

WÄRMELEHRE

METHODISCH-DIDAKTISCHE

ÜBERLEGUNGEN

Helmuth Mayr

GRG 15, auf der Schmelz, 1150 Wien

Wien, 2003

INHALTSVERZEICHNIS

1	ALLGEMEINES	3
2	HINTERGRUND.....	3
3	VORARBEITEN	3
4	ALLER ANFANG IST SCHWER.....	4
5	MENSCHEN SIND FLASCHEN.....	4
6	DIE VIELFALT VON WARM UND KALT.....	5
7	WÜSTEN- UND ESKIMO -KLEIDUNG	6
8	DAS FINALE.....	7
9	ALPHA = OMEGA UND SCHÜLERINTERVIEWS	7
10	WAS HABE ICH AUS DEM GANZEN GELERNT?	7
11	WAS WÄRE, WENN.....	8
12	SCHLUSSBEMERKUNG.....	9
	ANHANG.....	10

1 ALLGEMEINES

Aus vielen Gesprächen mit Schülerinnen und Schülern bzw. mit Physik-Lehrerinnen und -Lehrern ist mir bekannt, dass die Wärmelehre in österreichischen AHS oftmals ziemlich stiefmütterlich behandelt wird. Im Zuge derartiger Gespräche habe ich erfahren, dass für viele Kolleginnen und Kollegen das Kapitel Wärmelehre in erster Linie als Erarbeitung der Gasgesetze und einiger sich daraus ergebender Folgerungen besteht. Leider sind mir nur sehr selten Lehrerpersönlichkeiten begegnet, die versucht hatten, den Wärmebegriff (auch) an Hand alltäglicher Vorgänge, etwa dem Wetter oder diversen technischen Aspekten – je nach Schülerinteresse – zu erarbeiten.

Ich selbst habe die Wärmelehre oftmals über Wetterphänomene, Schülervorstellungen, wie „Weltraumkälte“ oder ähnlichem eingeführt und bearbeitet. Bis zum Beginn des durch IMST² beobachteten projektorientierten Unterrichtes hatte ich Grundlegendes zum Thema Wärme noch nie über die Physik der Kleidung eingeführt.

Als sich im Rahmen von IMST² ergab, nicht nur diesen pädagogischen Pfad zu beschreiten, sondern auch noch zusätzlich eine wissenschaftlich orientierte Rückmeldung zu erhalten, gab's für mich kein Zaudern mehr. Ich beschloss, Grundlegendes über den Wärmebegriff an Hand der Physik der Kleidung erarbeiten zu lassen.

2 HINTERGRUND

In meiner damaligen Unterrichtssituation kam für mich nur eine Klasse in Frage, nämlich eine 6. Klasse unseres Realgymnasiums, die ich auch schon im Vorjahr unterrichtet hatte. Fast alle Schüler/innen dieser Klasse besuchten in der Unterstufe eine „Laborklasse“ unserer schulautonomen Unterstufenausprägung, d.h. sie waren es von der 3. und 4. Klasse her gewohnt, in Kleingruppen Experimente und zugehörige Aufgabenstellungen weitgehend selbstständig zu bearbeiten. Durch schulinterne Zufälligkeiten setzte sich diese Klasse nur aus drei Schülerinnen und 12 Schülern zusammen. Ich erhoffte mir, dass dadurch das Ausprobieren neuer Wege etwas erleichtert werden könnte.

3 VORARBEITEN

Natürlich wusste ich Grundlegendes über die Physik der Kleidung, aber für eine konsequente Erarbeitung der Basis der Wärmelehre war's mir persönlich etwas zu wenig. Daher versuchte ich per Internet und aus diversen Büchern Näheres zu erfahren. Unter anderem wurde ich im Lehrbuch „Biologische Physik“ von Helmuth Horvath (hpt; ISBN 3-209-00775-6) besonders fündig.

