

Schulversuchspraktikum

5. Protokoll

Wärmelehre

(2. und 3. Klasse Unterstufe)

Dana Eva Ernst 9955579

Linz, am 8.1.2003

Inhaltsverzeichnis

Kapitel I - Thema und Ziele	3
Kapitel II - Grundlagen	
2.1. Das Thermometer	4
2.2. Die Teilchenbewegung	5
2.3. Ausdehnung von festen, flüssigen und gasförmigen Körpern beim Erwärmen	6
2.4. Wärmeenergie	9
2.5. Die Übertragung der Wärmeenergie	9
2.6. Wärmeenergie und Zustandsänderung von Stoffen	11
Kapitel III - Die Versuche	
3.1. Das Thermometermodell	13
3.2. Die Eichung einer Thermometerskala	14
3.3. Der Bimetallstreifen	15
3.4. Volumenänderung von Flüssigkeiten	16
3.5. Volumenänderung von Luft bei konstantem Druck	17
3.6. Druckänderung von Luft bei konstantem Volumen	18
3.7. Wärmeleitung	20
3.8. Wärmeströmung	21
3.9. Wärmestrahlung	22
3.10. Wärmedämmung	22
3.11. Mischtemperatur	23
3.12. Spezifische Wärme von Wasser	25
3.13. Spezifische Wärme fester Stoffe	27
3.14. Schmelztemperatur	28
3.15. Kältemischung	29
3.16. Erstarrungswärme	30
3.17. Siedetemperatur von Wasser	31
3.18. Verdampfungswärme	31

Kapitel IV - Zusatzinformationen	
4.1. Die Wärmepumpe	33
4.2. Wärmedämmung	34
4.3. Der k-Wert	35
4.4. Thermografische Aufnahmen von Gebäuden	36
4.5. Heizwärmebedarf	37
4.6. Lüften	38
4.7. Heizen	38
Kapitel V - Anmerkung	40
Kapitel VI - Literatur	40
Anhang	
Arbeitsblätter	

I. Thema und Ziele

Die Wärmelehre stellt ein großes und umfangreiches Kapitel in der Unterstufe dar. Bereits in der 2. Klasse Unterstufe kommen die Schüler mit diesem Thema in Kontakt. Der Einstieg erfolgt über einfache Alltagsbeispiele. Es werden Themen wie etwa der Begriff Temperatur und Volumens- bzw. Dichteänderungen bei der Erwärmung von Körpern diskutiert.

In der 3. Klasse Unterstufe wird dann das Thema Wärmelehre noch einmal aufgegriffen. Hier betrachtet man die Wärme bereits als eine Form der Energie und außerdem beschäftigt man sich mit der Übertragung und Umwandlung dieser Energieform.

Was schreibt nun der Lehrplan für dieses Kapitel vor? Was sind die Lerninhalte und die Ziele der Wärmelehre?

Für die 2. Klasse:

Lernziele:

- Es werden Fragen beantwortet wie z.B.: Was bedeutet es, wenn man sagt: „Der Körper fühlt sich warm oder kalt an.“ ?
- Die Schüler sollen erkennen, welche wichtige Rolle die Temperatur bei biologischen und technischen Vorgänge spielt.
- Die Schüler sollen thermische Erscheinungen erklären können und die Grundbegriffe des Aufbaus von Körpern kennen lernen.

Lerninhalte:

- Wärmedehnung, Temperaturmessung
- Phänomene, wie Schmelzen, Verdampfen und Verdunsten als Änderung des Volumens und der Teilchendichte
- Einführung des Teilchenmodells: Größenordnung und Bewegung von Teilchen
- Kräfte zwischen den Teilchen
- Einfluss der Teilchenkräfte auf die Zustandsformen von Körpern
- Anwendung auf Alltagsbeobachtungen

Für die 3. Klasse:

Lernziele:

- Der Begriff der Wärmeenergie wird durch Beobachten und Einordnen von Wärmephänomenen im Alltag erarbeitet
- Deuten dieser beobachteten und erarbeiteten Zusammenhänge mit Hilfe des Teilchenmodells.

- Die verschiedenen Formen des Wärmetransports werden gelehrt.
- Die Schüler sollen außerdem die Bedeutung des Wärmeaustauschs für Lebewesen erkennen.
- Die Zustandsänderungen bei Körpern und Stoffen und die praktische Bedeutung der Zustandsänderungen werden analysiert.
- Gegebenenfalls: Die Schüler sollen Wetterphänomene und Klimaerscheinungen durch das Einwirken der Sonne kennenlernen und verstehen.

Lerninhalte:

- Reibungswärme, Verbrennungswärme, Stromwärme
- Heizsysteme, Wärmedämmung, Kleidung, Wärmehaushalt von Lebewesen
- Bedingungen für die Änderung der Zustandsformen (Temperatur, Druck)
- Kenntnisse über Löten und Schweißen
- Anomalie des Wassers
- Druckkochtopf, Zustandsänderungen bei der Zubereitung von Speisen
- Schmelz- und Verdampfungswärme
- Die Sonne als Motor für das Wettergeschehen und als Energiequelle: Tag und Nacht, Jahreszeiten, Wasserkreislauf, Meeresströmungen, Windsysteme, Nebel- und Wolkenbildung, Niederschläge.

Vorausgesetztes Wissen für dieses Protokoll

- Das Wissen über Kohäsion und Adhäsion
- Zusammenhang zwischen Masse und Dichte eines Körpers

II. Grundlagen

Stoff der 2. Klasse

2.1. Das Thermometer

Ein Thermometer besteht aus einem Steigrohr und einem mit Flüssigkeit gefüllten Kolben. Diese Flüssigkeit ist üblicherweise Quecksilber oder ein gefärbter Alkohol. Mit Hilfe dieser Flüssigkeit kann man Temperaturen messen. Je stärker die Erwärmung, desto größer ist die Ausdehnung der Flüssigkeit.

Damit man die Temperatur genau bestimmen kann, hat jedes Thermometer eine Gradskala. Dabei gibt es zwei wichtige Fixpunkte. Der *1. Fixpunkt* ist der Schmelzpunkt des Eises. Das ist, wie der Name schon verrät, jener Punkt, bei dem Eis anfängt zu schmelzen. Der Siedepunkt des Wassers ist jener Punkt, bei dem Wasser zu kochen beginnt. Dieser Punkt wird auch als *2. Fixpunkt* eines Thermometers bezeichnet.

Das Grad Celsius

Die Einheit der Temperatur t im täglichen Leben (vorzugsweise in Europa) ist das Grad Celsius ($^{\circ}\text{C}$).

Anmerkung: In anderen Ländern, wie zum Beispiel in den USA, begegnet man oft der Einheit Fahrenheit. Die Umrechnung zwischen Celsius und Fahrenheit ist etwas komplizierter und wird deshalb in diesem Protokoll nicht weiter erwähnt. Ohnehin stellt diese Information für Schüler der 2. Klasse lediglich eine Zusatzinformation dar.

Ein Grad Celsius ist der hunderste Teil des Abstandes zwischen der Temperatur des schmelzenden Eises (1. Fixpunkt, oder auch Eispunkt) und der Temperatur des siedenden Wassers (2. Fixpunkt). Der Schmelzpunkt des Eises liegt bei 0°C und der Siedepunkt des Wassers bei 100°C .

2.2. Die Teilchenbewegung

Doch was „geht“ nun im Inneren eines Körpers „vor“, wenn seine Temperatur fällt oder steigt?

Anmerkung: Die Schüler sollten bereits wissen, dass zwischen der Bewegung der kleinsten Teilchen eines Körpers und der Temperatur ein Zusammenhang besteht. Sie wissen bereits, wie ein Körper aufgebaut ist, denn das Kapitel vor der Wärmelehre ist meist ein Kapitel der Form: „Alle Stoffe bestehen aus Teilchen“.

Der Zusammenhang zwischen Temperatur und Teilchenbewegung:

Bewegen sich die Teilchen im Inneren eines Körpers schnell, so ist seine Temperatur hoch. Bewegen sich die Teilchen hingegen langsamer, so ist seine Temperatur niedriger.

Wir haben nun gesehen, dass die Teilchen sich langsamer bewegen, wenn die Temperatur des Körpers niedriger wird. Gibt es nun eine Temperatur, bei der die Teilchen zum Stillstand kommen? Antwort: Ja, die gibt es!

Diese Temperatur liegt bei $-273,15^{\circ}\text{C}$ und wird auch als der „absolute Nullpunkt“ bezeichnet.

Es gibt auch eine Temperaturskala, die vom „absoluten Nullpunkt“ aus, ausgeht: Die Kelvin-Skala (gibt die absolute Temperatur an). Die Umrechnung zwischen Celsius- und Kelvin-Skala ist ganz einfach:

Die Absolute Temperatur:

Die Absolute Temperatur T = Temperatur in $^{\circ}\text{C}$ + 273,15. Oder in einer Formel ausgedrückt:

$$T = t + 273,15$$

Das folgende Diagramm soll diesen Zusammenhang anschaulich verdeutlichen und den Schülern helfen, die obige Formel zu verstehen:



Abb. 1

Jetzt wissen wir, was mit den Teilchen im Inneren eines Körpers geschieht, wenn wir die Temperatur des Körpers ändern. *Was passiert dabei mit dem Volumen? Bleibt es gleich, oder verändert es sich ebenfalls?* Antwort: Das Volumen ändert sich ebenfalls!

2.3. Ausdehnung von festen, flüssigen und gasförmigen Körpern beim Erwärmen

Wie wir gesehen haben, bewegen sich die Teilchen eines Körpers schnell, wenn man den Körper erwärmt. Deshalb brauchen die Teilchen mehr Platz. *Das Volumen des Körpers wird also größer.*

Wie die Schüler schon wissen sollten, herrschen im Inneren von Körpern Kohäsionskräfte, die den Körper zusammenhalten. Bei festen Stoffen sind diese Kräfte stark, bei flüssigen Körpern schon schwächer und bei gasförmigen Körpern schwach.

Fast alle Körper dehnen sich beim Erwärmen aus und ziehen sich bei Abkühlung wieder zusammen. Der Ausdehnung wirken die Kohäsionskräfte entgegen. Festkörper dehnen sich daher nur wenig aus (zu starke Kohäsionskräfte). Flüssigkeiten dehnen sich stärker aus und Gase weisen die größte Ausdehnung auf.

Anmerkung: Zu dieser Thematik gibt es einige leichte Grundversuche, die nun im folgenden aufgezeigt werden.

1. Versuch: Längenausdehnung fester Stoffe - Lehrerversuch:

Ein Bleistab wird an einem Ende fest eingespannt, am anderen Ende liegt er auf einer Rolle auf. Die Spitze des Stabs berührt den Zeiger eines Messgeräts (wie in Abb. 2a gezeigt).

Nach dem der Stab justiert wurde, stellt man ein paar Kerzen unter den Stab und beobachtet den Zeiger.

Was wird passieren? Der Bleistab wird erwärmt und dehnt sich dabei aus. Dadurch wird der Zeiger des Messgeräts verschoben und die Ausdehnung wird sichtbar gemacht (siehe Abb. 2b).

Anmerkung: Bei einer Temperaturerhöhung um 1 °C dehnt sich ein 1 Meter langer Bleistab um 0,029 mm aus.

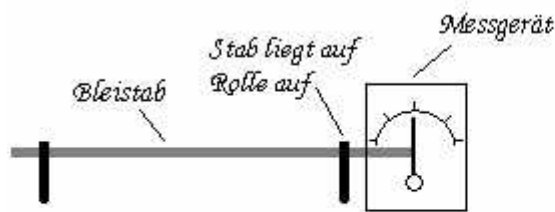


Abb. 2a

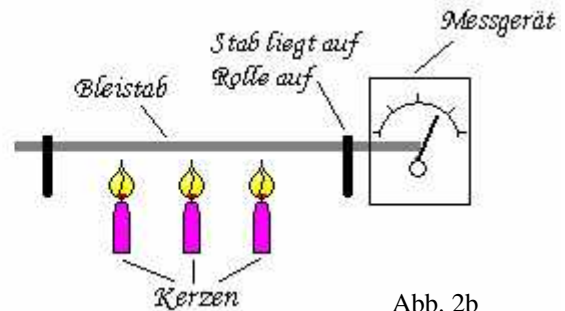


Abb. 2b

2. Versuch: Ausdehnung von Flüssigkeiten:

Man füllt einen Kolben bis zum Rand mit Wasser (siehe Abbildung 3). Danach stellt man den Bunsenbrenner unter die Apparatur und beobachtet das Steigrohr.

Was wird passieren? Das Wasser dehnt sich beim Erwärmen aus und steigt im Steigrohr sichtbar auf.

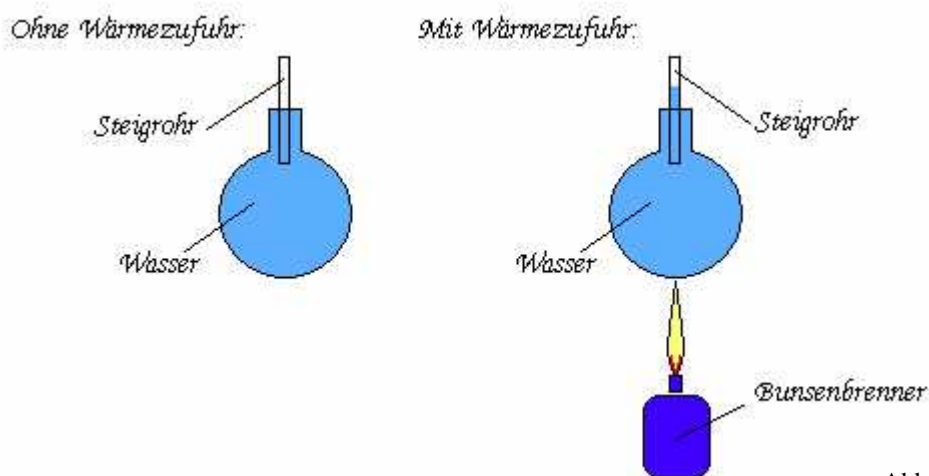


Abb. 3

3. Versuch: Ausdehnung von Gasen:

Nun haben wir gesehen was mit einer Flüssigkeit und einem Festkörper geschieht, wenn man ihn erwärmt. Wie verhält sich aber ein Gas bei Erwärmung?

Im nächsten Versuch stülpt man einen Luftballon über die Öffnung eines Glaskolbens. Wiederum stellt man einen Bunsenbrenner unter den Kolben und beobachtet den Luftballon.

Was wird passieren?

Auch die Luft im Kolben wird sich ausdehnen und somit den Luftballon „aufblasen“ (siehe Abbildung 4).

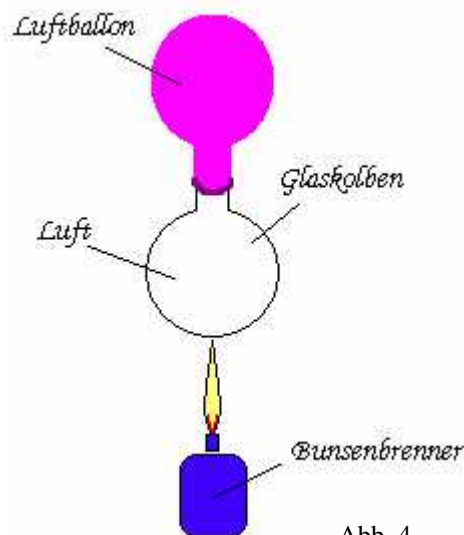


Abb. 4

Zum Vergleich – Zusammenfassung der beschriebenen Versuche:

Beim Erwärmen von 0 °C auf 100 °C dehnt sich

- a.) ein 1 Meter langer Bleistab um 2,9 mm aus,
- b.) 1 Liter Wasser um rund 20 cm³ aus,
- c.) 1 Liter Luft (wie alle anderen Gase auch, da bei allen Gasen praktisch keine Kohäsionskräfte herrschen) um 366 cm³ aus.

Anmerkung: Wird ein Körper erhitzt, so verringert sich dadurch seine *Dichte*. Umgekehrt allerdings gilt: Kühlt man einen Körper ab, so erhöht sich seine *Dichte*.

Die Anomalie des Wassers:

Wie wir gerade gelernt haben, wird das Volumen eines Körpers kleiner, wenn er abkühlt und somit wird seine Dichte größer (die Teilchen im Körper liegen enger beieinander und können sich nicht mehr so viel bewegen).

Das stimmt aber nicht immer. Wasser bzw. Eis (gefrorenes Wasser) stellen eine Ausnahme dar. Das Eis müsste eigentlich schwerer sein als das Wasser und bei einem zugefrorenen See nach unten sinken. Wie wir aber in der Natur sehen können, schwimmt Eis auf Wasser.

Diesen Effekt bezeichnet man als die Anomalie (Abweichung von der Regel) des Wassers. Dieser Effekt beruht darauf, dass sich Wasser in der Nähe des Gefrierpunktes anders verhält als alle anderen Stoffe oder Körper. Wasser dehnt sich beim Gefrieren aus! Die Dichte des Wasser ist größer als die Dichte des Eises, und deshalb schwimmt es.

Die Anomalie des Wassers:

Wasser nimmt bei 4 °C den kleinsten Raum ein, es hat also bei 4 °C seine größte Dichte. Bei einer Abkühlung unter 4 °C und bei einer Erwärmung über 4 °C dehnt sich das Wasser jedoch aus.

Anmerkung: Eine genauere Erklärung, warum Eis auf Wasser schwimmt, würde Schüler der Unterstufe überfordern, denn dieser Effekt beruht auf der besonderen Anordnung der Wasserteilchen im Eiskristall.

Stoff der 3. Klasse:

2.4. Wärmeenergie

Der deutsche Arzt Robert Mayer (1814 – 1871) entdeckte, dass Wärme eine Form von Energie ist. J.P. Joule bestätigte Roberts Aussagen dann experimentell.

