3 Ordnung nach bestimmten Stoffeigenschaften, z.B. der Brennbarkeit	21
1.4 Ordnung nach dem Aggregatzustand	22
Versuch 1: Typische Eigenschaften von festen und flüssigen Stoffen	23
Versuch 2: Untersuchung von losem Zucker	23
Versuch 3: Typische Eigenschaften von gasförmigen Stoffen	23
<u>2. Aggregatzustände und Übergänge zwischen den Aggregatzuständen</u>	23
Versuch 4: Bestimmung der Schmelz- und Siedetemperatur von Wasser	23
Versuch 5: Pneumatisches Auffangen von Wasserdampf	25
Versuch 6: Druckabhängigkeit des Siedepunkts von Wasser	25
Versuch 7: Schmelzen und Verdampfen von Kerzenwachs	26
Versuch 8: Resublimation von Wasserdampf an einem kalten Metallblock	27
<u>3. Aggregatzustände und Energie</u>	27
<u>4. Stoffe bestehen aus kleinsten Teilchen</u>	30
Versuch 9 : Luftballon in der Flasche	30
Versuch 10: Sieden und Kondensieren von Wasser	30
Versuch 11: Luftballon mit Wasser in der Mikrowelle	31
Versuch 12: Mischen von Wasser mit Brennspiritus	35
Versuch 13: Mischen von Erbsen mit Reis	36
Versuch 14: Lösen und Rückgewinnen von Zucker	36
Versuch 15: „Molekulares Filtrieren“	37
Versuch 16: Brown`sche Bewegung	38
Versuch 17: „Aufbrühen“ von Fruchtetee	39
<u>5. Ausgewählte Eigenschaften gasförmiger Stoffe</u>	40
5.1 Feuerzeuggas / Campinggas	40
Versuch 18: Auffangen und Komprimieren von Feuerzeuggas	41
Versuch 19: „Ausgießen des verflüssigten Campinggases“	41
Versuch 20a: Entzünden von Feuerzeuggas durch eine Flamme	43
Versuch 20b: Entzünden von Feuerzeuggas durch einen glühenden Draht	43
Versuch 21: Vergleich der Brennbarkeit von Feuerzeuggas mit der eines Feuerzeuggas-Luft-Gemisches	44
Versuch 22: Demonstration einer Explosion mit Feuerzeuggas	45
Versuch 23: Fernzündung „kriechender“ Gase	46
Versuch 24: Vergleich der Masse gleicher Portionen Luft und Feuerzeuggas	47
Versuch 25: Ermittlung der Dichte mit Hilfe einer Spritze	47
Versuch 26: Aufbau und Funktionsweise eines Gasfeuerzeugs	49
Versuch 27a: Anzünden, Regulieren und Löschen des Kartuschenbrenners	51
Versuch 27b: Sichtbarmachen des ausströmenden Gases	52
5.2 Erdgas	53
Versuch 28: Temperaturzonen der rauschenden Brennerflamme	53
Versuch 29: Entzünden eines Streichholzkopfes im Innenkegel einer Brennerflamme	54
Versuch 30: Pneumatisches Auffangen des Brennergases	55

Versuch 31: Qualitativer Vergleich der Dichten von Erdgas und Luft	56
Versuch 32: Demonstration einer Erdgas-Explosion	57
5.3 Kohlenstoffdioxid, Helium und Luft im Vergleich	60
Versuch 33: Ermittlung der Dichten von Kohlenstoffdioxid und Helium	60
Versuch 34: Ermittlung der Brennbarkeit von Luft, Helium und Kohlenstoffdioxid	61
Versuch 35: Zauberei? – Kohlenstoffdioxid umgießen	61
Versuch 36: Ausschütteln von Kohlenstoffdioxid aus Mineralwasser	62
Versuch 37: Demonstration der Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid in Wasser	62
Versuch 38: Nachweis von Kohlenstoffdioxid mit Kalkwasser	63
Versuch 39: Nachweis von Kohlenstoffdioxid in der Luft	64
Versuch 40: Nachweis des erhöhten Kohlenstoffdioxid-Anteils in der Ausatemluft	64
Versuch 41: Kohlenstoffdioxid als Verbrennungsprodukt	65
Versuch 42: Herstellen von Trockeneis mit einem Trinkwassersprudler	65
Versuch 43: Messen der Temperatur beim Sublimieren von Trockeneis	66
Versuch 44: Sublimation von Trockeneis in einem Luftballon	67
Versuch 45: Sublimation von Trockeneis in einer PET-Flasche	67
Versuch 46: Kerzen löschen mit Trockeneis	68
<u>6. Ausgewählte Eigenschaften fester Stoffe</u>	71
Versuch 47: Die sinnliche Wahrnehmung von ausgewählten Metallproben	72
Versuch 48: Härtebestimmung ausgewählter Metalle durch Ritzversuche	73
Versuch 49: Bestimmung der Dichte ausgewählter Metalle	74
Versuch 50: Bestimmung von Metallen mit Hilfe der Dichte	75
Versuch 51: Verhalten einiger Metalle gegenüber Magneten	76
Versuch 52: Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit	77
Versuch 53: Eisen oder Kupfer: Welches Metall leitet besser?	77
Versuch 54: Vergleich der Wärmeleitfähigkeit verschiedener Stoffe	79
Versuch 55: Die unterschiedliche Wärmeleitfähigkeit von Eisen und Kupfer	80
Versuch 56: Qualitativer Vergleich der Schmelztemperaturen einiger Metalle	82
Versuch 57: Darstellen von Gelb-Messing in der Mikrowelle	82
<u>7. Ausgewählte Eigenschaften flüssiger Stoffe</u>	84
7.1 Untersuchen der Eigenschaften von Wasser, Fleckenwasser, Spiritus und Lampenöl	84
Versuch 58: Untersuchen einiger Eigenschaften ausgewählter Flüssigkeiten	84
Versuch 59: Untersuchung der Brennbarkeit von Wasser, Fleckenwasser, Spiritus und Lampenöl	88
Versuch 60: Brennbare Gase durch „Verdunstung“	89
Versuch 61: Verdunstungsgeschwindigkeiten von Fleckenwasser und Lampenöl	89
Versuch 62: Entzünden von Lampenöl	91
Versuch 63: Mischbarkeit von Wasser mit Speiseöl, Lampenöl, Brennspritus und Fleckenwasser	93
Versuch 64: Mischbarkeit von Speiseöl mit Lampenöl, Brennspritus und Fleckenwasser	94
7.2 Wasser als Lösungsmittel	95
Versuch 65: Beobachten des Lösungsvorganges	95
Versuch 66: Löslichkeit von Zucker – Herstellen von Zuckerstäben	95
Versuch 67: Wasser ist nicht gleich Wasser – Eindampfen	96
Versuch 68: Nachweis gelöster Gase in Leitungswasser	97
<u>8. Einführung der Stoffumwandlung</u>	98
Versuch 69: „Verbrennen“ von Holzkohle	98
Versuch 70a: Entstehen beim Verbrennen von Holzkohle Gase?	99
Versuch 70b: Entstehen beim Verbrennen von Holzkohle Gase?	100
Versuch 71: Verbrennung von weiteren festen, flüssigen und gasförmigen Brennstoffen und Nachweis von Kohlenstoffdioxid	101
Versuch 72: Nachweis von Wasser	102
Versuch 73: Wasser Nachweis bei der Verbrennung von Feuerzeugbenzin	103
Versuch 74: Langsames Erhitzen von Holz und Papier im Reagenzglas	103

9. Energetische Erscheinungen bei Stoffumwandlungen- die Einführung der chemischen Reaktion	104
10. Stoffgemische und Trennverfahren	107
10.1 Trennverfahren bei der Abfallverwertung	107
Versuch 75: Magnetscheiden zum Abtrennen von Weißblech aus dem Hausmüll	108
Versuch 76: Windsichten zum Abtrennen von Kunststoffen und Papier	109
Versuch 77: Das Schwimm-Sink-Verfahren zum Trennen von Kunststoffen	111
Versuch 78: Modellversuch zur Elektrofiltration	113
Versuch 79: Rauchgasreinigung durch einen Gewebefilter und Nasswäsche	114
10.2 Trennverfahren in einer Kläranlage	115
Versuch 80: Beobachten des Sedimentierens	116
Versuch 81: Sedimentieren durch Zentrifugalkräfte	116
Versuch 82: Modell einer Wäscheschleuder	117
Versuch 83: Trennen eines Öl-Wasser-Gemisches	117
Versuch 84: Trennung einer Aufschlämmung / Suspension	119
Versuch 85: Trennung durch Sieben	119
Versuch 86: Trennung durch Filtrieren	120
Versuch 87: Reinigen von ölverschmutztem Wasser durch Adsorption	121
Versuch 88: Adsorption gelöster Farbstoffe	122
Versuch 89: Modell zur physikalischen Reinigung bei einer Kläranlage	122
10.3 Von der Fleckentfernung zur Chromatographie	124
Versuch 90: Löslichkeit von Butter in verschiedenen Lösungsmitteln	124
Versuch 91: Verdunsten des Lösungsmittels aus den Fettlösungen	125
Versuch 92: Fleckentfernung mit verschiedenen Lösungsmitteln	125
Versuch 93: Bleichen des Traubensaft-Flecks	126
Versuch 94: Papierchromatographische Untersuchung von Fasermalern	127
Versuch 95: Aufsteigende Papierchromatographie mit Kaffeefiltern	128
IV. Anhang	130
1. Einkaufsliste	130
2. Anleitung zur Webcammodifikation und zum Softwareeinsatz	131
Literaturverzeichnis	133

I. Für den Anfangsunterricht relevante Schülervorstellungen

Bevor Schülerinnen und Schüler in den naturwissenschaftlichen Unterricht kommen, haben sie schon über einige Jahre Erfahrungen mit der sie umgebenden Umwelt gesammelt und dabei wiederholt bestimmte Beobachtungen gemacht. Ausgehend von diesen Erfahrungen und Beobachtungen konstruieren sich die Lernenden ihr eigenes „Wissensnetzwerk“, mit dem sie im Alltag in der Regel gut zurechtkommen. So besitzen sie auch mehr oder weniger scharf umrissene Vorstellungen von Begriffen, Prinzipien und Prozessen, um die es im naturwissenschaftlichen Unterricht gehen soll. Diese Vorstellungen bzw. Konzepte werden häufig auch als „Alltagsvorstellungen“ oder „lebensweltliche Vorstellungen“ bezeichnet. Der Begriff „Schülervorstellungen“ stellt gleichzeitig heraus, dass die hier betrachteten Vorstellungen häufig bei Schülerinnen und Schülern auftreten, die noch nicht die gesamte Schullaufbahn durchlaufen haben. Auch die Begriffe „vorwissenschaftliche“ oder „naive“ Vorstellungen werden gleichbedeutend verwendet. Da diese Vorstellungen meistens nicht den modernen naturwissenschaftlichen Denkweisen entsprechen, werden sie auch vielfach als „Fehlvorstellungen“ bezeichnet. Im Englischen findet man die allgemeine Bezeichnung „misconceptions“ (nach [1, S. 144]).

Fehlvorstellungen entstehen nicht nur durch außerschulische Erfahrungen, sondern auch durch den Unterricht selbst. Zumeist versuchen Schülerinnen und Schüler das neu Gelernte mit den eigenen Vorstellungen zu verbinden, so dass Mischkonzepte entstehen. Aber auch die Sprache, selbst die im Unterricht gesprochene, führt zu einigen Missverständnissen.

Viele dieser Schülervorstellungen stimmen mit dem wissenschaftlichen Inhalt der Begriffe und Theorien nicht überein und daraus resultieren Lernschwierigkeiten. Denn die Alltagsvorstellungen bestimmen, welche Informationen der Lernende wahrnimmt, für wichtig erachtet und mit in sein „Wissensnetzwerk“ einbaut. Der Lernstoff wird dabei nicht passiv übernommen, sondern mit Blick auf die schon vorhandenen Strukturen interpretiert. Wenn es nicht gelingt, die Inhalte des Unterrichts so aufzubereiten, dass die Erkenntnisse für Schülerinnen und Schüler anschlussfähig sind, werden nur kleine Fortschritte in Richtung der wissenschaftlichen Vorstellungen erreicht, die häufig nach dem Unterricht wieder gänzlich verloren gehen (nach [2, S. 7]). Es hat sich gezeigt, dass die Lernenden durchaus die Inhalte des Unterrichts „lernen“. Werden diese jedoch nicht aktiv in das „Wissensnetzwerk“ übernommen, können die Schülerinnen und Schüler sie in unerwarteten Aufgaben nicht anwenden. Sie verfallen wieder in die alt bewährten Denkstrukturen, argumentieren mit den naiven Vorstellungen und streuen dabei Fachwörter unreflektiert ein. SUMFLETH schreibt dazu: *„Ihr erstes Deutungsmuster ist für sie so aussagekräftig und sinnvoll, daß sie weitere, dazu noch ganz andersartige Erklärungen nicht benötigen. Fachwissenschaftliche Begriffe werden eher zufällig eingestreut. ... Ihr Erklärungsgrundmuster blockiert durch seine Stimmigkeit, durch seine Bewährtheit seine eigene Umstrukturierung, vor allen Dingen immer dann, wenn dieses Vorwissen im Lernprozess überhaupt gar nicht aufgegriffen und berücksichtigt wird.“* [3, S. 412].

Wenn der naturwissenschaftliche Unterricht also erfolgreich sein will, muss er die Vorstellungen der Lernenden berücksichtigen und sie den Schülerinnen und Schülern bewusst machen. Durch abweichende Ereignisse und Phänomene sollte ein kognitiver Konflikt ausgelöst werden, der die Schülerinnen und Schüler herausfordert, sich mit den naturwissenschaftlichen Konzepten zu beschäftigen und somit neue Strukturen aufzubauen, die hilfreicher sind als die bisherigen (Konzeptwechsel) (nach [4, S. 36]).

Im Folgenden sind einige Schülervorstellungen zu relevanten Begriffen und Theorien zusammengestellt. Sie geben einen Überblick über die Vorstellungen, die auftreten können und sensibilisieren den Lehrenden, den Aussagen der Schülerinnen und Schüler genau zuzuhören. Zudem führen die Vorstellungen zu Konsequenzen, die anschließend in einen Unterrichtsvorschlag nach dem Konzept „Chemie fürs Leben“ berücksichtigt werden sollen.

1. Schülervorstellungen zum Thema Stoffe und ihre Eigenschaften

Chemieunterricht beginnt damit, Stoffe kennen zu lernen, ihre Eigenschaften zu untersuchen und ihre Anwendungsgebiete aufzuzählen. „Stoff“ ist ein zentraler Begriff. Er wird im Unterricht von „Körpern“ unterschieden, jedoch erfolgt nicht immer eine Abgrenzung zu der Bedeutung von „Stoff“ im Alltag. Hier gibt es schließlich neben Klebstoff, Schaumstoff und Kunststoff auch den Unterrichtsstoff und den Lesestoff, welches selbstverständlich keine chemischen Stoffe sind. Was das Wort „Stoff“ für Schülerinnen und Schüler bedeuten kann, wird in den folgenden vier Punkten kurz erläutert.

(1) Stoffe sind konkrete, feste Gegenstände (nach [5, S. 256])

Für Grundschul Kinder sind Stoffe zunächst etwas Konkretes und Festes. Als Beispiele für Feststoffe benennen sie vor allem Gegenstände aus der unmittelbaren Umgebung, wie z.B. Tafel, Schrank,

Wand und Tisch. Nur selten werden tatsächlich Materialien wie Metall, Plastik oder Glas genannt (nach [6, S. 414]). Flüssigkeiten und Gase werden kaum als Stoffe wahrgenommen. Dieses begrenzte Stoffkonzept erweitert sich mit zunehmendem Alter zunächst auf Flüssigkeiten und schließlich auch auf Gase. Die Dominanz der Feststoffe zeigt sich aber auch noch bei Erwachsenen: Bei einer kleinen Umfrage unter Studenten wurden zu 80 % Feststoffe als Beispiele für Stoffe ausgewählt. Nur selten wurden flüssige und fast gar nicht gasförmige Stoffe aufgeführt.

(2) Stoffe existieren nur, solange es einen wahrnehmbaren Beweis für ihre Existenz gibt, dabei ist die „Sichtbarkeit“ der überzeugendste Beweis (nach [5, S. 257])

Schon Piaget fand heraus, dass junge Kinder nur an die Existenz der Luft glaubten, wenn sie sich bewegt. Allgemein werden Gase von Kindern nur wahrgenommen, wenn sie sich bewegen, man sie fühlen kann, sie einen Druck ausüben oder wenn sie farbige sind (nach [7, S. 424]). Viele ältere Schülerinnen und Schüler behaupten weiterhin, dass z.B. beim Verdampfen von Wasser oder beim Auflösen von Zucker die Stoffe verschwinden, d.h. sie hören auf zu existieren und sind für immer verloren. Mit den Stoffen sind dann auch die Masse und die Eigenschaften verschwunden. Beim Auflösen von Zucker argumentieren v.a. jüngere Kinder allerdings, dass der süße Geschmack zurück gelassen wurde. Später wird der Geschmack (oder Geruch und Farbe) als Beweis für den noch vorhandenen Stoff akzeptiert.

(3) Bestimmte Eigenschaften, wie Geruch und Geschmack, können sich von dem Stoff lösen und unabhängig existieren (nach [5, S. 257]).

Wenn ein Stoff einer Veränderung (Auflösen, Aggregatzustandsänderung) unterzogen wird, kann er sich von einigen Eigenschaften trennen. In der Vorstellung der Schülerinnen und Schüler kann z.B. Geruch entweichen und den Stoff ohne Geruch zurücklassen oder der Stoff verschwindet und lässt seine Eigenschaften zurück. Diese Vorstellung lässt sich dadurch erklären, dass man im Alltag häufig unerwartet auf Gerüche stößt, ohne dass man eine Ursache sieht. Ebenso verhält es sich mit dem süßen Geschmack im Tee oder dem salzigen in einer Brühe. Beim Auftreten von Farbe hingegen wird weitaus eher davon ausgegangen, dass der Stoff tatsächlich noch vorhanden ist, denn auch im täglichen Leben tritt Farbigeit fast nur im Zusammenhang mit konkreten Stoffen auf.

(4) Die Masse wird nicht als wesentliche Eigenschaft von Stoffen angesehen. Schülerinnen und Schüler akzeptieren die Existenz von masselosen Stoffen (nach [5, S. 257]).

Insbesondere bei Gasen und bei aufgelösten Stoffen trifft man häufig auf die Vorstellung, dass diese nichts wiegen. Die Masse eines Stoffes ist für Schülerinnen und Schüler eine Funktion eines undefinierten Merkmals. Dieses Merkmal wird durch den Aggregatzustand, die Schwere (oder Dichte, jedoch nicht im wissenschaftlichen Sinne), die Härte und die Festigkeit beeinflusst. Das intuitive Gefühl der Schülerinnen und Schüler wird dabei von der Hauptveränderung (das Volumen bzw. die Dichte) beeinflusst und erachtet es als bedeutsam für die Beurteilung der Massenveränderung.

Konsequenzen

Die Fehlvorstellung (1) zeigt, dass vor allem jüngere Schülerinnen und Schüler unzureichend zwischen Stoffen und Körper unterscheiden. Dabei verwechseln sie Feststoffe mit Gegenständen und beziehen Flüssigkeiten und Gase nicht in ihren Stoffbegriff mit ein. Bei der Einführung des Stoffbegriffs sollte also zunächst darauf geachtet werden, dass Körper und Stoffe auseinander gehalten werden. Dabei gibt es Körpereigenschaften wie Form, Volumen und Masse und Stoffeigenschaften wie Farbe, Geruch, Brennbarkeit etc. Auch Flüssigkeiten und Gase bilden Körper im naturwissenschaftlichen Sinne. Sie besitzen eine bestimmte (vom Gefäß vorgegebene) Form, Volumen und Masse. Dies sollte man den Schülerinnen und Schülern stärker verdeutlichen, z.B. durch Verdrängungen (Körper verdrängen einander). Wichtig hierbei ist auch die Betrachtung der Masse. Gasportionen kann man ebenso wiegen wie Feststoffe und Flüssigkeiten (Fehlvorstellung (4)). Werden Gase gleich im Anfangsunterricht als Stoffe (als Materie) eingeführt, thematisiert man dabei auch die Nicht-Sichtbarkeit. Obwohl die Schülerinnen und Schüler die meisten Gase nicht sehen können, sind sie dennoch vorhanden und anhand der spezifischen Eigenschaften erkennbar (Fehlvorstellung (2)). In diesem Zusammenhang ist es auch möglich, Gerüche als die Wahrnehmung von Gasen zu thematisieren (Fehlvorstellung (3)). Zusammenfassend können die abgeleiteten Konsequenzen in vier Punkten dargestellt werden:

- Bei der Einführung des Stoffbegriffs müssen Stoffe und Körper unterschieden und auch verschiedene Flüssigkeiten und Gase mit betrachtet werden.
- Die Körpereigenschaften von Flüssigkeiten und Gasen müssen ebenso verdeutlicht werden wie die der Feststoffe. Auch sie besitzen eine (vom Gefäß vorgegebene) Form, eine Masse, ein Volumen und können einander verdrängen.

- Verschiedene Gase sollten mit ihren spezifischen, nicht veränderbaren Eigenschaften behandelt werden. Dabei ist darauf hinzuweisen, dass die meisten Gase nicht sichtbar sind und daraus sich auch Gefahren ergeben können. Dann muss man die Gase an anderen Eigenschaften erkennen, wie z.B. dem Geruch.
- Der Begriff „Stoff“ muss als etwas definiert werden, was unveränderbare Eigenschaften besitzt.

2. Schülervorstellungen zu den Aggregatzuständen und deren Änderungen

Zum Thema „Stoffe“ gehören auch die drei Zustandsformen, in denen Stoffe auftreten können. Schülerinnen und Schüler nehmen diese Zustandsformen zunächst getrennt wahr, d.h. es gibt für sie Feststoffe, Flüssigkeiten und Gase, die kaum etwas miteinander zu tun haben. Außer Wasser gibt es im Alltag der Schülerinnen und Schüler kaum einen Stoff, welcher in allen drei Zustandsformen auftritt. Problematisch sind dabei die Kriterien, nach denen sie die Stoffe den Zustandsformen zuordnen. Welche Vorstellungen zu Feststoffen, Flüssigkeiten und Gasen existieren, soll im Folgenden erläutert werden.

(1) Flüssigkeiten sind für Schülerinnen und Schüler „Wasser“ (nach [6, S. 413]).

Als Prototyp für die Flüssigkeiten ziehen Schülerinnen und Schüler das Wasser heran. So beschreiben sie viele Flüssigkeiten mit den Worten, sie sind „wie Wasser“. „wässrig“, „aus Wasser gemacht“ oder „enthalten Wasser“. Auch wenn im späteren Unterricht die Eigenschaften weiterer, auch nicht-wässriger Flüssigkeiten behandelt werden, trifft man auf die Vorstellung, dass diese aus Wasser und einem Zusatz bestehen, der das Wasser zu der entsprechenden Flüssigkeit macht und gewisse Eigenschaften hervorruft (nach [5, S. 250]).

(2) Für Feststoffe gibt es einen solchen Prototyp nicht (nach [6, S. 418f.]).

Gemeinsamkeiten zwischen Flüssigkeiten werden bereits von Kindergartenkindern eher erkannt als solche zwischen verschiedenen Feststoffen. Ein Grund dafür ist, dass es keinen Prototyp für Feststoffe zu geben scheint. So werden z.B. Metalle unterschiedlicher Form nicht in eine Gruppe einsortiert, sondern je nach Erscheinung und Verhalten beurteilt.

(3) Es existiert keine klare Grenze in der Einteilung zwischen „fest“ und „flüssig“. Viele Schülerinnen und Schüler besitzen noch eine Zwischenkategorie, in die sie schwierige Stoffe einordnen (nach [6, S. 418]).

Bei der Zuordnung zu den Aggregatzuständen fest und flüssig werden nur starre Feststoffe sowie dünne Flüssigkeiten immer richtig einsortiert. Sowohl nicht-starre Feststoffe wie Knete, Wolle, Watte, Schwamm, Kerzenwachs, Schokolade oder Eis als auch pulverförmige Feststoffe und zähflüssige Flüssigkeiten wie Honig oder Shampoo werden zum Teil falsch oder in eine Zwischenkategorie (weder fest, noch flüssig) zugeordnet.

(3a) Schülerinnen und Schüler besitzen bereits vor dem Unterricht eine intuitive Vorstellung vom Begriff „flüssig“, diese ist jedoch weiter als die wissenschaftliche Definition.

Gemeinsamkeiten zwischen verschiedenen Flüssigkeiten werden bereits sehr früh erkannt. Die Haupteigenschaft für Schülerinnen und Schüler ist, dass sie eingegossen werden können und „wie Wasser“ sind. Seltener werden Eigenschaften wie „nass“, „tropft“, „kann nicht in der Hand gehalten werden“ oder „nicht fest“ genannt. Dünne Flüssigkeiten werden daher von allen Schülerinnen und Schülern richtig klassifiziert. Aber auch zähflüssige Flüssigkeiten wie Sirup, Shampoo oder Honig werden noch zu etwa 80 % richtig zugeordnet. Lediglich 20 % der Schülerinnen und Schüler besitzen hierfür eine Zwischenkategorie zwischen fest und flüssig. Zusätzlich zu den tatsächlichen Flüssigkeiten werden auch weiche, nicht-starre sowie pulverförmige Feststoffe häufig zu den Flüssigkeiten gezählt.

(3b) Schülerinnen und Schüler besitzen auch eine intuitive Vorstellung vom Begriff „fest“, die jedoch begrenzter ist als die wissenschaftliche Definition.

Das Wort „fest“ passt für viele Schülerinnen und Schüler nur auf starre Stoffe, deren Form und Zustand unveränderbar sind. Nicht-starre Stoffe wie Knete, Watte, Schwamm werden nur zu 50 % den Feststoffen zugeordnet, bei pulverförmigen Stoffen wird es noch schwieriger. Diese werden entweder einer Zwischengruppe (weder fest, noch flüssig) oder sogar den Flüssigkeiten zugeordnet. Als Merkmale für feste Stoffe werden häufig Eigenschaften wie hart, schwer zerbrechlich, nicht gießbar und schwer genannt. Zusammenfassend lässt sich sagen, je leichter die Form des Stoffes bzw. Körpers verändert werden kann, desto unwahrscheinlicher ist die Zuordnung zu den Feststoffen.

(4) Gase sind für viele Schülerinnen und Schüler nicht oder kaum materiell (nach [8, S. 42] und [9, S. 47])

Gase bzw. Luft werden von den Schülerinnen und Schülern aufgrund ihrer Eigenschaften kaum wahrgenommen. Sie sind meist „unsichtbar“, nur durch Wind (Bewegung) fühlbar und warme Luft steigt sogar nach oben. Gerade der letztgenannte Umstand führt zu der Überzeugung, dass Gase nichts wiegen oder zumindest sehr viel leichter sind als Flüssigkeiten und Feststoffe (nach [10, S. 556] und [11, S. 35f.]). In einer Umfrage unter 600 elfjährigen Schülerinnen und Schülern waren 75 % außerdem davon überzeugt, dass man mit Stadtgas keinen Ballon füllen kann (nach [7, S. 417]). Für sie sind Gase keine materiellen Substanzen.

(5) Für viele Schülerinnen und Schüler gibt es nur „das Gas“, welchem v.a. gefährliche Eigenschaften (giftig, brennbar, explosiv) zugeschrieben werden (nach [12, S. 73])

Der Begriff „Gas“ wird von vielen Schülerinnen und Schülern v.a. mit dem Stadt- oder Erdgas in Verbindung gebracht. Sie unterscheiden Erdgas dabei aber nicht von anderen Gasen, sondern sprechen nur von *dem* Gas. Sie wissen, dass „das Gas“ brennbar ist, explodieren kann, giftig ist und dass man es zum Heizen braucht. Dabei differenzieren sie nicht zwischen dem Gas an sich und der Flammenteuerung, so dass es zu Aussagen wie „Gas ist eine Sorte von Feuer.“ (Klasse 3) - „Das Gas ist heiß.“ (Klasse 4)“ kommt [12, S. 73].

(6) Gase werden in Verbindung mit der Luft gesehen (nach [12, S. 74]).

„Gas“ wird häufig auch als etwas Luftähnliches angesehen. „Das Gas“ ist „wie Luft“, „luftähnlich“, „tritt in Form von Luft auf“, „ist ein Luftgemisch“ oder „ist in der Luft enthalten“. Das Wort Gas bezeichnet hierbei ausschließlich eine Substanz und wird nicht in seiner Bedeutung als Aggregatzustand verwendet. Dass die Schülerinnen und Schüler Gas aber nicht unbedingt mit der Luft gleichsetzen, erkennt man an Aussagen dazu, dass „das Gas“ schwerer oder leichter als Luft ist.

(7) Gase sind „flüssig“ (nach [9, S. 47f.] und [12, S. 76])

Diese Fehlvorstellung leitet sich von den Gasfeuerzeugen (auch Gasflaschen oder Campingkartuschen) ab, da in diesen eine Flüssigkeit enthalten ist, die man in den transparenten Feuerzeugen sogar sehen kann. Einige Schülerinnen und Schüler werden hierbei jedoch unsicher, da sie Gas sowohl mit etwas Luftähnlichem als auch mit der Flüssigkeit verbinden, dann entstehen eigenartige Deutungen der Form „Das Gas ist Luft in gelöster Form.“ (Klasse 8 - Gymnasium) [...] „Gas ist ein Gemisch aus Wasser und Luft.“ (Klasse 7 – Hauptschule)“ [12, S. 76].

Weiterhin wird Gas als dampf-, nebel- und rauchförmig bezeichnet. Wenn die Schülerinnen und Schüler dann Nebel und Rauch als Stoffgemische kennen lernen, besteht die Gefahr der Vermischung dieser beiden Inhalte: „Gas ist fest, flüssig oder gasförmig.“ (Klasse 9 - Hauptschule) [...] - „Gas ist ein Rauch ohne feste Bestandteile, sondern nur mit flüssigen Bestandteilen.“ (Klasse 8 - Realschule)“ [12, S. 76].

(8) Beim Verdampfen bzw. Sublimieren hört der Stoff auf zu existieren (nach [5, S. 249, 252]).

Diese Vorstellung ist eng verknüpft mit der Fehlvorstellung, dass Stoffe nur existieren, wenn man sie sehen kann. Vor allem jüngere Schüler erkennen z.B. beim Verdampfen von Aceton in einem geschlossenen System nicht, dass der Stoff erhalten bleibt. Es wurden sogar Aussagen gemacht, dass das Aceton zwar weg ist, aber der Geruch noch an der Glaswand oder am Verschluss geblieben ist (siehe Fehlvorstellung (3) bei Stoffen und ihre Eigenschaften).

(9) In der Vorstellung vieler Schülerinnen und Schüler geht eine Aggregatzustandsänderung einher mit einer Zu- oder Abnahme der Masse (nach [5, S. 250; 252] und [13, S. 100]).

Da Gase für Schülerinnen und Schüler häufig nichts wiegen oder zumindest leichter als Feststoffe und Flüssigkeiten sind, nehmen sie beim Verdampfen bzw. Sublimieren konsequenterweise auch eine Massenabnahme an. Beim Schmelzen gehen einige von einer Massenzunahme (eine Flüssigkeit fällt immer nach unten), andere von einer Massenabnahme aus (nach [5, S. 257f.]). Schülerinnen und Schüler assoziieren mit dem Wort „Gewicht“ oder „Masse“ häufig Adjektive wie schwer oder hart - und da beispielsweise Eis hart und fest ist, muss es in ihrer Vorstellung auch schwerer als eine entsprechende Menge Wasser sein. Beim Eis kommt unterstützend hinzu, dass es sich beim Erstarren ausdehnt, so dass auch hier eine Massenzunahme angenommen wird (nach [13, S. 100]). Selbst wenn die Aggregatzustände schon mit dem einfachen Teilchenmodell behandelt worden sind, taucht die Vorstellung auf, dass dicht gepackte Teilchen schwerer sind als vereinzelt (nach [5, S. 251]). Diese Fehlvorstellung entsteht durch die Vermischung der ursprünglichen Vorstellung von einer Massenveränderung mit dem neuen Modell.

(10) Die Aggregatzustandsänderungen sind nur teilweise umkehrbar (nach [5, S. 251, 255])

Vor allem das Verdampfen und Sublimieren werden nicht als umkehrbare Prozesse angesehen. Verbreitete Erklärungen dazu sind, dass der Stoff nicht mehr da sei oder einfach, dass ein Gas nicht zurück in eine Flüssigkeit verwandelt werden kann.

Konsequenzen

Zunächst sollten Schülerinnen und Schülern anhand vieler verschiedener Beispiele für Flüssigkeiten (dünne, zähflüssige, wässrige und nicht-wässrige), Feststoffe (harte, weiche und pulverförmige) und Gase die allgemeinen Gemeinsamkeiten der Aggregatzustände kennen lernen. Diese dienen anschließend als Kriterien für die Zuordnung (Fehlvorstellung (3) und (7)). Neben den Gemeinsamkeiten muss aber auch auf die Unterschiede innerhalb einer Gruppe eingegangen werden. Dabei lässt sich herausstellen, dass es Flüssigkeiten gibt, die ganz und gar nichts mit Wasser zu tun haben (Fehlvorstellung (1)). Sie besitzen zum Teil gegensätzliche Eigenschaften und enthalten kein Wasser (z.B. Benzin). Auch bei den Gasen muss auf Unterschiede eingegangen werden. Es gibt nicht nur das Gas, sondern viele verschiedene, die jeweils andere spezifische Eigenschaften besitzen (Fehlvorstellungen (4), (5) und (6)). Durch die bewusste Thematisierung der Bezeichnung „Flüssiggas“ kann der innere Widerspruch dieses Begriffs erarbeitet werden (Fehlvorstellung (7)). Zudem sind so auch die Bedingungen für die Aggregatzustände (Temperatur und Druck) zugänglich und lenken die Aufmerksamkeit darauf, dass ein Aggregatzustand eigentlich nur ein Zustand von Materie ist. Ein- und derselbe Stoff kann also in mehreren Zuständen vorkommen. Bei einer Zustandsänderung bleibt der Stoff erhalten. Dies muss man den Schülerinnen und Schülern an mehreren Beispielen demonstrieren, wobei der Beweis für den Erhalt auch durch die Umkehrung der betrachteten Zustandsänderung erbracht werden sollte (Fehlvorstellungen (8) und (10)). Werden die Änderungen als reversibel erkannt, wird auch die Massenerhaltung eher angenommen. Trotzdem sollte man auch diese zumindest einmal demonstrieren, vor allem bei der Änderung zum Gas hin (Fehlvorstellung (9)). In den folgenden Punkten werden die Konsequenzen nochmals zusammengefasst:

- Die allgemeinen Gemeinsamkeiten eines Aggregatzustandes müssen anhand mehrerer verschiedener Beispiele für Flüssigkeiten, Feststoffe und Gase erarbeitet werden, so dass eindeutige Kriterien für die Zuordnung benutzt werden.
- Anhand mehrerer Aggregatzustandsänderungen sollte gezeigt werden, dass ein Stoff in Abhängigkeit von Druck und Temperatur in mehreren Aggregatzuständen vorkommen kann. Ein Aggregatzustand ist also ein Zustand der Materie.
- Bei den Aggregatzustandsänderungen muss demonstriert werden, dass der Stoff erhalten bleibt und die Änderungen reversibel sind.
- Es muss auf die Massenerhaltung bei einer Zustandsänderung eingegangen werden.

3. Schülervorstellungen im Zusammenhang mit dem Teilchenmodell

Mit den Aggregatzuständen wird auch das einfache Teilchenmodell im Unterricht eingeführt. Die Einführung eines Modells, dessen Ursprung im nicht-sichtbaren Bereich liegt, ist naturgemäß mit sehr vielen Schwierigkeiten verbunden. Aus der Gegensätzlichkeit zwischen dem, was erfahrbar ist und dem, was das Modell postuliert, ergeben sich häufig folgende Fehlkonzepte.

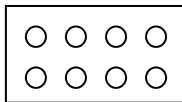
(1) Stoffe werden vor einem diesbezüglichen Unterricht als Kontinuum wahrgenommen (nach [2, S. 10]).

Die Vorstellung vom diskontinuierlichen Aufbau der Materie entspricht ganz und gar nicht der Wahrnehmung von Stoffen im Alltag. Daher ist es auch nicht verwunderlich, wenn Schülerinnen und Schüler mit einer Kontinuumsvorstellung in den Unterricht kommen. Interessanterweise wird das Teilchenmodell für den gasförmigen Zustand von den Lernenden eher angenommen und angewendet als für Feststoffe und Flüssigkeiten. Die Vorstellung, dass feste Stoffe aus kleinsten Teilchen bestehen, die sich ständig bewegen und zwischen denen sich nichts befindet, konkurriert mit der sehr stark verwurzelten Kontinuumsvorstellung. Bei Gasen hingegen, die als formlos, nicht fühlbar und sich durch die Luft ausbreitend wahrgenommen werden, passt das Teilchenmodell sehr gut zu der Wahrnehmung (nach [10, S. 559]).

(1a) Nach einem Unterricht über das Teilchenmodell existiert vielfach eine Teilchen-im-Kontinuum-Vorstellung (nach [14, S. 275])

Das Teilchenmodell wird häufig mit Phänomenen wie das Lösen von Zucker oder der Volumenzunahme beim Verdampfen von Wasser eingeführt. Die Schülerinnen und Schüler versuchen dabei, die neuen Inhalte in ihre ganzheitliche Vorstellung zu integrieren. So kommt

es beispielsweise zu Aussagen wie: Zwischen den Wasserteilchen befindet sich Wasser. Oder sie zeichnen ein Metallblech in folgender Form [15, S. 119]:



Diese Zeichnung verdeutlicht, dass kompakte Stoffproben immer noch ganzheitlich aufgefasst werden, verbunden mit dem Versuch, die Teilchenvorstellung mit einzubringen.

(1b) Die Schülerinnen und Schüler akzeptieren die leeren Zwischenräume zwischen den Teilchen nicht.

Gibt man die Form der kleinsten Teilchen nicht vor, so wählen die Schülerinnen und Schüler in ihren Zeichnungen häufig eine geometrische Form, die sich ohne Lücken aneinander fügen lässt (z.B. Quadrate oder Dreiecke). Die Lernenden, die von der Kugelform ausgehen, nehmen bei Feststoffen Luft oder andere Gase als Füllstoffe für die Zwischenräume an. Bei Flüssigkeiten wird Wasser als Füllstoff gewählt oder es existiert die Vorstellung, dass sich die Teilchen durchdringen, da sie schließlich nicht fest sind (nach [15, S. 120])

(1c) Lernende haben kein Problem damit, dass Teilchen entstehen und auch wieder verschwinden können.

Die Schülerinnen und Schüler scheinen keine Schwierigkeiten damit zu haben, dass aus einem einheitlichen Stoff z.B. beim Verdampfen Teilchen entstehen, die vor der Veränderung noch nicht existieren (nach [2, S. 10]). Die Teilchen können also aus einem Kontinuum entstehen und auch wieder verschwinden und das Kontinuum bilden (nach [9, S. 72]).

(2) Das Wort „Teilchen“ impliziert bei den Schülerinnen und Schüler die Vorstellung, dass sie durch mehrmaliges Zerteilen einer Stoffportion entstehen. Daher besitzen die Teilchen auch dieselben (makroskopischen) Eigenschaften wie die Stoffportion (Farbe, Geruch, Temperatur etc.) (nach [9, S. 75] und [15, S. 118f.]).

Mit dem Wort „Teilchen“ werden Wörter wie „Teil“, „Teilen“, „Zerteilen“ assoziiert. In der Vorstellung der Schülerinnen und Schüler wird die Stoffprobe auf mechanischem Wege oder auch durch Lösen, Schmelzen und Verdampfen in kleinere Anteile zerlegt. Dabei können die Teilchen durchaus so klein werden, dass sie mit dem bloßen Auge nicht mehr erkennbar sind. Eine unendliche Teilbarkeit wird von den Schülerinnen und Schülern verneint, wobei sie die Gründe dafür nicht nennen können. Bei den Teilchen, die durch ein Zerteilen der Ausgangsstoffprobe entstanden sind, handelt es sich demnach immer noch um winzige Anteile des Stoffes - und diese besitzen noch dieselben Eigenschaften wie die Ausgangsstoffprobe. Die Schülerinnen und Schüler können so den Modell-Status der Teilchenvorstellung nicht erkennen. Sie verstehen nicht, dass auf der Ebene der Teilchen andere Gesetze gelten als in der erfahrbaren Welt (beispielsweise, dass sich die Teilchen in einer ständigen Bewegung befinden und nicht durch Reibung zur Ruhe kommen können) (nach [2, S. 10]).

(3) Schüler unterscheiden unzureichend zwischen Teilchen eines Stoffes als Oberbegriff von Molekülen, Atomen und Ionen und den Atomen an sich. Für sie sind diese Worte häufig Synonyme (nach [15, S. 120] und [16]).

Das Wort „Atom“ ist vielen Schülerinnen und Schülern schon vor dem Unterricht bekannt und wird als eine andere synonyme Bezeichnung für kleinste Teilchen angesehen. Nach der Einführung des undifferenzierten Teilchenmodells folgt meist das Dalton'sche Modell, welches von Atomen spricht. Wird an dieser Stelle den Schülerinnen und Schülern nicht eindeutig bewusst, dass es sich bei Atomen nur um eine Teilchenart handelt, und dass es auch Teilchen gibt, die wiederum aus mehreren Atomen zusammengesetzt sind, ist diese Fehlvorstellung nicht verwunderlich.

Konsequenzen

Das Teilchenmodell ist ein Inhalt, der durch die Lehrkraft vorgegeben werden muss. Dabei ist es unbedingt notwendig, den Modellcharakter dieser Vorstellung heraus zu stellen, denn nur so ist verständlich, dass auf der submikroskopischen Ebene zum Teil völlig andere Gesetze gelten als in der wahrnehmbaren Welt (Fehlvorstellung (1) und (2)). Das Problem bei diesem Modell ist, dass es kein Abbild der Wirklichkeit darstellt, denn es existiert in einem für uns wahrnehmbaren Bereich kein Original. Dennoch liefert das Teilchenmodell eine Reihe von sinnvollen und konsistenten Erklärungen für viele Phänomene, wie z.B. das Lösen, die Volumenzunahme durch Erwärmung oder auch die Diffusion. Nachdem die Schülerinnen und Schüler das Teilchenmodell kennen gelernt haben, muss man sie immer wieder mit ihrer Kontinuumsvorstellung konfrontieren und möglichst viele Phänomene mit dem Teilchenmodell widerspruchsfrei erklären (Fehlvorstellung (1a)). Nur so wird dieses Modell als hilfreicher erkannt und akzeptiert. Haben die Schülerinnen und Schüler das Teilchenmodell bereits im vorangegangenen Unterricht kennen gelernt, so kann man evtl. daran anknüpfen, dass sie es für Gase eher akzeptieren als für Feststoffe und Flüssigkeiten. Durch die Betrachtung der Aggre-

gatzustandsänderung von gasförmig zu flüssig ist es möglich, die Erhaltung der Teilchen zu thematisieren (Fehlvorstellung (1c)).

Auch wenn das Teilchenmodell zur Erklärung einer Reihe von Phänomenen heran gezogen werden kann, so gibt es aber auch Fragen, auf die das Modell keine Antwort hat. Man kann z.B. keine Aussage über die genaue Form und Größe der Teilchen treffen. Die häufig gewählte Kugel- bzw. Kreisform ist lediglich eine Vereinfachung, die durchaus zu der Fehlvorstellung (3) beiträgt. Häufig wird vorgeschlagen, in Visualisierungen auch andere Symbole für die Teilchen zu wählen, ganz auf eine anschauliche Darstellung der Teilchenebene zu verzichten oder das Wort Teilchen durch „Baustein“ zu ersetzen. In jedem Fall muss es eine klare Abgrenzung zwischen Teilchen und Atomen geben, spätestens wenn die Atome als eine Teilchenart eingeführt werden.

Zusammenfassend lassen sich also folgende Forderungen formulieren:

- Der Modellcharakter der Teilchenvorstellung muss klar heraus gestellt werden.
- Das Teilchenmodell sollte zur Erklärung vieler (auch alltäglicher) Phänomene so oft wie möglich widerspruchsfrei angewendet werden können.
- Die Teilchen sind klar von den Atomen abzugrenzen.

4. Schülervorstellungen zur chemischen Reaktion

Ein sehr wichtiger Begriff der Chemie ist der der chemischen Reaktion. Auch hier existieren in den Köpfen der Schülerinnen und Schüler schon vor dem Unterricht Konzepte darüber, was beispielsweise bei einer Verbrennung passiert. Sie interpretieren die Reaktion des Brennstoffes als endgültige Vernichtung. Dieses Präkonzept entsteht aus den alltäglichen Beobachtungen, bei denen der Brennstoff verschwindet und die Produkte häufig nicht sichtbar sind.

Bei anderen chemischen Reaktionen (z.B. „Toast wird braun“ oder „Kunststoff wird spröde“) legt vor allem die alltägliche Sprache lediglich eine Eigenschaftsveränderung nahe und keine grundlegende Stoffumwandlung (also keine Reaktion).

Des Weiteren entstehen aber auch Fehlvorstellungen im Laufe des Unterrichts, z.B. dass chemische Reaktionen als mechanisches Mischen und Entmischen von Stoffen verstanden werden. Diese und andere häufig festgestellte Fehlvorstellungen werden im Folgenden kurz erläutert.

(1) Die Stoffe werden bei chemischen Reaktionen (vor allem bei Verbrennungen) und bei Lösungsprozessen unwiederbringlich zerstört (nach [17, S. 158], [9, S. 41f.] und [11, S. 36]).

Die Schülerinnen und Schüler haben schon vor dem Einsetzen des Unterrichts viele Verbrennungen beobachtet. Die dabei sichtbare Zerstörung der Stoffe „zwingt“ die Schülerinnen und Schüler geradezu zu einer Vernichtungsvorstellung. Diese wird durch die Sprache unterstützt, wenn man von „ver“-brennen, „zer“-setzen und „auf“-lösen spricht [9, S. 42]. Eine besondere Schwierigkeit liegt darin, dass bei vielen Verbrennungen vor allem Gase entstehen, die nur kaum sinnlich wahrgenommen werden können. Nach der Vorstellung 1.1(2) und 1.1(3) bildet die Vernichtungsvorstellung selbst dann keinen Widerspruch, wenn man den Stoff nach dem Auflösen oder dem Verdunsten noch schmeckt oder riecht. Diese fest verwurzelte Vorstellung wird durch den starken Einfluss des optisch Wahrnehmbaren und der Alltagssprache nie selbständig überwunden werden können (nach [9, S. 42]).

(2) Bei einer chemischen Reaktion existieren die Stoffe weiter, es ändern sich nur einige Eigenschaften (nach [17, S. 159f.] und [9, S. 37f.]).

Die alltägliche Sprechweise, dass beispielsweise Silber schwarz anläuft oder Gummi spröde wird, legt die Vorstellung nahe, dass der Stoff lediglich seine Eigenschaften ändert und nicht zu einem neuen Stoff umgewandelt wird. Für die Schülerinnen und Schüler scheint es einen „Eigenschaftsträger“ zu geben, der erhalten bleibt und sich in bestimmten Situationen mit jeweils anderen Eigenschaften verbindet. Diese Vorstellung ist eng verknüpft mit 1.1(3), wonach Eigenschaften unabhängig von Stoffen existieren können.

(3) Chemische Reaktionen werden als mechanisches Mischen und Entmischen von Stoffen oder Atomen verstanden (nach [17, S. 160f.] und [9, S. 40f.]).

Diese Vorstellung tritt erst im Laufe des Unterrichts auf, nachdem bereits einige chemische Reaktionen betrachtet wurden. Hierbei werden häufig solche betrachtet, bei denen entweder nur ein neuer Stoff entsteht oder es nur einen Ausgangsstoff gibt (Metall + Sauerstoff → Metalloxid oder Wasser → Wasserstoff + Sauerstoff). Schülerinnen und Schüler lernen chemische Reaktionen also häufig als Vereinigungen und Zerlegungen von Stoffen kennen. Diese Vorgänge werden dem mechanischen Mischen und Entmischen, wie es beim Thema „Mischen und Trennen“ auftritt, gleichgestellt.

Diverse Visualisierungen (Abb. 1), in denen die Anordnung der Atome in den Stoffen betrachtet wird, unterstützen diese Vorstellung.

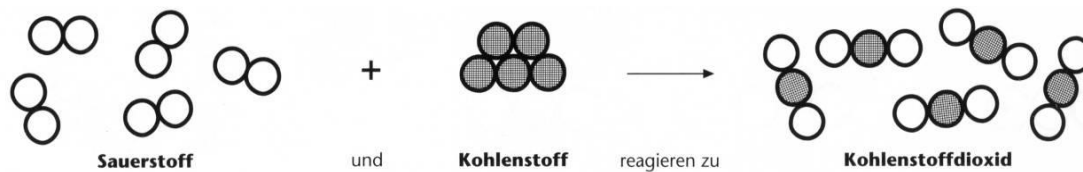


Abb. 1: Die chemische Reaktion als Umgruppierung von Teilchen [18, S. 146]

(4) Auch Aggregatzustandsänderungen werden als chemische Reaktionen aufgefasst (nach [14, S. 276])

Viele Schülerinnen und Schüler grenzen die chemische Reaktion nur unzureichend von anderen Prozessen ab. In ihrer Vorstellung verändert sich der Stoff auch z.B. bei Aggregatzustandsänderungen. So wird beim Sieden von Wasser erklärt: „Die H_2O -Moleküle werden durch die Hitze getrennt in $2 H + O$; der nun entstandene Sauerstoff und Wasserstoff steigt in Blasenform auf. [Student]“ [19, S. 414].

(5) Energie- und Massenerhaltung werden von vielen Schülerinnen und Schülern kaum angewendet (nach [14, S. 276])

Entsprechend der Vernichtungsvorstellung können für Schülerinnen und Schüler Masse und auch Energie verschwinden. Besonders wenn gasförmige Produkte entstehen, werden die Erhaltungssätze kaum angewendet, da ein Gas für die meisten Lernenden eben nichts wiegt oder zumindest weniger als die Flüssigkeitsmenge, aus der das Gas entstand (Vorstellung 1(4)). Mit der Energieerhaltung ist es noch schwieriger. In den Medien spricht man häufig von Energieerzeugung und Energieverbrauch – dort werden keine Aspekte der Energieumwandlung oder -erhaltung vermittelt (nach [2, S. 10]). Viele Schülerinnen und Schüler können zwar eine Reihe von Energieformen aufzählen, haben aber das Erhaltungskonzept nicht verstanden. So erklärt ein Schüler, dass beim Fahrradfahren Energie „entsteht“ und erkennt dabei nicht, dass seine Bewegung auch eine Energieform darstellt und diese wiederum aus der Umwandlung von chemischer Energie resultiert (nach [9, S. 293]).

Konsequenzen

Das Vernichtungskonzept (Fehlvorstellung (1)) ist schon seit früher Kindheit in den Köpfen der Schülerinnen und Schüler verankert. Hier hat der Unterricht eine wichtige Aufgabe, dieses Präkonzept in Richtung eines Erhaltungskonzeptes zu verändern. Damit die Vorstellung der endgültigen Vernichtung überwunden wird, müssen die Schülerinnen und Schüler erfahren, dass bei Verbrennungen neue Stoffe entstehen, aus denen man unter Umständen wieder die Ausgangsstoffe gewinnen kann (nach [17, S. 158]). Die Materie wird also bei einer Verbrennung nicht zerstört, sie ändert nur ihre Erscheinungsform. Da bei vielen Verbrennungen Gase entstehen, müssen Gase vorher bereits als Stoffe gekennzeichnet worden sein (siehe Konsequenzen zu Punkt 1. und 2.). Dabei können Verbrennungen als Stoffumwandlung verdeutlicht werden im Gegensatz zu einer endgültigen Zerstörung und auch in Abgrenzung zu Aggregatzustandsänderungen (Fehlvorstellungen (1) und (4)). Nur so ist im Übrigen die Umweltproblematik rund um den Kohlenstoffdioxid-Ausstoß in seiner Gesamtheit erfassbar.

Der Begriff chemische Reaktion umfasst jedoch nicht nur Verbrennungen. Weitere Reaktionen des Alltags werden häufig als Eigenschaftsveränderungen interpretiert. Dieser Fehlvorstellung kann man vorbeugen, indem man schon vorher verdeutlicht, dass Stoffe spezifische, unveränderbare Eigenschaften besitzen (siehe Konsequenzen zu Punkt 1.). Der Fehlvorstellung (3) kann man begegnen, indem die Reaktionen zunächst nur phänomenologisch betrachtet werden. Dabei sollten die gravierenden Veränderungen bei der Stoffumwandlung immer wieder herausgestellt werden: zum Beispiel verschwelt Holz zu Holzkohle, beides sind jedoch völlig unterschiedliche Stoffe, erkennbar an den deutlich unterschiedlichen Eigenschaften. Wenn eine Visualisierung der Vorgänge auf Teilchenebene gewünscht wird, so kann dies erst erfolgen, wenn ein differenziertes Teilchenmodell vorhanden ist. Das Kugelwolkenmodell eignet sich dafür sehr gut, da sich hier auch die Form der Teilchen mit der Bindung ändert. Es ist so schwieriger, die Reaktion als bloßes Mischen zu interpretieren.

Folgende Konsequenzen lassen sich also zusammenfassen:

- Es muss gezeigt werden, dass bei Verbrennungen neue Stoffe (v.a. Gase) entstehen und keine Vernichtung von Materie vorliegt.

- Schülerinnen und Schüler sollten Veränderungen immer wieder dahingehend untersuchen, ob neue Stoffe mit anderen Eigenschaften entstanden sind oder ob nur eine Aggregatzustandsänderung vorliegt.
- Bei chemischen Reaktionen sollte die grundlegende Umwandlung der Stoffe zunächst phänomenologisch beschrieben werden.

II. Grundsätze des Unterrichtskonzeptes „Chemie fürs Leben“

1. Der Chemieunterricht soll einen erkennbaren Beitrag zur Allgemeinbildung leisten.

Naturwissenschaften und damit auch die Chemie prägen das gesellschaftliche Leben in allen Bereichen. Der naturwissenschaftlichen Erkenntnis folgt in der Regel eine technische Anwendung, beides sichert Fortschritt und Lebensqualität, birgt jedoch auch Risiken und Gefahren. Für eine aktive Meinungsbildung über Entwicklungen im naturwissenschaftlichen Bereich leistet der Chemieunterricht einen wesentlichen Beitrag zur Allgemeinbildung, und dieser soll den Schülerinnen und Schülern bewusst und erfahrbar gemacht werden. Sie sollen sich mit den im Chemieunterricht erworbenen Kenntnissen im Alltag besser zurechtfinden, und zwar nicht erst nach einem erfolgreich absolvierten Grund- oder Leistungskurs, sondern auch schon in der Sekundarstufe I. Denn der Allgemeinbildungsauftrag gilt auch für Schülerinnen und Schüler der Haupt- und Realschulen sowie für diejenigen, die auf dem Gymnasium Chemie nach der zehnten Klasse abwählen. Das Leben, der Alltag, unser Umgang mit den Dingen in dieser Welt haben etwas mit Chemie zu tun – und dieses Etwas soll jedem Schüler nahe gebracht werden.

2. Ein Alltagsbezug sollte so oft wie möglich hergestellt werden.

Bereits aus der eben formulierten Forderung ergibt sich die Notwendigkeit eines Alltagsbezugs. Bedeutsam ist am Alltagsbezug auch die hohe Motivation, die Schülerinnen und Schüler der Beschäftigung mit Stoffen aus dem täglichen Umfeld entgegenbringen. Viele dieser Stoffe sind aus fachlicher Sicht allerdings der Organischen Chemie zuzuordnen (Kunststoffe, Lebensmittel, fossile Brennstoffe, Lebensmittel,...). Damit würden diese in einem klassischen Unterrichtsgang unter Beibehaltung der strikten Trennung zwischen Allgemeiner, Anorganischer und Organischer Chemie im Anfangsunterricht nicht zur Herstellung eines Alltagsbezuges herangezogen werden können. Wir plädieren deshalb dafür, diese strikte Trennung aufzuheben und eine allgemeine und thematisch orientierte Chemie zu unterrichten. Das bedeutet, dass z.B. beim Thema „Oxidations-/Verbrennungsreaktionen“ auch die fossilen Brennstoffe mit einbezogen werden, genauso wie beim Thema „Säuren“ die Zitrone und der Essig. Allerdings ist die Zusammensetzung und Wirkungsweise dieser Stoffe aus dem Alltag jedoch häufig zu komplex, um sie vollständig und formal im Chemieunterricht der Sekundarstufe I zu behandeln. Wir bemühen uns daher um eine andere Zugangsweise, die später genauer erläutert wird.

3. Der Unterricht soll aktuelle Themen und Inhalte mit einbeziehen.

Allgemeinbildung bedeutet auch Kritikfähigkeit gegenüber wissenschaftlichen und populären Veröffentlichungen. In den Medien verbreitete Berichte im Zusammenhang mit Chemikalien sind nicht nur alltagsbezogen, sie können auch auf ihre Aussagekraft hin überprüft werden und fördern so das kritische Denken.

4. Es müssen unverzichtbare fachliche Inhalte vermittelt werden.

Die genannten Punkte dürfen nicht dazu führen, dass Alltagsbezug, Aktualität oder Interessenlage der Schülerinnen und Schüler zum Auswahlkriterium für die Inhalte im Chemieunterricht werden. Gerade in der Chemie wird immer wieder auf Grundlagenkenntnisse zurückgegriffen. Ein erfolgreiches Arbeiten in der Sekundarstufe II ist nur möglich, wenn grundlegende fachliche Kenntnisse, Zusammenhänge und Verfahrensweisen der Chemie in der Sekundarstufe I vermittelt wurden, und zwar unabhängig von einer möglichen Verknüpfung mit dem Alltag.

5. Die Schülerinnen und Schüler sollen so oft wie möglich selbst aktiv tätig werden.

Das Prinzip der Selbsttätigkeit der Schülerinnen und Schüler folgt der Erkenntnis, dass Wissen und Fertigkeiten nicht übertragen werden können, sondern selbst angeeignet werden müssen. Eine wichtige Stellung im Chemieunterricht nimmt dabei die Durchführung von Schülerexperimenten ein. Aus vielen Gründen werden diese jedoch nur wenig eingesetzt. Zu nennen wären da die steigenden Klassenfrequenzen, die zu einem erhöhten Aufwand in Vor- und Nachbereitung in einem ohnehin vollen Stundenplan führen, die materiellen Probleme mit der Geräteausstattung und Sicherheitsprobleme mit den Chemikalien. Gerade materielle und Sicherheitsprobleme lassen sich jedoch verringern, wenn nach Möglichkeit auf Produkte aus dem Haushalt oder Supermarkt zurückgegriffen wird.

6. Die geistigen Fähigkeiten und Voraussetzungen der Schülerinnen und Schüler müssen berücksichtigt werden.

Um erfolgreich zu sein, muss Unterricht sich an den kognitiven Fähigkeiten und Voraussetzungen der Schülerinnen und Schüler orientieren. In diesem Zusammenhang ist besonders Piagets Theorie der geistigen Entwicklung zu nennen, nach der vier Entwicklungsstufen durchlaufen werden. Piaget hat diese Stufen an Altersgrenzen festgemacht, Untersuchungen zeigen aber, dass das Erreichen der nächsten Stufe kontinuierlich vonstattgeht und nicht sprunghaft, wie es Piagets Altersgrenzen vermuten lassen. Hans Aebli und Fritz Kubli entwickelten Piagets Theorie weiter. Demnach erfolgt die geistige Entwicklung in Form einer kontinuierlich wachsenden geistigen Kraft. Je anspruchsvoller ein Experiment, je komplexer der Aufbau, je vielfältiger die erforderlichen Beobachtungen, desto mehr geistige Kraft wird für die Erfassung des Problems an sich gebunden und steht demzufolge für die Deutung nicht mehr zur Verfügung. Die Erfassung von bekannten Aufbauten oder Zusammenhängen erfordert dagegen weniger geistige Kraft. Wird also bei einem Experiment Wert auf die formale Deutung gelegt, sollten alle anderen Parameter, die die Aufmerksamkeit der Schülerinnen und Schüler erfordern, möglichst einfach gehalten werden oder bekannt sein.

Grundsätze für den Ansatz „Chemie fürs Leben“

- Die Alltagschemie wird **nicht** als strukturierendes Element des Unterrichts betrachtet, sondern Stoffe aus dem Alltag sind Untersuchungs- und Anschauungsmaterial.
- Wann immer es möglich und sinnvoll ist, sollen „Laborchemikalien“ durch Stoffe aus dem Alltag ersetzt werden.
- In eine „allgemeine“ und thematisch orientierte Chemie im Anfangsunterricht werden auch organische Stoffe mit einbezogen.
- Die Herausarbeitung grundlegender Prinzipien und auch ihre Verknüpfung zu systemhaften Kenntnissen soll zunächst auf phänomenologischer Ebene unter Verwendung von Wortgleichungen erfolgen.
- Ein Übergang auf die formale Behandlung erfolgt erst dann, wenn das grundlegende Prinzip oder im kleinen Bereich die Reaktion bekannt ist.
- Theorie wird nur dann vermittelt, wenn sie gebraucht wird, nur so viel wie nötig und vor allem nur so viel wie verständlich ist.
- Schülerexperimente sollen so oft wie möglich durchgeführt werden, um die Motivation zu steigern, die Behaltensleistung zu erhöhen, experimentelle Fähigkeiten zu schulen und zum aktiven Handeln anzuregen.

III. Die Unterrichtseinheit

Die folgende Unterrichtseinheit wurde innerhalb des grundsätzlichen Ansatzes „Chemie fürs Leben“ konzipiert. Einzelne Komplexe können je nach Vorliebe und Intention der jeweiligen Lehrkraft sehr wohl auch untereinander ausgetauscht und anders angeordnet werden. Ein Überblick über die einzelnen Komplexe und die verschiedenen Möglichkeiten der Verknüpfung wird im Anschluss an die Beschreibung des Unterrichtseinstieges gegeben.

Die unter Punkt II aufgeführten Schülervorstellungen und die daraus abgeleiteten Konsequenzen führten bei der Konzeption dazu, dass das Thema „Gase“ in der vorgestellten Unterrichtseinheit einen deutlich größeren Raum einnimmt, als in vielen Fällen für den Anfangsunterricht vorgesehen ist. Dieses ist aus mehreren Gründen gewollt:

- Die Eigenschaften von festen und flüssigen Stoffen sollten schon im Sachkunde- oder NaWi-Unterricht thematisiert worden sein, die der gasförmigen Stoffe außer Luft in der Regel noch nicht.
- Gasförmige Stoffe und ihre Eigenschaften sind sehr alltagsrelevant, einige sind dabei mit Gefahren verbunden, z.B. durch deren Brennbarkeit.
- Gasförmige Stoffe und deren Eigenschaften sind von den Schülerinnen und Schülern nicht so leicht zu verstehen, wie die der flüssigen und festen Stoffe, da sie oft farblos und damit nicht „sichtbar“ sind. Als Untersuchungsobjekte sind sie deshalb vielfach „Neuland“ im Anfangsunterricht.
- Gasförmige Stoffe bieten gute Anknüpfungsmöglichkeiten für die Einführung eines Teilchenmodells bzw. die Reaktivierung dessen.

1. Der Unterrichtseinstieg

Der im Folgenden skizzierte Unterrichtseinstieg soll vier Anforderungen genügen. Er soll:

- (1) von Anfang an den Schülerinnen und Schülern die enge Verknüpfung zwischen Lebenswelt und Chemie bewusst machen,
- (2) auch im weiteren Unterricht immer wieder einen Ausgangspunkt für weitere Überlegungen bieten,
- (3) einige typische Fragestellungen und Aufgaben der Chemie als Naturwissenschaft anhand konkreter Stoffe initiieren und
- (4) eine Unterrichtssituation schaffen, in der Vorkenntnisse und Schülervorstellungen zu folgenden Fragen erfasst werden können:
 - In wie weit werden Körper und Stoffe schon sicher unterschieden?
 - Welche Stoffe sind den Schülerinnen und Schülern bereits bekannt?
 - Welche Stoffeigenschaften kennen sie bereits?
 - Welche Ordnungskriterien wenden die Schülerinnen und Schüler für eine unübersichtliche Anzahl von Stoffen an?
 - Sind die Aggregatzustände (mit ihren Merkmalen) bekannt?
 - Welche Beispiele kennen die Schülerinnen und Schüler für Feststoffe, Flüssigkeiten und Gase?

Um diese Anforderungen zu erfüllen, kann man den Schülerinnen und Schülern einen Tisch mit Utensilien für eine Party (z.B. wie in Abb. 2) präsentieren. Alternativ könnte auch ein Foto des Tisches als Poster verwendet werden. Der Tisch mit seinen Utensilien sollte am Ende der Stunde fotografiert und das Bild von den Schülerinnen und Schülern in ihren Hefter übernommen werden, so dass es immer wieder für weitere Überlegungen zur Verfügung steht.

Folgende Dinge werden in dieser Konzeption genauer betrachtet und sollten sich daher auf einem solchen Tisch befinden:

- Besteck, Teller und Becher aus verschiedenen Materialien (Kunststoff, Pappe, Stahl, Porzellan, Glas),
- mehrere Gegenstände aus verschiedenen Metallen (z.B. Stahlbesteck, Aluminiumfolie, Teelichtbecher, ein Topf oder eine Pfanne, Getränkedosen aus Aluminium und Weißblech),
- verschiedene Getränke (Mineralwasser, farbige Limonaden),
- Campinggaskocher mit Kartusche,

- durchsichtiges Gasfeuerzeug und evtl. eine Nachfüllkartusche,
- ein Einweggrill mit Holzkohle,
- ein Wassermass und / oder ein Kohlenstoffdioxid-Feuerlöscher,
- ein Luftballon und evtl. ein Heliumballon,
- Lampenöl und evtl. Speiseöl zum Betreiben von Öllampen,
- Brennspritus zum Warmhalten von Speisen und
- Fleckenwasser.



Abb. 2: Foto von möglichen Partyutensilien zum Einstieg in den Chemieunterricht

Die Schülerinnen und Schüler werden nach der Präsentation der Partyutensilien gefragt, was die Dinge auf dem Tisch ihrer Meinung nach mit Chemie zu tun haben. Zur Hilfestellung kann man auf konkrete Dinge zeigen und Nachfragen dazu stellen, beispielsweise zu Kunststoff- und Metallbesteck, Tellern aus verschiedenen Materialien, Bechern, Getränken, zum Einweg-Grill oder auch zur Aspirin-Tablette. Mögliche Verbindungen zur Chemie lassen sich auch auf bestimmten Verpackungen finden, auf denen chemische Betriebe als Hersteller benannt werden (z.B. Velind Chemie GmbH auf einer Lampenöl-Flasche). Gemeinsam wird so die Bedeutung der Chemie für den Alltag herausgestellt, ebenso wie die Aufgaben der Chemie als Naturwissenschaft. Folgende Punkte sollten am Ende des Gesprächs zusammengefasst werden:

Die Chemie beschäftigt sich mit dem

- Herstellen und Verarbeiten von Stoffen für Gegenstände (z.B. Kunststoff wird zu Bechern, Flaschen, Tüten verarbeitet),
- Untersuchen von Stoffen und ihren Einsatzmöglichkeiten (Lampenöl zum Verbrennen in Öllampen, Fleckenwasser zum Entfernen von Fettflecken oder auch Aspirin gegen Schmerzen)
- Aufbereiten von Stoffen, z.B. zu Nahrungsmitteln und Getränken und der
- Entsorgung oder Wiederverwertung von Stoffen.

Im Anschluss daran werden die Schülerinnen und Schüler aufgefordert, die Dinge auf dem Tisch nach chemischen Gesichtspunkten zu sortieren. Selbstverständlich werden dabei auch Kategorien wie Farbe, essbar oder giftig auftauchen, auf die man eingehen kann, die jedoch schnell zu der Einsicht führen, dass eine solche Einteilung nicht sinnvoll ist.

Die folgende Übersicht (Abb. 3) stellt nur einige Sortierungsmöglichkeiten dar. Die Schülerinnen und Schüler könnten beispielsweise nach der Verwendung, nach dem Material, nach bestimmten Eigenschaften oder auch nach dem Aggregatzustand ordnen.