4 ALLER ANFANG IST SCHWER

Derart vorbereitet startete ich in den ersten Tagen nach den Weihnachtsferien 2001/02 mit einem Mindmapping zum Thema Kleidung. Dies beanspruchte eine volle Stunde, und die plenare Auswertung eine weitere. Der nächste Schritt war mir sozusagen „von außen“ vorgegeben, d.h. es wurden von der IMST²-Mitarbeiterin der Klasse zwei Probleme vorgelegt, die die Schüler/innen selbsttätig zu knacken hatten. Im Wesentlichen ging es darum, wie man eine Tropenpflanze so schützen kann, dass sie in den eisigen Norden verbracht werden bzw. wie man einen Eisblock so isolieren kann, dass man ihn unbeschadet aus dem Norden in den sonnigen Süden transportieren kann. Die Schüler/innen schrieben ihre Lösungen auf und in der folgenden Stunde (die gleichzeitig die letzte des betreffenden Wintersemesters war), wurde darüber ein Plenum abgehalten.

5 MENSCHEN SIND FLASCHEN

Das Sommersemester fing damit an, dass die Schüler/innen wassergefüllte Plastikflaschen verschiedener Größe als Modellmenschen akzeptierten. Aus der Erkenntnis, dass die durch Nahrungszufuhr umgesetzte Energie in großem Ausmaß für die Aufrechterhaltung der Körpertemperatur verwendet wird, wurde im Umkehrschluss festgestellt, dass ein Mensch (also die Flaschen), ohne Nahrungszufuhr auskühlen müsste. Daher wurde das Abkühlverhalten dieser Flaschen experimentell untersucht und graphisch dargestellt.

War's nur meine Ungeduld oder hatte ich die Sache unterschätzt ? Auf jeden Fall brauchten wir für diese Phase doppelt so lang, als ich dafür Zeit veranschlagt hatte.

Als nächsten Schritt untersuchten wir, wie sich die verschiedenen klimatischen Umgebungen auf diese Situation auswirken müssten. Dazu mussten die Lernenden durch die Realisierung diverser Ideen Modellexperimente für folgende Fälle entwickeln, ausführen und auswerten:

- Ein Nackter am Nordpol
- Ein Bekleideter am Nordpol
- Ein Nackter in gemäßigten Breiten
- Ein Bekleideter in gemäßigten Breiten
- Ein Nackter in den Tropen
- ein Bekleideter in den Tropen

Die Klasse gliederte sich in sechs Arbeitsgruppen, von denen jede nur eine der obigen „Nüsse knackte“. Über die Einzelergebnisse wurde plenar berichtet.

6 DIE VIELFALT VON WARM UND KALT

Die bisherigen Ergebnisse führten dazu, dass wir die Alltagsbegriffe „warm und kalt“ auf ihre vielfältige Bedeutung untersuchen konnten. Dies war eine eher lehrerzentrierte Lernphase, in der der menschliche „Warm-Kalt-Sinn“ nicht als eine Art Thermometer, sondern aus Zu- bzw. Abfluss eines Wärmestromes und auch die Unterschiedlichkeit der beiden Begriffe Temperatur und Wärme(Energie) verstanden werden sollte.

Dieser physikalische Hintergrund leitete zu den Wärmetransport-Phänomenen über, die in den darauf folgenden Stunden von den Schüler/innen experimentell untersucht und ausgewertet wurden.

Zunächst betrachteten wir eine Modell-Sonne, die auf einen Modell-Menschen scheint. Als Modellsonne dienten Infrarotlampen (die ich vor Jahren um billiges Geld bei einer Kaffeefirma für die Schule gekauft hatte). Als Modellmenschen dienten uns zwei Alkoholthermometer, ein schwarz ummanteltes und ein blankes. Die Schüler/innen untersuchten die Abhängigkeit der Thermometertemperatur von der Entfernung zur IR-Lampe, werteten dies graphisch aus und zogen ihre Schlüsse daraus.

Im Anschluss daran stellte ich ihnen die Aufgabe, das Wasser in einer Plastik-Eprouvette möglichst hoch zu erhitzen, ohne jedoch die hitzeempfindliche Eprouvette zu zerstören. Da die Klasse selbstständiges Experimentieren gewohnt war und auch den Umgang mit diversen offenen Flammen korrekt beherrschte, hatte ich keine Sicherheitsbedenken. Trotzdem war ich natürlich besonders auf der Hut, um allfällige unfallträchtige Detailsituationen zu verhindern. Daher führte ich während dieser Arbeitsphase zahlreiche „Physiksaalumkreisungen“ durch und gab da und dort einige Durchführungstipps.