Wie bereits in der 2. Klasse gelernt wurde, hängt die Bewegung der Teilchen im Inneren eines Körpers von der Temperatur ab. Man muss dem Körper Wärme (also Energie) zuführen, wenn sich die Teilchen schneller bewegen sollen. Die zugeführte Energie wird dazu verwendet, die *Bewegungsenergie* der Teilchen zu erhöhen. In der Teilchenbewegung steckt also Energie und diese Energie bezeichnet man als *INNERE ENERGIE (Wärmeenergie)*.

Man kann also sagen: Die innere Energie eines Körper ist also umso größer, je höher seine Temperatur ist.

Die Einheit der **Wärmeenergie Q** ist das Joule (J).

2.5. Die Übertragung der Wärmeenergie

Wärmeleitung – Versuch:

Ein Metallstab (z.B. aus Aluminium) wird, wie in Abbildung 5 zu sehen ist, mit dem einen Ende in eine Kerzenflamme gehalten. Nach einiger Zeit wird auch das mit der Hand festgehaltene Ende des Stabs warm. Die Kerze fügt dem Stab Wärme zu und dadurch beginnen die Teilchen des Stabs heftig zu schwingen (sie bleiben dabei aber auf ihrem Platz!). Sie stoßen dabei auch ihre Nachbarn an, die in Folge dessen auch anfangen zu schwingen. Auch die Nachbarn regen ihre weiteren Nachbarn zur Schwingung an und so weiter und so fort. Die Bewegungsenergie der Teilchen wird also durch die Wärmezufuhr (Energiezufuhr) erhöht und diese Energie wird dann von Teilchen zu Teilchen weitergegeben, bis die Wärme schließlich „die Hand erreicht“.

Man sagt: Die Wärme wird durch den Stab geleitet, und man spricht von *Wärmeleitung*.



Abb. 5

Zum Vergleich hält man anschließend noch einen Glasstab in die Kerzenklamme und man kommt zu dem Schluss:

Metalle sind gute Wärmeleiter, Nichtmetalle (Glas) sind schlechte Wärmeleiter. Flüssigkeiten und Gase sind ebenfalls schlechte Wärmeleiter.

Wärmeströmung – Versuch:

Man bastelt aus Papier eine Spirale, so wie es in Abbildung 6 zu sehen ist. Danach hält man eine Lampe, oder besser noch eine Kerze unter die Spirale.

Was wird passieren? Antwort: Die Spirale beginnt sich zu drehen.

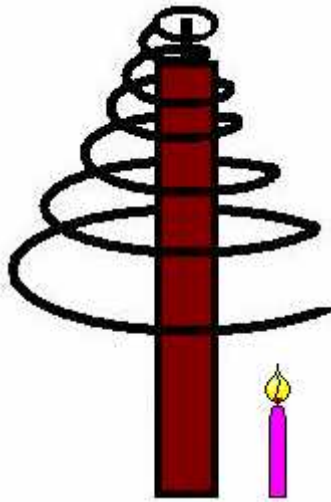


Abb. 6

Die Spirale beginnt sich zu drehen, weil die Kerze die Luft um sich herum erwärmt. Diese erwärmte Luft, beginnt nach oben zu steigen. Dabei entsteht ein Miniaturwind, der die Spirale in Bewegung versetzt wie der richtige Wind ein Windrad.

Die Spirale dreht sich nur, weil ihre Form dies zulässt. Hier kann die Wärme wieder nach oben weiter entweichen.

Wird Wärme durch das Strömen von warmer Luft (oder warmen Wasser) transportiert, so spricht man von *Wärmeströmung*.

Wärmestrahlung – Versuch:

Man hält die Hand einige Zeit über eine eingeschaltete Lampe. Man spürt, wie es langsam wärmer wird.

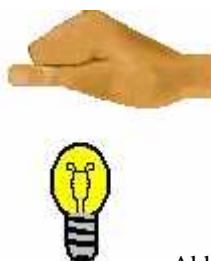


Abb. 7

Die Wärme breitet sich im Raum durch die unsichtbare **Wärmestrahlung** aus.

Diese Strahlung geht von einem heißen Körper aus und zum Transport der Wärme ist im Gegensatz zur Wärmeströmung und zur Wärmeleitung keine Materie notwendig. Wärmestrahlung findet man auch im Vakuum.

Nimmt ein Körper Wärmestrahlung auf, so erhöht sich die Bewegungsenergie seiner Teilchen. Der Körper wird dadurch erwärmt. Er hat die Wärmeenergie *absorbiert*.

Durchdringen die Wärmestrahlen einen Körper, zum Beispiel eine Glasscheibe (Fenster), so tritt keine Erwärmung auf. Reflektiert der Körper die Strahlung, so erwärmt er sich nur schwach, doch absorbiert er hingegen die Strahlung, so erwärmt er sich merklich.

2.6. Wärmeenergie und Zustandsänderungen von Stoffen

Wie wir schon gesehen haben, gibt es feste, flüssige und gasförmige Stoffe. Diese 3 Erscheinungsformen von Körpern nennt man auch *Aggregatzustände*. Ein Stoff kann unter bestimmten Umständen zwischen diesen Aggregatzuständen wechseln. Es gibt unterschiedliche Bezeichnungen für die jeweiligen Übergänge zwischen den Aggregatzuständen: Schmelzen, Verdampfen, Sublimieren, Erstarren, Kondensieren, Verfestigen.

Das nächste Diagramm soll die möglichen Aggregatzustandsänderungen veranschaulichen:

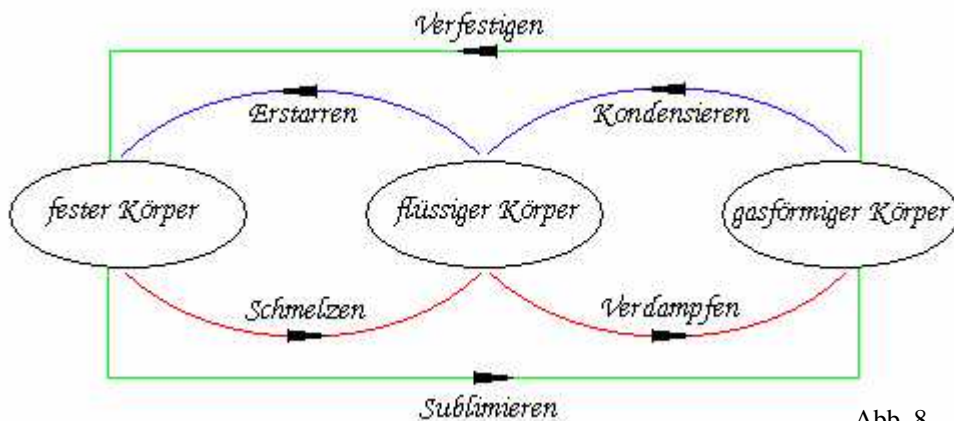


Abb. 8

Schmelzen:

Um Eis zu Schmelzen ist Energie nötig. Eis schmilzt bei 0 °C. Führt man dem Eis Wärme zu, so steigt die Temperatur des Eises nicht weiter an. Die gesamte zugefügte Wärmeenergie wird dazu verwendet, um das Eis in Wasser umzuwandeln. Das Eis geht vom festen Zustand in den flüssigen über und wird somit zu Wasser.

Als **Schmelzwärme** bezeichnet man jene Wärmeenergie, die notwendig ist, um 1 kg eines Stoffes zu schmelzen.

Durch die Wärmezufuhr beim Schmelzen wird die innere Energie des Körpers erhöht. Die Bewegungsenergie der Teilchen nimmt zu. Sie bewegen sich heftiger und dadurch werden die Kohäsionskräfte geringer. Die Körper geht somit vom festen Zustand in den flüssigen Aggregatzustand über.

Erstarren:

Das Erstarren ist der umgekehrte Vorgang zum Schmelzen. Erstarrt ein Stoff so wird **Erstarrungswärme** abgegeben. Diese Erstarrungswärme ist gleich groß wie die Schmelzwärme.

Die Bewegungsenergie der Teilchen wird durch die Energieabgabe geringer. Sie werden wieder an einen festen Platz gebunden und der flüssige Stoff ist übergegangen in den festen Zustand.

Verdampfen:

Den Übergang vom flüssigen Zustand in den gasförmigen bezeichnet man als Verdampfen. Nun unterscheidet man aber noch zwischen Sieden und Verdunsten. Findet das Verdampfen an der Oberfläche statt und unterhalb des Siedepunktes, so spricht man von Verdunstung. Erfolgt der Aggregatzustandswechsel hingegen am Siedepunkt, so spricht man vom Sieden. Um eine Flüssigkeit zum Sieden zu bringen, ist Energie nötig. Siedet eine Flüssigkeit, so wird die gesamte zugeführte Wärme zum Verdampfen verwendet. Die Temperatur der Flüssigkeit steigt während des Verdampfungsvorgangs nicht weiter an.

Die Wärmeenergie, die man benötigt, um 1 kg eines Stoffes zu verdampfen, wird auch als **Verdampfungswärme** bezeichnet.

Ein Beispiel für das Sieden: Wasser kocht in einem Topf, das heißt es steigen Blasen auf. Die Temperatur des Wassers beträgt annähernd 100 °C und es beginnt zu Verdampfen, was anhand des aufsteigenden Wasserdampfs zu sehen ist.

Ein Beispiel für das Verdunsten: Wäsche wurde zum Trocknen auf die Leine gehängt. Sie trocknet indem das Wasser verdunstet.

Wie kann man das Verdunsten beschleunigen?

Je höher die Temperatur der Flüssigkeit ist und je größer die Oberfläche der Flüssigkeit, desto schneller verdunstet sie.

Anmerkung: Bei vermindertem Druck auf eine Flüssigkeit wird das Austreten der Flüssigkeitsteilchen erleichtert, der Siedepunkt wird herabgesetzt und die Flüssigkeit siedet

bereits unter dem Siedepunkt. Bei erhöhtem Druck auf eine Flüssigkeit hingegen wird das Austreten der Flüssigkeitsteilchen erschwert, der Siedepunkt wird erhöht und die Flüssigkeit siedet erst bei höheren Temperaturen.

Kondensieren:

Das Kondensieren ist der komplementäre Vorgang zum Verdampfen. Die Teilchen geben einen Teil ihrer Bewegungsenergie an die Umgebung ab und bewegen sich infolgedessen langsamer. Die Kohäsionskräfte werden stärker und der gasförmige Körper geht in den flüssigen Zustand über.

Die beim Kondensieren freiwerdende Wärme bezeichnet man auch als **Kondensationswärme**. Sie ist gleich groß wie die Verdampfungswärme.

Sublimieren:

Sublimieren bezeichnet den Übergang von festen in den gasförmigen Zustand. Der flüssige Zustand wird bei diesem Übergang aber ausgelassen.

Resublimieren (Verfestigen):

Verfestigen bezeichnet den Übergang von gasförmigen in den festen Zustand. Der flüssige Zustand wird bei diesem Übergang aber wiederum ausgelassen.

Bei den beiden eben beschriebenen Aggregatübergängen wird einerseits Energie benötigt (Sublimationswärme) andererseits Energie frei (Verfestigungsenergie). Beide Energiebeträge sind gleich groß.

III. Die Versuche

Anmerkung: Die folgenden Versuchsbeschreibungen dienen dem Lehrer als Lösungen zu den Arbeitsblättern im Anhang.

3.1. Das Thermometermodell

Ein einfacher Versuch zu Beginn:

Anmerkung für den Lehrer: Damit die Schüler sehen, was mit Stoffen passiert, wenn man ihnen Wärme zuführt, wird gefärbtes Wasser erhitzt und die Ausdehnung der Flüssigkeit beobachtet. Dasselbe geschieht auch mit dem Quecksilber oder mit dem gefärbten Alkohol in einem Thermometer.

Verwendete Materialien: Bunsenbrenner, Wärmeschutznetz, Erlenmeyerkolben, Färbepulver, Glasröhrchen, Gummistopfen

Versuchsaufbau:

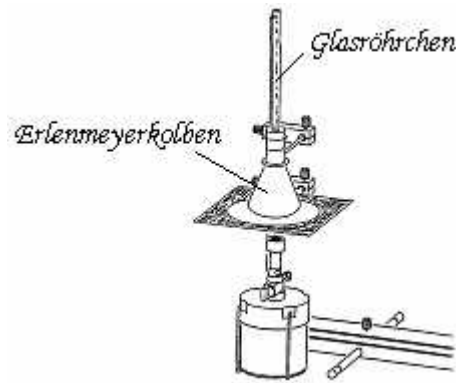


Abb. 9

Versuchsgang:

Der Erlenmeyerkolben wird bis obenhin mit Wasser gefüllt. Danach versetzt man das Wasser noch mit einem Färbemittel. Mit Hilfe eines Gummistopfens, durch den ein Glasröhrchen gesteckt wird, wird der Kolben verschlossen.

Tipp: Damit das Röhrchen leichter durch den Gummistopfen gleitet, sollte man die Außenwand des Röhrchens etwas anfeuchten.

Danach markiert man mit einem Wachsstift den Flüssigkeitsstand im Glasröhrchen. Anschließend wird der Bunsenbrenner unter die Apparatur gestellt und entzündet. Man erwärmt das Wasser etwa 5 Minuten lang und zeichnet erneut den neuen Flüssigkeitsstand am Röhrchen an. Danach schaltet man den Brenner aus und beobachtet die Wassersäule noch eine zeitlang.

Physikalische Erklärung:

Das Wasser dehnt sich beim Erwärmen aus und steigt im Glasröhrchen nach oben. Da die Teilchen des Wasser sich nun heftiger bewegen, benötigen sie auch mehr Platz.

Beim Abkühlen zieht sich das Wasser wieder zusammen. Die Teilchen bewegen sich langsamer und die Wassersäule sinkt.

Auf dieselbe Art und Weise funktioniert ein Thermometer.

3.2. Die Eichung einer Thermometerskala

Anmerkung für den Lehrer: Bei diesem Versuch lernen die Schüler, wie man den Eispunkt und den Siedepunkt einer Flüssigkeit bestimmt.

Verwendete Materialien: Bunsenbrenner, Wärmeschutznetz, ungraduiertes Thermometer, Becherglas

Versuchsaufbau und Versuchsgang:

Ein Becherglas wird zunächst mit Eisstücken gefüllt und ein ungraduiertes Thermometer hin-

eingesteckt. Man wartet nun solange, bis sich der Flüssigkeitsstand des Thermometers nicht weiter verändert und markiert anschließend den vorliegenden Flüssigkeitsstand. Der Eispunkt wurde somit bestimmt.

Tipp: Überprüfung mit einem graduierten Thermometer.

Nun entfernt man das Thermometer aus dem Eisbad. Dann wird ein Becherglas mit Wasser gefüllt und auf ein Wärmeschutznetz gestellt. Mit Hilfe eines Bunsenbrenners erhitzt man das Wasser solange, bis es beginnt zu sieden. Ändert sich der Flüssigkeitsstand des Thermometers nicht mehr, so wird die Höhe der Flüssigkeitssäule markiert. Der Siedepunkt wurde somit bestimmt.

Tipp: Überprüfung mit einem graduierten Thermometer.

Um ein graduiertes Thermometer zu erhalten, beschriftet man den ermittelten Eispunkt mit 0 °C und den gefundenen Siedepunkt mit 100 °C. Danach misst man den Abstand zwischen diesen beiden Punkten und teilt ihn in 10 gleiche Teile. Diese Markierungen werden nun noch auf dem Thermometer vermerkt, und das Thermometer ist perfekt.

Erkenntnis:

Eis hat eine Temperatur von 0 °C und Wasser siedet bei 100 °C. Ein Celsius ist der hunderste Teil des Abstands zwischen Eis- und Siedepunkt.

3.3. Der Bimetallstreifen

Anmerkung für den Lehrer: Bei diesem Versuch wird experimentell gezeigt, dass sich verschiedene Materialien (hier Metalle) bei Erwärmung unterschiedlich stark ausdehnen.

Verwendete Materialien: Bunsenbrenner, Bimetallstreifen, Halterung

Versuchsaufbau:

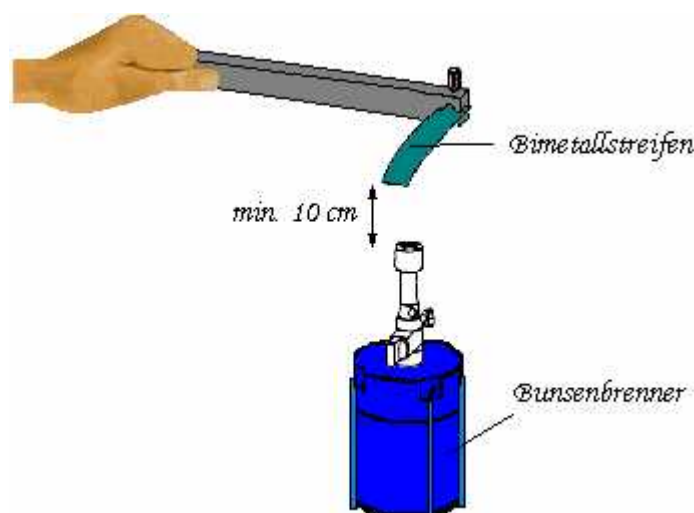


Abb. 10

Versuchsgang:

Der Bimetallstreifen wird vorsichtig über den Bunsenbrenner gehalten. Der Abstand Brenner – Streifen sollte dabei **min. 10 cm** betragen. Nun wird das Verhalten des Bimetallstreifens beobachtet.

Anschließend wird der Brenner entfernt und der Bimetallstreifen kühlt sich langsam ab. Wiederum wird beobachtet, wie sich der Streifen beim Abkühlen verhält.