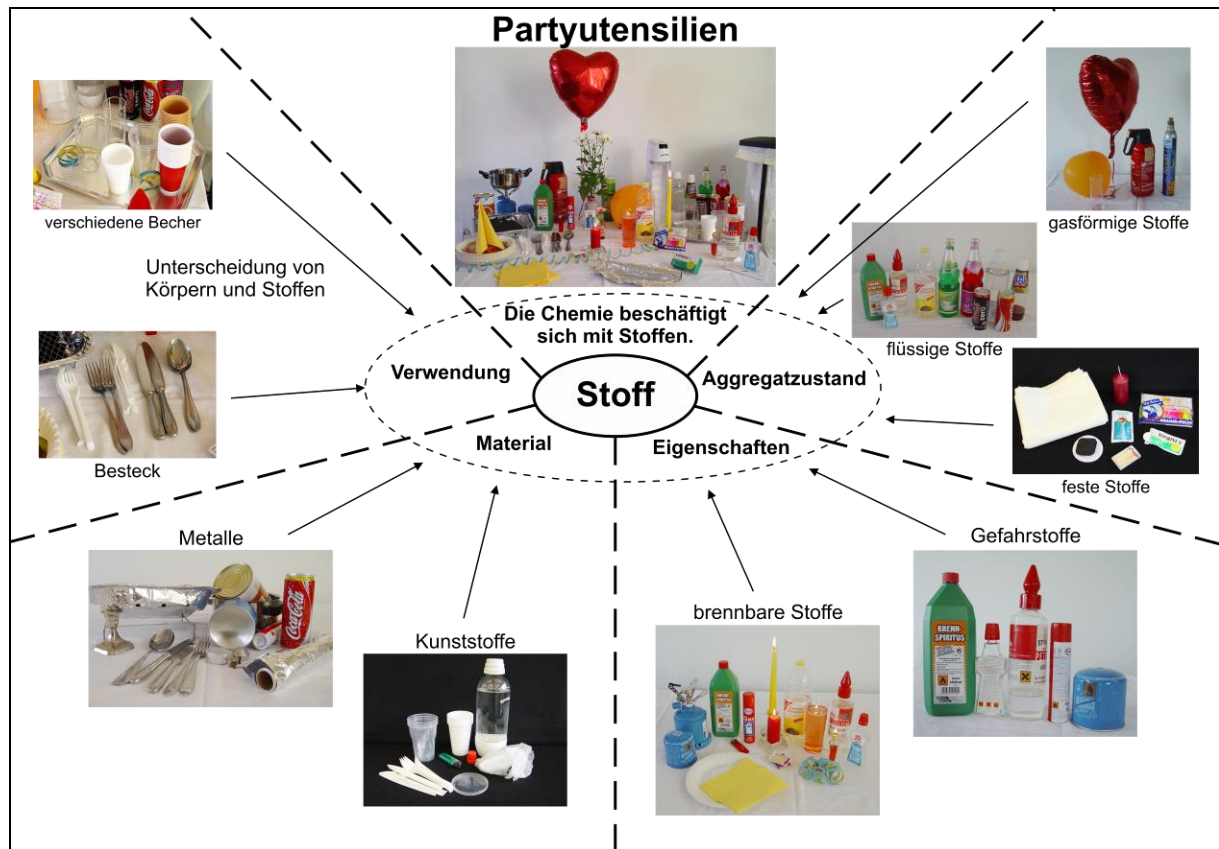


Abb. 3: Übersicht über die Sortierungsmöglichkeiten der Partyutensilien

Im Folgenden sind ausgehend von den gefundenen Ordnungskriterien einige exemplarische Vertiefungsmöglichkeiten und sich dazu ergebende neue oder zu wiederholende Kenntnisse angegeben. Die Reihenfolge der Bearbeitung kann von den Schülervorschlägen und der Intention der Lehrkraft abhängig gemacht werden.

Dabei sind folgende Lernziele zu beachten:

Die Schülerinnen und Schüler sollten

- die Begriffe „Körper“ und „Stoff“ klären / wiederholen,
- verschiedene Stoffe benennen und nach Merkmalen ordnen (Ordnungskriterien finden / wiederholen),
- einige Stoffeigenschaften benennen,
- den Zusammenhang zwischen der Verwendung von Stoffen und deren Stoffeigenschaften erkennen,
- die Stoffe nach ihrem Aggregatzustand ordnen und
- die Merkmale der Aggregatzustände benennen können.

1.1 Ordnung nach der Verwendung

Bei der Sortierung nach der Verwendung könnten die Schülerinnen und Schüler beispielsweise nach Essbesteck, Trinkbechern, Tellern oder auch nach Getränken ordnen. Dieses erste Ordnungskriterium ist eine Sortierung nach der Art des Gegenstands, also nach Körpern. An dieser Stelle kann geklärt werden, dass man Gegenstände in den Naturwissenschaften, v.a. in Physik und Chemie, auch Körper nennt und die Materialien, aus denen diese Gegenstände bestehen, nennt man Stoffe. So ist z.B. Kunststoff eine (sehr allgemeine) Stoffbezeichnung und aus diesem „Stoff“ lassen sich verschiedene Körper formen.

Das Wort „Stoff“ ist den Schülerinnen und Schülern aus dem Alltag schon bekannt. So ist z.B. für das Wort „Plastik“ auch „Kunststoff“ gebräuchlich. Beide Begriffe werden im Alltag synonym benutzt, wobei Kunststoff der fachlich korrekte Begriff ist¹ und Plastik lediglich umgangssprachlich dasselbe meint². Weitere Beispiele wären die Begriffe Klebstoff, Baustoff, Farbstoff, Aromastoff, Zusatzstoff und Brennstoff. Sie alle bezeichnen Stoffe aus dem Alltag, bei denen nicht die Form (der Körper), sondern der Stoff an sich von Bedeutung ist. Da die Schülerinnen und Schüler noch nicht über einen ausgeprägten chemischen Stoffbegriff verfügen, wird dieser hier zunächst sehr allgemein verwendet. Es werden also zunächst auch Stoffgruppenbezeichnungen wie Kunststoff oder Metall und Stoffgemische wie Luft, Kerzenwachs, Lampenöl oder Milch als Stoffbezeichnung zugelassen. Der Stoffbegriff soll sich aus dem Alltagsverständnis der Lernenden heraus entwickeln und in seinem Inhalt und Umfang allmählich ausgebaut und geschärft werden. Zusammenfassend kann festgehalten werden: Stoffe können verschiedene Formen annehmen und gleiche Gegenstände/Körper können aus verschiedenen Stoffen hergestellt werden. Folgende Punkte könnten wiederholend bzw. vertiefend festgehalten werden:

- Gegenstände in unserer Umgebung werden als „Körper“ bezeichnet.
- Körper lassen sich an der Form erkennen. (Wesentliche Körpereigenschaften sind Form, Volumen und Masse.)
- Die Materialien, aus denen Körper bestehen, nennt man „Stoffe“.
- Gleiche Körper können aus verschiedenen Stoffen bestehen.
- Verschiedene Körper können aus demselben Stoff bestehen, d.h. ein Stoff kann verschiedene Formen annehmen.

1.2 Ordnung nach dem Material

Schlagen die Schülerinnen und Schüler eine Ordnung nach dem Material vor, so sollte zunächst der Bedeutungsrahmen dieses Begriffs geklärt werden. Der Begriff „Material“ ist ein Alltagsbegriff und bezeichnet häufig Stoffe im chemischen Sinne. Dieser Begriff kann daher genutzt werden, um eine Verbindung zwischen Alltagssprache und Fachsprache herzustellen. Dabei ist zu beachten, dass der Materialbegriff weniger Stoffe umfasst als der Stoffbegriff. Materialien sind eigentlich nur Werkstoffe, wie Metalle, Kunststoffe, Holz, Textilien, Papier usw. (ausgenommen sind dabei Unterlagen, die zur geistigen Arbeit dienen). „Stoff“ ist demnach ein Oberbegriff und wird daher im Folgenden konsequent verwendet. So kann man bei genauerer Betrachtung einer Gruppe von Körpern zwei Fragen erörtern: Erstens: Warum werden beispielsweise Getränkebecher aus verschiedenen Stoffen hergestellt? Welche Vor- und Nachteile bieten die unterschiedlichen Stoffe? Und zweitens: Woran erkennen die Schülerinnen und Schüler die Stoffe Kunststoff, Pappe, Metall und Glas überhaupt?

Für die Beantwortung der ersten Frage könnten im Zusammenhang mit einer Party folgende Argumente auftauchen:

Getränkebecher	Pappbecher	Kunststoffbecher	Gläser
Vorteile	günstiger Kaufpreis leicht kein Abwasch unzerbrechlich	günstiger Kaufpreis leicht kein Abwasch unzerbrechlich	Mehrweggeschirr kein (wenig) Müll stabil
Nachteile	Müllentsorgung Einweggeschirr biegsam, wenig stabil	Müllentsorgung Einweggeschirr biegsam, wenig stabil	teurer Kaufpreis schwer zerbrechlich Abwasch

Besteck	Plastikbesteck	Metallbesteck
Vorteile	Günstig, leicht, kein Abwasch	Mehrwegbesteck, stabil
Nachteile	Müllentsorgung Einwegbesteck biegsam, wenig stabil	teuer schwer Abwasch

Tabelle 1: Vor- und Nachteile verschiedener Materialien

¹ Kunststoffe sind „Materialien, deren wesentliche Bestandteile aus solchen makromolekularen organischen Verbindungen bestehen, die synthetisch oder durch Abwandeln von Naturprodukten entstehen.“

² Plastik ist allgemein ein Material, welches bei genügend hoher Temperatur unter Einfluss von Kräften durch plastischen Fluss formgebend verarbeitbar ist.

Man erkennt, dass gewisse Eigenschaften der Stoffe Vorteile bieten, andere dagegen Nachteile mit sich bringen. Bei der Wahl eines Stoffs ist immer ein Kompromiss zwischen den Vor- und Nachteilen in Bezug auf die vorgesehene Verwendung zu schließen. Die Diskussion über den Stoff führt unweigerlich zu den Stoffeigenschaften und damit zu der zweiten Frage. Woran erkennt man die Stoffe Papier, Kunststoff, Metall³ und Glas? Als erstes werden die Schülerinnen und Schüler Aussagen wie: „Das sieht man doch!“ oder „Man merkt es, wenn man es anfasst.“ treffen. Diese Aussagen müssen im Folgenden präzisiert und überprüft werden. Erkennt man Stoffe wirklich allein am Aussehen? Wie sehen bestimmte Stoffe überhaupt aus? Und was genau erfahren wir, wenn wir ein Gegenstand anfassen? Dabei ist es günstig, dass sich auf dem Tisch mit den Partyutensilien konkrete Anschauungsstücke befinden. „Beim Anfassen“ sollte der Sehsinn mittels einer Augenbinde ausgeschaltet werden. Folgende Merkmale, genauer „Stoffeigenschaften“ könnten benannt werden.

Aussehen	Papier / Pappe	Kunststoff	Metall	Glas
Farbe	meist weiß, auch farbig oder grau	meist weiß, auch farbig	meist silbrig oder golden, auch lackiert	meist farblos, auch farbig
Transparenz (Durchsichtigkeit)	nicht transparent	meist nicht transparent	nicht transparent	transparent
Glanz	matt	matt	glänzend, auch matt	glänzend, auch matt
Oberflächenbeschaffenheit	glatt oder rau	glatt oder rau	meist glatt	meist glatt, auch rau
„Wärmeempfinden“	warm	warm	kalt	kalt
Verformbarkeit	biegsam	spröde, biegsam oder elastisch	biegsam	spröde
Härte	weich	hart oder weich	meist hart	hart
„Schwere-Empfinden“	sehr leicht	leichter als vergleichbare Gegenstände aus Glas oder Metall	schwer	schwerer als vergleichbare Gegenstände aus Kunststoff
Klang	dumpf	dumpf	hell / hoch	hell / hoch

Tabelle 2: Aussehen und Eigenschaften verschiedener Materialien

Die Tabelle zeigt, dass beispielsweise Kunststoffe in einigen Eigenschaften sehr unterschiedlich sein können (siehe Transparenz oder Verformbarkeit). Der Begriff „Kunststoff“ kann demnach nur ein Oberbegriff für eine Reihe von Kunststoffarten sein. Ebenso verhält es sich mit den anderen Stoffgruppenbezeichnungen. Papier, Kunststoff, Metall und Glas sind also immer noch Sammelbegriffe, die weiter differenziert werden können/müssen. Trotzdem erreicht man durch diese Sammelbegriffe bereits eine gewisse Ordnung in die Welt der Stoffe. Die Ordnungskriterien sind dabei die Eigenschaften. In einer Stoffgruppe werden Stoffe mit gemeinsamen, charakteristischen Eigenschaften zusammengefasst. Diese Stoffe können z.B. nicht allein am Aussehen sicher erkannt werden, es müssen mehrere Stoffeigenschaften auf eine Stoffprobe zutreffen, damit man sie eindeutig zuordnen kann. Man kann an diesem Punkt direkt mit der genaueren Betrachtung einer Stoffgruppe, z.B. die der Metalle, fortfahren. Da hier aber nur feste Stoffe thematisiert wurden, können im Folgenden noch weitere mögliche Ordnungskriterien aufgegriffen werden.

1.3 Ordnung nach bestimmten Stoffeigenschaften, z.B. der Brennbarkeit

Wurden die Stoffeigenschaften thematisiert, könnten die Schülerinnen und Schüler auch weitere Stoffeigenschaften benennen und die Partyutensilien entsprechend sortieren. Nicht alle Eigenschaften, die die Schülerinnen und Schüler evtl. benennen, ergeben „chemisch sinnvolle“ Untergruppen. So könnte man die Stoffe z.B. nach ihrer Farbe sortieren. Aber welche Farbe haben denn Papier, Lampenöl, Glas und Kunststoff? Von diesen Stoffen sind sowohl farblose als auch

³ Es ist zu vermuten, dass die Schülerinnen und Schüler einige Metalle genauer bezeichnen können, wie z.B. Eisen, Stahl oder auch Aluminium. Die genaue Unterscheidung dieser Metalle wird ihnen nicht immer in der richtigen Weise gelingen, daher sollte man zunächst nur „Metalle“ an sich betrachten.

farbige Varianten bekannt, so dass man z.B. den Stoff Glas, unabhängig vom konkreten Körper, nicht eindeutig einer Farbe zuordnen kann. Möglich ist z.B. auch eine Ordnung nach Gefahrstoffen oder „Gifftigkeit“. Auch hier ergibt sich eine Möglichkeit, direkt mit der Untersuchung von Stoffeigenschaften weiter zu machen. In dem hier vorgestellten Gang wird allerdings vorgeschlagen, zunächst noch die Aggregatzustände zu betrachten, weil sich dann ein guter Weg eröffnet, um das Teilchenmodell einzuführen bzw. zu reaktivieren und die Vorgänge bei den Aggregatzustandsänderungen zu wiederholen. Sollten die Schülerinnen und Schüler die unterschiedlichen Aggregatzustände als Ordnungskriterium bereits genannt haben, kann man direkt darauf eingehen. Sonst kann man den Zugang auch über die Eigenschaft der „Brennbarkeit“ finden. Auf dem Tisch befinden sich z.B. viele Stoffe, die zum Verbrennen eingesetzt werden. Ausgehend von diesen kann man die Stoffe auf dem Tisch nach „brennbar“ und „nicht brennbar“ einteilen. Diese Einteilung erfolgt an dieser Stelle selbstverständlich nach den bisherigen Erfahrungen der Schülerinnen und Schüler. Sie wird an entsprechender Stelle später verfeinert bzw. auch korrigiert werden müssen (z.B. wird Eisen hier höchstwahrscheinlich bei „nicht brennbar“ eingeordnet, später jedoch bei „brennbar“). Bei „brennbar“ werden zunächst die offensichtlich brennbaren Stoffe einsortiert, wie Holzkohle, Lampenöl, Wachs, Holz, Feuerzeuggas usw. Aber auch die Stoffe, bei denen die Brennbarkeit aus den Alltagserfahrungen bekannt ist, können dort eingeordnet werden (z.B. Papier, Pappe, Baumwolle). Zu beachten ist dabei, dass sicher nicht alle Stoffe eindeutig eingeordnet werden können, auch diese sollten thematisiert werden, denn gerade sie motivieren dazu, sich mit den einzelnen Stoffen und ihren Eigenschaften genauer zu beschäftigen. Eventuell können solche Unsicherheiten mit kleinen Handversuchen gleich geklärt werden.

Brennbarkeit		
brennbar	nicht brennbar	Unsicherheiten bei der Zuordnung
Holzkohle, Lampenöl, Wachs, Holz, Feuerzeuggas, Speiseöl, Papier, Pappe, Fleckenwasser, Baumwolle	Eisen, Stahl, Aluminium, Wasser, Glas, Porzellan	Kunststoff, Gummi

Tabelle 3: Unterscheidung von Stoffen bezüglich deren Brennbarkeit

1.4 Ordnung nach dem Aggregatzustand

Betrachtet man nun die Gruppe der brennbaren Stoffe, so fällt auf, dass sich darunter sowohl feste Stoffe als auch flüssige Stoffe und ein so genanntes „Gas“⁴ befinden. Man könnte diese Gruppe also weiter nach dem Aggregatzustand unterteilen. Hat man dieses Ordnungskriterium einmal gefunden, können auch die anderen (nicht brennbaren) Stoffe entsprechend eingeteilt werden. Hierbei erhält die Lehrkraft einen Überblick, ob den Lernenden bereits alle drei Aggregatzustände bekannt sind und welche Beispiele sie bereits kennen.

Aggregatzustand bei Raumtemperatur (20 °C)			
	fest	flüssig	gasförmig
brennbar	Holzkohle, Wachs, Holz, Papier, Pappe, Baumwolle, Glas, Porzellan, Gummi, Kunststoff	Lampenöl, Speiseöl, Fleckenwasser Feuerzeuggas?	Feuerzeuggas?
nicht brennbar	Eisen, Stahl, Aluminium	Wasser, Sirup,	Luft, Helium, Kohlenstoffdioxid

Tabelle 4: Aggregatzustände und Brennbarkeit verschiedener Stoffe

An Stoffen, bei denen die Schülerinnen und Schülern unterschiedlicher Meinungen sind und daher nicht eindeutig zugeordnet werden können (z.B. Ketchup, Honig, loser Zucker, ...), können die Merkmale der einzelnen Zustandsformen erarbeitet bzw. wiederholt werden. Dieses sollte mit eindeutig zuzuordnenden Stoffen geschehen. Dazu kann man die folgenden Experimente durchführen.

⁴ Auf den Nachfüllkartuschen für Gasfeuerzeuge steht häufig die Bezeichnung „Feuerzeuggas“. Die Zuordnung dieses Stoffes zu einem Aggregatzustand ist dennoch nicht unproblematisch. Welche Probleme sich ergeben können, wird weiter unten kurz erläutert.

Versuch 1: Typische Eigenschaften von festen und flüssigen Stoffen

Kurzfassung: Ein typischer fester Stoff wie zum Beispiel ein Nagel oder ein Stück Grillkohle, wird in ein Becherglas gegeben. In ein zweites Becherglas füllt man etwas Wasser. In beiden Bechergläsern wird beobachtet, wie sich die Stoffe darin verhalten. Es ist leicht zu erkennen, dass der Feststoff in seiner ursprünglichen Form erhalten bleibt, während sich das Wasser der Gefäßform anpasst.

Dann füllt man etwas Wasser in eine Spritze, verschließt diese und versucht dann, das Wasser zusammenzudrücken. Ein analoger Versuch kann mit einem Nagel oder einem Stück Kohle in einer Spritze gemacht werden. Beide Stoffe lassen sich nicht komprimieren.

Versuch 2: Untersuchung von losem Zucker

Kurzfassung: In ein Becherglas wird etwas Zucker geschüttet und beobachtet, ob sich der Zucker der Gefäßform anpasst. Dann wird das Becherglas geschwenkt und geschüttelt. Zum Schluss schaut man sich den Zucker mit einer Lupe an.

Man kann feststellen, dass sich der Zucker nicht ohne weiteres der Gefäßform anpasst, es bleibt zumindest ein kleiner Berg. Erst wenn das Becherglas geschüttelt und geschwenkt wird, verteilt sich der Zucker ähnlich wie das Wasser. Mit der Lupe kann man erkennen, dass der lose Zucker aus kleinen Zuckerkristallen besteht.

Zucker ist also ein Feststoff und man kann ergänzen, dass Feststoffe nicht ohne äußere Einwirkung ihre Form verändern.

Versuch 3: Typische Eigenschaften von gasförmigen Stoffen

Kurzfassung: In einem geschlossenen Raum wird in einer Ecke etwas Deodorant versprüht, möglichst in Richtung Wand und nicht in Richtung der Klasse. Dann wird abgewartet, ob, wann und wo die Schülerinnen und Schüler das Deodorant riechen können.

Dann füllt man wiederum etwas Deodorant oder Luft in eine Spritze, verschließt diese und versucht, den gasförmigen Stoff zusammenzudrücken.

Es stellt sich heraus, dass gasförmige Stoffe sich gleichmäßig im ganzen Raum verteilen und sich komprimieren lassen.

Zusammenfassend kann man die Merkmale fester, flüssiger und gasförmiger Stoffe in der folgenden Tabelle festhalten.

Merkmale der Aggregatzustände		
fest	flüssig	gasförmig
Form unveränderlich, d.h. feste Stoffe besitzen eine bestimmte Form, die sie unabhängig vom Gefäß behalten	Form veränderlich, d.h. Flüssigkeiten passen sich der Form des Gefäßes an	Form veränderlich, d.h. Gase passen sich der Form des Gefäßes an
Volumen (fast) unveränderlich, d.h. feste Stoffe lassen sich nicht komprimieren	Volumen (fast) unveränderlich, d.h. Flüssigkeiten lassen sich kaum komprimieren	Volumen veränderlich, d.h. Gase sind komprimierbar bzw. Gase nehmen den gesamten ihnen zur Verfügung stehenden Raum gleichmäßig ein

Tabelle 5: Merkmale der Aggregatzustände

2. Aggregatzustände und Übergänge zwischen den Aggregatzuständen

Wasser ist der bekannteste und verbreitetste Stoff in unserm Alltag, der leicht nachvollziehbar in allen drei Aggregatzuständen vorkommt. Daran lassen sich auch sehr einfach nicht nur die Charakteristika der verschiedenen Aggregatzustände nachvollziehen, sondern die Übergänge zwischen ihnen einführen / wiederholen / festigen. Dazu wurden von De VRIES, OETKEN und PASCHMANN eine Reihe von Versuchen entwickelt und in einen Unterrichtsvorschlag eingearbeitet [19, 20]. Einige von diesen Versuchen werden im Folgenden vorgestellt.

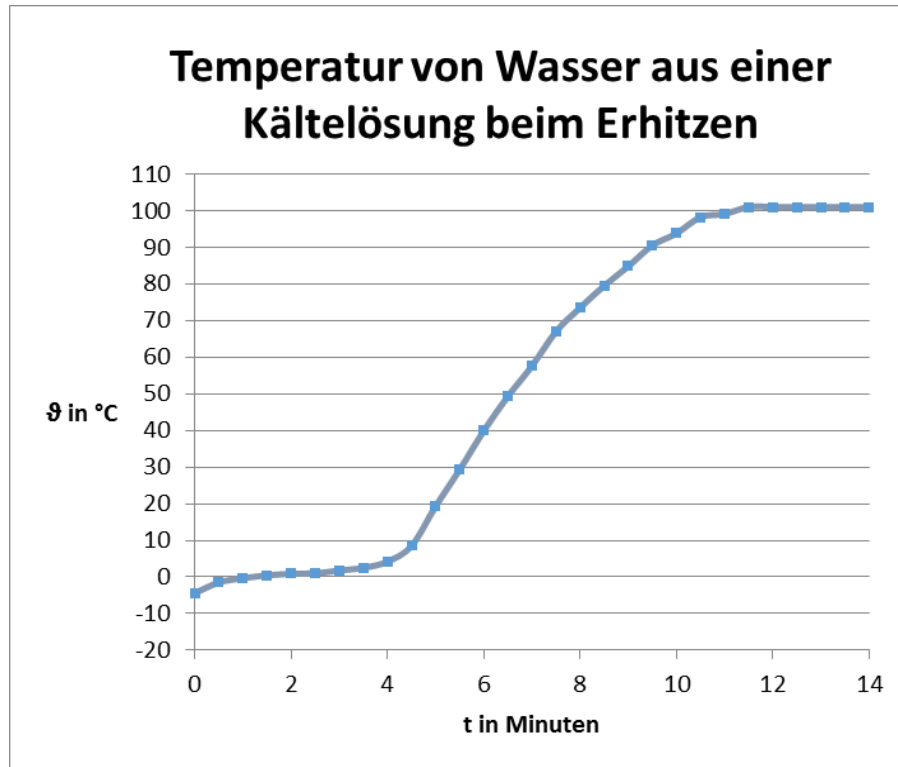
Versuch 4: Bestimmung der Schmelz- und Siedetemperatur von Wasser

Geräte: Temperaturfühler, 100-mL-Becherglas (breite Form), Heizplatte mit Magnetrührereinheit, Rührer
Chemikalien: Eis

Durchführung: Das Becherglas mit 30 g zerkleinertem Eis befüllt, auf die Heizplatte gestellt und der Rührer auf langsamer Stufe eingeschaltet. Der Temperaturfühler wird in das Eis eingetaucht und die

Messung gestartet. Dann schaltet man die Heizplatte auf höchster Stufe ein und erhitzt so lange, bis das Wasser siedet. Während des Erhitzens wird alle 30 Sekunden die Temperatur abgelesen und notiert. Man beendet den Versuch, wenn das Wasser siedet und die Temperaturwerte mindestens eine Minute lang nicht mehr ansteigen. Die Messwerte werden in ein Temperatur-Zeit-Diagramm übertragen.

Beobachtung:



Beim Erwärmen von Eis wird deutlich, dass es Phasen gibt, in denen die Temperatur (fast) linear ansteigt und andere, in denen die Temperatur über einen längeren Zeitraum konstant bleibt. Die konstanten Phasen entstehen, wenn es zu einer Aggregatzustandsänderung kommt, hier also beim Schmelzen und beim Sieden. Der Schmelzpunkt von Wasser liegt bei etwa 0 °C, der Siedepunkt bei etwa 100 °C. Die Werte können bedingt durch die Qualität des Temperaturfühlers sowie abhängig vom äußeren Luftdruck vom theoretischen Wert abweichen.

Auswertung: Der Schmelzpunkt von Eis liegt bei 0 °C, der Siedepunkt von Wasser bei 100 °C.

Didaktischer Hinweis: Der zeitweilig horizontale Verlauf der Kurve während der Übergänge zwischen den Aggregatzuständen soll zwar erkannt, aber darauf hingewiesen werden, dass man sich damit in Kürze genauer beschäftigen wird.

Das Sieden von Wasser beobachten die Schülerinnen und Schüler sehr häufig in ihrem Alltag. Fragt man nach, woraus die aufsteigenden Blasen im Wasser bestehen, erhält man vielfach falsche Antworten. De VRIES, OETKEN und PASCHMANN haben in einer Befragung von Schülerinnen und Schüler der 8.-13. Klasse sowie von Studienanfängern des Faches Chemie eine Reihe von Antworten zusammengestellt und können in [19] nachgelesen werden. Sie stellten dabei fest, dass die „meisten Schüler der 8. bzw. 9. Klasse behaupten, dass die aufsteigenden Blasen aus den in Wasser gelösten Gasen Sauerstoff und Kohlenstoffdioxid bestünden. Eine weit verbreitete Meinung ist auch, dass es sich um erhitzte Luft handele.“ [19, S. 414] Bei den Schülerinnen und Schülern aus der 11.-13. Klasse sowie bei den Studienanfängern meint ein großer Teil, „die Blasen würden aus einem Gemisch aus Wasserstoff und Sauerstoff bestehen“ [19, S. 414]. Diese Befragung zeigt, dass bei der Erklärung eines einfachen alltäglichen Phänomens große Unsicherheiten bei den Schülerinnen und Schülern bestehen. Bei einer experimentellen Überprüfung der verschiedenen Hypothesen, woraus die Blasen bestehen, muss man also die Gasblasen auffangen. Der Versuchsaufbau kann dabei von den Schülerinnen und Schülern selbst entwickelt werden.

Versuch 5: Pneumatisches Auffangen von Wasserdampf (nach [19, S. 415])

Geräte: Heizplatte, großes Reagenzglas (30x200), passender Stopfen, Tiegelzange, 400-mL-Becherglas, Wasserkocher, geeignete Schutzhandschuhe

Durchführung: Ein halber Liter Wasser wird in dem Wasserkocher erhitzt. Man befüllt zunächst das Becherglas mit dem heißen Wasser, stellt es auf die Heizplatte und erhitzt weiter bis zum Sieden. Auch das Reagenzglas wird mit dem heißen Wasser aus dem Wasserkocher befüllt und mit dem Stopfen verschlossen, so dass sich keine Luftblasen mehr im Reagenzglas befinden. Dann wird es umgedreht in das Becherglas gestellt und der Stopfen unter Wasser mit Hilfe der Tiegelzange abgezogen. Man spannt das Reagenzglas ein und hält das Wasser so lange am Sieden, bis das Reagenzglas völlig mit Wasserdampf gefüllt ist. Dann stellt man die Heizplatte aus oder nimmt die Apparatur herunter.

Beobachtung: Im siedenden Wasser steigen beständig Gasblasen auf. Die im Reagenzglas aufsteigenden Gasblasen verschwinden zu Anfang wieder, aber nach einigen Minuten sammeln sie sich oben im Reagenzglas. Das Reagenzglas füllt sich schließlich vollständig mit einem farblosen Gas. Nimmt man die Apparatur dann von der Heizplatte, füllt sich das Reagenzglas innerhalb weniger Sekunden wieder mit Wasser.

Auswertung: Wenn das Wasser siedet, entstehen vor allem in der Nähe der Heizplatte Gasblasen, die dann aufsteigen. Die Wassertemperatur im Reagenzglas ist anfangs noch niedriger, hier kollabieren die Gasblasen auf ihrem Weg wieder. Bei weiterem Erhitzen erwärmt sich das Reagenzglas und das Wasser innerhalb zunehmend und die aufsteigenden Blasen können das Wasser verdrängen, bis das Reagenzglas vollständig mit Gas gefüllt ist. Lässt man die Apparatur anschließend wieder abkühlen, wird das Wasser aus dem Becherglas wieder in das Reagenzglas hinein gesogen. Wartet man, bis sich die Apparatur wieder bis auf Raumtemperatur abgekühlt hat, stellt man fest, dass das Gas aus dem Reagenzglas restlos verschwunden ist.

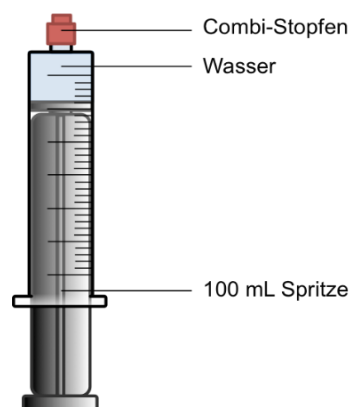
Didaktische Anmerkung: In diesem Versuch können die Schülerinnen und Schüler gasförmiges Wasser auffangen, welches beim Abkühlen wieder vollständig kondensiert, denn am Ende ist das aufgefangene Gas restlos verschwunden. Bei der Auswertung ist aber darauf zu achten, dass sich das Reagenzglas zum größten Teil mit dem eingesogenen Wasser aus dem Becherglas füllt und nicht der wieder kondensierten Wassermenge entspricht.

Bleibt noch zu klären, dass für die angegebenen Schmelz- und Siedetemperaturen der Zusatz „unter Normalbedingungen“ gilt. Um das zu problematisieren, kann man folgenden Versuch durchführen.

Versuch 6: Druckabhängigkeit des Siedepunkts von Wasser

Geräte: 100-mL-Plastikspritze, 200-mL-Becherglas, Combi-Stopfen, Wasserkocher, Thermometer mit Temperaturfühler (>100 °C)

Chemikalien: Leitungswasser

Versuchsaufbau:

Durchführung: Es werden etwa 200 mL Wasser im Wasserkocher zum Sieden gebracht (Mindestfüllhöhe beim Wasserkocher beachten) und die Siedetemperatur bestimmt. Dann füllt man etwas von dem siedenden Wasser in das Becherglas, misst erneut die Temperatur, nimmt dann rasch aus dem Becherglas mit der Spritze 20 mL auf und verschließt die Spritze mit dem Combi-Stopfen. Dann zieht man den Spritzenstempel möglichst schnell auf 100 mL auf, hält ihn dort kurz und lässt ihn dann wieder los. Dann zieht man den Stempel wieder heraus, beobachtet das Wasser kurz und lässt den Stempel dann wieder los.

Beobachtungen: Das Wasser siedet bei 100 °C. Nach dem Umfüllen in das Becherglas ist die Temperatur des Wassers auf ca. 95 °C gesunken, es siedet nicht mehr. Nachdem man 20 mL in die Spritze aufgenommen und nach dem Verschließen den Stempel herausgezogen hat, kann man erkennen, dass das Wasser in der Spritze wieder siedet. Lässt man den Stempel los, hört das Sieden sofort auf. Zieht man den Stempel erneut heraus, siedet das Wasser wieder.

Auswertung: Wenn man den Stempel der Spritze herauszieht, verringert man den Druck und das Wasser beginnt zu siedet. Die Siedetemperatur ist also offensichtlich vom Druck abhängig. Deshalb wird bei Schmelz- und Siedetemperaturen immer angegeben, dass sie bei „Normaldruck“ (1013 hPa) gelten.

Grundsätzlich kann man nun die Übergänge zwischen den drei Aggregatzuständen und die dazugehörigen Begriffe zusammenfassen und zum Beispiel wie in der folgenden Abbildung 4 veranschaulichen.

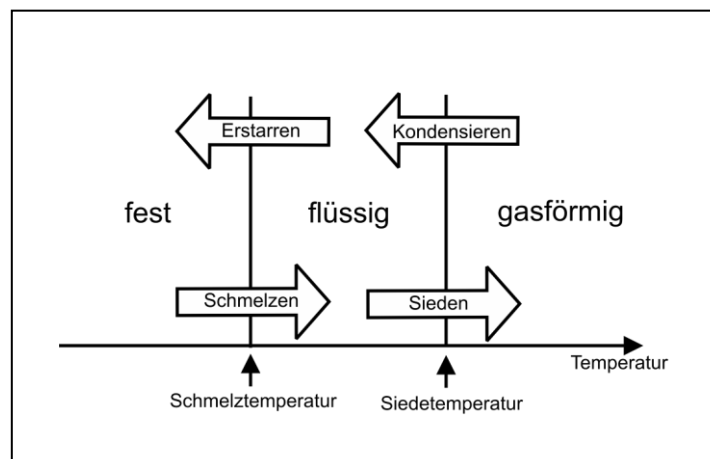


Abb. 4: Bezeichnung der Prozesse bei den Aggregatzustandsänderungen

Zur Vertiefung und Festigung kann man die analogen Untersuchungen mit Kerzenwachs durchführen.

Versuch 7: Schmelzen und Verdampfen von Kerzenwachs

Geräte: Duran-Reagenzglas (16 x 160 mm), Brenner, Stativ, Klemme, Muffe, Thermometer (entweder bis 100 °C, besser Digitalthermometer bis 400 °C), Messer, Schneideunterlage, Feuerzeug

Chemikalien: Kerzenwachs (1/4 von einem Teelicht)

Durchführung: Mit Hilfe des Messers wird auf der Schneideunterlage ein Viertel eines Teelichtes in sehr kleine Stücke geschnitten. Die Kerzenwachsstücke werden dann in das Reagenzglas gegeben, bis dieses zur Hälfte gefüllt ist. Anschließend wird das befüllte Reagenzglas in das Stativ eingespannt. Das Thermometer wird in das Reagenzglas hineingesteckt, sodass es mittig die Temperatur des Kerzenwachses messen kann. Anschließend wird bei dem Brenner eine kleine rauschende Flamme eingestellt und das Reagenzglas kurz und gelinde erhitzt. Dabei achtet man auf die Temperaturanzeige des Thermometers. Sobald das Kerzenwachs schmilzt wird der Schmelzbereich festgehalten. Anschließend wird das Thermometer mit einem Messbereich bis 100°C entfernt, ein Thermometer mit einem Messbereich bis 400 °C kann in dem Wachs verbleiben. Nun erhitzt man mit dem Brenner das Kerzenwachs bis zum Sieden. Sobald der Siedebereich erreicht ist, wird der Brenner entfernt und ausgeschaltet.

Beobachtungen: Der zu untersuchende Ausgangsstoff ist weißes Kerzenwachs von einem Teelicht. Dieses befindet sich bei einer Raumtemperatur im festen Aggregatzustand. Mit einem Messer kann das Kerzenwachs leicht in kleine Stücke geschnitten werden.

Nachdem das Kerzenwachs in das Reagenzglas gegeben wurde, ist mit Hilfe des Thermometers die Anfangstemperatur festgehalten worden. Während des Erwärmens ist zu beobachten, dass das Kerzenwachs in einem Temperaturbereich zwischen 50 – 60 °C schmilzt. Außerdem liegt nun eine farblose Flüssigkeit vor. Durch weiteres Erhitzen erhöht sich die Temperatur immer weiter. Über der flüssigen Phase bilden sich weiße Nebelschwaden, die langsam aufsteigen. Bei einem Temperaturbereich über 300 °C beginnen Gasblasen aufzusteigen. Die Temperatur steigt weiter bis die Flüssigkeit vollständig zu siedet beginnt. Die Temperatur liegt nun oberhalb von 330 °C.

Auswertung: Kerzenwachs liegt bei Raumtemperatur in festem Aggregatzustand vor. In einem Bereich von etwa 50 bis 60 °C schmilzt es. Oberhalb von 330 °C siedet Wachs.

Fachlicher Hinweis: Bei Kerzenwachs handelt es sich fast immer um ein Stoffgemisch. Deshalb können keine festen Schmelz- oder Siedepunkte bestimmt werden, man kann nur Schmelz- und Siedebereiche angeben.

Um auch den unmittelbaren Übergang zwischen fest und gasförmig zu thematisieren und die Begriffe „Sublimieren“ und „Resublimieren“ einzuführen, bietet sich das folgende Experiment an.

Versuch 8: Resublimation von Wasserdampf an einem kalten Metallblock [20, S. 188]

Geräte: 2 gleich große Metallblöcke (z.B. zwei große Hämmer), 2 Korkringe oder Styroporplatten, Kristallisierschale, Frischhaltefolie, Stoppuhr, Handschuhe

Vorbereitung: Die beiden Metallblöcke müssen vor dem Versuch für mehrere Stunden in einer Gefriertruhe abgekühlt werden.

Durchführung: Einer der Metallblöcke wird auf einen Korkring in die Kristallisierschale gelegt und diese mit Frischhaltefolie möglichst luftdicht verschlossen. Der andere Metallblock wird offen auf den anderen Korkring gelegt. Man beobachtet die beiden Blöcke über einen Zeitraum von 15 min.

Beobachtung: Der an der Luft platzierte Metallblock überzieht sich im Laufe des Versuchs mit einer dicken Eisschicht. Kratzt man diese mit einem Messer ab, „wächst“ sie schnell wieder nach. Am Messer bilden sich dagegen Wassertropfen. Bei dem Metallblock in der Kristallisierschale ist keine vergleichbare Eisschicht zu erkennen. Es treten lediglich einzelne Eiskristalle auf.

Auswertung: An dem offenen Metallblock kann man die Bildung von Raureif beobachten. Diese Aggregatzustandsänderung von gasförmig zu fest wird als Resublimation bezeichnet. Die Frage, woher das gasförmige Wasser stammt, lässt sich mit Hilfe des abgedeckten Metallblocks erklären. Der einzige Unterschied ist, dass dieser mit weniger Umgebungsluft in Berührung kommt. Man kann schlussfolgern, dass das Wasser zur Eisbildung aus der Luft stammt.

Es sollte der Hinweis erfolgen, dass im Winter trotz Temperaturen unter 0°C bei Sonnenschein Schnee allmählich verschwindet, ohne vorher zu schmelzen. Hier spielt sich der umgekehrte Vorgang ab. Festes Wasser (Eis) geht unmittelbar in gasförmiges Wasser (Wasserdampf / Luftfeuchtigkeit) über. Jetzt können die Begriffe „Sublimation“ und „Resublimation“ eingeführt und die Abbildung 4 entsprechend ergänzt werden.

Didaktische Anmerkung: Die Schülerinnen und Schüler beobachten in diesem Versuch die Bildung von Raureif, wie es auch an kalten Wintertagen an den Bäumen zu sehen ist. Der Versuch ist besonders faszinierend, da sich „wie aus dem Nichts“ Eis am Metallblock bildet (vergleiche dazu die Fehlvorstellung 2 (10)). Hier wird nochmals deutlich, dass gasförmiges Wasser wirklich farblos ist und dass es ein Bestandteil der Luft ist. Da den Schülerinnen und Schülern das Beschlagen von Fensterscheiben beim Anhauchen sehr geläufig ist, kommen sie unter Umständen auch auf die Idee, die Eisbildung am Metallblock so zu beschleunigen. Der Vorgang der Resublimation lässt sich zudem sehr schön und faszinierend unter einem Stereomikroskop beobachten [20, S. 189].

Alternativ oder ergänzend dazu kann auch die Sublimation von Iod gezeigt werden.

Bevor es jetzt mit der Einführung bzw. Reaktivierung der Teilchenvorstellung und der Interpretation der Änderung der Aggregatzustände mit diesem Modell weitergeht, sollte ein erster Blick auf Energie und Energieumsätze bei eben diesen Vorgängen geworfen werden.

3. Aggregatzustände und Energie

Vorbemerkungen:

Energie spielt in ganz vielen Bereichen der Chemie eine wichtige Rolle, so auch bei den Übergängen zwischen den Aggregatzuständen. Grundsätzlich wird „Energie“ im Physikunterricht thematisiert. Es hängt vom jeweiligen Bundesland und den gültigen Rahmenplänen ab, in welchem Umfang das schon erfolgt ist, wenn der Chemieunterricht beginnt.

Was sollten sie Schülerinnen und Schüler grundsätzlich über Energie wissen?

Energie

- kommt in ganz vielen unterschiedlichen Formen vor, zum Beispiel als
 - Lageenergie (potentielle Energie),
 - Bewegungsenergie (kinetische Energie),
 - Spannenergie,
 - Wärmeenergie,
 - Strahlungsenergie,

- elektrische Energie,
- usw.,
- kann weder erzeugt noch vernichtet werden,
- kann von einer Form in eine andere umgewandelt werden.

Als Definition für Energie schlagen wir vor:

Energie ist die Fähigkeit, Arbeit zu verrichten. Sie kann weder erzeugt, noch vernichtet, sondern nur von einer Energieform in eine andere Energieform umgewandelt werden.

Bezogen auf den Chemieunterricht sollte nun thematisiert werden, dass auch in Stoffen Energie enthalten ist. Diese kann in ganz vielfältiger Weise in andere Formen umgewandelt werden. Das merkt man zum Beispiel bei Lebensmitteln. Die Energie, die darin steckt, wird umgewandelt in Wärmeenergie, um die Körpertemperatur zu erhalten, in Bewegungsenergie, wenn wir laufen, in elektrische Energie für die Nervenleitung usw. Üblicher Weise wird dafür oft der Begriff „chemische Energie“ verwendet. Dieser ist allerdings schwammig und wird nirgendwo exakt definiert. Auch der Begriff „Innere Energie“ ist nicht besonders gut geeignet, da er aus wissenschaftlicher Sicht zwar gut geeignet ist, um isochore Prozesse zu beschreiben. Im Alltag hat man es allerdings in der Regel mit isobaren Prozessen zu tun. Um diese vollständig und korrekt zu beschreiben, reicht die „Innere Energie“ aber nicht aus.

Wir schlagen deshalb vor, für die in den Stoffen enthaltene Energie zu definieren:

Die Energie, die in den Stoffen enthalten ist, nennt man Enthalpie!

Zur Einführung der Enthalpie und zur Übung des Umgangs damit kann man sich mit den Lernenden den Vorgang des Schmelzens von Eis und des Siedens von Wasser einmal genauer betrachten und auf die in Versuch 4 aufgenommene Temperaturkurve zurückkommen.

Dabei soll explizit thematisiert werden, dass es Phasen gibt, in denen die Temperatur (fast) linear ansteigt und andere, in denen die Temperatur über einen längeren Zeitraum konstant bleibt. Die konstanten Phasen entstehen, wenn es zu einer Aggregatzustandsänderung kommt, hier also beim Schmelzen und beim Sieden. Beim Schmelzpunkt hat das Eis eine Zeit lang die gleiche Temperatur wie das Wasser. Beim Siedepunkt hat der Wasserdampf die gleiche Temperatur wie die siedende flüssige Phase.

Auswertung der Grafik: Führt man dem Eis ständig Wärme(-energie) zu, steigt die Temperatur zunächst auf 0°C. Sie bleibt eine Zeit lang konstant, bis das Eis geschmolzen ist. Dann wird das Wasser immer wärmer, bis es bei Normalbedingungen bei 100°C verdampft. Interessanter Weise hat der Wasserdampf auch eine Temperatur von 100°C. Obwohl wir ständig Wärmeenergie zuführen, bleibt die Temperatur während des Schmelzens und während des Siedens konstant, nur der Aggregatzustand ändert sich. Also muss flüssiges Wasser bei gleicher Temperatur mehr Energie enthalten, als Eis. Wasserdampf muss bei gleicher Temperatur mehr Energie enthalten, als das flüssige Wasser.

Die Enthalpie von flüssigem Wasser ist bei gleicher Temperatur größer als die von Eis.

Die Enthalpie von Wasserdampf ist bei gleicher Temperatur größer als die von flüssigem Wasser.

Die Energie, die man aufwendet, um Wasser vom festen in den flüssigen Zustand zu überführen, nennt man Schmelzenthalpie. Grafisch kann man das so darstellen:

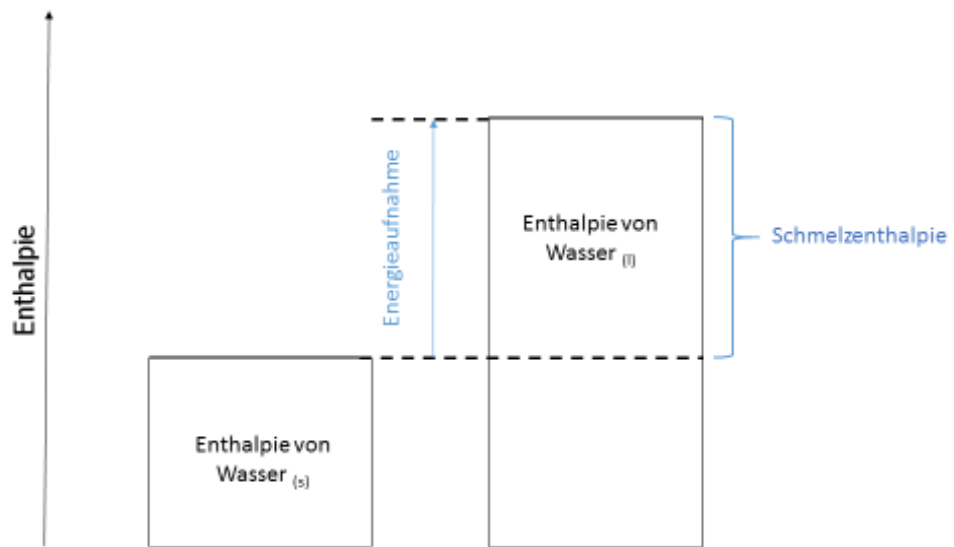


Abbildung 6: Einfaches Enthalpiediagramm für das Schmelzen von Eis

Der Übergang von flüssigem Wasser zu Wasserdampf wird so dargestellt:

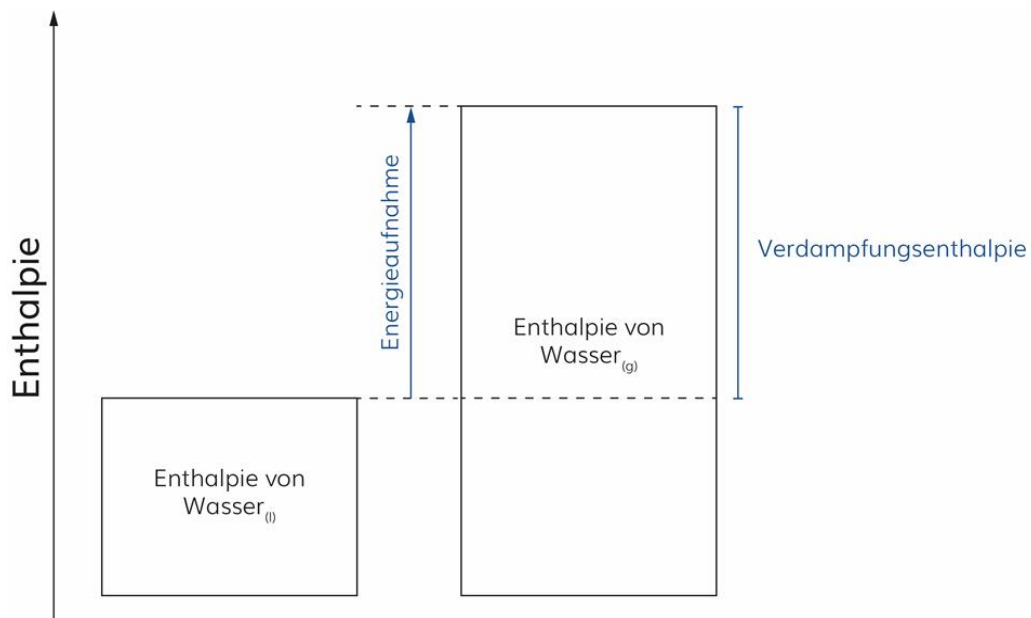


Abbildung 7: Einfaches Enthalpiediagramm für das Verdampfen von Wasser

Umgekehrt gilt:

Wenn Wasserdampf kondensiert, wird dabei Energie frei.

Die Enthalpie von flüssigem Wasser ist kleiner, als die von Wasserdampf.

Wenn flüssiges Wasser erstarbt, wird dabei Energie frei.

Die Enthalpie von festem Wasser (Eis) ist kleiner, als die von flüssigem Wasser.

Diese Darstellungen können jetzt auch auf das Kerzenwachs angewendet werden.

4. Stoffe bestehen aus kleinsten Teilchen

Im Folgenden soll der Fokus auf deutliche Änderung des Volumens beim Übergang flüssig – gasförmig gelegt werden. Dazu können einer oder mehrere der folgenden Versuche durchgeführt werden.

Versuch 9: Luftballon in der Flasche

Geräte: 250-mL-Rundkolben mit möglichst schmalen Hals, 10-mL-Messzylinder, Luftballon

Durchführung: In den eingespannten Rundkolben werden 10 mL Wasser gegeben, erhitzt und mindestens eine halbe Minute lang sieden gelassen. Nach dem Entfernen des Brenners stülpt man vorsichtig den Luftballon über den Hals des Rundkolbens (**Vorsicht:** Wasserdampf und Rundkolben sind sehr heiß!) und wartet ab.

Beobachtung: Nach kurzer Zeit des Siedens erkennt man kurz einige wenige Nebelschwaden aus der Öffnung des Rundkolbens austreten. Bei weiterem Erhitzen treten diese aber nicht wieder auf. Nachdem der Kolben mit dem Luftballon verschlossen und das Erhitzen unterbrochen wurde, zieht sich der Ballon allmählich in den Rundkolben hinein und füllt ihn am Ende sogar vollständig aus. Er hat sich von innen an die Wand des Kolbens angeschmiegt. Zwischen der Glaswand und dem Luftballon befindet sich am Boden des Kolbens ein wenig Wasser.

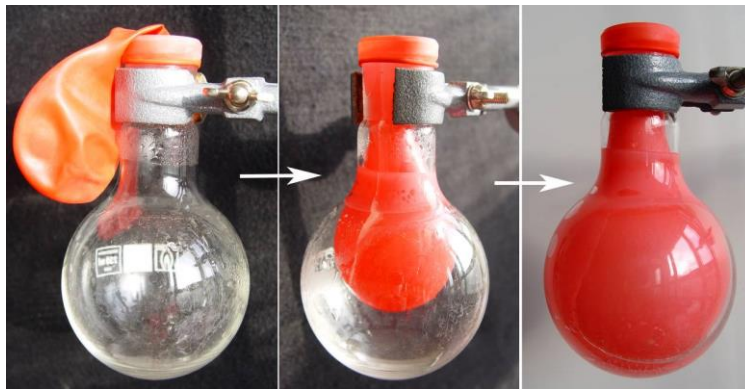


Abb. 8: ein Luftballon zieht sich durch kondensierendes Wasser in einen Rundkolben hinein

Auswertung: Beim Sieden des Wassers im Rundkolben geht ein Teil des Wassers in den gasförmigen Zustand über, wodurch die Luft aus dem Kolben durch den entstehenden Wasserdampf verdrängt wird. Zunächst kondensiert der entstehende Wasserdampf im oberen Bereich des Kolbens und an der Öffnung wieder, so dass sich Wassertröpfchen und Nebelschwaden bilden. Bei weiterem Erhitzen erwärmt sich jedoch auch der Kolben soweit, dass das Wasser nicht wieder kondensiert. Setzt man dann den Luftballon auf und lässt den Kolben abkühlen, kondensiert der Wasserdampf wieder. Dabei entsteht ein Unterdruck und der Luftballon wird in den Kolben eingesogen. Genauer gesagt, drückt der äußere Luftdruck den Ballon in den Kolben hinein. Da der Kolben vollständig mit Wasserdampf gefüllt war, schmiegt sich der Ballon ganz dicht an die Kolbenwand an. Das zurückbleibende Wasser besteht zu einem geringen Teil aus dem wieder kondensierten Wasser und zum größeren Teil aus dem Wasser, welches während des Versuchs noch nicht verdampft ist.

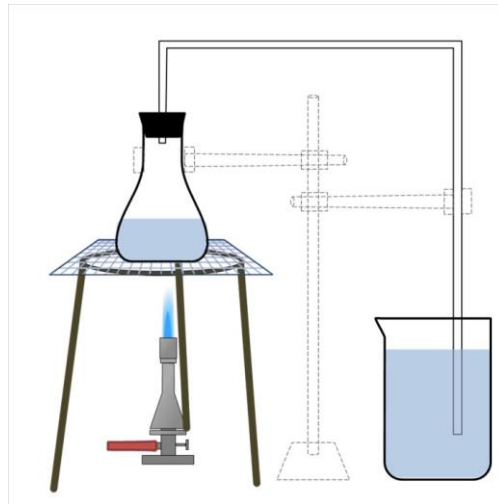
Didaktische Anmerkung: In diesem Versuch wird neben der Demonstration des farblosen Wasserdampfes auch der große Volumenunterschied zwischen gasförmigen und flüssigen Wasser thematisiert. Wenn der Ballon aufgesetzt wird, ist der Rundkolben (fast) vollständig mit Wasserdampf gefüllt. Das daraus entstehende flüssige Wasser nimmt hingegen ein sehr viel kleineres Volumen ein, wodurch sich der Ballon in den Kolben hineinzieht.

Versuch 10: Sieden und Kondensieren von Wasser

Geräte: 250-mL-Erlenmeyerkolben, passender durchbohrter Stopfen, 2 gewinkelte Glasrohre, mehrere kurze Schlauch-Stückchen zum Verbinden der Glasrohre, 600-mL- Becherglas, Vierfuß mit Ceranplatte

Chemikalien: Wasser

Versuchsaufbau:



Durchführung: Der Versuch wird der Abbildung entsprechend aufgebaut. Dann füllt man den Erlenmeyerkolben mit etwa 100 mL Wasser und hält ihn an einem Stativ. Das Becherglas wird mit etwa 400 mL Wasser gefüllt. Das Glasrohr sollte dabei möglichst tief in das Becherglas hineinragen. Dann erhitzt man das Wasser im Erlenmeyerkolben bis zum Sieden und beobachtet den Ausgang des Glasrohres im Becherglas. Wenn dort keine Blasen mehr austreten, entfernt man den Brenner und wartet ab.

Beobachtung: Nach kurzer Zeit treten aus dem Glasrohr im Becherglas Blasen aus, die im Wasser aufsteigen. Nach einiger Zeit des Siedens sind nur noch Blasen an der Mündung des Glasrohres zu sehen, die „knackend“ implodieren. Wenn das Erhitzen des Wassers im Erlenmeyerkolben eingestellt wird, treten aus dem Glasrohr keine Blasen mehr aus. Stattdessen steigt etwas Wasser in das Glasrohr hinein. Der Wasserstand im Glasrohr schwankt jedoch stark. Sukzessive steigt das Wasser das Glasrohr weiter hinauf. Wenn das Wasser bis in den Erlenmeyerkolben gelangt, zischt es und der Erlenmeyerkolben füllt sich schlagartig bis zum Rand mit Wasser. Nach dem Versuch ist der Erlenmeyerkolben restlos mit Wasser gefüllt und im Becherglas befindet sich entsprechend weniger Wasser.

Auswertung: Beim Erhitzen des Wassers im Erlenmeyerkolben geht ein Teil des Wassers bereits vor Erreichen des Siedepunktes in den gasförmigen Zustand über. Das Gasvolumen im Kolben nimmt dabei stetig zu, wodurch die enthaltene Luft verdrängt wird. Bei den ersten Blasen, die aus dem Glasrohr austreten, handelt es sich daher um die verdrängte Luft aus dem Erlenmeyerkolben. Wenn das Wasser siedet, kann man keine Blasen mehr austreten sehen, obwohl im Erlenmeyerkolben beständig neuer Wasserdampf gebildet wird. Das gasförmige Wasser kondensiert jedoch sofort wieder, wenn es mit dem kalten Wasser im Becherglas in Berührung kommt. Entfernt man nun den Brenner, sinkt die Temperatur im Kolben unterhalb der Siedetemperatur. Jetzt kondensiert der Wasserdampf auch schon im Erlenmeyerkolben, wodurch ein Unterdruck entsteht und kaltes Wasser aus dem Becherglas angesogen wird. Gelangt das kalte Wasser in den Kolben, kondensiert dort schlagartig der gesamte Wasserdampf. Da der Kolben am Ende vollständig mit Wasserdampf gefüllt ist, war er vor dem Entfernen des Brenners vollständig mit Wasserdampf gefüllt. Die Luft wurde restlos ausgetrieben.

Didaktische Anmerkung: Bei diesem Versuch können die Schülerinnen und Schüler sowohl das Sieden als auch das Kondensieren von Wasser beobachten (siehe dazu Fehlvorstellung 2(10)). Es ist wiederum gut zu sehen, dass gasförmiges Wasser eigentlich farblos ist. Bei der Auswertung des Versuches ist wieder darauf zu achten, dass das gasförmige Wasser ein weitaus größeres Volumen einnimmt als das flüssige. Bei dem eingesogenen Wasser handelt es sich zum größten Teil um das Wasser aus dem Becherglas und nicht um wieder kondensiertes Wasser.

Versuch 11: Luftballon mit Wasser in der Mikrowelle

Geräte: Mikrowellengerät, 150-mL-Becherglas, Luftballon, 2-mL-Plastikspritze

Chemikalien: Leitungswasser

Durchführung: Man füllt die 2-mL-Spritze mit Wasser und injiziert dieses anschließend in den Luftballon. Die darin noch enthaltene Luft wird weitgehend herausgedrückt und der Luftballon dann zugeknotet. Anschließend wird er in das Becherglas gelegt und dieses Becherglas in das Mikrowellengerät gestellt. Die Mikrowelle wird eingeschaltet und der Luftballon beobachtet. Sobald dieser das Becherglas annähernd ausfüllt, schaltet man die Mikrowelle aus und beobachtet den Luftballon.

Beobachtungen: Je nach Leistungsstärke der Mikrowelle ist nach einigen Sekunden zu erkennen, dass der Luftballon sich vergrößert. Nach dem Ausschalten der Mikrowelle dauert es wiederum einige Sekunden, bis der Luftballon kleiner wird und zum Schluss wieder seine Ausgangsgröße erreicht.

Auswertung: Durch die Mikrowellenstrahlung wird das Wasser erhitzt und schließlich zum Sieden gebracht. Durch den Übergang des Wassers von der flüssigen in die gasförmige Phase nimmt dessen Volumen deutlich zu. Wird die Mikrowelle wieder ausgeschaltet, kühlt das Wasser allmählich ab und geht wieder vom gasförmigen in den flüssigen Aggregatzustand über. Dabei verringert sich dessen Volumen wieder deutlich.

Anhand der Versuchsergebnisse sollte nun thematisiert werden, wie diese doch sehr deutlichen Unterschiede im Volumen beim gleichen Stoff einmal im flüssigen und einmal im gasförmigen Aggregatzustand zu erklären sind. Um unnötigen Spekulationen vorzubeugen, sollte die Lehrkraft möglichst gleich darauf hinweisen, dass das etwas mit dem Aufbau von Stoffen aus kleinsten Teilchen zu tun hat.

Die Lernenden erhalten nun die Aufgabe, möglichst viele Informationen aus ihrem bisherigen Unterricht, Büchern, dem Internet und anderen Quellen zu den „kleinsten Teilchen“ zu sammeln und zusammenzutragen.

Es wird sicher eine Fülle von Informationen geben, die durch die Lehrkraft gebündelt und sortiert werden müssen. Für den weiteren Unterricht ist es wichtig, dass drei folgenden Aussagen / Feststellungen dabei sind und festgehalten werden:

- Alle Stoffe sind aus klein(st)en Teilchen aufgebaut
- Zu den klein(st)en Teilchen gehören Atome, Moleküle, Ionen, Elektronen, ...
- Wir wollen erst einmal von den klein(st)en Wasserteilchen, Wachsteilchen, Eisenteilchen ... sprechen

Didaktische Anmerkungen:

a) Die Lehrkraft muss entscheiden, welche Bezeichnung sie verwenden möchte. Nutzt man „kleinste“ Teilchen, muss man sich überlegen, wie man Atome, Elektronen, Protonen oder Ionen zueinander in Beziehung setzt. Schließlich sind Elektronen und Protonen Bestandteile von Atomen. Damit könnte man den Begriff „kleinste“ in Frage stellen. Nutzt man „kleine“ Teilchen, hat man diese Schwierigkeit nicht. Allerdings ist der Begriff „kleinste Teilchen“ geläufiger.

b) Von kleinen oder kleinsten Teilchen habe die Lernenden sicher mehrheitlich schon einmal etwas gehört. Das Anliegen sollte nun sein, dass die Vorstellung vom Aufbau der Materie aus klein(st)en Teilchen nicht von der Lehrkraft eingeführt und vor allem nicht versucht werden soll, diese zu beweisen. Die Lernenden sollen statt dessen mit der Aufgabe betraut werden, die bisher beobachteten Veränderungen im Zusammenhang mit den Übergängen zwischen den Aggregatzuständen mit Hilfe der offensichtlich in der Wissenschaft verbreiteten Ansicht über die Teilchenstruktur der Materie zu erklären.

Es kann vereinbart werden, dass man zukünftig als Symbol für die klein(st)en Teilchen eine Kugel verwendet, es kann aber auch ein anderes Symbol sein. Es muss nur betont werden, dass es sich dabei um ein **Modell** dafür handelt, nicht um eine reale Abbildung.

Nun kann zuerst am Beispiel Wasser versucht werden, die drei Aggregatzustände mit der Modellvorstellung zu illustrieren. Dabei sollte auch die Tabelle 5 mit den Eigenschaften von festen, flüssigen und gasförmigen Stoffen berücksichtigt werden. Für das Wasser könnte man dann zu folgender Darstellung kommen.

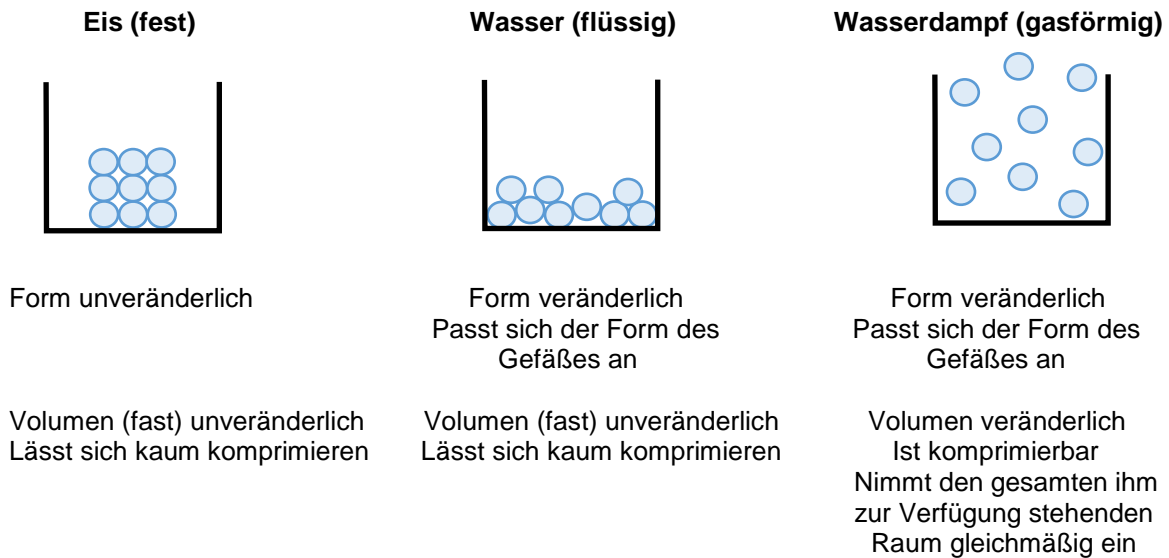
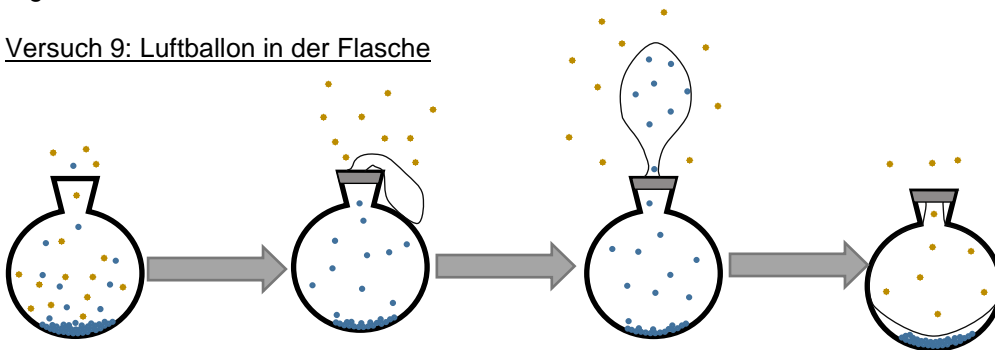


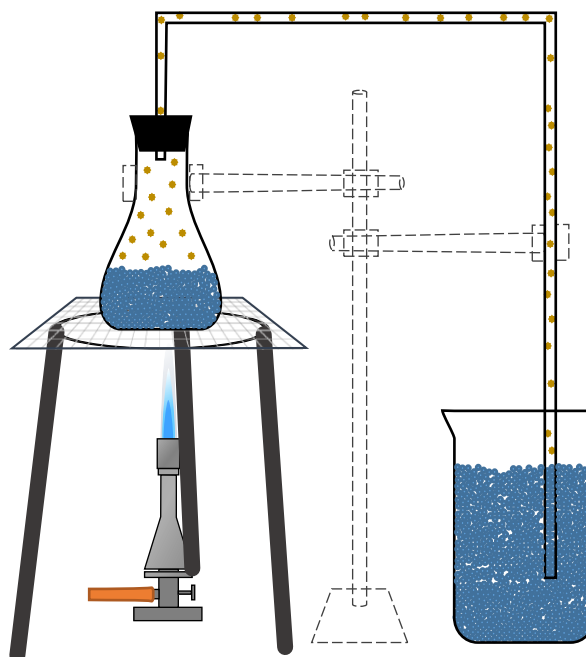
Abb. 9: Teilchendarstellung der Aggregatzustände von Wasser

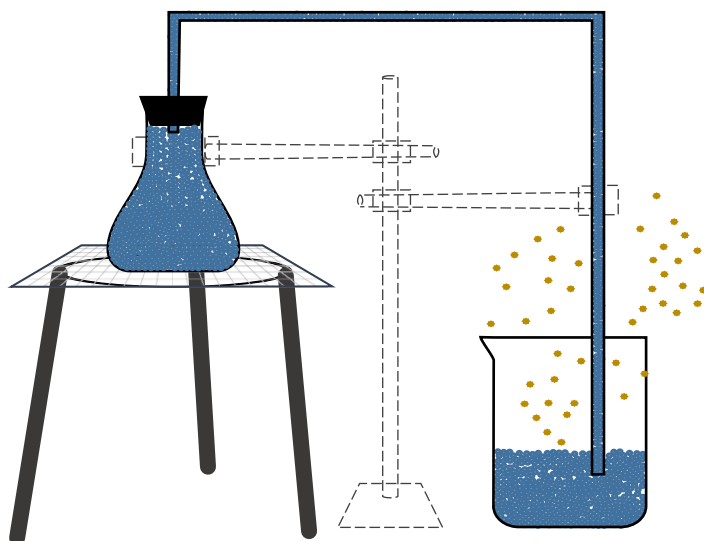
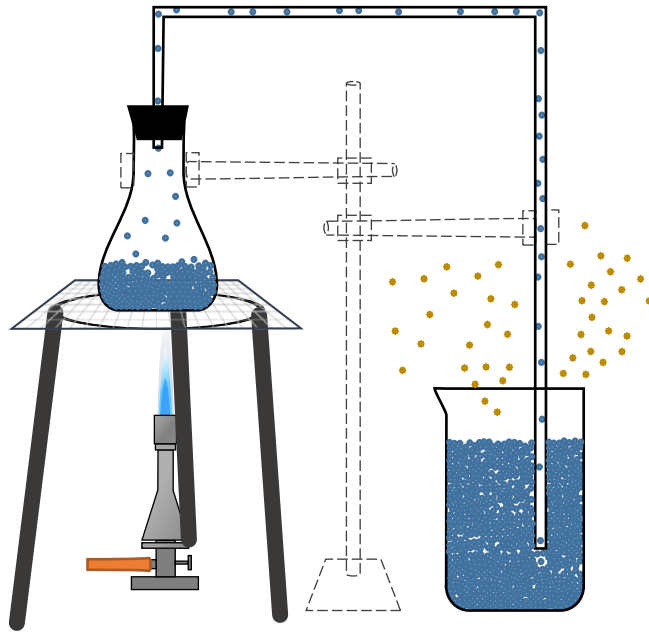
Anschließend sollten die Schülerinnen und Schüler einmal versuchen, die Versuche 9 bis 11 auch mit Hilfe der Teilchenvorstellung zu interpretieren. Es könnten sich dabei zum Beispiel folgende Bilder ergeben.