Fast alle Schüler/innen verwendeten stiftartige Metallgegenstände, die ins Wasser der Eprouvette tauchten und von außen mittels diversen Flammen erhitzt wurden. Viele staunten nicht wenig, als sie feststellen mussten, dass die Halterung des Stiftes enorm viel Wärme ableitete, sodass sich das Wasser in der Eprouvette unerwartet wenig erwärmte. (Dass dazu auch die Abstrahlung einen wichtigen Beitrag lieferte konnten sie zu diesem Zeitpunkt noch nicht recht einsehen). Dies führte zu eher zeitraubenden Optimierungen der Stift-Halterungen. Die anschließende Diskussion der aufgestellten Erklärungsversuche führte zu den Rollen der Konvektion und der Wärmeleitung in einem System, benötigte allerdings sämtliche Stunden der ersten Märzwoche 2002, was zu einer neuerlichen Überschreitung meines Zeitplanes führte.

7 WÜSTEN- UND ESKIMO* -KLEIDUNG

Nun war sozusagen der Kern dieser Physik-Betrachtung erreicht, wir thematisierten erstmals die Physik der Kleidung selbst. Zunächst demonstrierte ich den Jugendlichen mittels Bildmaterial die Vielfalt der Kleidung, nicht ohne Erinnerungen an die Mindmap anzusprechen. Dann stellte ich insbesondere die Kleidung der Bewohner der Sahara und jene der Eskimos vor. Die Schüler/innen bekamen dann die Aufgabe, die Physik der weiten, nachthemdähnlichen Bekleidungen der Wüstenbewohner und auch jene der Eskimos zunächst verbal zu beschreiben und dann diverse Charakteristika, z.B. die Dicke der Fellärmel eines Eskimoanoraks, auf Grund der bisher erarbeiteten Zusammenhänge abzuschätzen.

Für die Lernenden bedeutete dies zunächst zu erkennen, welche Art des Wärmetransportes für diverse Vorgänge wichtig sind. Daraus - und mittels einiger von mir beigelegter Systemkonstanten - war ein Einstieg in die theoretische und zahlenwertmäßige Erfassung möglich. Dabei zeigte es sich, dass die für die Wüsten-Chellaba erhaltenen Werte durchaus im möglichen Rahmen lagen, die Dicke der Fellärmel mit mehr als 1 m jedoch viel zu groß war.

Daraus gewannen wir die Erkenntnis, dass für letzteren Fall unsere Modelle offensichtlich zu grob waren. Die ziemlich komplizierten Detailverhältnisse stellte ich anschließend zwar lehrerzentriert vor, verlange aber von den Schülern und Schülerinnen nicht, dass sie dies genau lernen und verstehen müssten.

Inzwischen war die erste Märzhälfte vorbei und ich legte resignierend meinen Zeitplan ad acta. Meine zeitlichen Verpflichtungen bei der Physikolympiade und die anschließenden Osterferien führten zu einigen Stundenausfällen und ich hatte mich zu entscheiden, ob ich das Projekt aus Zeitgründen aufgeben muss oder ob ich - infolge der Möglichkeiten der IMST²-Beobachtungen - es zu Ende führen und die in diesem Schuljahr nicht mehr behandelbaren Bildungsziele auf das nächste verschieben kann. Gestärkt durch ein Gespräch mit der Direktion entschied ich mich für letztere Möglichkeit.

* Der Verfasser hatte im August 1994 die Gelegenheit, in Nordkanada mit einer Frau zu sprechen, die sich selbst als „Eskimo“ bezeichnete. Auf die Frage, warum sie nicht „Innuit“ sagen würde, was ja der „political correctness“ entspräche, antwortete sie: „Die Innuit leben 200 km hinter diesem Hügel, ich selbst stamme aus dem Volk der Inuvalit und wir alle sind Eskimo, sprechen Eskimo und schreiben Eskimo. Die US-Amerikaner sollten sich besser informieren, bevor sie vorschnell sogenannte korrekte Begriffe einführen“. Seit dieser Zeit verwendet der Verfasser - nicht ohne Hinweis auf dieses Gespräch - stets den offensichtlich durchaus nicht despektierlichen Ausdruck „Eskimo“.