Tipp: Man führe den Versuch noch einmal durch, allerdings dreht man dabei den Bimetallstreifen um. Die Seite die beim ersten Versuch oben war ist nun unten!

Physikalische Erklärung:

Ein Bimetallstreifen besteht aus zwei unterschiedlichen aufeinandergeklebten Metallschichten. Erwärmt man nun einen solchen Streifen, dehnen sich die Metalle unterschiedlich stark aus, und der Bimetallstreifen verbiegt sich (siehe Abbildung 11).

Der Bimetallstreifen biegt sich nach oben.

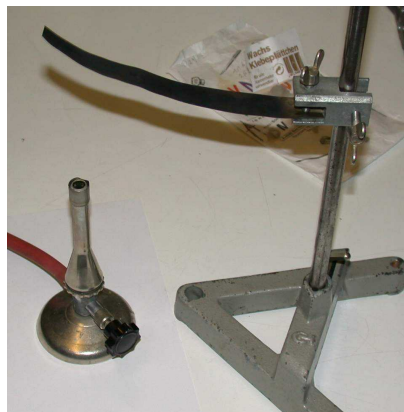


Abb. 11

3.4. Volumenänderung von Flüssigkeiten

Anmerkung für den Lehrer: Bei diesem Versuch sehen die Schüler, dass sich unterschiedliche Flüssigkeiten beim Erwärmen auch unterschiedlich stark ausdehnen.

Verwendete Materialien: Bunsenbrenner, Wärmeschutznetz, Becherglas, 2 Reagenzgläser, 2 Glasröhrchen, Thermometer, Duftpetroleum oder Lampenöl

Versuchsgang:

Ein Reagenzglas wird mit Wasser und das andere mit Duftpetroleum randvoll gefüllt. Danach steckt man die Glasröhrchen jeweils in ein Reagenzglas und schließt die Reagenzgläser mit Hilfe eines Gummistopfens luftdicht ab. Die Flüssigkeiten sollen schon leicht in die Glasröhrchen hineinragen und dabei in beiden Röhrchen gleich hoch stehen. Mit einem Wachsstift wird nun der Flüssigkeitsstand im Röhrchen markiert.

Nun werden die Reagenzgläser in eine geeignete Halterung gespannt und in ein mit Wasser

gefülltes Becherglas getaucht (siehe Abbildung 12). Die ganze Apparatur wird auf ein Wärmeschutznetz gestellt und der darunter stehende Brenner wird anschließend entzündet. Das Wasser im Becherglas wird erwärmt, und somit auch die beiden Flüssigkeiten in den Reagenzgläsern.

Man beobachtet nun, wie sich die Flüssigkeitsstände mit der Zeit verändern.

Physikalische Erklärung:

Wie bei den anderen Versuchen auch, dehnen sich die Flüssigkeiten in den Gläsern aus. Da es sich um verschiedene Flüssigkeiten handelt, dehnen sie sich auch unterschiedlich aus. Man erkennt, dass sie das Duftpetroleum stärker ausdehnt als das Wasser (siehe Abbildung 12).

Auch bei diesem Versuch kann man wieder so argumentieren, dass sich die Teilchen der Flüssigkeiten beim Erwärmen schneller bewegen und damit auch mehr Platz benötigen. Sie wandern also im Reagenzglas noch oben.



Abb. 12

3.5. Volumenänderung von Luft bei konstantem Druck

Anmerkung für den Lehrer: Hier lernen die Schüler, dass sich auch Gase ausdehnen. Bei diesem Versuch wird das Gas Luft verwendet.

Verwendete Materialien: Wärmeschutznetz, Becherglas, Erlenmeyerkolben, Schlauch, Glasröhrchen, Bunsenbrenner

Versuchsaufbau:

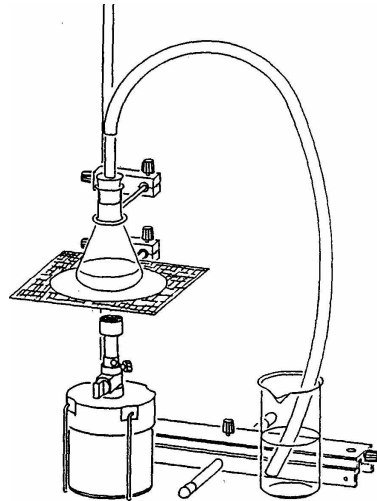


Abb. 13

Versuchsgang:

Das Glasröhrchen wird durch einen Gummistopfen gesteckt und anschließend der Erlenmeyerkolben damit abgedichtet. Am anderen Ende des Glasröhrchens wird der Gummischlauch angebracht, dessen freies Ende in ein mit Wasser gefülltes Becherglas eingetaucht ist, wie es die Abbildung 13 demonstriert.

Nun wird diese Apparatur über einen Bunsenbrenner gestellt und der Brenner entzündet. Das Becherglas wird einige Minuten lang beobachtet.

Danach wird der Brenner entfernt und man beobachtet das Becherglas weiterhin.

Physikalische Erklärung:

Erwärmt man die Luft im Erlenmeyerkolben, so dehnt sie sich aus. Das kann man daran erkennen, dass im Becherglas Luftblasen aufsteigen. Der einzige Weg für die Luft zu entweichen, ist das Becherglas.

Dreht man nun hingegen den Brenner ab (es wird also keine Wärme mehr zugeführt), so kühlt sich die Luft wieder ab. Ihr Volumen wird kleiner. Die zuvor entwichene Luft wird im Schlauch durch Wasser ersetzt. Der Unterdruck im Kolben zieht das Wasser in den Schlauch.

3.6. Druckänderung von Luft bei konstantem Volumen

Anmerkung für den Lehrer: Dieser Versuch eignet sich nicht für die Unterstufe, da hierbei der Druck eine wesentliche Rolle spielt. Das Thema Druck im Zusammenhang mit Wärme wird in der Unterstufe lediglich gestreift. Erst in der Oberstufe (6. Klasse) wird dieses Thema näher erläutert. Aufgrund der Vollständigkeit wird dieser Versuch dennoch angeführt.

Verwendete Materialien: Wärmeschutznetz, Kalorimeter, Erlenmeyerkolben, 3 Glasröhrchen, 2 Schläuche, 1 Thermometer, Färbepulver, Wachsstift

Versuchsaufbau:

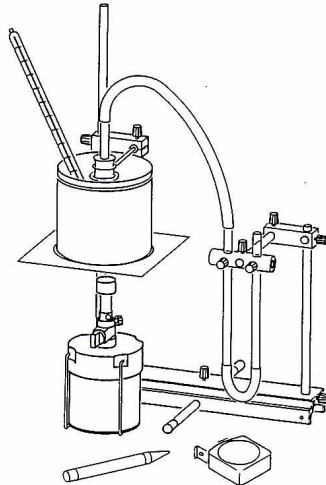


Abb. 14

Versuchsgang:

Wie man der Abbildung entnehmen kann, werden 2 von den 3 Glasröhrchen mit einem kurzen Schlauch verbunden. Diese Vorrichtung bildet ein Manometer. Nun wird in dieses Miniaturmanometer gefärbtes Wasser eingefüllt, und zwar bis knapp über den Rand der Manometerrohre. In das leere Kalorimeter wird nun soviel Wasser eingelassen, das der mit Luft gefüllte Erlenmeyerkolben im Kalorimeter vollständig mit Wasser bedeckt ist.

Der Erlenmeyerkolben wird mit Hilfe eines Schlauches mit dem Manometer verbunden. Mit einem Wachsstift zeichnet man den Flüssigkeitsstand im Manometer an.

Wichtige Messung: Die Temperatur T_1 des Wassers im Kalorimeter wird gemessen!

Nachdem man die Temperatur bestimmt hat, erwärmt man das Wasser im Kolben um $4\text{ }^\circ\text{C}$. Dabei sollte man allerdings vorsichtig vorgehen, das die Temperatur auch noch etwas weiter steigt, nachdem der Brenner wieder abgeschaltet wurde.

Wichtige Messung: Nun wird die neue wärmere Temperatur T_2 bestimmt!

Das Manometer zeigt jetzt eine Druckzunahme an. Das erkennt man daran, da das gefärbte Wasser im Manometer etwas nach oben gedrückt worden ist. Da man den Versuch aber bei gleichbleibenden Luftvolumen durchführen soll, wird nun der eine Manometerarm solange angehoben, bis das gefärbte Wasser wieder die alte Wachsstiftmarkierung erreicht.

Es stellt sich ein Höhenunterschied zwischen den beiden Wassersäulen ein, der gemessen wird.

Wichtige Messung: Den Höhenunterschied H zwischen den zwei Wassersäulen messen!

In der Auswertung dividiert man diesen Höhenunterschied H durch die Temperaturerhöhung $T_2 - T_1$ und erhält dadurch den Höhenunterschied pro Grad Celsius. Da 1 cm Wassersäule

einem Druck von etwa 1 Millibar entspricht, kann man nun die Druckerhöhung durch die erfolgte Erwärmung in Millibar angeben.

Lösung: Die Druckerhöhung sollte in etwa 4 Millibar betragen.

3.7. Wärmeleitung

Anmerkung für den Lehrer: Bei diesem Versuch wird die Wärmeleitfähigkeit von zwei unterschiedlichen Feststoffen (hier Metalle) untersucht.

Verwendete Materialien: Eisen-Aluminium Stab (siehe Abbildung 15), Kerze oder Bunsenbrenner, 6 Geldstücke



Abb. 15

Versuchsaufbau und Versuchsgang – Wo fallen die Münzen schneller runter?:

Mit Hilfe von kleinen Wachskugeln werden 6 gleiche Geldstücke (vorzugsweise 1 Eurocent-Münzen) im gleichen Abstand zueinander und zum Zentrum auf einen Metallstab geklebt. Der Metallstab besteht auf der einen Seite aus Eisen und auf der anderen Seite aus Aluminium (siehe Abbildung 15). Nachdem die Münzen justiert wurden, wird eine brennende Kerze unter den Metallstab geschoben.

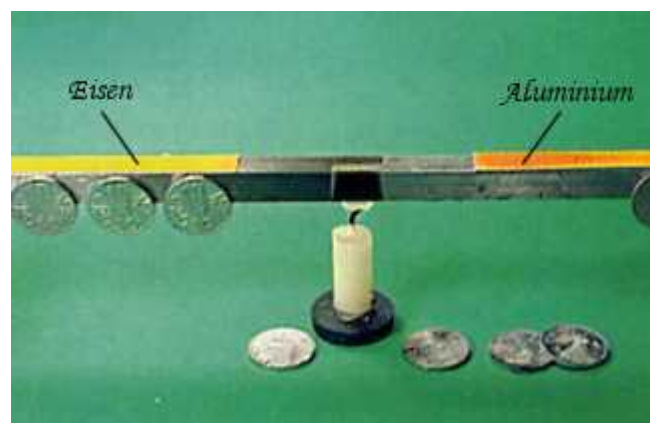


Abb. 16

Physikalische Erklärung:

Durch die Wärmezufuhr wird der Stab erhitzt. Da dieser nun aus zwei unterschiedlichen Metallen besteht, wird die Wärme auch unterschiedlich gut geleitet. Aluminium ist ein besserer Wärmeleiter als Eisen. Deshalb breitet sich die Wärme im Aluminiumteil auch schneller aus. Die Wachskugeln schmelzen auf der Aluminiumseite schneller und die Münzen

fallen zu Boden. Das heißt nun also, dass das Aluminium das Rennen gewonnen hat!

Die schlechtere Leitfähigkeit des Eisen kann man mit dem größeren Abstand der Eisenteilchen im Vergleich zu den Aluminiumteilchen erklären. Im Aluminium liegen die Teilchen enger beieinander. Deshalb wird die Wärmeenergie von Teilchen zu Teilchen leichter, besser und schneller übertragen.

3.8. Wärmeströmung

Anmerkung für den Lehrer: Es gibt keinen anschaulicheren Versuch zum Thema Wärmeströmung als den folgenden. Hierbei wird gezeigt, dass warme Flüssigkeit aufsteigt, und wenn sie wieder abkühlt, nach unten sinkt.

Verwendete Materialien: Rechteckrohr, Kaliumpermanganat zum färben des Wassers, Bunsenbrenner, Stoppuhr

Versuchsaufbau, Versuchsgang und Erklärung:

Das Rechteckrohr wird randvoll mit Wasser gefüllt. Wichtig: Die Öffnung des Rohres nicht abdichten!!! Danach wird das Rohr links und rechts in ein Stativ eingespannt (siehe Abbildung 17). Alsdann entzündet man den Brenner und stellt in an einer ummantelten, geschützten Stelle unter das Rechteckrohr. Es entsteht ein Wasserkreislauf. Das erwärmte Wasser steigt aufgrund der Dichteabnahme („es wird leichter“) nach oben, das abkühlende Wasser hingegen strömt nach unten, da dessen Dichte („es wird schwerer“) wieder zunimmt. Diesen Kreislauf kann man nun mit einem geeigneten Farbzusatz sichtbar machen. Man nehme eine Messerspitze Kaliumpermanganat und schütte es in die Rohröffnung. Das Kristallpulver löst sich auf und wird mit dem Wasser im Kreis transportiert. Die nächste Abbildung zeigt qualitativ den eben beschriebenen Wasserkreislauf:

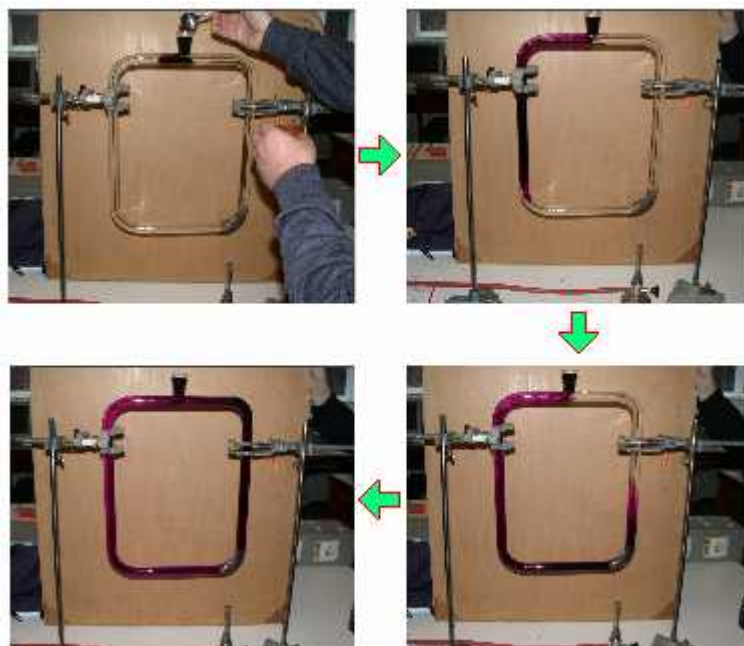


Abb. 17

3.9. Wärmestrahlung

Anmerkung für den Lehrer: Bei diesem Versuch wird die Absorption von Wärmestrahlung demonstriert.

Verwendete Materialien: 2 Thermometer, eine weiße Aluminiumkappe, eine schwarze Aluminiumkappe, Bunsenbrenner

Versuchsaufbau und Versuchsgang:

Wie in unten stehender Abbildung 18 zu sehen ist, werden zwei Thermometer jeweils an einem Stativ befestigt. Am unteren Ende des einen Thermometers wird eine weiße Aluminiumkappe befestigt, am anderen Thermometer eine schwarze Aluminiumkappe. Genau in die Mitte zwischen den Stativen wird ein brennender Bunsenbrenner platziert.

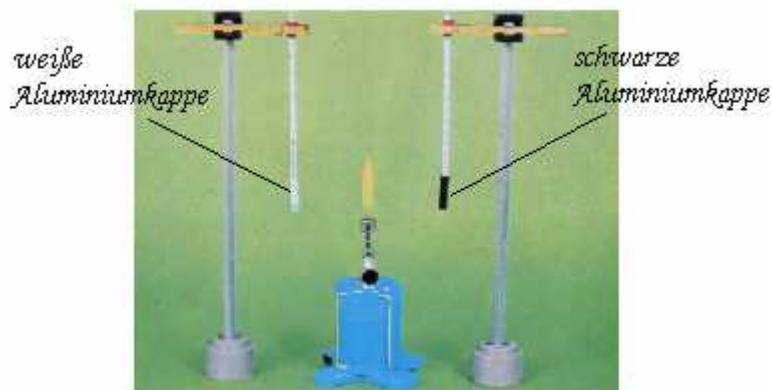


Abb. 18

Der Brenner sollte zirka 5 Minuten in Betrieb sein. Nun liest man die Temperatur auf beiden Thermometern ab.

Physikalische Erklärung:

Das Thermometer mit der schwarzen Aluminiumkappe zeigt eine höhere Temperatur an als das andere Thermometer. Es hat also mehr Wärme absorbiert.

Die weiße Aluminiumkappe reflektiert einen Großteil der Wärmestrahlung, die schwarze Aluminiumkappe hingegen nimmt einen Großteil der Wärmestrahlung in sich auf.

Anmerkung: Eine genauere Erklärung, weshalb dunkle Körper Strahlen besser absorbieren, würde zu weit führen. Erst in der Oberstufe wäre es unter Umständen möglich diesen Vorgang genauer zu analysieren.

3.10. Wärmedämmung

Anmerkung für den Lehrer: Dieser Versuch zeigt die Unterschiedliche Dämmwirkung von unterschiedlichen Materialien auf.