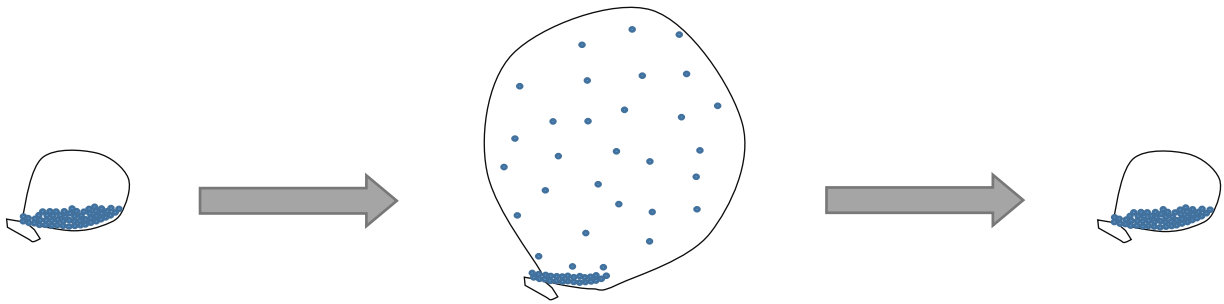
Versuch 9: Luftballon in der Flasche



Versuch 10: Sieden und Kondensieren von Wasser





Versuch 11: Luftballon mit Wasser in der Mikrowelle

Nachdem den Schülerinnen und Schülern auch durch die erneute Interpretation der Versuche 10 – 12 die Teilchenvorstellung im Zusammenhang mit den Aggregatzuständen und den Übergängen dazwischen etwas vertrauter geworden sein sollte, wird im Folgenden der Augenmerk darauf gerichtet, dass sich die klein(st)en Teilchen verschiedener Stoffe unterscheiden. Dabei soll es zunächst um die unterschiedliche Größe gehen. Dazu dient der folgende, schon als „Klassiker“ zu bezeichnende Versuch.

Versuch 12: Mischen von Wasser mit Brennspritus

Geräte: 2 100-mL-Bechergläser, 2 100-mL-Plastikspritzen mit Luer-Lock-Anschluss, 1 Kombistopfen, 1 Luer-Lock F auf Luer-Lock F – Verbinder

Chemikalien: Brennspritus , Wasser

Durchführung:

Vorbereitung: Zunächst wird eine 100-mL-Spritze mit Brennspritus befüllt. Dazu wird diese mit der Öffnung nach unten in das Becherglas mit dem Brennspritus gehalten und ca. **60 mL Brennspritus** aufgezogen, indem der Spritzenstempel nach oben gezogen wird. Anschließend wird die Spritze umgedreht, sodass die Spritzenöffnung nach oben zeigt. Nun wird vorsichtig die enthaltende Luft herausgedrückt. Der Füllstand wird dann so angepasst, dass exakt 50 mL Brennspritus innerhalb des Spritzenkolbens enthalten sind. Die überschüssigen Milliliter an Brennspritus können in das Becherglas gegeben werden. Die Spritze wird nun mit einem Kombistopfen verschlossen und beiseite gelegt.

Auf der zweiten 100-mL-Spritzen wird zunächst der Luer-Lock F auf Luer-Lock F – Verbinder installiert, dann werden **60 mL Wasser** aufgezogen. Die weitere Vorgehensweise ist analog zu der Vorbereitung der Abmessung von 50 mL Brennspritus. Die Spritze mit dem abgemessenen Wasser wird nicht mit einem Kombistopfen verschlossen, sondern für den Hauptversuch in der Hand behalten.

Hinweis: Durch Klopfen an der Spritzenwand können Luftblasen vom Spritzenstempel nach oben getrieben werden. Diese müssen restlos entfernt werden.

Hauptversuch: Der Kombistopfen der 100-mL-Spritze mit dem Brennspritus wird entfernt und diese dann auf dem Luer-Lock F auf Luer-Lock F – Verbinder der Spritze mit dem Wasser durch Drehen befestigt. Dabei ist zu beachten, dass die Spritzen sich in der Vertikalen befinden und die Spritze mit dem Brennspritus über der Spritze mit dem Wasser ist. Danach wird langsam der Brennspritus mit Hilfe des Spritzenstempels in die Spritze mit dem Wasser gedrückt. Gleichzeitig sollte an dem Stempel der gegenüberliegenden Spritze (mit Wasser) leicht gezogen werden. Nachdem der Brennspritus vollständig umgefüllt wurde, wird das Volumen abgelesen. Anschließend wird die Apparatur geschüttelt, sodass sich Brennspritus und Wasser gründliche durchmischen. Das Volumen wird dann erneut abgelesen.

Beobachtungen: Während der Brennspritus in die Spritze mit dem Wasser eingeleitet wird, können leichte farblose Schlieren vom Flüssigkeitseinstrom beobachtet werden. Des Weiteren kann nach dem Einleiten des Brennspritus in der Nähe der 50-mL-Marke des Spritzenkolbens eine Phasengrenze der beiden Flüssigkeiten beobachtet werden. Das Gesamtvolumen an Flüssigkeit beträgt 100 mL. Werden nun beide Flüssigkeiten miteinander durch Schütteln vermischt, sind erneut farblose Schlieren erkennbar. Das erneut abgelesene Volumen beträgt zum Schluss ca. 98 mL.

Auswertung: Nach dem Durchmischen verringert sich das Gesamtvolumen. Das muss etwas mit der Art und der Wechselwirkung der Spiritus- und der Wasserteilchen zu tun haben.

Dieses der Alltagserfahrung widersprechende, überraschende Ergebnis sollte mit den Lernenden diskutiert und versucht werden, es mit Hilfe der Teilchenvorstellung zu interpretieren. Dabei werden

sicher Vermutungen auch in der Richtung geäußert, dass die Flüssigkeiten doch auch in irgendeiner Weise komprimiert werden. Unter Hinweis auf die festgestellten Eigenschaften von flüssigen Stoffen (lassen sich kaum komprimieren) kann als Impuls der folgende Modellversuch durchgeführt werden.

Versuch 13: Mischen von Erbsen mit Reis

Geräte: 100-mL-Becherglas, 2 100-mL-Plastikspritzen mit Luer-Lock-Anschluss, Glasstab

Chemikalien: 50 mL Erbsen, 50 mL Reis

Durchführung:

Der Stempel einer 100-mL-Spritze wird entfernt und beiseite gelegt. Anschließend wird der Spritzenkörper mit 50 mL Reis befüllt. Der Stempel wird nun in den Spritzenkörper gesteckt und der Füllstand überprüft und gegebenenfalls korrigiert. Der Spritzenstempel wird wieder entfernt und der Spritzenkörper mit dem Reis in das Becherglas gestellt. Die zweite 100-mL-Spritzen wird analog mit 50 mL Erbsen gefüllt.

Hinweis: Die Überprüfung mit dem Spritzenstempel ist notwendig, da die Wölbungen des Spritzenstempels und des Spritzenkörpers bei der Befüllung berücksichtigt werden müssen.

Nun „gießt“ man die 50 mL Reis aus dem einen Spritzenkörper auf die Erbsen im anderen Spritzenkörper und steckt den Stempel erneut hinein. Das Volumen sollte jetzt bei 100 mL liegen. Der Stempel wird wieder entfernt. Dann „stochert“ man mit einem Glasstab so lange in den Spritzenkörper, bis Reis und Erbsen gut durchmischt sind. Dabei ist darauf zu achten, dass bei zu langem Stochern die Erbsen nach oben wandern und sich damit vom Reis absetzen. Der Spritzenstempel wird anschließend aufgesetzt und das Volumen abgelesen.

Hinweis: Die Reihenfolge der Zugabe von Reis und Erbsen ist unbedingt einzuhalten. Dadurch, dass die Reiskörner in dem Becherglas nach dem Ausschütten im oberen Teil des Becherglases befinden, lassen sich beide Komponenten leichter, besser und schneller miteinander vermischen. Bei der umgekehrten Reihenfolge bleiben ein Großteil der Erbsen oben und die Reiskörner unten, die Vermischung ist nicht optimal und die Volumenminderung ist nicht eindeutig genug.

Beobachtungen: Das Gesamtvolumen beträgt vor dem Mischen 100 mL, nach dem Mischen etwa 90 mL.

Auswertung: Bei dem Versuch wird deutlich, dass die Volumenverminderung dadurch entsteht, dass die Reiskörner in die Lücken zwischen den Erbsen rutschen und so insgesamt eine „dichtere“ Packung entsteht.

Diese Erkenntnis kann nun auf die Mischung von Spiritus und Wasser übertragen werden. Auch dort muss es dazu kommen, dass beim Mischen kleinste Lücken besser ausgefüllt werden. Auch wenn eine Interpretation von Versuch 12 im Rahmen einer didaktischen Reduktion lediglich auf die unterschiedliche Größe der Teilchen durchgeführt werden kann, ist diese an sich nicht falsch. Entscheidend für die Lernenden ist die Erkenntnis, dass die klein(st)en Teilchen verschiedener Stoffe sich auch in der Größe unterscheiden.

Um sich mit den Schülervorstellungen auseinandersetzen zu können, dass sich Geruch und Geschmack von Stoffen lösen und unabhängig existieren und dass Teilchen einfach entstehen und auch wieder verschwinden können, sollen die beiden folgenden Versuche durchgeführt und mit Hilfe der Teilchenvorstellung interpretiert werden.

Versuch 14: Lösen und Rückgewinnen von Zucker

Geräte: 2 100-mL-Bechergläser, 250-mL-Becherglas, Heizplatte, Föhn Petrischale, 3-mL-Pipette mit Skala, Spatel, Glasstab

Chemikalien: Haushaltszucker, Wasser

Durchführung:

Vorbereitung: Zum Herstellen einer Zuckerlösung werden 50 mL kristalliner Zucker und 75 mL warmes Wasser in je einem 100-mL-Becherglas abgemessen und dann in einem 250-mL-Becherglas zusammengegeben. Dieses Becherglas wird auf eine Heizplatte gestellt und erhitzt. Gleichzeitig wird die Lösung mit einem Glasstab durchmischt. Dieser Vorgang wird solange durchgeführt, bis sich der Zucker vollständig gelöst hat und eine optisch klare, homogene Lösung vorliegt.

Alternativ kann die Heizplatte durch einen Bunsenbrenner/ Teclubrenner in Verbindung mit einem Vierfuß mit Metallgitter ersetzt werden.

Hauptversuch: Mit einer 3-mL-Pipette werden 1 mL der Zuckerlösung auf die Petrischale getropft und die Lösung mit einem Glasstab möglichst breitflächig horizontal und vertikal ausgestrichen. Anschließend erwärmt man die ausgestrichene Lösung mit dem Föhn auf höchster Stufe in einem Abstand von ca. 15 cm (abhängig von der Stärke des Föhns). Sobald sich kleine Blasen auf der Zuckerlösung bilden bricht man mit dem Glasstab die sich bildenden Krusten auf, damit das darin

eingeschlossene Wasser verdunsten kann. Die sich auf der Petrischale bildende Kruste, wird zum Abschluss mit dem Spatel abgekratzt.

Beobachtungen: Der weiße, kristalline Zucker löst sich im farblosen, flüssigen Wasser vollständig und ist nicht mehr sichtbar. Die Lösung ist im Vergleich zu Wasser viskoser. Während des Erwärms der aufgetragenen und verteilten Zuckerlösung in der Petrischale bilden sich weiße Streifen. Werden diese nun mittels Spatel abgekratzt, liegt ein weißes Pulver vor, welches kristalline Strukturen erkennen lässt.

Auswertung: Die kleinsten Teilchen des Zuckers sind beim Auflösen nicht verschwunden! Sie haben sich nur so fein verteilt, dass sie in der Lösung nicht mehr zu erkennen waren. Wenn man das Wasser mit einem Föhn verdampft, bleibt der Zucker zurück und bildet wieder kleine weiße Kristalle.

Didaktische Anmerkung: Bei der Interpretation auf Teilchenebene sollten sowohl der Vorgang des Auflörens als auch des Auskristallisierens auch zeichnerisch dargestellt werden, um bewusst noch einmal klar zu machen, dass auch in der „durchsichtigen“ Lösung der Zucker noch fein verteilt enthalten ist.

Versuch 15: „Molekulares Filtrieren“

Geräte: 2 400-mL-Bechergläser, 50-ml-Meßzylinder, Reagenzglas (16 x 160 mm) mit seitlichem Ansatz, 2 Reagenzgläser (16 x 160 mm), Reagenzglasständer, Stativ, Muffe, Klemme, Trichter mit durchbohrtem Stopfen, passend für Reagenzgläser, Filterpapier Rotilabo®-Rundfilter, Typ 14A, AP45.1, Membran-Durchmesser 110 mm, Silikon- oder Gummischlauch (ca. 30 cm, passend für seitlichen Ansatz am Reagenzglas), Wasserstrahlpumpe oder 100-mL-Plastikspritze mit 3-Wege-Hahn und Adapter für Schlauchanschluss (PP-LM-S64 männlich)

Chemikalien: Saubär Badefarbe Rot (Farbstoff: Cochenillerot A, dm, Artikelnummer 010355143259) oder Lebensmittelfarbstoff E124 als Pulver (Cochenillerot A), destilliertes Wasser

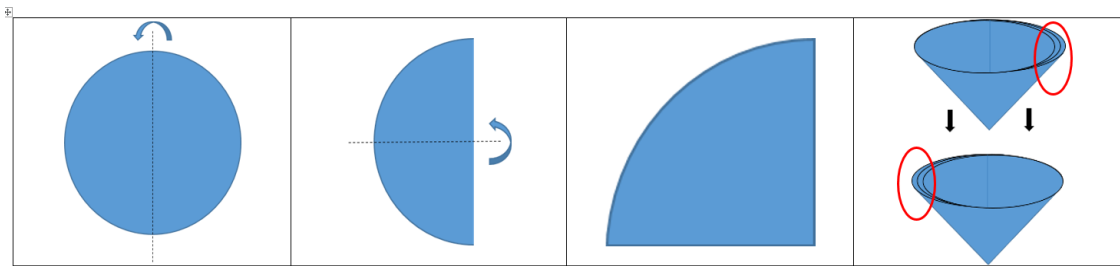
Durchführung:

Vorbereitung:

a) 1 Tablette Saubär wird in 400 mL Leitungswasser gelöst. Anschließend nimmt man 50 mL der Lösung und gibt weitere 300 mL Leitungswasser dazu, so dass eine klare, rote und homogene Lösung (350 mL) vorliegt.

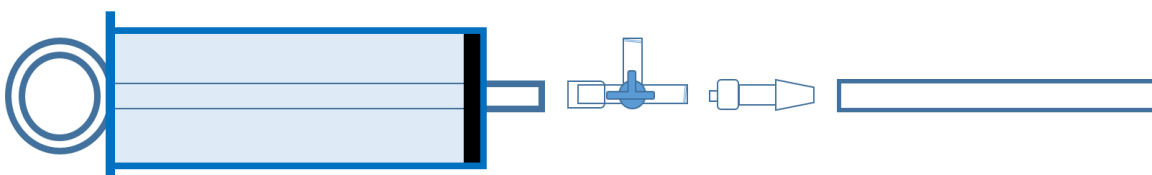
Alternativ gibt man ein bis zwei Spatelspitzen des Cochenillerot-Pulvers in 200 mL dest. Wasser und wartet, bis sich restliche Farbpartikel am Boden abgesetzt haben. Anschließend wird die Lösung dekantiert, so dass eine klare, rote und homogene Lösung vorliegt.

b) **Zwei** Rundfilter werden wie dargestellt präpariert und anschließend aufeinandergesetzt, so dass auf jeder Seite gleich viele Lagen sind.



Den präparierten Rundfilter setzt man in den Trichter, befeuchtet ihn mit destilliertem Wasser und drückt das Filterpapier an die Glaswandung an. Im Anschluss daran fixiert man den Trichter mit durchbohrtem Stopfen auf dem Reagenzglas mit seitlichem Ansatz dichtend.

c) Die Plastikspritzenpumpe wird wie dargestellt zusammengesetzt:



Beim Pumpen wird die seitlich abstehende Öffnung des 3-Wege-Hahns durch das Auflegen eines Daumes verschlossen bzw. geöffnet:

Beim Ansaugen → Daumen auflegen
Beim Rausdrücken → Daumen hochnehmen

Durchführung: Zwei Reagenzgläser werden bis zur Hälfte mit der vorbereiteten Lösung befüllt. Dann gibt man den Inhalt vom ersten Reagenzglas in den Trichter (das zweite Reagenzglas verbleibt als Referenz). Nun verbindet man entweder eine Wasserstrahlpumpe oder die präparierte Plastikspritzenpumpe mit dem seitlichen Ansatz und erzeugt so oft einen Unterdruck, bis die ganze Lösung filtriert wurde (ca. 1 Minute). Das Filtrat wird mit der Referenzlösung verglichen und der Filter auf Rückstände überprüft.

Beobachtungen: Vor dem Filtrieren hat sich eine klare, rötliche und homogene Lösung gebildet, Farbpartikel sind nicht zu erkennen. Nach dem Filtrieren ist das Filtrat klar, im Filter sind als Rückstand kleine rote Farbpartikel zu erkennen.

Auswertung: Offensichtlich sind die klein(st)en Teilchen des Farbstoffes beim Auflösen nicht verschwunden oder haben die Farbe an das Wasser abgegeben. Sie haben sich nur so fein verteilt, dass die ganze Lösung einheitlich rot gefärbt erschien. Beim Filtrieren sind dann die Farbstoff-Teilchen im Filter „hängengeblieben“, während das Wasser durchgelaufen ist.

Didaktische Anmerkungen: Zunächst sollte das Ansetzen der Farbstofflösung und der Lösungsvorgang von den Schülern auf Teilchenebene skizzenhaft festgehalten werden.

Dadurch lassen sich häufig vorkommende Alltagsvorstellungen wie das Substratdenken und das Kontinuumsdenken erkennen. Im zweiten Schritt wird die rote, klare und homogene Lösung filtriert, so dass eine optisch vollständige Trennung der Ausgangsstoffe vorliegt. Die Auswertung des Versuches soll ebenfalls auf Teilchenebene interpretiert und gezeichnet werden, wobei dieses stark zu Gunsten der diskontinuierlichen Sichtweise ausfällt (wäre die rote Lösung ein Kontinuum, so könnte man sie nicht in ihre ursprünglichen Bestandteile auftrennen).

Fachlicher Hintergrund: Der Azofarbstoff Cochenillerot (E 124 bzw. Ponceau 4R) wird nicht aufgrund seiner Molekülgröße durch das Filterpapier abgetrennt. Ein Vergleich des Rückhaltebereiches mit dem Moleküldurchmesser verdeutlicht dieses:

Rückhaltebereich des Filterpapiers: (lt. Hersteller [22])	3000-5000 nm
Moleküldurchmesser von Cochenillerot A (nach JMol [23])	1,459 nm

Tab. 6: Moleküldurchmesser

Die Stofftrennung resultiert aus den guten Adsorptionseigenschaften des Cellulose-Filterpapiers (100% Cellulose lt. Hersteller). Cellulose ist selbst nicht wasserlöslich, jedoch weist sie hygroskopische Eigenschaften auf, wodurch sie 8 - 14% Wasser adsorbieren kann [24]. Das Cochenillerot A ist gut in Wasser löslich (>120 g/L) [25] und wird aufgrund seiner hydrophilen Gruppen ebenfalls an den Cellulosewänden des Filterpapiers adsorbiert.

Didaktische Anmerkung: Da die Methoden der Stofftrennung noch nicht exakt besprochen und definiert worden sind, scheint eine didaktische Reduktion auf „die Farbteilchen bleiben im Filter hängen“ gerechtfertigt.

Ein letzter, grundlegender Fakt bei der Teilchenvorstellung ist der, dass die klein(st)en Teilchen sich in ständiger, unregelmäßiger Bewegung befinden. Ein Verständnis davon ist unbedingt erforderlich, um letztlich auch zu verstehen, warum sich zum Beispiel ein gasförmiger Stoff im ganzen zur Verfügung stehenden Raum verbreitet oder sich Flüssigkeiten ohne erkennbaren äußeren Einfluss durchmischen. Neben einer Reihe von Experimenten zur Diffusion ist die Beobachtung der Brown'schen Bewegung besonders beeindruckend. Dieses kann mit Hilfe des folgenden Experimentes unter Verwendung einer präparierten Webcam auf beeindruckende Weise geschehen (Präparierung der Webcam: Siehe Anhang).

Versuch 16: Brown'sche Bewegung

Geräte: Mikroskop mit 400-facher Vergrößerung, präparierte Webcam und Laptop (siehe Anhang), Pipette, 50-mL-Becherglas, Objektträger mit Abdeckgläschen, Papiertücher

Chemikalien: H-Milch mit 1,5 % Fettanteil (oder Soja-Milch mit 1 % Fettanteil)

Durchführung: Es werden wenige Milliliter der H-Milch in das Becherglas gegeben. Dann gibt man mit der Pipette einen kleinen Tropfen der H-Milch auf den Objektträger, legt ein Abdeckplättchen auf den Tropfen blasenfrei ab und drückt ganz leicht an. Gegebenenfalls überstehende Flüssigkeit wird mit einem Papiertuch aufgesaugt. Anschließend spannt man den Objektträger auf dem Objektisch ein

und lässt ihn für ca. 2-3 Minuten ruhen. In der Zeit wird das Okular des Mikroskops gegen die präparierte Webcam ausgetauscht. Man schaltet dann die Lichtquelle ein und wählt das Objektiv mit 40-facher Vergrößerung. Dann wird die Webcam mit dem Computer verbunden, die Webcam-Anwendung gestartet und mit dem Grob- bzw. Feintrieb ein klares Bild eingestellt.

Beobachtungen: Makroskopisch betrachtet liegt die Milch als homogene, weiße Flüssigkeit vor. Durch das Mikroskop betrachtet sieht man scheinbar endlose und unregelmäßige Zitterbewegungen von kleinen, scheinbar durchsichtigen Kügelchen.

Auswertung: Offensichtlich ist Milch keine milchig-trübe, homogene Lösung. In ihr sind kleine, durchsichtige Tröpfchen enthalten, dabei handelt es sich um feinste Fetttropfchen. Die Bewegungen der Fetttropfchen resultieren aus der ewig anhaltenden Bewegung von Wasserteilchen, die aus allen Richtungen mit unterschiedlicher Kraft gegen die Fetttropfchen stoßen. Die Wasserteilchen sind zu klein, um sie mit dem Mikroskop zu sehen.

Bisher haben die Schülerinnen und Schüler erkannt, dass alle Stoffe aus kleinsten Teilchen aufgebaut sind. Damit lassen sich auch die Veränderungen bei den Übergängen zwischen den Aggregatzuständen erklären. Sie haben weiter erfahren, dass die klein(st)en Teilchen verschiedener Stoffe sich zum Beispiel in der Größe unterscheiden, dass sie beim Lösen in einem Lösungsmittel nicht verschwinden und daraus wieder zurückgewonnen werden können, und dass sie sich in einer regellosen Bewegung befinden. Anhand des folgenden, einem simplen Alltagsvorgang entnommenen Experiments können sie alle bisher erworbenen Erkenntnisse noch einmal anwenden.

Versuch 17: „Aufbrühen“ von Früchtetee

Geräte: 400-mL-Becherglas, Glasstab (für Variante 2), Wasserkocher

Chemikalien: ein Beutel roter Früchtetee

Durchführung:

Variante 1: In ein 400-mL Becherglas werden 300 mL heißes Wasser gegeben. Anschließend wird ein Teebeutel hineingegeben.

Variante 2: Bei dieser Versuchsdurchführung wird mit Hilfe eines Glasstabes der Teebeutel zügig nach unten an den Rand des Becherglases gedrückt. Der Glasstab fixiert den Teebeutel am Becherglasboden.

Beobachtung:

Variante 1: Kurz nachdem der Teebeutel in das Becherglas mit dem heißen, farblosen Wasser gegeben wurde, können rote Schlieren beobachtet werden. Diese bewegen sich zuerst nach unten, in Richtung des Becherglasbodens. Fortan ist von den roten Schlieren eine Bewegung nach oben und eine anschließende, vollständige Verteilung innerhalb der Flüssigkeit beobachtbar.

Variante 2: Der Teebeutel befindet sich im heißen und farblosen Wasser und ist am Becherglasboden mittels des Glasstabes fixiert. Nach wenigen Sekunden entweichen rote Schlieren aus dem Teebeutel und sammeln sich am Boden des Becherglases. Mit seitlichem Blick auf das Becherglas, lassen sich zwei getrennte Schichten erkennen, eine rote in Bodennähe und eine farblose darüber. Nach einem gewissen Zeitraum vermischen sich ohne äußere Einwirkung die farblose und rot gefärbte Schicht vollständig miteinander. Es ist nur noch eine rote, optisch klare, homogene Lösung wahrnehmbar.

Auswertung: Es hängt davon ab, welche der genannten Aspekte der klein(st)en Teilchen bisher im Unterricht thematisiert wurden. Auf jeden Fall kann hier auf die unterschiedliche Teilchengröße und die Wirkung des Teebeutels als „Filter“ analog zum „molekularen Filtrieren“ eingegangen werden. Dann kann die Verteilung der roten Farbe im Wasser sowohl mit dem Auflösen von Zucker als auch dem des roten Farbstoffs verglichen werden. Das Verteilen in der Lösung auch mit dem Aufsteigen kann mit der Eigenbewegung der Teilchen erklärt werden.

Nachdem die Schülerinnen und Schüler sich mit den Aggregatzuständen und die Übergängen dazwischen, mit einfachen Energiebetrachtungen und entsprechenden Diagrammen befasst und den Aufbau der Materie aus kleinsten Teilchen erkannt haben, sollen nun ausgewählte gasförmige, feste und flüssige Stoffe näher untersucht werden. Dabei soll ein besonderer Schwerpunkt auf die gasförmigen Stoffe gelegt werden, da mit ihnen eine Reihe von falschen Vorstellungen verknüpft sind. Eigenschaften von gasförmigen Stoffen sind bis auf die der Luft häufig weder im Sachunterricht in der Grundschule noch im sogenannten „Nawi-Unterricht“ in den Klassen 5 und 6 thematisiert worden. Dennoch sind sie und ihre Eigenschaften sehr alltagsrelevant, einige davon auch mit Gefahren verbunden durch ihre Brennbarkeit oder Giftigkeit. Oft sind sie farblos und damit „unsichtbar“, deshalb sind ihre Eigenschaften nicht so einfach zu verstehen. Außerdem bieten sich bei den gasförmigen Stoffen zahlreiche Möglichkeiten, noch einmal auf energetische Betrachtungen und vor allem die Teilchenvorstellung einzugehen.

5. Ausgewählte Eigenschaften gasförmiger Stoffe

5.1 Feuerzeuggas / Campinggas

Ausgangspunkt für die Untersuchung von gasförmigen Stoffen soll das Feuerzeug- oder Campinggas sein. Die Zuordnung zum Aggregatzustand „gasförmig“ ist zunächst einmal nicht trivial. In Vorratsflaschen oder Campinggas-Kartuschen „plätschert“ es, in durchsichtigen Gasfeuerzeugen ist eine Flüssigkeit zu erkennen und die Bezeichnung „Flüssiggas“ schafft zusätzliche Verwirrung, ein „geistiges Ungleichgewicht“. Das soll zum Anlass genommen werden, diesen Stoff einmal etwas genauer zu untersuchen. Dazu vorher einige fachliche Informationen zum Feuerzeuggas:

Die Zusammensetzung von verschiedenen Feuerzeuggasen ist zumindest von den quantitativen Anteilen her unterschiedlich und kann auch innerhalb einer Produktionsfirma variieren. Das nachfolgende Gaschromatogramm zeigt die Zusammensetzung von vier Feuerzeuggasen verschiedener Hersteller. Das Chromatogramm wurde mit dem AK LowCost GC 04 von Kappenberg aufgenommen (nach [26])

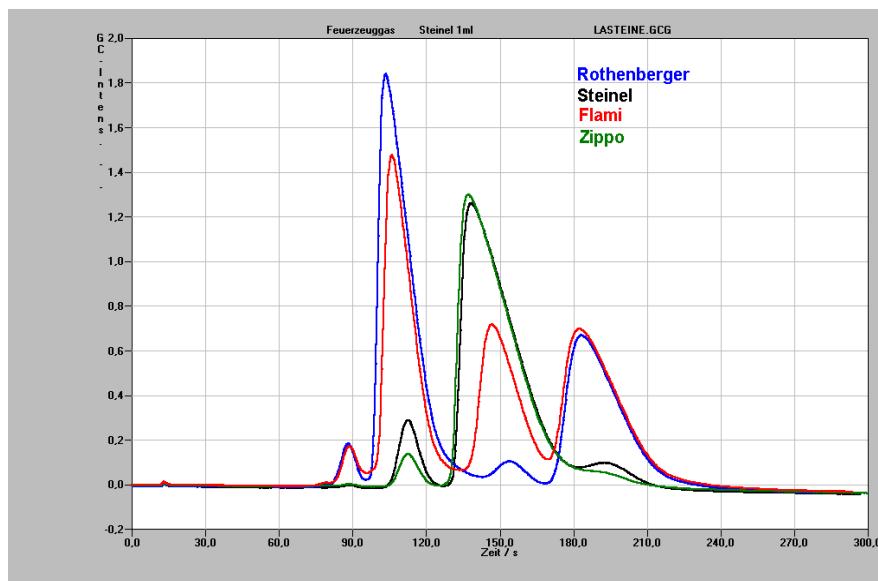


Abb. 10: Gaschromatogramm von vier Feuerzeuggasen

Der erste Peak bei einer Retentionszeit von etwa 90 s wurde durch Ethan verursacht. Beim zweiten Peak (Retentionszeit bei ca. 110 s) handelt es sich um Propan. Es folgen die Peaks für iso-Butan (140-150 s) und n-Butan bei etwa 180 s. Man erkennt, dass das Feuerzeuggas der Firma Rothenberger einen besonders hohen Anteil an Propan enthält, während der Hauptbestandteil des Zippo Gases iso-Butan ist. Für den Versuch 18 ist ein Gas mit hohem iso-Butan-Anteil zu empfehlen.

Die Diskussion um den Aggregatzustand von Feuerzeuggas kann mit Hilfe eines durchsichtigen Gasfeuerzeugs eröffnet werden. Die Schülerinnen und Schüler erkennen darin eine Flüssigkeit. Nun soll das Gasventil betätigt werden, ohne dass eine Flamme entzündet wird. Falls das nicht möglich ist, sollte die zunächst entstehende Flamme ausgepustet werden, ohne das Ventil loszulassen.



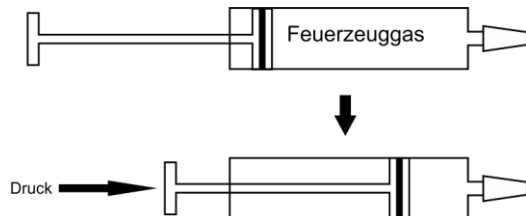
Die Lernenden können erkennen, dass offensichtlich nur ein gasförmiger Stoff austritt, keine Flüssigkeit. Offensichtlich verdampft die Flüssigkeit noch im Feuerzeug und es tritt nur gasförmiges Feuerzeuggas aus. Doch warum ist es im Feuerzeug überwiegend flüssig?

Ein Blick auf eine Vorratsflasche mit Feuerzeuggas zeigt zum einen das Gefahrstoffsymbol „entzündlich“, welches an dieser Stelle eingeführt oder erneut thematisiert werden kann. Zum anderen wird darauf hingewiesen, dass der Behälter unter Druck steht.

Die Lernenden können nun an Versuch 6 erinnert werden, bei dem die Abhängigkeit des Siedepunkts von Wasser untersucht worden ist. Analog sollte nun auch überprüft werden, ob eventuell der Druck in der Flasche sowie im Feuerzeug dafür sorgen kann, dass das Feuerzeuggas bei Raumtemperatur flüssig ist.

Versuch 18: Auffangen und Komprimieren von Feuerzeuggas

(nach [27])

Geräte: 10-mL-Einwegspritze, passender Verschluss oder eine Kanüle mit einem Stopfen auf der Spitze**Chemikalien:** Feuerzeuggas-Nachfülldose (GHS02 , GHS04 )**Durchführung:** Die Spritze wird – nach zweimaligem Spülen – mit gut 10 mL Feuerzeuggas gefüllt und verschlossen. Nun wird das Gas bei möglichst gleichmäßigem Druck auf unter 2 mL komprimiert. Dabei ist darauf zu achten, dass der Stempel gerade in die Spritze gedrückt wird und nicht verkantet.**Es besteht Bruchgefahr!****Beobachtung:** Das Gas lässt sich problemlos auf die Hälfte zusammendrücken. Beim weiteren Komprimieren erscheinen an den Innenwänden der Spritze kleine Flüssigkeitstropfen, die immer größer werden und schließlich einen geschlossenen Flüssigkeitsfilm bilden. Lässt man den Stempel los, so bewegt er sich schnell wieder nach außen. Nach kurzer Zeit hat er wieder die ursprüngliche Lage erreicht, nun sind keine Flüssigkeitstropfen mehr zu sehen. Der Vorgang lässt sich mehrmals wiederholen.**Auswertung:** Das Feuerzeuggas lässt sich durch Druck wieder verflüssigen. Lässt der Druck nach, wird es wieder gasförmig und das Volumen nimmt zu.**Didaktische Anmerkung:** Dieser Versuch zeigt erneut, dass nicht nur die Temperatur, sondern auch der Druck für den Aggregatzustand eines Stoffes entscheidend ist. Außerdem demonstriert er, dass die Aggregatzustandsänderung von flüssig zu gasförmig auch wieder umkehrbar ist (siehe Fehlvorstellung 2(10)). Zudem sollte die Deutung der Beobachtung zur Festigung auch noch einmal explizit mit Hilfe der Teilchenvorstellung erfolgen.

Damit der Versuch auch zuverlässig funktioniert, sollte jede neue Feuerzeuggas-Nachfülldose vorher ausprobiert werden.

Nun soll versucht werden, ob man aus einer entsprechenden Vorratsflasche das Gas auch in noch flüssiger Form zu entnehmen und den Vorgang des Verdampfens in ein Reagenzglas zu verlagern.

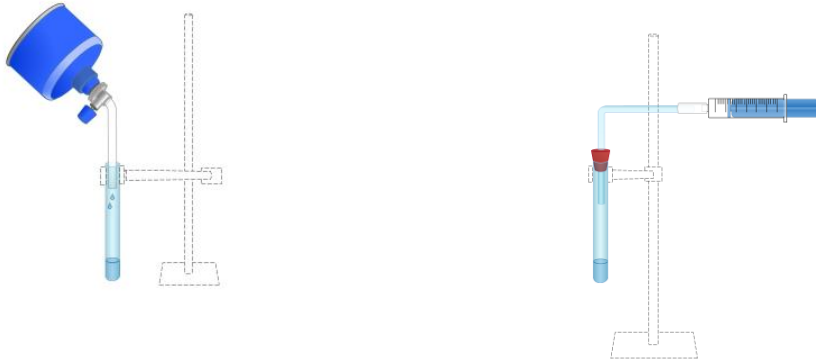
An dieser Stelle kann man den Schülerinnen und Schülern die Information geben, dass sich im Feuerzeug und im Kartuschenbrenner (fast) derselbe Stoff befindet. Dieser Stoff hat aus dem Alltag her mehrere Bezeichnungen, die je nach Einsatzort anders sind: bei Feuerzeugen wird er „Feuerzeuggas“ oder auch „Butangas“ genannt, bei Kartuschenbrennern „Campingaz®“, bei Gasherden „Propangas“ oder „Flüssiggas“ und an Tankstellen „Autogas“ oder „LPG-Gas“ (low-pressure-gas). All diese Namen bezeichnen annähernd dasselbe Gas(gemisch). Um die Nähe zum Alltag und zur Lebens- und Erfahrungswelt der Schülerinnen und Schüler zu wahren, sollten zu diesem Zeitpunkt im Chemieunterricht auch weiter die den Schülerinnen und Schüler gebräuchlichen Begriffe verwendet und auf eine Vereinheitlichung verzichtet werden. Dennoch sollte man immer wieder darauf hinweisen, dass es für den (fast) gleichen Stoff viele Bezeichnungen gibt.

Das „Ausgießen“ gelingt, wenn man das Brennerrohr vom Brenneraufsatz eines Kartuschenbrenners entfernt und durch einen Schlauch ersetzt. Alternativ kann man auf eine Feuerzeuggas-Nachfüllflasche einen breiten Adapter setzen und über diesen einen etwa 10 Zentimeter langen Schlauch schieben.

Für das Abfüllen ist in beiden Fällen wichtig, dass der Kartuschenbrenner oder auch die Nachfüllflasche auf den Kopf gehalten werden, damit der flüssige und nicht der gasförmige Anteil durch das Ventil austritt.

Versuch 19: „Ausgießen“ des verflüssigten Campinggases**Sicherheit:** Das Umgießen des Campinggases darf nur von der Lehrkraft durchgeführt werden. Die Reagenzgläser sollten umstoßsicher in einem Stativ gehalten werden.**Geräte:** Reagenzglas, passender Stopfen mit Gasableitungsrohr, Kartuschenbrenner, bei dem das Brennerrohr durch einen Schlauch ersetzt wurde, 100-mL-Kolbenprober, Schlauchstücke

Durchführung: Durch Gießen und Schütteln (dauert ein wenig) wird etwa 1 mL Campinggas in das Reagenzglas überführt, dieses zügig mit dem durchbohrten Stopfen verschlossen und mit dem Kolbenprober verbunden. Um die Aggregatzustandsänderung zu beschleunigen, kann das Reagenzglas auch kurz geschüttelt werden. Nachdem der Kolbenprober gefüllt ist, wird der Hahn geschlossen und der Stopfen vom Reagenzglas entfernt. Nun entzündet man das Gas an der Reagenzglasöffnung mit einem brennenden Holzspan. Dann kann das Reagenzglas kurz geschüttelt bzw. mit der Hand erwärmt und dabei auf die Temperatur des Reagenzglases unten im Bereich der Flüssigkeit geachtet werden.



Beobachtung: Im Reagenzglas kann durch längeres Gießen eine farblose Flüssigkeit aufgefangen werden. Schließt man das Reagenzglas an einen Kolbenprober an, so ist eine schnelle Volumenzunahme zu beobachten. Die Volumenzunahme kann durch Schütteln beschleunigt werden. Schnell entstehen mehr als 100 ml Gas, während der Flüssigkeitspegel kaum sinkt.

Das entstehende Gas kann an der Reagenzglasöffnung entzündet werden. Beim Schütteln oder Erwärmen mit der Hand wird die Flamme deutlich größer. Hört man mit dem Schütteln auf oder entfernt man die Hand, wird die Flamme wieder deutlich kleiner. Das Reagenzglas fühlt sich im Bereich der Flüssigkeit deutlich kühl an.

Auswertung: Die aufgefangene Flüssigkeit verdampft bei Raumtemperatur relativ schnell. Das Verdampfen kann durch Schütteln aufgrund der damit verbundenen Oberflächenvergrößerung beschleunigt werden. Bei der Aggregatzustandsänderung von flüssig zu gasförmig nimmt das Volumen des Campinggases stark zu (hier um mehr als das 100fache!). Der gasförmige Stoff lässt sich an der Reagenzglasöffnung entzünden. Es lässt sich feststellen, dass hier das Gas und nicht die Flüssigkeit brennt. Durch Erwärmen mit der Hand oder durch Schütteln wird das Verdampfen beschleunigt, wodurch in der gleichen Zeiteinheit mehr Gas entsteht und die Flamme somit größer wird. Das starke Abkühlen des Reagenzglases zeigt, dass das Verdampfen ein endothermer Vorgang ist. Wie bei Beispiel Wasser besitzt also das gasförmige Feuerzeuggas eine größere Enthalpie als das flüssige.

Didaktische Anmerkung: Die Schülerinnen und Schüler können hier die Aggregatzustandsänderung von flüssig zu gasförmig noch einmal direkt beobachten. Damit kann eine Wiederholung der Aggregatzustandsänderungen und auch der Bedingungen, die die Änderungen hervorrufen, motiviert werden. Außerdem soll noch einmal das Erstaunen über die große Volumenzunahme vermittelt werden. Dieses soll auch mit der Vorstellung von kleinsten Feuerzeuggas-Teilchen interpretiert werden.

Mit einem erneuten Blick auf die Feuerzeug-Nachfülldose können weitere Untersuchungen motiviert werden. Man findet dort zum Beispiel ein rot umrandetes Gefahrensymbol mit einer Flamme. Neben oder unter dem Symbol steht das Wort „Hochentzündlich“.



Bereits an dieser Stelle bietet es sich an, die Bedeutung des Gefahrensymbols zu erläutern: Gasförmige Stoffe werden als hochentzündlich eingestuft, wenn sie bei gewöhnlicher Temperatur und Normaldruck in Mischung mit Luft einen Explosionsbereich haben. Passend dazu findet man auf allen Nachfülldosen einen immer ähnlich lautenden Warntext:

„Behälter steht unter Druck. Vor Sonnenbestrahlung und Temperaturen über 50 °C schützen. Auch nach Gebrauch nicht gewaltsam öffnen oder verbrennen. Nicht gegen Flamme oder auf glühende Gegenstände sprühen. Von Zündquellen fernhalten - nicht rauchen. Außer Reichweite von Kindern

aufbewahren. Gas nicht einatmen. Nur in gut belüfteten Bereichen verwenden. Ohne ausreichende Lüftung Bildung explosionsfähiger Gemische möglich.“

Hinter den Warnhinweisen stecken eigentlich die so genannten H- und P-Sätze, wie sie in der Chemie bezeichnet werden. Dabei enthalten die H-Sätze Hinweise auf besondere Gefahren, bei Feuerzeuggas ist es der Satz H 220: „Extrem entzündbares Gas“. Die P-Sätze liefern Sicherheitsratschläge, die im Umgang mit den Gefahrstoffen zu beachten sind. Bei Feuerzeuggas sind folgende P-Sätze zu finden:

P102: Darf nicht in die Hände von Kindern gelangen.

P210: Von Hitze, heißen Oberflächen, Funken, offenen Flammen sowie anderen Zündquellenarten fernhalten. Nicht rauchen.

P251: Nicht durchstechen oder verbrennen, auch nicht nach Gebrauch.

P410+P412: Vor Sonnenbestrahlung schützen und nicht Temperaturen über 50°C/122°F aussetzen.

P403: An einem gut belüfteten Ort aufbewahren.

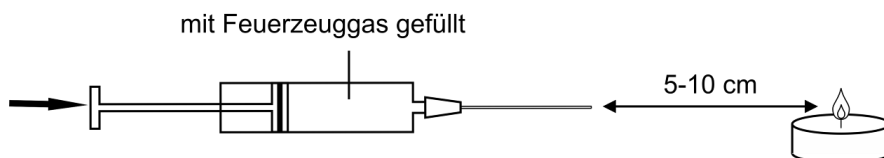
Sowohl das Gefahrensymbol als auch die Warnhinweise dienen der Motivation, sich mit den Eigenschaften des Feuerzeuggases genauer zu beschäftigen. Im weiteren Unterricht kann einigen Warnhinweisen nachgegangen werden, um eine Erklärung für diese Vorsichtsmaßnahmen zu finden. Auf diese Weise lassen sich eine Reihe von Versuchen motivieren. Unter anderem könnte der folgende Versuch von den Schülerinnen und Schüler selbst erarbeitet werden.

Versuch 20a: Entzünden von Feuerzeuggas durch eine Flamme

Geräte: 20-mL-Einwegspritze, passende Kanüle, Kerze, Feuerzeug

Chemikalien: Feuerzeuggas-Nachfülldose (GHS02 , GHS04 )

Durchführung: Die Spritze wird mit 20 mL Feuerzeuggas befüllt und die Kanüle aufgesetzt. Nun wird das Gas aus einer Entfernung von etwa 5 cm auf die Kerzenflamme gedüst. Durch Veränderung des Drucks auf den Stempel kann die Flammengröße beeinflusst werden. Der Versuch kann mit einer Spritzenfüllung mehrfach wiederholt werden, wodurch auch größere Entfernungen zwischen Kanülenspitze und Kerzenflamme ausprobiert werden können.





Beobachtung: Das Feuerzeuggas entzündet sich an der Kerzenflamme. Die Flamme springt dabei von der Kerze zur Kanülenspitze, wo das Gas mit einer gelben Flamme ruhig verbrennt. Wenn man gut zielt und der Druck auf den Stempel groß genug ist, können Entfernungen von über 10 cm überwunden werden.

Auswertung: Sprüht man Feuerzeuggas gegen eine offene Flamme, so entzündet sich das Gas und die Flamme „springt“ zur Austrittsöffnung. Dort brennt das Gas mit leuchtender Flamme, die Flamme ist also das brennende Gas. Man sagt, die Flamme „schlägt zurück“, wodurch sich eine Gefahrenquelle beim Umgang mit Feuerzeuggas ergibt.

Didaktische Anmerkung: Die Schülerinnen und Schüler gehen in diesem Versuch dem Warnhinweis „Nicht gegen Flamme sprühen“ nach. Sie erkennen dabei, dass die Flamme bis zur „Quelle“ des Gases zurückschlägt. Da man das Gas nicht sehen kann, ist im Umgang mit brennbaren Gasen und Feuer Vorsicht geboten. Dass nicht nur offenes Feuer zu einer Entzündung führen kann, zeigt schon der zweite Teil des Warnhinweises: „Nicht auf glühende Gegenstände sprühen.“ Auch diesem Warnhinweis soll in einem nächsten Versuch nachgegangen werden.

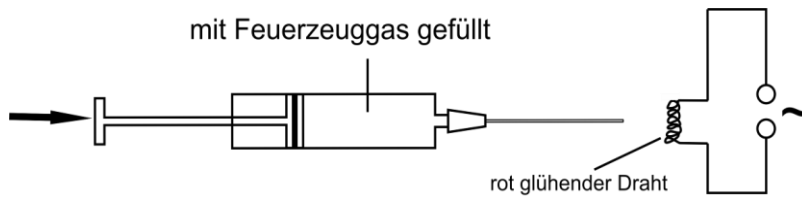
Versuch 20b: Entzünden von Feuerzeuggas durch einen glühenden Draht (nach [28])

Geräte: 20-mL-Einwegspritze, passende Kanüle, Feuerzeug mit Reibrad, regelbare Wechselspannungsquelle (0-12 V), Metalldraht (Ø 0,5 mm) oder Kugelschreiberfeder, 2 Verbindungskabel, 2 Krokodilklemmen, dünner Glasstab

Chemikalien: Feuerzeuggas-Nachfülldose (GHS02 , GHS04 )

Vorbereitung: Man stellt sich aus dem Metalldraht eine Wendel her, indem man ihn 8-10-mal um einen dünnen Glasstab wickelt. Nutzt man eine Kugelschreiberfeder muss sie lediglich an den Enden etwas begradigt werden.

Durchführung: Die Spritze wird wieder mit 20 mL Feuerzeuggas befüllt und die Kanüle aufgesetzt. Anschließend verbindet man die Drahtwendel mit der Spannungsquelle und regelt die Spannung hoch, bis der Draht deutlich glüht. Nun düst man das Feuerzeuggas aus der Spritze auf die glühende Drahtwendel. Analog kann man auch Gas aus einem Feuerzeug nur durch Betätigen des Druckknopfes unter der Wendel ausströmen lassen.



Beobachtung: Der Draht wird durch den elektrischen Strom erhitzt und beginnt rot zu glühen. Das Gas aus der Spritze entzündet sich an der heißen Drahtwendel. Auch hier „schlägt“ die Flamme zur Kanülenspritze zurück.

Auswertung: Um das Feuerzeuggas zu entzünden sind keine offenen Flammen notwendig, es genügen auch glühende Oberflächen. Auch hieraus ergibt sich eine Gefahrenquelle beim Umgang mit Feuerzeuggas.

Didaktische Anmerkung: Die Schülerinnen und Schüler lernen in diesem Versuch, dass auch glühende Gegenstände zum Entzünden von Feuerzeuggas führen können. Auch Funken, die bei elektrischen Entladungen entstehen, können als Zündquelle dienen.

Ein weiterer Warnhinweis beschäftigt sich mit der Bildung explosionsfähiger Gemische, die offenbar entstehen, wenn nicht ausreichend gelüftet wird. Mit welchem Stoff Feuerzeuggas „explosionsfähige Gemische“ bildet und in welchem Umfang „ausreichend gelüftet“ werden muss, zeigt der nächste Versuch.

Versuch 21: Vergleich der Brennbarkeit von Feuerzeuggas mit der eines Feuerzeuggas-Luft-Gemisches

Geräte: 2 Standzylinder (\varnothing 55 mm, h = 150 mm), 2 passende Glasplatten, 2 Holzspäne, 100-mL-Kolbenprober, 2 Korkstücke

Chemikalien: Feuerzeuggas-Nachfülldose (GHS02 , GHS04 )

Sicherheit: Alle brennbaren Stoffe und alle Zündquellen aus dem näheren Umkreis des Versuchs entfernen!

Durchführung: Beide Standzylinder werden nebeneinander gestellt, in beide gibt man ein Korkstück. Dann füllt man den linken Standzylinder voll mit Feuerzeuggas, indem man den Kolbenprober drei Mal mit Feuerzeuggas füllt und in den Standzylinder entleert. Aus einer vierten Kolbenprober-Füllung werden nur 10 mL in den rechten Standzylinder gegeben, der Rest des Gases kann wieder in den linken gegeben werden. Beide Zylinder werden nun mit den Glasplatten abgedeckt und kurz geschüttelt. Der linke ist voll mit Feuerzeuggas gefüllt, der rechte enthält nur 10 mL (ca. 3 %).

Beide Holzspäne werden entzündet, bevor die Glasplatten entfernt werden und je ein brennender Holzspan gleichzeitig an die Öffnungen der Standzylinder gehalten wird.

Beobachtung: Der brennende Holzspan entzündet die Gase in beiden Standzylindern, sie brennen jedoch vollkommen unterschiedlich ab. Beim linken, vollen Zylinder beobachtet man eine gelbe, leuchtende Flamme, die langsam in den Standzylinder hinein brennt. Der Vorgang dauert etwa eine halbe Minute. Im rechten Standzylinder, in dem sich nur 10 mL Feuerzeuggas befinden, erkennt man eine blaue Flamme, die sich schlagartig in den Zylinder hinein zieht und schon nach wenigen Sekunden wieder erlischt.

Auswertung: Feuerzeuggas ist ein brennbares Gas. In reiner Form entzündet es sich zwar, aber es verbrennt relativ ruhig an der Grenze zur Luft. Das Feuerzeuggas-Luft-Gemisch verbrennt hingegen schlagartig, obwohl sich in dem Standzylinder „nur“ 10 mL Gas befunden haben.

Didaktische Anmerkung: An diesem Versuch können eine Reihe interessanter Phänomene diskutiert werden.

- 1) Feuerzeuggas ist ein brennbares Gas, das besonders in kleinen Mengen mit Luft explosionsfähige Gasgemische bildet. Damit sind besonders Gaslecks gefährlich, bei denen kleine Mengen unbemerkt austreten.

- 2) Die unterschiedlichen Flammenfarben können bei Nachfrage mit der leuchtenden bzw. entleuchteten Flamme beim Brenner verglichen werden: bei der gelben Flamme herrscht ein Sauerstoffmangel, weshalb das Gas „rußend“ verbrennt. Die blaue Flamme lässt auf ein ideales Verhältnis zwischen Feuerzeuggas und Luft schließen.

Fachlicher Hinweis: Damit der Unterschied zwischen den Verbrennungen auch wirklich so schön deutlich wird, wie hier beschrieben, sollte man ein Feuerzeuggas-Luft-Gemisch innerhalb der Zündgrenzen herstellen. Die Zündgrenzen von Propan liegen zwischen 2,12 Vol.-% und 9,35 Vol.-% in Luft, die von Butan zwischen 1,5 - 8,5 Vol.-% [1, S. 550, S. 3568] Man sollte also bei einem Gemisch aus Propan und Butan (Feuerzeuggas) die Zündgrenzen beider Stoffe berücksichtigen, d.h. ca. 3 - 8 Vol.-% Feuerzeuggas in Luft einsetzen.

Dass explosive Feuerzeuggas-Luft-Gemische tatsächlich im alltäglichen Leben entstehen können, zeigt die folgende Nachricht vom 11.12.2001 aus der Online-Ausgabe der Neuß-Grevenbroicher Zeitung [29]

70 Prozent der Haut verbrannten

Tödliche Gasverpuffung in der Jackentasche

Kiel (rpo). Vier Feuerzeuge in der Tasche seiner Kunststoffjacke wurden einem 66-jährigen Spaziergänger aus Kiel zum Verhängnis. Als er versuchte, sich eine Zigarette anzustecken, löste die Flamme eine tödliche Gasverpuffung aus. Das teilte ein Polizeisprecher am Dienstag in Kiel mit.

Der Mann war in einem Stadforst spazieren gegangen und hatte vermutlich mit dem Feuerzeug in der Tasche gespielt. Das Gas strömte aus und sammelte sich in der Tasche seiner Kunststoffjacke, die dazu noch mit einem Fleece gefüttert war. Als er sich dann eine Zigarette anzünden wollte, kam es zu der Verpuffung.

Die Haut des Mannes wurde nach Polizeiangaben zu siebzig Prozent verbrannt. Die Leiche wurde am Montagnachmittag von Spaziergängern gefunden. Untersuchungen hätten inzwischen ergeben, dass die Einwegfeuerzeuge nicht defekt gewesen seien. Jetzt wollen Experten mittels eines sogenannten Simulationsaufbaus den Vorgang nachstellen.

Als Folgeversuch bietet sich die Demonstration einer „Explosion“ mit Feuerzeuggas an.

Versuch 22: Demonstration einer Explosion mit Feuerzeuggas

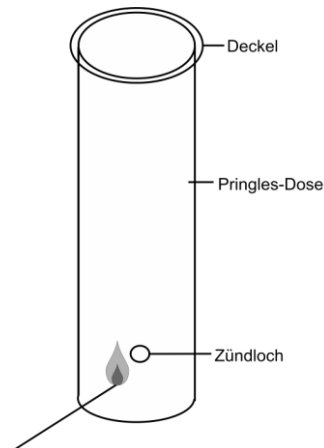
Geräte: Pringles-Dose 200 g, Stopfenbohrer, passender Stopfen, Kolbenprober, Holzspan, zwei Korkstücke

Chemikalien: Feuerzeuggas-Nachfülldose (GHS02 , GHS04 )

Sicherheit: Alle brennbaren Stoffe und alle Zündquellen aus dem näheren Umkreis des Versuchs entfernen!

Vorbereitung: Man sollte eine unbeschädigte Pringles-Dose wählen, deren Deckel noch fest aufsitzt. Andernfalls ist der Rand der Dose durch einen Klebestreifen zu verstärken. Dann bohrt man mit einem Stopfenbohrer ein ca. 5-8 mm großes Loch etwa 3 cm über dem Boden der Dose in die Seitenwand. Das Loch wird mit einem passenden Stopfen verschlossen.

Durchführung: Zunächst gibt man die beiden Korkstücke in die Pringles-Dose. Der Kolbenprober wird mit Feuerzeuggas befüllt. Dann gibt man 25 mL Gas in die Pringles-Dose, verschließt sie mit dem Deckel und schüttelt sie ein paar Mal. Nachdem der Kolbenprober und alle brennbaren Stoffe aus der Umgebung des Versuchs entfernt wurden, entzündet man den Holzspan, entfernt den Stopfen aus der Seitenwand der Dose und hält den brennenden Span an das Loch.



Beobachtung: Der Deckel der Pringles-Dose wird mit einem Knall nach oben geschossen. Manchmal erkennt man eine kleine Stichflamme aus der Öffnung der Dose herausschießen.

Auswertung: Durch den brennenden Span wird das Feuerzeuggas-Luft-Gemisch in der Dose entzündet, dieses verbrennt wie in dem Standzylinder aus dem vorherigen Versuch schlagartig, wodurch eine Stichflamme entsteht. In diesem Versuch ist der Verbrennungsraum jedoch abgeschlossen. Durch die Ausdehnung der Gase in Folge der entstehenden Hitze wird der Deckel der Dose sofort nach der Zündung in die Höhe geschleudert.

Didaktische Anmerkung: Dieser Versuch dient zur Demonstration der Gefährlichkeit von brennbaren Gasen in abgeschlossenen Räumen. Er verdeutlicht die Eigenschaft von Feuerzeuggas, mit Luft explosionsfähige Gemische zu bilden. Die chemische Reaktion an sich steht hier noch nicht im Vordergrund, daher wird auf das Entstehen gasförmiger Reaktionsprodukte nicht eingegangen.

An dieser Stelle kann man den Schülerinnen und Schülern mitteilen, dass man dem Feuerzeuggas aufgrund seiner Gefährlichkeit Geruchsstoffe zumischt, die schon in kleinsten Mengen wahrgenommen werden. Genau genommen handelt es sich beim Feuerzeuggas also um ein Gasgemisch, wobei die Geruchsstoffe nur einen kleinen Anteil ausmachen.

Nachdem die Brennbarkeit und die damit verbundenen Gefahren thematisiert wurden, kann nun auch gezeigt werden, dass sich Gase auch an einer Zündquelle entzünden können, die sich nicht in unmittelbarer Nähe befindet. Dazu befindet sich kein Warnhinweis auf der Verpackung.

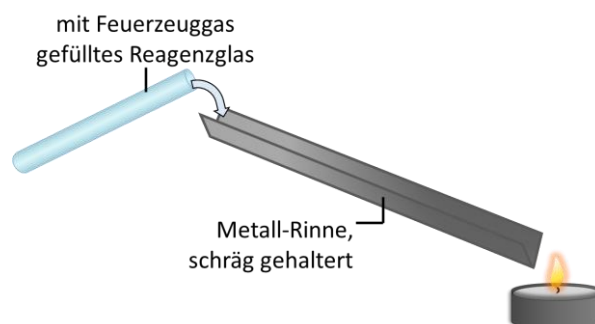
Dazu kann man den folgenden Versuch durchführen.

Versuch 23: Fernzündung „kriechender“ Gase

Geräte: Metall-Rinne (ca. 1 m lang, rechtwinklig, Schenkellänge 40 mm, im Baumarkt erhältlich als Stufenschutz), Teelicht, Reagenzglas 30x200 mm, passender Stopfen, Kolbenprober, Schlauch, Stativmaterial

Chemikalien: Feuerzeuggas-Nachfülldose (GHS02 , GHS04 )

Sicherheit: Alle brennbaren Stoffe und alle Zündquellen aus dem näheren Umkreis des Versuchs entfernen!



Durchführung: Die Rinne wird schräg an einem Stativ gehalten. An das untere Ende stellt man ein Teelicht und entzündet es. Dann befüllt man den Kolbenprober mit 100 mL Feuerzeuggas und überführt dieses über einen Schlauch in das Reagenzglas, welches man anschließend mit dem Stopfen verschließt. Nun „gießt“ man das Gas auf den oberen Teil der Rinne langsam aus.

Achtung: Im Raum sollten die Luftbewegungen während des Versuches möglichst gering gehalten werden.

Beobachtung: Kurze Zeit nach dem „Ausgießen“ läuft eine Feuerspur von der Kerze nach oben zum Reagenzglas.

Auswertung: Im Reagenzglas befindet sich ein farbloses Gas, welches man auf die Rinne „gießt“. Da das Feuerzeuggas eine größere Dichte als Luft besitzt, „fließt“ es die Rinne hinunter und gelangt schließlich bis zur Kerzenflamme. An dieser entzündet sich das Gas. Die Flamme läuft dann den Weg des Gases zurück.

Didaktische Anmerkung: Dieser Versuchsaufbau ist so bereits mit Ether- oder Benzindämpfen bekannt. Er zeigt, dass Gase (Dämpfe) mit einer größeren Dichte als Luft über Tischflächen und Böden laufen (man sagt auch „kriechen“) und sich an ganz anderer Stelle an einer Zündquelle entzünden können. So kann es dort zu einer Explosion kommen. Zudem läuft die Feuerspur zu der Quelle der Gase zurück, wodurch auch dort ein verheerender Brand oder gar eine Explosion hervorgerufen werden kann.

In Abwandlung des Versuchs kann man auch ein 100-mL-Becherglas an das untere Ende der Rinne stellen, darin die kriechenden Gase auffangen und diese nun mit einem brennenden Span entzünden. Sollte die Dichte im Physikunterricht noch nicht eingeführt worden sein, treffen Schülerinnen und Schüler nach dem obigen Versuch häufig nur unpräzise Aussagen wie „Feuerzeuggas ist schwerer als Luft.“ o.ä. Dieses kann man hinterfragen, indem man unterschiedliche große Volumina der beiden Gase in ihrer Masse vergleicht. Sicherlich werden die Schülerinnen und Schüler dann schnell auf den Gedanken kommen, dass man gleich große Volumina in ihrer Masse vergleichen muss. Gut geeignet sind dafür Spritzen, die bis zur gleichen Füllmarke mit den entsprechenden Gasen gefüllt werden können. Man sollte dabei eine möglichst große Spritze (mind. 100 mL) und genaue Waage (Messgenauigkeit 0,001g) verwenden.

Versuch 24: Vergleich der Masse gleicher Portionen Luft und Feuerzeuggas

Geräte: 100-mL-Spritze mit Verschlussmöglichkeit, Waage (Messgenauigkeit 0,001g)

Chemikalien: Feuerzeuggas-Nachfülldose (GHS02 , GHS04 )

Durchführung: Die Spritze wird zunächst mit 100 mL Luft gefüllt, verschlossen und gewogen. Anschließend füllt man sie mit 100 mL Feuerzeuggas, verschließt sie und wiegt erneut. Die Massen der beiden Gase in der Spritze sind zu vergleichen.

Beobachtung:

Spritze mit 100 mL Luft	58,038 g
Spritze mit 100 mL Feuerzeuggas	58,167 g

Auswertung: Tatsächlich ist eine volumenmäßig gleiche Portion Feuerzeuggas schwerer als dieselbe Portion Luft. 100 mL Feuerzeuggas sind um 0,129 g schwerer als 100 mL Luft.

Didaktische Anmerkung: Dieser Versuch dient zum einen dazu, den Massenunterschied gleicher Volumina Luft und Feuerzeuggas erfahrbar zu machen. Zum anderen bietet er eine gute Möglichkeit im Anschluss tatsächlich die Dichte der beiden Gase zu bestimmen. Dazu ist vorab zu klären, ob die Schülerinnen und Schüler aus dem Physik-Unterricht schon wissen, was „Dichte“ bedeutet und wie man sie bestimmt. Sollte das nicht der Fall sein, kann sie an dieser Stelle eingeführt oder noch auf eine exakte Definition verzichtet werden.

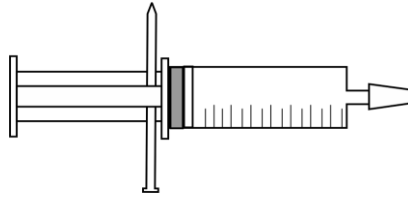
Um die Dichte bestimmen zu können, muss man das Leergewicht der Spritze bestimmen. Nur so erhält man die Masse der Gasportion und kann sie zum Volumen ins Verhältnis setzen. Das Problem dabei ist, dass man nicht einfach eine ungefüllte Spritze wiegen kann (Stempel ganz hereingedrückt), da sich mit der Veränderung der Form auch der Auftrieb verändert. Außerdem haben die Spritzen häufig keinen kompakten, die gesamte Spritze ausfüllenden Stempel, sondern nur zwei gekreuzte Streben. Selbst bei ganz herein gedrücktem Stempel sind also die Zwischenräume mit Luft gefüllt. Um dennoch das Leergewicht bestimmen zu können, muss man die aufgezoogene Spritze evakuieren. Die Durchführung wird im folgenden Versuch beschrieben.

Versuch 25: Ermittlung der Dichte mit Hilfe einer Spritze (nach [30])

Geräte: 100-mL-Spritze mit Verschlussmöglichkeit, ein großer Nagel, Waage (Messgenauigkeit 0,001g)

Chemikalien: Feuerzeuggas-Nachfülldose (GHS02 , GHS04 )

Vorbereitung: Der Stempel der Spritze wird bis zur 100-mL-Marke ausgezogen. Dann erhitzt man den Nagel und durchstößt den Stempel der Spritze so, dass der Nagel genau am oberen Spritzenrand anliegt und der Stempel mit Nagel nicht wieder in die Spritze zurückgedrückt werden kann.



Durchführung: Zunächst muss die Spritze evakuiert werden, um den Fehler durch den Auftrieb auszuschließen. Dazu schiebt man den Stempel ganz in die Spritze hinein, verschließt sie mit einem passenden Aufsatz und zieht den Stempel mit Kraft heraus. Um den Stempel in dieser Position zu halten, wird der Nagel als Arretierung in das passende Loch im Stempel gesteckt. Nun wird die Spritze gewogen, dies ist das Leergewicht. Anschließend wird die Spritze zunächst mit Luft gefüllt und gewogen (mit Verschluss und Nagel!) und anschließend in gleicher Weise mit Feuerzeuggas.

Beobachtung:

Leergewicht Spritze	71,231 g
Spritze mit Luft	71,349 g
Spritze mit Feuerzeuggas	71,453 g

Auswertung:

	Masse der Gasportion	Dichte in g/mL	Dichte in g/L	Literaturwerte (0°C)
Luft	0,118 g	0,00118 g/mL	1,18 g/L	1,2928 g/L [28, S. 2453]
Feuerzeuggas	0,227 g	0,00227 g/mL	2,27 g/L	1,97-2,67 g/L ⁵ [28, S. 550, S. 3568]

Feuerzeuggas besitzt mit 2,27 g/l eine größere Dichte als Luft.

Didaktische Anmerkung: Dieser Versuch zeigt zum einen sehr deutlich, dass auch Luft eine Masse hat, obwohl wir das im täglichen Leben nicht spüren (siehe auch Fehlvorstellungen II.1(4) und II.2(4)). Zum anderen dient dieser Versuch zur Bestimmung der Dichte von Luft und Feuerzeuggas. Sollte die Dichte und deren Bestimmung noch nicht bekannt sein, dient dieser Versuch zur Einführung, ansonsten zur Wiederholung der Dichte aus dem Physikunterricht. Im Anschluss kann das Formelzeichen und die Einheit der Dichte bekannt gegeben werden. Bei festen und flüssigen Stoffen wird die Dichte üblicherweise in g/mL bzw. g/cm³ angegeben. Bei Gasen gibt man die Dichte jedoch in der Einheit g/L an.

$$\text{Dichte: } \rho = \frac{M}{V} \quad \text{Einheit der Dichte: } [\rho] = \frac{\text{g}}{\text{mL}} = \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 1000 \frac{\text{g}}{\text{L}}$$

Als Zusammenfassung der bisher erworbenen Kenntnisse kann nun ein Steckbrief zum Feuerzeuggas erstellt werden. Er kann als Vorlage für die Untersuchung weiterer Gase dienen. Beim Steckbrief für Feuerzeuggas sollte noch auf den Warnhinweis „Gas nicht einatmen“ eingegangen werden. Feuerzeuggas wirkt in höheren Konzentrationen berauschend bis narkotisch. Leider kommt es auch immer vor, dass Jugendliche Feuerzeuggas „schnüffeln“. Dieses kann zu Muskel- und Atemlähmungen führen.

⁵ Die Hauptkomponenten von Feuerzeuggas sind Propan und Butan. Die Dichte eines Gemischs von Gasen liegt zwischen den Dichten der Einzelkomponenten. Propan weist eine Dichte von 1,97 g/L auf, während iso-Butan eine Dichte von 2,67 g/L besitzt.

Eigenschaften	Feuerzeuggas
Aggregatzustand bei Normaldruck und Zimmertemperatur	Gasförmig
Farbe	Farblos
Geruch	typischer Gasgeruch (aufgrund der beigemischten Geruchsstoffe)
Brennbarkeit	brennbar
Dichte im Vergleich zur Luft	hat eine größere Dichte als Luft g $\rho \sim 2,27 \frac{\text{g}}{\text{L}}$
Gefahrenbezeichnung	hochentzündlich, d.h. bildet mit Luft explosive Gemische
Gefahrenpiktogramme	
H-Sätze	H220: Extrem entzündbares Gas. H280: Enthält Gas unter Druck; kann bei Erwärmung explodieren.
P-Sätze	P102: Darf nicht in die Hände von Kindern gelangen. P210: Von Hitze, heißen Oberflächen, Funken, offenen Flammen sowie anderen Zündquellenarten fernhalten. Nicht rauchen. P251: Nicht durchstechen oder verbrennen, auch nicht nach Gebrauch. P410+P412: Vor Sonnenbestrahlung schützen und nicht Temperaturen über 50°C/122°F aussetzen. P403: An einem gut belüfteten Ort aufbewahren.
Bemerkungen	wirkt in höheren Konzentrationen narkotisch Gefahr durch „Schnüffeln“

Tabelle 7: Steckbrief von Feuerzeuggas

Nachdem die Schülerinnen und Schüler viel über das Feuerzeug- bzw. Campinggas herausgefunden haben, kann man wieder auf den Ausgangspunkt, das Gasfeuerzeug, zurückblicken und nun die Frage stellen, wie denn ein solches Feuerzeug funktioniert und wie dabei möglichst Gefahren minimiert werden können. Dazu schaut man sich zunächst das Gasfeuerzeug an.

Versuch 26: Aufbau und Funktionsweise eines Gasfeuerzeuges

Dieser Versuch wird für ein Feuerzeug mit Feuerstein beschrieben. Ein Feuerzeug mit Piezo-Zünder kann analog beschrieben werden, **dieses darf jedoch nicht neben das Ohr gehalten werden, da beim Betätigen des Druckknopfes nicht gewährleistet ist, dass kein Funke erzeugt wird und somit das Gas entzündet.**

Geräte: ein mindestens halb leeres transparentes Gas-Feuerzeug, wasserfester Stift, Overhead-Projektor, weißer Hintergrund

Durchführung:

a) Der Aufbau des Feuerzeuges sowie die Vorgehensweise beim Entzünden werden beschrieben. Anschließend entzündet man es und stellt mit Hilfe des kleinen Stellstifts an der Seite des Feuerzeuges eine 1 cm hohe Flamme ein. Nach dem Löschen der Flamme wird es neben das Ohr gehalten und nur der Druckknopf betätigt, ohne das Rad zu bewegen! Mit Hilfe des Overhead-Projektors erzeugt man einen Lichtkegel gegen eine weiße Wand. Nun betätigt man das Feuerzeug in einem Abstand von ca. 10 cm zur Wand im Lichtkegel und betrachtet den Schatten. Evtl. ist der Abstand zur Wand zu variieren. Dann wird das Feuerzeug entzündet und ebenfalls das Schattenbild betrachtet.

b) Die Flüssigkeit wird so in dem Feuerzeug verteilt, dass sie sich vollständig in der Kammer ohne Kunststoffstab befindet und der Flüssigkeitsstand mit einem wasserfesten Stift markiert. Jetzt wird das Feuerzeug entzündet und etwa eine Minute lang brennen gelassen. Dabei ist darauf zu achten, dass kein direkter Kontakt zu einem Metallteil des Feuerzeuges besteht, da diese bei längerem Betrieb sehr heiß werden können. Anschließend wird der Druckknopf unter einem Abzug noch mindestens weitere fünf Minuten (ohne Flamme) betätigt (bei langer Brenndauer würden Teile des Feuerzeugkopfes schmelzen, dadurch wird das Feuerzeug zerstört).