8 DAS FINALE

Nach den Osterferien wurden die Schüler/innen angehalten, Modellmensen im Wind experimentell zu untersuchen und auszuwerten. Dies führte uns ins Gebiet der Verdunstung bzw. der Phasenübergänge, das wir - bedingt durch die Stundenausfälle wegen meiner Verpflichtungen in der Physik-Olympiade - erst gegen Ende April zu Ende führen konnten.

Während dieser Zeit hatte ich einen Schulpraktikanten zu betreuen, der gegen Ende seines Praktikums eine Stunde übernahm, in der er Vorgänge rund um den Taupunkt von den Jugendlichen experimentell erarbeiten ließ. Die theoretische Einarbeitung führte ich dann in der folgenden Stunde durch.

Natürlich bot das Thema Taupunkt eine gute Gelegenheit, von trockener und feuchter Luft sowie von Wind und Wolken nebst diversen Niederschlägen zu reden, vor denen uns die geeignete Kleidung ja schützen soll. Dies wurde mit Hilfe vieler Bilder und Graphiken ziemlich lehrerzentriert an die Schüler/innen herangetragen, die die sich dadurch ergebende eher konsumierende Rolle offensichtlich als willkommene Abwechslung begrüßten.

Am Ende hatten wir die wesentlichsten Phänomene der Physik der Kleidung beisammen und verknüpften sie in einer Art Zusammenschau: Die Rolle der Wärmetransportphänomene und die sich ergebenden Wärmeströme einerseits und jene der Verdunstung udgl. durch Körperschweiß.

9 ALPHA = OMEGA UND SCHÜLERINTERVIEWS

Das Ende dieses Unterrichtsablaufes war durch zwei Ereignisse gekennzeichnet: Einerseits wurden die Schüler/innen von der IMST²-Vertreterin nochmals mit den anfänglich gestellten Problemen bzw. auch mit neuen konfrontiert und andererseits wurden Schüler/innen interviewt. Da es inzwischen Mai 2002 geworden war fiel dies in jene Zeit, in der ich wegen der Physikolympiade 15 Tage auswärts zu unterrichten hatte. Daher musste die bedauernswerte IMST²-Mitarbeiterin diese Tätigkeiten unter ziemlich ungünstigen Umständen durchführen, worüber sie aber an anderer Stelle selbst berichtet.

10 WAS HABE ICH AUS DEM GANZEN GELERNT?

Die reichhaltige Rückkopplung durch die IMST²-Aktivitäten gaben mir Detailinformationen über meinen Unterricht, die ich anders nie erhalten hätte. Dazu zählen - außer den „Selbstverständlichkeiten“, die sich durch die kritische Betrachtung der Videos von meinem akustischen und motorischen Unterrichtsverhalten ergeben - besonders jene Dokumentationen, in denen ich mitverfolgen konnte, wie die Schüler/innen auf meine Aufgabenstellungen reagiert hatten, welche Art von Kommunikation sie aufnahmen, insbesondere dann, wenn ich mit einer anderen als der aufgenommenen

Gruppe beschäftigt war und wie sie argumentierten bzw. wie leicht oder schwer ihnen die Umsetzung der gewonnenen Einsichten in allgemeinere physikalische Zusammenhänge gefallen ist.

Besonders wichtig erscheint mir dabei, dass die Jugendlichen zunächst oft eine Art Mischung aus Alltagssprache und Fachsprache verwendeten, die erst allmählich (und mit großen individuellen Unterschieden) in eine altergemäß entwickelte Fachsprache übergang. Für mich ist das eine Bestätigung meiner These, dass zunächst ein verbal ausdrückbares Verständnis eines Zusammenhanges aufgebaut werden muss, bevor anwendungsorientierte oder gar numerische Fragestellungen bearbeitet werden können.

Meine persönliche Zielsetzung im Physikunterricht war es stets, dass meine Schützlinge ein Problembewusstsein entwickeln lernen, dass sie Physik als die Wissenschaft von Modelleigenschaften verstehen, dass sie mit gewisser Kreativität und Beharrlichkeit Problemlösungen entwerfen, realisieren, verfolgen und zu einem (individuell verschiedenen) physikalisch korrekten Bild eines Systems kommen. Was ich jedoch keinesfalls anstrebe ist eine Ansammlung von lexikalischem Wissen.