Verwendete Materialien: Wärmeschutznetz, Becherglas, Joule-Kalorimeter mit Styroporeinsatz, Aluminiumbecher, Bunsenbrenner, 2 Thermometer, Stoppuhr

Versuchsaufbau und Versuchsgang:

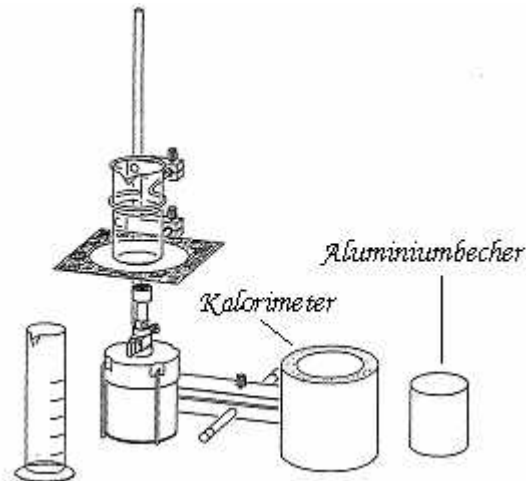


Abb. 19

Im Becherglas werden zunächst mit Hilfe des Brenners 200 ml Wasser auf etwa 80 °C erhitzt. Nach Abschalten des Brenners werden vorsichtig 100 ml Wasser in den Styroporeinsatz des Kalorimeters geschüttet. Die restlichen 100 ml Wasser werden hingegen in einen Aluminiumbecher geleert. In beiden Gefäßen befindet sich jeweils ein Thermometer. Nun wird die Abkühlung des Wassers verfolgt. In 2 Minutentakten werden die Temperaturen der Thermometer abgelesen und notiert.

Physikalische Erklärung:

Das Styropor ist ein besserer Wärmedämmstoff als das Aluminium. Die Wärme im Styroporbecher bleibt länger gespeichert bzw. entweicht langsamer. Das Aluminium hingegen leitet (Aluminium ist ein sehr guter Wärmeleiter - siehe Wärmeleitungsversuch) die Wärme schnell nach außen und gibt die Wärme an die Umgebung ab.

Die Temperatur im Aluminiumbecher sinkt also schneller.

Anmerkung: Mehr zum Thema Dämmung: siehe im Anhang!!!

3.11. Mischtemperatur

Anmerkung für den Lehrer: In diesem Versuch wird einmal die Mischtemperatur zweier gleichen Flüssigkeitsmengen bestimmt, und einmal wird die Mischtemperatur zweier unterschiedlichen Flüssigkeitsmengen bestimmt.

Verwendete Materialien: Erlenmeyerkolben, Bunsenbrenner, Kalorimeter, Thermometer, Wärmeschutznetz

Versuchsaufbau (siehe Abbildung 20) und Versuchsgang:

Im Erlenmeyerkolben werden zunächst 50 ml Wasser erhitzt. Währenddessen werden ebenfalls 50 ml kaltes Wasser in das Kalorimeter eingefüllt. Wenn das Wasser im

Erlenmeyerkolben in etwa eine Temperatur von 70 °C aufweist, wird es zum kalten Wasser im Kalorimeter hineingeleert.

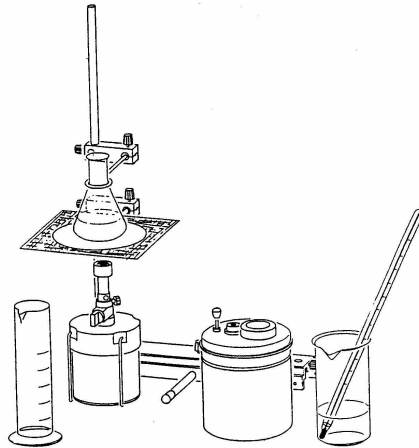


Abb. 20

Nun wird die Mischung umgerührt und die Mischtemperatur am Thermometer abgelesen.

Wichtige Messungen - Tabelle erstellen!:

- Die genaue Temperatur T_1 des warmen Wassers im Erlenmeyerkolben!
- Die genaue Temperatur T_2 des kalten Wassers im Kalorimeter!
- Die Mischtemperatur T

Nun wird der Versuch ein zweites Mal durchgeführt. Allerdings werden jetzt nicht 50 ml Wasser auf circa 70 °C erwärmt, sondern lediglich 40 ml. In das Kalorimeter werden anstatt 50 ml Wasser nun 80 ml Wasser eingeführt. Wiederum wird die Mischtemperatur T bestimmt. Auch bei diesem Versuch wird eine genaue Temperaturtabelle erstellt.

Ein Messbeispiel:

1. Versuch: 50 ml kaltes und 50 ml warmes Wasser:

Temperatur T_1 des warmen Wassers	73 °C
Temperatur T_2 des kalten Wassers	14 °C
Mischtemperatur T (gemessen)	42,5 °C

2. Versuch: 80 ml kaltes und 40 ml warmes Wasser:

Temperatur T_1 des warmen Wassers	71 °C
Temperatur T_2 des kalten Wassers	14 °C
Mischtemperatur T (gemessen)	31 °C

Man sieht im 1. Versuch, dass gilt: Mischtemperatur $T \approx \frac{1}{2} \cdot (71 \text{ °C} + 14 \text{ °C}) = 43,5 \text{ °C}$ (=Mittelwert der beiden Temperaturen T_1 und T_2). Beim zweiten Versuch gilt dieser Zusammenhang allerdings nicht.

Das für zu folgenden Schluss: Bei der Mischung von heißen und kalten Wasser stellt sich nur bei gleichen Wassermengen der Mittelwert der beiden Temperaturen ein!!!

Es gilt folgender Zusammenhang zwischen den Wassermengen und den jeweiligen Temperaturen:

$$m_1 T_1 + m_2 T_2 = (m_1 + m_2) T$$

m_1 ... Masse des kalten Wassers

T_1 ... Temperatur des kalten Wassers

m_2 ... Masse des warmen Wassers

T_2 ... Temperatur des warmen Wassers

T ... Mischtemperatur

Anmerkung: Zusatzinformation: In diesem Versuch wurden gleiche Stoffe, nämlich Wasser gemischt. Mischt man aber unterschiedliche Stoffe, so gilt eine andere Formel. Diese Formel enthält die spezifischen Wärmekapazitäten der zu mischenden Stoffe:

$$c_1 m_1 T_1 + c_2 m_2 T_2 = (m_1 + m_2) T$$

c_1 ... Wärmekapazität der Masse m_1

c_2 ... Wärmekapazität der Masse m_2

3.12. Spezifische Wärme von Wasser

Anmerkung für den Lehrer: In diesem Versuch wird die spezifische Wärme von Wasser bestimmt. - ***Dieser Versuch ist nur für die Oberstufe geeignet, da in der Unterstufe das Thema spezifische Wärme nur am Rande besprochen wird.***

Verwendete Materialien: Kalorimeter, Amperemeter, Voltmeter, Thermometer, Stoppuhr

Versuchsaufbau und Versuchsgang:

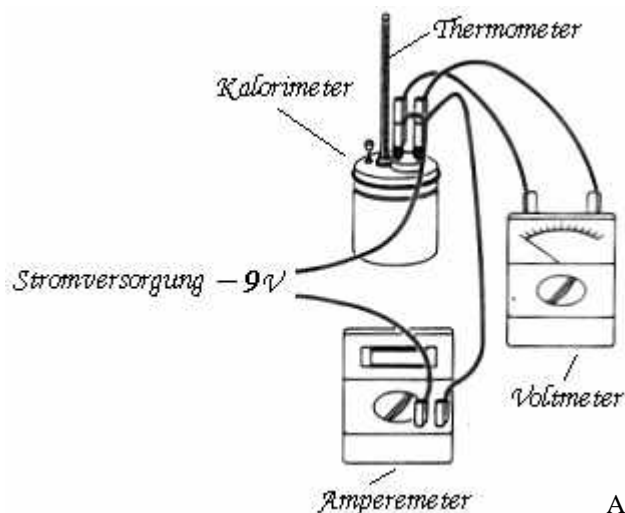


Abb. 21

In das Kalorimeter werden zunächst 100 ml Wasser eingefüllt. Nun wird die Heizspirale des Kalorimeters in das Wasser eingesteckt und an die 9V Stromversorgung angeschlossen. Die Stromversorgung bleibt allerdings noch ausgeschaltet. Damit man den Strom messen kann, wird ein Amperemeter in Reihe zum Kalorimeter geschaltet und damit man die Spannung messen kann, wird ein Voltmeter parallel zum Kalorimeter geschaltet. Mit Hilfe des Thermometers im Kalorimeter wird die Temperatur des kalten Wassers bestimmt und notiert.

Wichtige Messung: Temperatur des kalten Wassers T_1 !

Nun wird die Stromversorgung eingeschaltet und die Stoppuhr in Betrieb gesetzt. Während des Versuchs wird die Spannung und die Stromstärke abgelesen und notiert. Das Wasser wird nun genau 200 Sekunden lang erwärmt. Nach Ablauf der Zeit wird das Wasser mit Hilfe eines Rührers durchmischt und die Endtemperatur bestimmt und notiert.

Auswertung:

Anmerkung: Statt 100 ml Wasser haben wir bei unserem Versuch 800 ml Wasser verwendet! Bei unserem Versuch haben wir außerdem auch kein Netzgerät mit 9 V und kein Kalorimeter verwendet, sondern wir haben einen Tauchsieder an die Steckdose (liefert bekanntlich 230 V Wechselspannung) angeschlossen.

Die zu messenden Größen:

Masse m des kalten Wassers	0,8 kg
Zeit t	200 s
Stromstärke I	4,7 A
Spannung U	230 V
Anfangstemperatur (Temp. des kalten Wassers) T_1	24 °C
Endtemperatur (Temp. des warmen Wassers) T_2	53 °C

Die Temperaturerhöhung während des Versuchs betrug also 72 °C.

Die elektrische Energie setzt sich aus der angelegten Spannung U, der Stromstärke I und der Zeit t wie folgt zusammen:

$$W = U \cdot I \cdot t$$

Mit unseren Daten ergibt sich somit ein Wert von $W = 230 \text{ V} \cdot 4,7 \text{ A} \cdot 200 \text{ s} = 216200 \text{ J}$. Das bedeutet nun, dass wir 207000 Joule zuführen mussten, um das Wasser um 72 °C zu

erwärmen. Nun bildet man den Quotienten $\frac{207000J}{72^{\circ}C} = 3003 \text{ J/}^{\circ}C$. Das heißt, dass man $3003 \text{ J/}^{\circ}C$ zuführen muss, um $0,8 \text{ kg}$ um $1^{\circ}C$ zu erwärmen.

Nun ist es ein Leichtes die spezifische Wärme von Wasser auszurechnen. Denn das ist jene Energie, die man benötigt um 1 kg Wasser um $1^{\circ}C$ zu erwärmen. In unserem Fall ist dies :
Schreibt man es in einem Verhältnis an, so erhält, man:

$$0,8 \text{ kg} : 3003 \text{ J/}^{\circ}C = 1 \text{ kg} : x \Rightarrow x = \frac{3003 \text{ J/}^{\circ}C}{0,8 \text{ kg}} \approx 3753,5 \text{ J/kg}^{\circ}C$$

Das heißt, wir erhalten für die spezifische Wärme von Wasser einen Wert von $3753,5 \text{ J/kg}^{\circ}C$. Der Literaturwert von der spezifischen Wärme des Wasser lautet $4186 \text{ J/kg}^{\circ}C$. Das diese beiden Werte von einander abweichen kann viele Gründe haben, denn bei diesem Versuch gibt es viele Fehlerquellen.

Hier nur ein paar Fehlerquellen:

- 1.) Die Heizwendel war während des Versuchs nicht vollständig mit Wasser bedeckt und somit ist ein Teil der Wärme an die Umgebung, und nicht an das Wasser abgegeben worden.
- 2.) Wenn man den Wert genau berechnen möchte, müsste man die spezifische Wärme des Kalorimeters ebenfalls berücksichtigen (erfolgte in obiger Rechnung nicht)!

Tipp: Der Lehrer sollte diese Fehlerquellen mit den Schülern besprechen!

3.13. Spezifische Wärme fester Stoffe

Anmerkung für den Lehrer: Bei diesem Versuch wird mit Hilfe der spezifischen Wärme bestimmt, aus welchem Material das Versuchsobjekt besteht.

Verwendete Materialien: Becherglas, Bunsenbrenner, Kalorimeter, Thermometer, unbestimmte Masse (Versuchsobjekt), Wärmeschutznetz

Versuchsaufbau und Versuchsgang:

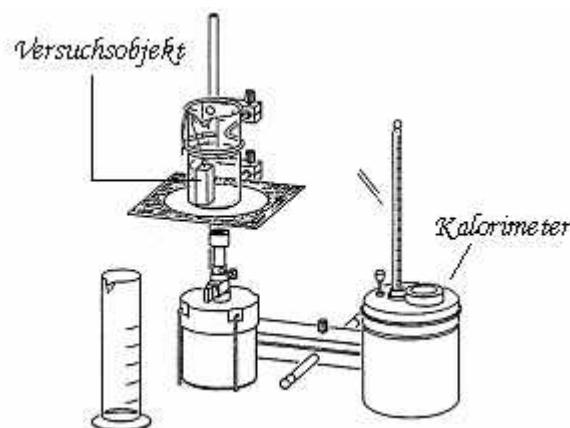


Abb. 22

Als erstes wird die Masse m des Versuchsobjekts mittels einer Waage gewogen und so das Gewicht bestimmt. Nun wird das Versuchsobjekt in ein Becherglas gegeben und anschließend mit Wasser bedeckt.

Das Wasser im Becherglas wird nun auf etwa 80 °C erhitzt. Während das Wasser erwärmt wird, füllt man zirka 300 ml kaltes Wasser in ein Kalorimeter (Temperatur T_1 des Wassers messen!). Nachdem die Endtemperatur T_2 von 80 °C erreicht worden ist, wird der Brenner ausgeschaltet und das Wasser mit Hilfe eines Rührers durchmischt. Anschließend wird die genaue Temperatur gemessen und notiert.

Das heiße Versuchsobjekt wird nun aus dem Becherglas genommen (VORSICHT heiß) und in das Kalorimeter gegeben. Nach einigen Minuten misst man die Mischtemperatur T im Kalorimeter.

Auswertung anhand eines Beispiels:

Masse m des Versuchsobjekt	95 g
Temperatur T_1 des kalten Wassers im Kalorimeter	25 °C
Masse des kalten Wassers im Kalorimeter	0,3 kg
Temperatur T_2 des erwärmten Versuchsobjekt	85 °C
Mischtemperatur T	27 °C

Jetzt setzt man diese Werte in die folgende spezifische Wärmekapazitätsformel ein:

$$\frac{c_2}{c_1} = \frac{0,3(T - T_1)}{m(T_2 - T)}$$

c_1 ... spezifische Wärme von Wasser = $4,18\text{ kJ/kg °C}$

c_2 ... spezifische Wärme vom Versuchsobjekt

m, T, T_1, T_2 ... siehe Tabelle

Damit ergibt sich für die spezifische Wärme vom Versuchsobjekt:

$$c_2 = \frac{0,3 \cdot (27 - 25)}{0,095 \cdot (85 - 27)} \cdot 4,18 \approx \underline{\underline{0,455\text{ kJ/kg °C}}}$$

Vergleicht man mit dem Tabellenwert von Eisen ($0,4603\text{ kJ/kg °C}$), so erkennt man, dass das verwendete Versuchsobjekt aus Eisen bestehen muss.

3.14. Schmelztemperatur

Anmerkung für den Lehrer: Wie die Überschrift schon verrät, wird in diesem Versuch die Schmelztemperatur bzw. der Schmelzpunkt eines festen Stoffes untersucht.

Verwendete Materialien: Wärmeschutznetz, Becherglas, Reagenzglas, Thermometer, Natriumthiosulfat, Bunsenbrenner

Versuchsaufbau, Versuchsgang und Erklärung:

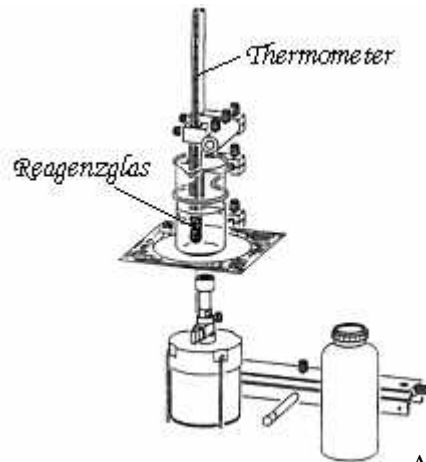


Abb. 23

Das Reagenzglas wird zu einem Drittel mit Natriumthiosulfat gefüllt. Anschließend wird das Becherglas halbvoll mit Wasser angefüllt. Das Reagenzglas (mit hineingestecktem Thermometer) wird nun aufrecht in das Becherglas gestellt. Diese Apparatur platziert man nun auf einem Wärmeschutznetz über dem Brenner.

Nun entzündet man den Brenner und erwärmt damit das Wasser im Becherglas und somit auch das Natriumthiosulfat. Zeigt das Thermometer in etwa 40 °C an, beginnt das Natriumthiosulfat am Rande des Reagenzglases zu schmelzen. Die Temperatur steigt nun nur noch langsam an. Bei ungefähr 48 °C liegt der Schmelzpunkt des Natriumthiosulfats. Die Temperatur steigt nicht mehr weiter an, da die gesamte zugeführte Wärme (und somit Energie) dazu verwendet wird, das Natriumthiosulfat zu schmelzen. Erst wenn das Natriumthiosulfat vollständig geschmolzen ist (es ist vom festen Aggregatzustand in den flüssigenübergegangen), beginnt die Temperatur wieder zu steigen.

3.15. Kältemischung

Anmerkung für den Lehrer: Bei diesem Versuch wird demonstriert, warum Salz im Winter die vereisten Straßen wieder auftaut.

