

Entwurf zur zweiten benoteten Lehrprobe im Fach Physik

Schule:	Gymnasium zu St. Katharinen Oppenheim
Klasse:	9X
Raum:	Ph S2 (=Raumnr. 134)
Zeit:	3. Stunde 9:40-10:25 Uhr
Fachlehrer:	eigenverantwortlich
Ausbildungsleiter:	
Fachleiter:	
Vertreter der Seminarleitung:	

Thema der Stunde: Die spezifische Wärmekapazität von Wasser

Inhaltsverzeichnis

1 Lernziele	2
2 Geplanter Unterrichtsverlauf	3
3 Bemerkungen zur Lerngruppe	4
4 Didaktische Entscheidungen	5
5 Methodische Entscheidungen	6
A Geplantes Folienbild I	9
B Geplantes Folienbild II	10
C Arbeitsblatt	10
D Hausaufgaben	11

1 Lernziele

Die Schülerinnen und Schüler¹ sollen...

- in Anknüpfung an die vorhergehende Unterrichtsstunde erkennen, dass zur Erhöhung der Temperatur von Wasser Energie in Form von Wärme zugeführt werden muss,
- intuitiv erkennen, dass die benötigte Energie proportional zur erwärmten Wassermenge ist,
- einen Versuchsaufbau in seiner Planung nachvollziehen und den Versuch durchführen können, der zeigt, dass die benötigte Energie darüber hinaus proportional zur Temperaturerhöhung ist,
- aus der Betrachtung der Messwerte schließlich erkennen, dass sich die Energie nach der Formel $E = c \cdot m \cdot \Delta\theta$ berechnen lässt, wobei c die stoffspezifische Wärmekapazität ist,
- diese Formel in der Folge für praktische Rechnungen einsetzen können.

¹Im Folgenden nur noch „Schüler“.

2 Geplanter Unterrichtsverlauf

LS	ZEIT	INHALT
1	9:40	Einstieg/Problemstellung: Projektion einer Abbildung des schuleigenen Lehrschwimmbeckens. „Kommt Euch dies bekannt vor?“ „Es ist nicht selbstverständlich, dass eine Schule ein eigenes Lehrschwimmbecken besitzt. Was kostet wohl der Unterhalt eines solchen Schwimmbeckens? Was kostet es konkret, das Wasser auf die nötige Temperatur zu erwärmen?“
2	9:45	Erarbeitung/Hinführung: Herausarbeiten von gegebenen und gesuchten Größen, Sicherung im Folienaufschrieb. „Was muss man tun, um die Temperatur von Wasser zu erhöhen?“ „Wie führe ich dem Wasser Energie zu?“ „Wie hängt die Energie von der Wassermasse ab?“ „Wie könnte die Energie/Wärme von der Temperaturänderung abhängen?“
3	9:48	Erarbeitung eines geeigneten Versuchsaufbaus: „Welche Größen müssen gemessen werden?“
4	9:50	Erarbeitung: Schülerversuche zur Messung der Temperaturerhöhung einer gegebenen Wassermenge in Abhängigkeit von der zugeführten Energie Eine Gruppe überträgt ihre Messwerte auf OH-Folie.
5	10:05	Auswertung: Betrachtung des Zusammenhangs zwischen Temperaturerhöhung und zugeführter Energie. Ggf. Bekanntgabe von $E = c \cdot m \cdot \Delta\theta$. „Welche Energie wird benötigt, um die gleiche Menge Wasser um 10 K zu erwärmen?“ „Welche Energie ist dann nötig, um nicht 0,2l sondern 1l um diese Temperaturdifferenz zu erwärmen?“
6	10:10	Erarbeitung: Berechnung der spezifischen Wärmekapazität „Berechnet nun für jede Messung c !“
7	10:15	Sicherung: LV und FA zur spezifischen Wärmekapazität. Bekanntgabe des Literaturwertes für c_{Wasser} und Diskussion der Abweichung davon im Experiment „ c ist größer als der Literaturwert. Wir haben also mehr Energie für gleiche Wassermenge und Temperaturerhöhung gebraucht als andere vor uns. Was haben wir nicht beachtet? Wo ist die Energie geblieben?“
8	10:20	Vertiefung: Berechnung der benötigten Energie und – sofern noch Zeit vorhanden – der Kosten der Erwärmung des Wassers in einem Schwimmbecken.
9	10:24	Hausaufgabe: Zwei Aufgaben auf Aufgabenblatt.