Mir ist völlig bewusst, dass es ohne gewisses lexikalisches Grundwissen kein konzeptuales Verständnis physikalischer Vorgänge geben kann. In meinem praktischen Unterricht versuche ich daher ständig, diesen „Spagat“ zu bewerkstelligen, wobei mir klar ist, dass das Pendel einmal mehr auf die konzeptuale und ein andermal mehr auf die lexikalische Seite ausschwingt.

In diesem von IMST² untersuchten Unterrichtsablauf ist das Pendel sicherlich sehr auf die konzeptuale Seite hin ausgeschwungen.

11 WAS WÄRE, WENN...

Was wäre, wenn ich heute nochmals unter vergleichbaren Bedingungen die Wärmelehre mit der Physik der Kleidung an die Jugendlichen heranbringen könnte ? (Derzeit unterrichte ich in keiner Klasse, in der die Wärmelehre thematisiert werden soll).

Zweifellos müsste ich zeitlich raffen. Dies könnte ich nur durch Folgendes realisieren:

- Den Anfang deutlich weniger zeitaufwändig gestalten. Dies könnte durch etwas weniger offene Aufgabenstellungen und durch betontere Führung bei den Anfangsexperimenten geschehen, ohne dass ich mir dadurch größere Einbußen an Lerneffekten erwarte.
- Die Konvektion und die Wärmeleitung mit weniger experimentellem Aufwand einführen, d.h. sie nicht in einem „Kombi-Experiment“ gleichzeitig zu thematisieren, sondern hintereinander. Das „Auseinanderklauben“ dieser beiden Phänomene erfordert offensichtlich mehr Unterrichtszeit als das Zusammenfügen, also eher so, wie ich es bisher praktiziert hatte.

Ich hatte für meine persönliche Vorbereitung und vor allem zur Erstellung der Arbeitsunterlagen einen sehr großen Aufwand betrieben. Möglicherweise habe ich durch ein Zuviel an Vorbereitung ein „Zuviel“ in die Stunden eingebracht, ohne dass

es mir selbst bewusst geworden wäre. Hier würde ich mich wahrscheinlich zurück zu nehmen versuchen. (Ob mir das als eher perfektionistisch eingestelltem Menschen auch tatsächlich gelingt wage ich zu bezweifeln. Niemand kann auf Dauer über seinen Schatten springen).

12 SCHLUSSBEMERKUNG

Ich habe diese Art des Zugangs zur Wärmelehre sehr gerne durchgeführt. Einerseits habe ich selbst enorm viel dazu gelernt und andererseits glaube ich, dass die Schüler/-innen durchaus mitbekommen haben, dass die Physik unser tägliches Leben in einem Ausmaß diktiert, das uns gar nicht (mehr) bewusst ist. Das - so glaube ich - ist ein wichtiger Beitrag Physikunterricht interessant zu machen.

Und das gehört wohl zu den wichtigsten und schönsten Aufgaben, die wir Physiklehrer/-innen haben.

ANHANG

Wasser, Kunststoff und eine Flamme

PROBLEMSTELLUNG:

- In einer Kunststoff-Eprouvette befindet sich etwas Wasser.
- Die Eprouvette hält die Einwirkung einer Flamme nicht aus.
- Das Wasser in der Eprouvette soll mit Hilfe einer Flamme erwärmt werden.

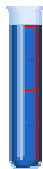
MATERIAL-LISTE:

1 Kunststoff-Eprouvette

1 „Flammen-Quelle“ nach Wahl und Verfügbarkeit

Wasser

weiteres Experimentiermaterial nach Bedarf und Verfügbarkeit



AUFGABE:

Erfinde und baue eine solche experimentelle Anordnung auf, mit der du das in der Eprouvette befindliche Wasser mit Hilfe der Flamme möglichst hoch erwärmen kannst !

Die erzielte Wassertemperatur muss gemessen werden.

Die Eprouvette darf keinesfalls durch die Flamme verändert oder zerstört werden !

ICH ERWARTE VON EUCH:

- * Beschreibung des Systems an Hand einer Strich-Skizze
- * Beschreibung der für die Wassererwärmung wichtigen Vorgänge
- * Angabe über die erzielte Wassertemperatur, der Erwärmungszeit, o.ä.