Beobachtung:

Zu a) Man erkennt im Feuerzeug zwei Kammern, die mit einer Flüssigkeit gefüllt sind. In eine der beiden Kammern ragt ein Kunststoffstab oder -rohr in die Flüssigkeit hinein bis fast auf den Boden des

Feuerzeuges. Der Stab führt zu einer kleinen Düse am Kopf des Feuerzeuges. Neben der Düse befinden sich ein Rad und daneben ein Druckknopf. Betätigt man das Rad und drückt gleich darauf auf den Knopf, brennt am Feuerzeug eine Flamme. Die Größe der Flamme ist durch einen kleinen Stellstift einstellbar. Betätigt man nur den Druckknopf, entsteht keine Flamme. Hält man das Feuerzeug neben das Ohr und betätigt den Druckknopf, so hört man ein Rauschen oder Strömen. Außerdem ist ein „Gasgeruch“ wahrnehmbar.

Im Lichtkegel erkennt man an der Wand einen dünnen hellen „Strahl“, der aus der Gasdüse des Feuerzeuges austritt (siehe Abb.11).

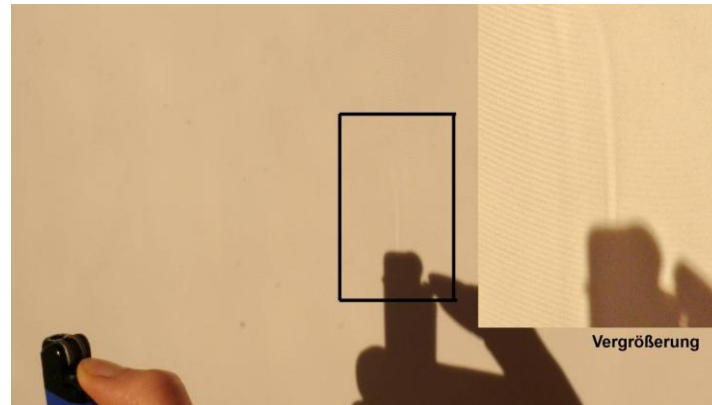


Abb.11: „Gasschlieren“ aus einem Feuerzeug im Lichtkegel

Entzündet man das Feuerzeug, so ist die Form der Flamme als aufsteigende „Schlieren“ an der Wand zu sehen. In der Mitte der Flamme erkennt man zusätzlich den dünnen hellen Strahl des austretenden Gases. Dieser ist nicht zu sehen, wenn man die Flamme direkt anschaut (siehe Abb. 12).

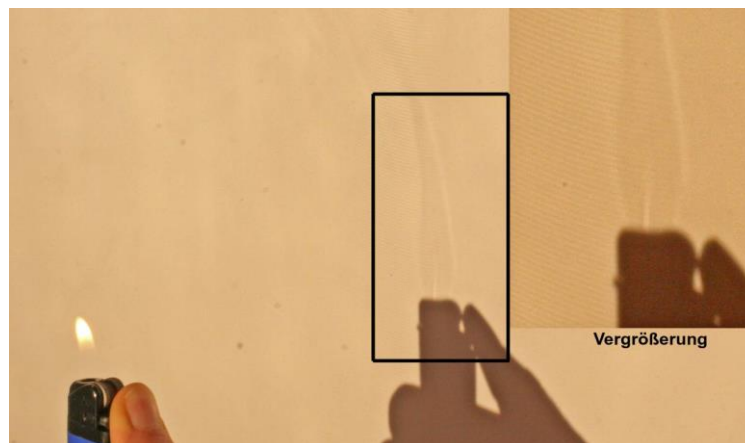


Abb.12: entzündetes Feuerzeug im Lichtkegel

Zu b) Das Feuerzeug lässt sich auch entzünden, wenn der Stab nicht in die Flüssigkeit ragt. Es kann sogar über eine längere Zeit betrieben werden. Nach fünf Minuten ist eine geringe, aber deutlich sichtbare Abnahme des Flüssigkeitsstandes zu verzeichnen.

Auswertung:

Zu a) Aus dem Feuerzeug entweicht das farblose Gas, welches einen typischen Geruch aufweist. Das Gas wird mit einem Funken, der durch das Reibrad erzeugt wird, entzündet. Die Flamme am Feuerzeug ist das brennende Gas.

Zu b) Das Feuerzeug lässt sich sowohl entzünden, wenn der Stab in die Flüssigkeit ragt als auch, wenn er nur in den „Gasraum“ ragt. Bei längerem Betrieb nimmt der Flüssigkeitsstand ab, weil das flüssige Feuerzeuggas zunehmend in den gasförmigen Zustand übergeht. Der Kunststoffstab scheint für die Funktionsweise des Feuerzeuges nicht notwendig zu sein.

Fachlicher Hinweis: Im Feuerzeug befindet sich tatsächlich nur ein poröser Kunststoffstab und kein Rohr, wie man vielleicht vermuten könnte. Der Stab wirkt wie ein Docht, der durch seine Kapillarität schneller Flüssigkeit verdampfen lässt. Das Gasfeuerzeug würde auch ohne diesen Stab

funktionieren, da durch das Betätigen des Druckknopfes ein Druckausgleich mit der Umgebung angestrebt wird und so Gas ausströmt. Der Druck in dem Feuerzeug nimmt dadurch ab. Verschließt man das Gasventil wieder, wird so lange Gas gebildet, bis der Dampfdruck wieder erreicht ist. Ein wichtiger Aspekt zum Nutzen dieses Stabes ist die Sicherheit. Bei Kartuschenbrennern kann man besonders bei vollen Kartuschen durch leichte Schräglage des Brenners ein „Spucken“ der Flamme erzeugen. Hierbei läuft das flüssige Propan-Butan-Gemisch aus und erzeugt eine rußende Stichflamme. Der Stab im Feuerzeug verhindert ein Austreten von Flüssigkeit, er sorgt für ein beständiges Verdampfen, so dass nur Gas aus dem Ventil austritt.

Neben der Funktionsweise des Gasfeuerzeuges soll auch der Umgang mit dem Kartuschenbrenner eingeübt werden. Dazu kann man den Aufbau des Brenners analog zu dem Gasfeuerzeug betrachten und vergleichen. Die folgende Abbildung vergleicht den Aufbau eines Kartuschenbrenners mit dem eines Gasfeuerzeuges.

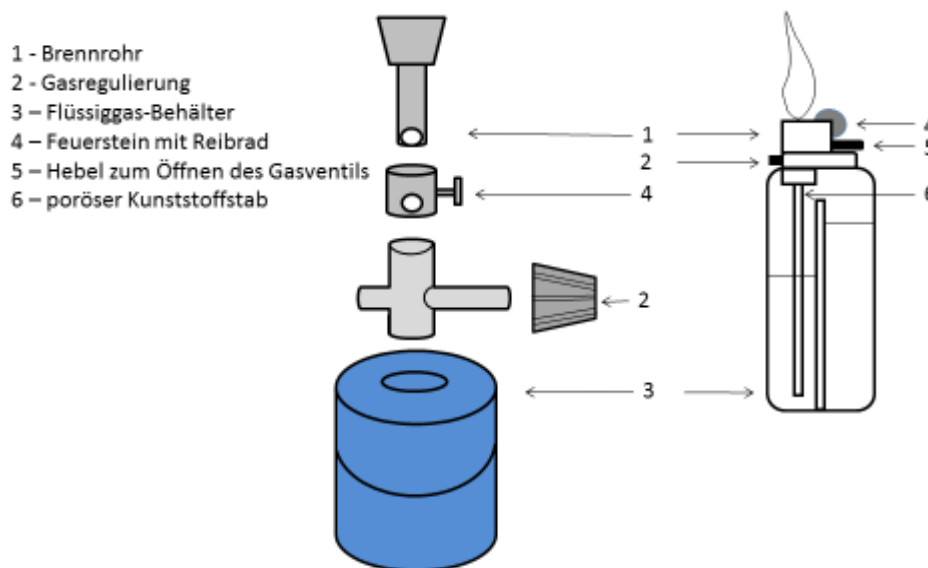


Abb. 13: Aufbau eines Kartuschenbrenners und eines Gasfeuerzeuges

Versuch 27a: Anzünden, Regulieren und Löschen des Kartuschenbrenners

Sicherheit: Schutzbrille tragen und lange Haare zusammenbinden!

Geräte: Schutzbrille, Brenner, Feuerzeug oder Streichhölzer

Durchführung:

Anzünden: Zunächst wird überprüft, ob das Luftloch am Brenner geschlossen ist. Dann wird der Gasregler am Brenner leicht geöffnet und das ausströmende Gas entzündet. Nun kann die Gaszufuhr langsam weiter geöffnet werden, bis die gewünschte Flammenhöhe erreicht ist.

Einstellen einer nicht leuchtenden und einer rauschenden Flamme: Ist der Brenner entzündet und die Flammenhöhe eingestellt, kann die Luftzufuhr leicht geöffnet werden, indem man das Verstellblech verschiebt. Öffnet man die Luftzufuhr ganz, so entsteht eine rauschende Flamme.

Regulieren der Flamme: Soll die Flammenhöhe vergrößert werden, verstärkt man erst die Gas- und dann die Luftzufuhr. Bei der Einstellung einer kleineren Flamme, wird erst die Luftzufuhr verringert und dann die Gaszufuhr.

Vorsicht! Ist die Luftzufuhr zu groß und die Gaszufuhr zu gering, kann die Flamme „zurückschlagen“. Dann brennt die Flamme im Inneren des Brennerrohres weiter, dadurch wird dieses sehr heiß. In diesem Fall muss die Gaszufuhr sofort geschlossen werden. Erst abkühlen lassen, bevor der Brenner erneut entzündet wird.

Löschen: Luftzufuhr verschließen und danach den Gasregler schließen.

Beobachtung: Beim Anzünden ist erst eine kleine gelb-leuchtende, zum Teil stark rußende Flamme zu sehen, die durch weiteres Öffnen der Gaszufuhr vergrößert werden kann. Durch Öffnen der Luftzufuhr entfärbt sich die Flamme, sie brennt blass-blau, fast farblos und nicht mehr rußend. Wird die

Luftzufuhr weiter verstärkt, beginnt die Flamme zu rauschen und es sind je nach Brenneraufsatz ein heller, blauer Innenkegel oder viele kleine blaue Spitzen erkennbar.

Auswertung: Durch Regulierung der Gas- und Luftzufuhr können verschiedene Flammen eingestellt werden. Ist die Luftzufuhr geschlossen, entsteht eine leuchtende Flamme, bei geöffneter Luftzufuhr kommt es zu einer nicht leuchtenden oder sogar rauschenden Flamme. Die Flamme ist auch beim Brenner das brennende Gas.

Didaktische Anmerkung: Dieser Versuch dient zum Kennenlernen des Brenners sowie seiner Bedienung. Es kann versucht werden, den Brenner während des Betriebs allmählich zur Seite zu neigen, bis die Flamme „spuckt“, das sollte allerdings nur von der Lehrkraft gemacht werden. In Erinnerung an Versuch 20 sollten die Schülerinnen und Schüler möglicher Weise darauf kommen, dass ab einer bestimmten Neigung nicht mehr gasförmiges, sondern flüssiges Feuerzeuggas austritt, welches dann erst im Brennerrohr verdampft und somit nicht mehr vor der Flamme mit der Luft gemischt wird. Dadurch entsteht das „spucken“. Dieses sollte auch als Warnung davor dienen, den Kartuschenbrenner während des Betriebs, wenn auch nur versehentlich, umzustoßen.

Wie beim Feuerzeug lässt sich auch beim Kartuschenbrenner das ausströmende Gas sogar visualisieren, indem der Brenner im Lichtkegel gegen einen weißen Hintergrund betrachtet wird.

Versuch 27b: Sichtbarmachen des ausströmenden Gases

Geräte: Kartuschenbrenner, Lampe, weißer Hintergrund, Holzspan

Durchführung: Mit Hilfe der Lampe erzeugt man einen Lichtkegel gegen einen weißen Hintergrund. Nun öffnet man bei geschlossenem Luftloch die Gaszufuhr des Kartuschenbrenners in einem Abstand von ca. 10 cm zur Wand im Lichtkegel und betrachtet den „Schatten“. Evtl. ist der Abstand zur Wand zu variieren. Dann nähert man sich mit einem brennenden Holzspan von schräg unten der Gasaustrittsöffnung am Brenner.

Beobachtung: Im Lichtkegel erkennt man an der Wand „Schlieren“, die aus der Gasaustrittsöffnung austreten und sich nach unten bewegen (ähnlich wie ein überlaufendes Glas mit Wasser) - siehe Abb. Abb. 14. Nähert man sich mit dem brennenden Holzspan, so entsteht noch unterhalb der Brenneröffnung zunächst ein kleiner Feuerball, bevor der Brenner wie gewohnt brennt.

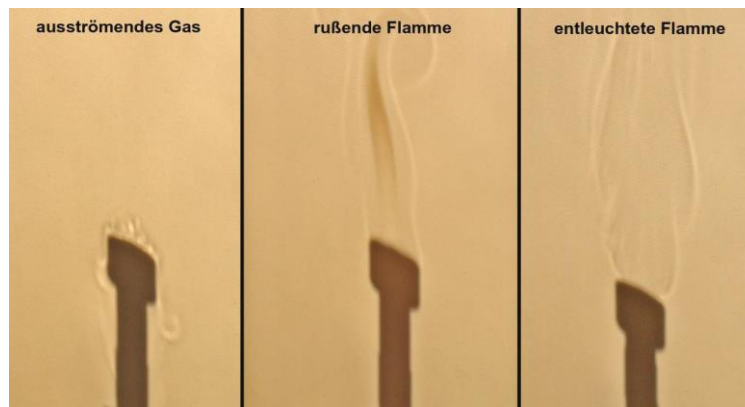


Abb. 14: „Gasschlieren“ eines Kartuschenbrenners im Lichtkegel

Auswertung: Im Lichtkegel kann man das austretende Gas durch sich bewegende „Schlieren“ an der Wand sehen. Das Gas „fällt“ dabei nach unten. Dadurch ergibt sich eine Gefahrenquelle, wenn man z.B. die Gaszufuhr am Brenner nicht richtig schließt und sich auf dem Tisch brennende Gegenstände wie Teelichter o.ä. befinden.

Didaktische Anmerkung: Die Schülerinnen und Schüler können in diesem Versuch das ausströmende Gas nicht nur hören, sondern auch „sehen“. Außerdem lernen sie, dass die Gaszufuhr am Brenner immer sorgsam zu schließen ist.

Fachlicher Hinweis: Gase können im Licht keinen Schatten werfen, daher dürfen auch die „Schlieren“ nicht als Schatten bezeichnet werden. Sie kommen durch die Dichteunterschiede von Luft und Gas, die damit verbundene Brechung des Lichts und daraus resultierende Interferenz-Erscheinungen zustande. Die Schülerinnen und Schüler kennen das möglicherweise vom „Flimmern“ über heißem Asphalt oder auch über einer Kerzenflamme.

5.2 Erdgas

Werden in der Schule auch Erdgas-Brenner eingesetzt, so bietet es sich nach dem Feuerzeuggas bzw. Campinggas an, auch Erdgas und den Erdgas-Brenner zu betrachten. Zum einen lernen die Schülerinnen und Schüler ein weiteres brennbares Gas kennen, das sich jedoch in anderen Eigenschaften vom Feuerzeuggas unterscheidet und zum anderen wird die Bedienung des „Schulbrenners“ eingeführt. Wie schon beim Kartuschenbrenner, soll auch hier zunächst der Aufbau des verwendeten Brenners besprochen werden. In den Schullaboren findet man zwei unterschiedliche Erdgas-Brennertypen: den Bunsenbrenner und den Teclubrenner. Vergleichend kann auch der Aufbau des Kartuschenbrenners wiederholt werden.

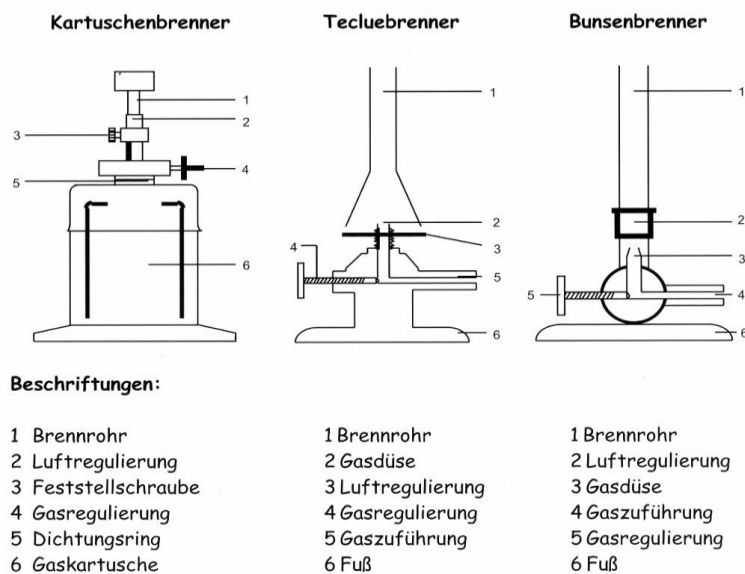


Abb.15: Aufbau der üblichen Brennerarten im Vergleich [31]

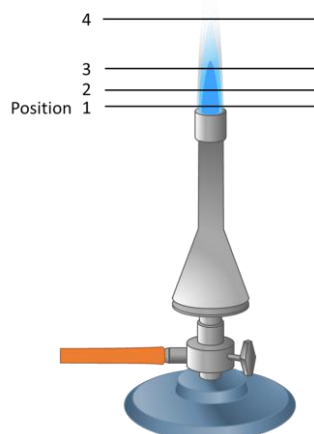
Anschließend soll der Brenner in Betrieb genommen und seine Handhabung geübt werden. Die Bedienung des Brenners kann analog zu Versuch 28a eingeführt werden. Dabei stellt sich bei den unterschiedlichen Flammen die Frage, wo die Brennerflamme am heißesten ist. Dieses Wissen wird im nächsten Versuch erlangt und ist notwendig, um richtiges und schnelles Erhitzen zu gewährleisten.

Versuch 28: Temperaturzonen der rauschenden Brennerflamme

Sicherheit: Schutzbrille tragen und lange Haare zusammen binden!

Geräte: Schutzbrille, Brenner, Streichhölzer, langer Holzspan

Durchführung: Am Brenner wird eine rauschende Flamme eingestellt. Der Holzspan wird nun mit beiden Händen an je einem Ende gefasst und um seine Längsachse ständig hin- und hergedreht. So wird er für etwa eine Sekunde waagrecht in verschiedenen Höhen in die Brennerflamme gehalten. Anschließend betrachtet man den Holzspan an der erhitzten Stelle.



Beobachtung: Der Holzspan wird in den verschiedenen Höhen an unterschiedlichen Zonen der Brennerflamme schwarz. Wird der Holzspan direkt über die Mündung des Brennerrohres gehalten, so entstehen links und rechts zwei schmale schwarze Streifen. Dazwischen bleibt der Holzspan unverändert. Je höher man den Holzspan hält, desto breiter werden die schwarzen Streifen. Hält man den Holzspan über den blauen Innenkegel, entsteht nur noch ein breiter schwarzer Streifen.

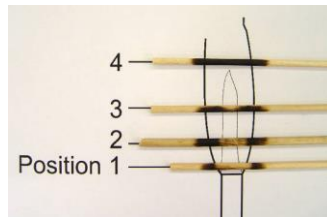


Abb.16: verkohlte Stellen am Holzspan in Abhängigkeit von der Flammenhöhe

Auswertung: Der Holzspan wird nur an den heißen Stellen schwarz, man sagt, er verkohlt. Mit Hilfe des Holzspans lassen sich zwei unterschiedliche Temperaturzonen in der rauschenden Brennerflamme entdecken. Die „kalte“ Zone befindet sich dabei im Innenkegel. In der folgenden Abb. ist der Aufbau der rauschenden Brennerflamme mit den Temperaturangaben nochmals schematisch dargestellt.

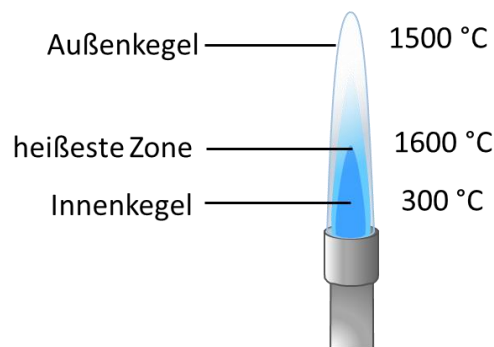


Abb.17: Flammenzonen eines Erdgas-Brenners und deren Temperaturen [32]

Didaktische Anmerkung: Man kann anstelle eines Holzspans auch einen Eisendraht oder ein Magnesia-Stäbchen nehmen. Dabei erhitzt man den Draht bzw. das Stäbchen waagrecht in verschiedenen Höhen der Flamme bis zum Glühen. Je schneller das Glühen in der entsprechenden Flammenzone zu sehen ist, desto heißer ist die Flamme dort. Hier wurde bewusst ein Holzspan verwendet, denn er besitzt zum einen die größere Alltagsrelevanz, zum anderen können die jeweiligen Abschnitte des Stabes zu Dokumentationszwecken (wie in Abb.16) von den Schülerinnen und Schülern auf eine Zeichnung der Flamme in das Heft geklebt werden.

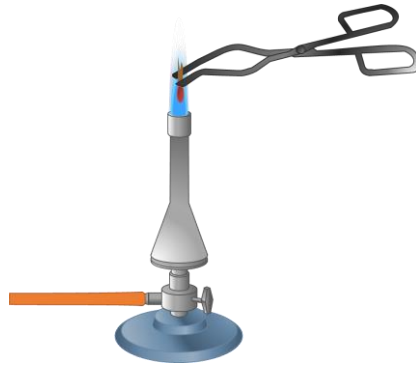
Um noch einmal eindrucksvoll zu zeigen, dass es beim Erhitzen eines Stoffes auf die richtige Stelle in der Flamme ankommt, kann versucht werden, ein Streichholzkopf, dessen Brennbarkeit den Schülerinnen und Schülern wohl bekannt ist, im Innenkegel zu entzünden.

Versuch 29: Entzünden eines Streichholzkopfes im Innenkegel einer Brennerflamme

Sicherheit: Schutzbrille tragen und lange Haare zusammen binden!

Geräte: Schutzbrille, Brenner, Streichhölzer, Tiegelzange

Durchführung: Das Streichholz wird etwa 1 cm unter dem Kopf abgebrochen. Mit Hilfe der Tiegelzange wird das gekürzte Streichholz senkrecht mit dem Kopf nach unten in den Innenkegel der rauschenden Flamme gehalten und einige Zeit gewartet. Anschließend hebt man das Streichholz langsam an und führt es aus dem Innenkegel in den Außenkegel.



Beobachtung: Der Streichholzkopf entzündet sich in dem Innenkegel nicht. Beim Herausführen aus dem Innenkegel fängt am oberen Ende das Holz an zu brennen. Der Streichholzkopf entzündet sich erst, wenn er kurz über der Spitze des Innenkegels gehalten wird.

Auswertung: Der Streichholzkopf kann in der kältesten Zone der rauschenden Flamme, dem Innenkegel, nicht entzündet werden. In der heißesten Zone, kurz über dem Innenkegel, entzündet er sich sofort.

Didaktische Anmerkungen: Dieser Versuch zeigt noch einmal sehr eindrucksvoll die unterschiedlichen Temperaturzonen in der Brennerflamme. Es kann mit den Schülerinnen und Schülern auch diskutiert werden, warum gerade im Innenkegel der Flamme die Temperatur so niedrig ist, dass sich der Streichholzkopf nicht entzündet. Dazu müsste dann allerdings auf die Bedeutung des Sauerstoffs für die Verbrennung und der Ausströmungsgeschwindigkeit des Gasgemisches eingegangen werden.

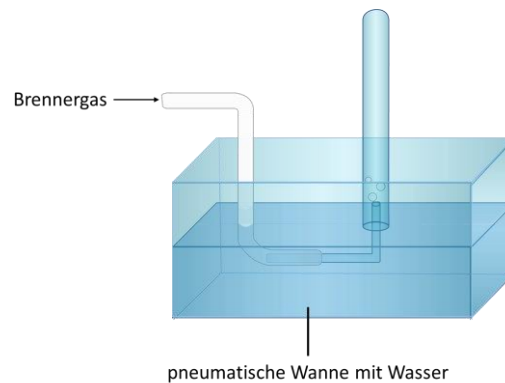
Im Folgenden soll nun das Gas genauer untersucht werden, dazu muss man es auffangen. Die Schülerinnen und Schüler machen dafür in der Regel diverse Vorschläge: die Benutzung eines Luftballons oder eines (angeblich) leeren Gefäßes, evtl. ist ihnen auch schon die Methode des pneumatischen Auffangens durch Verdrängen von Wasser bekannt. Man kann die Vor- und Nachteile der einzelnen Methoden diskutieren und falls nötig weitere vorstellen (z.B. mit Hilfe einer Spritze oder eines Kolbenprobers). Bei allen Methoden wird eine wesentliche (Körper)Eigenschaft ausgenutzt: auch Gase nehmen ein Volumen ein und verdrängen daher andere Körper (den Luftballon, die Luft oder das Wasser aus den Gefäßen, den Stempel der Spritze etc., sie passen sich jedoch der Form des „Gefäßes“ an. An dieser Stelle kann also wiederholend festgestellt werden, dass Gase Körper sind – und nach der Aussage „Körper bestehen aus Stoffen“ auch Stoffe. Das Gas kann hier bereits als Erdgas benannt werden. Im Anschluss kann man kurz einige Eigenschaften bestimmen. Zunächst soll das Gas pneumatisch aufgefangen werden, um auch Übung in dieser Methode des Auffangens von Gasen Übung zu erhalten.

Versuch 30: Pneumatisches Auffangen des Brennergases

Geräte: Brenner mit angeschlossener Gasableitung bzw. einen Schlauch zur Gasableitung direkt aus dem Gashahn, kleine pneumatische Wanne, Reagenzglas (30x200 mm), passender Stopfen, Reagenzglas (16x160 mm), passender Stopfen, Reagenzglasständer, Holzspan

Durchführung: Beide Reagenzgläser werden in der pneumatischen Wanne mit Wasser gefüllt und aufrecht mit der Öffnung nach unten hingestellt. Anschließend verbindet man die Gaszufuhr am Tisch mit einem Schlauch und hält das andere Schlauchende unter Wasser. Die Gaszufuhr ist vorsichtig zu öffnen, so dass nur kleine Gasblasen aus dem Schlauchende im Wasser austreten. Das ausströmende Gas wird in den Reagenzgläsern aufgefangen. Wenn beide vollständig gefüllt sind, wird die Gaszufuhr geschlossen und die Reagenzgläser noch unter Wasser mit den Stopfen verschlossen, aus der Wanne genommen und in den Reagenzglasständer gestellt. Nun kann man das Gas in dem kleinen Reagenzglas betrachten und einen Geruchstest vornehmen (durch Zufächeln!). Dann entzündet man einen Holzspan und hält ihn gleich nach dem Entfernen des Stopfens an die Reagenzglas­mündung des großen Reagenzglases.

Beobachtung: Das Brennergas (Erdgas) lässt sich durch Wasserverdrängung in den Reagenzgläsern auffangen, sie werden dabei vollständig mit dem Gas befüllt. Das Gas ist farblos wie Luft, jedoch nicht geruchlos. Es weist einen typischen Gasgeruch auf. Das Gas brennt an der Reagenzglas­mündung mit einer blassen Flamme.



Auswertung: Erdgas ist ein farbloses Gas(gemisch), welches einen typischen Geruch aufweist. Der Geruch wird dabei wieder durch beigemischte Geruchsstoffe verursacht. Kommt man mit einem brennenden Holzspan in die Nähe des Gases, entzündet es sich. Die entstehende Flamme ist das brennende Gas.

Didaktische Anmerkung: Die Schülerinnen und Schüler lernen in diesem Versuch neben der Methode des pneumatischen Auffangens auch Erdgas als einen chemischen Stoff kennen, der typische Eigenschaften besitzt.

Wie die Schülerinnen und Schüler bereits beim Feuerzeuggas gelernt haben, ist neben der Brennbarkeit auch die Dichte, vor allem im Vergleich zur Luft, z.B. in Bezug auf die Beurteilung seines Gefährdungspotenzials von Bedeutung. Es stellt sich nun die Frage, ob Erdgas wie Feuerzeuggas eine größere Dichte als Luft hat oder eine kleinere. Um das herauszufinden, können die Schülerinnen und Schüler aufgrund ihrer Vorkenntnisse mehrere Vorschläge unterbreiten:

- 1) analog zu Versuch 24 (Fernzündung kriechender Gase), wobei hier keine zurückschlagende Flamme beobachtet werden kann,
- 2) quantitativ analog zu Versuch 26 (Ermittlung der Dichte mit Hilfe einer Spritze)

Dabei können beispielsweise folgende Werte gemessen werden:

Leergewicht Spritze	71,219 g
Spritze mit Luft	71,345 g
Spritze mit Erdgas	71,280 g



Daraus ergibt sich die folgende Auswertung:

	Masse der Gasportion	Dichte in g/mL	Dichte in g/L	Literaturwert (0°C)
Luft	0,126 g	0,00126 g/mL	1,26 g/L	1,293 g/L [33, s. 2453]
Erdgas	0,061 g	0,00061 g/mL	0,61 g/L	0,7-0,97 g/L [34]

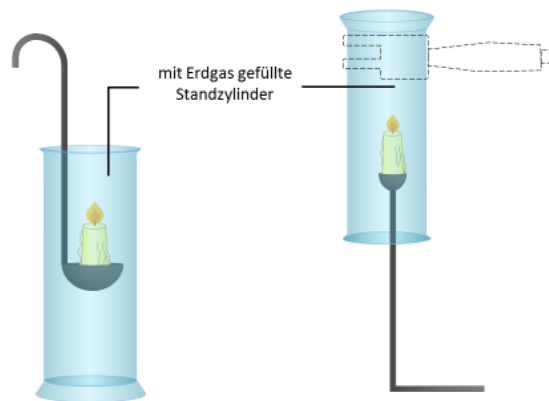
- 3) qualitativ, im Vergleich zu Luft, wie es im nächsten Versuch beschrieben ist.

Versuch 31: Qualitativer Vergleich der Dichten von Erdgas und Luft

Geräte: 2 Standzylinder, Stativmaterial, Kerze auf einem Grundbrettchen mit einem Metalldraht, Kerze in einem Verbrennungslöffel

Chemikalien: Erdgas (GHS02 , GHS04 )

Durchführung: Ein Standzylinder wird mit der Öffnung nach unten so eingespannt, dass zwischen Tischplatte und Öffnung genügend Platz ist, um eine Kerze mit Hilfe des Drahtes ungehindert einschieben zu können. Der andere Zylinder bleibt mit der Öffnung nach oben auf dem Tisch stehen. Nun werden beide Zylinder mit Erdgas befüllt, indem man den Schlauch zunächst bis auf den Boden des Zylinders führt und ihn langsam herauszieht. Nach wenigen Minuten wird mit einer brennenden Kerze überprüft, in welchem Zylinder sich noch Erdgas befindet, indem eine Kerze mit der entsprechenden Befestigung mehrmals in die Zylinder ein- und wieder herausgeführt wird.



Beobachtung: Beim Einführen der Kerze in den Standzylinder mit der Öffnung nach unten entzündet sich das Erdgas, so dass kurz Flammen an der äußeren Seite des Standzylinders hochschlagen. Führt man die Kerze weit in den Standzylinder ein, erlischt sie. Zieht man sie wieder heraus, fängt sie am Flammensaum wieder an zu brennen. Dieses Spiel lässt sich bei zügigem Ein- und wieder Herausführen der Kerze mehrmals wiederholen. Außerdem erkennt man an den Seitenwänden des Standzylinders einen deutlichen Beschlag.

Führt man die Kerze auf dem Verbrennungslöffel in den Standzylinder mit der Öffnung nach oben, so entzündet sich kein Erdgas, die Kerzenflamme erlischt auch im Innern des Standzylinders nicht.

Auswertung: Erdgas hat offenbar eine geringere Dichte als Luft und bleibt daher im Standzylinder mit der Öffnung nach unten. Es entzündet sich an der Kerzenflamme. Innerhalb der Erdgas-Atmosphäre erlischt die Kerze, man sagt, Erdgas ist nicht brandfördernd. Das Erdgas in dem Standzylinder mit der Öffnung nach oben hat sich in der Zeit verflüchtigt.

Didaktische Anmerkung: Neben dem Vergleich der Dichte von Erdgas und Luft führt dieser Versuch außerdem noch zu der Erkenntnis, dass Erdgas zwar brennbar ist, die Verbrennung selbst aber nicht fördert, d.h. dass in reinem Erdgas keine Verbrennung möglich ist.

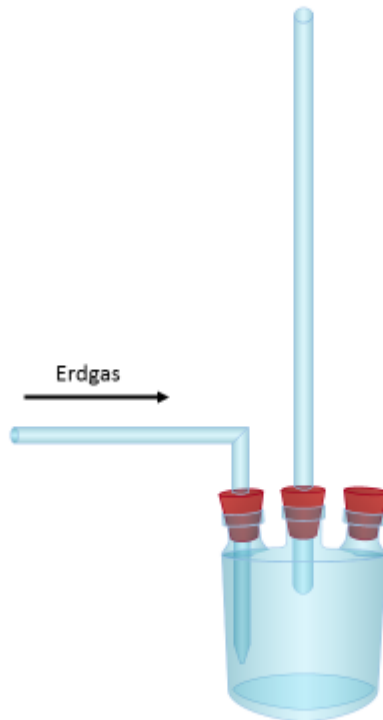
Selbstverständlich sollen sich die Schülerinnen und Schüler analog zum Feuerzeuggas auch mit dem Gefahrenpotenzial von Erdgas beschäftigen. Gerade durch den Einsatz von Erdgas als Heizgas in vielen Haushalten, ist es wichtig, mit ihnen geeignete Vorsichtsmaßnahmen zu besprechen. Immer wieder gibt es Unfälle, die durch Lecks in Gasleitungen häufig tödlich enden und immer einen großen Schaden anrichten. Erdgas muss daher mit dem Gefahrenpiktogramm für „Hochentzündlich“ gekennzeichnet werden. Um die Explosionswucht von Erdgas zu verdeutlichen, kann man eine solche demonstrieren.

Versuch 32: Demonstration einer Erdgas-Explosion

Geräte: dickwandige Woulffsche Flasche, passender Stopfen mit Steigrohr, Gummistopfen, gewinkeltes Glasrohr

Chemikalien: Erdgas (GHS02 , GHS04)

Durchführung: Das Steigrohr wird in der mittleren Öffnung der Woulffschen Flasche befestigt und eine seitliche Öffnung mit einem Gummistopfen verschlossen. Durch die dritte Öffnung wird Erdgas über das gewinkelte Rohr eingeleitet. An der Spitze des Steigrohres wird das Gas (nach negativem Ausfall der Knallgasprobe) entzündet. Dann unterbricht man die Gaszufuhr und entfernt das Gaseinleitungsrohr aus der Öffnung.



Beobachtung: Das Erdgas brennt am oberen Ende des Steigrohres mit gelb leuchtender Flamme, welche langsam kleiner wird und sich schließlich in das Rohr hineinzieht. Man erkennt im Steigrohr einen blauen Flammensaum, der schnell nach unten in die Flasche wandert, wo die Flamme eine hör- und sehbare Verpuffung erzeugt.

Auswertung: Da Erdgas eine geringere Dichte als Luft hat, steigt es im Steigrohr nach oben, wo es mit leuchtender Flamme verbrennt. Gleichzeitig dringt durch die offene Flaschenöffnung Luft ein. Sie bildet mit dem Erdgas in der Flasche ein explosives Gemisch, das durch die absinkende Flamme entzündet wird und explodiert.

Didaktische Anmerkung: Der Versuch sollte im verdunkelten Zimmer durchgeführt werden, damit man die absinkende Flamme deutlich erkennt. Die Flamme kann erlöschen, wenn der Innendurchmesser des Glasrohres zu gering ist. Ansonsten zeigt dieser Versuch sehr schön, dass reines Erdgas ruhig abbrennt, während ein Erdgas-Luft-Gemisch, wie es bei einem Leck in der Gasleitung schnell entstehen kann, explodiert.

Zusätzlich zu den Kennbuchstaben und -symbolen werden Gefahrstoffe mit den so genannten H- und P-Sätzen versehen. Bei Erdgas sind folgende H- und P-Sätze zu finden:

H220: Extrem entzündbares Gas.

H280: Enthält Gas unter Druck; kann bei Erwärmung explodieren.

P210: Von Hitze/Funken/offener Flamme/heißen Oberflächen fernhalten. Nicht rauchen.

P377: Brand von ausströmendem Gas: Nicht löschen, bis Undichtigkeit gefahrlos beseitigt werden kann.

P381: Alle Zündquellen entfernen, wenn gefahrlos möglich.

P403: An einem gut belüfteten Ort aufbewahren.

Der erste P-Satz sollte zu einer Aufzählung führen, wo Funken im Alltag entstehen können (beispielsweise in allen elektrischen Geräten und Anlagen, sogar schon beim Betätigen des Lichtschalters oder der Klingel).

Die bisherigen Kenntnisse zu Erdgas können analog zum Feuerzeuggas in einem Steckbrief festgehalten werden.


Eigenschaften	Erdgas
Aggregatzustand bei Zimmertemperatur	Gasförmig
Farbe	Farblos
Geruch	typischer Gasgeruch (aufgrund der beigemischten Geruchsstoffe)
Brennbarkeit	Brennbar
Dichte im Vergleich zur Luft	hat eine geringere Dichte als Luft (0,61 g/L)
Gefahrenbezeichnung	hochentzündlich, d.h. bildet mit Luft explosive Gemische
Gefahrenpiktogramme	
H-Sätze	H220: Extrem entzündbares Gas. H280: Enthält Gas unter Druck; kann bei Erwärmung explodieren.
P-Sätze	P210: Von Hitze/Funken/offener Flamme/heißen Oberflächen fernhalten. Nicht rauchen. P377: Brand von ausströmendem Gas: Nicht löschen, bis Undichtigkeit gefahrlos beseitigt werden kann. P381: Alle Zündquellen entfernen, wenn gefahrlos möglich. P403: An einem gut belüfteten Ort aufbewahren.
Bemerkungen	ungiftig fördert die Verbrennung nicht

Tab. 8: Steckbrief von Erdgas

Zum Abschluss der Betrachtung von Erdgas sollten noch die Sicherheitsmaßnahmen im Umgang mit Erdgas im Haushalt bzw. Verhaltensregeln im Notfall besprochen werden. Dazu kann den Schülerinnen und Schülern der Auftrag geben werden, sich beim örtlichen Gasversorger oder auf dem gelben Informationszettel, der an jedem Gaszähler zu finden ist, zu informieren. Ein Beispiel für einen solchen Informationszettel zeigt die Abb. 18.

GAS

Sofort anrufen:
(03 81)8 05-17 79
oder Notruf 112



**STADTWERKE
ROSTOCK AG**

Vorsichtsmaßnahmen bei Gasgeruch

- Türen und Fenster weit öffnen.
- Gaszufuhr am Gaszähler sperren oder notfalls die Hauptabsperreinrichtung schließen.
- In Räumen mit Gasgeruch nicht telefonieren!
- Kein offenes Licht, nicht rauchen, keine Schalter, Türklingeln und Elektrogeräte betätigen.
- Räume mit Gasgeruch meiden, im Zweifelsfall müssen alle Personen das Gebäude verlassen.
- Informieren Sie die Nachbarn. Überprüfen Sie, ob sich im Gebäude hilflose Personen befinden.
- Verständigen Sie sofort:
Stadtwerke Rostock AG, Schmarler Damm 5, in Rostock.

Die Leitstelle Gas mit der oben angegebenen Rufnummer ist rund um die Uhr besetzt!

Abb.18: Gelber Informationszettel am Gaszähler des örtlichen Gasversorgers

5.3 Kohlenstoffdioxid, Helium und Luft im Vergleich

Neben dem Feuerzeuggas befanden sich noch weitere Gase auf dem Tisch mit den Partyutensilien. Das folgende Bild (Abb. 19) zeigt die mögliche Sortierung der Partyutensilien nach dem gasförmigen Aggregatzustand.



Abb. 19: Gasförmige Stoffe vom Tisch mit den Partyutensilien

Die Untersuchung der restlichen Gase (Kohlenstoffdioxid, Helium, Luft) dient zur Anwendung der bisher erworbenen Kenntnisse über die Untersuchungsmethoden und sollte möglichst selbständig durch die Schülerinnen und Schüler erfolgen. Es ist aber auch möglich, Fragen der Schülerinnen und Schüler, die sich aus der Verwendung der Gase ergeben, als Leitlinie zu verwenden. Folgende Fragen könnten die Schülerinnen und Schüler stellen:

- Warum kann man mit Kohlenstoffdioxid Feuer löschen?
- Wie bedient man einen Feuerlöscher?
- Was hat Kohlenstoffdioxid mit Mineralwasser zu tun?
- Warum fliegt ein Heliumballon und ein Luftballon nicht?
- Ist Helium ein brennbares Gas?
- (Wo kommen Helium und Kohlenstoffdioxid vor?)

Die ersten Eigenschaftsuntersuchungen, die die Schülerinnen und Schüler bereits allein erarbeiten und durchführen können, sind sicherlich die zu Farbe, Geruch, Dichte und der Brennbarkeit. Es ist dabei sinnvoll erst die Dichte zu untersuchen, um danach festzulegen, wo die Öffnung des Gefäßes sein muss, damit man das Gas z.B. in einem Standzylinder sammeln kann.

Versuch 33: Ermittlung der Dichte von Kohlenstoffdioxid und Helium

Kurzbeschreibung: Analog zu Versuch 26 (Ermittlung der Dichte mit Hilfe einer Spritze) wird die Spritze zunächst evakuiert und gewogen. Anschließend wiegt man die Spritze zunächst mit Helium und dann mit Kohlenstoffdioxid. Dabei können beispielsweise folgende Werte gemessen werden:

Leergewicht Spritze	71,214 g
Spritze mit Helium	71,230 g
Spritze mit Kohlenstoffdioxid	71,408 g

Daraus ergibt sich die folgende Auswertung:

	Masse der Gasportion	Dichte in g/mL	Dichte in g/L	Literaturwert (0°C)
Helium	0,016 g	0,00016 g/mL	0,16 g/L	0,178 g/L [33, S. 953]
Kohlenstoffdioxid	0,194 g	0,00194 g/mL	1,94 g/L	1,977 g/L [33, S. 953]

Man kann den Schülerinnen und Schülern nach der Ermittlung der Dichte mitteilen, dass Helium eines der Gase mit der geringsten Dichte ist (nur Wasserstoff besitzt eine noch geringere Dichte). Daher wird es als Füllgas in Luftschiffen und Ballons eingesetzt.

Versuch 34: Ermittlung der Brennbarkeit von Luft, Helium und Kohlenstoffdioxid

Kurzbeschreibung: Wie in Versuch 32 wird ein Standzylinder mit der Öffnung nach unten eingespannt. Zwei weitere Standzylinder stehen mit der Öffnung nach oben auf dem Tisch. Der eingespannte Zylinder wird mit Helium gefüllt und ein stehender mit Kohlenstoffdioxid. Anschließend führt man eine brennende Kerze auf einem Grundbrettchen bzw. auf einem Verbrennungslöffel nacheinander in die Standzylinder ein und zieht sie langsam wieder heraus. Bei Helium und Kohlenstoffdioxid erlischt die Kerze. In Luft brennt sie wie gewohnt weiter. Es ist also herauszustellen, dass Kohlenstoffdioxid, Luft und Helium keine brennbaren Gase sind, die Luft aber die Verbrennung fördert, während Helium und Kohlenstoffdioxid Flammen ersticken.

Die flammenerstickende Wirkung des Kohlenstoffdioxids kann man zusammen mit der größeren Dichte ausnutzen, um den Schülerinnen und Schülern einen angeblichen „Zaubertrick“ zu demonstrieren.

Versuch 35: Zauberei? - Kohlenstoffdioxid „umgießen“

Geräte: 2 hohe 150-mL-Bechergläser, Teelicht, Stabfeuerzeug

Chemikalien: Kohlenstoffdioxid (GHS04 )

Durchführung: Man befüllt ein Becherglas mit Kohlenstoffdioxid. Anschließend stellt man das Teelicht in das andere Becherglas und entzündet es mit Hilfe eines Stabfeuerzeuges oder eines brennenden Spans. Nun „gießt“ man das Kohlenstoffdioxid aus dem ersten Becherglas in das Becherglas mit der brennenden Kerze.

Beobachtung: Kohlenstoffdioxid ist ein farbloses Gas. Gießt man es auf eine Kerzenflamme, erlischt sie.

Auswertung: Kohlenstoffdioxid lässt sich aufgrund der im Vergleich zur Luft größeren Dichte in einem Becherglas mit der Öffnung nach oben sammeln und daraus in ein anderes Becherglas „gießen“. Dabei verdrängt es die Luft aus dem Becherglas und die Kerze erlischt, da Kohlenstoffdioxid Flammen erstickt.

Didaktische Anmerkung: In diesem attraktiven Versuch werden die gewonnenen Erkenntnisse genutzt, um einen beliebten Schauversuch aufzuklären.

Nach der Untersuchung zur Brennbarkeit bietet sich eine Einführung in den Umgang mit Feuerlöschern an. Die Frage, warum man in Feuerlöschern Kohlenstoffdioxid und nicht Helium verwendet, lässt sich aufgrund der Dichte erklären.

Weitere Versuche können motiviert werden, indem die Schülerinnen und Schüler die Vorkommen von Kohlenstoffdioxid und Helium recherchieren. Während Kohlenstoffdioxid zu 0,035 Vol.-% [33, S.2453] in der Luft enthalten ist und bei vielen industriellen Prozessen (z.B. in Abgasen von Brennstoffen) entsteht, kommt Helium nur in Spuren in der Luft vor (0,0005 Vol.-% [33, S. 2453]. Größere Heliummengen findet man in Erdgasen, wo es in Konzentrationen von bis zu 7,5 Vol.-% enthalten sein kann. Auf der Erde ist Helium seltener als Gold, Silber und Platin, im Weltall jedoch der zweithäufigste Stoff [33, S. 1719]. Schon bei dieser Recherche wiederholen die Schülerinnen und Schüler, dass es sich bei der Luft um ein Gasgemisch handelt. Die Zusammensetzung kann wie folgt angegeben werden (nach [33, S. 2453]:

Luftzusammensetzung in Vol.-%	
Stickstoff	78,08
Sauerstoff	20,95
Kohlenstoffdioxid	0,035
andere Gase	0,935

Außer in Feuerlöschern wird Kohlenstoffdioxid auch zum Herstellen von sprudelnden Getränken verwendet. Auch dieses werden die Schülerinnen und Schüler bei ihrer Recherche zum Vorkommen sicher herausfinden. Aber auch auf dem Tisch mit den Partyutensilien stand ein so genannter „Wasser-Maxx“. Bei einer Betrachtung der Funktionsweise dieses Gerätes können die Schülerinnen und Schüler selbst erarbeiten, dass dabei das Gas Kohlenstoffdioxid mit Druck in das Wasser gepresst wird. Danach kann man in dem Getränk viele aufsteigende Gasblasen beobachten. Es liegt die Vermutung nahe, dass es sich dabei um Kohlenstoffdioxid handelt. Dies kann in einem Versuch auch bei käuflichem Mineralwasser untersucht werden.

Versuch 36: Ausschütteln von Kohlenstoffdioxid aus Mineralwasser

Geräte: durchbohrter Stopfen mit Gasableitungsrohr und -schlauch, passend für die Mineralwasser-Flasche, 2 hohe 150-ml-Bechergläser, Teelicht, Stabfeuerzeug

Chemikalien: eine neue Flasche kohlenensäurehaltiges Mineralwasser

Durchführung: Zunächst gießt man etwas von dem Mineralwasser in ein Becherglas, um die Flasche ein wenig zu leeren. Dann setzt man den durchbohrten Stopfen auf die Flasche. Anschließend stellt man das Teelicht in das andere Becherglas und entzündet es mit Hilfe eines Stabfeuerzeuges oder eines brennenden Spans. Nun hält man den Schlauch seitlich neben das Teelicht und schüttelt die Mineralwasser-Flasche so, dass keine Flüssigkeit durch den Schlauch gelangt.



Beobachtung: Beim Öffnen der Mineralwasserflasche ist ein Zischen zu hören und man erkennt anschließend viele Gasblasen im Mineralwasser aufsteigen, die sich vor allem an den Wänden und auf dem Boden der Flasche bilden. Durch Schütteln werden die Bildung und das Aufsteigen von Gasblasen verstärkt. Die Kerze erlischt nach kurzem Schütteln.

Auswertung: Das Zischen beim Öffnen der Flasche weist auf einen Überdruck in der Flasche hin. Erst danach bilden sich die Gasblasen. Durch Schütteln verstärkt man das Austreiben des Gases aus dem Mineralwasser. Es verdrängt die Luft in dem Becherglas mit der Kerze, wobei diese erlischt. Das Erlöschen der Kerze bestätigt die Vermutung, dass es sich bei dem Gas im Mineralwasser um Kohlenstoffdioxid handelt.

Didaktische Anmerkung: Dieser Versuch zeigt, dass sich in den Gasblasen im Mineralwasser Kohlenstoffdioxid befindet. Zudem bahnt es Versuche zur Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid (in Abhängigkeit vom Druck) an.

Auch in allen anderen sprudelnden Getränken ist Kohlenstoffdioxid unter Druck gelöst, dabei ist die Löslichkeit stark druck- und temperaturabhängig:


Temperatur	Löslichkeit in 1 L Wasser	Druck	Löslichkeit in 1 L Wasser
0 °C	1,71 L	1 bar	1 L
10 °C	1,19 L	2 bar	2 L
20 °C	0,88 L	3 bar	3 L
60 °C	0,27 L	4 bar	4 L

Tab.9: Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid in Wasser in Abhängigkeit von der Temperatur und dem Druck [33, S. 2191]

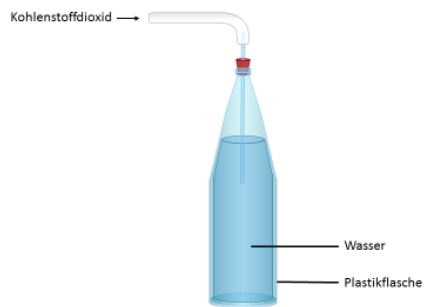
Dass sich Kohlenstoffdioxid bereits bei Normaldruck (1 bar) in beträchtlichen Mengen in Wasser löst, kann man durch folgenden Versuch demonstrieren.

Versuch 37: Demonstration der Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid in Wasser (nach [35])

Geräte: zwei flexible 0,5-L-PET-Flaschen, Schlauch, Wasserkocher, Thermometer, 100-mL-Messzylinder

Chemikalien: gekühltes Wasser, Kohlenstoffdioxid (GHS04 )

Durchführung: Mit Hilfe des Wasserkochers stellt man sich etwa 60 °C warmes Wasser her. Anschließend befüllt man die eine PET-Flasche mit 200 mL warmen Wasser und die andere mit 200 mL etwa 10 °C kaltem Wasser. Dann verdrängt man die Luft aus den Flaschen vorsichtig mit Kohlenstoffdioxid. Beide Flaschen werden verschlossen und gleichzeitig kräftig geschüttelt.



Beobachtung: Beim Schütteln beult sich die Flasche mit dem kalten Wasser mit einem hörbaren Geräusch nach innen ein, so dass sie nicht länger rund erscheint. Von der richtigen Seite aus betrachtet, ist sie nun abgeflacht. Die Flasche mit dem warmen Wasser beult sich auch ein, aber weitaus weniger als die mit dem kalten Wasser.



Abb. 20: Kohlenstoffdioxid löst sich in Wasser, wodurch die Flaschen einbeulen




Auswertung: Das Schütteln sorgt für einen intensiven Kontakt zwischen dem Kohlenstoffdioxid und dem Wasser, wodurch sich Kohlenstoffdioxid in Wasser löst. Dadurch entsteht im Innern der Flasche ein Unterdruck mit dem Ergebnis, dass sich die flexible Flasche nach innen einbeult. In kaltem Wasser kann sich mehr Kohlenstoffdioxid lösen als in warmen Wasser (siehe Tab.), wodurch sich die Flasche mit dem kalten Wasser stärker einbeult.

Didaktische Anmerkung: Dieser Versuch zeigt anschaulich die Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid in unterschiedlich temperiertem Wasser. Da nur 0,1 % des gelösten Kohlenstoffdioxids mit dem Wasser zu Kohlensäure reagiert, ist es hier durchaus legitim, den Versuch zunächst nur in Bezug auf die physikalische Löslichkeit zu deuten.

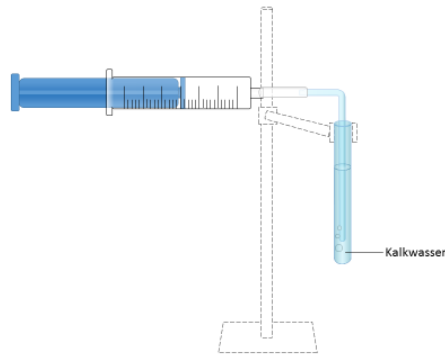
Bisher wurde das Gas Kohlenstoffdioxid nur an seiner erstickenden Wirkung erkannt. Dieser Nachweis ist jedoch nicht eindeutig, da beispielsweise auch Helium nicht brennbar ist und Flammen erstickt, wie die Schülerinnen und Schüler bereits wissen. Der chemische Nachweis erfolgt durch Kalkwasser. Eventuell ist er auch schon aus dem Biologieunterricht (Atmung) bekannt. Danach können weitere Vorkommen von Kohlenstoffdioxid untersucht werden.

Versuch 38: Nachweis von Kohlenstoffdioxid mit Kalkwasser

Geräte: 2 Reagenzgläser (16x160 mm), Reagenzglasständer, Silikonschlauch, Glasrohr mit ausgezogener Spitze, Kolbenprober

Chemikalien: Kalkwasser (gesättigte Calciumhydroxid-Lösung; GHS05 , GHS07 , Kohlenstoffdioxid (GHS04 )

Durchführung: Die Reagenzgläser werden mit etwa 5 mL Kalkwasser befüllt (ca. ¼ gefüllt). Nun leitet man Kohlenstoffdioxid mit Hilfe des Kolbenprobers über das Glasrohr mit ausgezogener Spitze in das Kalkwasser ein, bis eine Veränderung zu beobachten ist. Anschließend werden etwa 50 mL Luft in das noch unbenutzte Kalkwasser in dem zweiten Reagenzglas eingeleitet.



Beobachtung: Kohlenstoffdioxid ist ein farb- und geruchloses Gas, welches sich in einem Kolbenprober auffangen lässt. Beim Einleiten von Kohlenstoffdioxid (ca. 5-10 mL) trübt sich Kalkwasser weiß. Leitet man Luft durch Kalkwasser lässt sich keine Trübung feststellen.

Auswertung: Kohlenstoffdioxid lässt sich durch Einleiten in Kalkwasser nachweisen. Dabei trübt sich das Kalkwasser weiß, man sagt, es entsteht ein weißer Niederschlag. In Luft lässt sich mit dieser Methode kein Kohlenstoffdioxid nachweisen.

Didaktische Anmerkung: In diesem Versuch lernen die Schülerinnen und Schüler den Nachweis für Kohlenstoffdioxid kennen, wenn er nicht schon aus dem Biologieunterricht bekannt ist. Dann dient er der Wiederholung in Bezug auf die Durchführung, Beobachtung und Schlussfolgerung. Es ist in jedem Fall darauf zu achten, dass nicht zu viel Kohlenstoffdioxid in das Kalkwasser eingeleitet wird. Bei großem Überschuss an Kohlenstoffdioxid reagiert es auch mit dem Wasser zu Kohlensäure, die den bereits vorhandenen Niederschlag wieder auflöst.

Obwohl Kohlenstoffdioxid in Versuch 38 nicht in der Luft nachgewiesen werden konnte, wissen die Schülerinnen und Schüler aber bereits, dass es dennoch zu einem geringen Teil in der Luft vorhanden ist. Auch das kann man mit Kalkwasser zeigen.

Versuch 39: Nachweis von Kohlenstoffdioxid in der Luft

Kurzbeschreibung: Eine Petrischale mit Kalkwasser wird über einen längeren Zeitraum (mind. ein Tag) offen an der Luft stehen gelassen. Dabei bilden sich auf der Oberfläche des Kalkwassers kleine weiße Kristalle. Sie sind der Nachweis dafür, dass Kohlenstoffdioxid auch in der Luft enthalten ist. Da die Menge an Kohlenstoffdioxid aber relativ gering ist, dauert der Nachweis etwas länger.

Dennoch ist der geringe Anteil von 0,035 Vol.-% von großer Bedeutung für die Erde. Das Kohlenstoffdioxid absorbiert die durch das Sonnenlicht an der Erdoberfläche entstehende Wärmestrahlung und trägt dadurch zu der Erwärmung der Erdoberfläche bei (so genannter „natürlicher Treibhauseffekt“). Ohne den Treibhauseffekt wäre auf der Erde aufgrund der tiefen Temperaturen kaum Leben möglich. Heutzutage wird der Begriff „Treibhauseffekt“ aber eher negativ beurteilt. Dies liegt daran, dass seit der Industrialisierung Anfang des 19. Jahrhunderts der Anteil an Kohlenstoffdioxid in der Atmosphäre steigt (von 1960 bis 1990 um fast 12 %). Die Konsequenz ist eine kontinuierlich steigende Erwärmung der Erdoberfläche, wodurch weltweite Klimaänderungen zu beobachten sind. Als Ursachen für den Anstieg werden die verstärkte Verbrennung fossiler Brennstoffe sowie großflächige Waldrodungen gesehen (nach [33, S. 2192f.]). Dass Kohlenstoffdioxid an vielen Alltagsprozessen beteiligt ist und sogar bei der menschlichen Atmung entsteht, zeigen die nächsten Versuche.

Versuch 40: Nachweis des erhöhten Kohlenstoffdioxid-Anteils in der „Ausatemluft“

Geräte: 2 Reagenzgläser (16x160 mm), Reagenzglasständer, Kolbenprober, Silikonschlauch, Glasrohr mit ausgezogener Spitze

Chemikalien: Kalkwasser (gesättigte Calciumhydroxid-Lösung; GHS05 , GHS07)

Durchführung: Die Reagenzgläser werden mit etwa 5 mL Kalkwasser befüllt. Nun leitet man zunächst 100 mL Luft mit Hilfe des Kolbenprobers über das Glasrohr mit ausgezogener Spitze in das Kalkwasser ein. Anschließend füllt man den Kolbenprober mit „Ausatemluft“ und leitet diese in das noch unbenutzte Kalkwasser in dem zweiten Reagenzglas ein.



Beobachtung: Beim Einleiten von Luft in Kalkwasser ist keine Veränderung zu beobachten. Im Gegensatz dazu trübt sich bei der „Ausatemluft“ das Kalkwasser weiß.

Auswertung: Der geringe Anteil von Kohlenstoffdioxid in der 100 mL Luft führt bei Kalkwasser noch nicht zu einer Trübung. In der „Ausatemluft“ muss der Kohlenstoffdioxid-Anteil aber höher sein, denn das Kalkwasser trübte sich weiß. Bei der Atmung finden also Prozesse statt, bei denen Kohlenstoffdioxid entstehen.

Didaktische Anmerkung: In diesem Versuch wiederholen die Schülerinnen und Schüler ihre Kenntnisse über die Atmung aus dem Biologieunterricht. Die vom Menschen ausgeatmete Luft enthält etwa 4 % Kohlenstoffdioxid [33, S. 2192].

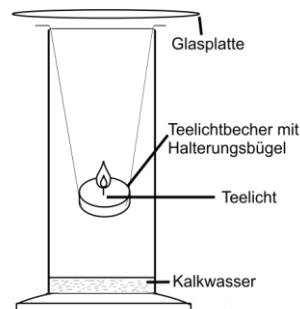
Versuch 41: Kohlenstoffdioxid als Verbrennungsprodukt

Geräte: 2 gleiche Standzylinder, 2 Glasplatten zum Abdecken, Teelicht, Drähte, Nagel

Chemikalien: Kalkwasser (GHS05 , GHS07 )

Vorbereitung: Man entfernt zunächst das Teelicht aus seinem Gehäuse. Dann wird das Teelichtgehäuse seitlich mit Hilfe des Nagels mit zwei sich gegenüber befindlichen Löchern versehen. In diese Löcher befestigt man die Drähte, die dann als Halterungsbügel für den Standzylinder dienen. Danach kann man das Teelicht wieder einsetzen.

Durchführung: Man gibt in beide Standzylinder einige Milliliter Kalkwasser. Anschließend entzündet man das Teelicht, hängt es in einen Standzylinder und deckt ihn nach kurzer Zeit mit der Glasplatte ab. Ist die Flamme erloschen, wird das Teelicht aus dem Standzylinder entfernt, dieser wieder abgedeckt und kräftig geschüttelt. Zum Vergleich wird auch der „unbenutzte“ Standzylinder mit dem Kalkwasser geschüttelt.



Beobachtung: Nachdem die Glasplatte aufgelegt wurde, beschlägt zunächst die Innenwand des Standzylinders, dann erlischt die Kerze. Beim Schütteln des Standzylinders trübt sich das Kalkwasser weiß. In dem unbenutzten Standzylinder bleibt das Kalkwasser klar.

Auswertung: Bei der untersuchten Verbrennung von Kerzenwachs entsteht kurzzeitig ein Beschlag von einer Flüssigkeit sowie nachweislich das Gas Kohlenstoffdioxid.

Didaktische Anmerkung: Wesentliche Erkenntnis aus diesem Versuch sollte die Tatsache sein, dass das Treibhausgas Kohlenstoffdioxid bei vielen Verbrennungen entsteht.

Zum Abschluss der Behandlung von Kohlenstoffdioxid kann man noch das so genannte Trockeneis, also Kohlenstoffdioxid in fester Form, thematisieren. Manche Großmärkte bieten ihren Kunden kleinere Mengen Trockeneis an, um die erstandenen tiefgekühlten Waren nach Hause zu transportieren. Größere Mengen geben sie dann auch zu den Herstellungs- bzw. Lieferpreisen ab. Auf die folgende Weise kann man sich Trockeneis auch im Unterricht einfach selbst herstellen.

Versuch 42: Herstellen von Trockeneis mit einem Trinkwassersprudler

(modifiziert nach [36] und [37])

Geräte: Stativ, Klemme, Muffe, Trinkwassersprudler (z. B. SodaStream© oder WasserMaxx©), 100-ml-Plastikspritze, Gummi- oder Silikonschlauch (Innendurchmesser: 5 bis 6 mm), Spatel, Serviette

Durchführung: Der Silikon- oder Gummischlauch wird über das Auslassventil gestülpt und das zweite Schlauchende auf die Düse der Spritze (ohne Stempel) aufgeschoben. Dann spannt man den Trinkwassersprudler über Kopf in ein Stativ ein (siehe Abbildung).

Nun drückt man die Spritzenöffnung fest auf die Serviette und betätigt den Schalter für das Auslassventil beim Trinkwassersprudler für 2-3 Sekunden. Dann klopft man die Spritze mit dem Spatel ab, um ggf. festsitzendes Trockeneis zu lösen.



Beobachtungen: Kurz nach dem Betätigen des Auslassventils schlägt sich ein weißer, pulverförmiger Feststoff auf der Serviette nieder. Dieser lässt sich einfach durch leichtes Klopfen aus dem Spritzenkörper entfernen.

Auswertung: In der Stahlflasche befindet sich zum Teil flüssiges, zum Teil gasförmiges Kohlenstoffdioxid unter hohem Druck. Wenn die Flasche auf dem Kopf eingespannt ist, strömt beim Betätigen des Ventils flüssiges Kohlenstoffdioxid aus, welches bei Raumtemperatur unmittelbar verdampft. Dadurch kühlt das Kohlenstoffdioxid weiter ab, so dass eine erneuter Aggregatzustandswechsel von gasförmig zu fest eintritt.

Fachliche Informationen: Die Kohlenstoffdioxid-Gasflaschen stehen unter hohem Druck (ca. 57 bar bei 20°C), weshalb gasförmiges und flüssiges Kohlenstoffdioxid in der Flasche vorliegen [3]. Steht die Flasche auf dem Standfuß, so entweicht nur gasförmiges Kohlenstoffdioxid. Wird die Flasche über Kopf gehalten, so kann flüssiges Kohlenstoffdioxid entweichen, welches bei Raumtemperatur und Atmosphärendruck sofort verdampft (Verdampfungsenthalpie) und sich auf unter -79°C abkühlt (Joule-Thomson-Effekt). Durch den Temperaturabfall wird die Phasengrenze (siehe Abb.1) vom gasförmigen zum festen Aggregatzustand überschritten (Resublimation). Es sammelt sich Trockeneis in der Spritze an. Der weiße Nebel entsteht durch das Kondensieren der Luftfeuchtigkeit an dem kalten, gasförmigen Kohlenstoffdioxid (Aerosol aus Wassertröpfchen und Kohlenstoffdioxid-Luft-Gemisch).

Achtung: Trockeneis nicht in die Hände nehmen! Kurzfristig ist dies zwar aufgrund des Leidenfrost-Effektes möglich, aber wenn die durch Sublimation entstandene, schützende Gasschicht durchdrungen wird, kann es in wenigen Sekunden zu einer Kälteverbrennung kommen, wodurch die in Kontakt stehende Haut abstirbt.

Die Kohlenstoffdioxid-Gasflaschen stehen unter hohem Druck (ca. 57 bar bei 20°C) weshalb sie nur an vor Sonnenlicht geschützten Orten aufzubewahren sind.

Das Auslassventil nicht zu lange gedrückt halten (max. 2-3 Sekunden). Kurz pausieren und erst dann wieder betätigen. Andernfalls kann die Apparatur kurzfristig durch festes Kohlenstoffdioxid verstopfen.

Trockeneis bietet für die Schülerinnen und Schüler eine große Motivation, da es für sie sicherlich erstaunlich ist, einen Stoff, der unter Normalbedingungen gasförmig ist, auch in fester Form kennen zu lernen. Zusätzlich können sie anhand von Trockeneis die direkte Aggregatzustandsänderung von fest zu gasförmig beobachten. Diesen Vorgang nennt man „Sublimieren“. Das Sublimieren von Trockeneis wird in den folgenden drei Versuchen ausgenutzt, um tiefe Temperaturen zu erzielen, einen Ballon aufzublasen und um Luft zu verdrängen.

Versuch 43: Messen der Temperatur beim Sublimieren von Trockeneis

Geräte: digitales Thermometer mit Temperaturfühler (Messbereich bis -100 °C), Thermosgefäß

Chemikalien: festes Kohlenstoffdioxid (Trockeneis)

Sicherheit: Berührung der Haut mit Trockeneis unbedingt vermeiden (Erfrierungsgefahr!). Geeignete Schutzhandschuhe verwenden!

Durchführung: Man hält den Temperaturfühler in das mit Trockeneis gefüllte Thermosgefäß und wartet, bis die tiefste Temperatur erreicht ist.

Beobachtung: Das Thermometer zeigt nach kurzer Wartezeit Temperaturen zwischen -76 °C und -78 °C an.

Auswertung: Festes Kohlenstoffdioxid sublimiert bei einer Temperatur von -78 °C . Dabei geht es direkt vom festen in den gasförmigen Zustand über.

Didaktische Anmerkung: Dieser Versuch dient zum einen, um die tiefen Temperaturen zu messen, die bei der Verwendung von Trockeneis erreicht werden können und zum anderen, um den Vorgang des Sublimierens zu wiederholen bzw. zu thematisieren. Anschließend können Alltagsbeispiele für Sublimationen benannt werden (nasse Wäsche bei Frost: Wasser gefriert und sublimiert dann, so dass die Wäsche trotzdem trocken wird / plötzlich auftretende Eiskristalle auf Autoscheiben im Winter / Eiskristalle, die sich auf tiefgekühlten Gegenständen bilden (siehe Versuch 9)).

Versuch 44: Sublimation von Trockeneis in einem Luftballon

Geräte: Luftballon, Tiegelzange

Chemikalien: festes Kohlenstoffdioxid (Trockeneis)

Sicherheit: Berührung der Haut mit Trockeneis unbedingt vermeiden (Erfrierungsgefahr!). Geeignete Schutzhandschuhe verwenden!

Durchführung: Ein kleines Stück Trockeneis wird mit Hilfe der Tiegelzange in den leeren Ballon gegeben und dieser fest verschlossen.

Beobachtung: Der Ballon bläht sich langsam auf.

Auswertung: Das feste Kohlenstoffdioxid sublimiert in dem Ballon. Dabei kommt es bei der Aggregatzustandsänderung von fest zu gasförmig zu einer großen Volumenzunahme, wodurch sich der Ballon aufbläht.

Didaktische Anmerkung: Bei diesem Versuch beobachten die Schülerinnen und Schüler die große Volumenzunahme bei der Zustandsänderung von fest zu gasförmig. Sie sollten diese Beobachtung schon selbständig mit Hilfe des einfachen Teilchenmodells erklären können.

Als Fortsetzung mit erhöhtem Abstraktionsgrad bietet sich der folgende Versuch an, bei dem genauso Trockeneis sublimiert, aber nicht mehr das Volumen, sondern der Druck in einer Flasche zunimmt.