3 Bemerkungen zur Lerngruppe

Seit Beginn des Schulhalbjahres unterrichte ich die jeweils 13 Schülerinnen und Schüler der Klasse 9X. In dieser Zeit hat sich ein sehr angenehmes Unterrichtsklima entwickelt, was ich gerade im Vergleich zu den anderen von mir eigenverantwortlich unterrichteten Klassen als sehr wohltuend empfinde. Ich unterrichte gerne in der 9X und die Klasse hat sichtlich Freude am Physikunterricht.

Das erfreulich gute Lehrer-Schüler-Verhältnis mag durch mein Aufnehmen von Schülerfragen und Anregungen im Unterricht, durch die Berücksichtigung von individuellen Problemen der Schüler oder durch meine Nachsicht bei der Durchführung und Korrektur der schriftlichen Hausaufgabenüberprüfung entstanden sein, aber vielleicht – so ist zu hoffen – auch durch einen interessanten, durch zahlreiche Experimente geprägten Physikunterricht. In jedem Fall besteht bei Schülerinnen *und* Schülern Interesse an den Naturwissenschaften, nicht nur an Physik sondern auch, wie mir berichtet wird, an Chemie.

Praktisch äußert sich das Interesse der Schüler in einer hohen Bereitschaft zur Teilnahme am Unterrichtsgespräch, an Schülerversuchen oder an Demonstrationsexperimenten. Selbst wenn sich ein Versuch unvorhergesehen lange hinzieht, bleibt die Klasse geduldig und ruhig.

Offensichtlich sind die Schüler alt und verständnisvoll genug, um meine Persönlichkeit mit ihren Eigenheiten in der Lehrerrolle zu akzeptieren. So hat mir die Klassenlehrerin zu meiner Freude und Überraschung vor kurzem den ausdrücklichen Wunsch der Klasse übermittelt, auch in der Jahrgangsstufe 10 von mir in Physik unterrichtet zu werden. Mich hat diese Toleranz und Sympathie von Seiten der Schüler mit dazu bewogen, in der Klasse 9X zu einem späteren Zeitpunkt meine Examensreihe durchzuführen.

Was das Leistungsvermögen betrifft, würde ich die Klasse als durchschnittlich einordnen. Dabei sticht A besonders durch seine naturwissenschaftlichen Vorkenntnisse hervor. B, C und D zeigen ebenfalls sehr gute Leistungen, wobei sich der Letztgenannte nur selten am Unterrichtsgespräch beteiligt. Ich schätze Burkhard jedoch als sehr leistungsfähig ein, weshalb ich ihn gegebenenfalls bei schwierigen mathematischen Fragestellungen in dieser Stunde auch ohne Meldung aufrufen werde. Weniger gute schriftliche Leistungen gezeigt haben E, F, G und H. Abgesehen von H wird dies jedoch durch häufige Beteiligung am Unterricht ausgeglichen. Erwähnen sollte ich noch I, die stets einen abwesenden, verträumten Eindruck macht, sich noch nie gemeldet hat und auch nach Aufforderung still und unbeteiligt bleibt. Ihre schriftlichen Leistungen sind durchschnittlich, so werde ich mich darauf beschränken, sie von Zeit zu Zeit aufzurufen und auf eine Antwort zu hoffen.

Das physikalische Vorwissen der Schüler hat sich meist als tragfähig erwiesen. Da ich die Klasse jedoch erst seit diesem Halbjahr unterrichte, weiß ich nicht, welche Kenntnisse und Bezeichnungen der Klasse aus der Mecha-

nik vertraut sind, zumal das Vorgehen dort stark von der unterrichtenden Lehrkraft abhängt. Hier muss ich für diese Stunde darauf vorbereitet sein, die Erinnerungen der Schüler aufzufrischen. Starke Defizite haben sich in der Vergangenheit im Bereich der Mathematik offenbart. Dies habe ich bei meinen methodischen Entscheidungen berücksichtigt.

4 Didaktische Entscheidungen

Der zentrale Inhalt dieser Stunde soll die Erhöhung der Temperatur eines Körpers infolge zugeführter Energie sein. Ausführlicher formuliert führt die zugeführte Energie in Form von Wärme zu einer größeren inneren Energie des Körpers, die sich in einer erhöhten Temperatur manifestiert. Den eigentlichen Hintergrund dieser Stunde bildet demnach das Prinzip der Energieerhaltung, das den Schülern als ein zentrales physikalisches Prinzip aus der Klasse 8 bekannt sein sollte [1]. Um mich in diesem Punkt zu versichern, wurden die unterschiedlichen Energieformen (Lageenergie, Bewegungsenergie) in der vorangegangenen wiederholt; gleichzeitig wurde die innere Energie neu eingeführt und der Zusammenhang zwischen Temperatur, Teilchenbewegung und innerer Energie im Modell dargestellt.