Verwendete Materialien: Eisstücke, Becherglas, Thermometer

Versuchsaufbau:



Abb. 24

Versuchsgang und Erklärung:

Etwa zu einem Drittel füllt man das Becherglas mit Eisstücken an und steckt das Thermometer in das Eis hinein, und zwar so, dass die Thermometerspitze rundherum von Eis umgeben ist. Das Eis hat eine Temperatur von 0°C. Das ist auch gleichzeitig der Schmelzpunkt von Eis.

Nun gibt man etwas Kochsalz in das Becherglas hinein und beobachtet die Thermometeranzeige.

Was passiert? Die Temperatur der Kältemischung sinkt, da das Salz den Schmelzpunkt hinabsetzt. Das Salz wird im Wasser gelöst. Dieser Vorgang erfordert Wärme und diese wird somit dem Eis entzogen. Folge: Das Eis schmilzt.

3.16. Erstarrungswärme

Anmerkung für den Lehrer: Beim Übergang vom flüssigen in den festen Aggregatzustand geben Stoffe Wärme ab. Dieser Effekt wird nun demonstriert.

Verwendete Materialien: Wärmeschutznetz, Becherglas, Reagenzglas, Thermometer, Natriumthiosulfat, Bunsenbrenner

Versuchsaufbau: siehe 3.14 Schmelztemperatur

Versuchsgang und Erklärung:

Zuerst muss das feste Pulver Natriumthiosulfat verflüssigt werden:

Das Reagenzglas wird zu einem Drittel mit Natriumthiosulfat gefüllt. Anschließend wird das Reagenzglas halbvoll mit Wasser angefüllt. Das Reagenzglas (mit hineingesteckten Thermometer) wird nun aufrecht in das Becherglas gestellt. Diese Apparatur platziert man nun auf einem Wärmeschutznetz über dem Brenner.

Nun entzündet man den Brenner und erwärmt damit das Wasser im Becherglas und somit auch das Natriumthiosulfat (bis auf 55 °C erwärmen). Das Natriumthiosulfat wird flüssig.

Nun nimmt man das Natriumthiosulfat aus dem Becherglas heraus und lässt es wieder abkühlen. Man fügt einige Natriumthiosulfat-Kristalle dem flüssigen Natriumthiosulfat bei, damit die Erstarrung schneller eintritt (die hinzugefügten Kristalle wirken als Kristallisationskeime).

Was beobachtet man? Die Temperatur der Mischung steigt an, da beim Erstarren die sogenannte Erstarrungswärme frei wird. Diese Erstarrungswärme ist die frei werdende Schmelzwärme. Umfasst man das Reagenzglas mit der Hand, so kann man diese Wärme auch spüren. Die abgegebene Wärmemenge ist dieselbe, die beim Schmelzvorgang zugeführt werden muss (siehe Kapitel II - Grundlagen).

3.17. Siedetemperatur von Wasser

Anmerkung für den Lehrer: Nun wird der Siedepunkt von Wasser mit dem Siedepunkt einer Salzlösung verglichen.

Verwendete Materialien: Wärmeschutznetz, Becherglas, Thermometer, Bunsenbrenner, Kochsalz

Versuchsaufbau:

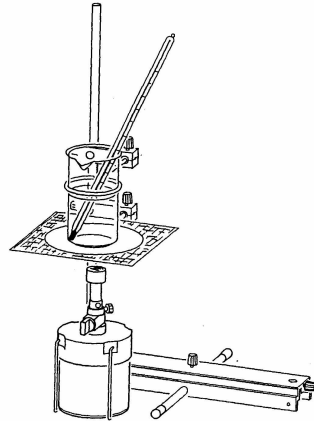


Abb. 25

Versuchsgang und Erklärung:

Das Becherglas wird mit 100 ml Wasser gefüllt und anschließend auf dem Wärmeschutznetz platziert.

Nun erwärmt man das Wasser, bis es siedet und beobachtet bei diesem Vorgang das Thermometer. Bei 100 °C (bei Normaldruck!!!) steigt dann die Temperatur des Wasser nicht weiter an, da die gesamte zugeführte Wärme zum Verdampfen des Wassers benötigt wird. Dies geschieht, wie gesagt bei 100 °C. Jetzt gibt man dem Wasser etwas Kochsalz bei.

Was passiert? Das Wasser hört auf zu siedet, da das Salz den Siedepunkt nach oben verschiebt. Die Temperatur steigt an und die Wasser-Salz-Lösung beginnt erst über 100 °C zu siedet.

3.18. Verdampfungswärme

Anmerkung für den Lehrer: In diesem Versuch wird die Verdampfungswärme von Wasser bestimmt. *Dieser Versuch ist nur für die Oberstufe geeignet, da die Auswertung zu kompliziert für einen Unterstufenschüler ist.*

Verwendete Materialien: Wärmeschutznetz, Becherglas, Thermometer, Bunsenbrenner

Versuchsaufbau: siehe Versuch 3.17 Siedetemperatur von Wasser

Versuchsgang:

Ein Becherglas wird mit genau 100 ml (=Masse m) Wasser gefüllt. Nun erhitzt man das Was-

ser (mit beigefügtem Thermometer) im Becherglas mit Hilfe eines Bunsenbrenners. In dem Moment, wo die Wärmezufuhr beginnt, schaltet man die Stoppuhr ein. Die Brennerflamme darf nun nicht mehr verändert werden, damit das Wasser gleichmäßig erwärmt wird.

In einer Tabelle trägt man alle 2 Minuten die Temperatur ein, bis das Wasser siedet. Sobald der Siedepunkt erreicht ist, entfernt man das Thermometer und notiert den Zeitpunkt. Das Wasser soll genau noch 4 Minuten lang weiter verdampfen. Danach dreht man den Brenner ab und bestimmt die Masse m_1 des verdampften Wassers (= Masse m zu Beginn des Versuches MINUS der nach dem Verdampfen noch vorhandenen Masse des Wassers).

Auswertung anhand eines Beispiels:

Als erstes ermittelt man die Energie, die vom Brenner pro Sekunde an das Wasser abgegeben wird (entspricht der Brennerleistung!).

Dazu ermittelt man zunächst die Erwärmung des Wasser in 4 Minuten (liest man aus der, während des Versuchs erstellten Tabelle ab):

Bei unserem Versuch betrug die durchschnittliche Temperaturerhöhung $\Delta T = 62 \text{ °C}$ in 4 Minuten.

Nun zur Brennerleistung. Die Leistungsberechnung ermöglicht folgende Formel:

$$P = \frac{mc_w \Delta T}{t}$$

P ... Brennerleistung

m ... Masse des Wassers, bei uns 0,1 kg

t ... Zeitdauer, bei uns die 4 Minuten (= 240 s)

ΔT ... Temperaturerhöhung

c_w ... spezifische Wärme des Wassers

Mit dieser Formel ergibt sich bei uns ein Wert von $P = 108,14 \text{ Watt}$. Aus der Zeitdauer der Verdampfung (4 Minuten) und der Brennerleistung P ergibt sich die zur Verdampfung von der Masse m_1 insgesamt benötigte Energie W :

$$W = P \cdot t = 108,14 \cdot 240 = 25953,6 \text{ Joule}$$

Die Masse m_1 des verdampften Wasser betrug bei unserem Versuch ungefähr 10,1 g (=0,0101kg).

Aus der Masse m_1 des verdampften Wassers kann man nun die zur Verdampfung von 1 kg Wasser benötigte Energie, also die Verdampfungswärme q_v berechnen:

$$q_v = \frac{W}{m_1} = \frac{25953,6}{0,0101} = 2,57 \cdot 10^6 \text{ J / kg.}$$

m_1 ... Masse des verdampften Wassers

Tipp: Man sollte auf alle Fälle den selbst ermittelten Wert mit dem Literaturwert vergleichen. Literaturwert: Verdampfungswärme von Wasser: 2,26 MJ/kg. Man sieht, der oben berechnete Wert liegt vom Literaturwert gar nicht so weit entfernt.

Um 1 kg Wasser zu verdampfen benötigt man also 2,26 MJ/kg (laut Literatur).

IV. Zusatzinformationen – zum Teil nur für die Oberstufe

4.1. Die Wärmepumpe

Eine Wärmepumpe dient zum Beheizen von Häusern und zur Warmwasseraufbereitung. Dabei wird der Umgebung Wärme entzogen und diese zur Erwärmung von Wärmeträgern (Luft, Wasser) verwendet. Allerdings muss dazu Energie aufgewendet werden. Auf diese Art kann die sonst technisch nicht verwertbare Wärme der Umgebung trotzdem noch genutzt werden. Wichtig ist außerdem die Verwendung eines Kältemittels. Das ist eine Flüssigkeit mit niedrigem Siedepunkt. Folgende Skizze soll den Aufbau einer solchen Wärmepumpe verdeutlichen:

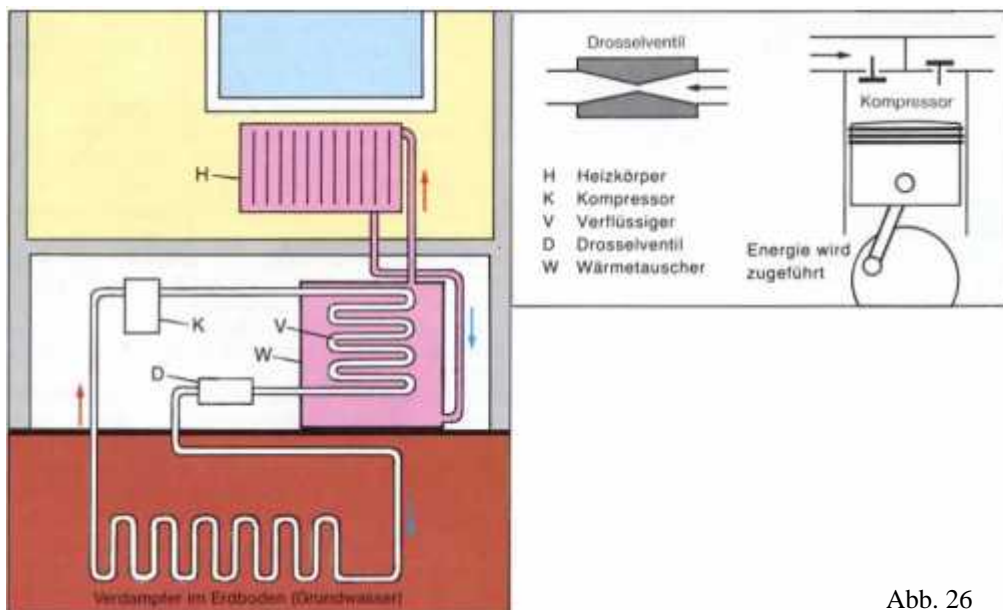


Abb. 26

Das Kältemittel gelangt in ein Rohrsystem, das sich beispielsweise im Erdboden befindet, welcher sich tagsüber durch die Sonneneinstrahlung erwärmt hat. Dazu werden in ca. 130 cm Tiefe mehrere Rohrschleifen verlegt, die idealerweise in Sand oder Humus gebettet sind. Durch die Erdwärme verdampft das Kältemittel, die dazu notwendige Verdampfungswärme wird dem Erdboden entzogen, welcher sich dadurch abkühlt. Das Rohrsystem im Erdboden wird daher auch als Verdampfer bezeichnet.

Das nun dampfförmige, aber noch kalte Kältemittel gelangt in einen Kompressor, wo es wieder unter Aufwendung von elektrischer Energie verdichtet und dadurch erhitzt wird. Im nachfolgenden Wärmetauscher wird die Wärme an das Wasser abgegeben, das zur Beheizung

des Hauses dient. Das Wasser wird dabei auf 35-40°C erhitzt. Mit Hilfe des Drosselventils wird der Druck abrupt gesenkt, die Temperatur des Kältemittels nimmt dadurch ohne Abgabe von Energie ebenfalls schlagartig ab. Das nun kalte, flüssige Kältemittel kann nun wiederum dem Verdampfer zugeführt werden und der Kreislauf beginnt von Neuem.

Nicht immer verwendet man den Erdboden als Wärmequelle. Man kann ebenso gut Wasser oder Luft verwenden, in denen ebenfalls Sonnenenergie gespeichert ist. Bei der Verwendung von Luft besteht allerdings das Problem, dass das System bei zu niedrigen Temperaturen (unter 3°C) nicht mehr funktioniert und so gerade im Winter nicht geheizt werden kann. Ein weiterer Nachteil besteht darin, dass mehr Energie aufgewendet werden muss, indem die warme Luft mittels Ventilator dem Verdampfer zugeführt wird.

Daher wird die Wärme für Heizzwecke dem Grundwasser, das in der Regel eine Temperatur von 7-12°C hat, entzogen. Bei Grundwasseranlagen sind daher zwei Brunnen notwendig: einer, um das Wasser zu gewinnen (Förderbrunnen) und ein anderer, um das abgekühlte Wasser wieder dem Boden zuzuführen (Schluckbrunnen).

Eine weitere, aber viel aufwendigere Möglichkeit wäre, die Erdwärme selbst zu nutzen. Dazu werden mehrere Bohrungen bis in eine Tiefe von 100 m gemacht und darin sogenannte Sonden eingebracht, in der eine Sole zirkuliert, die die Wärme nach oben transportiert.

Grundsätzlich kann man sagen, dass Wärmepumpen eine sehr umweltfreundliche Möglichkeit der Energiegewinnung darstellen. Mit ihrer Hilfe können mehr als 75% der benötigten Energie aus der Umwelt gewonnen werden.

4.2. Wärmedämmung

Durch Wärmedämmung wird versucht, Wärmeabgaben (Verluste) von Gebäuden an die äußere Umgebung zu verhindern.

Wie kann man nun denn Wärmeaustausch mit der Umgebung verringern?

- Verwendung von schlecht wärmeleitenden Baustoffen für Außenwände und Dächer
- Einbau von wärmedämmenden Fenstern, Wärmeschutzverglasung
- Vermeiden von Wärmebrücken und unkontrolliertem Luftaustausch

Mit Hilfe der Wärmedämmung ist es möglich, zum Beispiel die Energiekosten eines Haushaltes zu reduzieren. Schätzungen zufolge kann der Heizwärmebedarf in einem Gebäude durch Wärmedämmung mehr als halbiert werden.

Die Wärmeschutzverordnung wurde 24.2.1982 erlassen. Sie stellt eine Reaktion auf die Ölpreiskrise dar. Sie schreibt für neue Gebäude und Umbauten an Gebäuden bestimmte Mindestanforderungen bei der Wärmedämmung vor. Seit Jahren wird eine drastische

Verschärfung der Wärmeschutzverordnung gefordert, da diese in keiner Weise mehr dem heutigen Stand der Technik entspricht. So dürfen immer noch veraltete Wärmedämmungsmaterialien bei Neubauten verwendet werden, obwohl schon erheblich bessere Dämmmaterialien auf dem Markt zu erhalten sind.

Der Energieverbrauch von Familienhäusern im Vergleich:

Ein 100 m² großes ungedämmtes Einfamilienhaus Baujahr 1960 verbraucht pro Jahr ca. 3.700 Liter Heizöl, ein nach der Wärmeschutzverordnung 1982/84 gebautes Haus verbraucht ca. 1.500 Liter und ein nach dem aktuellen Stand der Technik errichtetes Niedrigenergiehaus nur noch etwa 500-700 Liter.

Es gibt viele verschiedene Dämmmaterialien. Diese Materialien unterliegen strengen Sicherheitsbedingungen. Insbesondere im Innenbereich von Gebäuden können bei der nicht fachgerechten Verwendung von z.B. Mineralwolle oder anderen Faserdämmstoffen gesundheitliche Gefahren auftreten.

Werden an einem Altbau nachträglich Wärmedämmungsmaßnahmen durchgeführt, so sollten diese Maßnahmen, wenn möglich, an der Außendämmung vorgenommen werden. Innendämmungen müssen sorgfältiger geplant werden, da ansonsten im Dämmbereich die Gefahr der Schimmelpilzbildung und somit eine Verschlechterung des Raumklimas drohen kann. Auch allein schon durch das Abdichten von Fensterfugen lässt sich die Wärmedämmung meist deutlich verbessern. Allerdings wird dann das Wachstum von Schimmelpilzen gefördert, wenn nicht genug gelüftet wird. Deshalb sollte man nach der Dämmungsverbesserung öfters lüften.

4.3. Der k-Wert

Der Wärmedurchgangskoeffizient (k-Wert), ist ein Maß für den Wärmestrom, der bei einer Temperaturdifferenz von 1 Kelvin durch ein 1 m² großes Bauteil fließt. Die Einheit des k-Werts ist: W/m² K.

Um den Wärmebedarf eines Gebäudes zu berechnen, wird der k-Wert für die verschiedenen Bauteile des Gebäudes bestimmt und die anteiligen Wärmeverluste addiert. Der k-Wert sollte möglichst niedrig sein, denn je kleiner der k-Wert, um so geringere Wärmeverluste treten auf. Die Größe des k-Wert hängt von den verwendeten Baumaterialien ab, genauer gesagt von deren Wärmeleitfähigkeit, von den Bauteildicken und von den Wärmeübergängen zwischen den verschiedenen Materialien.

Jedes Baumaterial hat eine bestimmte Wärmeleitfähigkeit λ . Beton hat eine besonders hohe

Wärmeleitfähigkeit (2 W/m·K) und Dämmstoffe eine niedrige (0,02 bis 0,04 W/m·K). Je niedriger die Wärmeleitfähigkeit eines Baumaterials, um so besser ist seine Dämmwirkung.