Versuch 45: Sublimation von Trockeneis in einer PET-Flasche

Geräte: 1 L-PET Flasche (durchbohrter Deckel mit Gummistopfen), Laborwaage, Genauigkeit $0,01\text{ g}$, 5-ml-Spritze mit Verschluss (Dispomed® Kombistopfen), Trichter, Spatel, Stofftuch oder Serviette

Chemikalien: Trockeneis (2 – 3 g)

Durchführung: Mit Hilfe eines Trichters und eines Spatels werden in eine trockene PET-Flasche 2-3 g zerkleinerte Trockeneisstückchen eingefüllt. In die Spritze zieht man 5 mL Luft auf, verschließt sie luftdicht und gibt sie in die PET-Flasche. Diese wird dann mit dem präparierten Deckel gut verschlossen und auf die Waage gestellt. Dann wird die Waage auf $0,00\text{ g}$ tarieren (Luftzug und schnelle Bewegungen vermeiden). Sollte eine Gewichtszunahme zu bemerken sein, nimmt man die Flasche hoch, trocknet mit einem trockenen Stofftuch oder Serviette die kondensierte Luftfeuchtigkeit ab und stellt die Flasche wieder auf die Waage.

Optional: Zur Beschleunigung des Vorganges kann man die Flasche gelegentlich am Deckel kurz hochheben, etwas schütteln und wieder absetzen.

Beobachtungen: Nach 3 – 4 Minuten ist kein Trockeneis mehr zu sehen. Die Waage sollte nach wie vor $0,00\text{ g}$ anzeigen, das Volumen Luft in der kleinen Spritze hat sich von 5 mL auf etwa die Hälfte verringert.

Auswertung: Wie in Versuch 45 ist auch hier das Trockeneis sublimiert, also direkt vom festen in den gasförmigen Zustand übergegangen. Da das Volumen der Flasche aufgrund deren Festigkeit aber nicht zunehmen konnte, ist ein Druck entstanden. Dieses lässt sich daran erkennen, dass das Luftvolumen in der kleinen Spritze auf etwa die Hälfte komprimiert wurde. Man kann daran erkennen, dass der Druck in der Flasche nach dem Sublimieren etwa doppelt so groß ist, wie davor.

Didaktische Anmerkungen: Auch bei diesem Versuch wird deutlich, dass Teilchen beim Wechsel in den gasförmigen Aggregatzustand nicht einfach „verschwinden“. Das wird unterstützt durch die festgestellte Konstanz der Masse. Auch dieser Versuch sollte noch einmal in der Teilchendarstellung möglichst mit Hilfe einer Zeichnung gedeutet werden. Ergänzend kann man dann ein 600-mL-

Becherglas auf eine Waage stellen, auf „0“ tarieren und dann vorsichtig das Kohlenstoffdioxid aus der PET-Flasche hineingießen. Man beobachtet eine Massenzunahme.

Fachliche Informationen: Trockeneis ist festes Kohlenstoffdioxid, das bei Raumtemperatur und Atmosphärendruck sublimiert. Im gasförmigen Zustand nimmt das farblose Kohlenstoffdioxid ein größeres Volumen ein, welches jedoch durch die PET-Flasche begrenzt wird. Die daraus resultierende Druckzunahme lässt sich visuell durch die verschlossene 5-ml-Spritze quantitativ verfolgen:

Volumen der 5 ml - Spritze	Druck in der PET-Flasche
5 ml	1 bar
2,5 ml	2 bar
1,25 ml	4 bar
0,625 ml	8 bar
...	...

Die Grundlage dazu liefert das Boyle-Mariotte-Gesetz, mit dem sich weitere Wertepaare berechnen lassen:

$$p \sim \frac{1}{V} \quad (T = \text{const.}, n = \text{const.})$$

Bedingt durch das konstante Volumen der Flasche verändert sich der Auftrieb des Systems nicht, womit die Masseninvarianz beim Sublimieren gezeigt werden kann.

Der maximal entstehende Druck kann auch über die Masse des eingewogenen Kohlenstoffdioxids berechnet werden:

$$n = \frac{m}{M} = \frac{3 \text{ g}}{44 \text{ g/mol}} = 0,0682 \text{ mol}$$

$$V = n \cdot V_m = 0,0682 \text{ mol} \cdot 24,465 \frac{\text{L}}{\text{mol}} = 1,67 \text{ L}$$

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$$

$$p_2 = \frac{p_1 \cdot V_1}{V_2} = \frac{1 \text{ bar} \cdot 1,67 \text{ L}}{1 \text{ L}} = 1,67 \text{ bar}$$

Da die Flasche nicht evakuiert ist, muss der Atmosphärendruck (~ 1 bar) addiert werden, womit man bei maximal 2,67 bar liegt.

Der Berstdruck von handelsüblichen PET-Flaschen ist unterschiedlich und hängt von Faktoren wie der Form, dem Volumen, der Wandstärke und von gebrauchsbedingten Beschädigungen wie zum Beispiel Knickstellen ab. Viele im Handel erhältliche PET-Flaschen (Referenzvolumen 1,5 l) halten im Durchschnitt 9 bar aus [38]. Trotz der großen Bersttoleranz sollten die Flaschen nicht unsachgemäß höheren Drücken als 4 bar ausgesetzt werden.

Versuch 46: Kerzen löschen mit Trockeneis

Geräte: große pneumatische Wanne, Kerzen unterschiedlicher Länge, Tiegelzange

Chemikalien: festes Kohlenstoffdioxid (Trockeneis)

Sicherheit: Berührung der Haut mit Trockeneis unbedingt vermeiden (Erfrierungsgefahr!). Geeignete Schutzhandschuhe verwenden!

Durchführung: Die Kerzen werden treppenstufenartig in die Wanne gestellt und entzündet. Die Kerzen sollten nicht über den Rand der Wanne rausragen. Dann legt man mit Hilfe der Tiegelzange 2-3 kleine Stückchen Trockeneis in die Wanne und wartet ab.



Beobachtung: Die Kerzen gehen nach und nach aus, beginnend mit der kürzesten.

Auswertung: Auch hier sublimiert das Trockeneis, dabei entsteht gasförmiges Kohlenstoffdioxid, welches die Luft aus der Wanne von unten nach oben verdrängt. Den Füllstand des gasförmigen Kohlenstoffdioxids in der Wanne kann man mit Hilfe der Kerzen feststellen.

Didaktische Anmerkung: Den Schülerinnen und Schülern ist dieser Versuch eigentlich schon bekannt. Er weist durch die erstickende Wirkung lediglich darauf hin, dass es sich beim Trockeneis tatsächlich um festes Kohlenstoffdioxid handelt. Zum endgültigen Beweis kann auch noch etwas Kalkwasser in der Wanne geschwenkt werden.

Zum Abschluss kann man einen vergleichenden Steckbrief der drei Gase anfertigen lassen. Dabei sollte nochmals deutlich darauf hingewiesen werden, dass es sich bei der Luft um ein Gasgemisch (mit relativ gleich bleibender Zusammensetzung) handelt.

Eigenschaften	Luft	Kohlenstoffdioxid	Helium
Aggregatzustand bei 20 °C	gasförmig	gasförmig	gasförmig
Farbe	farblos	farblos	farblos
Geruch	geruchlos	geruchlos	geruchlos
Dichte	1,293 g/L	1,977 g/L	0,1785 g/L
Brennbarkeit	- nicht brennbar - fördert die Verbrennung	- nicht brennbar - erstickt Flammen	- nicht brennbar - erstickt Flammen
Gefahrenbezeichnung	keine	keine	keine
Kennbuchstabe	keinen	keinen	keinen
H-Sätze	keine	H280: Enthält Gas unter Druck; kann bei Erwärmung explodieren.	H280: Enthält Gas unter Druck; kann bei Erwärmung explodieren.
P-Sätze	keine	P410 + P403: Vor Sonnenbestrahlung geschützt an einem gut belüfteten Ort aufbewahren.	P410 + P403: Vor Sonnenbestrahlung geschützt an einem gut belüfteten Ort aufbewahren.
Bemerkungen	- lebensnotwendig für die Atmung - Gasgemisch aus 78 % Stickstoff, 21 % Sauerstoff und 1 % anderen Gasen	- ungiftig - Treibhauseffekt	- ungiftig
Verwendung	Atmung Verbrennungen	- in Feuerlöschern - zum Herstellen von sprudelnden Getränken - Schutzgas beim Schweißen - Kältemittel (Trockeneis)	- Füllgas für Luftschiffe und Ballons - Füllung von Leuchtstoffröhren - Schutzgas beim Schweißen
Vorkommen	Atmosphäre	- zu 0,035 % in der Luft - in Abgasen von Verbrennungen	- bis zu 7% in Erdgasen - zu 0,0005 % in der Luft

Abb. 21: Steckbrief von Luft, Kohlenstoffdioxid und Helium

Mit dieser Zusammenstellung endet die Betrachtung der gasförmigen Stoffe. Man kann sich nun den Tisch mit den Partyutensilien in Erinnerung rufen (bzw. das Foto betrachten) und sich einer neuen Gruppe von Stoffen zuwenden. Sinnvollerweise bietet sich nun die Betrachtung von festen und flüssigen Stoffen an.

6. Ausgewählte Eigenschaften fester Stoffe

Auf dem Tisch mit den Partyutensilien befanden sich eine ganze Reihe von festen Stoffen (siehe dazu nochmals Abb. 3), die jedoch weiter nach dem „Material“, also nach der Zugehörigkeit zu einer Stoffgruppe, unterteilt werden konnten (siehe Punkt 1.2). In diesem Abschnitt sollen nun exemplarisch die Metalle genauer betrachtet werden. Dabei werden sowohl gemeinsame, charakteristische Eigenschaften herausgearbeitet als auch Unterschiede innerhalb dieser Stoffgruppe betrachtet.

Insbesondere sollen die folgenden Lernziele erreicht werden:

Die Schülerinnen und Schüler sollen

- ausgewählte Eigenschaften von Metallen (Farbe, Transparenz, Glanz, Oberflächenbeschaffenheit, Verformbarkeit, Klang, Härte, Dichte, Verhalten gegenüber Magneten, Wärmeleitfähigkeit, elektrische Leitfähigkeit, Schmelztemperatur) kennen lernen und untersuchen,
- verschiedene Metalle anhand unterschiedlicher Eigenschaften erkennen,
- die Verwendung von ausgewählten Metallen im Alltag recherchieren und
- einige Legierungen mit ihren Eigenschaften und der Herstellung kennen lernen.

Die Schülerinnen und Schüler kennen bereits eine Reihe von Metallen, können sie benennen und einige Einsatzgebiete aufzählen. Als Hilfestellung kann man nochmals das Bild vom Partyutensiliens-Tisch nutzen. Darauf waren mehrere metallische Gegenstände, wie sie in der folgenden Abb. 22 zu sehen sind.



Abb. 22: Metallische Gegenstände vom Tisch mit den Partyutensilien

Die Schülerinnen und Schüler können sicher Aluminiumfolie oder auch Edelstahl als Material für Besteck und Töpfe richtig zuordnen. Es wird aber auch vorkommen, dass sie einem metallischen Gegenstand kein namentliches Metall zuordnen können, unsicher sind oder sich in ihrer Annahme irren (z.B. Teelicht-Gehäuse und Dosen). Folgende Fragen könnten Schülerinnen und Schüler sinngemäß in Bezug auf Metalle stellen und somit weitere Untersuchungen motivieren:

Aus welchen Metallen bestehen bestimmte Alltagsgegenstände (Dosen, Töpfe, Einweg-Grill und zugehöriges Grillrost, Bestecke etc.)?

Warum werden diese Gegenstände gerade aus einem bestimmten Metall gemacht?

Wo und warum finden Metalle im Alltag so häufig Verwendung?

Warum werden bei Töpfen die Griffe häufig aus Kunststoff gefertigt?

Gerade solche Fragen liefern die Motivation, sich mit den Eigenschaften einiger ausgewählter, im Alltag häufig vorkommender Metalle genauer zu beschäftigen. Um herauszufinden, aus welchem Metall ein Gegenstand besteht, müssen zunächst Eigenschaftsuntersuchungen an bekannten „reinen“ Metallproben vorgenommen werden, um dann vergleichen zu können.

Die nächsten Versuche beschränken sich im Allgemeinen auf fünf wichtige Metalle, die die Schülerinnen und Schüler mit Namen kennen könnten: Eisen, Aluminium, Kupfer, Zink und Lötzinn. Diese Reihe sollte entsprechend der Bekanntheit oder den Vermutungen seitens der Schülerinnen und Schülern angepasst werden. Dort, wo es anschließend sinnvoll ist und auch aus dem Alltag bekannt, werden weitere Metalle mit betrachtet. Zunächst sollen kurz die Eigenschaften festgehalten werden, die mit den Sinnen wahrnehmbar sind.

Versuch 47: Die sinnliche Wahrnehmung von ausgewählten Metallproben

Geräte: Proben von Aluminium, Kupfer, Eisen, Zink und Lötzinn, Schmirgelpapier

Durchführung: In einer Tabelle werden die Farbe, die Transparenz sowie der Glanz der Metallproben festgehalten. Anschließend werden die Proben mit dem Schmirgelpapier gerieben und Veränderungen im Aussehen notiert.

Des Weiteren werden die Metallproben auf ihre Oberflächenbeschaffenheit, ihre Verformbarkeit und ihren Klang untersucht.

Beobachtung: vor dem Schmirgeln:

	Aluminium	Kupfer	Eisen	Zink	Lötzinn
Farbe	hellgrau, silbrig	rotbraun	dunkelgrau	hellgrau	hellgrau, silbrig
Transparenz	nicht transparent	nicht transparent	nicht transparent	nicht transparent	nicht transparent
Glanz	glänzend	glänzend	nicht glänzend	nicht glänzend	glänzend
Oberflächenbeschaffenheit	glatt	glatt	leicht stumpf	leicht stumpf	glatt
Verformbarkeit	verformbar, nicht spröde	verformbar, nicht spröde	verformbar, nicht spröde	verformbar, nicht spröde	sehr leicht verformbar, nicht spröde
Klang	hell / hoch	hell / hoch	hell / hoch	hell / hoch	hell / hoch

Nach dem Schmirgeln glänzen alle Metallproben stärker, auch Eisen und Zink glänzen. Die Transparenz und die Farbe haben sich nicht geändert. Die Oberfläche weist nach dem Schmirgeln kleine Kratzer auf, die jedoch nicht fühlbar sind. Dem Klang nach sind die Metalle kaum zu unterscheiden.

Auswertung: Metalle besitzen keine einheitliche Farbe, man unterscheidet sie daher auch in Schwarz- (Eisen), Weiß- (Zinn, Silber) und Buntmetalle (Kupfer, Gold). Nach der Bearbeitung besitzen alle Metalle den typischen „metallischen Glanz“, der nicht bei allen Metallen beständig ist. Bei diesen fühlt sich die Oberfläche nicht ganz so glatt an, sie wirkt leicht stumpf. Alle Metalle sind für Licht undurchlässig und erzeugen beim Klopfen einen typischen hohen Klang, an dem man die Metalle jedoch nicht unterscheiden kann. Alle Metalle sind verformbar, sie verbiegen eher als dass sie brechen. Wie leicht man sie verbiegen kann, hängt auch von der Form der Metallprobe ab (Aluminiumfolie vs. Eisennagel). Lötzinn ist von den untersuchten Metallen am leichtesten verformbar.

Didaktische Anmerkung: Die Schülerinnen und Schüler lernen in diesem Versuch erste charakteristische Eigenschaften von Metallen kennen (metallischer Glanz, Verformbarkeit, hoher Klang). Einige Verwendungen von Metallen (auch außerhalb des Partytisches) lassen sich so schon erklären (z.B. Gold und Silber als glänzenden Schmuck, Kirchenglocken). Je nach Interesse kann man den Schülerinnen und Schülern weitere Informationen zu den oben besprochenen Eigenschaften geben (siehe dazu „Fachlicher Hinweis“).

Fachlicher Hinweis: Der metallische Glanz entsteht durch die starke Reflexion des Lichtes an der glatten Metalloberfläche. Darauf ist auch die Undurchlässigkeit für Licht, selbst in dünnsten Schichtdicken, zurückzuführen. Es sollte erwähnt werden, dass auch andere Stoffe einen Glanz zeigen können, wie z.B. Lacke, Porzellan oder auch Kunststoffe. Trotzdem zeigen Metalle einen typischen Glanz, dieser wird daher auch metallischer Glanz genannt. Der Glanz ist einer der Hauptgründe, warum Metalle als Schmuckstücke getragen werden. Metalle, deren Glanz beständig ist, werden auch als Edelmetalle bezeichnet.

Kupfer und Gold sind die einzigen farbigen Metalle als Reinstoffe. Daneben gibt es noch farbige Legierungen, wie z.B. Messing, Bronze und nordisches Gold.

Metalle besitzen generell eine hohe plastische Verformbarkeit, man sagt, sie sind „duktil“, d.h. sie sind unter Krafteinwirkung von außen verformbar, schmiedbar, dehnbar, hämmerbar, walzbar etc.

Schon im vorherigen Versuch fällt besonders die unterschiedliche Verformbarkeit der Metallproben auf. Zusätzlich kann man die Motivation noch steigern, indem man z.B. die Aluminiumfolie vom Partytisch verformt und dasselbe mit einer Gabel aus Edelstahl versucht. Besitzen die beiden Metalle tatsächlich eine unterschiedliche Verformbarkeit bzw. Härte? Die meisten Schülerinnen und Schüler verbinden mit dem Wort „Metall“ haltbare, stabile und widerstandsfähige Stoffe. Sie werden bei der Aluminiumfolie sicherlich bemängeln, dass diese ja ganz dünn und somit leichter verformbar ist. Man

kann also erarbeiten, dass man Metallproben gleicher Form auf ihre Verformbarkeit untersuchen muss. Dass es auch dabei immer noch gravierende Unterschiede gibt, kann man gut mit einer Bleiplatte oder -stange demonstrieren (nur als Lehrerversuch!). Diese lässt sich auch bei einer größeren Dicke einfach mit der Hand biegen. Die Verformbarkeit lässt sich unter den in der Schule gegebenen Umständen schlecht quantifizieren. Da sie aber unter anderem auch von der Härte des Metalls abhängig ist, kann man diese mit so genannten Ritzversuchen stattdessen untersuchen. Blei kann man mit dem Fingernagel ritzen und sogar auf Papier schreiben. Dieser Abrieb auf Papier wurde früher sogar in dem echten Bleistift ausgenutzt. Die heutigen „Bleistifte“ enthalten kein Blei mehr, da es giftig ist und bei einer stetigen Aufnahme in den Körper sogar lebensgefährlich sein kann. Daher dürfen die Demonstrationen zu der Verformbarkeit und Härte von Blei auch nur von der Lehrkraft durchgeführt werden. Anschließend können die Schülerinnen und Schüler die Härte einiger Metalle durch Ritzversuche selbst beurteilen.

Versuch 48: Härtebestimmung ausgewählter Metalle durch Ritzversuche

Geräte: Proben von Aluminium, Kupfer, Eisen, Zink und Lötzinn

Durchführung: Mit jeder Metallprobe wird versucht jede andere Metallprobe zu ritzen.

Beobachtung:

	Aluminium	Kupfer	Eisen	Zink	Lötzinn
Aluminium ritzt	XXX	nein	nein	nein	ja
Kupfer ritzt	ja	XXX	nein	nein	ja
Eisen ritzt	ja	ja	XXX	ja	ja
Zink ritzt	ja	ja	nein	XXX	ja
Lötzinn ritzt	nein	nein	nein	nein	XXX
Fingernagel ritzt	nein	nein	nein	nein	ja
Glasscherbe ritzt	ja	ja	ja	ja	ja

Auswertung: Die Metalle weisen eine unterschiedliche Härte auf, man kann sie der Härte nach wie folgt ordnen:

Lötzinn < (Fingernagel <) Aluminium < Kupfer < Zink < Eisen (< Glas)

Didaktische Anmerkung: Dieser Versuch zeigt, dass sich Metalle in ihrer Härte unterscheiden. Dieses Wissen ist besonders wichtig, wenn man Metalle bearbeiten möchte (bohren, feilen, etc.). Nicht jedes Metall eignet sich, um andere Metalle zu bearbeiten. Auch im Haushalt ist diese Erkenntnis von Bedeutung. So darf man z.B. nicht mit einem Stahlöffel oder Stahl-Topfschwamm in einem Aluminiumguss-Topf kratzen, dies wird unweigerlich Spuren hinterlassen.

Fachlicher Hinweis: Die Bestimmung der Ritzhärte beruht darauf, dass ein Material nur von einem härteren geritzt werden kann. Unter genormten Bedingungen muss dabei die Ritzbewegung mit einer bestimmten gleich bleibenden Kraft (genauer Druck) durchgeführt werden. Es muss dabei eine sichtbare bleibende Verletzung oder sichtbare Spur erzeugt werden. Es ist zu beachten, dass z.B. ein weiches Metall auf dem härteren Abriebspuren hinterlassen kann (wie ein Bleistiftstrich), diese gelten selbstverständlich nicht als bleibende Verletzung der Oberfläche.

Eine mögliche Skala, nach der die Härte bestimmter Stoffe eingeteilt wird, ist die Mohssche Härteskala. Sie wurde ursprünglich zur Bestimmung der Härte von Mineralien erstellt (siehe Tab. 10).

Härtegrad		Mineral	Hilfsskala für den Unterricht
1	weich	Talkum	leicht mit dem Fingernagel ritzbar
2	weich	Gips, Steinsalz	mit dem Fingernagel ritzbar
3	weich	Calcit	mit Kupferdraht ritzbar
4	hart	Fluorit	leicht mit einem Messer ritzbar
5	hart	Apatit	schwer mit einem Messer ritzbar
6	hart	Orthoklas	mit harter Feile ritzbar
7	sehr hart	Quarz	Stoffproben ritzen Glas
8	sehr hart	Topas	Stoffproben ritzen Glas
9	sehr hart	Korund, Saphir	Stoffproben ritzen Glas
10	sehr hart	Diamant	Stoffproben ritzen Glas

Tab.10: Mohssche Härteskala mit den dazugehörigen Mineralien

Die Schülerinnen und Schüler kennen sicher nur wenige Mineralien, wie z.B. Gips, Quarz und Diamant. Dennoch wurde die Spalte der Vollständigkeit halber mit in die Tabelle aufgenommen. Im Unterricht könnte man darauf verzichten. Sinnvoll ist sie nur dann, wenn entsprechende Stoffproben vorhanden sind, so dass den Schülerinnen und Schülern ein konkretes Anschauungsstück zur Verfügung steht (der Diamant ist üblicherweise als sehr hartes Material bekannt und muss nicht demonstriert werden). Viel wichtiger als die Zuordnung der entsprechenden Mineralien ist die Zuordnung der Härtegrade zu „weich“ bis „sehr hart“ bzw. die Hilfsskala für den Unterricht. Zum Vergleich ist es anschließend möglich einige Metalle in die Härteskala einzuordnen (siehe Tab.11) und die Versuchsergebnisse damit zu überprüfen.

Metall	Härtegrad nach Mohs
Blei	1,5
Aluminium	2-2,9
Zink	2,5
Kupfer	2,5-3
Eisen	4-5
Silicium	7
Chrom	9

Tab.11: Härte einiger Metalle nach der Mohsschen Härteskala
(Werte aus: [39, S. 12-149])

Der Tabelle können die Schülerinnen und Schüler entnehmen, dass Chrom ein erstaunlich hartes Metall ist. Schülerinnen und Schüler kennen es aus dem Alltag von Sanitärarmaturen, die häufig „verchromt“ sind. Sie können anhand der Härte nun erklären, warum dieses Metall als Überzug für Armaturen verwendet wird.

Um nun aber tatsächlich herauszufinden, aus welchem Metall die Gegenstände bestehen, die die Schülerinnen und Schüler zu Beginn dieses Abschnitts nicht zuordnen konnten, muss wenigstens noch eine stoffspezifische Eigenschaft untersucht werden. Vielleicht ist den Schülerinnen und Schülern schon bei den beiden vorausgegangenen Versuchen aufgefallen, dass die Metallproben unterschiedlich schwer sind. Dann kann man daran anknüpfen und die Dichte der Metalle thematisieren. Aus dem Unterrichtsabschnitt zu den Gasen ist die Dichte als stoffspezifische Größe bereits bekannt. Jetzt soll die Bestimmung bei Feststoffen erfolgen. Einige Schülerinnen und Schüler werden zu Recht den Einwand erheben, dass man - wie bei den Gasen - gleiche Volumina in ihrer Masse vergleichen muss. Dieses ist bei Feststoffen schwer realisierbar. Besonders bei unregelmäßig geformten Körpern kann man das Volumen nicht einfach berechnen. Um das Volumen trotzdem bestimmen zu können, greift man hier auf das Archimedische Prinzip der Wasserverdrängung zurück. Die Dichte wird dann wie bekannt aus dem Quotienten von Masse und Volumen berechnet.

Versuch 49: Bestimmung der Dichte ausgewählter Metalle

Geräte: Proben von Aluminium, Kupfer, Eisen und Zink, Waage, Messzylinder mit 0,5-mL-Skalierung

Durchführung: Die Metallproben sind trocken zu wiegen. Der Messzylinder ist so weit mit Wasser zu füllen, dass die gesamte Metallprobe eintauchen kann. Die Wasserstände vor und nach dem Eintauchen werden notiert. Aus der Differenz und der Masse ist die Dichte der Stoffprobe zu berechnen.

Hinweis: Da man kleine Volumenänderungen schlecht ablesen kann, ist es ratsam, für möglichst große Volumenänderungen zu sorgen. Dies kann erreicht werden, indem ausreichend große oder eben mehrere Stücke der Metallproben gewogen und ausgelitert werden.

Beobachtung: Die folgenden Zahlen sind Beispielwerte!

	Masse	Volumen
Aluminium	4,7 g	1,75 mL
Kupfer	17,9 g	2 mL
Eisen	13,8 g	1,75 mL
Zink	10,5 g	1,5 mL

Auswertung:

	Dichte berechnet	Dichte (bei 25 °C) Literaturwerte [39, S. 12-130]
Aluminium	2,68 g/mL	2,7 g/mL
Kupfer	8,95 g/mL	8,96 g/mL
Eisen	7,89 g/mL	7,87 g/mL
Zink	7 g/mL	7,14 g/mL

Didaktische Anmerkung: Mit diesem Versuch ermitteln die Schülerinnen und Schüler die Dichte einiger Metallproben selbst. Eine häufige Fehlerquelle bei der Dichtebestimmung ist das Ablesen des Volumens. Hier ist darauf zu achten, dass das Volumen möglichst genau bestimmt werden kann, schon von der Skalierung des Messzylinders her. Außerdem sollte das Ablesen des Wasserstandes auf Augenhöhe geübt werden.

Fachlicher Hinweis: Die Dichte von Metallen wird benutzt, um sie in Leicht- und Schwermetalle einzuteilen. Zu den Leichtmetallen gehören die Metalle, deren Dichte im Bereich zwischen 0,5 und 5 g/cm³ liegen. Dazu gehören Aluminium, Magnesium und Titan. Sie werden besonders im Fahrzeug- und Flugzeugbau eingesetzt, um Gewicht einzusparen. Die geringe Dichte ist auch ein Grund, warum z.B. Gehäuse für Fotoapparate aus Magnesium und künstliche Hüftgelenke aus Titan hergestellt werden.

Schwermetalle besitzen eine Dichte von 5-22 g/cm³. Zu ihnen zählen die meisten Metalle, wie z.B. Eisen, Zink, Kupfer, Blei, Chrom, Gold und Silber. So wird Blei aufgrund seiner hohen Dichte als Gewicht beim Angeln und Tauchen und sogar in Fenstervorhängen eingesetzt.

Mit dem Wissen zur Bestimmung der Dichte lassen sich nun unbekannte Metallproben bestimmen. So kann man die Schülerinnen und Schüler z.B. fragen, aus welchem Metall diverse Getränkedosen, Teelichtgehäuse oder ein Drahtkleiderbügel (aus der Reinigung) besteht. All diese Gegenstände sind entweder farbig lackiert oder hell-silbrig glänzend, so dass die Palette der möglichen Metalle groß ist. Die häufigsten Vermutungen werden wohl Eisen (Stahl), Aluminium oder auch Zink sein. Kupfer scheidet häufig schon aufgrund der Farbe und Zinn aufgrund der Verformbarkeit aus. Die Schülerinnen und Schüler erhalten den Auftrag, das Metall der Getränkedosen, des Teelichtgehäuses und des Kleiderbügels mit Hilfe der Dichte zu bestimmen.

Versuch 50: Bestimmung von Metallen mit Hilfe der Dichte

Geräte: Getränkedosen aus unterschiedlichen Metallen (z.B. Red Bull®-Dose aus Aluminium und Cola-Dose aus Weißblech), Teelichtgehäuse, Drahtkleiderbügel aus der Reinigung, Schere, Kneifzange, Glasstab

Durchführung: Die Dosen, das Teelichtgehäuse und der Drahtkleiderbügel sind zunächst mit Hilfe der Schere oder der Kneifzange in handliche Stücke zu teilen. Dann werden mehrere Stücke der einzelnen Metallproben trocken gewogen. Der Messzylinder ist so weit mit Wasser zu füllen, dass alle Stücke einer Probe eintauchen können. Dabei ist darauf zu achten, dass keine Luftblasen an den Stücken haften. Sie sind gegebenenfalls mit einem Glasstab zu entfernen. Die Wasserstände vor und nach dem Eintauchen werden notiert. Aus der Differenz und der Masse ist die Dichte der Stoffprobe zu berechnen.

Beobachtung:

	Masse	Volumen
Red Bull®-Dose	2,71 g	1 mL
Cola-Dose	3,73 g	0,5 mL
Teelichtgehäuse	1,4 g	0,5 mL
Kleiderbügel	10,9 g	1,4 mL

Auswertung:

	Dichte berechnet	Dichte (bei 25 °C) Literaturwerte [39, S. 12-130]
Red Bull®-Dose	2,71 g/mL	Aluminium: 2,7 g/mL
Cola-Dose	7,46 g/mL	Eisen: 7,87 g/mL
Teelichtgehäuse	2,8 g/mL	Aluminium: 2,7 g/mL
Kleiderbügel	7,78 g/mL	Eisen: 7,87 g/mL

Die Dichten der Red Bull®-Dose und des Teelichtgehäuses liegen sehr nahe bei der Dichte von Aluminium. Die Dichten der Cola-Dose und des Kleiderbügels kommt der Dichte des Eisens am nächsten. Sie können jedoch nicht nur aus Eisen bestehen, da dieses schnell rosten würde.

Didaktische Anmerkung: Man kann den Schülerinnen und Schülern die Information geben, dass Eisenteile häufig zum Schutz vor dem gefürchteten Rosten verzinkt bzw. verzinnt werden. Der Kleiderbügel ist verzinkt (mit Zink überzogen), während die Cola-Dose aus so genanntem Weißblech besteht (Stahl mit einer Reinzinnaufgabe).

Es gibt noch eine weitere Möglichkeit zu prüfen, ob der Drahtkleiderbügel und die Cola-Dose wirklich überwiegend aus Eisen besteht. Sicherlich kennen Schülerinnen und Schüler die Wirkung eines Magneten. Häufig ist ihnen jedoch nicht klar, welche Metalle von einem Magneten angezogen werden. Dies sollte noch einmal kurz thematisiert werden und schließt sich sinnvoll an.

Versuch 51: Verhalten einiger Metalle gegenüber Magneten

Geräte: Proben von Aluminium, Kupfer, Eisen, Zink, Zinn, Drahtkleiderbügel aus der Reinigung, Getränkedose aus Weißblech, Magnet

Durchführung: Bei allen Metallproben wird überprüft, ob sie von einem Magneten angezogen werden. Danach ist zu entscheiden, aus welchem Metall der Kleiderbügel und die Getränkedose vermutlich bestehen.

Beobachtung: Aluminium, Kupfer, Zink und Zinn werden nicht von dem Magneten angezogen, Eisen dagegen schon, ebenso wie der Kleiderbügel und die Weißblech-Dose.

Auswertung: Nur das Metall Eisen reagiert von den untersuchten Metallen auf den Magneten. Da auch der Kleiderbügel und die Weißblech-Dose angezogen werden, wurde die Vermutung, dass sie überwiegend aus Eisen bestehen, bestätigt.

Didaktische Anmerkung: In diesem Versuch überprüfen die Schülerinnen und Schüler lediglich ihre Vermutung, dass der Kleiderbügel und die Getränkedose überwiegend aus Eisen bestehen. Manchmal sind einige Schülerinnen und Schüler dennoch erstaunt, dass nicht alle Metalle von Magneten angezogen werden.

Fachlicher Hinweis: Neben Eisen gibt es noch zwei weitere Metalle, die von einem Magneten angezogen werden: Cobalt und Nickel, diese sind im Alltag jedoch weniger verbreitet (es gibt jedoch im Laborhandel Spatel und Spatellöffel aus Reinnickel, sie sind dann entsprechend beschriftet).

Die Magnetisierbarkeit ist ein Sicherheitsmerkmal der Euromünzen. Die kleinen Centmünzen bestehen aus einem Stahlkern mit Kupferaufgabe und sind infolgedessen stark magnetisierbar. Die mittleren Centmünzen sind nicht magnetisierbar, während die 1€- und 2€-Münzen schwach magnetisierbar sind. Diese Eigenschaft ist auf den kleinen Nickelkern zurück zu führen.

Nachdem nun die Metalle auf dem Partytisch identifiziert wurden, sollen die Anwendungsgebiete der betrachteten Metalle recherchiert werden. Dabei stößt man auf gleiche Gegenstände, die aus unterschiedlichen Metallen gefertigt werden (z.B. Töpfe und Pfannen aus Aluminium- oder Eisenguss oder sogar aus Kupfer). Weiterhin wird Kupfer in Stromkabeln als so genannter „elektrischer Leiter“ eingesetzt oder als Bestandteil in Legierungen. Auch Eisen wird hauptsächlich zur Herstellung einer sehr bekannten Legierung – den Stahl – benutzt. Weitere Verwendungen sind in der folgenden Tabelle aufgezählt.

Metall	Verwendung
Aluminium	Aluminiumfolie, Fenster- und Türrahmen, Fahrzeug- und Flugzeugbau, Töpfe und Pfannen
Kupfer	elektrischer Leiter in Kabeln, Dachrinnen, Leitungen für Wasser und Heizgas, Schmuck, Haushaltsgeräte (z.B. Töpfe), Legierungsbestandteil von Messing und Bronze
Eisen	zur Herstellung von Stahl für Brücken, Häuser, Schiffe, Autos, Werkzeugen, Nägel, Töpfe, Pfannen, Besteck und vieles mehr
Zink	Dachrinnen, Verzinken von Stahlblechen, Legierungsbestandteil von Messing
Zinn	Verzinnen von Eisenblechen, Legierungsbestandteil von Lötzinn und Bronze, Zinnfiguren und -geschirr

Tab.12: Zusammenstellung der Verwendung ausgewählter Metalle

Warum werden nun bestimmte Metalle bevorzugt für einige Verwendungszwecke eingesetzt (z.B. Kupfer in Kabeln)? Welche Vorteile bringen diese Metalle anderen Metallen gegenüber mit? Und

warum werden Töpfe und Pfannen entweder aus Aluminium oder aus Eisen (und seltener aus Kupfer) hergestellt? Welche Vor- und Nachteile bieten diese beiden Metalle in Bezug auf ihre Verwendung? Was sind Legierungen und wie stellt man sie her? Diese und weitere Fragen sollen in den nächsten Versuchen beantwortet werden. Die Reihenfolge ist dabei variabel.

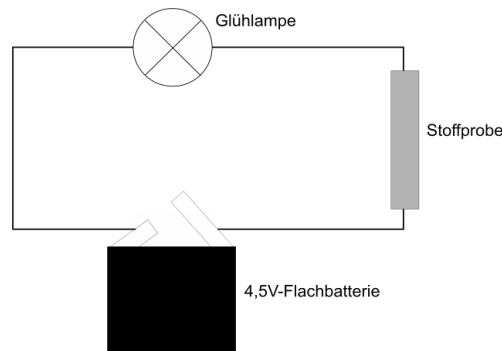
Warum wird gerade Kupfer als elektrischer Leiter in Stromkabeln eingesetzt?

Entfernt man die Isolierung von einem Stromkabel, so entdeckt man tatsächlich, dass dieser entweder mit einem massiven Kupferdraht oder mit verdrehten Kupferlitzen „gefüllt“ ist. Der metallische Kern eines Kabels ist also für die Weiterleitung des elektrischen Stroms verantwortlich. Im nächsten Versuch werden neben den fünf Metallen auch andere Stoffe wie Glas, Kunststoff und Pappe auf ihre elektrische Leitfähigkeit getestet.

Versuch 52: Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit

Geräte: Proben von Aluminium, Kupfer, Eisen, Zink, Lötzinn, Kunststoff, Pappe und Glas, 4,5 V-Flachbatterie (oder eine andere Spannungsquelle bis 6 V), Verbindungskabel, Glühlampe (6 V; 2,4 W)

Durchführung: Der Stromkreis wird entsprechend der Abbildung aufgebaut. Die Stoffproben sollten nur kurz angeschlossen werden. Dabei ist die Glühlampe zu beobachten. Alle Stoffproben werden so auf ihre elektrische Leitfähigkeit getestet.



Beobachtung: Bei allen Metallproben leuchtet die Glühlampe auf. Beim Kunststoff, der Pappe und dem Glas leuchtet die Glühlampe nicht.

Auswertung: Das Leuchten der Glühlampe zeigt, dass ein geschlossener Stromkreis vorliegt. Die angeschlossene Stoffprobe muss also den elektrischen Strom leiten. Alle Metalle leiten den elektrischen Strom, man sagt sie sind elektrische Leiter. Die elektrische Leitfähigkeit ist eine typische Eigenschaft der Metalle. Die anderen untersuchten Stoffe leiten den elektrischen Strom nicht, sie werden auch Isolatoren genannt.

Didaktische Anmerkung: Die Schülerinnen und Schüler sollten darauf aufmerksam gemacht werden, dass es auch Stoffe gibt, die nicht zu den Metallen gehören und trotzdem den elektrischen Strom leiten, wie z.B. Graphit oder spezielle Kunststoffe. Trotzdem ist die elektrische Leitfähigkeit ein Klassifizierungsmerkmal, d.h. es ist eine gemeinsame Eigenschaft, die allen Metallen zu eigen ist.

Obwohl alle Metalle den elektrischen Strom leiten, gibt es vermutlich auch Unterschiede in ihrer Leitfähigkeit. Wie wäre es sonst zu erklären, dass z.B. bevorzugt Kupfer in der Elektrotechnik verwendet wird?

Versuch 53: Eisen oder Kupfer: Welches Metall leitet besser?

Geräte: jeweils einen gleichstarken (z.B. \varnothing 0,2 mm) 10 cm langen und 100 cm langen Draht aus Eisen und Kupfer, regelbare Spannungsquelle (0-6 V), Verbindungskabel, zwei Amperemeter, zwei Fahrradlampen (6V; 2,4 W)

Durchführung: Der Stromkreis wird entsprechend der Abbildung a aufgebaut. Anschließend wird bei allen vier Drähten die Stromstärke bei einer Gleichspannung von 1 V gemessen. **Wichtig:** Die Drähte nur kurz anschließen und den höchsten Wert, den das Amperemeter in der Zeit anzeigt, notieren.

Dann ist der Stromkreis entsprechend der Abbildung b um zu bauen, dabei sollen die 100 cm langen Drähte verwendet werden. Die Helligkeit der Lampen wird verglichen!

Alternativ kann auch eine 4,5V-Flachbatterie verwendet werden.

Abbildung a:

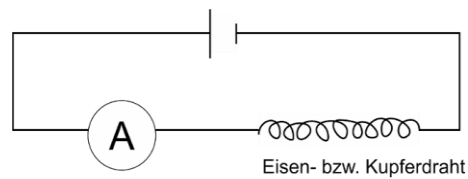
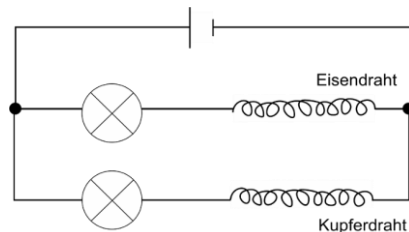


Abbildung b:



Beobachtung: Zu a) Bei einer Spannung von 1 V ergeben sich beispielhaft folgende Werte:

	10 cm lang	100 cm lang
Eisen	0,72 A	0,15 A
Kupfer	2,55 A	0,56 A

Benutzt man als Spannungsquelle eine 4,5-V-Flachbatterie, so kann man folgende Werte ablesen:

	10 cm lang	100 cm lang
Eisen	2,13 A	0,9 A
Kupfer	3,44 A	3,09 A

Zu b) Die Glühlampe beim Kupferdraht leuchtet ein wenig heller als die beim Eisendraht.

Auswertung: Sowohl bei den 10 cm langen Drähten als auch bei den 100 cm langen Drähten ist ein eindeutiger Unterschied in der Stromleitung zu erkennen. Kupfer ist der bessere Leiter, weil die größere Menge an Strom fließen kann, d.h. eine höhere Stromstärke gemessen werden kann. Daher leuchtet die Glühlampe beim Kupferdraht in der Parallelschaltung auch heller.

Didaktische Anmerkung: Ist der Unterschied in der Helligkeit nicht eindeutig erkennbar, kann man mit Hilfe der regelbaren Spannungsquelle zeigen, dass die Lampe beim Kupferdraht früher anfängt zu leuchten als die beim Eisendraht.

Benutzt man eine 4,5-V-Batterie sind die zu verwendenden Glühlampen unbedingt vorher auf ihre unterschiedliche Helligkeit zu testen. Außerdem sollte man nach jeder Messung mindestens eine halbe Minute warten, damit sich die Batterie regenerieren kann.

Neben der besseren Leitfähigkeit sollten die Schülerinnen und Schüler bei diesem Versuch noch eine wichtige wissenschaftliche Methode (kennen) lernen: Um den Einfluss eines Stoffes auf bestimmte Vorgänge zu untersuchen, müssen alle anderen möglichen Einflussfaktoren konstant gehalten werden, bei diesem Beispiel nicht nur die Länge, sondern auch die Dicke des Drahtes, die angelegte Spannung und sogar die Temperatur! Dieses sollte während des Experiments herausgearbeitet werden.

Neben Kupfer gehören auch die Metalle Gold, Silber und Aluminium zu den besten elektrischen Leitern. Da Gold und Silber aber zu teuer sind, werden sie nur dort eingesetzt, wo sie wirkliche Vorteile bringen (z.B. weisen hochwertige Stereo-Anlagen wegen der besseren Korrosionsbeständigkeit Goldkontakte auf).

Metall	spez. elektr. Widerstand in $10^{-8} \Omega \cdot m$
Silber	1,617
Kupfer	1,712
Gold	2,255
Aluminium	2,709
Eisen	9,87

Tab.13: Spezifische elektrische Widerstände einiger Metalle
(Werte aus [39, S. 12-34])

Warum werden Töpfe und Pfannen entweder aus Aluminium oder aus Eisen (und seltener aus Kupfer) hergestellt?

Für die Beantwortung dieser Frage muss zunächst geklärt werden, warum Töpfe und Pfannen überhaupt aus Metallen hergestellt werden. Die Schülerinnen und Schüler finden sicherlich selbst eine Reihe von Argumenten, warum sie nicht aus Kunststoff, Porzellan oder Glas hergestellt werden. Während viele Kunststoffe bei höheren Temperaturen schmelzen, sind Porzellan und Glas spröde und daher zerbrechlicher als Metalle. Gibt es noch weitere Vorteile der Metalle in Bezug auf diesen Verwendungszweck? Um die Schülerinnen und Schüler auf das Phänomen der Wärmeleitung zu lenken, kann man zusätzlich darauf hinweisen, dass Töpfe und Pfannen häufig Griffe aus Kunststoffen besitzen. Warum eigentlich? Die Antwort ist eigentlich ganz einfach: Während der Topf sehr heiß wird, bleiben die Kunststoffgriffe kalt. Bei Töpfen mit Metallgriffen verbrennt man sich dagegen schnell die Finger. Kunststoffe und Metalle müssen sich daher in einer Eigenschaft wesentlich unterscheiden: sie nehmen die Wärme der Herdplatte unterschiedlich gut auf. Dieses Phänomen, dass sich Wärme überträgt und innerhalb eines Stoffes ausbreitet, nennt man auch Wärmeleitung. Die unterschiedliche Wärmeleitfähigkeit von Kunststoffen und Metallen kann beispielsweise wie im folgenden Versuch untersucht werden.

Versuch 54: Vergleich der Wärmeleitfähigkeit verschiedener Stoffe

Geräte: digitales Thermometer mit Oberflächentemperaturfühler, stabförmige Gegenstände aus unterschiedlichen Stoffen (z.B. Kunststofflöffel, Aluminiumlöffel, Stahlöffel, Glasstab), zwei hohe 150-mL-Bechergläser, Wasserkocher oder Heizplatte, Eis

Durchführung: Zunächst ermittelt man die Raumtemperatur bzw. die Temperatur, die die Gegenstände vor dem Versuch aufweisen. Dann werden die Gegenstände in ein Becherglas mit etwa 80 °C heißem Wasser gestellt und zwei Minuten gewartet. Anschließend wird mit der Hand gefühlt, ob ein Unterschied festzustellen ist und dieser mit dem Thermometer überprüft. Dabei muss beachtet werden, dass die Temperatur möglichst weit von der Wasseroberfläche entfernt, aber bei allen Gegenständen in etwa der gleichen Höhe ermittelt wird. Die Gegenstände werden aus dem Wasser genommen, getrocknet und fünf Minuten bei Raumtemperatur liegen gelassen. Dann wird der Versuch mit eisgekühltem Wasser wiederholt.

Beobachtung: Nachdem die Gegenstände in das heiße Wasser gestellt wurden, ist schnell ein Unterschied feststellbar. Die beiden Metalllöffel fühlen sich warm an, wobei der Aluminiumlöffel wesentlich wärmer wird als der Stahlöffel. Bei dem Kunststofflöffel und dem Glasstab ist eine eventuelle Temperaturerhöhung kaum fühlbar. Mit dem Temperaturfühler ist bei dem Aluminiumlöffel eine deutliche Erhöhung um fast 40 °C messbar, der Stahlöffel wird dagegen nur um 20 °C wärmer. Der Glasstab und der Kunststofflöffel erwärmen sich nur um zwei bis drei Grad. Dabei ist feststellbar, dass der Kunststofflöffel wärmer als der Glasstab wird.

Im Eiswasser werden die Metalllöffel schnell kalt (Aluminium kälter als Stahl), bei den anderen Materialien ist mit der Hand kein Unterschied feststellbar. Der Temperaturfühler zeigt beim Kunststofflöffel und dem Glasstab keine Temperaturänderung, beim Aluminiumlöffel eine Abkühlung von 20 °C auf 10 °C und beim Stahlöffel auf 18 °C an.

Auswertung: Die untersuchten Stoffe werden bei gleichen Bedingungen unterschiedlich schnell warm bzw. kalt. Man kann sagen, dass die Wärme unterschiedlich schnell durch das Material „geleitet“ wird, daher spricht man auch von der Wärmeleitfähigkeit. Metalle haben von den untersuchten Stoffen die größte Wärmeleitfähigkeit, danach kommt Kunststoff und dann erst Glas.

Didaktische Anmerkung: Während der erste Versuchsteil in der Regel Alltagserfahrungen bestätigt (Wärmetransport vom heißen Getränk durch den Löffel zur Hand, ein Glasstab oder ein Kunststofflöffel erwärmen sich nicht so stark), ist bei der Interpretation der Beobachtungen mit dem

Eiswasser besonders sorgfältig darauf zu achten, dass hier nicht „Kälte“ vom Eiswasser zur Hand, sondern unterschiedlich schnell Wärme von der Hand zum Eiswasser transportiert wird.

Zusammenfassend kann also festgestellt werden, dass die verschiedenen Stoffe eine unterschiedliche Wärmeleitfähigkeit haben. Je besser die Wärmeleitfähigkeit, desto schneller wird der Stoff warm und desto schneller gibt er die Wärme auch wieder ab. Je schlechter die Wärmeleitfähigkeit, desto langsamer wird der Stoff warm, aber er gibt die Wärme auch schlecht wieder ab.

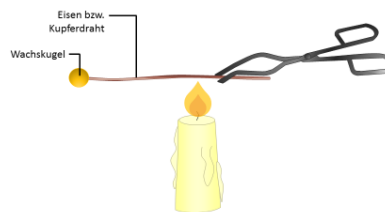
Alle Metalle sind wärmeleitfähig, sie zeigen jedoch auch Unterschiede. Dies fällt im Alltag z.B. auf, wenn man den heißen Tee einmal mit einem Aluminium- oder Silberlöffel umrührt oder das gleiche mit einem Edelstahlöffel probiert. Während man die ersten beiden Löffel häufig schnell wieder loslässt, weil sie heiß sind, wird der Löffel aus Edelstahl eher als „angenehm warm“ empfunden.

Zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit von Metallen gibt es im Lehrmittelhandel „Wärmeleitungsapparate“, bei denen bei gleichzeitiger Erwärmung aller zu untersuchender Metalle die Temperaturerhöhung mit Hilfe eines Temperatur-Indikator-Streifens, durch Entzündung eines Streichholzkopfes oder durch Schmelzen von Wachs angezeigt wird. Mit einfachen Mitteln lässt sich die unterschiedliche Wärmeleitfähigkeit von Eisen und Kupfer auch wie folgt demonstrieren.

Versuch 55: Die unterschiedliche Wärmeleitfähigkeit von Eisen und Kupfer

Geräte: 5 cm lange, gleichstarke (z.B. Ø 1 mm) Drähte aus Kupfer und aus Eisen, Wachsklebeplättchen oder weiche Wachsreste, 2 Tiegelzangen, Stoppuhr, Kerze

Durchführung: Aus einem Wachsklebeplättchen werden zwei gleich große Wachskügelchen geformt und an die Enden der beiden Drähte befestigt. Dann wird die Kerze entzündet, die beiden Drähte mit ihrem anderen Ende gleichzeitig mit Hilfe der Tiegelzange möglichst an der gleichen Stelle in die Kerzenflamme gehalten und die Zeit bis zum Abfallen der Wachskugeln verglichen.



Beobachtung: Das Wachskügelchen am Kupferdraht fällt bereits nach einer halben Minute herunter, die andere Wachskugel bleibt mehrere Minuten lang am Eisendraht.

Auswertung: Kupfer zeigt eine bessere Wärmeleitfähigkeit als Eisen.

Didaktische Anmerkung: Es ist darauf zu achten, dass die Drähte möglichst in der gleichen Position in der Flamme erhitzt werden. Die angegebenen Zeiten sind Richtwerte, die je nach Durchführung des Versuches variieren können. Das Wachs am Kupferdraht wird jedoch immer weitaus eher schmelzen.

Zum Vergleich der Wärmeleitfähigkeit einiger Metalle dient die Wärmeleitfähigkeit λ , deren Wert für die Schülerinnen und Schüler zu diesem Zeitpunkt jedoch keine Bedeutung hat und daher nicht benannt werden sollte. Falls jedoch der Wunsch nach einer Quantifizierung der Wärmeleitfähigkeit besteht, ist ein Vergleich untereinander und mit der Luft möglich.

Metall	Wärmeleitfähigkeit in $\frac{W}{m \cdot K}$ bei 25 °C	im Vergleich zu Luft ($0,024 \frac{W}{m \cdot K}$)
Silber	429	18 000 Mal besser als Luft
Kupfer	401	16 000
Gold	318	13 000
Aluminium	237	9 000
Zink	116	5 000
Eisen	80	3 500

Tab.14: Wärmeleitfähigkeiten einiger Metalle und der Vergleich mit Luft
(Werte aus [39, S. 4-146])

Der Vergleich der Metalle untereinander ist der Tab. 15 zu entnehmen. Dabei wurde Eisen (das Metall mit der kleinsten Wärmeleitfähigkeit) als Bezugspunkt gewählt.

Metall	im Vergleich zu Eisen
Silber	~ 5,4 Mal besser als Eisen
Kupfer	~ 5 Mal besser als Eisen
Gold	~ 4 Mal besser als Eisen
Aluminium	~ 3 Mal besser als Eisen
Zink	~ 1,45 Mal besser als Eisen

Tab.15: Wärmeleitfähigkeit einiger Metalle im Vergleich zu Eisen

Weitere gute Wärmeleiter sind neben Kupfer also auch die Metalle Aluminium, Gold und Silber. Aus der Tab. 15 kann sich mit den Schülerinnen und Schülern nun eine abschließende Diskussion ergeben, warum man Töpfe und Pfannen aus welchen Metallen herstellt. Aluminium weist gegenüber Eisen die bessere Wärmeleitfähigkeit auf und wäre daher zu bevorzugen. Ein Argument, warum trotzdem Eisen und Stahl für Töpfe eingesetzt werden, ist sicher die Verfügbarkeit und der Preis des Rohstoffes. Der Preis ist auch der Grund, warum Töpfe z.B. nicht aus Silber hergestellt werden. Professionelle Köche nutzen zudem manchmal Kupfertöpfe. Auch das lässt sich aus der Wärmeleitfähigkeit und dem Preis erklären. Da Kupfer, Gold und Silber sehr teuer sind, werden sie nur dort zur Wärmeleitung eingesetzt, wo es auf Präzision ankommt, wie z.B. in der Elektrotechnik.

Was sind Legierungen und wie stellt man sie her?

Unter einer Legierung versteht man einen metallischen Werkstoff, genauer: eine Legierung ist ein Gemisch von Metallen untereinander, das man durch Schmelzen der Einzelmetalle und anschließendes Abkühlen erhält. Mitunter werden auch geringe Mengen an Nichtmetallen beigemischt. An dieser Stelle ist es möglich, den Schülerinnen und Schülern konkrete Anschauungsstücke in die Hand zu geben. Unsere „goldigen“ Centstücke bestehen z.B. aus dem so genannten „nordischen Gold“, weiterhin gibt es Gegenstände aus Bronze und Messing, Edelstahl, Lötzinn, ja sogar Gold- und Silberschmuck stellen Legierungen dar. Legierungen besitzen andere Eigenschaften als deren Einzelbestandteile, darin liegt der große Vorteil: man kann sich einen metallischen Werkstoff herstellen, der ganz bestimmten Anforderungen entspricht. Eisen ist relativ weich und rostet an der Luft schnell, die Eisenlegierung Stahl ist härter, fester und beständiger. Legierungen besitzen daher eine weitaus größere anwendungstechnische Bedeutung als die reinen Metalle, die Anzahl der möglichen Legierungen ist praktisch unbegrenzt. Schätzungen besagen, dass bereits mehrere hunderttausend verschiedene Legierungen verwendet werden. Einige bekannte Beispiele sind in der folgenden Tabelle aufgeführt.

Legierung	Bestandteile [40, S. 116]	Verwendung	Besonderheiten
Bronze	75 % Kupfer 25 % Zinn	Kunst- und Schmuckgegenstände, Münzen, Glocken	härter und korrosionsbeständiger als Kupfer, farbig
Messing	70 % Kupfer 30 % Zink	Beschläge Dekorationsgegenstände	so gut verformbar wie Kupfer, korrosionsbeständiger, goldige Farbe
nordisches Gold	89 % Kupfer 5 % Aluminium 5 % Zink 1 % Zinn	Herstellung von Münzen	goldige Farbe, korrosionsbeständig, verschleißfest
Neusilber	50 % Kupfer 25 % Zink 25 % Nickel	Modeschmuck Bestecke	silbriger Glanz, hohe Zähigkeit, gute Verarbeitungseigenschaften, hoher elektr. Widerstand
V2A-Stahl (Nirosta)	73 % Eisen 18 % Chrom 8 % Nickel 1% Kohlenstoff	Bestecke Haushaltsgegenstände	härter und korrosionsbeständiger als Eisen bei gleich guter Verformbarkeit

Tab.16: Bestandteile und Verwendung einiger ausgewählter Legierungen

Zum Herstellen von Legierungen müssen die Metalle geschmolzen werden. Das Schmelzen der Metalle wurde von den Schülerinnen und Schüler bisher noch nicht beobachtet. Vielleicht fällt ihnen in diesem Zusammenhang aber das so genannte „Bleigießen“, welches gern zu Silvester praktiziert wird, oder auch das Löten ein. Beim Bleigießen wird das Metall mit Hilfe einer Kerze erhitzt, beim Löten dient der LötKolben als Hitzequelle. Im nächsten Versuch soll versucht werden, einige Metalle in der rauschenden Brennerflamme zu schmelzen.

Versuch 56: Qualitativer Vergleich der Schmelztemperaturen einiger Metalle

Geräte: ca. 10 cm lange gleich starke Drähte aus Kupfer, Eisen, Aluminium und Lötzinn, Brenner, 150-mL-Becherglas (breite Form), Tiegelflange, Pinzette

Durchführung: Die Drähte werden fast waagrecht in der schräg gehaltenen rauschenden Brennerflamme stark erhitzt. Unter das erhitzte Ende platziert man ein mit Wasser gefülltes Becherglas, um eventuell abfallende Tropfen aufzufangen.

Beobachtung: Beim Kupfer und Aluminium bilden sich in der rauschenden Brennerflamme Tropfen am Drahtende, welche bei weiterer Erwärmung stetig größer, während die Drähte kürzer werden. Sind die Tropfen groß genug, kann man sie über dem Becherglas „abschütteln“. Das Wasser zischt und die Metalltropfen erstarren in bizarren Formen.

Beim Eisendraht ist es nicht möglich, einen Tropfen zu erzeugen, egal wie lange der Draht erhitzt wird. Er wird dabei rot- bis gelbglühend.

Auch beim Lötzinn ist es nicht möglich, einen größeren Tropfen zu erzeugen, weil es sehr schnell schmilzt.

Auswertung: Vergleicht man das Schmelzverhalten der vier Metalle, so schmilzt das Lötzinn sehr früh, während das Kupfer und das Aluminium relativ lange in der rauschenden Flamme erhitzt werden müssen. Trotzdem erreicht man in der Flamme die Schmelztemperaturen, so dass sich flüssiges Metall in einem Tropfen sammelt. Das Eisen ist mit dem Brenner nicht schmelzbar, die Schmelztemperatur muss daher oberhalb von 1200 °C liegen.

Didaktische Anmerkung: Metalle zeichnen sich durch einen relativ hohen Schmelzpunkt aus. Daher wird hier die heiße, rauschende Brennerflamme benötigt. Innerhalb der Metalle gibt es aber auch Unterschiede, wie man hier sehr schön erkennen kann.

In Tafelwerken bzw. auf der Verpackung des Lötzinns können die Schülerinnen und Schüler nun die genauen Schmelztemperaturen von den untersuchten und auch weiteren Metallen nachschlagen. Dabei sollte man auf die zwei Extrembeispiele eingehen: Quecksilber als einziges bei Raumtemperatur flüssiges Metall und Wolfram mit der höchsten Schmelztemperatur. Wolfram wird deshalb auch in Glühlampen als Glühfaden verwendet. Der Glühfaden besitzt dabei einen sehr geringen Querschnitt, wodurch der elektrische Widerstand steigt. Wird dieser Faden nun vom Strom durchflossen, erwärmt er sich und beginnt zu glühen. Die entstehende Weißglut weist auf Temperaturen von über 1500 °C hin.

Metall	Schmelztemperatur
Quecksilber	-38,84 °C
Lötzinn	ca. 230-270 °C
Zinn	231,97 °C
Zink	419,58 °C
Aluminium	660,45 °C
Kupfer	1084,87 °C
Eisen	1538 °C
Wolfram	3422 °C

Tab.17: Schmelztemperaturen einiger Metalle (Werte aus [39, S. 4-122])

Um nun auch Legierungen herstellen zu können, müssen meistens sehr hohe Temperaturen erreicht werden. Hier ist der Einsatz eines Mikrowellenofens möglich. Die Einsatzmöglichkeiten der Mikrowelle im Unterricht wurden ausführlich von LÜHKEN und BADER untersucht und veröffentlicht [41, 42]. Einige Versuche beschäftigen sich auch mit dem Darstellen von Legierungen.

Versuch 57: Darstellen von Gelb-Messing in der Mikrowelle (nach [41])

Geräte: AST-Element (Herstellung [siehe [42, S. 30)], Porzellantiegel, Haushalts-Mikrowellenofen, Tiegelflange, Spatel, Hammer, feuerfeste Unterlage, z.B. Eisenschale

Chemikalien: Kupfer (fein gepulvert; GHS02 , GHS09 ) , Zink (fein gepulvert; GHS09 ) , Aktivkohle

Durchführung: 6 g Kupferpulver und 4 g Zinkpulver werden im Tiegel intensiv durchmischt. Das AST-Element wird in der Mikrowelle 10 Minuten bei 800 W bestrahlt. Um die Hitze im Gefäß zu halten wird der Tiegel abgedeckt. Nach vollständigem Durchschmelzen der Mischung wird der Tiegel zügig aus dem Ofen genommen und auf eine feuerfeste Unterlage entleert. Man entfernt die Schlacke und hämmert den Metallregulus auf dem Amboss aus.

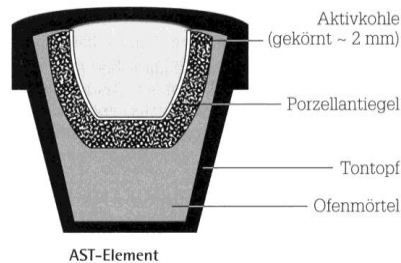


Abb.23: Schematischer Aufbau des AST-Elements [42, S. 31]

Beobachtung: Die Aktivkohle beginnt nach einigen Minuten an zu glühen. Nach Ablauf der 10 Minuten kann eine glühende flüssige Masse aus dem Tiegel heraus gegossen werden, die schnell erstarrt. Neben schwarzer Schlacke hat sich auch ein Metallregulus gebildet. Dieser besitzt (nach dem Schmirgeln) eine goldige Farbe.

Auswertung: Die pulverförmigen Metalle sind in der Mikrowelle bis zu ihrer Schmelze erhitzt worden. Es ist ein einheitlicher Metallregulus, der eine andere Farbe als die beiden Einzelmetalle aufweist, entstanden.

Didaktische Anmerkung: Es ist im Anschluss möglich, einige wenige Eigenschaften der Legierung mit denen der Bestandteile zu vergleichen.

In einer Zusammenfassung (Tab. 18) sollte man nochmals die Besonderheiten der Metalle, aber auch ihre Unterschiede herausstellen.

klassifizierende (gemeinsame) Eigenschaften	Unterschiede
metallischer Glanz	Farbe
gute Verformbarkeit (Duktilität)	Härte
gute Wärmeleitfähigkeit besonders gut: Silber, Kupfer, Aluminium	wenig Leichtmetalle: 0,5 – 5 g/cm ³ viele Schwermetalle: 5 – 22 g/cm ³
elektrische Leitfähigkeit besonders gut: Silber, Kupfer, Aluminium	Eisen, Cobalt, Nickel magnetisierbar
relativ hohe Dichte	
hohe Schmelztemperaturen Ausnahme: Quecksilber	

Tab. 18: gemeinsame und unterschiedliche Eigenschaften der Metalle

Unter dem Begriff „Metalle“ fasst man eine ganze Reihe von Stoffen zusammen. Typisch für die Metalle sind der metallische Glanz, der zumindest nach dem Schmirgeln zu sehen ist, die gute Verformbarkeit sowie die gute Wärmeleitfähigkeit und ihre elektrische Leitfähigkeit. Weiterhin besitzen sie im Vergleich zu anderen Stoffen eine relativ hohe Dichte und hohe Schmelztemperaturen. Vergleicht man jedoch die Metalle untereinander, so gibt es auch große Unterschiede. Eisen, Cobalt und Nickel sind z.B. magnetisierbar, während alle anderen Metalle nicht von einem Magneten angezogen werden. Viele Metalle weisen eine graue Farbgebung auf, Gold und Kupfer sind farbig. Zinn und Blei sind weiche Metalle, Chrom ist sehr hart. Mit Hilfe der klassifizierenden Eigenschaften lässt sich eine Stoffprobe der Stoffgruppe der Metalle zuordnen. Um herauszufinden, um welchen Stoff genau es sich handelt, müssen mehrere Eigenschaften genauer untersucht werden. Und das gilt nicht nur für Metalle, sondern auch für Papier- bzw. Pappsorten, Kunststoffe und verschiedene Gläser!

7. Ausgewählte Eigenschaften flüssiger Stoffe

Nach den gasförmigen und festen Stoffen, müssen nun noch die flüssigen Stoffe folgen. Auf dem Tisch mit den Partyutensilien befanden sich dazu neben Getränken, Speiseöl und Wasser auch einige Gefahrstoffe, wie z.B. Lampenöl, Brennspritus und Fleckenwasser (siehe dazu Abb. 3).

In diesem Abschnitt werden folgende Lernziele angestrebt:

Die Schülerinnen und Schüler sollen

- einige Gefahrensymbole, deren Bedeutung und entsprechende Vorsichtsmaßnahmen kennen lernen,
- Eigenschaften von ausgewählten flüssigen Stoffen (Wasser, Fleckenwasser, Brennspritus, Lampenöl) untersuchen,
- die Aussage: „Flammen sind brennende Gase“ auch auf brennbare Flüssigkeiten anwenden,
- erste Bedingungen für die Entzündbarkeit von brennbaren Flüssigkeiten kennen lernen und das einfache Teilchenmodell darauf anwenden,
- die Mischbarkeit unterschiedlicher Flüssigkeiten untersuchen und die Aussage „Gleiches mischt sich mit Gleichem“ erarbeiten und
- Wasser als Lösungsmittel untersuchen.








7.1 Untersuchen der Eigenschaften von Wasser, Fleckenwasser, Spiritus und Lampenöl

Unter den Flüssigkeiten auf dem Partytisch befinden sich mehrere klare Flüssigkeiten, die optisch praktisch nicht unterscheidbar sind: Wasser, Fleckenwasser, Brennspritus und Lampenöl. Sind diese Stoffe tatsächlich so gleich wie sie aussehen? Worin liegen die Unterschiede? Wie kann man diese klaren Flüssigkeiten voneinander unterscheiden? Einige charakteristische Eigenschaften zum Identifizieren von Stoffen haben die Schülerinnen und Schüler bereits bei den gasförmigen und festen Stoffen kennen gelernt. Die Untersuchungsmethoden sollen nun möglichst selbständig angewendet und für Flüssigkeiten modifiziert werden.

Der folgende Versuch beschreibt die Ermittlung von Eigenschaften wie Farbe, Geruch, Dichte und den Siedepunkt. Es wird hier bewusst auf die Untersuchung der Brennbarkeit verzichtet. Sie wird erst nach der Betrachtung der Gefahrstoffsymbole auf den Verpackungen untersucht.

Versuch 58: Untersuchen einiger Eigenschaften ausgewählter Flüssigkeiten

Geräte: 4 Reagenzgläser 16x160, 4 10-mL-Messzylinder, Waage (Messgenauigkeit: 0,01 g), 4 Pasteur-Pipetten, 4 Thermometer (bis 100 °C), 400-mL-Becherglas, Siedesteine, Heizplatte, wasserfester Stift

Chemikalien: K2r®-Fleckenwasser (GHS02 , GHS07 , GHS08 , GHS09 , Brennspritus (GHS02 , GHS07 , Lampenöl (GHS08 , Wasser

Durchführung: Zur Ermittlung der Dichte wird der Messzylinder auf die Waage gestellt und diese tariert. Nun befüllt man den Messzylinder möglichst genau mit 10 mL einer Flüssigkeit und wiegt den Messzylinder mit Flüssigkeit erneut. Aus dem Volumen und der Masse ist die Dichte zu errechnen.

Die 10 mL Flüssigkeit werden jeweils in ein entsprechend beschriftetes Reagenzglas gegeben, die Farbe und der Geruch bestimmt. Anschließend erhitzt man die Reagenzgläser mit dem Fleckenwasser und dem Brennspritus jeweils mit Siedesteinen und einem Thermometer im Wasserbad (Becherglas mit Wasser) und notiert sich die Siedetemperatur (**ACHTUNG:** Bei leichtentzündlichen Stoffen keine offenen Flammen!). Die Reagenzgläser mit Lampenöl und Wasser werden vorsichtig mit dem Brenner möglichst gleichmäßig und mit kleiner Flamme bis zum Sieden erhitzt und die Siedetemperatur gemessen.


Beobachtung und Auswertung:

Eigenschaften	Fleckenwasser	Brennspritus	Lampenöl	Wasser
Aggregatzustand bei Zimmertemperatur	flüssig	flüssig	flüssig	flüssig
Farbe	farblos	farblos	farblos (auch farbig)	farblos
Geruch	benzinartig, süßlich	stechend unangenehm	benzinartig, ölig	geruchlos
Dichte	0,70 g/mL	0,79 g/mL	0,74 g/mL	1 g/mL
Siedetemperatur	45 °C	76 °C	ab 150 °C	100 °C

Die vier Flüssigkeiten unterscheiden sich in ihrem Geruch, der Dichte und der Siedetemperatur. Didaktische Anmerkung: In diesem Versuch werden die Steckbriefe für die vier Flüssigkeiten angefangen. Man erkennt schon hier, dass es offensichtlich vier unterschiedliche Flüssigkeiten mit jeweils charakteristischen Eigenschaften sind (vergleiche dazu Fehlvorstellung 2(1), nach der Flüssigkeiten für Schülerinnen und Schüler „Wasser“ sind).








Bei der Betrachtung der Verpackungen von Fleckenwasser, Brennspiritus und Lampenöl fallen die Gefahrensymbole auf. Sie können genutzt werden, um die Symbole, ihre Bedeutung und die entsprechenden Vorsichtsmaßnahmen zu diskutieren. Es bleibt der Lehrkraft überlassen, in diesem Zusammenhang gleich auf alle Gefahrensymbole einzugehen oder für den konkreten Unterricht eine geeignete Auswahl zu treffen. Zur Übersicht sind in der folgenden Tabelle nur die relevanten Gefahrensymbole und die dazugehörigen Gefährlichkeitsmerkmale aufgeführt.