Obwohl das Thema für das zweite Halbjahr der Klasse 9 die Kalorik, also Wärmelehre, ist, blieb bisher weitgehend offen, was unter „Wärme“ zu verstehen ist. Der Begriff ist in seiner Bedeutung umstritten: Herkömmlicherweise bezeichnet man damit die Energie, die infolge einer Temperaturdifferenz von einem Körper auf einen anderen übergeht [1]. Das Lehrbuch *Dorn-Bader* zieht den Vergleich mit einer Banküberweisung und dem Vermögen auf einem Konto: Jedesmal handele es sich um Geld. Entsprechend heiße die Energie, die ein Körper hat, *innere Energie* und die Energie, „die unterwegs ist“, *Wärme* [2, S. 230]. Es gibt eine grundlegend andere Position in der Fachdidaktik, die die Wärme mit der Größe Entropie identifiziert.² Allein aus praktischen Überlegungen muss ich diese Vorgehensweise in meinem Unterricht weitgehend unbeachtet lassen: Das eingeführte Lehrbuch [3] und der Lehrplan für Rheinland-Pfalz [1] folgen dem herkömmlichen Weg und nicht zuletzt bindet mich das schulische Umfeld, zumal ich als Referendar vermutlich nur dieses halbe Jahr in der Klasse unterrichte.

Mir scheint die Problematik verwandt zu sein mit der Frage, welche Rolle man in der Mechanik der Größe „Arbeit“ zumisst. Für mich in einer extremen Position ist die „Arbeit“ entbehrlich. An ihre Stelle tritt die konsequente Betrachtung der Energie eines Systems. Durch Umwandlung oder

²Grundlegend hierzu das einführende Lehrbuch von Georg Job: *Neudarstellung der Wärmelehre. Die Entropie als Wärme*. Frankfurt 1972. Die Idee ist in zahlreichen späteren Arbeiten und Veröffentlichungen aufgegriffen worden, maßgeblich propagiert wird sie in Deutschland von Friedrich Herrmann. In dem von ihm herausgegebenen Lehrbuchwerk *Der Karlsruher Physikkurs* findet die Idee ihre entschiedenste Umsetzung [5].

Übertragung in eine andere Energieform bleibt die Gesamtenergie stets konstant. Die Reduktion der Anzahl von Begriffen und Größen kann in meinen Augen für die Schulphysik nur zu einer gewünschten Vereinfachung führen. In diesem Sinne werde ich den Schülern mitteilen, dass die aufgrund einer Temperaturdifferenz übertragene Energie auch mit dem Begriff „Wärme“ belegt wird, dass es sich aber dabei im Kern um Energie handelt. Die Energie eignet sich als einzige Größe sowohl zur Beschreibung des Zustandes eines Systems wie zur Beschreibung der zu- oder abgeführten Energiemenge. Allein der Energieerhaltungssatz legt schon nahe, von ein und demselben zu sprechen. Konsequenterweise verwende ich als Abkürzung für die Wärme im Sinne der übertragenden Energie die Größenbezeichnung E .³ Da die Wärme definitiv keine Stoffeigenschaft ist, müsste man im Bezug auf das Thema dieser Stunde strenggenommen von Energiekapazität anstelle von Wärmekapazität sprechen [2, S. 231]. Allein die Verbreitung und Akzeptanz der traditionellen Bezeichnung hindern mich daran.

Praktisch wird in dieser Stunde ohnehin nicht die theoretische Betrachtung sondern vielmehr die Messung und die anschließende mathematische Beschreibung des Zusammenhangs im Mittelpunkt stehen. Unabhängig von der eben skizzierten Diskussion erweist es sich für den Alltag und die physikalische Praxis als sehr nützlich, den Zusammenhang zwischen Energie und Temperaturerhöhung zu kennen. Das Messen von Temperaturen mittels verschiedener Skalen war bereits Inhalt in den vergangenen Stunden. Nun soll es in dieser Stunde gelingen, auch die für eine Temperaturerhöhung nötige Energiezufuhr bestimmen zu können. Die Energie wird mess- bzw. errechenbar. Da die Energieressourcen begrenzt sind und Energie bezahlt werden muss, liegt die Bedeutung für die Schüler auf der Hand.