Baustoffe unterscheiden sich nicht nur in ihrer Wärmeleitfähigkeit, sondern auch in ihrer Fähigkeit, Wärme zu speichern. Die Wärmespeicherzahl gibt an, wieviel Wärme notwendig ist, um 1 m³ eines Stoffes um 1 Kelvin zu erwärmen. Je schwerer ein Baustoff ist, desto größer ist seine Wärmespeicherfähigkeit. Stoffe mit großer Wärmespeicherzahl benötigen für ihre Erwärmung viel Wärme und Zeit, speichern dafür aber große Mengen Wärme um so länger.




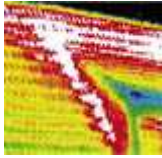
4.4. Thermografische Aufnahmen von Gebäuden

Mit Hilfe solcher Aufnahmen wird versucht, Schwachstellen in der Gebäudeisolierung zu finden, um im Winter gezielt Wärmeverluste vermeiden zu können. Natürlich dient es auch dazu, um im Sommer Wärmelecks in klimatisierten Gebäuden zu finden, also wo Wärme ins Innere strömt.

Das Prinzip der Thermografie beruht auf der Wärmestrahlung jedes Körpers. Obwohl Wärme auch eine Form von Licht ist, besitzt das menschliche Auge natürlich nicht die Fähigkeit, Wärme zu sehen. Bei Wärme handelt es sich um Licht, das im langwelligen Infrarotbereich liegt. Erst ab einer Temperatur von 500 °C beginnt beispielsweise ein Metall zu glühen, was dann auch vom Menschen wahrgenommen werden kann.

Bei der Thermografie verwendet man eine spezielle Infrarotkamera, die die unterschiedlichen Wärmestrahlungen aufnimmt. Die Aufnahme wird dann in ein für das menschliche Auge sichtbares Bild übertragen. Darin erscheinen warme Flächen in Weiß und in verschiedenen Rot-Tönungen. Kühlere Bereiche stellen sich hingegen in blauen bis violetten Farben dar. Je mehr weiße und rote Flecken ein solches Bild aufweist, desto größer ist der Wärmeverlust des Gebäudes.

Hier einige Beispiel von Wärmeverlusten an Gebäuden mit dazugehörigen thermografischen Aufnahmen:

Gebäudeaufnahme	Thermografische Aufnahme	Erhöhte Wärmeabstrahlung durch
		- schlecht dämmendes Fensterglas
		- fehlende Dachdämmung


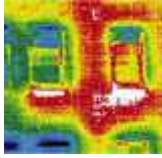

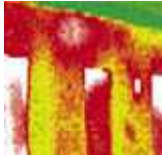
		<ul style="list-style-type: none"> - nicht gedämmte Steigleitung (Heizungsrohr) - schlechte oder fehlende Dämmung der Heizkörpernischen
		<ul style="list-style-type: none"> - mangelhafte Dämmung der Außenwand - defekte Fensterdichtungen bzw. verzogene Rahmen

Abb. 27

Das Problem der Thermografie besteht darin, dass ein solches Bild nur zu einem ganz bestimmten Zeitpunkt aufgenommen werden kann, um die Umgebungseinflüsse möglichst gering zu halten. Eine aussagekräftige Thermografie muss daher im Winter bei Dunkelheit, bzw. am Tag bei bedecktem Himmel durchgeführt werden. Direkte Sonneneinstrahlung würde die Wände aufheizen und so zu schweren Messfehlern führen. Der Temperaturunterschied zwischen Gebäudeinneren und Außen sollte mindestens 15°C betragen. Hier eine Thermografische Aufnahme eines an gewissen Stellen schlecht isolierten Neubaus:

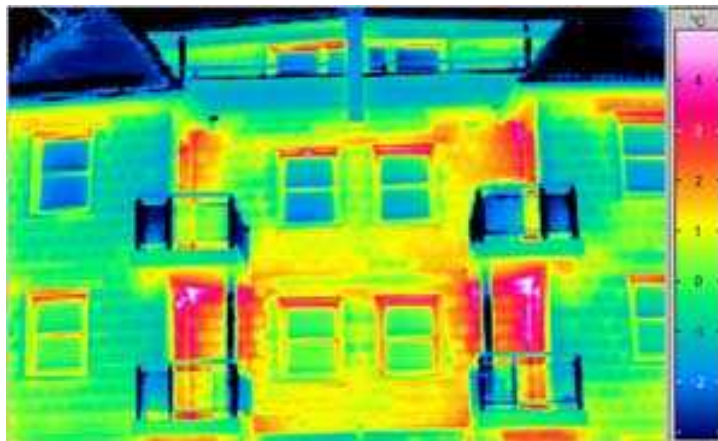


Abb. 28

Je größer der Temperaturunterschied ist, desto besser werden undichte Stellen am Haus sichtbar.

4.5. Heizwärmebedarf

Der Heizwärmebedarf ist jene „Menge“ Wärmeenergie (in Kilowattstunden), die pro m² beheizter Nutzfläche und Jahr für die Beheizung eines Gebäudes notwendig ist. Die Einheit für den Heizwärmebedarf ist: kWh/m²/a

Der Heizwärmebedarf ist eine rechnerisch ermittelte Größe. Bei der Berechnung des Heizwärmebedarf werden einerseits die Verluste berücksichtigt, die durch die Wärmeabgabe an die Außenwelt entstehen. Andererseits fließen Wärmegewinne z.B. durch Elektrogeräte

oder Wärmeabstrahlung von Personen (interne Wärmegewinne) sowie die durch die Sonneneinstrahlung durch Fenster oder andere transparente Flächen bedingten solaren Wärmegewinne in die Berechnung mit ein.

Der Heizwärmebedarf hängt also wesentlich von den baulichen Eigenschaften der Gebäude ab: Bauform, verwendete Baustoffe usw.

Noch eine letzte Bemerkung: Der Heizwärmebedarf stellt in älteren Gebäuden mit ca. 75 % den höchsten Anteil am Energieverbrauch dar.

4.6. Lüften

Der Mensch verbraucht beim Atmen Sauerstoff und erzeugt Kohlendioxid. Außerdem sind in der Luft, die uns umgibt, zusätzlich noch andere Stoffe enthalten: z.B. Krankheitskeime, radioaktives Radon und giftige Absonderungen von Baustoffen und Möbeln. Daher ist es wichtig, dass man geschlossene Räume regelmäßig lüftet, denn bereits bei einem Kohlendioxidgehalt der Luft von 0,07% und einem Sauerstoffgehalt unter 15% reagiert der Mensch mit Ermüdung, Leistungsminderung und Kopfschmerzen - bei einem Kohlendioxidgehalt von 5,4% in der Luft, erstickt er. Der Frischluftbedarf des Menschen beträgt pro Person und Stunde im Mittel etwa 32 m³.

Frischluft besteht aus ca. 21% Sauerstoff, ca. 79% Stickstoff und ca. 0,03% Kohlendioxid. Die erforderliche Luftwechselzahl (wie oft gelüftet werden muss) für einen Raum wird aus der Größe des Raumes, der Personenzahl im Raum und der Art ihrer Tätigkeit. Bei Fensterlüftung wird mit folgendem stündlichen Luftwechsel gerechnet:

- Sind Fenster und Türen geschlossen, so dringen im Mittel 0 - 0,5 m³ Luft pro Stunde ein (Luft, die durch die Fugen eindringen)
 - Bei gekippten Fenster ohne Rollläden, dringen im Mittel 0,8 – 4 m³ Luft pro Stunde ein
 - Bei halbgeöffneten Fenster, dringen im Mittel 5 – 10 m³ Luft pro Stunde ein
 - Bei ganzgeöffneten Fenster, dringen im Mittel 9 – 15 m³ Luft pro Stunde ein
 - Bei Durchzug zwischen Fenster und Tür, dringen im Mittel 40 m³ Luft pro Stunde ein
- Energetisch gesehen ist das Stoßlüften (kurzzeitiges Lüften) am günstigsten.

4.7. Heizen

Jeder Mensch will sich ja in seiner Wohnung wohl und behaglich fühlen. Es gibt viele Kriterien, die für dieses Wohlbefinden maßgeblich sind:

- Raumtemperatur
- Die Oberflächentemperatur der Außenwände
- Die Luftfeuchtigkeit im Raum

- Wie oft man lüftet
- Welche Kleidung man gerade trägt
- Und andere Kriterien

Welche Rolle spielt nun in der obigen Liste die genannte Raumtemperatur?

Untersuchungen haben ergeben, dass die meisten Menschen eine Raumtemperatur von 20 – 21 °C am angenehmsten empfinden. Ob man's glaubt oder nicht, auch die Temperatur der Außenwände spielt dabei eine Rolle. Sie sollte mindestens 18 °C betragen. Sind die Wände kälter als 18 °C, so sollte die Zimmertemperatur auf mindestens 23 – 25 °C angehoben werden. Das heißt: Man muss dann mehr heizen!

Anmerkung: Faustregel: Die Anhebung der Raumtemperatur um 1 °C verursacht um ca. 6% mehr Energieverbrauch pro Jahr!

Hier ein kleiner Überblick über die empfohlenen Raumtemperaturen:

Wohn- und Schlafräum	20 °C
Küche	20 °C
Bad	24 °C
WC	15 °C
Vorräume, Flur	15 °C
Stiegenhaus	10 °C

Der Zweck einer Heizung, egal ob Zentralheizung, Kachelofen u.s.w., ist es, für eine angenehme Zimmertemperatur zu sorgen.

Folgende Anforderungen werden an eine Heizung gestellt:

- Die Wärmeabgabe des Heizkörpers soll regulierbar sein
- Die Temperaturverteilung im Raum soll möglichst gleichmäßig sein
- Die Heizkörper sollen eine möglichst große Oberfläche ausweisen, damit eine gute Wärmeabgabe gewährleistet ist

Räume werden grundsätzlich auf zwei Arten erwähnt.

- 1.) Durch Konvektion: Warme Luft steigt (über den Heizkörper) auf, kühl langsam ab und strömt vom Boden wieder dem warmen Heizkörper zu. Das ist das Phänomen der Konvektion.
- 2.) Durch Wärmestrahlung: Zwischen Körpern mit unterschiedlicher Temperatur erfolgt ein ständiger Wärmeaustausch. Ähnlich empfinden wir die Wärmeabgabe des Kachelofens, der einen Teil seiner Energie an die Umgebungsluft abgibt.

V. Anmerkung

Im Prinzip gibt es bei diesem Thema nicht recht viel anzumerken. Die Versuche stellen in der Regel keine Schwierigkeit dar. Speziell gekennzeichnete Versuche für die Oberstufe sind in der Auswertung etwas komplizierter, und sollten deshalb auch nur in der Oberstufe durchgeführt werden.

Es gibt zu jedem größeren Kapitel zum Thema Wärmelehre in der Unterstufe mindestens einen anschaulichen Versuch. Auch die Grundversuche in dem Kapitel „Grundlagen“ sind für den Unterricht recht gut geeignet, da sie nicht so aufwendig sind.

Vorwissen in dem Sinne ist nicht vorausgesetzt, da die Wärmelehre in der Unterstufe erst das erste Mal vorkommt. Allerdings wurden die Grundlagen in diesem Protokoll nur kurz zusammengefasst, da das Thema Wärmelehre in der Unterstufe sowohl in der 2. als auch in der 3. Klasse vorkommt, und daher die Grundlagen einen immensen Umfang haben.

Die im Kapitel Zusatzinformationen behandelten Themen sind, wie im Protokoll bereits erwähnt, zum Teil nur für die Oberstufe zu verwenden, da sie teilweise recht umfangreich und kompakt sind.

Zu den Versuchen:

Die Versuche sind gewissenhaft durchzuführen, da sonst gelegentlich Messfehler u.ä. auftreten können, die dann zu einer fehlerhaften Auswertung führen.

Manche Versuche sollten auch nur von einem Lehrer durchgeführt werden (z.B. Wärmeströmung).

VI. Literatur

Verwendete Bücher:

„Physik/Chemie – In Alltag und Technik 2“ – Lewisch, Molzer (Westermann Wien)

„NTL – Schülerexperimente Physik - Wärmelehre“

„Physik in unserer Welt 3“ – Kaufmann, Zöchling (öbv-Wien)

„Physik“ – Paul A. Tipler – (Spektrum Akademischer Verlag)

Internetlinks:

<http://www.alko-waermepumpen.de/funktionsprinzip.html>

http://www.viessmann.at/austria/www/at_info.nsf/

<http://www.stadtwerke-osnabrueck.de/2626.htm>

<http://www.stadtwerke-witten.de/aktuell.htm>

Die Informationen zum Thema Wärmedämmung, k-Wert, Heizen und Lüften wurden den Links

<http://www.umweltlexikon-online.de/fp/archiv/RUBbauen-wohnen>

<http://www.katalyse.de/>

entnommen!

Abbildungsverzeichnis:

„Physik/Chemie – In Alltag und Technik 2“:

Abbildung: 18, 26

„Physik in unserer Welt 3“:

Abbildung:16

„NTL – Schülerexperimente Physik - Wärmelehre“:

Abbildung: 9, 13, 14, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25

<http://www.stadtwerke-osnabrueck.de/2626.htm>:

Abbildung: 27

<http://www.stadtwerke-witten.de/aktuell.htm>:

Abbildung: 28

Selbstgemachte Abbildungen: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 15, 17

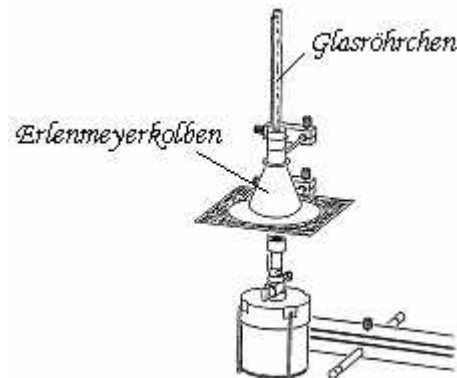
Arbeitsblätter

Wärmelehre

Arbeitsblatt 1: Das Thermometermodell

Materialien: Bunsenbrenner, Wärmeschutznetz, Erlenmeyerkolben, Färbepulver, Glasröhrchen, Gummistopfen

Versuchsaufbau:



Versuchsgang:

- Fülle den Erlenmeyerkolben bis obenhin mit Wasser voll.
- Danach gibst du in das Wasser noch ein Färbemittel.
- Mit Hilfe eines Gummistopfens, durch den ein Glasröhrchen gesteckt wird, musst du nun den Kolben verschließen.

Tipp: Damit das Röhrchen leichter durch den Gummistopfen gleitet, feuchte die Außenwand des Röhrchens etwas an.

- Danach markierst du mit einem Wachsstift den Flüssigkeitsstand im Glasröhrchen.
- Anschließend stellst du den Bunsenbrenner unter die Apparatur und entzündest ihn.
- Erwärme das Wasser etwa 5 Minuten lang und zeichne erneut den neuen Flüssigkeitsstand am Röhrchen an.
- Danach schaltest du den Brenner aus und beobachtest die Wassersäule noch eine zeitlang.

Was beobachtest du? Schreibe deine Beobachtung im Heft nieder und versuche deine Beobachtungen zu erklären und zu begründen!

Anmerkung: Auf dieselbe Art und Weise funktioniert ein Thermometer.

Arbeitsblatt 2: Die Eichung einer Thermometerskala

Materialien: Bunsenbrenner, Wärmeschutznetz, ungraduiertes Thermometer, Becherglas

Versuchsaufbau und Versuchsgang:

- Fülle ein Becherglas zunächst mit Eisstücken und stecke ein ungraduiertes Thermometer hinein.
- Warte nun solange ab, bis sich der Flüssigkeitsstand des Thermometers nicht weiter verändert und markiere anschließend den vorliegenden Flüssigkeitsstand. Den Eispunkt hast du somit bestimmt.

Tipp: Überprüfe deine gemessene Temperatur mit einem graduierten Thermometer.

- Entferne nun das Thermometer aus dem Eisbad.
- Fülle erneut das Becherglas mit Wasser und stelle es auf ein Wärmeschutznetz.
- Mit Hilfe eines Bunsenbrenners erhitzt du das Wasser solange, bis es beginnt zu sieden. Ändert sich der Flüssigkeitsstand des Thermometers nicht mehr, so markiere die Höhe der Flüssigkeitssäule. Den Siedepunkt hast du somit bestimmt.

Tipp: Überprüfung mit einem graduierten Thermometer.

Damit dein Thermometer ein graduiertes Thermometer wird, musst du den ermittelten Eispunkt mit 0 °C und den gefundenen Siedepunkt mit 100 °C auf deinem Thermometer einzeichnen. Danach misst du den Abstand zwischen diesen beiden Punkten und teilst ihn in 10 gleiche Teile. Diese Markierungen werden nun noch auf dem Thermometer vermerkt, und das Thermometer ist perfekt.

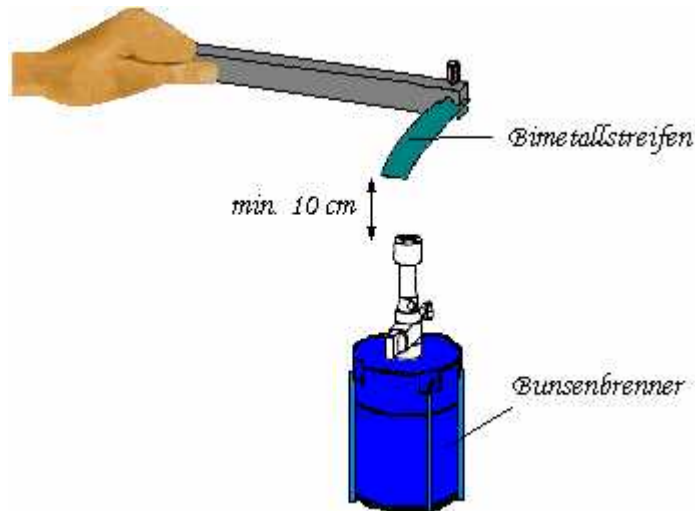
Vervollständige nun noch den letzten Merksatz:

Eis hat eine Temperatur _____ °C und Wasser siedet bei _____ °C. Ein Celsius ist der _____ Teil des Abstands zwischen Eis- und Siedepunkt.