„Warme“ und „kalte“ Kleidung

1. Das Leben in der Wüste



In den Wüsten der Erde herrschen extreme Wetterbedingungen: mittags oft flirrende Hitze bis zu $+50^{\circ}\text{C}$ (und manchmal sogar mehr), in der Nacht allerdings fällt die Quecksilbersäule oftmals knapp unter den Gefrierpunkt. Dazu bläst ständig von irgend einer Seite der Wind, der sowohl heiß als auch kalt sein kann.

Wüstenbewohner haben seit vielen Generationen ihr Leben und ihre Kleidung an diese Klimabedingungen angepasst.

Die traditionelle Bekleidung der Wüstenbewohner besteht im Wesentlichen aus „nachthemdartigen“, weiten Umhängen, unter denen außer ebenfalls weiten Hosen kaum ein weiteres Kleidungsstück getragen wird.

Die Männerbekleidung heißt in Nordafrika „Chellaba“ und wird aus dickeren Wollstoffarten gefertigt, während der sogenannte „Kaftan“ den Frauen vorbehalten ist und aus etwas dünneren Wollstoffarten hergestellt wird.

Europäische Wüsten-Touristen stellen oft verblüfft fest, dass die traditionelle Wüstenkleidung in der flirrenden Wüstenhitze wesentlich „kühler“ ist als die in Europa übliche Sommerbekleidung.



AUFGABE:

Kläre auf der Basis aller bisher gewonnenen Einsichten über „die Wärme“, warum in der Wüstenhitze ein Chellaba kühler als ein Sommeranzug bzw. ein Kaftan kühler als ein Sommerkleid ist !

2. Leben in Eis und Schnee



In arktischen Gefilden dauert der Sommer nur wenige Wochen, in denen die Sonne nicht untergeht und in denen es erstaunlich warm sein kann.

Die meiste Zeit des Jahres herrschen allerdings Temperaturen unter dem Gefrierpunkt, wobei während des arktischen Winters ohne weiteres -40°C und weniger vorkommen können.

Die Bewohner dieser Erdgegenden haben seit vielen Generationen ihr Leben und ihre Kleidung an diese Klimabedingungen angepasst.

Die traditionelle Bekleidung besteht für beide Geschlechter aus fellgefütterten Hosen und Anoraks. (Erst seit einigen Jahrzehnten ist im nordamerikanischen und westeuropäischen Norden die Fellfütterung durch Kunststofffüllungen (z.B. Polyurethan-Flocken) ersetzt worden, die sich allerdings in ehemaligen sowjetischen Regionen noch nicht durchgesetzt haben).

AUFGABEN:

1. Kläre auf der Basis aller bisher gewonnenen Einsichten über „die Wärme“, nach welchen physikalischen Prinzipien die „Eskimo-Kleidung“ funktioniert !
2. Schätze auf Grund geeignet getroffener Annahmen und einer Rechnung sowie den tieferstehenden Daten ab, wie dick mindestens die Fellkleidung sein muss, damit ein erwachsener Mensch bei einer Außen-Temperatur von -40°C überleben kann !

(Wie realistisch ist das Ergebnis ? Was könnte der Grund für ein unrealistisches Ergebnis sein ?)

DATEN:

- Erwachsene Menschen geben im Mittel eine Wärmeleistung von zirka 50 W bis 60 W an die Umgebung ab.
- Die Wärmeleitfähigkeit von Luft, Haaren oder Fell ist annähernd gleich groß, nämlich zirka 0,25 W/m.K [d.h. dass eine 1 m dicke Schicht aus Fell bei einem Temperaturunterschied von 1K einen Wärmestrom von 0,25 W erlaubt].
- Für die Wärmestrahlung zwischen einem Körper mit der Temperatur T_1 und der Umgebungstemperatur T_2 gilt in diesem Fall näherungsweise:
$$P \approx A \cdot \sigma \cdot (T_1^4 - T_2^4)$$
- A strahlende Fläche
- $\sigma \approx 6 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ [d.h. 1 m² Fläche strahlt bei 1K Temperaturunterschied mit einer Leistung von $6 \cdot 10^{-8} \text{ W}$]

Ein Modell - Mensch im Wind

Im folgenden Experiment wird ein Mensch durch eine wasserbefüllte Eprovette experimentell modelliert und dessen Verhalten bei „Windstille“ bzw. im „Wind“ untersucht.