Gefahrensymbole und Beschreibungen der Gefährlichkeitsmerkmale

	<p>Stoffe und Zubereitungen sind <u>gesundheitsschädlich</u> (GHS08), wenn sie bei Einatmen, Verschlucken oder Aufnahme über die Haut zum Tode führen oder akute oder chronische Gesundheitsschäden verursachen können.</p> <p>gesundheitsschädlich: harmful, nocif</p>
	<p>Stoffe und Zubereitungen sind <u>umweltgefährlich</u> (GHS09), wenn sie selbst oder ihre Umwandlungsprodukte geeignet sind, die Beschaffenheit des Naturhaushalts, von Wasser, Boden oder Luft, Klima, Tieren, Pflanzen oder Mikroorganismen derart zu verändern, dass dadurch sofort oder später Gefahren für die Umwelt herbeigeführt werden können.</p> <p>umweltgefährlich: dangerous for the environment, dangereux pour l'environnement</p>
	<p>Stoffe und Zubereitungen sind <u>hochentzündlich</u> (GHS02), wenn sie</p> <ol style="list-style-type: none"> in flüssigem Zustand einen extrem niedrigen Flammpunkt und einen niedrigen Siedepunkt haben, als Gase bei gewöhnlicher Temperatur und Normaldruck in Mischung mit Luft einen Explosionsbereich haben. <p>hochentzündlich: extremely inflammable, extrêmement inflammable</p> <p>Stoffe und Zubereitungen sind <u>leichtentzündlich</u> (GHS02), wenn sie</p> <ol style="list-style-type: none"> sich bei gewöhnlicher Temperatur an der Luft ohne Energiezufuhr erhitzen und schließlich entzünden können, in festem Zustand durch kurzzeitige Einwirkung einer Zündquelle leicht entzündet werden können und nach deren Entfernen weiterbrennen oder weiterglimmen, in flüssigem Zustand einen sehr niedrigen Flammpunkt haben, bei Berührung mit Wasser oder mit feuchter Luft hochentzündliche Gase in gefährlicher Menge entwickeln. <p>leichtentzündlich: highly inflammable, facilement inflammable</p> <p>Stoffe und Zubereitungen sind <u>entzündlich</u> (GHS02), wenn sie in flüssigem Zustand einen niedrigen Flammpunkt haben.</p> <p>entzündlich: inflammable, inflammable</p>

Tab.19: Gefahrensymbole und die Beschreibung der Gefährlichkeitsmerkmale [43]

Die Steckbriefe können also entsprechend zu den Steckbriefen der Gase ergänzt werden:








Eigenschaften	Fleckenwasser	Brennspiritus	Lampenöl
Aggregatzustand, Farbe, Geruch, etc.
Gefahrenbezeichnung	leichtentzündlich gesundheitsschädlich umweltgefährlich	leichtentzündlich	gesundheitsschädlich
Gefahrenpiktogramme	GHS02  , GHS07  , GHS08  , GHS09 	GHS02  , GHS07 	GHS08 
H-Sätze	H225: Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar. H304: Kann bei Verschlucken und Eindringen in die Atemwege tödlich sein. H315: Verursacht Hautreizungen. H336: Kann Schläfrigkeit und Benommenheit verursachen. H411: Giftig für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung.	H225: Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar. H319: Verursacht schwere Augenreizung.	H304: Kann bei Verschlucken und Eindringen in die Atemwege tödlich sein.
P-Sätze	P102: Darf nicht in die Hände von Kindern gelangen. P210: Von Hitze, heißen Oberflächen, Funken, offenen Flammen sowie anderen Zündquellenarten fernhalten. Nicht rauchen. P260: Nebel/Dampf/Aerosol nicht einatmen. P262: Nicht in die Augen, auf die Haut oder auf die Kleidung gelangen lassen. P243: Maßnahmen gegen elektrostatische Entladungen treffen. P301+P310: BEI VERSCHLUCKEN: Sofort GIFTINFORMATIONEN ZENTRUM/Arzt anrufen. P331: KEIN Erbrechen herbeiführen.	P261: Einatmen von Dampf vermeiden. P501: Inhalt/Behälter zugelassenem Entsorger oder kommunaler Sammelstelle zuführen. P102: Darf nicht in die Hände von Kindern gelangen. P210: Von Hitze, heißen Oberflächen, Funken, offenen Flammen sowie anderen Zündquellenarten fernhalten. Nicht rauchen. P280: Schutzhandschuhe/ Schutzhandschuhe/Sc hutzkleidung/Augensch utz/Gesicht sschutz tragen. P337+P313: Bei anhaltender Augenreizung: Ärztlichen Rat einholen/ärztliche Hilfe hinzuziehen.	P101: Ist ärztlicher Rat erforderlich, Verpackung oder Kennzeichnungsetikett bereithalten. P102: Darf nicht in die Hände von Kindern gelangen. P103: Vor Gebrauch Kennzeichnungsetikett lesen. P301+P310: BEI VERSCHLUCKEN: Sofort GIFTINFORMATIONEN -ZENTRUM oder Arzt anrufen. P331: KEIN Erbrechen herbeiführen. P405: Unter Verschluss aufbewahren. P501: Inhalt/Behälter gemäß lokalen/nationalen Vorschriften der Entsorgung zuführen.

	P403: An einem gut belüfteten Ort aufbewahren. P501a: Inhalt/Behälter der Problemabfallentsorgung zuführen.	P305+P351+P338: BEI KONTAKT MIT DEN AUGEN: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser spülen. Vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter spülen. P303+P361+P353: BEI BERÜHRUNG MIT DER HAUT (oder dem Haar): Alle kontaminierten Kleidungsstücke sofort ausziehen. Haut mit Wasser abwaschen/duschen	
--	--	---	--

Betrachtet man die Gefahrenbezeichnung auf den Verpackungen, so lässt sich feststellen, dass K2r®-Fleckenwasser und auch Brennspiritus mit dem Gefahrenzeichen für leichtentzündlich gekennzeichnet sind, Lampenöl dagegen nicht. Dennoch wird es in Öllampen als Brennstoff eingesetzt und auf der Verpackung ist auch der Warnhinweis „Feuergefährlich“ zu finden. Dieser offensichtliche Widerspruch führt zu der Untersuchung der Brennbarkeit.

Versuch 59: Untersuchung der Brennbarkeit von Wasser, Fleckenwasser, Spiritus und Lampenöl

Geräte: 4 kleine Kristallisierschalen, passende Glasplatten, Holzspan

Chemikalien: K2r®-Fleckenwasser (GHS02 , GHS07 , GHS08 , GHS09 , Brennspiritus (GHS02 , GHS07 , Lampenöl (GHS08 , Wasser

Durchführung: Eine kleine Probe Flüssigkeit wird in eine Kristallisierschale gegeben, dann nähert man sich langsam mit einem brennenden Holzspan von oben nach unten dem Flüssigkeitsstand. Durch Abdecken mit einer Glasplatte kann ein eventuelles Feuer gelöscht werden.

Beobachtung und Auswertung:

Eigenschaften	Fleckenwasser	Brennspiritus	Lampenöl	Wasser
Brennbarkeit	brennbar	brennbar	??? (zumindest nicht entzündbar)	nicht brennbar

Das Lampenöl lässt sich unter den Bedingungen in diesem Versuch mit dem Span nicht entzünden. Dagegen entzünden sich das Fleckenwasser und der Brennspiritus bereits, bevor der brennende Span die Flüssigkeitsoberfläche berührt. Es sieht so aus, als würde die Flamme vom Span auf die Flüssigkeitsoberfläche „springen“. Die Flamme breitet sich dann rasch auf der gesamten Oberfläche aus. Fleckenwasser ist in seinen Eigenschaften deutlich von Wasser zu unterscheiden.

Didaktische Anmerkung: Die Untersuchung der Brennbarkeit und deren teilweise überraschenden Ergebnisse motivieren dazu, sich dem Phänomen der Entzündbarkeit genauer zu widmen.

Zwei überraschende Beobachtungen aus dem vorherigen Versuch sollen nun im Folgenden geklärt werden:

- 1) Warum entzünden sich Fleckenwasser und Brennspiritus bereits bevor der brennende Span die Oberfläche berührt?
- 2) Warum lässt sich das Lampenöl nicht entzünden, obwohl es im Alltag als Brennstoff benutzt wird und dort offenbar brennt?


Um eine Antwort auf die erste Frage zu finden, kann man auf die Flammerscheinungen aufmerksam machen. Bei den brennbaren Gasen war die Flamme immer das brennende Gas. Könnte es sich bei den Flammen über der Flüssigkeit auch um brennende Gase handeln? Schülerinnen und Schüler kennen die Aggregatzustandsänderungen und das Phänomen der Verdunstung. Das

Verdunsten von Wasser kann tagtäglich beobachtet werden, wenn z.B. Regentropfen auf einer Fensterscheibe wieder „verschwinden“, wenn Wäsche trocknet oder wenn Haare gefönt werden. Auch andere Stoffe verdunsten, wie sonst würde man Parfüm-, Benzin- und Essenserüche wahrnehmen können. Die Vermutung, dass sich über der Flüssigkeitsoberfläche durch Verdunstung ein brennbares Gas bildet, lässt sich mit folgendem Versuch bestätigen.

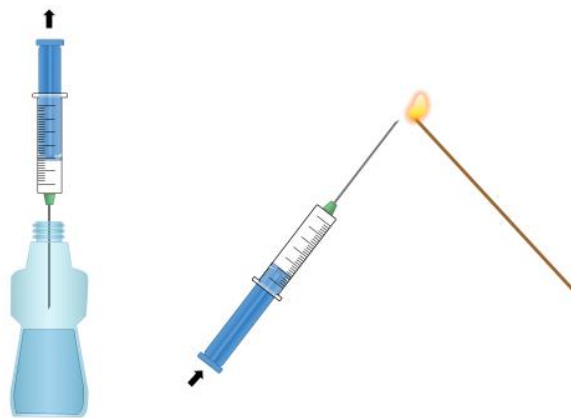
Versuch 60: Brennbare Gase durch „Verdunstung“

Sicherheit: Bei mehrfacher Durchführung dieses Versuchs muss immer eine neue, kalte Kanüle verwendet werden. **Eine bereits benutzte Kanüle kann heiß genug sein, um eine Verpuffung in dem Gefäß zu verursachen!**

Geräte: Einwegspritze, Kanülen, Feuerzeug

Chemikalien: K2r®-Fleckenwasser (GHS02 , GHS07 , GHS08 , GHS09 ) (siehe auch „Fachlicher Hinweis“)

Durchführung: Es wird mit der Einwegspritze eine Gasprobe aus dem Gasraum oberhalb der Flüssigkeit entnommen. Bei gleichmäßigem langsamem Druck auf den Stempel der Spritze wird versucht das Gas am Ende der Kanüle zu entzünden.



Beobachtung: Das Gas brennt am Ausgang der Kanüle mit kleiner gelber Flamme.

Auswertung: Das Fleckenwasser verdunstet zu einem gewissen Anteil in dem geschlossenen Gefäß. Im Gasraum über der Flüssigkeit lässt sich daher ein brennbares Gas nachweisen. Die Flamme an der Spitze der Kanüle ist das brennende gasförmige Fleckenwasser.

Didaktische Anmerkung: In diesem Versuch können die Schülerinnen und Schüler erkennen, dass sich über dem flüssigen Fleckenwasser auch gasförmiges Fleckenwasser befindet. Dieses Phänomen ist nur durch Verdunstung erklärbar. Zudem bestätigt dieser Versuch, dass auch bei brennbaren Flüssigkeiten die Flamme durch ein brennendes Gas hervorgerufen wird.

Fachlicher Hinweis: Das Einsaugen eines brennbaren Gasmisches gelingt nicht bei jeder brennbaren Flüssigkeit. Bei Fleckenwasser oder Kraftstoff-Benzin brennt das Gasmisch in der Regel, bei Brennspritus gestaltet sich dieser Versuch schwierig. Man sollte für diesen Versuch nur solche Flüssigkeiten nehmen, die einen hohen Dampfdruck aufweisen, so dass schon bei Raumtemperatur entflammable Gemische entstehen. Diese Flüssigkeiten weisen einen Flammpunkt unterhalb der Raumtemperatur auf. Der Flammpunkt ist die niedrigste Temperatur, bei der durch Fremdzündung eine Entflammung der Dämpfe erfolgt [33, S. 1352].

Bei den leichtentzündlichen Flüssigkeiten entstehen also schon bei Raumtemperatur durch Verdunstung brennbare Gase, die sich entzünden lassen und mit einer Flamme verbrennen. Diese Erkenntnis leitet über zur Beantwortung der zweiten Frage. Es lässt sich die Vermutung aufstellen, dass Lampenöl nicht oder nicht so gut verdunstet wie das Fleckenwasser.

Versuch 61: Verdunstungsgeschwindigkeiten von Fleckenwasser und Lampenöl

Geräte: 2 Petrischalen, 2 gleiche Waagen, zwei 10-mL-Messzylinder, Stoppuhr

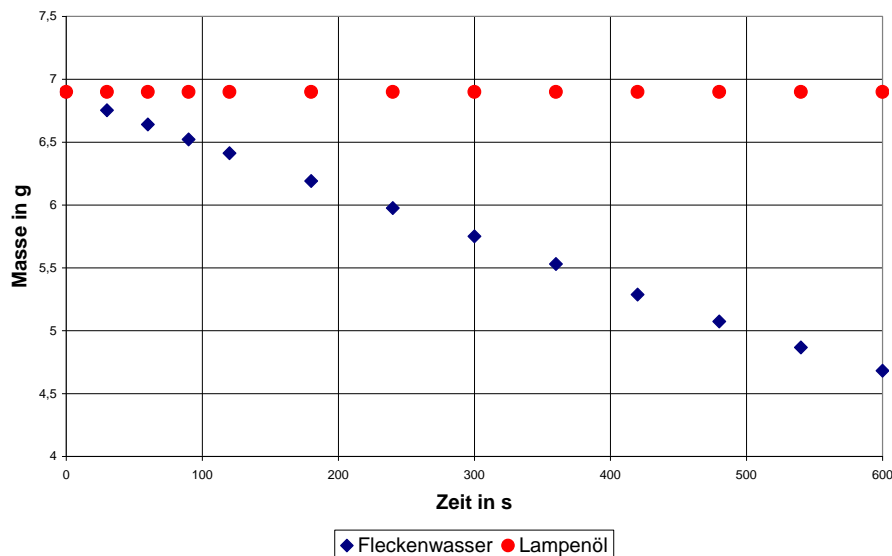
Chemikalien: K2r®-Fleckenwasser (GHS02 , GHS07 , GHS08 , GHS09 ), Lampenöl (GHS08 )

Durchführung: Die beiden Petrischalen werden auf je eine Waage gestellt und austariert. Dann gibt man möglichst gleichzeitig 10 mL Fleckenwasser in die eine Schale und 10 mL Lampenöl in die andere. Man notiert sich das Anfangsgewicht und startet die Stoppuhr. Die Gewichtsveränderungen werden bei Raumtemperatur über eine Zeit von 10 min zunächst alle 30 s und ab 2 min minütlich erfasst.

Beobachtung:

Zeit	10 ml Fleckenwasser	10 ml Lampenöl
0 s	6,900 g	7,487 g
30 s	6,754 g	7,486 g
60 s	6,640 g	7,487 g
90 s	6,521 g	7,487 g
120 s	6,412 g	7,487 g
180 s	6,191 g	7,487 g
240 s	5,975 g	7,487 g
300 s	5,751 g	7,487 g
360 s	5,531 g	7,487 g
420 s	5,288 g	7,487 g
480 s	5,073 g	7,487 g
540 s	4,867 g	7,487 g
600 s	4,682 g	7,487 g

Auswertung:



Das Fleckenwasser verdunstet sehr schnell, nach etwa 45 min ist es sogar (bei 25 °C) vollständig verdunstet. Beim Lampenöl ist über die Dauer von 10 min keine Gewichtsveränderung beobachtbar.

Didaktische Anmerkung: Dieser Versuch bestätigt die Vermutung, dass Lampenöl bei Raumtemperatur nicht so schnell verdunstet wie Fleckenwasser. Die schnelle Verdunstungsgeschwindigkeit von Fleckenwasser erklärt, warum sich Fleckenwasser so leicht entzünden lässt.

Wie schafft man es nun, auch das Lampenöl zu entzünden? Es lässt sich erarbeiten, dass die Verdunstung von Lampenöl beschleunigt werden muss. Dies ist durch Wärme möglich, wie die Schülerinnen und Schüler sowohl aus dem Unterricht als auch aus dem Alltag bereits wissen (Wäsche trocknet im Sommer schneller als im Winter, Haare trocknen beim Heißfönen schneller als beim Kaltfönen etc.). Es ist also zu überprüfen, ob sich erwärmtes Lampenöl mit einem brennenden Span entzünden lässt.

Versuch 62: Entzünden von Lampenöl

Geräte: kleine Kristallisierschale, passende Glasplatte, Holzspan, Heizplatte

Chemikalien: Lampenöl (GHS08 )

Durchführung: Eine kleine Probe Lampenöl wird in eine Kristallisierschale gegeben und auf der Heizplatte langsam erwärmt. Man prüft in regelmäßigen Abständen mit einem brennenden Span, ob sich das Lampenöl entzünden lässt. Durch Abdecken mit einer Glasplatte kann ein eventuelles Feuer gelöscht werden.

Beobachtung: Bereits nach kurzer Zeit der Erwärmung lässt sich das Lampenöl entzünden. Es brennt mit gelb leuchtender Flamme.

Auswertung: Durch die Erwärmung verdunstet/verdampft ein Teil des flüssigen Lampenöls. Das gasförmige Lampenöl lässt sich mit einem brennenden Holzspan entzünden, es entsteht eine Flamme. Die bei der Verbrennung entstehende Wärme sorgt dafür, dass weiteres Lampenöl verdampfen kann, bis es verbraucht ist.

Didaktische Anmerkung: Dieser Versuch zeigt eindrucksvoll, dass Lampenöl eben doch ein brennbarer Stoff ist und verdeutlicht wieder einmal, dass Flammen brennende Gase sind. Dazu kann herausgearbeitet werden, dass das Verdunsten (und auch Verdampfen) eines Stoffes auch von der Temperatur abhängig ist.

Als Anwendung des Teilchenmodells und der Aggregatzustandsänderungen sollten die Versuche zur Brennbarkeit bzw. Entzündbarkeit des Lampenöls auch auf Teilchenebene interpretiert werden. Was passiert beim Erwärmen? An dieser Stelle kann auch auf den Vorgang des Verdunstens eingegangen werden. Folgende Darstellung könnte zusammen mit den Schülerinnen und Schülern erarbeitet werden.

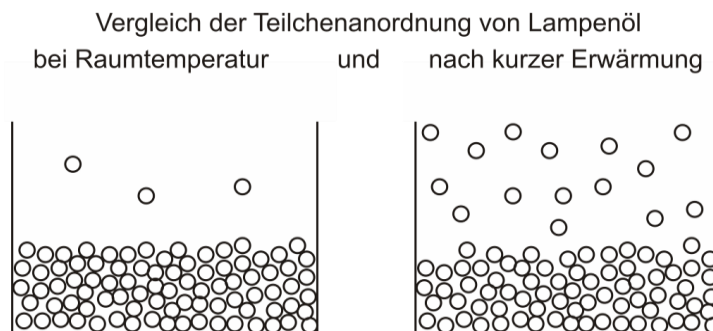



Abb.24: Lampenöl bei unterschiedlichen Temperaturen im Teilchenmodell

Außerdem kann man diskutieren, warum sich das Lampenöl an einer Öllampe sofort entzünden lässt. Hierbei spielt natürlich der Docht eine große Rolle, der durch seine Kapillarität das Lampenöl aufsaugt. Hält man nun eine Feuerzeugflamme an den Docht, so verdunstet das Lampenöl durch die Hitze der Flamme und entzündet sich. Da nur eine kleine Menge des Lampenöls erhitzt werden muss, genügt es, den Docht nur kurz zu erhitzen.

Zusammenfassend kann man festhalten, dass es sich bei Brennspritus, Lampenöl und Fleckenwasser um brennbare Flüssigkeiten handelt. Obwohl es sich dabei um klare, farblose Flüssigkeiten handelt, sind sie dennoch deutlich vom Wasser zu unterscheiden. Man kann nun die Wahl der Bezeichnung „Fleckenwasser“ diskutieren. Obwohl es als „Wasser“ bezeichnet wird, besitzt es offensichtlich einige ganz andere Eigenschaften als der Stoff Wasser. Die Namensgleichheit hat daher nur eine werbende Bedeutung. „Fleckenwasser“ soll den Eindruck erwecken, praktisch mit Wasser zu reinigen und nicht mit „Chemie“. Werden wir noch bei anderen Stoffen so in die Irre geführt? Sind vielleicht Lampenöl und Speiseöl auch ganz verschiedene Stoffe? Oder besitzen sie Gemeinsamkeiten, die die gemeinsame Bezeichnung „Öl“ rechtfertigen? In Anlehnung an die bereits durchgeführten Versuche zu Lampenöl können die Schülerinnen und Schüler selbständig einen Steckbrief für Speiseöl erstellen.

Eigenschaften	Speiseöl ⁶	Lampenöl
Aggregatzustand bei Zimmertemperatur	flüssig	flüssig
Farbe	gelblich	farblos (auch farbig)
Geruch	ölig, nach Frittierfett	benzinartig, ölig
Dichte	0,91 g/mL	0,74 g/mL
Siedetemperatur	> 250 °C, es entsteht ein stechender unangenehmer Geruch	ab 150 °C
Gefahrenbezeichnung	keine - Lebensmittel	gesundheitsschädlich
Gefahrenpiktogramm	keins	GHS08 
Brennbarkeit	erst nach sehr langem Erhitzen brennbar	brennbar
Bemerkungen	zähflüssig	dünnflüssig

Tab. 20: Steckbrief von Speiseöl und Lampenöl

Auch Speise- und Lampenöl unterscheiden sich in ihren Eigenschaften gravierend. Während Lampenöl schon ab 150 °C zu sieden beginnt, kann man bei Speiseöl keinen Siedepunkt ermitteln. Bei dem Versuch den Siedepunkt zu bestimmen kann beobachtet werden, dass das Öl zunächst dünnflüssiger wird, sich etwas in der Farbe intensiviert und ein stechender unangenehmer Geruch entsteht. Bei manchen Speiseölen erkennt man sogar Qualmwolken, die vom Öl aufsteigen. Speiseöl scheint sich beim Erhitzen zu verändern. Nach dem Abkühlen riecht es dann „ranzig“. Es ist nicht mehr als Speiseöl verwendbar. Weiterhin ist Speiseöl sehr viel schwerer entflammbar als Lampenöl. Daher kann es auch meistens ohne Bedenken in der Bratpfanne bei Temperaturen bis 180 °C eingesetzt werden. Wenn man es aber zu lange und zu hoch erhitzt, kann sich das Öl durchaus entzünden. Dabei kommt es leider immer wieder zu schweren Unfällen, wie der folgende aktuelle Zeitungsartikel der Ostsee-Zeitung vom 10.03.2008 [44] zeigt.

Kochversuch endete in Lübecker Spezialklinik

Wismar (dpa) Mit schweren Verletzungen endete in der Nacht zu gestern der Kochversuch eines Mannes in einem Mehrfamilienhaus in Wismar. Der 31-Jährige hatte kurz nach Mitternacht einen Topf mit Öl auf den Herd gestellt und war eingeschlafen, so ein Polizeisprecher. Als es stark qualmte, habe er versucht, das Feuer mit Wasser zu löschen, was aber eine Verpuffung auslöste. Durch die Stichflamme erlitt das Opfer Verbrennungen im Gesicht und an den Händen und kam in eine Spezialklinik nach Lübeck. Die Küche wurde stark beschädigt.

Trotz der schweren Entflammbarkeit kann Speiseöl ähnlich wie Lampenöl in den so genannten „Zauberlichtern“ bzw. „Schwimm-Lichtern“ verwendet werden. Dazu sind ein Docht und ein spezieller Schwimmer erforderlich (siehe Abb. 25).

⁶ Zur Erstellung dieser Tabelle wurde reines Pflanzenöl (100 % reines Rapsöl) der Firma Vita d'or verwendet. Bei Verwendung anderer Speiseölsorten können die Eigenschaften (Farbe, Dichte, Temperatur, bei der die Zersetzung beginnt) abweichen.

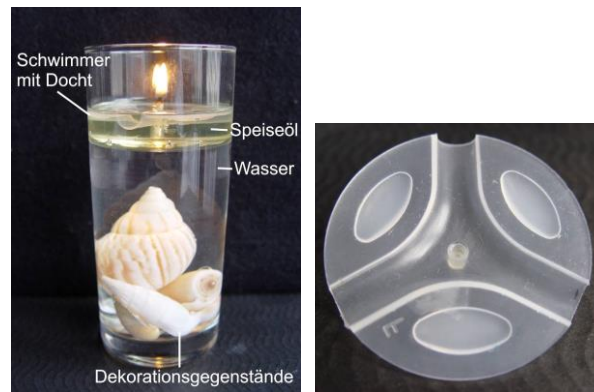


Abb. 25: Beispiel für eine Speiseöllampe (links) und Schwimmer (rechts)

Bei diesen Lichtern gibt man etwa 1 cm hoch Speiseöl in ein dekoratives Glas, welches bereits Wasser und einige Dekorationsgegenstände enthält. Das Öl schwimmt dabei auf der Wasserschicht. Auf das Öl wird ein spezieller „Schwimmer“ gelegt. Dieser enthält eine Halterung für den Docht in der Mitte sowie mehrere Einkerbungen, die das Öl zum Docht führen. Die Halterung für den Docht ist nach unten geschlossen, damit er nicht in das Wasser ragen kann.








Anhand solcher Speiseöllampen, deren Funktionsweise lassen sich noch einmal eine Reihe von Phänomenen beobachten und erklären:

- Die unterschiedlichen Dichten von Feststoffen und Flüssigkeiten führen zu einer Schichtung in der Öllampe (viele Dekorationsgegenstände sinken im Wasser nach unten, während der Schwimmer aus Kunststoff auf dem Öl schwimmt und das Öl schwimmt auf dem Wasser).
- Das Wasser lässt sich zusätzlich mit Hilfe von Farbstoffen anfärben. Hier wird die Löslichkeit von Stoffen in Wasser ausgenutzt.
- Die Brennbarkeit des Öls wird zur Erzeugung einer Flamme genutzt.

Außerdem weisen die Speiseöllampen auf eine Eigenschaft hin, die bisher noch nicht untersucht worden ist: offensichtlich mischen sich Speiseöl und Wasser nicht. Was ist mit Lampenöl? Lässt sich dieses mit Wasser mischen? Im folgenden Versuch wird die Mischbarkeit von Speiseöl, Lampenöl, Brennspritus und Fleckenwasser mit Wasser untersucht.

Versuch 63: Mischbarkeit von Wasser mit Speiseöl, Lampenöl, Brennspritus und Fleckenwasser

Geräte: 4 Reagenzgläser 16x160 mm, passender Stopfen, Reagenzglasständer, fünf 10-mL-Messzylinder

Chemikalien: K2r®-Fleckenwasser (GHS02 , GHS07 , GHS08 , GHS09 , Brennspritus (GHS02 , GHS07 , Lampenöl (GHS08 , Speiseöl, Wasser

Durchführung: In je einem Reagenzglas wird versucht 2 mL Wasser mit 2 mL Speiseöl, Lampenöl, Brennspritus und Fleckenwasser zu mischen. Die Reagenzgläser sind dabei mit dem Stopfen zu verschließen und kurz zu schütteln.

Beobachtung: Wasser mit Speiseöl (oder Lampenöl oder Fleckenwasser): Beim Schütteln bildet sich zunächst eine trübe Flüssigkeit, die sich schnell wieder trennt. Zwischen den beiden Flüssigkeiten erkennt man eine dünne Linie.

Wasser mit Brennspritus: Man erkennt nach dem Schütteln eine einheitliche klare Flüssigkeit, die sich nicht wieder trennt.








Auswertung: Wasser mischt sich sowohl mit Speiseöl, als auch mit Lampenöl und Fleckenwasser **nicht**. Beim Schütteln entstehen zwar kurzzeitig Emulsionen, diese sind aber nicht stabil und es findet eine Trennung der beiden Flüssigkeiten statt, deutlich zu erkennen an der Phasengrenze. Wasser und Brennspritus lassen sich aber untereinander mischen.

Didaktische Anmerkung: In diesem Versuch wird die Mischbarkeit von unterschiedlichen Flüssigkeiten das erste Mal thematisiert. Dabei gibt es Flüssigkeiten, wie Speise- und Lampenöl oder auch Fleckenwasser, die sich nicht mit Wasser mischen. Bei einem Brennspritus-Wasser-Gemisch ist dagegen keine Phasengrenze zu erkennen. Diese beiden Flüssigkeiten lassen sich in jedem Verhältnis mischen.

Wenn sich sowohl Speiseöl als auch Lampenöl nicht mit Wasser mischen lassen, mischen sie sich denn untereinander? Dies soll in einem nächsten Versuch überprüft werden.

Versuch 64: Mischbarkeit von Speiseöl mit Lampenöl, Brennspritus und Fleckenwasser

Geräte: 6 Reagenzgläser 16x160 mm, passender Stopfen, Reagenzglasständer, vier 10-mL-Messzylinder

Chemikalien: K2r®-Fleckenwasser (GHS02 , GHS07 , GHS08 , GHS09 , Brennspritus (GHS02 , GHS07 , Lampenöl (GHS08 , Speiseöl

Durchführung: In jedem Reagenzglas wird versucht, jeweils 2 mL zweier unterschiedlicher Flüssigkeiten zu mischen. Die Reagenzgläser sind dabei mit dem Stopfen zu verschließen und kurz zu schütteln.

Beobachtung:

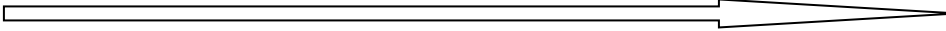
2 mL Speiseöl und 2 mL Lampenöl	mischen sich
2 mL Speiseöl und 2 mL Brennspritus	mischen sich nicht
2 mL Speiseöl und 2 mL Fleckenwasser	mischen sich
2 mL Lampenöl und 2 mL Brennspritus	mischen sich nicht
2 mL Lampenöl und 2 mL Fleckenwasser	mischen sich
2 mL Brennspritus und 2 mL Fleckenwasser	mischen sich

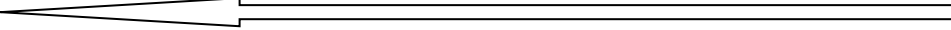
Auswertung: Speiseöl mischt sich sowohl mit Lampenöl als auch mit Fleckenwasser. Auch das Lampenöl ist mit Fleckenwasser mischbar. Diese drei Flüssigkeiten scheinen also eine Gemeinsamkeit zu haben, so dass sie sich mischen lassen. Brennspritus mischt sich zwar mit Fleckenwasser, aber nicht mit Speise- und Lampenöl. Es nimmt in dieser Reihe eine Art Zwischenstellung ein. Es mischt sich sowohl mit Wasser als auch mit Fleckenwasser.

Didaktische Anmerkung: Hier erkennen die Schülerinnen und Schüler noch einmal, dass Speiseöl und Lampenöl doch mehr Gemeinsamkeiten haben als z.B. Wasser und Fleckenwasser.

Als Folgerung aus diesem Versuch kann man den Satz „Gleiches mischt sich mit Gleichem“ erarbeiten, eventuell sind dazu noch passende Versuche durchzuführen. So mischen sich z.B. Öl mit Fett, Benzin mit Öl und Fett mit Benzin. Stoffe, die sich mit Öl mischen, nennt man auch *lipophil* („fettliebend“) bzw. *hydrophob* („wasserabweisend“). Stoffe, die sich gut mit Wasser mischen, nennt man *hydrophil* („wasserliebend“). Dabei kann man nicht immer klar zwischen hydro- und lipophilen Stoffen unterscheiden. Es gibt auch Stoffe, wie z.B. Brennspritus, die eine Zwischenstellung einnehmen (weitere Beispiele wären Gesichtswasser (Isopropanol) und Nagellackentferner (Aceton)). Hier sollte Wert auf eine sorgfältige Erarbeitung der Abstufungen in der Mischbarkeit gelegt werden. Dazu kann man Wasser auf der einen und Lampen- bzw. Speiseöl auf der anderen Seite anordnen. Abgestuft werden dann die anderen Flüssigkeiten dazwischen angeordnet. Damit soll insbesondere klar gemacht werden, dass Stoffe nicht nur „entweder lipo- oder hydrophil“ sind, sondern auch Zwischenstellungen einnehmen können. Ausgehend von den obigen Mischungsversuchen kann man folgende Reihe aufstellen:

**Wasser – Brennspritus – Fleckenwasser – Lampenöl
Speiseöl**


Lipophilie nimmt zu,
d.h. die Stoffe werden von links nach rechts fettliebender und wasserabweisender


Hydrophilie nimmt zu,
d.h. die Stoffe werden von rechts nach links wasserliebender und fettabweisender

7.2 Wasser als Lösungsmittel

Bei den restlichen Flüssigkeiten auf dem Tisch mit den Partyutensilien handelte es sich um Getränke: Cola, Limonade und Mineralwasser. Ein Blick auf die Inhaltsstoffangabe der Getränke zeigt, dass es sich dabei immer um wässrige Flüssigkeiten handelt, d.h. als Hauptinhaltsstoff ist Wasser angegeben. Es folgen eine Reihe weiterer Zutaten, die man dem Getränk meistens nicht ansieht (Ausnahme: Farbstoffe). Trotzdem wurden sie offensichtlich zur Herstellung der Getränke verwendet. Die Schülerinnen und Schüler äußern an dieser Stelle sicherlich, dass diese Stoffe für den charakteristischen Geschmack verantwortlich sind, sie wurden dafür in dem Wasser „aufgelöst“. Bezüglich des „Auflösens“ kann an dieser Stelle auf Versuch 14 verwiesen werden. Falls der Versuch nicht gemacht wurde, oder die Vorgänge noch einmal visuell unterstützt werden sollen, kann im folgenden Experiment ein entsprechender Lösungsvorgang noch einmal beobachtet werden.

Versuch 65: Beobachten des Lösungsvorganges

Geräte: Reagenzglas 30x200 mm, passender Reagenzglasständer, Blumendraht

Chemikalien: Wasser, weißer Kandiszucker

Durchführung: Das Reagenzglas wird zu etwa einem Drittel mit Wasser gefüllt. Dann wird ein großes Stück Kandiszucker mit dem Blumendraht umwickelt und in das Reagenzglas mit Wasser gehängt. Sollte das Stück aus dem Blumendrahtgestell herausfallen, so kann man das Reagenzglas kurz schütteln, um die entsprechenden Beobachtungen zu machen.

Beobachtung: Vom Kandiszucker aus fallen Schlieren nach unten, manchmal auch kleinere Stücke, die jedoch nach kurzer Zeit vom Reagenzglasboden verschwunden sind. Das Zuckerstück wird mit der Zeit immer kleiner, bis es aus dem Blumendrahtgestell schließlich heraus fällt. Schüttelt man das Reagenzglas nun kurz, so steigen Schlieren vom Kandiszuckerstück auf.

Auswertung: Das Kandiszuckerstück löst sich langsam im Wasser, bis schließlich nichts mehr von ihm zu sehen ist. Der Lösungsvorgang spielt sich dabei an der Oberfläche des Stückes ab, das Kandiszuckerstück wird so von außen nach innen gelöst. Die entstandene Zuckerlösung unterscheidet sich äußerlich nicht von dem Wasser, welches zu Beginn eingesetzt wurde. Augenscheinlich kann man also nicht entscheiden, ob es sich bei einer klaren „Wasserprobe“ um reines Wasser oder um eine Lösung handelt.

Didaktische Anmerkung: Dieser Versuch dient zum „Sichtbarmachen“ eines Lösungsvorganges sowie zur Einführung der Begriffe, wie sie im Folgenden erläutert werden. Man erkennt gut, dass der Lösungsvorgang an der Feststoffoberfläche stattfindet. Je größer die Oberfläche, desto schneller löst sich der Stoff.

Als Fazit aus dem ersten Versuch lässt sich sagen, dass eine Lösung ein Stoffgemisch ist, auch wenn die Lösung optisch nicht anders erscheint als das klare Wasser zu Beginn des Versuchs. Die Schülerinnen und Schüler wissen aber aus ihrem Alltag, dass gezuckerter Tee z.B. süß schmeckt. Der Zucker ist also nach wie vor da, auch wenn er nicht mehr zu sehen ist. Daher bezeichnet man eine Lösung auch als homogenes Stoffgemisch, d.h. die Bestandteile sind äußerlich nicht zu erkennen. Jedes noch so kleine Teilvolumen der Lösung weist eine gleichartige Zusammensetzung auf, erkennbar daran, dass jede einzelne Geschmacksprobe süß schmeckt.

Bevor der Zucker wieder aus einer Lösung gewonnen werden soll, könnte noch die Frage aufgeworfen werden, wie viel Zucker oder Salz sich in einer bestimmten Menge Wasser löst. Die Schülerinnen und Schüler werden eine unendliche Löslichkeit sicher verneinen, aber sie haben bestimmt auch keine konkrete Vorstellung davon, wie viel Zucker sich eigentlich in Wasser löst. Dazu wird in vielen Lehrbüchern ein eindrucksvoller Versuch vorgeschlagen, der mit einer Wettfrage beginnt: Wetten, dass ich es schaffe, zwei Tassen Zucker in einer Tasse Tee zu lösen?

Versuch 66: Löslichkeit von Zucker – Herstellen von Zuckerstäben

Geräte: 400-mL-Becherglas, 3 100-mL-Bechergläser, 50-mL-Messzylinder, Glasstab, Vierfuß mit Ceranplatte, 3 Holzstäbe, dicke Unterlage (Zeitung, Tuch, Bast- oder Korkuntersetzer)

Chemikalien: Haushaltszucker, Wasser

Durchführung: Zum optischen Vergleich befüllt man ein 100-mL-Becherglas mit 50 mL Wasser und die anderen beiden randvoll mit Haushaltszucker (zusammen etwa 220 g).

Nun stellt man das 400-mL-Becherglas auf die Ceranplatte und gibt in dieses die 50 mL Wasser. Dann erhitzt man unter Rühren das Wasser und gibt nach und nach den Zucker aus beiden Gläsern hinzu. Das Gemisch muss so lange erhitzt werden, bis sich eine klare Lösung bildet. Diese lässt man ein wenig abkühlen, stellt sie dann auf eine dicke Unterlage an einen ruhigen Ort. Dort stellt man die drei Holzstäbe hinein und wartet einige Tage.

Beobachtung: Nach etwa zwei Minuten hat sich bereits ein volles Becherglas mit Zucker in den 50 mL Wasser gelöst. Nach weiteren 15 Minuten ist der gesamte Zucker aus beiden Bechergläsern gelöst. Die Lösung ist klar, leicht gelblich und zähflüssig. Beim Abkühlen bildet sich zunächst an der Oberfläche der Lösung eine Kristallschicht aus. Nach einigen Tagen haben sich ganz viele Zuckerkristalle an den Holzstäben gebildet.



Abb.26: Lösen und Kristallisieren von Zucker

Auswertung: Zucker ist ein Stoff, der sich besonders gut in Wasser löst. Bei einer Temperatur von 20 °C lösen sich 2,4 g Zucker in einem Gramm Wasser. Bei 100 °C lösen sich sogar 4,87 g Zucker in einem Gramm Wasser [33, S. 3892]. In diesem Versuch wurden etwa 220 g Zucker in 50 mL heißem Wasser gelöst, das entspricht einer Konzentration von 4,4 g Zucker pro Gramm Wasser. Beim Abkühlen verringert sich die Löslichkeit von Zucker, wodurch sich wieder Zuckerkristalle bilden. Diese setzen sich bevorzugt an „Ecken und Kanten“ fest, d.h. an winzigen Unebenheiten im Glas, an der Oberfläche, wo am Rand evtl. noch ungelöste Zuckerkristalle vorhanden waren oder eben auch an den rauen Holzstäben. Dort bilden sich zunächst nur winzig kleine Kristalle, die mit der Zeit immer größer werden. Neben dem Abkühlungseffekt, der die Löslichkeit des Zuckers verringert, verdunstet das Wasser bei einer längeren Standzeit auch. Dies beschleunigt die Kristallbildung zusätzlich.

Didaktische Anmerkung: Dieser effektvolle Versuch verdeutlicht den Schülerinnen und Schülern besonders die gute Löslichkeit von Zucker in Wasser. Außerdem können sie die Kristallisation, den Umkehrprozess zum Lösen, beobachten (siehe dazu die Fehlvorstellungen 1(3) und 4(1)) und erhalten dabei auch noch ein schönes Produkt (Zuckerstab), welches sie z.B. aus Teegeschäften kennen. Bei der Diskussion, warum der Zucker wieder auskristallisiert, sollte nicht nur auf die Temperaturabhängigkeit der Löslichkeit eingegangen werden, sondern auch auf das Verdunsten.

Fachlicher Hinweis: Bei 4,4 g Zucker pro Gramm Wasser ist die Kristallisation meist sehr schnell, wodurch sich vor allem viele kleine Kristalle bilden. Dadurch entsteht der Eindruck von milchig trüben Kristallen am Holzstab. Möchte man schön klare Kristalle erhalten, muss man das Wachstum verlangsamen. Dies ist am besten über eine geringere Zuckerkonzentration zu realisieren (z.B. 120 g Zucker in 50 mL heißem Wasser gelöst, dann eine Woche stehen lassen).

Die Schülerinnen und Schüler kennen das „Eintrocknen“ von Lösungen aus ihrem Alltag. So trocknen z.B. Getränkereste in den benutzten Trinkgläsern ein, so dass dort eine feste unschöne Kruste verbleibt. Dies kann genutzt werden, um das Eindampfen als Trennverfahren zu motivieren.

Versuch 67: Wasser ist nicht gleich Wasser – Eindampfen

Geräte: 3 Objektträger, 3 Pipetten, Reagenzglasklammer

Chemikalien: destilliertes Wasser, Leitungswasser, Mineralwasser

Durchführung: Mit der Pipette wird ein Tropfen destilliertes Wasser auf ein Ende des Objektträgers gegeben. Dann fasst man mit der Reagenzglasklammer das andere Ende und hält den Objektträger immer wieder kurz über eine schwache, aber entleuchtete Brennerflamme, bis das Wasser verdampft ist. Anschließend wiederholt man das mit einem Tropfen Leitungswasser und einem Tropfen Mineralwasser.

Beobachtung: Beim Erhitzen über der schwachen Brennerflamme erkennt man in dem Tropfen kurz kleine Gasbläschen. Dann wird der Tropfen von außen nach innen kleiner, bis er schließlich ganz verschwunden ist. Das destillierte Wasser verschwindet spurlos (Abb. 27, links), beim Leitungswasser bleibt dagegen ein weißer Rückstand in Form des Tropfens (Abb. 27, Mitte). Auch beim Mineralwasser bleibt ein deutlicher weißer Rückstand (Abb. 27, rechts).

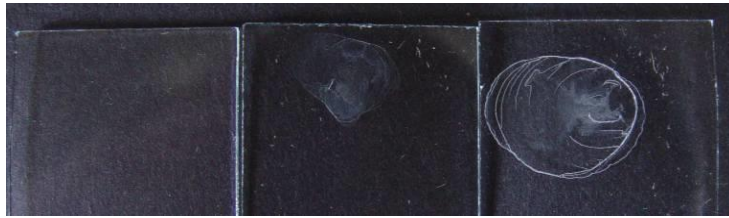


Abb. 27: Eingedampfte Wassertropfen
(links: destilliertes Wasser, mittig: Leitungswasser, rechts: Mineralwasser)

Auswertung: Das Wasser verdampft und zurück bleiben die darin gelösten Stoffe. Destilliertes Wasser ist reines Wasser, es befinden sich keine gelösten Stoffe darin. Im Leitungswasser - sowie auch im Mineralwasser - befinden sich dagegen gelöste Stoffe. Werden diese Lösungen erhitzt, bis das Wasser verdampft, bleiben die gelösten Stoffe zurück, da sie einen höheren Siedepunkt als Wasser haben.

Didaktische Anmerkung: Je nach regionaler Härte des Leitungswassers und des verwendeten Mineralwassers sieht man zwischen den beiden einen mehr oder weniger deutlichen Unterschied. Wichtig ist auch nur, dass sich im destillierten Wasser keine gelösten Stoffe nachweisen lassen. Auf die eventuell auftretende Frage nach dem Vorgang der Destillation wird in einem späteren Kapitel eingegangen.

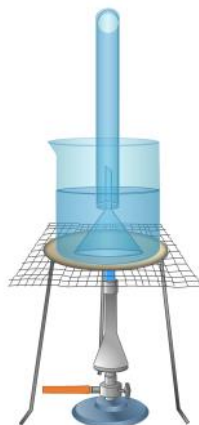
Dass sich nicht nur feste Stoffe in Wasser lösen, sondern auch Gase wissen die Schülerinnen und Schüler bereits (siehe Versuch 38: Demonstration der Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid in Wasser). Dies ist auch die Grundlage für das Leben unter Wasser: Fische atmen mit Hilfe ihrer Kiemen den in Wasser gelösten Sauerstoff. Dass auch in unserem Leitungswasser ein wenig Luft gelöst ist, kann durch den folgenden Versuch demonstrieren.

Versuch 68: Nachweis gelöster Gase in Leitungswasser

Geräte: hohes 250-mL-Becherglas, Trichter (Öffnung muss in das Becherglas passen), Reagenzglas 16x160 mm, Thermometer, Vierfuß mit Ceranplatte

Chemikalien: Leitungswasser

Durchführung: Der Trichter wird mit der Öffnung nach unten in das Becherglas gestellt und dieses soweit mit Leitungswasser befüllt, dass der Trichter ganz unter Wasser ist. Dann füllt man auch das Reagenzglas randvoll mit Leitungswasser, hält die Öffnung mit dem Zeigefinger zu und schiebt das Reagenzglas über das Trichterrohr, ohne dass Luft eindringt. Nun wird das Wasser vorsichtig erhitzt bis zu einer Temperatur von etwa 90 °C. Anschließend lässt man die Apparatur so wieder abkühlen.



Beobachtung: Die gesamte Apparatur ist zunächst mit Wasser gefüllt und wird erhitzt. Ab einer Temperatur von ca. 50 °C bilden sich an den Wänden von Trichter, Becherglas und Reagenzglas kleine Gasblasen, die beim weiteren Erhitzen aufsteigen. Die Gasblasen, die sich im Innern des Trichters bzw. Reagenzglases bilden, steigen im Reagenzglas auf und sammeln sich dort zu einer großen Gasblase. Manchmal bilden sich vor allem am Boden des Becherglases auch große Blasen, die jedoch auf dem Weg nach oben wieder verschwinden. Am Ende des Erhitzens hat sich im Reagenzglas etwa ein Zentimeter hoch Gas angesammelt. Nach dem Abkühlen ist die Gasblase nur geringfügig kleiner geworden.

Auswertung: Im Gegensatz zu den festen Stoffen, nimmt die Löslichkeit von Gasen in Wasser mit steigender Temperatur ab, so dass gelöstes Gas durch Erhitzen ausgetrieben werden kann. In Leitungswasser ist Luft gelöst. Diese wird in dem Versuch aus dem Wasser ausgetrieben und zum Teil in dem Reagenzglas aufgefangen.

Didaktische Anmerkung: In diesem Versuch wird gezeigt, dass im Leitungswasser ein Gas (physikalisch) gelöst ist. Von diesem Gas ist zu Beginn des Versuches nichts zu sehen, ab einer bestimmten Temperatur jedoch bilden sich kleine Gasblasen, fast wie durch Zauberei. Das aufgefangene Gasvolumen sollte dabei auch in Bezug zu der Wassermenge unter dem Trichter gesehen werden, denn nur dieses Wasser gibt das gelöste Gas in das Reagenzglas ab.

8. Die Einführung der Stoffumwandlung

Nachdem die Stoffe auf dem Tisch mit den Partyutensilien geordnet und genauer betrachtet wurden, soll die „Party“ beginnen. Da nun ein großer Abschnitt des Chemieunterrichts beendet wurde, bietet es sich an, die Party auch tatsächlich stattfinden zu lassen, wenn es der Schulalltag erlaubt. Dabei können die Schülerinnen und Schüler den Arbeitsauftrag erhalten, zu beobachten, wo und wie sich Stoffe während der Party verändern.

In diesem Kapitel stehen folgende Lernziele im Vordergrund:

Die Schülerinnen und Schüler sollen:

- den Begriff der Stoffumwandlung kennen lernen,
- die Wortgleichung für die Stoffumwandlung beim Verbrennen von Holzkohle formulieren,
- Kohlenstoffdioxid und Wasser als Verbrennungsprodukte bei der Verbrennung von vielen Brennstoffen nachweisen und
- die Stoffumwandlung beim Erhitzen von Holz und Papier unter Luftabschluss untersuchen.

Bei der Party können die Schülerinnen und Schüler eine ganze Reihe von Stoffveränderungen beobachten: der Grill wird angezündet und die Holzkohle wandelt sich um in Asche, das Grillgut gart auf dem Grillrost und wird dabei zart oder verkohlt bei zu starker Wärmezufuhr, Kerzenwachs verbrennt usw. Diese Stoffveränderungen sollen nun im Mittelpunkt der nächsten Untersuchungen stehen. Dazu wird zunächst das Anzünden und Verbrennen der Grillholzkohle betrachtet. Dabei wird die Holzkohle in eine offene Schale gelegt und versucht zu entzünden. Jeder Grillmeister hat eine andere Technik, die Kohle zum Glühen zu bringen. Manchmal wird sogar ein Fön benutzt, um den Grill „anzuheizen“. Fragt man nach der Rolle des Föns, so wird schnell klar, dass nicht die von ihm produzierte Hitze, sondern vielmehr die zusätzliche Luftzufuhr von Bedeutung ist. Dies soll in einem Versuch nachgestellt werden.

Versuch 69: „Verbrennen“ von Holzkohle

Geräte: Porzellanschale, Dreifuß, Drahtnetz ohne Keramikeinsatz (alternativ: Tondreieck mit Haushaltssieb aus Metall), Brenner

Chemikalien: Holzkohle

Durchführung: Ein kleines Holzkohle-Stückchen wird auf den Dreifuß mit Drahtnetz gelegt und darunter die Porzellanschale platziert. Nun wird die Holzkohle kräftig mit dem Brenner bis zur Rotglut erhitzt. Nach dem Entfernen des Brenners muss das Holzkohle-Stück leicht angeblasen werden.

Beobachtung: Die Holzkohle glüht auch nach dem Entfernen des Brenners weiter, das Glühen wird durch die leichte Luftzufuhr stärker. Dort, wo die Holzkohle glüht, bildet sich eine grau-weiße Ascheschicht auf der Kohle. Nach einigen Minuten ist nur noch graue Asche übrig. Eine Flamme ist nicht zu sehen.

Auswertung: Die Holzkohle verglüht flammenlos zu Asche. Die zusätzliche Luftzufuhr verstärkt das Glühen. Nach dem Versuch ist die Holzkohle nicht mehr vorhanden, sie wurde zersetzt / zerstört. Dabei ist ein neuer Stoff - Asche - entstanden.

Didaktische Anmerkung: Dieser Versuch dient zum genauen Beobachten einer Stoffumwandlung. Dabei ist herauszustellen, dass die Holzkohle zerstört wird und ein neuer Stoff, der vorher noch nicht da war, entstanden ist. Die Schülerinnen und Schüler könnten vermuten, dass die Asche schon vorher in der Holzkohle enthalten war, da sie aus der Kohle entsteht. Dann könnte man die Holzkohle zerkleinern und „nachsehen“. Man sollte bei der Diskussion darauf achten, dass Stoffe als etwas betrachtet werden, was unveränderliche charakteristische Eigenschaften besitzt (siehe dazu Fehlvorstellung 4(2)).

Der Versuch dient zur Einführung des Begriffes der Stoffumwandlung: Werden bei einem Vorgang die Ausgangsstoffe zerstört / zersetzt / verbraucht und bilden sich neue Stoffe mit anderen Eigenschaften, so nennt man das eine Stoffumwandlung.

Obwohl Holzkohle ein Brennstoff ist und auch als solcher benutzt wird, entstehen beim „Verbrennen“ keine Flammen. Man spricht deshalb häufig auch von „Verglühen“ an Stelle von „Verbrennen“ [45, 46]. Trotzdem verbrennt bzw. verglüht die Kohle, z.B. in einem Grill. Es findet dabei eine „flammenlose Verbrennung“ statt. Es bleibt offensichtlich Asche übrig. Aber ist das schon alles? Folgende Fragen können eine weitere Untersuchung motivieren:

- Warum darf man in geschlossenen Räumen nicht grillen?
- Warum haben Kohleöfen einen Schornstein?
- Entsteht beim Verbrennen von Kohle etwa noch mehr als Asche?

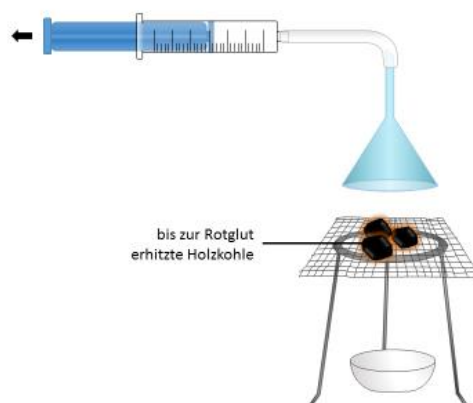
Zu sehen ist jedenfalls nichts Weiteres. Falls also noch mehr Produkte entstehen, so können es nur farblose Gase sein. Das soll in einem nächsten Versuch überprüft werden. Dazu sollen die Schülerinnen und Schüler reaktivieren, welche Gase sie bereits kennen bzw. welche Gase bei der Verbrennung von Holzkohle entstehen könnten. Aus dem Unterricht kennen sie bereits Erdgas, Feuerzeuggas, Kohlenstoffdioxid, Luft und evtl. Helium. Des Weiteren kennen sie vielleicht auch die aktuelle Klimadiskussion um das Treibhausgas Kohlenstoffdioxid, welches immer wieder im Zusammenhang mit der Verbrennung von fossilen Energieträgern genannt wird (siehe dazu auch Versuch 28: Kohlenstoffdioxid als Verbrennungsprodukt). Die Vermutungen der Schülerinnen und Schüler sollen in einem Versuch überprüft werden. Dazu werden über glühender Holzkohle evtl. entstehende Gase abgesaugt und dann untersucht. Verschiedene Vermutungen können gleichzeitig mit dem gleichen Versuchsaufbau von mehreren Schülergruppen überprüft werden. Im Folgenden werden zwei Varianten vorgestellt, wie der Versuch durchgeführt werden könnte.

Versuch 70a: Entstehen beim Verbrennen von Holzkohle Gase?

Geräte: Porzellanschale, Dreifuß, Drahtnetz ohne Keramikeinsatz (alternativ: Tondreieck mit Haushaltssieb aus Metall), Trichter, Schlauch, Kolbenprober, Glasrohr mit ausgezogener Spitze, Reagenzglas, Brenner

Chemikalien: Holzkohle, Kalkwasser (GHS05 , GHS07 )

Durchführung: Mehrere kleine Holzkohle-Stückchen werden auf dem Dreifuß mit Drahtnetz platziert. Die Porzellanschale sollte zum Auffangen von herunterfallender Asche unter die Holzkohle gestellt werden. Der Kolbenprober wird mit Hilfe des Schlauches mit dem Trichter verbunden, diese Vorrichtung dient zum „Absaugen“ der evtl. entstehenden Gase. Nun wird die Holzkohle kräftig mit dem Brenner bis zur Rotglut erhitzt. Nach dem Entfernen des Brenners kann durch leichtes „Anblasen“ gezeigt werden, dass die Holzkohle weiterhin glüht. Dann wird der Trichter mit der Öffnung nach unten über die entzündete Holzkohle gehalten und der Kolbenprober-Stempel langsam herausgezogen. Das aufgefangene Gas kann mit Hilfe des Schlauches und dem Glasrohr mit der ausgezogenen Spitze in Kalkwasser eingeleitet werden. Anschließend kann man dieselbe Menge an Luft durch Kalkwasser leiten (den Kolbenprober vorher mehrmals mit Luft spülen!).



Beobachtung: Die Holzkohle wird durch das Erhitzen mit dem Brenner zum Glühen gebracht. Nach dem Entfernen des Brenners wird das Glühen schwächer, kann aber durch Anblasen wieder intensiviert werden. Im Kolbenprober ist nichts zu beobachten. Beim Einleiten des Gases in Kalkwasser, trübt sich dieses weiß. Wird Luft durch das Kalkwasser geleitet, bleibt es klar.

Auswertung: Beim Verbrennen von Holzkohle entsteht Asche und Kohlenstoffdioxid, erkennbar an der Trübung des Kalkwassers. Die Stoffumwandlung lässt sich also wie folgt formulieren:



Holzkohle und Luftsauerstoff wandeln sich unter Wärmeabgabe um zu Asche und Kohlenstoffdioxid.

Didaktische Anmerkung: Die Qualität von Holzkohle ist sehr unterschiedlich. Man sollte eine Sorte auswählen, die möglichst nicht qualmt. Der Versuchsaufbau ist an einen Grill angelehnt. Die Schülerinnen und Schüler entdecken, dass beim Verbrennen von Holzkohle das farblose Gas Kohlenstoffdioxid entsteht (entgegen der Vorstellung von der endgültigen Vernichtung – siehe dazu die Fehlvorstellung 4(1)) und beschreiben das erste Mal eine Stoffumwandlung.

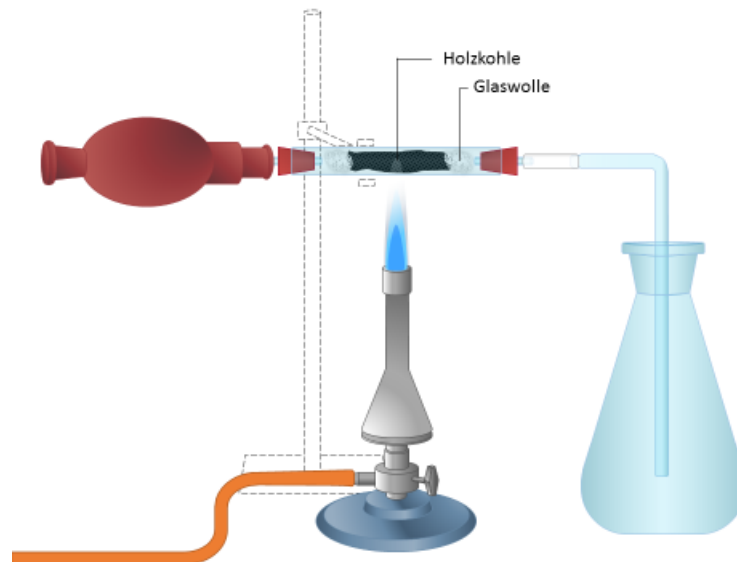
Bei einer anderen Variante der Versuchsdurchführung ist es auch möglich, das entstehende Gas(gemisch) auch auf Brennbarkeit zu untersuchen, dabei wird aber die Analogie zu einem Grill nicht so deutlich.

Versuch 70b: Entstehen beim Verbrennen von Holzkohle Gase?

Geräte: Verbrennungsrohr, 2 passende durchbohrte Stopfen mit Gasableitungsrohr, 2 kurze Schlauchstücke, Handgebläse, 3 200-mL-Erlenmeyerkolben, passende Stopfen, Brenner, Glaswolle, Silikonschlauch, Holzspan

Chemikalien: Holzkohle, Kalkwasser (GHS05 , GHS07 )

Durchführung: Die Holzkohle wird in 0,5 – 1 cm große Stückchen, die mindestens 5 cm des Verbrennungsrohres querschnittsfüllend einnehmen, mittig mit Glaswolle fixiert. Das Verbrennungsrohr wird am Stativ befestigt und mit den beiden durchbohrten Stopfen an den Enden verschlossen. An ein Gasableitungsrohr wird das Handgebläse befestigt, so dass während des Versuchs Luft durch das Rohr gepumpt werden kann. An dem anderen Ende des Verbrennungsrohres befestigt man den Silikonschlauch und hängt ihn in einen Erlenmeyerkolben.



Jetzt erhitzt man die Holzkohle an der zum Handgebläse gerichteten Seite bis zur Rotglut, entfernt den Brenner und pumpt langsam aber stetig Luft durch das Verbrennungsrohr. Nach einigen Minuten tauscht man den Erlenmeyerkolben aus und füllt auch einen zweiten. Beide Erlenmeyerkolben werden zum Schluss mit passenden Stopfen verschlossen. Mit einem brennenden Span wird das aufgefangene Gasgemisch in dem ersten Erlenmeyerkolben auf Brennbarkeit untersucht. Zum Vergleich kann man auch einen brennenden Span in einen mit Luft gefüllten Erlenmeyerkolben halten.

In den zweiten Erlenmeyerkolben gibt man einige Milliliter Kalkwasser, setzt den Stopfen wieder auf und schüttelt kräftig.

Beobachtung: Die Holzkohle glüht auch nach dem Entfernen des Brenners weiter. Bei jedem Luftstoß wird das Glühen etwas intensiver. Dort, wo die Holzkohle glüht, bildet sich eine grau-weiße

Ascheschicht auf der Kohle. Im Erlenmeyerkolben konnte man zunächst nichts beobachten. Hält man einen brennenden Span in diesen Erlenmeyerkolben, so erlischt der Span. In einem mit Luft gefüllten Erlenmeyerkolben brennt der Span weiter. Das Kalkwasser in dem zweiten Erlenmeyerkolben trübt sich weiß.

Auswertung: Die Holzkohle verbrennt in dem Luftstrom. Dabei entsteht Asche und ein flammenerstickendes Gasgemisch, welches Kohlenstoffdioxid enthält, erkennbar an der Trübung des Kalkwassers. Die Stoffumwandlung lässt sich also wie folgt formulieren:













Holzkohle und Luftsauerstoff wandeln sich unter Wärmeabgabe um zu Asche und Kohlenstoffdioxid.

Didaktische Anmerkung: Bei diesem Versuch wird die größere Dichte von Kohlenstoffdioxid ausgenutzt. Auf Wunsch kann es auch problematisiert werden, ob der Erlenmeyerkolben mit der Öffnung nach oben oder/und nach unten aufgebaut werden soll.

Die Schülerinnen und Schüler haben mit Kohlenstoffdioxid ein besonders wichtiges Gas kennen gelernt. Schon aus der aktuellen Klimadiskussion ergibt sich die Notwendigkeit, sich mit Kohlenstoffdioxid genauer zu beschäftigen. Erste Eigenschaften wie das Aussehen, der Geruch, die flammenerstickende Wirkung bzw. die Nicht-Brennbarkeit und der Nachweis mit Kalkwasser sind schon thematisiert worden. Kohlenstoffdioxid ist als natürliches Gas zu einem geringen Anteil in der Luft vorhanden. Leider ist durch unsere Lebensweise dieser Anteil steigend, was für unsere Atmosphäre schädlich ist. Nicht umsonst wird in den aktuellen Berichten gefordert, die Kohlenstoffdioxid-Emission zu reduzieren. Um diesem Anliegen folgen zu können, müssen die Schülerinnen und Schüler zunächst herausfinden, bei welchen Prozessen Kohlenstoffdioxid entsteht bzw. wo Kohlenstoffdioxid im Alltag überall vorkommt. Sie wissen bereits, dass es bei der Atmung und beim Verbrennen von Holzkohle und Kerzenwachs entsteht (siehe Versuch 42). Es liegt nahe, auch andere Brennstoffe auf das Entstehen von Gasen bei der Verbrennung zu untersuchen.

Versuch 71: Verbrennung von weiteren festen, flüssigen und gasförmigen Brennstoffen und Nachweis von Kohlenstoffdioxid

Geräte: hohe Standzylinder, passende Glasplatten, Teelicht-Gehäuse, Drähte, Nagel, Reagenzgläser unterschiedlicher Größe (z.B. 30x200 und 18x180), passende Stopfen

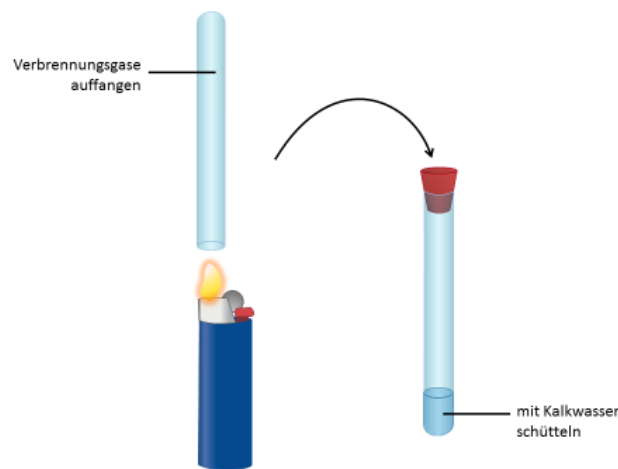
Chemikalien: Papier, Kerze, Feuerzeugbenzin (GHS02 , GHS07 , GHS08 , GHS09 , Brennspritus (GHS02 , GHS07 , Erdgas (GHS02 , GHS04 , Feuerzeuggas (GHS02 , GHS04 , etc., Kalkwasser (GHS05 , GHS07 )

Vorbereitung: Das Teelichtgehäuse wird seitlich mit Hilfe des Nagels mit zwei sich gegenüber befindlichen Löchern versehen. In diese Löcher befestigt man die Drähte, die dann als Halterungsbügel für den Standzylinder dienen.

Durchführung: Man gibt in den Standzylinder einige Milliliter Kalkwasser. Anschließend entzündet man eine kleine Probe Papier (Feuerzeugbenzin, Brennspritus oder eine Kerze) in dem Teelicht-Gehäuse, hängt es in den Standzylinder und deckt ihn nach kurzer Zeit mit der Glasplatte ab. Ist die Flamme erloschen, wird das Teelicht-Gehäuse aus dem Standzylinder entfernt, dieser wieder abgedeckt und kräftig geschüttelt.



Beim Nachweis der Verbrennungsprodukte von Gasen hält man ein (für die Größe der Flamme geeignetes) Reagenzglas mit der Öffnung nach unten für etwa 30 Sekunden über die Flamme des Brenners oder des Feuerzeuges. Anschließend gibt man einige Milliliter Kalkwasser in das Reagenzglas, setzt einen Stopfen auf und schüttelt gut um.



Beobachtung: Bei allen Verbrennungen beschlägt zunächst die Innenwand des Standzylinders. Beim Schütteln der Standzylinder trübt sich das Kalkwasser weiß. Auch bei der Verbrennung der gasförmigen Stoffe trübt sich das Kalkwasser weiß.











Auswertung: Bei allen untersuchten Verbrennungen entsteht kurzzeitig ein Beschlag von einer Flüssigkeit sowie nachweislich das Gas Kohlenstoffdioxid.

Didaktische Anmerkung: Wesentliche Erkenntnis aus diesen Versuchen sollte die Tatsache sein, dass bei sehr vielen Verbrennungen das Treibhausgas Kohlenstoffdioxid entsteht.

Neben der Erkenntnis, dass Kohlenstoffdioxid praktisch bei fast allen Verbrennungen im Alltag entsteht, sollte die Aufmerksamkeit zusätzlich auf den anfänglichen Beschlag gelenkt werden. Die Schülerinnen und Schüler können und sollen Vermutungen anstellen, um welchen Stoff es sich dabei handelt. Da ihnen das Beschlagen von Fensterscheiben durchaus bekannt ist, liegt die Antwort „Wasser“ nahe. Die Schülerinnen und Schüler könnten insbesondere bei brennbaren Flüssigkeiten aber auch die Vermutung äußern, dass der Beschlag die wieder kondensierte brennbare Flüssigkeit ist. Da die experimentelle Überprüfung dieser Hypothese schwierig ist, soll zunächst geprüft werden, ob es sich bei der Flüssigkeit eventuell doch um Wasser handelt. Der folgende Versuch beschreibt zunächst Möglichkeiten, um Wasser nachzuweisen, anschließend erfolgt der Nachweis von Wasser bei der Verbrennung von verschiedenen fossilen Brennstoffen.

Versuch 72: Nachweis von Wasser

Geräte: Petrischale, Pipetten, Schere, Pinzette oder Spatel





Chemikalien: Wasser, Feuerzeugbenzin (GHS02 , GHS07 , GHS08 , GHS09 , K2r®-Fleckenwasser (GHS02 , GHS07 , GHS08 , GHS09 , Wassernachweismittel (z.B. entwässertes Kupfersulfat (GHS07 , GHS09 ) oder Watesmo-Papier)

Durchführung: Man legt drei Proben des Wassernachweismittels in die Petrischale (Vorsicht - Nicht mit der Hand berühren!) und tropft die verschiedenen Flüssigkeiten auf diese.

Beobachtung: Nur bei einer der drei Flüssigkeiten, beim Wasser, zeigt sich eine Veränderung. Das Kupfersulfat und der Watesmo-Streifen erhalten eine Blaufärbung. Bei Feuerzeugbenzin und Fleckenwasser bleiben das Kupfersulfat und der Watesmo-Streifen weiß.

Auswertung: Entwässertes Kupfersulfat oder auch Watesmo-Papier sind als Wassernachweis geeignet, da sie nur bei Wasseranwesenheit eine Farbänderung zeigen.







Didaktische Anmerkung: Es wird bei diesem Versuch bewusst der Vergleich zu Feuerzeugbenzin und Fleckenwasser gewählt, da es sich dabei ebenfalls um klare Flüssigkeiten handelt. Man verdeutlicht so, dass es sich bei diesem Nachweis wirklich um einen spezifischen Nachweis für Wasser handelt.

Der Wassernachweis gelingt auch mit Kobaltchloridpapier (GHS05 , GHS07 , GHS08 , GHS09 ). Hier wurde dieses jedoch bewusst nicht bei den Wassernachweismitteln aufgeführt, da es nach den „Richtlinien zur Sicherheit im Unterricht“ (GUV-SI 8070) nicht mehr für Schülerexperimente zugelassen ist. Im Lehrerexperiment kann es weiterhin eingesetzt werden.

Im Folgenden wird nun zunächst bewusst Feuerzeugbenzin verbrannt, in dem kein Wasser nachweisbar war. Dadurch soll der Aspekt der Stoffumwandlung klar herausgestellt werden.