Arbeitsblatt 3: Der Bimetallstreifen

Materialien: Bunsenbrenner, Bimetallstreifen, Halterung

Versuchsaufbau:



Versuchsgang:

- Halte den Bimetallstreifen vorsichtig über den Bunsenbrenner. Der Abstand Brenner – Streifen sollte dabei **min. 10 cm** betragen.
- Beobachte nun das Verhalten des Bimetallstreifens.
- Anschließend entfernst du den Brenner wieder und der Bimetallstreifen kühlt sich dann langsam ab.
- Wiederum sollst du das Verhalten des Streifens beim Abkühlen beobachten.

Führe den Versuch noch einmal durch, allerdings drehst du diesmal den Bimetallstreifen um. Die Seite die beim ersten Versuch oben war ist nun unten!

Schreibe alle deine Beobachtungen ins Heft, und versuche sie zu erklären (Warum ist das so?)!!!

Arbeitsblatt 4: Volumenänderung von Flüssigkeiten

Materialien: Bunsenbrenner, Wärmeschutznetz, Becherglas, 2 Reagenzgläser, 2 Glasröhrchen, Thermometer, Duftpetroleum oder Lampenöl

Versuchsgang:

- Fülle ein Reagenzglas mit Wasser und das andere mit Duftpetroleum randvoll.
- Danach steckst du die Glasröhrchen jeweils in ein Reagenzglas und schließt die Reagenzgläser mit Hilfe eines Gummistopfens luftdicht ab.

Die Flüssigkeiten sollen schon leicht in die Glasröhrchen hineinragen und dabei in beiden Röhrchen gleich hoch stehen.

- Markiere nun den Flüssigkeitsstand im Röhrchen mit einem Wachsstift.
- Spanne nun die Reagenzgläser in die Halterungen ein und tauche sie in ein mit Wasser gefülltes Becherglas ein (so wie du es auf der Abbildung sehen kannst).
- Die ganze Apparatur stellst du jetzt auf ein Wärmeschutznetz und entzündest den Brenner. Das Wasser im Becherglas wird erwärmt, und somit auch die beiden Flüssigkeiten in den Reagenzgläsern.

Beobachte, wie sich die Flüssigkeitsstände mit der Zeit verändern und notiere was du siehst!

Was du dir merken solltest – vervollständige den Lückentext!:

Die Flüssigkeiten _____ sich aus. Da es sich um verschiedene Flüssigkeiten handelt, dehnen sie sich auch _____ aus. Man erkennt, dass sich das Duftpetroleum _____ ausdehnt als das Wasser.

Die Teilchen der Flüssigkeiten bewegen sich beim Erwärmen _____ und damit benötigen sie auch _____ Platz. Sie wandern also im Reagenzglas nach _____.

Folgende Wörter wurden im Text vergessen. Setze sie an der richtigen Stelle ein!

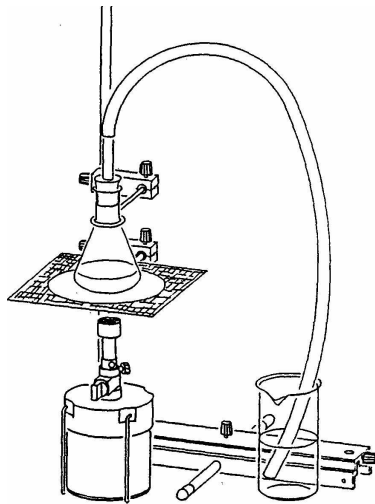
unterschiedlich stark --- stärker --- dehnen --- oben --- mehr --- schneller



Arbeitsblatt 5: Volumenänderung von Luft bei konstantem Druck

Materialien: Wärmeschutznetz, Becherglas, Erlenmeyerkolben, Schlauch, Glasröhrchen, Bunsenbrenner

Versuchsaufbau:



Versuchsgang:

- Stecke das Glasröhrchen durch einen Gummistopfen und dichte anschließend den Erlenmeyerkolben damit ab.
- Am anderen Ende des Glasröhrchens bringst du den Gummischlauch an, und dessen freies Ende tauchst du in ein mit Wasser gefülltes Becherglas ein, wie du es im Bild sehen kannst.
- Stelle nun diese Apparatur über einen Bunsenbrenner und entzünde ihn.
- Das Becherglas wird einige Minuten lang beobachtet.
- Danach entfernst du den Brenner und beobachtest das Becherglas weiterhin.

Was du dir vom Versuch merken solltest:

Erwärmt man die Luft im Erlenmeyerkolben, so dehnt sie sich aus. Das kann man daran erkennen, dass im Becherglas Luftblasen aufsteigen. Der einzige Weg für die Luft zu entweichen, ist das Becherglas.

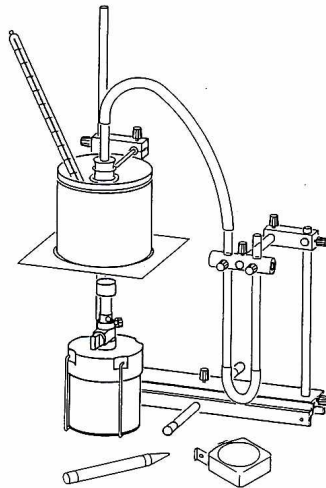
Dreht man nun hingegen den Brenner ab (es wird also keine Wärme mehr zugeführt), so kühlt sich die Luft wieder ab. Ihr Volumen wird kleiner. Die zuvor entwichene Luft wird im Schlauch durch Wasser ersetzt. Der Unterdruck im Kolben zieht das Wasser in den Schlauch.

Arbeitsblatt 6: Druckänderung von Luft bei konstantem Volumen

Eventuell nur für die Oberstufe

Materialien: Wärmeschutznetz, Kalorimeter, Erlenmeyerkolben, 3 Glasröhrchen, 2 Schläuche, 1 Thermometer, Färbepulver, Wachsstift

Versuchsaufbau:



Versuchsgang:

- Nimm die zwei langen Glasröhrchen und verbinde sie durch den kurzen Schlauch. Diese Vorrichtung bildet ein Manometer.
- Nun wird in dieses Miniaturmanometer gefärbtes Wasser eingefüllt, und zwar bis knapp über den Rand der Manometerrohre.
- In das leere Kalorimeter lässt du nun soviel Wasser ein, bis, der mit Luft gefüllte Erlenmeyerkolben im Kalorimeter, vollständig mit Wasser bedeckt ist.
- Den Erlenmeyerkolben verbindest du mit Hilfe eines Schlauches mit dem Manometer. Zeichne mit einem Wachsstift den Flüssigkeitsstand am Manometer an.

Wichtige Messung: Miss die Temperatur T_1 des Wassers im Kalorimeter!

- Nachdem du die Temperatur bestimmt hast, erwärmst du das Wasser im Kolben um 4 °C. Dabei solltest du allerdings vorsichtig vorgehen, da die Temperatur auch noch etwas weiter steigt, nachdem du den Brenner wieder abgeschaltet hast.

Wichtige Messung: Miss die neue wärmere Temperatur T_2 !

- Das Manometer zeigt jetzt eine Druckzunahme an. Das erkennst du daran, da das gefärbte Wasser im Manometer etwas nach oben gedrückt worden ist. Da der Versuch aber bei gleichbleibenden Luftvolumen durchgeführt werden soll, musst du nun den

einen Manometerarm solange anheben, bis das gefärbte Wasser wieder die alte Wachsstiftmarkierung erreicht.

- Es stellt sich ein Höhenunterschied zwischen den beiden Wassersäulen ein, den du messen musst.

Wichtige Messung: Den Höhenunterschied H zwischen den zwei Wassersäulen messen!

Auswertung:

Dividiere diesen Höhenunterschied H durch die Temperaturerhöhung $T_2 - T_1$. Dadurch erhältst du den Höhenunterschied pro Grad Celsius.

Aufgaben: Berechne den Höhenunterschied pro Grad Celsius!

Gib die Druckerhöhung durch die erfolgte Erwärmung in Millibar an!

Arbeitsblatt 7: Wärmeleitung

Materialien: Eisen-Aluminium Stab (siehe Abbildung), Kerze oder Bunsenbrenner, 6 Geldstücke



Versuchsaufbau und Versuchsgang – Wo fallen die Münzen schneller runter?:

- Klebe mit Hilfe von kleinen Wachskugeln 6 gleiche Geldstücke (vorzugsweise 1 Eurocent- Münzen) im gleichen Abstand zueinander und zum Zentrum auf einen Metallstab. Der Metallstab besteht auf der einen Seite aus Eisen und auf der anderen Seite aus Aluminium.
- Nachdem du die Münzen aufgeklebt hast, schiebst du eine brennende Kerze unter den Metallstab.



- Was passiert nun? Schreibe deine Beobachtungen ins Heft!

Was du dir merken solltest! Vervollständige den Lückentext!

Durch die Wärmezufuhr wird der Stab erhitzt. Da dieser nun aus zwei _____ Metallen besteht, wird die Wärme auch unterschiedlich gut _____. Aluminium ist ein _____ Wärmeleiter als Eisen. Deshalb breitet sich die Wärme im Aluminiumteil auch _____ aus. Die Wachskugeln schmelzen auf der Aluminiumseite schneller und die Münzen

fallen zu Boden. Das heißt nun also, dass das Aluminium das Rennen gewonnen hat!

Die _____ Leitfähigkeit des Eisen kann man mit dem größeren Abstand der Eisenteilchen im Vergleich zu den Aluminiumteilchen erklären. Im Aluminium liegen die Teilchen _____ beieinander. Deshalb wird die Wärmeenergie von Teilchen zu Teilchen leichter, besser und schneller übertragen.

Folgende Wörter wurden im Text vergessen. Setze sie an der richtigen Stelle ein!

schneller --- enger --- unterschiedlichen --- schlechtere --- geleitet --- besserer

Arbeitsblatt 8: Wärmeströmung

Materialien: Rechtecksrohr, Kaliumpermanganat zum Färben des Wassers, Bunsenbrenner, Stoppuhr

Versuchsaufbau, Versuchsgang und Erklärung:

- Fülle das Rechtecksrohr randvoll mit Wasser. Wichtig: Die Öffnung des Rohres nicht abdichten!!!
- Spanne danach das Rohr links und rechts in ein Stativ ein (siehe Abbildung).
- Entzünde jetzt den Brenner und stelle ihn an der **ummantelten, geschützten Stelle** unter das Rechtecksrohr.
- Gib nun eine Messerspitze Farbzusatz (Kaliumpermanganat) in das Rechtecksrohr.



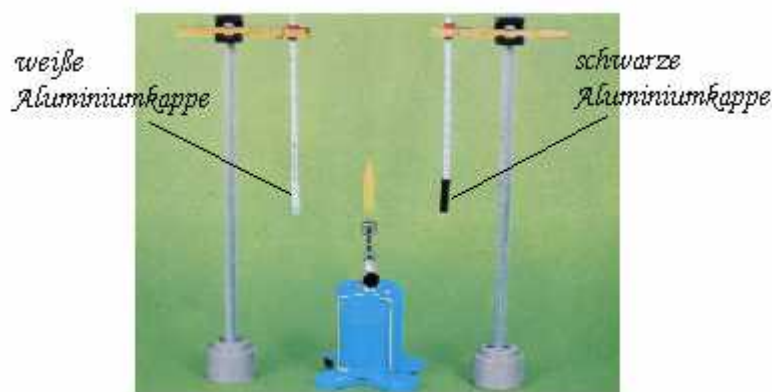
Was beobachtest du? Schreibe deine Beobachtung im Heft nieder und versuche deine Beobachtungen zu erklären und zu begründen!

Arbeitsblatt 9: Wärmestrahlung

Materialien: 2 Thermometer, eine weiße Aluminiumkappe, eine schwarze Aluminiumkappe, Bunsenbrenner

Versuchsaufbau und Versuchsgang:

- Befestige zwei Thermometer jeweils an einem Stativ.
- Am unteren Ende des einen Thermometers befestigst du eine weiße Aluminiumkappe, am anderen Thermometer eine schwarze Aluminiumkappe.
- Genau in die Mitte zwischen den Stativen platzierst du nun den Bunsenbrenner und entzündest ihn.



- Der Brenner sollte zirka 5 Minuten in Betrieb sein. Nun liest du die Temperatur auf beiden Thermometern ab.

Was du dir merken solltest! Vervollständige den Lückentext mit den richtigen Wörtern!

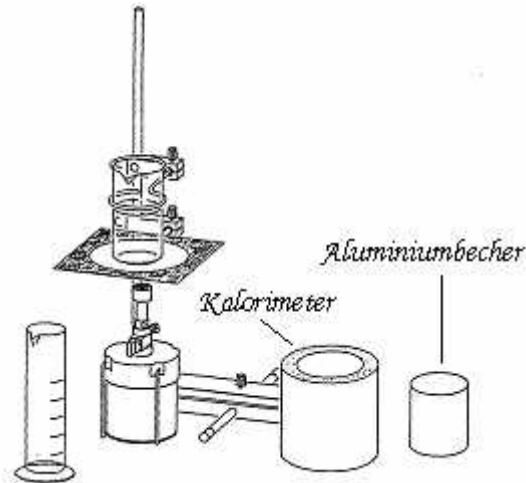
Das Thermometer mit der schwarzen Aluminiumkappe zeigt eine _____ (höhere/niedrigere) Temperatur an als das andere Thermometer. Es hat also _____ (weniger/mehr) Wärme absorbiert.

Die weiße Aluminiumkappe reflektiert einen Großteil der Wärmestrahlung, die schwarze Aluminiumkappe hingegen _____ (gibt/nimmt) einen Großteil der Wärmestrahlung _____ (ab/ in sich auf).

Arbeitsblatt 10: Wärmedämmung

Materialien: Wärmeschutznetz, Becherglas, Joule-Kalorimeter mit Styroporeinsatz, Aluminiumbecher, Bunsenbrenner, 2 Thermometer, Stoppuhr

Versuchsaufbau und Versuchsgang:



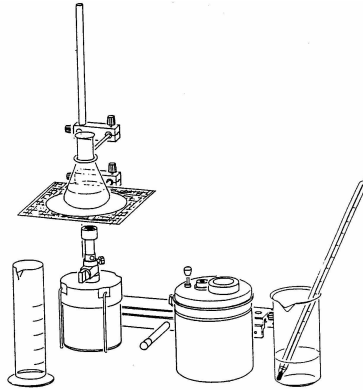
- Erhitze zuerst im Becherglas mit Hilfe des Brenners 200 ml Wasser auf etwa 80 °C.
- Danach schaltest du den Brenner ab.
- 100 ml von dem heißen Wasser schüttest du in den Styroporeinsatz des Kalorimeters. Die restlichen 100 ml Wasser leerst du hingegen in einen Aluminiumbecher.
- In beiden Gefäßen befindet sich jeweils ein Thermometer. Notiere alle 2 Minuten die Temperatur, die beide Thermometer anzeigen (**Tabelle!!!**). Mach das ungefähr 15 Minuten lang!

In welchem Gefäß kühlt sich das Wasser schneller ab und warum? Schreibe all deine Beobachtungen während des Versuchs ins Heft!

Arbeitsblatt 11: Mischtemperatur

Materialien: Erlenmeyerkolben, Bunsenbrenner, Kalorimeter, Thermometer, Wärmeschutznetz

Versuchsaufbau:



Versuchsgang:

- Erhitze im Erlenmeyerkolben 50 ml Wasser auf 70 °C.
- Währenddessen füllst du ebenfalls 50 ml kaltes Wasser in das Kalorimeter.
- Wenn das Wasser im Erlenmeyerkolben in etwa eine Temperatur von 70 °C aufweist, leerst du es zum kalten Wasser im Kalorimeter dazu.
- Rühr die Mischung um und lies die Mischtemperatur am Thermometer ab.

Wichtige Messungen während des Versuchs - Tabelle im Heft erstellen!:

- Die genaue Temperatur T_1 des warmen Wassers im Erlenmeyerkolben!
- Die genaue Temperatur T_2 des kalten Wassers im Kalorimeter!
- Die Mischtemperatur T

Nun wird der Versuch ein zweites Mal durchgeführt.

- Erhitze nun lediglich 40 ml Wasser im Erlenmeyerkolben auf 70 °C.
- In das Kalorimeter füllst du hingegen 80 ml kaltes Wasser ein.
- Wiederum sollst du die Mischtemperatur T bestimmen.

Auch bei diesem Versuch wird eine genaue Temperaturtabelle im Heft erstellt.

Fragen zum Versuch - Beantworte folgende Fragen schriftlich im Heft:

Bei welchem Versuch ist die Mischtemperatur höher?

Bei welchem Versuch gilt folgender Zusammenhang:

$$\text{die Mischtemperatur } T \text{ ist ungefähr } \frac{1}{2} \cdot (T_1 + T_2)$$

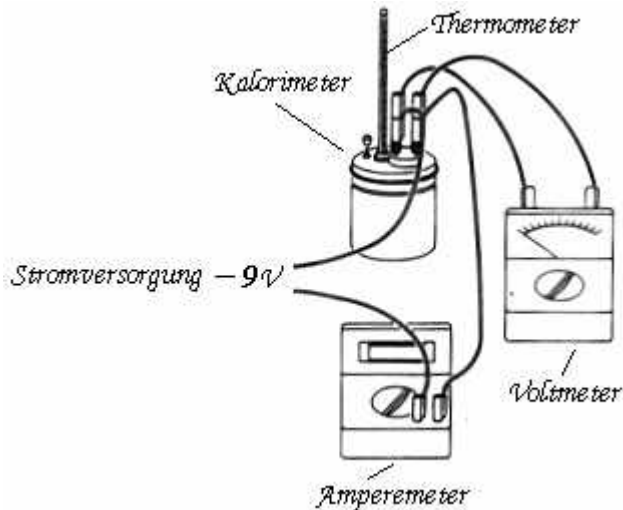
Berechne mit dieser Formeln beide Mischtemperaturen und vergleiche mit dem Versuchsergebnis!