MATERIAL-LISTE:

1 Eprovette	<i>Papierblätter zum „Fächeln“ (oder ähnliches)</i>
1 Trichter	
1 elektrisches Thermometer	
1 Satz Stativmaterial	
1 Messglas (aus Plastik)	
1 Stoppuhr	
sehr warmes Wasser	
Putzpapier	

VORGANG:

- Die Eprovette wird mit Stativmaterial lotrecht eingespannt, mit einer bestimmten Menge von sehr warmen Wasser befüllt, die anfängliche Wassertemperatur T_1 wird gemessen und die Stoppuhr eingeschaltet.
- Nach einer bestimmten Zeitspanne Δt ist die Wassertemperatur auf einen deutlich unterschiedlichen Wert T_2 gesunken.
- Anschließend wird dasselbe Experiment mit möglichst gleichen Anfangsbedingungen (Wassermenge, Anfangstemperatur !) wiederholt. Allerdings wird jetzt mit einem Blatt Papier oder ähnlichem während der oben festgelegten Zeitspanne Δt ein möglichst starker Luftstrom erzeugt. Dadurch sinkt die Wassertemperatur *während derselben Zeitspanne Δt* auf den Wert T_3 .

THEORIE:

Um 1 kg Wasser um 1°C zu erwärmen bzw. abzukühlen muss 4187 J zugeführt oder abgegeben werden. Man sagt: Wasser hat die „spezifische Wärme“ $c = 4187 \text{ J/kg.K}$. Folglich gilt für die Wärme-Energie Q eines (festen oder flüssigen) Körpers allgemein:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

AUFGABEN:

1. Bestimme die Wärme-Energie Q_1 , die beim Abkühlen **ohne** „Fächeln“ vom Wasser an die Umgebung abgegeben wird.
2. Bestimme die Wärme-Energie Q_2 , die beim Abkühlen **mit** „Fächeln“ vom Wasser an die Umgebung abgegeben wird.
3. ERKLÄRE (in Worten), wie der gemessene Unterschied zustande kommt !

Warum ?

AN EINEM KALTEN WINTERTAG

hat ein Familienmitglied vergessen, die offenen Fenster nach dem Lüften zu schließen, sodass die eiskalte Winterluft den Raum stundenlang abgekühlt hat.

Natürlich wurden daraufhin sofort alle Fenster geschlossen und die Heizung auf „volle Kraft“ aufgedreht, sodass bereits nach 10 Minuten das Zimmer-Thermometer eine Lufttemperatur von 24°C angezeigt hat.

Obwohl dies eine an sich „wohlig“ Raumtemperatur ist, „fröstelt“ es alle Familienmitglieder, die sich in üblicher Wohnungsbekleidung in diesem Zimmer aufhalten.

Warum ?

HELLE UND DUNKLE HEIZKÖRPER

Das Kirchhoff-Gesetz besagt, dass unter sonst gleichen Verhältnissen dunklere Körper mehr Wärme-Energie abstrahlen als helle.

Warum sind trotzdem die Radiatoren der Zentralheizung weiß und nicht schwarz ?

ZWEI „VERPACKTE“ EISWÜRFEL

Zwei gleich große und gleich kalte Eiswürfel werden „verpackt“. Das heißt, der eine wird mit Silberpapier (= Aluminiumfolie) ummantelt, der andere mit einem Stück aus dickem Wollstoff. Dann werden die beiden bei einer Raumtemperatur von +20°C an einem Faden aufgehängt.

Welcher der beiden Eiswürfel ist zuerst geschmolzen ?

Warum ?

EIN HYPOTHETISCHER SCHUSS

Um 1 kg Blei um 1°C zu erwärmen ist eine Wärme-Energie von 129 J nötig. Blei schmilzt bei einer Temperatur von 327°C. Um 1 kg Blei (das bereits Schmelztemperatur hat !) vollständig vom festen in den flüssigen Zustand über zu führen ist eine Energie von 23 000 J nötig.

- Mit welcher Geschwindigkeit müsste eine Bleikugel (mit der Ausgangstemperatur $T_1 = 20^\circ\text{C}$) eine Wand treffen, damit sie durch den Aufprall vollständig geschmolzen würde ?
- Ist so ein Vorgang realistisch oder nicht ? Warum ?