Versuch 73: Wasser-Nachweis bei der Verbrennung von Feuerzeugbenzin

Geräte: hoher Standzylinder, passende Glasplatte, präpariertes Teelicht-Gehäuse (siehe Vorbereitung von Versuch 57), Pinzette oder Spatel

Chemikalien: Feuerzeugbenzin (GHS02 , GHS07 , GHS08 , GHS09 ), Wassernachweismittel (z.B. entwässertes Kupfersulfat (GHS07 , GHS09 ) oder Watesmo-Papier)

Durchführung: Man entzündet eine kleine Probe Feuerzeugbenzin in dem Teelicht-Gehäuse, hängt es in den Standzylinder und deckt ihn nach kurzer Zeit mit der Glasplatte ab. Ist die Flamme erloschen, kann der Flüssigkeitsbeschlag auf Anwesenheit von Wasser geprüft werden.

Beobachtung: Beim Verbrennen von Feuerzeugbenzin entsteht ein deutlicher Flüssigkeitsbeschlag an der Innenwand des Standzylinders. Nach dem Abdecken mit der Glasplatte, erlischt die Flamme. Wird mit einem Watesmo-Streifen mit Hilfe einer Pinzette an der Innenwand des Standzylinders entlang gegangen, entstehen auf ihm blaue Verfärbungen.

Auswertung: Beim Verbrennen von Feuerzeugbenzin entsteht neben Kohlenstoffdioxid auch Wasser. Der Flüssigkeitsbeschlag besteht also nicht nur aus wieder kondensiertem Feuerzeugbenzin. Die Stoffumwandlung lässt sich also wie folgt formulieren:

Feuerzeugbenzin und Luftsauerstoff wandeln sich unter Wärmeabgabe um zu Kohlenstoffdioxid und Wasser.

Didaktische Anmerkung: Dieser Versuch zeigt den Schülerinnen und Schülern, dass beim Verbrennen von Feuerzeugbenzin Wasser entsteht (siehe dazu Fehlvorstellung 4(4)). Das Feuerzeugbenzin wird dabei verbraucht und ein neuer Stoff entsteht. Dass bei Verbrennungen Wasser entsteht, ist für die Schülerinnen und Schüler sehr verblüffend, da sie Wasser als einen Stoff kennen, der zum Löschen von Bränden eingesetzt wird. Ganz unbekannt ist ihnen das Phänomen aber auch nicht: sie wissen evtl. schon aus dem Biologieunterricht, dass Wasser auch bei der Atmung entsteht.

Analog lässt sich auch bei der Verbrennung weiterer fossiler Brennstoffe Wasser als Verbrennungsprodukt nachweisen. Dann können die Stoffumwandlungen entsprechend formuliert werden, z.B.

- Erdgas und Luftsauerstoff wandeln sich unter Wärmeabgabe um zu Kohlenstoffdioxid und Wasser.
- Kerzenwachs und Luftsauerstoff wandeln sich unter Wärme- und Lichtabgabe um zu Kohlenstoffdioxid und Wasser.

Neben dem Verbrennen von Holzkohle, Kerzenwachs und Feuerzeuggas findet man auf der Party noch einige andere Stoffumwandlungen. Das Garen von Nahrungsmitteln ist häufig ein sehr komplizierter chemischer Vorgang, an dem viele Stoffe beteiligt sind. Diesen Vorgang kann man zwar als Stoffumwandlung klassifizieren, da neue Stoffe mit anderen Eigenschaften (Härte, Farbe, Geruch, Geschmack, Verdaubarkeit etc.) entstehen. Es ist aber im Anfangsunterricht nicht möglich die Kochvorgänge mit den beteiligten Stoffen aufzuklären. Den Prozess des Verkohlens kann man aber sehr wohl untersuchen. Dabei kann man vereinfachend auf Papier oder Holz zurückgreifen. Gleichzeitig wird so die Herstellung von Holzkohle thematisiert. Im nächsten Versuch soll das Verkohlen im Reagenzglas nachvollzogen werden.

Versuch 74: Langsames Erhitzen von Holz und Papier im Reagenzglas

Geräte: Reagenzgläser, Reagenzglasklammer, Brenner, Holzspan, weißes Blatt Papier (z.B. Rundfilter)

Chemikalien: Papier, Holz (z.B. zerbrochener Holzspan)

Durchführung: Eine kleine Probe Papier wird unter dem Abzug vorsichtig im Reagenzglas erhitzt. Während des Erhitzens wird mehrmals ein brennender Holzspan an die Reagenzglasöffnung gehalten. Anschließend wird der Versuch mit Holz wiederholt. Hierbei ist auch darauf zu achten, was passiert, wenn das Reagenzglas mit dem Holz (mehrmals) aus der Brennerflamme genommen wird,

d.h. die Wärmezufuhr unterbrochen wird. Ist trotz Erhitzens keine Veränderung mehr zu sehen, lässt man das Reagenzglas abkühlen und kippt den Inhalt vorsichtig auf einem weißen Blatt Papier aus.

Beobachtung: Das Papier wird beim ständigen Erhitzen im Reagenzglas schwarz und es entstehen gelb-weiße Dämpfe, die sich an der Reagenzglasöffnung entzünden lassen. Sie verbrennen mit einer leuchtenden Flamme. Sind die Dämpfe verbrannt, bleiben immer noch ein fester, schwarzer Rückstand und eine teerartige Flüssigkeit übrig. Aus diesen lassen sich keine Dämpfe mehr austreiben. Auch beim Holz entstehen gelb-weiße, brennbare Dämpfe. Wird die Wärmezufuhr unterbrochen, kommt der Prozess zum Erliegen. Er geht weiter, wenn wieder erhitzt wird. Auch beim Holz bleiben am Ende ein fester, schwarzer Rückstand und eine teerartige Flüssigkeit übrig. Der schwarze Rückstand hinterlässt z.B. auf Papier schwarze Striche. Die verkohlten Holzspäne erinnern an Zeichenkohle.

Auswertung: Aus dem Papier und dem Holz lassen sich durch ständiges Erhitzen brennbare Gase austreiben, diese verbrennen mit einer leuchtenden Flamme. Es bleibt ein fester, schwarzer Rückstand im Reagenzglas. Man erkennt sogar noch die ursprüngliche Form der Papier- bzw. Holzstücke. Bei Berührung hinterlassen sie eine schwarze Rußschicht.

Aus dem Papier und dem Holz sind beim langsamen Erhitzen brennbare Gase, eine teerartige Flüssigkeit und ein schwarzer Rückstand entstanden, die ursprünglichen Stoffe wurden dabei zerstört / zersetzt. Es sind jedoch neue Stoffe entstanden. Aus dem Ausgangsstoff Holz sind die neuen Stoffe Holzkohle, eine teerartige Flüssigkeit und brennbare Gase entstanden.

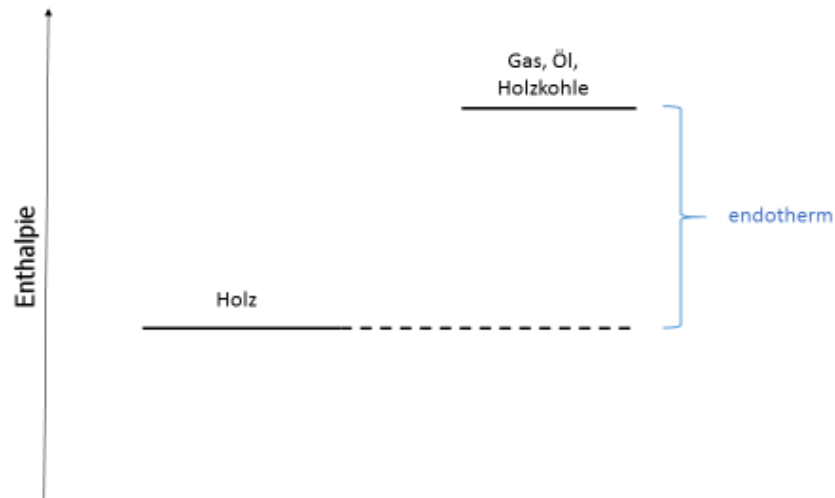
Holz wandelt sich unter ständiger Wärmezufuhr um in Holzkohle, eine teerartige Flüssigkeit und brennbare Gase.

Didaktische Anmerkung: Der Versuch zeigt das Verkohlen von Papier und Holz aufgrund von äußerer Wärmeeinwirkung. Die beiden Stoffe zersetzen sich und es entstehen neue Stoffe mit anderen Eigenschaften. Dieses Mal musste jedoch ständig Wärme zugeführt werden, ansonsten kommt die Stoffumwandlung zum Erliegen.

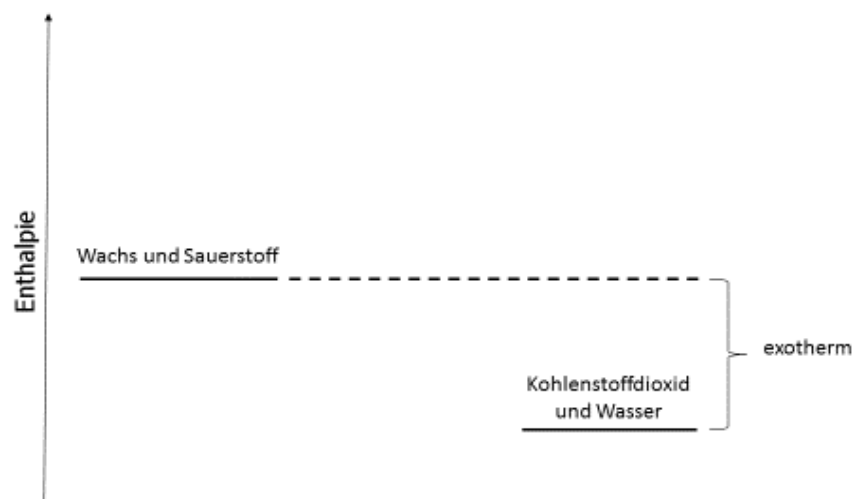
Der Zusatz „unter ständiger Wärmezufuhr“ sollte an dieser Stelle erfolgen, weil es eine wesentliche Bedingung für die Stoffumwandlung ist (hört man mit dem Erhitzen auf, so findet auch keine Stoffumwandlung mehr statt). Ganz andere Natur waren die zunächst untersuchten Verbrennungen. Dabei musste nicht ständig erwärmt werden. Nach einer kurzen Wärmezufuhr am Anfang verliefen die Stoffumwandlungen völlig selbständig unter Wärme- und Lichtabgabe weiter. Das soll nun dazu überleiten, auch die energetische Seite einer chemischen Reaktion zu betrachten, um letztlich den Begriff der „Chemischen Reaktion“ mit all seinen Kennzeichen einzuführen.

9. Energetische Erscheinungen bei Stoffumwandlungen – die Einführung der Chemischen Reaktion

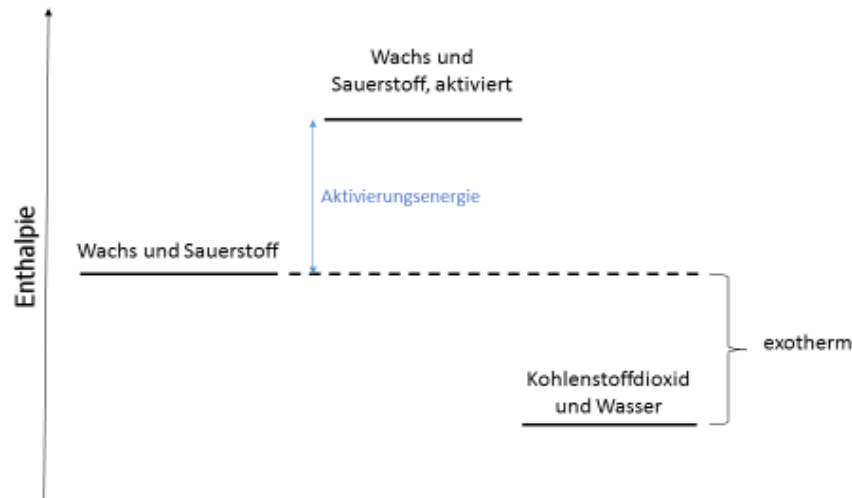
Über die Anmerkung „unter ständiger Wärmezufuhr“ können nun einmal die wesentlichen Aussagen und Darstellungsformen zur Energie wiederholt werden, die im Zusammenhang mit den Aggregatzuständen und deren Änderungen erarbeitet worden sind. Dabei sollten vor allem die Enthalpie als die Energie, die in den Stoffen enthalten ist, und die Darstellungen in einfachen Enthalpiediagrammen sowie die Begriffe „exotherm“ und „endotherm“ wieder ins Gedächtnis gerufen werden. Diese Überlegungen können nun auf das Beispiel „Erhitzen von Holz“ aus Versuch 75 übertragen und ein Enthalpiediagramm erstellt werden. Das sollte wie folgt aussehen.



Aus den Versuchen 71 und 73 wissen die Lernenden, dass beim Abbrennen einer Kerze Kohlenstoffdioxid und Wasser(dampf) entstehen. Zudem ist offensichtlich, dass auch ein Teil der Enthalpie der Produkte in Wärme umgewandelt wird. Das kann nun in einem Enthalpiediagramm auf die folgende Weise dargestellt werden.



Nun kann das Augenmerk darauf gerichtet werden, dass eine Kerze nicht von selbst anfängt zu brennen, sondern erst entzündet werden muss. Damit lässt sich auch die Aktivierungsenergie einführen. In einer Grafik kann das dann so dargestellt werden.



Schließlich kann festgehalten werden, dass eine chemische Reaktion gekennzeichnet ist durch eine Stoffumwandlung und einen Energieumsatz. Man kann formulieren:

Bei einer chemischen Reaktion entstehen neue Stoffe mit anderen Eigenschaften. Dabei wird immer auch Energie umgewandelt.

Auf Wunsch können jetzt auch Wortgleichungen entweder in ganz ausführlicher oder in etwas verkürzter Form eingeführt werden.

Für das Beispiel des Abbrennens einer Kerze bedeutet das:

Ausführlich:

Kerzenwachs reagiert mit Sauerstoff zu Kohlenstoffdioxid und Wasser; die Stoffumwandlung ist exotherm

Verkürzt:

Kerzenwachs + Sauerstoff → Kohlenstoffdioxid + Wasser; exotherm

Im Anschluss daran sollten auch die Versuche 69 bis 74 noch einmal thematisiert und mit Hilfe von Wortgleichungen gedeutet werden.

Nach der Einführung der Chemischen Reaktion werden häufig diverse Beispiele und auch Gegenbeispiele gebracht, um die Chemische Reaktion von den physikalischen Prozessen abzugrenzen. Diese Abgrenzung ist für das folgende Kapitel notwendig, um Stoffgemische von neu entstandenen Stoffen bzw. um das Mischen mehrerer Stoffe von dem Vorgang der Chemischen Reaktion abzugrenzen. Weil die Unterscheidung zwischen den beiden Prozessen den Schülerinnen und Schülern häufig schwer fällt, sollte man Beispiele wählen, die eindeutig sind. Zu Recht wird von Eilks, Leerhoff und Möllering kritisiert, dass häufig Beispiele gewählt werden, die für die Schülerinnen und Schüler gleich erscheinen. Klassisch wird dabei die Bildung von Kupfersulfathydrat als Chemische Reaktion eingeordnet, das Lösen eines Salzes aber als physikalischer Prozess. Beide Prozesse werden durch Zugabe von Wasser initiiert und sind durch Erhitzen umkehrbar [47]. Für die Schülerinnen und Schüler ist an dieser Stelle des Unterrichts noch kein Kriterium ersichtlich, nach welchem diese beiden Prozesse eindeutig unterschieden werden können. Im Folgenden sind Beispiele aufgeführt, die dennoch geeignet sind, um den Begriff der Chemischen Reaktion zu festigen und solche von physikalischen Prozessen abzugrenzen.

- **Verbrennen von Holz beim Lagerfeuer** (exotherme chemische Reaktion mit Aktivierung)
- **Zerbrechen eines Holzspans** (physikalischer Vorgang)
- **Verkohlen von Holz** (endotherme chemische Reaktion)
- **Kuchen backen** (endotherme chemische Reaktion)
- **verbranntes Toast, verkohlte Pizza etc.** (endotherme chemische Reaktion)
- **Eier kochen** (endotherme chemische Reaktion)

- **Verflüssigen von Feuerzeuggas** (physikalische Zustandsänderung – keine Stoffumwandlung!)
- **Schmelzen von Kerzenwachs beim Kerzengießen** (physikalische Zustandsänderung)
- **Verbrennen von Benzin in Autos** (exotherme chemische Reaktion mit Aktivierung)
- **Entzünden eines Streichholzes** (exotherme chemische Reaktion mit Aktivierung)

10. Stoffgemische und Trennverfahren

In diesem letzten Kapitel sollen nun viele der gewonnenen Erkenntnisse und Untersuchungsmethoden angewendet werden. Die Schülerinnen und Schüler benötigen sowohl das Wissen über charakteristische Stoffeigenschaften als auch über die Merkmale einer chemischen Reaktion.

In diesem Kapitel sollen außerdem folgende Lernziele erreicht werden:

Die Schülerinnen und Schüler sollen:

- das Magnetscheiden, Windsichten und Schwimm-Sink-Verfahren als wichtige Trennverfahren in der Abfallwirtschaft erarbeiten,
- die thermische Abfallverwertung in Müllverbrennungsanlagen als chemische Reaktion klassifizieren,
- verschiedene Verfahren zum Reinigen des Rauchgases kennen lernen (Elektrofiltration, Gewebefilter, Nasswäsche),
- die physikalischen Reinigungsschritte in einer Kläranlage selbst erarbeiten,
- ein Modell zur physikalischen Reinigung in einer Kläranlage konstruieren,
- verschiedene Gemische, deren Zusammensetzung und mögliche Trennverfahren sowie die dabei ausgenutzte Trenneigenschaft benennen können,
- durch das Problem der Fleckentfernung ihr Wissen zu Lösungen, Lösungsmitteln und zur Adsorption vertiefen und
- bei der Entfernung von Farbflecken das Verfahren der Papierchromatographie entdecken und anschließend genauer kennen lernen.

10.1 Trennverfahren bei der Abfallverwertung

Ein großer Bereich im Alltag, bei dem Trennverfahren im Vordergrund stehen, ist die Mülltrennung. Mit dem Szenario der Party ist auch dieser Bereich zugänglich, denn nach einer Party fällt eine ganze Menge an Abfall an. Da in Deutschland die verschiedenen Abfallsorten getrennt entsorgt werden, soll auch beim Aufräumen nach der Party Mülltrennung praktiziert werden. Dazu muss jedoch zunächst geklärt werden, nach welchen Müllsorten getrennt werden kann.

Nach welchen Müllsorten wird getrennt?

- Glas, und dieses wiederum nach Farben
- Pfandflaschen
- Papier
- Metall / Kunststoff (gelber Sack/Tonne)
- Biomüll
- Sondermüll
- Restmüll

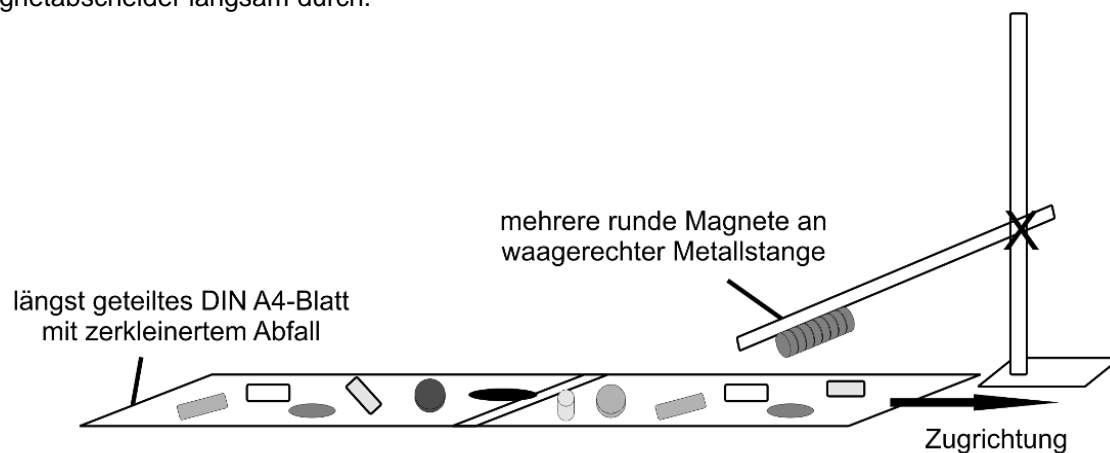
Eine wichtige Erkenntnis aus dieser Aufzählung ist, dass die Art des Stoffes für die Mülltrennung entscheidend ist. Die Frage, woran man denn eigentlich erkennt, was zu welcher Müllsorte gehört, führt zu einer Reaktivierung der für die Stoffe charakteristischen Stoffeigenschaften. Aber was passiert mit dem Abfall, nachdem er von dem örtlichen Abfallunternehmen abgeholt worden ist? Die Schülerinnen und Schüler können dieser Frage in eigener Recherche nachgehen. Dabei können sie zu folgenden Erkenntnissen kommen: Seit dem so genannten „Deponieverbot“ vom 1.06.2005 dürfen Siedlungsabfälle nicht mehr nur einfach abgelagert werden. Die Abfallwirtschaft ist seitdem gezwungen, sich verstärkt mit der stofflichen und thermischen Verwertung von Abfall auseinanderzusetzen. Das hochgesteckte Ziel ist ein geschlossener Materialkreislauf, denn auch im Müll stecken immer noch wertvolle Rohstoffe, die wiederverwertet werden können. Für das so genannte Recycling muss der Abfall jedoch sortiert bzw. nach bestimmten Kriterien getrennt werden. Wie das realisiert wird, können sich die Schülerinnen und Schüler zusätzlich bei einer Exkursion in einem Betrieb der Abfallwirtschaft ansehen. Als weiteres Hilfsmittel um einige Trennverfahren zu erarbeiten, kann ein Artikel aus der „Zeit“ genutzt werden [48]. Der Artikel erklärt die Situation mit dem

Deponieverbot und stellt dar, dass sich das Verwerten von Müll zunehmend rechnet. Außerdem werden einige Trennmethode kurz angesprochen, so heißt es unter anderem: „Als Uwe Küber vor 15 Jahren zu Alba kam, wurde von Hand sortiert. ... Heute machen Maschinen die Arbeit. Auf 186 Fließbändern rauscht der Müll durch die Halle, Luftdüsen trennen Folien, Magnete saugen Weißblech ab“ [48, S. 67]. Solche Sätze sollten mit den Schülerinnen und Schülern diskutiert werden. Saugen die Magneten wirklich und warum können Luftdüsen Folien abtrennen? Welche Eigenschaften werden bei diesen Trennverfahren ausgenutzt? Die beiden angesprochenen Trennverfahren – das Magnetscheiden und das Windsichten – können außerdem in Versuchen nachvollzogen werden.

Versuch 75: Magnetscheiden zum Abtrennen von Weißblech aus dem Hausmüll

Geräte: ein DIN A4-Blatt Papier, Schere, evtl. Seitenschneider, Klebestreifen, Metallstange (z.B. von einem Stativ), ein starker Stabmagnet oder mehrere runde Magneten, zerkleinerter Abfall (Bruchstücke einer PET-Flasche, eines Joghurtbechers, einer Weißblech-Dose, einer Getränke-Dose, Papier- und Pappschnipsel, Glasscherben, kleine Steinchen etc.), Stativmaterial

Durchführung: Das DIN A4-Blatt wird längst mittig geteilt und an den kurzen Seiten mit Hilfe des Klebestreifens zu einem langen „Förderband“ zusammengeklebt. Darauf wird der zerkleinerte Abfall vereinzelt locker verteilt. Die Metallstange wird quer über dem Förderband mit Hilfe von Stativmaterial eingespannt. An die Unterseite der Metallstange wird der Stabmagnet bzw. die runden Magneten befestigt. Der Magnet sollte sich in etwa zwei Zentimetern Höhe über dem Förderband befinden. Nun zieht man mit der Hand das Förderband, auf welchem sich der Abfall befindet, unter den Magnetabscheider langsam durch.

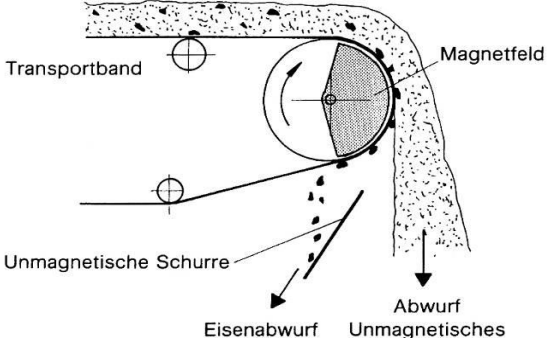
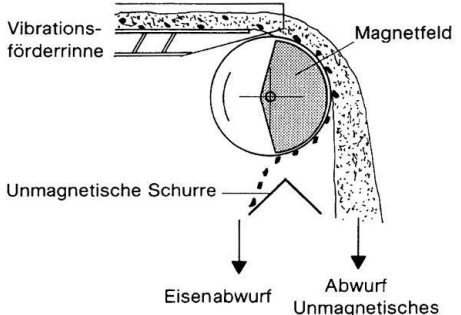
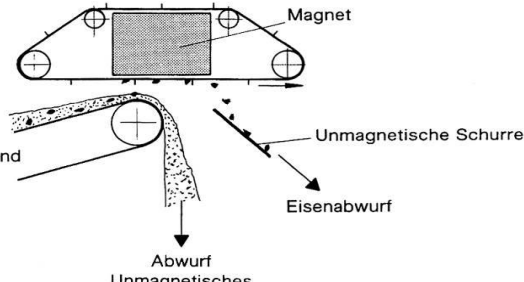


Beobachtung: Die Bruchstücke aus der Weißblech-Dose und die aus der Getränke-Dose werden vom Magneten angezogen und bleiben daran haften. Die anderen Abfall-Stücke bleiben auf dem Förderband liegen.

Auswertung: Weißblech besteht aus einem Stahlblech mit einer Reinzinnaufgabe. Auch Getränkedosen bestehen meistens aus Weißblech (seltener aus Aluminium). Mit Hilfe eines Magnetabscheiders lassen sich diese eisenhaltigen Abfallstücke leicht aus einem Abfallgemisch abtrennen. Hierbei wird die magnetische Eigenschaft von Eisen ausgenutzt.

Didaktische Anmerkung: Die Schülerinnen und Schüler lernen eine einfache Möglichkeit kennen, um eisenhaltige Stoffe (Getränkedosen sind vorher zu prüfen) aus einem Gemisch abzutrennen. Dieses Verfahren wird als „Magnetscheiden“ eingeführt. Es kann nun mit den Schülerinnen und Schülern über die Formulierung in dem Artikel, dass „Magnete Weißblech absaugen“ diskutiert werden.

Im Anschluss können folgende Fragen aufgeworfen werden: Wie werden die anhaftenden Eisenteile wieder vom Magneten gelöst und was passiert mit dem abgetrennten Eisen? Zur Beantwortung der ersten Frage sollten die Schülerinnen und Schüler durchaus selbst Vorschläge erarbeiten können. Dann könnte ein Vergleich zu den tatsächlich verwendeten Magnetabscheidern folgen. Man unterscheidet prinzipiell drei Arten von Magnetabscheidern, sie sind in der folgenden Tabelle schematisch dargestellt und kurz beschrieben [49, S. 92-93].

Typ Magnetabscheider	Kurzbeschreibung
<p data-bbox="188 255 391 284">Magnetbandrolle</p> 	<p data-bbox="853 255 1406 555">Die Magnetbandrolle ist als Antriebsrolle von Förderbändern am Abwurfende angeordnet. Das Magnetfeld ist nur im Bereich des aufliegenden Bandes wirksam. Eisenteile werden so vom Gurt bis zum Verlassen des Magnetfeldes festgehalten und fallen erst dann in ein separates Sammelgefäß, während die anderen Teile durch den Einfluss der Schwerkraft schon vorher abgeschieden werden.</p>
<p data-bbox="188 651 375 680">Magnettrommel</p> 	<p data-bbox="853 651 1406 734">Die Magnettrommel ist der Magnetbandrolle ähnlich. Die Magnettrommel ist jedoch getrennt vom Förderband installiert.</p>
<p data-bbox="188 1010 391 1039">Überbandmagnet</p> 	<p data-bbox="853 1010 1406 1339">Der Überbandmagnet ist ein kurzes Förderband, in dessen Mittelteil ein kräftiger Magnet stationär angeordnet ist. Er wird in geringem Abstand entweder quer zur Laufrichtung oder am Abwurfende in Laufrichtung angeordnet. Eisenteile werden aus dem Förderstrom ausgehoben, weggefördert und fallen erst nach Verlassen des Magnetfeldes ab. Die Wirksamkeit nimmt jedoch mit steigender Spaltweite zwischen Überbandmagnet und Fördergurt rasch ab.</p>

Tab. 21: schematischer Aufbau und Kurzbeschreibung von Magnetabscheidern
[49, S. 92f.]

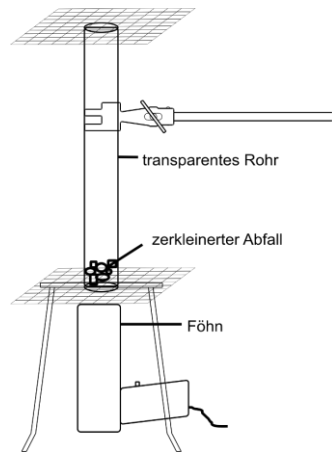
Da das Abtrennen von Eisenteilen aus dem Abfall durch die magnetische Eigenschaft schnell und einfach möglich ist, wird eine sehr hohe Rückführungsquote realisiert. Die Verwertung des Metalls hat eine lange Tradition, da es in Stahlwerken wieder komplett eingeschmolzen werden kann.

Das zweite thematisierte Trennverfahren ist das des Windsichtens, auch dieses kann in einem Versuch nachgestellt werden.

Versuch 76: Windsichten zum Abtrennen von Kunststoffen und Papier (nach [50])

Geräte: Haarföhn, Rohr aus transparentem Kunststoff ($d = 3\text{-}5\text{ cm}$, $h = \text{mind. } 50\text{ cm}$), Dreifuß, 2 Drahtnetze ohne Keramikeinsatz, Stativmaterial, zerkleinerten Abfall (z.B. Bruchstücke einer PET-Flasche, eines Joghurtbechers, einer Weißblech-Dose, Stücke eines stärkeren Kupferdrahtes, Papier- und Pappschnipsel, Glasscherben, kleine Steinchen etc., jeweils etwa $0,5$ bis 1 cm groß)

Durchführung: Das Rohr wird senkrecht auf den Dreifuß mit Drahtnetz gestellt und in einem Stativ gehalten. Von oben gibt man etwas zerkleinerten Abfall in das Rohr, bevor es mit dem zweiten Drahtnetz abgedeckt wird. Der Föhn wird unter die untere Öffnung des Rohres gehalten und angeschaltet. Durch Variation der Leistungsstufen des Föhns bzw. durch den Abstand kann die Trennleistung beeinflusst werden.



Beobachtung: Bereits bei einem geringen Luftstrom werden nacheinander die Papier- und Pappschmispel und auch die Kunststoffstücke bis zum oberen Ende des Rohres getragen. Die Steine, Metall- und Glasstücke bleiben selbst bei einem stärkeren Luftstrom auf dem unteren Drahtnetz liegen bzw. verwirbeln im unteren Bereich.

Auswertung: Durch Windsichten lassen sich feste Stoffgemische geeigneter Korngröße in Leicht- und Schwergut trennen. Wie die beiden Fraktionen aus dem Windsichter ausgetragen werden, muss man sich bei den tatsächlich eingesetzten Windsichtern ansehen.

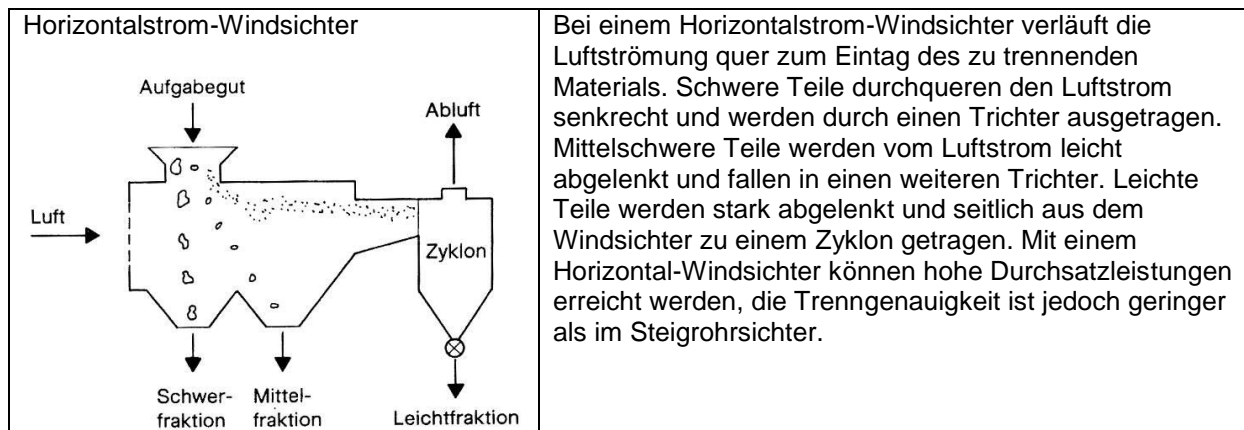
Fachlicher Hinweis: Beim Windsichten werden Stoffgemische aufgrund von Dichteunterschieden und auch Unterschieden im Luftwiderstand getrennt, daher ist es sinnvoll, Materialien gleicher Form und Größe zu verwenden. In Müllverwertungsanlagen wird der Abfall vor dem Windsichter zerkleinert und gesiebt, so dass eine möglichst einheitliche Korngröße gewährleistet ist.

In diesem konkreten Versuch kann es vorkommen, dass z.B. dünne Metallbleche auch nach oben getragen werden. Sollte dies nicht gewünscht sein, kann man ein größeres Metallblech auf die entsprechende Größe falten, so dass es schwerer wird.

Didaktische Anmerkung: Das modellhafte Windsichten in diesem Versuch zeigt lediglich die Trennung eines festen Stoffgemisches in zwei Fraktionen. Mit der richtigen Auswahl an Stoffproben und -formen (abhängig von der Leistung des Föhns) kann man auch erreichen, dass mehrere Fraktionen in unterschiedlichen Höhen des Rohres herumwirbeln. Das könnten die Schülerinnen und Schüler in einem selbständigen Arbeitsauftrag ausprobieren.

Auch bei diesem Verfahren kann man sich anschließend die technisch realisierten Formen von Windsichtern anschauen. Der einfachste unter ihnen ist der Steigrohrsichter, bei dem man die Trennschärfe durch die Benutzung eines Zickzackrohres (Zickzacksichter) erhöhen kann. Eine zweite Bauart ist der Horizontalstromsichter [49, S. 94-98].

Typ Windsichter	Kurzbeschreibung
<p data-bbox="177 1525 379 1556">Steigrohrsichter</p>	<p data-bbox="707 1525 1417 1765">Das zu trennende Material wird im oberen Drittel in den Windsichter eingebracht. Der aufwärts gerichtete Luftstrom muss so eingestellt werden, dass die Stoffe, die in das Leichtgut gelangen sollen, nach oben ausgetragen werden. Der anschließende Zyklon trennt dann das Leichtgut wieder von der Trägerluft. Das Schwergut wird am unteren Ende des Steigrohrsichters ausgetragen.</p>



Tab.22: schematischer Aufbau und Kurzbeschreibung von Windsichtern
[49, S. 94ff.]

Windsichter werden neben speziellen Einsatzgebieten bei bereits vorsortiertem Abfall im Recycling allgemein zum Abtrennen von Papier und Kunststofffolien aus dem Müll genutzt. Diese fallen dann als Leichtgut an und müssen weiter aufgetrennt werden. Bei der so genannten Nasstrennung wird das Papier-Kunststoff-Gemisch befeuchtet. Während Papier das Wasser aufsaugt und somit schwerer wird, lagern Kunststoffe das Wasser nur an, so dass bei einer erneuten Windsichtung mit der entsprechenden Regulierung des Luftstroms das Papier als Schwergut und die Kunststofffolien als Leichtgut anfallen. Die Nasstrennung kann nur dort angewendet werden, wo das anfallende feuchte Papier gleich weiterverarbeitet wird (z.B. in der Papierherstellung zum Herstellen von Umweltschutzpapier), denn eine Trocknung würde einen hohen Energieeinsatz bedeuten. Bei einer trockenen Trennung wird das Papier-Kunststoff-Gemisch kurzzeitig einem „Hitzeschock“ unterzogen. Dabei schrumpfen Kunststofffolien zu Knäueln zusammen, das Papier ändert dagegen seine Form nicht. Bei einer erneuten Windsichtung fallen dann die Kunststoff-Knäuel aufgrund des veränderten Luftwiderstandes als Schwergut an. Der abgetrennte Kunststoff wird dann wiederverwendet, z.B. „bei einem Hersteller von Baueimern, der verwendet jetzt Gebrauchplastik und zahlt dafür nur halb so viel wie für frisch produzierten Kunststoff. Auch in Paletten und Transportboxen stecken Plastikmoleküle aus Abfall, ebenso in den sprichwörtlichen Parkbänken.“ [48, S. 70]

Weiter heißt es in dem Artikel: „Im Bottle-to-Bottle-Recycling kann man aus dem Kunststoff wieder PET-Flaschen machen, für Getränke. „Das ist die Krone des Recyclings“, sagt Ulrich Schmidt, der in Rostock ein PET-Recycling-Werk leitet. Andere Kunststoffe nehmen den Geschmack des Inhalts an, PET jedoch kann man häckseln, waschen, von Aromastoffen befreien und bis zu sechsmal wieder zu Flaschen machen, danach zu Folien und anderen Non-Food-Verpackungen.“ [48, S. 70]. Informationen zum PET-Recycling in Rostock findet man im Internet auf der Cleanaway-Seite unter <http://www.cleanaway-pet.com/de/pet/pet.php>, dort findet man auch ein Video zum patentierten URRC-Verfahren, welches man sich unter <http://www.cleanaway-pet.com/de/urrc/video-download.php> für schulische Zwecke downloaden kann. Das Video zeigt, wie aus PET-Abfall wieder Flaschen hergestellt werden. Dabei wird auch erwähnt und kurz gezeigt, wie im Rahmen einer mechanischen Vorbehandlung Metallteile mit Hilfe einer Magnettrommel und die abgelösten Etiketten durch Windsichtung abgetrennt werden. Was übrig bleibt, sind die klein gehäckselten PET-Flaschen und deren Verschlüsse, die jedoch aus anderen Kunststoffen bestehen (häufig PE oder PP) und daher auch noch abgetrennt werden müssen. Dazu zeigt das Video das Schwimm-Sink-Verfahren, welches in einem Schülerversuch nachempfunden werden kann.

Versuch 77: Das Schwimm-Sink-Verfahren zum Trennen von Kunststoffen

Geräte: breites 250-mL-Becherglas, Glasstab oder Magnetrührer mit Magnetrührstäbchen, Bruchstücke einer zerkleinerten PET-Flasche, inklusive der dazu gehörenden zerkleinerten Verschlusskappe (insgesamt etwa 10 g)

Durchführung: Man füllt das Becherglas zu drei Vierteln mit Wasser, dann gibt man das Gemisch aus der zerkleinerten PET-Flasche und der Verschlusskappe in das Wasser und rührt einmal kräftig um.

Beobachtung: Die transparenten PET-Bruchstücke sinken im Wasser nach unten, während die farbigen Bruchstücke der Verschlusskappe an der Oberfläche schwimmen.

Auswertung: Der Kunststoff PET lässt sich durch ein Schwimm-Sink-Verfahren in Wasser von anderen Kunststoffen trennen. Dabei wird die größere Dichte von PET im Bezug zu Wasser und den anderen Kunststoffen ausgenutzt. Der Kunststoff, aus dem die Verschlusskappe besteht hat eine geringere Dichte als Wasser und schwimmt folglich.

Didaktische Anmerkung: Mit diesem Versuch lernen die Schülerinnen und Schüler eine dritte Möglichkeit kennen, feste Stoffgemische zu trennen. Dabei wird die Stoffeigenschaft der Dichte wiederholt und gleichzeitig eine alltagsrelevante Anwendung von unterschiedlichen Dichten demonstriert.

Des Weiteren werden in dem Zeitungsartikel diverse optische Sortierungsmöglichkeiten angesprochen, so unterscheidet z.B. ein Infrarot-Scanner am reflektierten Lichtspektrum „mehr als zwei Dutzend Plastiksorten“ [48, S. 67] und ein Farbscanner sortiert braune PET-Flaschen aus. Dabei werden die Abfallstücke zunächst vereinzelt, bevor sie in die optische Sortierungseinheit gelangen. Dort werden mit Hilfe von Fotozellen Unterschiede in der Farbe bzw. in der Reflexion registriert und mit vorgegebenen Werten verglichen. Die Auswerteelektronik löst anschließend einen Druckluftstrahl aus, welcher das identifizierte Abfallstück in den entsprechenden Behälter pustet.

An dieser Stelle sollte nun eine kurze Zusammenfassung erfolgen. Dabei sollte herausgestellt werden, dass (trockener) Abfall ein festes, heterogenes Stoffgemisch ist. Solche Stoffgemische nennt man auch Gemenge. Zum Trennen eines Gemenges werden die unterschiedlichen Stoffeigenschaften der einzelnen Bestandteile ausgenutzt.

Gemisch ⁷	Gemisch-zusammensetzung	Trennverfahren	Trenneigenschaft
Gemenge	heterogen Gemisch fester Stoffe	Magnetscheiden	Magnetismus
		Windsichten	Dichte Luftwiderstand
		Sieben	Korngröße
		Schwimm-Sink-Verfahren	Dichte
		optische Sortierung	Lichtreflektion (Farbe, Oberflächenbeschaffenheit)

Tab. 23: Trennverfahren für Gemenge

Abfall wird aber nicht nur stofflich verwertet, im Abfall steckt auch eine ganze Menge Energie, die in Form von Heizwärme und elektrischen Strom noch nutzbar gemacht werden kann. Die so genannte thermische Verwertung wird in den Müllverbrennungsanlagen realisiert. Dabei findet zunächst eine Trocknung der Abfälle unter der Wirkung von Strahlungswärme aus dem Feuerraum statt. Mit zunehmender Nähe zum Feuerraum wird der Abfall entgast und verkohlt. Die Gase entzünden sich und auch die verkohlten Reste werden schließlich bei etwa 1000 °C unter hohem Luftüberschuss verbrannt. Bei einer vollständigen Verbrennung bleiben als Reaktionsprodukte Kohlenstoffdioxid, Wasser, Schadgase (Schwefel- und Stickoxide) sowie Schlacke und Asche übrig. Die Schlacke besteht aus den nichtbrennbaren Bestandteilen des Mülls und enthält viele Schadstoffe, ist dennoch bedingt im Straßenbau als Ersatz von Sand oder Kies einsetzbar, wird aber auch zum Aufschütten von stillgelegten Salzstöcken benutzt. Die anderen Stoffe treten gasförmig bzw. als Rauch aus dem Feuerraum aus und müssen teilweise aus dem „Abgas“ entfernt werden, bevor es durch einen Schornstein in die Umgebung gelangen darf. Auch auf diese Möglichkeit der Verwertung geht der Artikel aus der Zeit ein und nennt die Hamburger Müllverwertungsanlage Rugenberger Damm ein „Vorzeigebjekt“ für die umweltschonende thermische Verwertung von Abfall. Wie die Hamburger Anlage aufgebaut ist, kann man sich auf der Internetseite unter <http://www.mvr-hh.de/> ansehen. Eine genauere schematische Darstellung einer Müllverbrennungsanlage zeigt die Abb.. Schülerinnen und Schüler müssen sich mit der Darstellung sicher etwas länger beschäftigen, die Grafik bietet aber einige Anknüpfungspunkte zum Physikunterricht, so z.B. die Stromerzeugung mit Turbine und Generator sowie die Wärmeaustauschkreisläufe für die Fernwärme.

⁷ Der Begriff „Gemisch“ wird hier als Oberbegriff verwendet. Unterbegriffe dazu sind z.B. Gemenge, Rauch, Suspension, Lösung u.a.

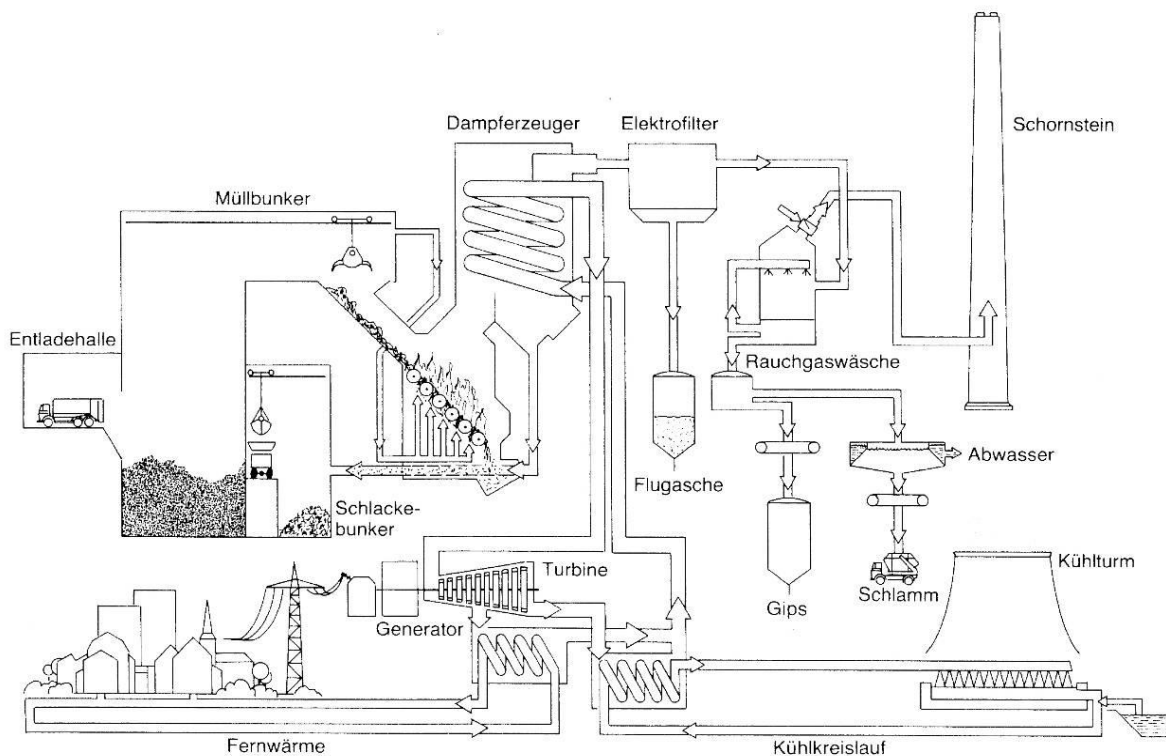


Abb.24: schematische Darstellung einer Müllverbrennungsanlage [49, S. 168]

Für den Chemieunterricht interessant sind vor allem die ablaufenden chemischen Reaktionen sowie die Abgasreinigung nach der Verbrennung. Anhand der Müllverbrennung können die Schülerinnen und Schüler noch einmal die Merkmale einer chemischen Reaktion wiederholen, hierbei spielen beide Aspekte, Stoff- und Energieumwandlung, im Alltag eine große Rolle. Folgende Wortgleichung kann gemeinsam erarbeitet werden:

Abfall wandelt sich beim Verbrennen mit Luftsauerstoff unter Wärmeabgabe und Lichtaussendung um zu Kohlenstoffdioxid, Wasser, Schadgase, Schlacke und Asche. Die chemische Reaktion *verläuft* exotherm, muss jedoch aktiviert werden.

Die abgegebene Wärme wird zur Trocknung des neuen Abfalls und für die Fernwärme genutzt sowie zum Teil in elektrischen Strom umgewandelt.

Den Feuerraum verlassen also zwei Stoffgemische: Schlacke und Asche als Gemenge von festen Stoffen und Kohlenstoffdioxid, Wasserdampf, Schadgase sowie kleinste Aschepartikel (Flugasche) und die nicht reagierenden Bestandteile der Luft als so genanntes Rauchgas. Rauch ist eine allgemeine Bezeichnung eines Stoffgemisches, bei dem feste Bestandteile in einem Gas(gemisch) fein verteilt sind. Aus dem Rauchgas müssen die schädlichen Stoffe selbstverständlich entfernt werden, die zulässigen Grenzwerte sind in der „Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft“ (TA Luft) festgehalten. Die festen Bestandteile werden durch diverse Filter aus dem Gasgemisch entfernt. Häufig werden dazu Elektrofilter eingesetzt, bei denen der Staub durch elektrostatische Aufladung am Filter haften bleibt. Der nächste Versuch beschreibt eine einfache Variante, wie man zeigen kann, dass elektrostatische Aufladung auf kleine „Staubteilchen“ wirkt.

Versuch 78: Modellversuch zur Elektrofiltration

Geräte: Wollappen, Luftballon oder Kunststoffstab, gemahlener Pfeffer (alternativ: Papier-Konfetti)

Durchführung: Der aufgeblasene Luftballon bzw. der Kunststoffstab wird mit dem Wollappen kräftig gerieben. Anschließend wird er ein bis zwei Zentimeter über den ausgestreuten Pfeffer gehalten.

Beobachtung: Die Pfeffer-Körnchen bewegen sich und werden von dem Luftballon oder dem Kunststoffstab angezogen und bleiben daran haften.

Auswertung: Durch das Reiben mit einem Wollappen wird der Luftballon bzw. der Kunststoffstab elektrostatisch aufgeladen. Er kann so leichte Teile anziehen.

Fachlicher Hinweis: Durch das Reiben des Luftballons mit dem Wollappen werden Elektronen übertragen, dabei lädt sich der Wollappen positiv und der Luftballon negativ auf. Bringt man den aufgeladenen Luftballon in die Nähe von z.B. Pfeffer oder Papierschnipseln, so werden die Ladungen in diesen polarisiert: die negativen werden abgestoßen und die positiven angezogen. Ist die Anziehungskraft zwischen Luftballon und den polarisierten kleinen (leichten) Teilchen groß genug, so werden die Teilchen zum Luftballon hingezogen.

Didaktische Anmerkung: Dieser Versuch zeigt lediglich phänomenologisch, dass elektrostatisch geladene Körper eine Wirkung auf kleine Teile haben. Die Versuchsergebnisse sollen nicht bis ins Detail erklärt werden. Elektrostatische Aufladungen sind den Schülerinnen und Schülern entweder bereits aus dem Physikunterricht oder aber aus dem Alltag bekannt: sie entsteht durch Reibung, z.B. beim Laufen über einen Teppich (häufig erkennbar an der Entladung bei Berührung von anderen Personen oder metallischen Gegenständen durch einen „Schlag“) oder beim Anziehen eines Pullovers, wobei die Haare knistern.

Neben den Elektrofiltern werden auch Gewebefilter eingesetzt, bei denen das Gewebematerial die Stäube zurückhält. Gewebefilter sind den Schülerinnen und Schülern aus ihrem Alltag sicher besser bekannt als Elektrofilter. Gewebefilter finden z.B. in Dunstabzugshauben für Küchen oder auch als Zigarettenfilter Anwendung.

Die beiden genannten Filtertypen können jedoch keine gasförmigen Schadstoffe abscheiden, diese werden häufig in einer Nasswäsche entfernt. Dabei wird der Rauchgasstrom in flüssiges Wasser geleitet. Schülerinnen und Schüler können das anhand eines ihnen bereits bekannten Nachweises nachvollziehen.

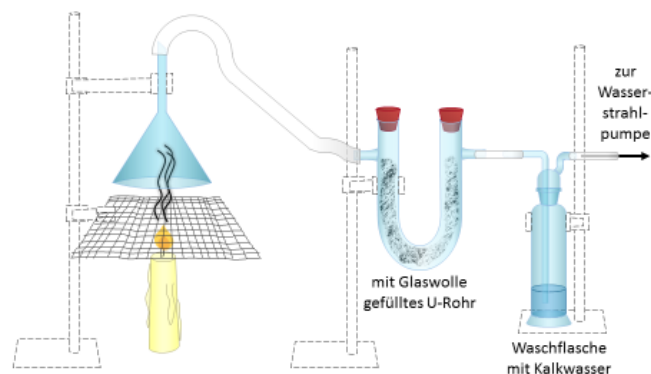
Versuch 79: Rauchgasreinigung durch einen Gewebefilter und Nasswäsche

Geräte: Drahtnetz, Trichter, U-Rohr, Glaswolle, Waschflasche, Verbindungsschläuche, Wasserstrahlpumpe

Chemikalien: Kerze, Kalkwasser (GHS05 , GHS07 )

Durchführung: Der Versuch wird entsprechend der Abbildung aufgebaut. Das U-Rohr dient als Gewebefilter und wird fest mit Glaswolle gefüllt. In der Waschflasche findet die Nasswäsche statt, sie wird etwa zu einem Drittel mit Kalkwasser gefüllt. Das Drahtnetz ist so über der Kerzenflamme einzuspannen, dass ein Rußfaden entsteht. Der Ruß wird mit Hilfe der Wasserstrahlpumpe über den Trichter durch das U-Rohr und durch die Waschflasche gesogen.

Achtung: Waschflasche in der richtigen Richtung anschließen!



Beobachtung: Die Wasserstrahlpumpe zieht den Ruß mit der umgebenden Luft durch die Apparatur, erkennbar an den Gasblasen in der Waschflasche. Die weiße Glaswolle verfärbt sich im Laufe des Versuches schwarz. Das klare Kalkwasser trübt sich intensiv weiß.

Auswertung: Das künstlich erzeugte „Rauchgas“, welches aus Luft, festen Rußteilchen und den gasförmigen Verbrennungsprodukten der Kerze besteht, wird in der Apparatur in zwei Stufen gereinigt. Zunächst werden durch die Glaswolle die festen Bestandteile des Rauches (Ruß) entfernt. In der Waschflasche wird das Kohlenstoffdioxid, welches beim Verbrennen einer Kerze entsteht, aus dem verbleibenden Gasgemisch entfernt. Dabei reagiert das Kohlenstoffdioxid mit dem Kalkwasser und es entsteht ein weißer Niederschlag.

Didaktische Anmerkung: Der Versuch zeigt modellhaft zwei Trennungsvorgänge bei der Rauchgasreinigung. Rauch soll dabei als ein Stoffgemisch, bei dem ein fester Stoff in einem Gas(gemisch) fein verteilt ist, gekennzeichnet werden. Das verbleibende Stoffgemisch wird als Gasgemisch bezeichnet.

Als Zusammenfassung der Trennverfahren bei der Rauchgasreinigung lässt sich die obige Tab. ergänzen bzw. verfeinern. Stoffgemische, deren unterschiedliche Bestandteile man augenscheinlich (bzw. unter dem Mikroskop) noch erkennt, nennt man *heterogen*, während einheitlich erscheinende Stoffgemische als *homogen* bezeichnet werden.

Gemisch	Gemisch-zusammensetzung	Trennverfahren	Trenneigenschaft
Gemenge	<i>heterogen</i> Gemisch fester Stoffe	Magnetscheiden	Magnetismus
		Windsichten	Dichte Luftwiderstand
		Sieben	Korngröße
		Schwimm-Sink-Verfahren	Dichte
		optische Sortierung	Lichtreflektion (Farbe, Oberflächenbeschaffenheit)
Rauch	<i>heterogen</i> feste Stoffe in Gasen	Elektrofiltration	elektrostatische Aufladung
		Gewebefiltration	Teilchengröße
Gasgemisch	<i>homogen</i> gasförmige Stoffe in Gasen	Nasswäsche	Löslichkeit in Wasser Reaktionsverhalten

Tab.25: Trennverfahren für Gemenge, Rauch und Gasgemische

10.2 Trennverfahren in einer Kläranlage

Es wurden nun exemplarisch feste und gasförmige Stoffgemische betrachtet. Die sehr große und bedeutende Gruppe der flüssigen Stoffgemische soll passend zur Abfallaufbereitung anhand des Themengebiets Abwasser und seine Aufbereitung erfolgen, denn auch hier stellt sich die Frage, was mit den flüssigen Abfällen nach ihrer Entsorgung im Ausguss passiert. Dabei bietet sich eine Exkursion in eine Kläranlage an. Dabei sollte für den Chemieanfangsunterricht das Augenmerk zunächst auf die mechanischen bzw. physikalischen Reinigungsschritte gelegt werden. Es ist aber auch eine Zusammenarbeit mit dem Biologieunterricht möglich, da das „Herzstück“ einer modernen Kläranlage die biologische Reinigung ist. Alternativ kann auch ein Wasserwerk besucht werden, welches zur Aufbereitung von Trinkwasser dient.

In jeder Kläranlage und auch in jedem Wasserwerk beginnt die Wasseraufbereitung mit der Siebung. Dabei werden ungelöste größere Feststoffportionen durch einen Rechen zurückgehalten. Dieser Reinigungsschritt ist sehr grob. Es folgt die Sedimentation, bei der die Fließgeschwindigkeit soweit herabgesetzt wird, dass sich die kleineren Feststoffpartikel wie z.B. Sand absetzen können. Dieser Teil der Anlage wird daher auch häufig „Sandfang“ oder „Absetzbecken“ genannt. In Kläranlagen befindet sich zusätzlich vor oder nach dem Sandfang noch ein Ölabscheider, bei dem Fette, Öle und weitere Schwimmstoffe zurückgehalten werden. Es folgen im Vorklärbecken eine Filtration mit einem Sandfilter und der Adsorptionsschritt, bei dem mit Hilfe von Aktivkohle Kohlenwasserstoffverbindungen und Farbstoffe entfernt werden, bevor das Abwasser in die biologische Reinigung gelangt. Dort werden organische Bestandteile durch Mikroorganismen zersetzt. Danach müssen die Mikroorganismen sowie weitere gelöste Stoffe durch Flockung, Fällung und Sedimentation entfernt werden, bevor das geklärte Wasser in ein örtliches Gewässer eingeleitet werden darf. Bei dem geklärten Wasser handelt es sich nicht um Trinkwasser! Die folgende Abb. gibt eine kleine Übersicht über die verschiedenen Stufen einer Kläranlage.

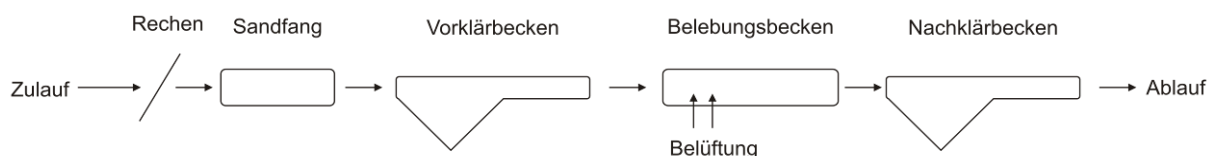


Abb.28: schematische Übersicht über die Reinigungsstufen in einer Kläranlage

Nachdem die Kläranlage in Natura besucht wurde, ist es zunächst notwendig, dass sich die Schülerinnen und Schüler über die einzelnen Trennverfahren informieren und dabei auch die technische Umsetzung beachten. Im Folgenden werden, z.B. für die Verwendung in einer Stationsarbeit, kurz die Prinzipien einiger Trennverfahren erläutert und mögliche Versuche beschrieben. Die Lehrkraft kann eine Auswahl der Versuche als Hilfestellung für das Verständnis der Trennverfahren den Schülerinnen und Schülern zur Verfügung stellen.

Station 1: Der Sandfang - Das Sedimentieren und Dekantieren

Durch Sedimentieren und Dekantieren werden heterogene Stoffgemische wie z.B. Aufschlammungen oder Suspensionen, getrennt. In einer Suspension liegt ein ungelöster Feststoff fein verteilt in einer Flüssigkeit oder in einem Gas vor (das letztere Stoffgemisch wird auch Rauch genannt). Unter Sedimentieren versteht man im weitesten Sinne das Absetzen von Teilchen aus Flüssigkeiten oder Gasen aufgrund der Schwerkraft und anderen Kräften, wie zum Beispiel der Fliehkraft in einer Zentrifuge. Dabei wird vor allem die unterschiedliche Dichte der einzelnen Komponenten ausgenutzt. Setzen sich mehrere Komponenten ab, so lagern sich die Teilchen entsprechend ihrer Dichte ab, es entsteht eine Schichtung. Sobald sich die festen Bestandteile am Boden abgesetzt haben, kann die überstehende Flüssigkeit abgegossen (dekantiert) werden.

Das Sedimentieren spielt in der Natur eine große Rolle, so entstehen z.B. Sedimentgesteine. Im Alltag kann man das Sedimentieren unter anderem in der Badewanne beobachten, wenn nach einem Bad das Badewasser abläuft und Schmutzpartikel auf dem Wannenboden liegen bleiben oder wenn sich Fruchtfleisch in einer Saffflasche unten absetzt. Bei diesen Beispielen ist der Vorgang des Sedimentierens meistens unerwünscht, beim Trinken eines türkischen Kaffees hilft er jedoch sehr.

Versuch 80: Beobachten des Sedimentierens

Kurzbeschreibung: Man schlämmt ein wenig Boden (etwa zwei bis drei Spatel) mit 100 mL Wasser auf, rührt kurz und kräftig um und beobachtet dann die Suspension. Nach wenigen Minuten hat sich der Großteil des aufgeschlammten Bodens abgesetzt. Das überstehende Wasser ist aber immer noch nicht klar. Dazu muss es über einen längeren Zeitraum (mind. ein Tag) stehen gelassen werden. Dann kann das klare Wasser abdekantiert werden.

Der nächste Versuch zeigt eine schnellere Variante des Sedimentierens. Hierbei werden Zentrifugalkräfte ausgenutzt, so dass sich die schwereren Teilchen schneller absetzen.

Versuch 81: Sedimentieren durch Zentrifugalkräfte (nach [51])

Geräte: 100-mL-Becherglas, Spatel, zwei Reagenzgläser mit passenden Stopfen (falls vorhanden: Zentrifuge, Zentrifugenglas), Bodenprobe

Durchführung: Zunächst wird ein wenig Boden (etwa zwei bis drei Spatel) mit 100 mL Wasser aufgeschlämmt und kurz stehen gelassen. Dann wird etwas von der überstehenden Suspension in zwei Reagenzgläser (ca. 5 cm hoch) dekantiert und diese mit dem Stopfen verschlossen. Nun nimmt man ein Reagenzglas in die Hand und bewegt den Arm in schnellen großen Kreisen (mind. 10). Danach wird das Reagenzglas von allen Richtungen genau betrachtet und mit dem anderen verglichen. Anschließend werden wieder beide geschüttelt und das Kreisen noch einmal wiederholt. Falls möglich soll zum Vergleich der Inhalt des Reagenzglases auch mit einer Laborzentrifuge zentrifugiert werden.

Beobachtung und Auswertung: Nach dem schnellen Kreisen erscheint das Wasser immer noch trüb, es hat sich jedoch am Boden des Reagenzglases ein wenig Bodensatz gebildet. In dem anderen Reagenzglas ist auch ein Bodensatz erkennbar, jedoch deutlich weniger als in dem gedrehten. Das Ergebnis lässt sich verbessern je größer und schneller die Kreise gedreht werden.

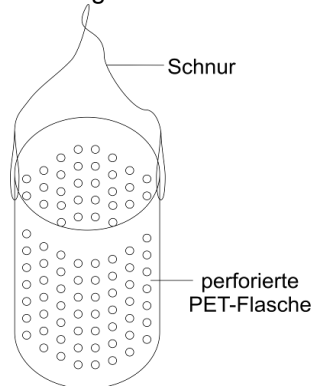
Didaktische Anmerkung: Die Schülerinnen und Schüler kennen die Wirkung von Zentrifugalkräften vom Jahrmarkt. Dort erfahren sie in Karussellen am eigenen Leib, wie stark diese Fliehkraft sein kann. Ähnlich wie in einem Kettenkarussell die Menschen werden hier die Schmutzpartikel aufgrund der größeren Dichte als das Wasser nach außen gedrückt. Da das Ergebnis dieses Versuches stark von der Durchführung abhängig ist, sollten die Schülerinnen und Schüler das Kreisen durchaus mehrmals vollziehen, damit das Ergebnis eindeutiger wird. Dabei darf nicht vergessen werden, beide Suspensionen zum gleichen Zeitpunkt zu schütteln.

Passend zu den thematisierten Zentrifugalkräften, kann nun auch das Prinzip einer Wäscheschleuder behandelt werden.

Versuch 82: Modell einer Wäscheschleuder (nach [52])

Geräte: PET-Flasche, Schere, Schnur, Tiegelzange, Nadel, ein Tuch oder Lappen, große hohe Schüssel oder Waschbecken

Vorbereitung: Bei der PET-Flasche wird das obere Drittel abgetrennt. Mit einer heißen Nadel werden in den unteren Rand der Flasche Löcher in regelmäßigen Abständen geschmolzen. Die Schnur wird an zwei gegenüberliegenden Löchern befestigt.



Durchführung: Das Tuch wird nass in die durchlöchernte Flasche gegeben, es sollte die Flasche fast ausfüllen. Nun verdrillt man die Schnur kräftig und lässt sie anschließend über einer Schüssel oder einem Waschbecken los, so dass sich die Schnur wieder auswickelt. Zur Erhöhung der Drehgeschwindigkeit kann man die obere Schlaufe der Schnur kräftig auseinander ziehen.

Beobachtung: Beim schnellen Drehen der Flasche treten Wassertropfen aus den Löchern in der Flasche aus. Diese verteilen sich kreisförmig in der Schüssel.

Auswertung: Beim schnellen Drehen der Flasche wirkt die Zentrifugalkraft nach außen. Dadurch wird das Tuch mit dem aufgesaugten Wasser gegen die Flaschenwand gedrückt und das Wasser durch die Löcher hindurch geschleudert.

Didaktische Anmerkung: Der Versuch veranschaulicht auf eine einfache Weise die Funktionsweise einer Waschmaschine. Aber auch ein Entsafter oder eine Salatschleuder funktionieren nach diesem Prinzip. Alle drei Haushaltsgeräte verbinden dabei das Zentrifugieren mit dem Vorgang des Siebens: die Flüssigkeit kann durch die Löcher entweichen, während die festen Teile zurückgehalten werden.

Station 2: Der Ölabscheider

Auch das Absetzen einer Flüssigkeit auf oder unter einer weiteren flüssigen Phase wird Sedimentieren oder Abscheiden genannt. So ist es z.B. möglich, das Bratenfett von der Sauce durch Dekantieren zu entfernen. Im Labor werden zwei nicht mischbare Flüssigkeiten mit Hilfe eines Tropf- bzw. Scheidetrichters getrennt. Technisch werden solche Vorrichtungen auch als Fett- oder Ölabscheider bezeichnet.

Versuch 83: Trennen eines Öl-Wasser-Gemisches

Geräte: Scheidetrichter, evtl. Fett-Trenn-Sauciere, 2 Bechergläser, Glasstab, Messzylinder

Chemikalien: Speiseöl, Wasser

Durchführung: In einem Becherglas werden 30 mL Wasser mit 10 mL Speiseöl verrührt und dann in den Scheidetrichter gegeben. Die Vorgänge im Scheidetrichter werden genau beobachtet. Anschließend soll versucht werden, das Öl-Wasser-Gemisch wieder zu trennen. Zum Vergleich kann das Gemisch noch einmal in die Fett-Trenn-Sauciere gegeben werden.

Beobachtung: Das Öl wird durch das Verrühren im Wasser verteilt. Im Scheidetrichter erkennt man kleine Öltropfen, die zur Oberfläche aufsteigen und sich dort wieder vereinigen. Nach einiger Zeit hat sich das gesamte Öl oben abgesetzt. Im Scheidetrichter ist es nun möglich, das Wasser unten abzulassen. Das Öl-Wasser-Gemisch kann so wieder getrennt werden.

Auch in der Fett-Trenn-Sauciere setzt sich das flüssige Fett oben ab. Durch eine Öffnung unterhalb der Fettschicht gelangt man nun an die Sauce ohne Fettschicht (siehe Abb. 49).



Abb. 49: Foto einer Fett-Trenn-Sauciere von oben

Auswertung: Öl und Wasser sind zwei Flüssigkeiten, die sich nicht bzw. nur kurzzeitig mischen lassen. Öl hat des Weiteren eine geringere Dichte als Wasser und steigt deshalb auf. Aufgrund der Nicht-Mischbarkeit und der unterschiedlichen Dichte lassen sich diese Flüssigkeiten mit Hilfe eines Scheidetrichters trennen. Dasselbe Prinzip wird in einer Fett-Trenn-Sauciere genutzt.

Didaktische Anmerkung: Bei diesem Versuch wird wiederholt, dass sich Flüssigkeiten nicht immer gut vermischen lassen. So ist Speiseöl nicht mit Wasser mischbar und setzt sich aufgrund der geringeren Dichte an der Wasseroberfläche ab. Dabei entstehen zwei klar abgrenzbare Phasen. Schüttelt bzw. verquirlt man Speiseöl mit Wasser kräftig, so entsteht kurzzeitig eine trübe, milchige Flüssigkeit - man bezeichnet das als Emulsion. Mit Hilfe von Emulgatoren lassen sich stabile Emulsionen herstellen. Beispiele für diese wären Milch, Mayonnaise sowie diverse Cremes.

In einer Kläranlage werden die Ölabscheider als Becken gebaut, in die das Öl-Wasser- bzw. Benzin-Wasser-Gemisch hineinläuft. In dem Becken vollzieht sich dann die Abscheidung. Meistens befindet sich vor dem Ablauf eine Tauchwand, unter der das ölfreie Abwasser hindurch muss. So ist gewährleistet, dass vor allem die untere Phase weiter fließt. Öl- bzw. Fettabscheider sind überall da vorgeschrieben, wo diese wassergefährdenden Stoffe in größeren Mengen anfallen, wie z.B. Tankstellen, Auto-Waschanlagen und Werkstätten, ja sogar in Großküchen und in der Lebensmittel-industrie. Die folgende Abb. zeigt ein Beispiel für die Bauweise eines solchen Beckens.