Arbeitsblatt 12: Spezifische Wärme von Wasser

Dieser Versuch ist nur für die Oberstufe geeignet, da in der Unterstufe das Thema spezifische Wärme nur am Rande besprochen wird.

Materialien: Kalorimeter, Amperemeter, Voltmeter, Thermometer, Stoppuhr

Versuchsaufbau und Versuchsgang:



- Fülle in das Kalorimeter 100 ml Wasser ein.
- Stecke nun die Heizspirale des Kalorimeters in das Wasser und schließe es an die 9V Stromversorgung an. Die Stromversorgung bleibt allerdings noch ausgeschaltet.
- Damit du den Strom messen kannst, schalte ein Amperemeter in Reihe zum Kalorimeter und damit du die Spannung messen kannst, schaltest du ein Voltmeter parallel zum Kalorimeter in den Stromkreis.
- Mit Hilfe des Thermometers bestimmst du aber noch die Temperatur T_1 des kalten Wassers im Kalorimeter und notierst sie.

Wichtige Messung: Temperatur des kalten Wassers T_1 !

- Bitte den Lehrer deinen Aufbau zu überprüfen. Der Lehrer schaltet dann die Stromversorgung ein und du setzt zu selben Zeitpunkt die Stoppuhr in Betrieb.
- Lies während des Versuchs die Spannung und die Stromstärke an den Messgeräten ab.
- Erwärme das Wasser nun genau 200 Sekunden lang.
- Nach Ablauf der Zeit durchmischst du das Wasser mit Hilfe eines Rührers und bestimmst die Endtemperatur (aufschreiben!).

Trage alle zu messenden Größen in die Tabelle auf der nächsten Seite ein!

Auswertung:

Die zu messenden Größen:

Masse m des kalten Wassers	
Zeit t	200 s
Stromstärke I	
Spannung U	
Anfangstemperatur (Temp. des kalten Wassers) T ₁	
Endtemperatur (Temp. des warmen Wassers) T ₂	

- Berechne nun die Temperaturerhöhung (T₂ - T₁).
- Die elektrische Energie setzt sich aus der angelegten Spannung U, der Stromstärke I und der Zeit t wie folgt zusammen:

$$W = U \cdot I \cdot t$$

Welcher Wert ergibt sich für die elektrische Energie?

- Bilde nun den Quotienten $\frac{W}{T_2 - T_1}$. Das ist die Energie die du benötigst um deine Masse m um 1 °C zu erwärmen.
- Nun ist es ein Leichtes die spezifische Wärme von Wasser auszurechnen. Denn das ist jene Energie x, die man benötigt um 1 kg Wasser um 1 °C zu erwärmen. Schreibst du es in einem Verhältnis an, so erhältst du:

$$m : \frac{W}{T_2 - T_1} = 1 \text{ kg} : x$$

Aus dieser Beziehung rechnest du das x aus und du hast somit die spezifische Wärme von Wasser bestimmt.

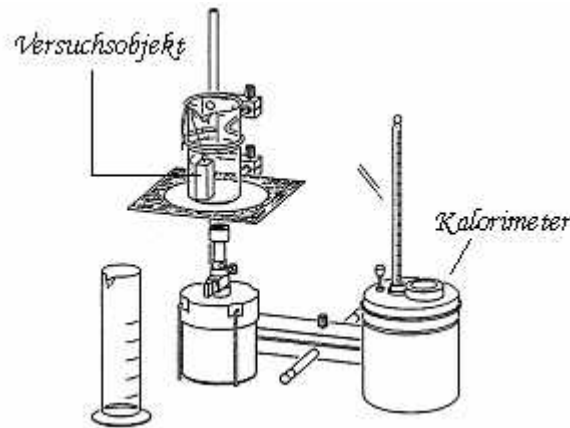
Der Literaturwert von der spezifischen Wärme des Wasser lautet 4186 J/kg°C. Dass diese beiden Werte von einander abweichen kann viele Gründe haben, denn bei diesem Versuch gibt es viele Fehlerquellen.

Arbeitsblatt 13: Spezifische Wärme fester Stoffe

Dieser Versuch ist nur für die Oberstufe geeignet, da in der Unterstufe das Thema spezifische Wärme nur am Rande besprochen wird.

Materialien: Becherglas, Bunsenbrenner, Kalorimeter, Thermometer, unbestimmte Masse (Versuchsobjekt), Wärmeschutznetz

Versuchsaufbau und Versuchsgang:



- Als erstes wiegst du die Masse m des Versuchsobjekts mittels einer Waage ab und hast somit das Gewicht bestimmt.
- Nun wird das Versuchsobjekt in ein Becherglas gegeben und anschließend vollständig mit Wasser bedeckt.
- Das Wasser im Becherglas erhitzt du nun mit dem Bunsenbrenner auf etwa $80\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Während das Wasser erwärmt wird, füllst du zirka 300 ml kaltes Wasser in ein Kalorimeter (Temperatur T_1 des kalten Wassers messen!).
- Nachdem die Endtemperatur T_2 im Becherglas von $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ erreicht worden ist, schaltest du den Brenner aus und mischst das Wasser mit Hilfe eines Rührers durch.
- Anschließend misst du die genaue Endtemperatur T_2 und notierst sie.
- Das heiße Versuchsobjekt nimmst du nun aus dem Becherglas heraus (VORSICHT heiß) und legst es in das Kalorimeter. Nach einigen Minuten misst du die Mischtemperatur T im Kalorimeter.

Trage alle zu messenden Größen in die Tabelle auf der nächsten Seite ein!

Auswertung:

Masse m des Versuchsobjekt	
Temperatur T_1 des kalten Wassers im Kalorimeter	
Masse des kalten Wassers im Kalorimeter	0,3 kg
Temperatur T_2 des erwärmten Versuchsobjekt	
Mischtemperatur T	

Setze deine gemessenen Werte in die folgende Formel ein und berechne das Verhältnis c_2/c_1 :

$$\frac{c_2}{c_1} = \frac{0,3(T - T_1)}{m(T_2 - T)}$$

c_1 ... spezifische Wärme von Wasser = 4,18 kJ/kg °C

c_2 ... spezifische Wärme vom Versuchsobjekt

m, T, T_1, T_2 ... siehe Tabelle

Wie lautet das Verhältnis?

Die Formel für die spezifische Wärme c_2 vom Versuchsobjekt lautet:

$$c_2 = \frac{0,3(T - T_1)}{m(T_2 - T)} \cdot c_1$$

Wie groß ist die spezifische Wärme c_2 vom Versuchsobjekt? Welche Einheit hat sie?

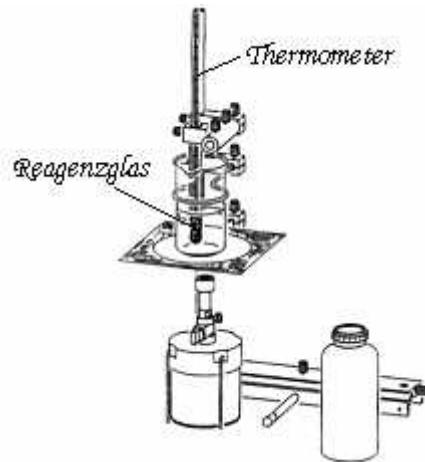
Vergleiche deinen c_2 – Wert mit den angegebenen Werten in der Tabelle. Aus welchem Material besteht das Versuchsobjekt?

Material	spezifische Wärme c [kJ/kg °C]
Aluminium	0,9
Bismut	0,123
Blei	0,128
Gold	0,126
Kupfer	0,386
Wolfram	0,134
Zink	0,387

Arbeitsblatt 14: Schmelztemperatur

Materialien: Wärmeschutznetz, Becherglas, Reagenzglas, Thermometer, Natriumthiosulfat, Bunsenbrenner

Versuchsaufbau und Versuchsgang:



- Fülle das Reagenzglas zu einem Drittel mit Natriumthiosulfat voll.
- Anschließend füllst du das Becherglas halbvoll mit Wasser.
- Das Reagenzglas (mit hineingestecktem Thermometer) stellst du nun aufrecht in das Becherglas.
- Diese Apparatur platzierst du nun auf einem Wärmeschutznetz über dem Brenner.
- Entzünde den Brenner und erwärme damit das Wasser im Becherglas und somit auch das Natriumthiosulfat.

Beantworte folgende Fragen schriftlich im Heft:

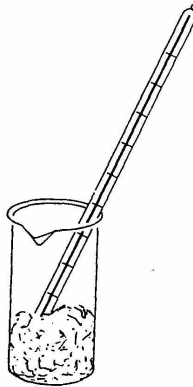
Fragen zum Versuch:

- 1.) *Bei welcher Temperatur beginnt das Natriumthiosulfat am Rande des Reagenzglases zu schmelzen?*
- 2.) *Bei welcher Temperatur steigt die Temperatur nicht mehr an? Wo liegt der Schmelzpunkt von Natriumthiosulfat?*
- 3.) *Ab welcher Temperatur beginnt die Temperatur wieder zu steigen. Warum steigt sie nun wieder an?*
- 4.) *Von welchem zu welchem Aggregatzustand ist das Natriumthiosulfat übergegangen ?*

Arbeitsblatt 15: Kältemischung

Materialien: Eisstücke, Becherglas, Thermometer

Versuchsaufbau:



Versuchsgang:

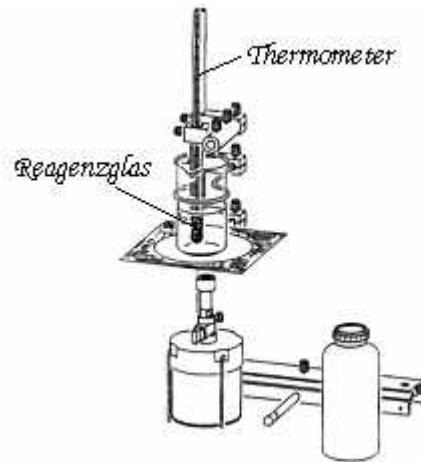
- Fülle das Becherglas etwa zu einem Drittel mit Eisstücken an und stecke das Thermometer in das Eis hinein, und zwar so, dass die Thermometerspitze rundherum von Eis umgeben ist.
- Das Eis hat eine Temperatur von 0°C . Das ist auch gleichzeitig der Schmelzpunkt von Eis.
- Nun gibst du etwas Kochsalz in das Becherglas hinein und beobachtest die Thermometeranzeige.

Was passiert? Was beobachtest du? Schreibe deine Beobachtung im Heft nieder und versuche deine Beobachtungen zu erklären und zu begründen!

Arbeitsblatt 16: Erstarrungswärme

Materialien: Wärmeschutznetz, Becherglas, Reagenzglas, Thermometer, Natriumthiosulfat, Bunsenbrenner

Versuchsaufbau:



Versuchsgang:

- Fülle das Reagenzglas zu einem Drittel mit Natriumthiosulfat voll.
- Anschließend füllst du das Becherglas halbvoll mit Wasser.
- Das Reagenzglas (mit hineingestecktem Thermometer) stellst du nun aufrecht in das Becherglas.
- Diese Apparatur platzierst du nun auf einem Wärmeschutznetz über dem Brenner.
- Entzünde den Brenner und erwärme damit das Wasser im Becherglas und somit auch das Natriumthiosulfat auf ca. 55 °C. Das Natriumthiosulfat wird flüssig.
- Nimm nun das Natriumthiosulfat aus dem Becherglas heraus und lass es wieder abkühlen. Füge einige Natriumthiosulfat-Kristalle dem flüssigen Natriumthiosulfat bei, damit die Erstarrung schneller eintritt (die hinzugefügten Kristalle wirken als Kristallisationskeime).
- Umgreif das Reagenzglas mit der Hand. Was merkst du?

Was beobachtest du? Vervollständige den Lückentext!

Die Temperatur der Mischung _____ beim Erstarren _____, da beim Erstarren die sogenannte _____ frei wird. Diese Erstarrungswärme ist die frei werdende _____.

Umfasst man das Reagenzglas mit der Hand, so kann man diese Wärme auch spüren. Die abgegebene Wärmemenge ist dieselbe, die beim Schmelzvorgang _____ werden muss.

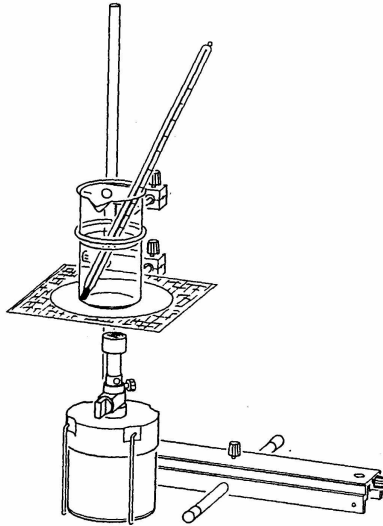
Folgende Wörter wurden im Text vergessen. Setze sie an der richtigen Stelle ein!

zugeführt --- steigt an --- Schmelzwärme --- Erstarrungswärme

Arbeitsblatt 17: Siedetemperatur von Wasser

Materialien: Wärmeschutznetz, Becherglas, Thermometer, Bunsenbrenner, Kochsalz

Versuchsaufbau:



Versuchsgang:

- Fülle das Becherglas mit 100 ml Wasser und platziere es anschließend auf dem Wärmeschutznetz.
- Erwärme das Wasser, bis es siedet und beobachte bei diesem Vorgang das Thermometer. Bei 100 °C (bei Normaldruck!!!) steigt dann die Temperatur des Wassers nicht weiter an, da die gesamte zugeführte Wärme zum Verdampfen des Wassers benötigt wird. Dies geschieht, wie gesagt bei 100 °C.
- Gib jetzt dem Wasser etwas Kochsalz bei.

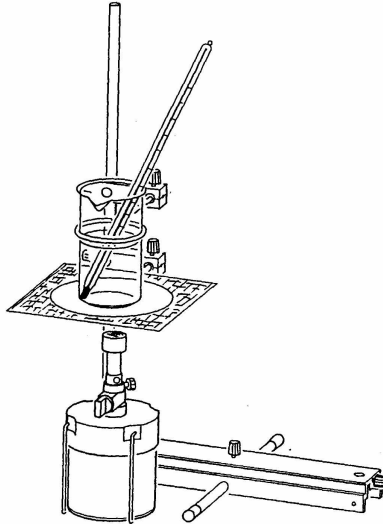
Was passiert? Schreibe deine Beobachtung im Heft nieder und versuche deine Beobachtungen zu erklären und zu begründen!

Arbeitsblatt 18: Verdampfungswärme

Dieser Versuch ist nur für die Oberstufe geeignet, da die Auswertung zu kompliziert für einen Unterstufenschüler ist.

Materialien: Wärmeschutznetz, Becherglas, Thermometer, Bunsenbrenner

Versuchsaufbau:



Versuchsgang:

- Fülle ein Becherglas mit genau 100 ml (=Masse m) Wasser.
- Erhitze jetzt das Wasser (mit beigelegtem Thermometer) im Becherglas mit Hilfe eines Bunsenbrenners. In dem Moment, wo du die Wärmezufuhr startest, schaltest du die Stoppuhr ein. Die Brennerflamme darf nun nicht mehr verändert werden, damit das Wasser gleichmäßig erwärmt wird.
- In einer **Tabelle** trägst du dann alle 2 Minuten die Temperatur ein, bis das Wasser siedet.
- Sobald der Siedepunkt erreicht ist, entfernst du das Thermometer und notierst den Zeitpunkt.
- Das Wasser soll genau noch 4 Minuten lang weiter verdampfen.
- Danach drehst du den Brenner ab und bestimmst die Masse m_1 des verdampften Wassers (= Masse m zu Beginn des Versuches MINUS der nach dem Verdampfen noch vorhandenen Masse des Wassers).

Führe die Auswertung auf der nächsten Seite gewissenhaft durch!

Auswertung:

Als erstes ermittelst du die Energie, die vom Brenner pro Sekunde an das Wasser abgegeben wird (entspricht der Brennerleistung!).

Dazu ermittelst du zunächst die Erwärmung des Wasser ΔT in 4 Minuten (lies das aus der, Tabelle ab, die du während des Versuchs erstellt hast):

Nun zur Brennerleistung. Die Leistungsberechnung ermöglicht folgende Formel:

$$P = \frac{mc_w \Delta T}{t} = \text{_____ W}$$

P ... Brennerleistung

m ... Masse des Wassers, bei uns 0,1 kg

t ... Zeitdauer, bei uns die 4 Minuten (= 240 s)

ΔT ... Temperaturerhöhung

c_w ... spezifische Wärme des Wassers

Aus der Zeitdauer der Verdampfung (4 Minuten) und der Brennerleistung P ergibt sich die zur Verdampfung von der Masse m_1 insgesamt benötigte Energie W:

$$W = P \cdot t = \text{_____ Joule}$$

Berechne nun aus der Masse m_1 des verdampften Wassers und der benötigten Energie W, die zur Verdampfung von 1 kg Wasser benötigte Energie, also die Verdampfungswärme q_v :

$$q_v = \frac{W}{m_1} = \text{_____ J / kg.}$$

m_1 ... Masse des verdampften Wassers

Tipp: Vergleiche den selbst ermittelten Wert für die Verdampfungswärme q_v mit dem Literaturwert!

Literaturwert: Verdampfungswärme von Wasser: 2,26 MJ/kg.

Um 1 kg Wasser zu verdampfen benötigt man also 2,26 MJ/kg (laut Literatur).