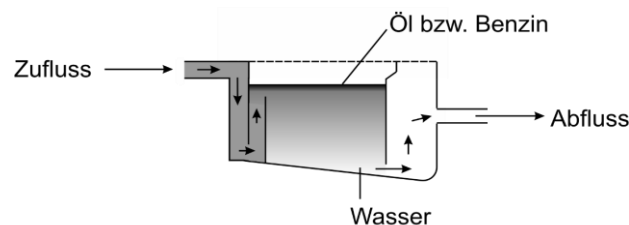


Abb. 30: schematischer Aufbau eines Ölabscheiders

Station 3: Das Sieben und Filtrieren

Das Sieben ist eine Trennmethode, die den Schülerinnen und Schülern bereits aus dem Sandkasten bekannt ist: Steine bleiben auf dem Sieb liegen, während der feine Sand hindurch fällt. Aber auch im Haushalt kommen diverse Siebe zum Einsatz: Nudelsieb, Schaumkelle, Teesieb, Fliegengitter, durchlöchernte Aufsätze für Gewürzstreuer, Ausfluss im Waschbecken oder der Badewanne, etc.

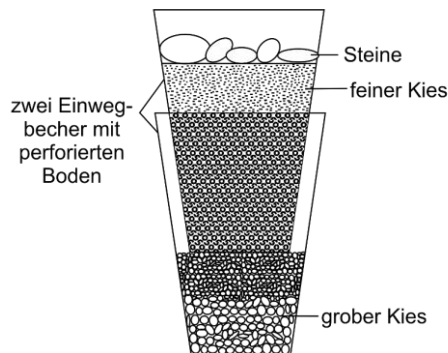
Das Sieben wird zur Trennung von heterogenen Stoffgemischen, wie z.B. Gemengen oder auch zum Abtrennen von festen unlöslichen Stoffen aus einer Flüssigkeit genutzt. Die Stoffgemische werden dabei in Fraktionen unterschiedlichen Korngrößen getrennt. Das Sieb fängt die Bestandteile auf, die die Löcher bzw. die Maschenweite nicht passieren können. Eine Sonderform des Siebens ist das Filtrieren. Verengt man die Maschenweite eines Siebes immer weiter, so erhält man einen Filter, wobei der Übergang vom Sieb zum Filter fließend ist. Im Haushalt findet man Kaffee-, Tee- und Staubsaugerfilter, in Autos werden Luft- und Rußpartikelfilter eingebaut und zur Gewinnung von Fruchtsaft werden die gekochten Früchte mit Hilfe eines Leinentuchs ausgepresst. Die Filtration ist ein sehr bedeutendes Verfahren zum Abtrennen von Feststoffen aus Flüssigkeiten und Gasen. Die Filtration von Gasen haben die Schülerinnen und Schüler bereits bei der Rauchgasreinigung kennen gelernt.

Der erste Versuch zeigt die Funktionsweise eines Kiesfilters, wie er auch in einigen Kläranlagen eingesetzt wird. Es folgen ein Versuch zum Sieben und einer zum Filtrieren. Dabei wird den Schülerinnen und Schülern der Unterschied zwischen diesen beiden Verfahren verdeutlicht.

Versuch 84: Trennung einer Aufschlämmung / Suspension

Geräte: zwei Bechergläser, zwei transparente Einweg-Trinkbecher aus Kunststoff, Spatel, sauberer Kies unterschiedlicher Korngröße, Bodenprobe, Nadel

Vorbereitung: Die zwei Trinkbecher sind am Boden durch kleine Löcher zu perforieren. In den einen Becher schichtet man etwa zur Hälfte sauberen Kies, dabei fängt man mit der größten Korngröße an (ca. ein bis zwei Zentimeter hoch), darüber kommt dann eine Schicht mit der nächst feineren Korngröße. Um eine ausreichende Höhe zu erhalten, wird nun der andere Becher auf den Kies gestellt und in diesem schichtet man bis zwei Zentimeter unter dem Rand weiter. Man endet mit dem Kies der feinsten Korngröße. Der Kiesfilter wird zur Benutzung entweder eingespannt oder auf ein passendes Becherglas gestellt. Zur Überprüfung der Funktionsweise wird klares Wasser durch den Filter gegossen. Es sollte nach dem Filterdurchgang immer noch klar sein. Falls man als oberste Schicht sehr feinen Kies benutzt, wirbelt dieser beim Einfüllen des Wassers stark auf, wodurch das Filtrat getrübt wird. Man kann in solchen Fällen mehrere größere Steine auf den Kies legen, auf die dann die Suspension langsam gegossen wird.



Durchführung: Zunächst wird ein wenig Boden (etwa zwei bis drei Spatel) mit 100 mL Wasser aufgeschlämmt und einige Minuten stehen gelassen. In der Zwischenzeit wird der Kiesfilter über dem zweiten Becherglas eingespannt. Dann wird etwa die Hälfte des abgestandenen trüben Wassers vorsichtig und ohne große Bewegungen durch den Kiesfilter gegeben.

Beobachtung und Auswertung: Ein Teil des Bodens setzt sich aufgrund der größeren Dichte relativ schnell am Boden des Becherglases ab. Die überstehende Flüssigkeit ist aber immer noch schmutzig trüb, da sich kleinere Schmutzpartikel im Wasser fein verteilen (Suspension). Die Suspension kann in den Kiesfilter dekantiert werden, ohne den Bodensatz aufzuwühlen. Aus dem Kiesfilter tritt klares Wasser aus. Daher werden Kies- bzw. Sandfilter auch häufig zur Wasserreinigung eingesetzt um Trübstoffe abzufiltrieren.

Didaktische Anmerkung: Dieser Versuch dient nicht nur dazu, wieder einmal das Sedimentieren zu beobachten, sondern auch um das Dekantieren zu üben und die Funktionsweise eines Kiesfilters zu demonstrieren.

Versuch 85: Trennung durch Sieben

Geräte: mehrere Siebe unterschiedlicher Maschenweite, mehrere Bechergläser, Salzstreuer, Wasserkocher, Reis, Salz, loser Tee, Fruchtkonservenglas

Vorbereitung: Im Salzstreuer mischt man Salz mit Reis. Man gibt losen Tee in ein Becherglas und gießt ihn mit heißem Wasser auf.

Durchführung: a) Im Salzstreuer befindet sich eine Salz-Reis-Mischung. Dies wird häufig gemacht, um ein Verklumpen des Salzes zu verhindern. Der Reis sollte jedoch regelmäßig ausgetauscht werden, dazu wird der alte Reis mit Hilfe eines Siebes vom Salz im Salzstreuer abgetrennt. Das Salz ist dabei aufzufangen. Anschließend kann der Salzstreuer wieder mit dem Salz und neuen, frischen Reiskörnern befüllt werden.

b) Nachdem der Tee ausreichend gezogen hat, sind die Teeblätter aus dem Tee mit einem passenden Sieb zu entfernen.

c) Für einen Kuchen soll man oft „die Früchte gut abtropfen lassen“. Für den Tortenguss wird aber auch der Fruchtsaft benötigt. Dazu gießt man den Inhalt des Konservenglases in ein Sieb, unter welchem sich eine Schüssel befindet.

Beobachtung und Auswertung: Im Salzstreuer befindet sich ein heterogenes Stoffgemisch aus zwei festen Stoffen (Gemenge). Um dieses Gemisch zu trennen, muss man ein Sieb passender Lochgröße wählen. Die Löcher müssen so groß sein, dass das Salz hindurch passt, der Reis jedoch aufgehalten

wird. Beim Trennen von festen Stoffen aus einer Flüssigkeit hängt die richtige Wahl der Lochgröße nur von dem Feststoff ab.

Didaktische Anmerkung: Bei diesem Versuch üben die Schülerinnen und Schüler die Handhabung eines Siebes. Durch Bereitstellen von mehreren Sieben unterschiedlicher Maschenweite sind sie gezwungen, das richtige zum Erfolg führende Sieb auszuwählen. Die Schülerinnen und Schüler lernen, dass beim Sieben zwei Fraktionen entstehen, wobei beide von Bedeutung sein können.

Versuch 86: Trennung durch Filtrieren

Geräte: 3 Kaffeefilteraufsätze, Kaffeefilter unterschiedlicher Porengröße (z.B. von Melitta, Typ Mild, Classic oder Kräftig), Trichter, Rundfilter, Faltenfilter, Mörser, Pistill, Spatel, gelbe Kreide, blaue Lebensmittelfarbe, mehrere Bechergläser

Durchführung: Zunächst ist der folgende Text über die Methode des Filtrierens im Labor zu lesen:

Informationstext: Das Filtrieren dient zum Trennen von Aufschlämmungen, also von Flüssigkeiten und darin grob verteilten festen Stoffen. Zum Filtrieren benötigt man einen Trichter, in dem meist ein Papierfilter eingelegt wird. Die Größe des Trichters sollte so gewählt werden, dass der Filter etwa 1 cm unterhalb des Trichterrandes endet. Es gibt glatte Rundfilter oder bereits vorgefaltete Faltenfilter. Die Rundfilter sind durch zweimaliges Falten zu einem Kegel zu formen.



Abb.31: Faltung eines Rundfilters für die Filtration mit einem Trichter

Der trockene Filter wird nach dem Einlegen in den Trichter mit wenig Wasser angefeuchtet, damit er an der Glaswand haften bleibt. Der Trichter wird so in ein Stativ eingespannt, dass der Trichterstiel an der Wand des untergestellten Gefäßes anliegt. Dies verhindert das Spritzen beim Eintropfen und bewirkt eine höhere Filtriervgeschwindigkeit. Der Filter soll maximal bis zu zwei Dritteln gefüllt werden. Im Filter verbleibt der so genannte Filtrerrückstand. Die Flüssigkeit, die den Filter passiert hat, nennt man auch Filtrat.

Sind größere Mengen zu filtrieren, ist ein Faltenfilter zu verwenden, da sie durch die größere Oberfläche höhere Filtriervgeschwindigkeiten als Rundfilter gleicher Qualität erreichen.

Dann stellt man sich aus 250 mL Wasser, ein wenig blauer Lebensmittelfarbe und zerkleinerter gelber Kreide eine grünlich gefärbte Flüssigkeit her. Anschließend stellt man die Kaffeefilteraufsätze auf die Bechergläser, legt die verschiedenen Kaffeefilter ein, befeuchtet sie und gibt jeweils 50 mL der Flüssigkeit in jeden Kaffeefilter. Dann werden auch 50 mL der Flüssigkeit durch einen Rundfilter filtriert.



Abb.32: Versuchsaufbau für richtiges Filtrieren im Labor

Beobachtung und Auswertung: Die folgende Abbildung 33 zeigt von links nach rechts die Ausgangslösung, dann die Filtrate der Kaffeefilter Mild, Classic und Kräftig sowie das Filtrat eines Rundfilters. Man erkennt deutlich eine farbliche Abstufung der Filtrate von hellgrün über türkis nach blau. Alle Kaffeefilter lassen noch gelb gefärbte Kreidepartikel durch, wobei der Melittafilter-Typ „Kräftig“ mehr Kreidepartikel zurückhält als die anderen beiden Kaffeefilter-Typen. Der Rundfilter hält alle Kreidepartikel zurück, so dass das Filtrat nur noch blau ist. Die blaue Lebensmittelfarbe lässt sich jedoch nicht durch einen Filter entfernen.



Abb.33: unterschiedliche Filtrate bei Benutzung der verschiedenen Filter
v.l.n.r.: Ausgangslösung/-suspension, Kaffeefilter Mild, Kaffeefilter Classic, Kaffeefilter Kräftig, Rundfilter



Didaktische Anmerkung: In diesem Versuch lernen die Schülerinnen und Schüler die wichtige Tätigkeit des Filtrierens kennen. Aus den Ergebnissen sollen sie erarbeiten, dass die Filter offensichtlich unterschiedliche Porengrößen haben und diese zuordnen. Das Ergebnis sollte auch in Bezug auf die verschiedenen Kaffeefilter, die Kontaktdauer zwischen Kaffeepulver und Wasser und den dann resultierenden Geschmack des Kaffees ausgewertet werden. Die Beobachtung, dass sich die Lebensmittelfarbe nicht abfiltrieren lässt, zeigt, dass beim Lösen die Stoffe in ihre kleinsten Teilchen zerfallen und dann selbst Filter mit kleiner Porengröße durchdringen können.

Station 4: Die Adsorption

Das Wort Adsorption kommt vom lateinischen Wort *adsorbere* für „ansaugen“. Als Adsorption bezeichnet man daher die Anreicherung von Stoffen an der Grenzfläche fester und flüssiger Materie. Im Alltag ist dies daran zu beobachten, dass manche Stoffe an den Oberflächen bestimmter Materialien haften bleiben. So bleibt z.B. Zigarettenrauch an Gardinen hängen und lässt diese mit der Zeit vergilben. Textilien, Tapeten, Möbel und auch unsere Haut adsorbieren z.B. Ruß- und andere Schmutzteilchen aus der Luft, weshalb eine regelmäßige Reinigung notwendig ist. Gut erkennen lässt sich das Prinzip der Adsorption bei dem folgenden Experiment.

Versuch 87: Reinigen von ölverschmutztem Wasser durch Adsorption (nach [53])

Geräte: 50-mL-Becherglas, Messzylinder, Pinzette

Chemikalien: Dieselöl (GHS07 , GHS09 , Wasser, Polyurethanblock (hergestellt aus Montage- bzw. Bauschaum)

Vorbereitung: Der Montageschaum muss mindestens einen Tag vor dem Versuch in einem Karton, der mit Folie oder einer alten Tüte ausgelegt wurde, ausgesprüht werden. Wenn er fest ist, kann man ihn mit einem Cutter-Messer gut in passende Stücke schneiden. **Vorsicht!** Je nach Schaumsorte vergrößert sich das Volumen sehr stark, daher sollte man auf ein Überquellen gefasst sein. Den feuchten Schaum nicht mit den Händen anfassen, da er im trockenen Zustand nur noch mechanisch entfernbar ist. Feuchte Schaumreste lassen sich noch gut mit Aceton entfernen.

Durchführung: Das Becherglas wird zu zwei Dritteln mit Wasser gefüllt. Dann gibt man 2-3 mL Dieselöl hinzu, bis sich eine dünne Schicht bildet. Nun schneidet man aus einem Polyurethanblock ein rundes Stück heraus; es soll ungefähr in das Glas passen. Es wird von oben mit Hilfe der Pinzette langsam in die Flüssigkeit gedrückt, ohne dass diese über den Rand des Becherglases läuft. Dabei sollte eine sehr poröse Seite in Richtung auf das Öl zeigen. Nach kurzer Zeit wird das Polyurethan wieder vorsichtig herausgezogen.

Beobachtung: Der Ölfilm auf der Wasseroberfläche ist fast vollständig entfernt.

Auswertung: Polyurethan ist ein Adsorptionsmittel für Öl, das aufgrund der feinen Porenstruktur wie ein Filter das Wasser reinigt. Das Polyurethan wird als Ölbindemittel zur Verhinderung der Ausbreitung von Öl auf Wasseroberflächen oder Böden nach Unfällen verwendet.

Didaktische Anmerkung: Die Schülerinnen und Schüler erkennen, dass das Öl in den Poren des Polyurethanschaums haften bleibt und so von der Wasseroberfläche entfernt werden kann. Gut zu erkennen sind die vielen Poren des Schaums, wodurch die wirksame Oberfläche stark vergrößert wird. So ähnlich kann man sich auch die Struktur in der Aktivkohle vorstellen.

Gasmasken sollen lungenschädigende Stoffe adsorbieren, häufig wird hierfür Aktivkohle eingesetzt. Aktivkohle ist ein besonders gutes Adsorptionsmittel, da sie sehr viele Poren unterschiedlicher Form besitzt, vergleichbar mit einem Schwamm. Die Wände der Poren bilden eine sehr große Oberfläche, an der die adsorbierten Teilchen haften bleiben können. So wird Aktivkohle nicht nur in Gasmasken eingesetzt, sondern auch in Küchen-Dunstabzugshauben, in Aquarienfiltern, in Kohletabletten gegen Durchfall auslösende Bakterien oder Vergiftungen und fast überall dort, wo lästige oder schädliche Farb-, Geruchs- und Geschmacksstoffe entfernt werden sollen.

Die Wirkungsweise von Aktivkohle bei der Adsorption von Farbstoffen lässt sich folgendermaßen demonstrieren.

Versuch 88: Adsorption gelöster Farbstoffe

Geräte: 2 Trichter, 2 passende Rundfilter, 2 kleine Bechergläser, 2 Reagenzgläser, Reagenzglasständer

Chemikalien: Cola, Rotwein, Aktivkohle-Pulver

Durchführung: Die beiden Rundfilter werden gefaltet, in die Trichter gelegt und angefeuchtet. Dann bestreut man sie gleichmäßig und nicht zu dünn mit Aktivkohle-Pulver. Nun gießt man langsam wenige Milliliter Cola in den einen und Rotwein in den anderen Filter, das Filtrat wird jeweils in einem Reagenzglas aufgefangen.

Beobachtung: Je nach Sorgfalt beim Auftragen des Aktivkohle-Pulvers ist das Filtrat nur noch schwach gefärbt bis farblos.

Auswertung: Das Aktivkohle-Pulver adsorbiert die Farbstoffe aus der Cola und dem Rotwein, so dass diese nach der Filtration (fast) farblos sind.

Didaktische Anmerkung: Bei der Aktivkohle ist die „Schwamm-Struktur“ nicht mehr mit dem bloßen Auge zu erkennen. Trotzdem bleibt ein Bestandteil der Getränke an ihr haften, so wie das Öl an dem Polyurethanschaum.

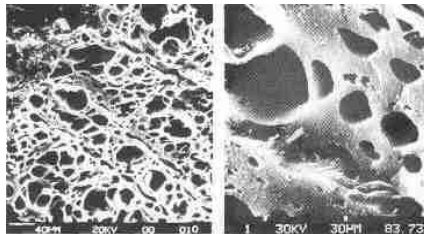


Abb.34: rasterelektronenmikroskopische Bilder von Aktivkohle [54]

Station 5: Konstruktion eines Modells zur physikalischen Reinigung in einer Kläranlage

Nachdem sich die Schülerinnen und Schüler mit einigen Trennverfahren, wie sie in Kläranlagen und Wasserwerken vorkommen, vertraut gemacht haben, können sie den Auftrag erhalten, eine „Modellkläranlage“, die ein „Abwasser“ von vorgegebener Zusammensetzung reinigt, für den Unterricht zu konstruieren. Der Auftrag kann dabei auch einen Wettbewerbscharakter entwickeln, wenn sich z.B. mehrere Gruppen bilden. Hierbei sollte den Schülerinnen und Schülern bei einem festgelegten Zeitrahmen ein möglichst großer Freiraum eingeräumt werden in Bezug auf ihre Vorgehensweise und die verwendeten Materialien.





Abwasser, welches nur physikalisch gereinigt werden soll, kann z.B. aus folgenden Komponenten bestehen: Wasser, Erde oder Sand (z.B. vom Schuhe putzen, Boden wischen oder durch Regen in die Kanalisation gespült), etwas Lebensmittelfarbe (abfärbende Wäsche, Tuscharte, Lebensmittelfarbe) und Öl oder Benzin (Bratenfett, Reinigungsbenzin, falsch entsorgtes Benzin oder Altöl).

Wird mit dem Biologieunterricht zusammen gearbeitet, so kann man auch eine biologische Reinigung simulieren, indem man dem Abwasser Glukose beimischt, welche durch Hefen abgebaut wird. Dabei können Glukoseteststäbchen den Verlauf des Abbaus anzeigen.

Der folgende Versuch zeigt eine Möglichkeit auf, wie ein solches Modell zur physikalischen Reinigung bei einer Kläranlage aussehen könnte. Die Schülerinnen und Schüler können jedoch auch andere Möglichkeiten vorschlagen.

Versuch 89: Modell zur physikalischen Reinigung bei einer Kläranlage

Geräte: 500-mL-Becherglas, 250-mL-Becherglas, Spatel, Filterpapier, Haushaltssieb, Schere, transparente 1,5-L-Getränkeflasche aus Kunststoff, zwei 0,5-L-Getränkeflaschen aus Kunststoff (eine mit Sporttrinkverschluss)

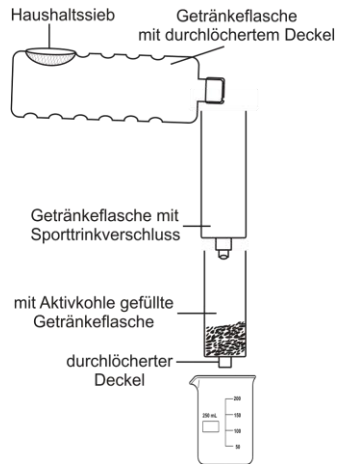
Chemikalien: gekörnte Aktivkohle, Schmutzwasser, bestehend aus Wasser, Lebensmittelfarbe, Speiseöl oder Feuerzeugbenzin (GHS02 , GHS07 , GHS08 , GHS09 , Bodenprobe mit größeren Steinchen

Vorbereitung: Mit Hilfe der Schere wird in das untere Ende der 1,5-L-Getränkeflasche ein Loch, passend für das Haushaltssieb, geschnitten. In den Flaschenverschluss werden mit einer heißen Nadel mehrere Löcher geschmolzen.

Bei den beiden anderen Getränkeflaschen wird der Boden entfernt. Der normale Flaschenverschluss wird ebenfalls mit mehreren Löchern versehen. In diesen Deckel wird ein zurechtgeschnittenes Stück Filterpapier gelegt. Dann wird die Flasche zu einem Drittel mit Aktivkohle gefüllt.

Anschließend baut man den Versuch der Abbildung entsprechend auf.

Das „Abwasser“ wird in dem 500-mL-Becherglas aus etwa 5-10 Spatel Erde, etwa 400 mL mit Lebensmittelfarbe angefärbtes Wasser und 30 mL Öl oder Benzin hergestellt.



Durchführung: Man gießt das aufgeschlämmte Abwasser vorsichtig durch das Haushaltssieb in die „Kläranlage“. Wenn die als Tropftrichter dienende 0,5-L-Getränkeflasche gut zur Hälfte gefüllt ist, kann man den Sporttrinkverschluss vorsichtig herausziehen, so dass das Abwasser langsam in den Aktivkohlefilter tropft. Bei Bedarf kann weiteres Abwasser in die Kläranlage gegossen werden.

Beobachtung: Das Abwasser gelangt über das Sieb in die Kläranlage. Im Sieb bleiben bereits größere Steinchen und größeres Treibgut hängen. In der Getränkeflasche befindet sich aber immer noch trübes, gefärbtes Abwasser. Durch die Löcher in der Verschlusskappe gelangt jedoch klares, gefärbtes Wasser in den „Tropftrichter“. Dort sind schnell zwei Flüssigkeitsphasen erkennbar, die sich auch farblich voneinander unterscheiden. Die untere Phase tropft langsam aus dem Sporttrinkverschluss heraus in den Aktivkohlefilter. Nach kurzer Zeit tropft klares Wasser aus dem Aktivkohlefilter heraus.

Auswertung: Das Haushaltssieb stellt den Rechen einer Kläranlage dar. Er hält groben Schmutz zurück. Die kleineren Schmutzpartikel, die aufgrund ihrer Größe durch das Sieb hindurchgelangt sind, setzen sich in der Getränkeflasche langsam ab (Sedimentation). Das überstehende Abwasser, welches immer noch ein Gemisch aus Benzin (bzw. Öl), Wasser und gelöste Farbe ist, wird in die 0,5-L-Getränkeflasche dekantiert. Dort scheidet sich das Benzin (bzw. Öl), welches sich nicht mit Wasser mischt, aufgrund der geringeren Dichte an der Oberfläche ab. So gelangt nur noch angefärbtes Wasser in den Aktivkohlefilter. Dieser adsorbiert den Farbstoff und es tropft klares, gereinigtes Wasser heraus.

Didaktische Anmerkung: Die einzelnen Gruppen sollten ihre „Kläranlage“ den anderen vorstellen und die einzelnen Trennschritte erklären. Es sollte darauf geachtet werden, dass sie die entsprechenden Begriffe für die Stoffgemische und die Trennverfahren nennen. Außerdem können die ausgenutzten Eigenschaften erwähnt werden.

An dieser Stelle kann nun eine Zusammenfassung der erarbeiteten Trennverfahren erfolgen.

Gemisch	Gemischzusammensetzung	Trennverfahren	Trenneigenschaft
Aufschlammung	<i>heterogen</i> feste Stoffe grob verteilt in Flüssigkeiten	Sedimentation	Dichte (Schwerkraft)
		Dekantieren	
		Zentrifugieren	Dichte (Fliehkraft)
		Sieben	Partikelgröße
Suspension	<i>heterogen</i> feste Stoffe fein verteilt in Flüssigkeiten	Filtration	Partikelgröße
		Sedimentation	Dichte
		Dekantieren	
Emulsion	<i>heterogen</i> flüssige Stoffe fein verteilt in Flüssigkeiten	Zentrifugieren	Dichte
		Filtration	Partikelgröße
		Abscheidung	Dichte
Lösung	<i>homogen</i> feste, flüssige und gasförmige Stoffe in Flüssigkeiten	Adsorption	Adsorptionsverhalten in Bezug zu dem Adsorptionsmittel
		Eindampfen ⁸	Siedepunkt









Tab.26: Trennverfahren für Aufschlämmungen, Suspensionen, Emulsionen und Lösungen

10.3 Von der Fleckentfernung zur Chromatographie

Nach der durchgeführten Party steht neben Aufräumarbeiten auch die Reinigung von Tischdecken und Kleidung an. Um eventuelle Flecken erfolgreich zu entfernen, müssen einige Dinge beachtet werden. Zum einen ist selbstverständlich die Art der Verunreinigung von Bedeutung, zum anderen muss auch das verschmutzte Gewebe bzw. der verschmutzte Gegenstand bei der Auswahl der Reinigungsmethode berücksichtigt werden. Hier sollen zunächst typische Fleckprobleme betrachtet werden, wie z.B. Fett- und Ölflecke sowie Farbflecke. Diese beiden Fleckenarten werden nun gesondert betrachtet. Zunächst kann man mit den Schülerinnen und Schülern besprechen, was sie beim Auftreten eines Flecks in ihrer Kleidung tun würden. Sicherlich wird zunächst versucht, den Fleck durch Ausreiben mit einem feuchten Tuch zu entfernen. Hierbei ist wiederholend herauszustellen, dass Wasser in diesem Fall als Lösungsmittel fungiert. Das Tuch dient sowohl als Transportmittel für das Wasser als auch zur Aufnahme der Verschmutzung. Bei manchen Flecken ist diese Methode jedoch nicht erfolgreich, so z.B. bei Fettflecken. Als nächster Vorschlag könnte das Reinigen mit einer Seife und Wasser genannt werden. Andere kennen vielleicht auch Fleckenwasser oder Reinigungsbenzin als spezielle Mittel gegen Fettflecken. Hier könnte ein Bezug zum Lösungsverhalten dieser Stoffe aus dem Abschnitt 6.1 hergestellt werden. Sogar auf Feuerzeugbenzin wird immer öfter mit der Verwendungsmöglichkeit als Fleckenentferner geworben. Um nun die Wirkungsweise dieser Mittel zu zeigen, kann folgender Versuch durchgeführt werden.

Versuch 90: Löslichkeit von Butter in verschiedenen Lösungsmitteln

Geräte: vier Reagenzgläser 16x160 mm, passende Stopfen, Spatel, Reagenzglasständer, 10-mL-Messzylinder

Chemikalien: Butter, Wasser, Spülmittel (Fit), Centralin®-Fleckenwasser (GHS02 , GHS07 , GHS08 , GHS09 , Reinigungsbenzin (GHS02 , GHS07 , GHS08 , GHS09 )

Durchführung: Man gibt in jedes Reagenzglas eine Spatelspitze Butter (ca. 0,1 g). Dann fügt man jeweils zwei Milliliter der verschiedenen Lösungsmittel (Wasser, Wasser-Spülmittel-Mischung 10:1, Fleckenwasser und Reinigungsbenzin) hinzu, setzt den Stopfen auf, schüttelt kräftig und wartet anschließend einige Minuten.

Beobachtung: In Wasser bleibt die Butter unverändert, sie klebt an der Glaswand und löst sich nicht auf. Das Spülmittel-Wasser schäumt beim Schütteln stark, unter der Schaumkrone schwimmen aber immer noch Flocken der Butter, die sich nicht weiter lösen. Im Fleckenwasser und im Reinigungsbenzin löst sich die Butter. Im Fleckenwasser entsteht eine Lösung mit einer leichten Trübung. Das Reinigungsbenzin bleibt lange Zeit getrübt, obwohl keine Flocken mehr zu sehen sind. Lässt man die Lösung eine Weile stehen, so setzt sich unten ein kleiner Bodensatz ab. Die darüber stehende Lösung ist klar.

⁸ Das Eindampfen wurde schon in dem Kapitel zu Wasser als Lösungsmittel behandelt und hier der Vollständigkeit halber mit aufgenommen.

Auswertung: Die Butter löst sich offensichtlich nicht in Wasser, nur gering im Spülmittel-Wasser, aber (fast) vollständig in Fleckenwasser und in Reinigungsbenzin.

Didaktische Anmerkung: In diesem Versuch wird die Erkenntnis, dass sich „Gleiches mit Gleichem mischt“ wiederholend bestätigt. Der Versuch ist auch mit Kokosfett durchführbar, dieses löst sich schneller und es entstehen sowohl beim Fleckenwasser als auch beim Reinigungsbenzin klare Lösungen ohne Flocken. Wegen der Alltagsnähe wurde hier jedoch bewusst Butter eingesetzt.

Auf die Frage, warum sich Butter in Wasser nicht aber in Fleckenwasser (fast) vollständig löst, können die Schülerinnen und Schüler wiederholen, was sie über Wasser als Lösungsmittel und über die Eigenschaften von Fleckenwasser gelernt haben. Vertiefend dazu sollte nun herausgestellt werden, dass auch Fleckenwasser als Lösungsmittel dienen kann und dass es aufgrund seiner Eigenschaften andere Stoffe löst als beispielsweise Wasser.

Was passiert aber nun mit dem Fettfleck (bzw. Butterfleck), wenn er durch Aufbringen von Fleckenwasser in diesem gelöst wurde? Ist er nach dem Trocknen einfach weg? Dazu kann man die hergestellten Fettlösungen unter dem Abzug verdunsten lassen

Versuch 91: Verdunsten des Lösungsmittels aus den Fettlösungen

Geräte: zwei Petrischalen aus Glas, Papiertücher

Chemikalien: die beiden Butter-Lösungen mit Fleckenwasser und Reinigungsbenzin aus dem vorherigen Versuch

Durchführung: Man gibt jeweils eine Butter-Lösung aus dem vorherigen Versuch in eine Petrischale und lässt sie mindestens 20 Minuten unter dem Abzug offen stehen. Dann sieht man sich den Boden der Petrischalen genau an und wischt mit einem Papiertuch darüber.

Beobachtung: Nachdem das Lösungsmittel verdunstet ist, bildet sich auf dem Boden der Petrischale eine transparente Schicht, die sich leicht mit dem Papiertuch verreiben lässt. In der Petrischale sind dann Fettschlieren zu sehen und auf dem Papiertuch ist ein Fettfleck zu erkennen.

Auswertung: Lässt man die Fettlösungen unter dem Abzug stehen, verdunstet das Lösungsmittel. Der gelöste Stoff, die Butter, bleibt jedoch zurück. Daraus folgt, dass man bei der Entfernung von Fettflecken mit Reinigungsbenzin die fetthaltige Lösung immer noch aus dem verschmutzten Gewebe oder vom verschmutzten Gegenstand herausziehen bzw. entfernen muss. Dies kann z.B. durch ein saugfähiges Papier oder Tuch geschehen.









Didaktische Anmerkung: Genauso wie bei gelösten Stoffen in Wasser bleibt der gelöste Stoff auch in einem anderen Lösungsmittel erhalten. Wenn das Lösungsmittel verdunstet, fällt der gelöste Stoff wieder aus.

Der letzte Versuch zeigt die Notwendigkeit der weiteren Behandlung eines Fettflecks, nachdem er mit Reinigungsbenzin oder Fleckenwasser gelöst wurde. So findet sich auf den meisten „Fleckenmitteln“ der Hinweis, dass das Wäschestück anschließend normal gewaschen werden soll.

Nachdem die Entfernung von Fettflecken thematisiert wurde, sollen nun auch Farbflecken betrachtet werden. Dazu werden verschiedene Flecken auf Baumwollstoff aufgebracht und versucht, diese mit verschiedenen Lösungsmitteln zu entfernen.

Versuch 92: Fleckentfernung mit verschiedenen Lösungsmitteln

Geräte: drei Petrischalen mit Deckel (Durchmesser etwa 8 cm), vier Baumwoll-Lappen (ca. 5x5 cm), wasserlöslicher Fasermarker, schwarzer Fineliner „point 88“ der Firma Stabilo® (unbedingt vorher testen, da die Zusammensetzung variiert), zwei Glasstäbe, Pinzette, Papiertücher, evtl. Föhn

Chemikalien: Wasser, Spülmittel (Fit), Feuerzeugbenzin (GHS02 , GHS07 , GHS08 , GHS09 ) bzw. Reinigungsbenzin (GHS02 , GHS07 , GHS08 , GHS09 ), roter Traubensaft, Speiseöl

Durchführung: Alle Baumwoll-Lappen werden gleichermaßen „verschmutzt“, indem man jeweils einen Punkt mit dem wasserlöslichen Fasermarker und dem schwarzen Fineliner in eine Ecke malt. Dazu werden noch mit Hilfe eines Glasstabes ein Traubensaft-Fleck und ein Speiseöl-Fleck aufgebracht.

Dann füllt man die drei Petrischalen mit jeweils einem Lösungsmittel (Wasser, Wasser-Spülmittel-Mischung 10:1, Reinigungsbenzin). Nun wird je ein Baumwoll-Lappen in eine Schale gelegt und diese mit einem Deckel abgedeckt. Nach etwa drei Minuten bewegt man die Lappen mit Hilfe der Pinzette kurz in den Lösungsmitteln hin und her. Nach zehn-minütiger Einwirkzeit nimmt man die Lappen aus den Schalen heraus und lässt sie auf Papiertüchern unter dem Abzug trocknen (Achtung: man sollte sich unter die Lappen notieren, in welchem Lösungsmittel sie gelegen haben). Eventuell kann man die

Trocknung auch mit einem Föhn beschleunigen. Anschließend werden die drei Lappen mit dem vierten, der noch die Original-Flecken aufweist, verglichen.

Beobachtung: Bereits nach drei Minuten erkennt man ein Verlaufen einzelner Flecken. Die Ergebnisse nach einer Einwirkzeit von zehn Minuten sind der folgenden Tabelle zu entnehmen.

	Wasser	Wasser mit Spülmittel	Reinigungsbenzin
wasserlöslicher Fasermaler	der Punkt ist nur noch schwach erkennbar	der Punkt ist etwas blasser geworden, er ist aber noch deutlicher zu erkennen als der gleiche Punkt in Wasser	keine Veränderung, kein Verlaufen
schwarzer Fineliner	es ist immer noch ein schwarzer Punkt zu sehen, er hat jedoch eine orange-braune Umrandung bekommen	der Punkt ist ganz und gar tiefblau	es ist immer noch ein schwarzer Punkt zu sehen, er hat jedoch eine rosa Umrandung bekommen
Traubensaft	keine Veränderung	ist ein wenig blasser geworden	keine Veränderung
Speiseöl	keine Veränderung, ein Fettfleck ist immer noch erkennbar	keine Veränderung	es ist kein Fettfleck mehr zu erkennen

Tab. 27: Wirkungen unterschiedlicher Lösungsmittel

Auswertung: Der Fasermaler löst sich nur in Wasser bzw. in Spülmittel-Wasser, das Reinigungsbenzin hat überhaupt keine Wirkung auf diesen Fleck. Der enthaltene Farbstoff ist also gut wasserlöslich und gar nicht in benzinartigen Stoffen löslich.

Der schwarze Fineliner wird von keinem der Lösungsmittel vollständig gelöst, verwirrend sind dabei vor allem die auftretenden Farben. Offensichtlich löst sich im Reinigungsbenzin ein rosa Farbstoff aus dem Stift besser, im Fitwasser lösen sich wiederum andere Farbstoffe, so dass ein blauer Fleck übrig bleibt. In Wasser erkennt man zudem noch ein Orange.

Roter Traubensaft lässt sich durch keines der ausprobierten Lösungsmittel entfernen. Das Speiseöl wird nur durch das Reinigungsbenzin gelöst und somit entfernt.

Didaktische Anmerkung: Dieser Versuch zeigt anhand eines alltagsrelevanten Problems die Löslichkeit von Stoffen in Wasser bzw. Benzin. Er kann sowohl problematisierend zu der Löslichkeit hinführen als auch als Anwendung dienen. Manchmal reicht aber auch ein geeignetes Lösungsmittel nicht aus, um hartnäckige Flecken zu entfernen. Dann greift man auf so genannte Bleichmittel zurück. Des Weiteren sollte das verwirrende Farbspiel des Fineliners unbedingt aufgegriffen werden, um die Chromatographie als Trennverfahren einzuführen.

Der nächste Versuch zeigt kurz, wie man z.B. den Traubensaft-Fleck durch ein Bleichmittel entfernt. Dabei handelt es sich nicht um einen Lösungsvorgang, sondern um die chemische Zerstörung des Farbstoffes, also um eine chemische Reaktion.

Versuch 93: Bleichen des Traubensaft-Flecks

Geräte: zwei Baumwoll-Lappen (ca. 5x5 cm), Pipette, evtl. Föhn

Chemikalien: roter Traubensaft, bleichendes Vorwasch-Spray (z.B. Hoffmanns Vanish Oxi Action

Vorwaschspray; GHS07 )

Durchführung: Auf beide Baumwoll-Lappen gibt man einige Tropfen Traubensaft und lässt sie kurz trocknen. Dann wird einer der beiden Flecken mit dem Vorwaschspray besprüht. Nach dem Trocknen des Sprays können beide Flecken miteinander verglichen werden.

Beobachtung: Der Traubensaft hinterlässt einen roten Fleck auf dem Baumwoll-Lappen. Nachdem das Vorwaschspray auf dem Fleck eingewirkt hat und getrocknet ist, ist der Fleck jedoch fast vollständig entfärbt.

Auswertung: Der Farbstoff aus dem Traubensaft wird durch das Bleichmittel zerstört und der Fleck ist dann nicht mehr sichtbar. Wenn das Vorwaschspray den Fleck nur lösen würde, wäre der Farbstoff nach dem Trocknen des Sprays wieder sichtbar. Daher handelt es sich bei hierbei um eine chemische Methode der Fleckentfernung.

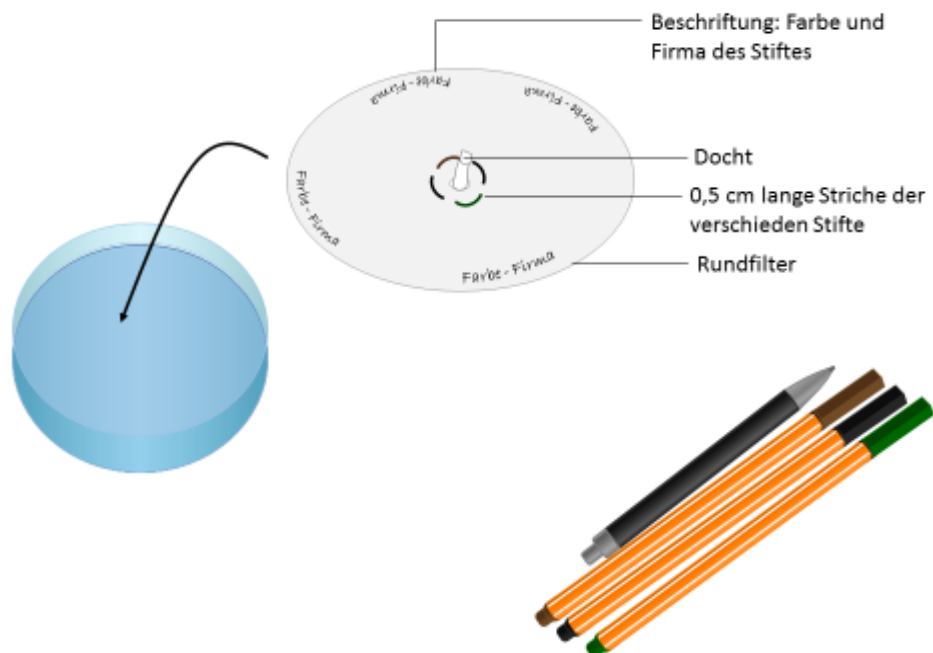
Didaktische Anmerkung: Dieser Versuch thematisiert im Gegensatz zu den Lösungsversuchen in Versuch 95 eine chemische Methode der Fleckentfernung. Der Vollständigkeit halber sollte er an dieser Stelle kurz angesprochen werden, um auch zu zeigen, wie hartnäckige farbige Flecken dennoch entfernt werden können.

Beim schwarzen Fineliner konnte man bei den verschiedenen Lösungsmitteln in Versuch 95 unterschiedliche Farben erkennen. Woher kommen diese Farben? Besteht das Schwarz aus dem Stift vielleicht aus einer Mischung von mehreren Farbstoffen? An dieser Stelle kann das Trennverfahren der Chromatographie eingeführt werden. Es dient zur Untersuchung, aus welchen Farbstoffen das Schwarz aus dem Fineliner besteht.

Versuch 94: Papierchromatographische Untersuchung von Fasermalern

Geräte: Petrischale (d = 10-12 cm), Rundfilter (d = 15 cm), Schere, verschiedene Fasermarker (besonders geeignet sind die Farben grün, braun und schwarz), darunter der schwarze Fineliner „point 88“ der Firma Stabilo®, Kugelschreiber

Durchführung: Der Rundfilter wird ungefähr in der Mitte mit einem Loch versehen. Rund um das Loch malt man mit den vier verschiedenen Stiften etwa 0,5 cm lange Striche (gleichmäßig verteilt und ohne, dass sich die Striche berühren). Mit einem Kugelschreiber notiert man sich am äußeren Rand, um welchen Stift (Farbe, Firma) es sich handelt.



Anschließend schneidet man sich von einem anderen Filter einen drei Zentimeter langen Streifen zurecht, der durch das Loch im Rundfilter passt und als Docht dient. Die Petrischale wird etwa einen halben Zentimeter hoch mit Wasser als Fließmittel befüllt. Nun legt man den Rundfilter auf die Petrischale, dabei sollte nur der Docht in das Wasser ragen. Man beendet den Versuch, wenn die Wasserfront noch etwa einen Zentimeter vom äußeren Rand des Rundfilters entfernt ist.

Beobachtung: Durch den Filterpapierdocht gelangt das Wasser an den Rundfilter, wo es sich kreisförmig ausbreitet. Die Farbstriche verlaufen durch das Wasser trichterförmig und trennen sich in Einzelfarben auf. Der schwarze Stabilo®-Fineliner „point 88“ trennt sich von innen nach außen in blau, orange und rosa auf. Andere schwarze Filzstifte weiterer Firmen trennen sich in andere Farben auf, so z.B. „Staedtler“ (Fasermarker mit Lebensmittelfarbstoffen) von innen nach außen in lila, blau, rosa (alle drei nur sehr schwach zu erkennen), orange und türkis.



Abb.35: Chromatogramm eines Stabilo®-Fineliner „point 88“

Auswertung: Bei der Chromatographie wird ein Stoffgemisch aufgrund unterschiedlicher Wechselwirkungen der Einzelkomponenten mit der stationären (hier das Filterpapier) und der mobilen Phase (hier Wasser) getrennt. Einige Komponenten lösen sich sehr gut in Wasser und werden daher von diesem gut weitertransportiert. Andere lösen sich weniger gut und werden vom Filterpapier stärker zurückgehalten. Die Trennung erfolgt daher aufgrund unterschiedlicher Verweilzeiten der Einzelbestandteile in oder an den beiden Phasen.

Beim schwarzen Stabilo®-Fineliner „point 88“ löst sich der rosa Farbstoff offensichtlich sehr gut in Wasser, während sich der blaue Farbstoff nach dem Ende des Versuchs noch in der Nähe der Startlinie befindet.

Didaktische Anmerkung: Dieser Versuch dient lediglich zur Einführung der Chromatographie als Trennmethode. Die Trennung sollte daher vereinfacht aufgrund unterschiedlicher Wechselwirkungen der Einzelkomponenten mit den beiden Phasen erklärt werden. Eine fachlich korrekte Erklärung des Phänomens können die Schülerinnen und Schüler an dieser Stelle noch nicht verstehen.

Fachlicher Hinweis: Die Papierchromatographie ist ein Spezialfall der Verteilungschromatographie, wobei das Papier (Cellulose) nur der Träger der stationären Phase ist. Die eigentliche stationäre Phase ist das in den Poren befindliche (adsorbierte) Wasser. Der Trennmechanismus beruht daher auf einem Verteilungsvorgang zwischen dem „mobilen“ und dem „immobilen“ Wasser. Somit ist die Papierchromatographie eigentlich eine Flüssig-Flüssig-Chromatographie [56].

Der folgende Versuch stellt lediglich eine weitere Möglichkeit vor, Farbstifte mit einfachen Mitteln zu chromatographieren. Ein solcher Versuchsaufbau ist auch für zu Hause geeignet. Dieses Mal sollen Fasermaler mit Lebensmittelfarbstoffen (z.B. für Kleinkinder oder Ostereier) untersucht werden.

Versuch 95: Aufsteigende Papierchromatographie mit Kaffeefiltern

Geräte: weiße Kaffeefilter, Schere, Lineal, Bleistift, Petrischale, Fasermaler mit Lebensmittelfarbstoffen, Locher und Faden oder Ersatzhandtuchhalter mit Clip

Chemikalien: 1 %ige Kochsalzlösung

Vorbereitung: Die Kaffeefilter werden an den Rändern aufgeschnitten, so dass man aus einem Filter zwei trapezförmige Filter erhält. Am unteren (schmalen) Ende wird mit dem Bleistift in 1,5 cm Höhe eine Linie gezogen, darauf verteilt man fünf Kreuze mit 1,5 cm Abstand.

Durchführung: Jeder Fasermaler wird für etwa drei Sekunden auf ein Kreuz gedrückt. Hat man so alle fünf Kreuze mit einer Farbe versehen, hängt man den aufgetrennten Kaffeefilter an ein Stativ. Dazu kann man entweder ein Loch mittig in den oberen Bereich des Filters stanzen und ihn mit einem Faden fixieren oder man benutzt ein Ersatzhandtuchhaken. In die Petrischale gibt man etwa einen Zentimeter hoch 1 %ige Kochsalzlösung. In diese taucht man nun möglichst gerade den Kaffeefilter, ohne dass die Farbpunkte in die Flüssigkeit ragen. Der Filter wird aus der Flüssigkeit heraus genommen, wenn die Flüssigkeitsfront noch einen Zentimeter unter dem oberen Rand ist. Dann kann der Filter getrocknet werden.

Beobachtung: Am Filter steigt die Kochsalzlösung auf und nimmt die Farben mit. Je weiter die Lösung aufsteigt, desto mehr verlaufen die Farbflecke, dabei trennen sie sich in Einzelfarben auf. Verwendet man z.B. die Ostereiermaler der Firma Heitmann, so erkennt man beim blauen Stift eine Auftrennung in einen rosa und einen blauen Farbstoff (siehe Foto). Der rosa Farbstoff verbleibt fast auf der Startlinie, während der blaue mit der Flüssigkeitsfront mitläuft und am Ende fast vollständig oben ist. Der grüne Farbfleck trennt sich in einen gelben und einen blauen Farbstoff auf. Der blaue Farbstoff sieht genauso wie der aus dem blauen Stift aus und ist ebenso weit gewandert. Unter dem blauen Farbstoff befindet sich der gelbe, der sich ganz lang gestreckt von der Startlinie bis fast zur oberen

Front hinzieht. Er ist identisch mit dem gelben Farbstoff aus dem gelben Stift. Die Farbe aus dem braunen Stift trennt sich in drei Farbstoffe auf: orange, rot und blau. Der rote Stift trennt sich unscharf in gelb, orange und rot auf.

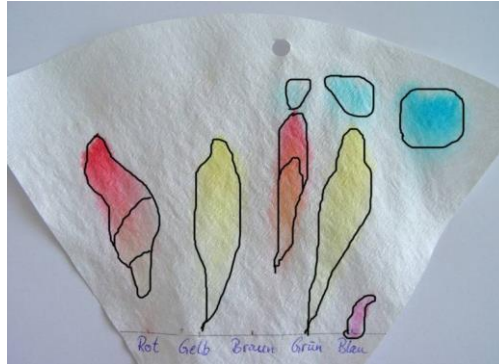


Abb.36: Papierchromatogramm von Fasermalern mit Lebensmittelfarbstoffen auf einem Kaffeefilter

Auswertung: Mit Hilfe der Chromatographie lassen sich Farben in ihre Einzelfarbstoffe auftrennen. Laut Packung sind in den Malern folgende Farbstoffe enthalten: E 104 (Chinolingelb), E 131 (Patentblau V), E 124 (Cochenillerot), E 110 (Gelborange S) und E 127 (Erythrosin). Vergleicht man diese Angaben mit dem Chromatogramm, kann man den Malern ihre Farbzusammensetzung zuordnen. Der blaue Stift enthält demnach die Farbstoffe Patentblau V und Erythrosin. Der grüne Maler enthält ebenfalls Patentblau V und Chinolingelb. Aus dem Kunstunterricht ist bekannt, dass eine Mischung aus Blau und Gelb Grün ergibt. Der braune Ostereiermaler enthält Patentblau V, Cochenillerot und Gelborange S. Der gelbe enthält nur Chinolingelb, während der rote Maler Chinolingelb, Gelborange S und Cochenillerot enthält.

Didaktische Anmerkung: Dieser Versuch zeigt den Aufbau einer aufsteigenden Chromatographie. Sehr schön ist daran, dass auf der Verpackung die einzelnen Farbstoffe aufgelistet sind und sein müssen, da diese Stifte im Zusammenhang mit Lebensmitteln benutzt werden. Dadurch ist eine Zuordnung der Farbstoffe möglich. Gut lassen sich die Farbstoffe im blauen, grünen und gelben Stift vergleichen. Interessant ist daran, dass der grüne Maler beide Farbstoffe (gelb und blau) enthält. Es wird hier eine 1 %ige Kochsalzlösung verwendet, weil diese ein besseres Laufmittel ist als reines Wasser. Die Frage nach dem Laufmittel kann auch in Zusammenarbeit mit den Schülerinnen und Schülern erarbeitet werden.

An dieser Stelle sind nun die relevanten Themen des Chemieanfangsunterrichts (Stoffe und ihre Eigenschaften, Aggregatzustände und deren Änderungen, die Einführung des Teilchenmodells, die Einführung der chemischen Reaktion und Stoffgemische und deren Trennverfahren) behandelt worden. Es folgt – klassischer Weise und auch nach dem Ansatz „Chemie fürs Leben“ – die genauere Betrachtung der Oxidations-, Reduktions- und Redoxreaktionen. Dazu wurde bereits eine Unterrichtseinheit innerhalb des Ansatzes „Chemie fürs Leben“ konzipiert und vorgestellt [28]. Da diese Unterrichtseinheit mit den Verbrennungsvorgängen im Alltag (insbesondere mit dem Verbrennen von Kerzenwachs) beginnt, kann sie ohne weitere Vorbereitung angeschlossen werden. Es ist sogar möglich, den Tisch mit den Partyutensilien weiterhin heran zu ziehen, denn Kerzen dürfen auf keinem Partytisch fehlen.

IV. Anhang

1. Einkaufsliste

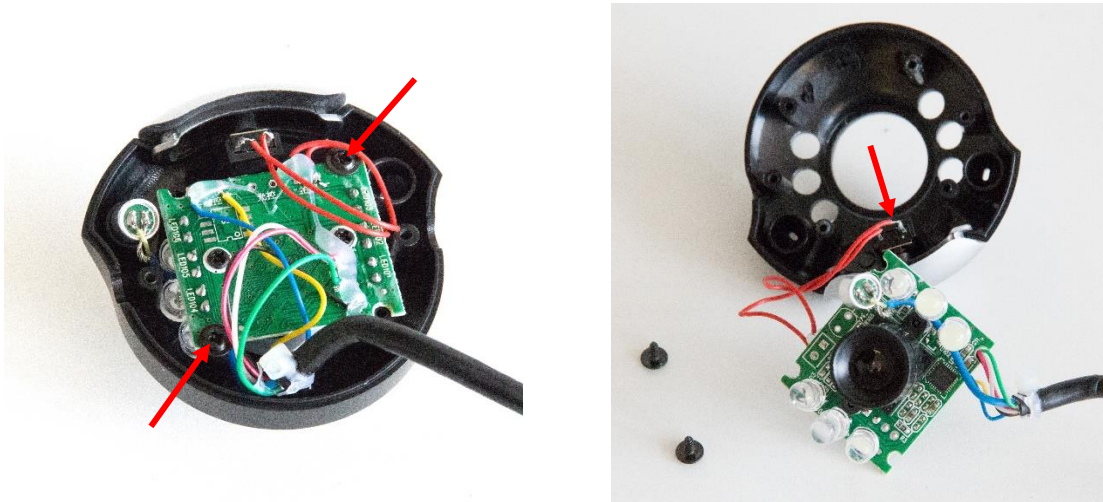
Produkt	Märkte
Einwegpartygeschirr (Besteck, Teller und Becher aus verschiedenen Materialien)	Supermarkt, Drogeriemarkt
Aluminiumfolie	Supermarkt, Drogeriemarkt
Teelichter	Supermarkt, Drogeriemarkt
Getränke in Flaschen oder Dosen (Mineralwasser, farbige Limonaden, Cola, Traubensaft)	Supermarkt
durchsichtiges Gasfeuerzeug	Supermarkt, Drogeriemarkt
Feuerzeuggas-Nachfüllkartusche	Supermarkt, Drogeriemarkt
Campinggas-Kartuschen	Campingzubehör, Baumarkt
Einweggrill mit Holzkohle	Baumarkt, Tankstellen
Holzkohle	Supermarkt, Baumarkt
Holzspäne	Supermarkt
Lampenöl	Supermarkt, Drogeriemarkt, Baumarkt
Speiseöl	Supermarkt
Butter	Supermarkt
Speisestärke	Supermarkt
Lebensmittelfarbe	Supermarkt
Spülmittel	Supermarkt, Drogeriemarkt
Kaffeefilter	Supermarkt, Drogeriemarkt
verschiedene Fasermaler	Supermarkt, Bastelzubehör
Brennspiritus	Baumarkt, Drogeriemarkt
Reinigungsbenzin	Baumarkt, Drogeriemarkt
K2r®-Fleckenwasser	Drogeriemarkt
K2r®-Fleckenspray	Drogeriemarkt
Feuerzeugbenzin	Drogeriemarkt
Zucker	Supermarkt
Einwegspritzen mit Kanülen	Apotheke
diverse Metallproben (Kupfer, Aluminium, Eisen, Zink, Lötzinn)	Baumarkt, Bastelzubehör
Polyurethan-Schaum (Montageschaum)	Baumarkt

2. Anleitung zur Webcammodifikation und zum Softwareeinsatz

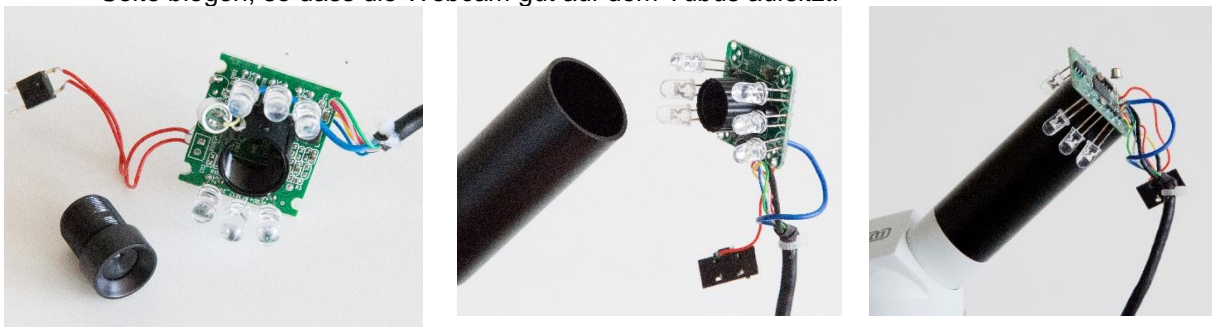
1. Zwei Schrauben auf der Rückseite der Webcam entfernen und anschließend das Gehäuse öffnen und von der Halterung trennen.



2. Die gekennzeichneten Schrauben lösen und ggf. den Plastikstecker mit Kabelbindung behutsam vom Gehäuse abziehen.



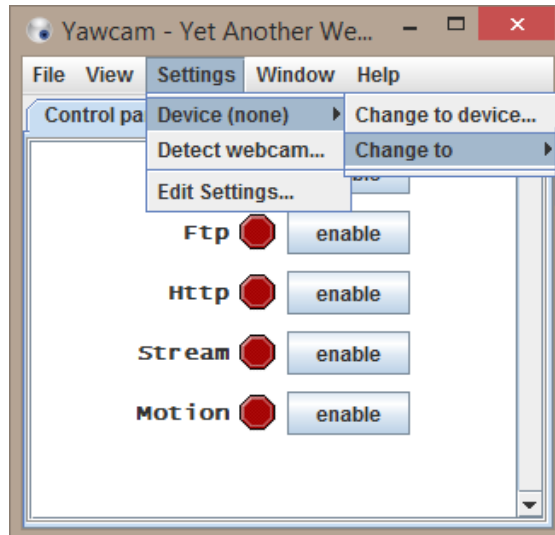
3. Das Objektiv aus der Fassung drehen und es entfernen. Abschließend die LEDs leicht zur Seite biegen, so dass die Webcam gut auf dem Tubus aufsitzt.



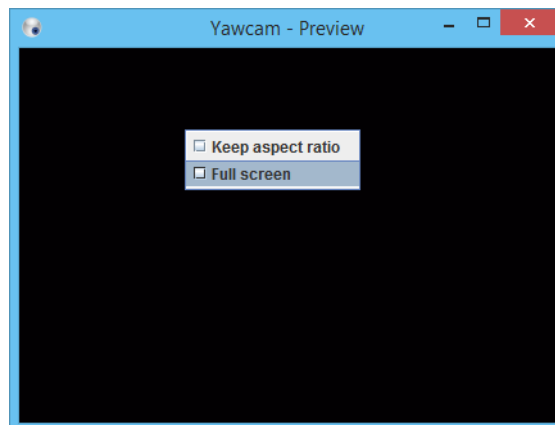
4. Als kostenlose Webcamsoftware wird das Programm Yawcam empfohlen.
Installation von Yawcam:

1. Installieren Sie Java (Voraussetzung für Yawcam):
<https://www.java.com/de/download/>
2. Installieren Sie Yawcam:
<http://www.yawcam.com/download.php>

3. Verbinden Sie die Webcam mit dem Computer und starten sie Yawcam.
4. Wenn kein Webcambild zu sehen ist, dann folgen sie der Menükette:
Settings → Device → Change to →
Hier kann nun die angeschlossene Webcam ausgewählt werden.
(Einträge „none“ und „IP Camera“ ignorieren)



5. Das Webcam-Fenster kann in den Vollbildmodus gewechselt werden, indem man nach einem Rechtsklick in das Fenster den Eintrag „Full screen“ wählt.



Literaturverzeichnis

- [1] Pfeifer, Peter; Lutz, Bernd u.a.: Konkrete Fachdidaktik Chemie, 3. Aufl. Oldenbourg Schulbuchverlag GmbH, München, Düsseldorf, Stuttgart 2002
- [2] Duit, Reinders: Alltagsvorstellungen berücksichtigen!, PdN-Ph, Jahrgang 42 (1993), Heft 6, S. 7-11
- [3] Sumfleth, Elke: Schülervorstellungen im Chemieunterricht, MNU, Jahrgang 45 (1992), Heft 7, S. 410-414
- [4] Nieswandt, Martina: Von Alltagsvorstellungen zu wissenschaftlichen Konzepten: Lernwege von Schülerinnen und Schülern im einführenden Chemieunterricht, Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, Jahrgang 7 (2001), S. 33-52
- [5] Stavy, Ruth: Children's conceptions of changes in the state of matter: from liquid (or solid) to gas, Journal of 'Research in Science Teaching; Jahrgang 27 (1990), Heft 3, S. 247-266
- [6] Stavy, Ruth; Stachel, Dina: Children's ideas about 'solid' and 'liquid', European Journal of Science Education, Jahrgang 7 (1985), Heft 4, S. 407-421
- [7] Séré, Marie-Geneviève: Children's conceptions of the gaseous state, prior to teaching, European Journal of Science Education, Jahrgang 8 (1986), Heft 4, S. 413-425
- [8] Keune, Herbert; Frühauf, Dieter: Experimentieren mit Gasen – Wie lassen sich allgemeine Vorstellungen über Gase am Beispiel von Kohlenstoffdioxid gewinnen und ausbauen?, NiU-Ch, Jahrgang 8 (1997), Heft 37, S. 42-46
- [9] Barke, Hans-Dieter: Chemiedidaktik, Diagnose und Korrektur von Schülervorstellungen, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2006
- [10] Stavy, Ruth: Children's conception of gas, International Journal of Science Education, Jahrgang 10 (1988), Heft 5, S. 553-560
- [11] Bergerhoff, Friedrich: Erneut: Schülervorstellungen zur Verbrennung im Chemieunterricht, MNU, Jahrgang 49 (1996), Heft 1, S. 33-36
- [12] Weerda, Jutta: Begriffe der Chemie und Physik in der Sprache der Kinder und Wissenschaften: Gegenüberstellung der Begriffsbildung; eine empirische Untersuchung, Dissertation, Verlag Peter Lang GmbH, Frankfurt am Main 1978
- [13] Ross, Keith; Law, Emma: Children's naive ideas about melting and freezing, The School Science Review; the ASE Journal for Science Education, Jahrgang 2003, Heft 311, S. 99-102
- [14] Steffensky, Mirjam; Parchmann, Ilka; Schmidt, Silvia: Alltagsvorstellungen und chemische Erklärungskonzepte, ChiuZ, Jahrgang 39 (2005), Heft 4, S. 274-278
- [15] Fritsch, Lothar; Ehlert, Marianne: Vorstellungen der Schüler vom Bau der Stoffe, ChidS Jahrgang 37 (1990), Heft 4, S. 118-127
- [16] Marx, Rudolf: Kleinste Teilchen! Wortklauberei oder Notwendigkeit?, NiU-Ch Jahrgang 13 (2002), Heft 67, S. 47
- [17] Pfundt, Helga: Ursprüngliche Erklärungen der Schüler für chemische Vorgänge, MNU Jahrgang 28 (1975), Heft 3, S. 157-162
- [18] Bäurle, Wolfram; Fröchtenicht, Eycke, Ganz, Günter u.a.: Prisma Chemie 7-10, Ausgabe A, 1. Auflage, Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2006
- [19] De Vries, Tönjes; Oetken, Marco; Paschmann, Antje: Schülervorstellungen zum Sieden – Der Wechsel des Aggregatzustandes als didaktisches Problem, MNU Jahrgang 55 (2002), Heft 7, S. 413-420
- [20] De Vries, Tönjes; Paschmann, Antje: Resublimation – die faszinierende Bildung von Raureif, CHEMKON, Jahrgang 11 (2004), Heft 4, S. 185-190
- [21] <http://www.kappenberg.com/experiments/temp/pdf/g16.pdf> (Zugriff: 15. März 2008)
- [22] Carl Roth – Laborausstatter, URL <https://www.carlroth.com/> (Zugriff: 10.09.2015)
- [23] Jmol: An open-source Java viewer for chemical structures in 3D, URL: <http://jmol.sourceforge.net/> (CAS Registry Number for Ponceau 4R: 2611-82-7 (Zugriff: 09.09.2015)
- [24] Römpp-Chemielexikon, URL: <https://reompp.thieme.de/reompp4.0/d0/data/RD-03-00833> (Zugriff: 10.09.2015)
- [25] Römpp-Chemielexikon, URL: <https://reompp.thieme.de/reompp4.0/do/data/RD-03-02213> (Zugriff: 10.09.2015)
- [26] <http://www.kappenberg.com/experiments/gc/pdf/k04c.pdf> (Zugriff: 15.02.2008)
- [27] Becker, Ralf; Obendrauf, Viktor: Chemie heute 4, 1. Auflage, Veritas-Verlang, Linz 2004, S. 91
- [28] Rossow, Marco: Chemie fürs Leben – eine neue Unterrichtskonzeption von der Einführung der Oxidationsreaktionen bis zur Erweiterung des Redox-Begriffes und Anknüpfungspunkte für die Sekundarstufe II, Dissertation an der Universität Rostock 2007, S. 99f.
- [29] <http://www.ngz-online.de/public/article/aktuelles/panorama/283700> (Zugriff: 28. Februar 2008)

- [30] Obendrauf, Viktor: Die Spritze als „Gasmaus“ – eine einfache Molmassenbestimmung. Skript zum Seminar und Workshop für Lehrkräfte an Gymnasien: „Zeitsparende Schulchemie mit kleinen Mengen“, Rostock 2005, S. 25
- [31] Amman, Ole: Chemie 1 – Sicherer Experimentieren“, Arbeitsheft, 1. Auflage, Mekruphy GmbH, Pfaffenhofen 2004, S. 31
- [32] Frühauf, Dieter; Tegen, Hans (Hrsg.): Der Experimentierfuchs: chemischen Experimentieren für Einsteiger, Arbeitsheft zum Schülerband Blickpunkt Chemie, Bildungshaus Schulbuchverlage Westermann, Schroedel, Diesterweg, Schöningh, Winklers GmbH, Braunschweig 2005, S. 9
- [33] Falbe, Jürgen; Regitz, Manfred (Hrsg.): Römpp Lexikon Chemie, 10. Auflage, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York, 1996-1999
- [34] http://gasag.de/de/y_downloads/pdf_neu/sonstiges/sicherheitsdatenblatt.pdf (Zugriff: 28.02.2008)
- [35] Obendrauf, Viktor: Vorgeführtes Experiment im Rahmen einer Lehrerfortbildung in Rostock, Februar 2007
- [36] Meyn, J.-P.: Grundlegende Experimentiertechnik im Physikunterricht, S. 87
- [37] <http://www.kappenberg.com/experiments/lc-hmt/pdf-aka11/a05h.pdf> (Zugriff: 08.09.2015)
- [38] Zach-Polt, V.: Diplomarbeit: Erhebung des Potenzials für eine Materialeinsparung am Beispiel von drei Verpackungstypen, Universität Wien, August 2010, URL:http://othes.univie.ac.at/10925/1/2010-08-13_0306839.pdf (Zugriff: 22.09.2015)
- [39] Lide, David R. (Hrsg.): CRC Handbook of Chemistry and Physics, 73. Auflage, CRC Press Inc., Boca Raton, Ann Arbor, London, Tokyo 1992-1993
- [40] Bussen, Jens; Ernst, Christine u.a.: Chemie Lehrbuch für die Klassen 7/8 Berlin Gymnasium, 1. Auflage, Duden Paetec GmbH, Berlin 2006
- [41] Lühken, Arnim; Bader, Hans Joachim: Hochtemperaturchemie im Haushalts-Mikrowellenofen, CHEMKON, Jahrgang 8 (2001), Heft 1, S. 7-14
- [42] Lühken, Arnim; Bader, Hans Joachim: Bronze und Messing aus der Mikrowelle, NiU-C, Jahrgang 13 (2002), Heft 72, S. 30-32
- [43] Verordnung zum Schutz vor Gefahren (Gefahrstoffverordnung – GefStoffV) vom 23.12.2004, § 4, Gefährlichkeitsmerkmale, Bezugsquelle: http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/gefstoffv_2005/gesamt.pdf (Zugriff: 28.02.2008)
- [44] Ostsee-Zeitung vom 10.03.2008, S. 4
- [45] Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften an der Universität Kiel (IPN) (Hrsg.): Wir untersuchen das Entfachen von Feuer, das Verschwelen und das Verbrennen. IPN Curriculum Chemie, Didaktische Anleitung zur Unterrichtseinheit C 1.2, Ernst Klett Verlag, Stuttgart 1972
- [46] Schmidt, Silvia; Parchmann, Ilka: Von erwünschten Verbrennungen und erwünschten Folgen, MNU, Jahrgang 56 (2003), Heft 4, S. 216
- [47] Eilks, Ingo; Leerhoff, Gabriele; Möllering, Jens: Was ist eigentlich eine chemische Reaktion?, MNU, Jahrgang 55 (2002), Heft 2, S. 84-91
- [48] Rauner, Max: Saubere Geschäfte, Die Zeit – Zeit Wissen 03/2006, S. 64-73
- [49] Sattler, Klaus; Emberger, Jürgen: Behandlung fester Abfälle, Vogel Verlag Würzburg 1992
- [50] Bader, Hans Joachim: Kunststoff-Recycling, Praxis Schriftenreihe Chemie, Band 40, Aulis-Verlag Deubner & Co KG, Köln 1983, S. 32
- [51] Internetseite der Uni Bielefeld / Abteilung Chemiedidaktik, <http://www.chemieunterricht.de/dc2/haus/v171.htm> (Zugriff: 15.03.2008)
- [52] Keske, Anke (Übersetzerin), Allman, Howard (Fotograf): Die besten Experimente für Kinder, Bassermann Verlag, München 2007, S. 89
- [53] Internetseite der Uni Bielefeld / Abteilung Chemiedidaktik, <http://www.chemieunterricht.de/dc2/haus/v112.htm> (Zugriff: 15.03.2008)
- [54] Institut für Umweltverfahrenstechnik der Universität Bremen, <http://www.wasser-wissen.de/abwasserlexikon/a/aktivkohle.htm> (Zugriff: 15.03.2008)
- [55] Reiss, Jürgen: Alltagschemie im Unterricht, 2. Auflage, Aulis Verlag Deutner % Co KG, Köln 1986, S. 40
- [56] Schwedt, Georg: Farbstoffen analytisch auf der Spur, Unterrichtshilfen Naturwissenschaften, Aulis-Verlag Deubner & Co KG, Köln 1996, S. 50

Kontakt: Prof. Dr. Alfred Flint
Universität Rostock/Institut für Chemie
Abteilung Didaktik der Chemie
Dr.-Lorenz-Weg 1
18059 Rostock
alfred.flint@uni-rostock.de
Tel.: 0381/498-6480