5 Methodische Entscheidungen

Am Beginn der Stunde steht die Konfrontation der Schüler mit einer nicht abwegigen Problemstellung: Was kostet es, das Schulschwimmbecken auf die nötige Temperatur zu erwärmen? Die Schüler sind nun gefordert, das Problem mit ihren physikalischen Kenntnissen zu lösen. Aus der vergangenen Stunde sollten sie wissen, dass eine höhere Temperatur mit einer größeren inneren Energie einhergeht. Diese Energie muss dem Wasser zugeführt werden. In den Mittelpunkt rückt also die Frage, nach der benötigten Energie.

Sobald die Schüler dies erkannt haben, werde ich die Problemstellung durch die Mitteilung der relevanten Größen konkretisieren. In einem Folienaufschrieb sollen gegebene und gesuchte Größen festgehalten werden. Mit der Frage nach dem „Wieviel“ ist die Suche nach einem mathematischen Zu-

³Das Formelzeichen ist in der Literatur gerade im Bezug zur Verwendung im Zusammenhang mit der spezifischen Wärmekapazität vollkommen uneinheitlich. Man findet W , ΔE , W_Q und Q [1, 2, 3, 4, 5].

sammenhang verbunden. Ich gehe davon aus, in Anbetracht der fehlenden Übung der Schüler einige Hilfestellungen im stark gelenkten Unterrichtsgespräch geben zu müssen. Es geht darum zu erkennen, dass die Energie offensichtlich proportional von der Wassermasse abhängig ist.⁴ Dass die Energie weiterhin durch die gewünschte Temperaturdifferenz bedingt wird, liegt nahe. In welcher Form hier ein Zusammenhang besteht, soll ein Versuch zeigen.

Diesen Versuch sollen die Schüler selbst in Gruppen durchführen. Dazu stehen in den Schränken Geräte und Zubehör bereit. Ich werde mich darauf beschränken, die benötigten Teile aufzuzählen und auf ihren Standort hinzuweisen. Weitere Hinweise gibt ein Arbeitsblatt, das die Schülern erhalten und auf dem sie eine Tabelle auszufüllen haben. Der Versuch erfolgt in Anlehnung an Unterlagen der Lehrmittelfirma LEYBOLD [6]. Dabei wird ein Heizwiderstand ($R = 15 \Omega$) an ein Netzgerät (12 V) angeschlossen und die Temperaturerhöhung in einem mit 200 g Wasser gefüllten Kalorimeter in Abhängigkeit von der Zeit und somit der zugeführten Energie gemessen. Alternativ hätten die Versuche auch mit haushaltsüblichen Wasserkochern oder Tauchsiedern durchgeführt werden können. Diese Geräte wären den Schülern als Alltagsgegenstände vertraut gewesen; sie hätten weiterhin den Vorteil geboten, eine größere Wassermenge erhitzen zu können. Eine größere Wassermenge führt zu einem günstigeren Verhältnis von Volumen zu Oberfläche und damit zu einem geringeren Einfluss der Wärmekapazität des Behälters. Durch die deutlich höhere Leistung wäre auch die Zeitdauer für die Durchführung trotz größerer Wassermenge verkürzt worden. Problematisch sind Wasserkocher aus Sicherheitsaspekten zu beurteilen. Hier erweist sich die geringe Spannung und Temperatur (zwischen 20 und 30 °C) im gewählten Versuchsaufbau als Vorteil. Letztlich musste die Entscheidung sich aber auch an den praktischen Gegebenheiten orientieren: In der Sammlung standen keine Wasserkocher wohl aber Heizwiderstände in hinreichender Zahl zur Verfügung.

Der schwierigste Teil der Stunde wird für mich die Auswertung der Versuchsergebnisse sein. Es geht nicht allein darum, die Proportionalität zu erkennen – dies traue ich den Schülern ohne weiteres zu –, sondern es gilt darüber hinaus, die Proportionalitätskonstante zu bestimmen. Der herkömmliche Weg für Physiker besteht darin, die Energie über dem Produkt aus Masse und Temperaturdifferenz aufzutragen und aus der Steigung die Proportionalitätskonstante, hier die spezifische Wärmekapazität, abzulesen. Allein die fehlende Kenntnis der Schüler, eine Geradensteigung zu ermitteln, verhindert dieses Vorgehen. So bleibt nur der Weg über die Betrachtung der Quotientengleichheit. Um dies zu motivieren, müssen jedoch enge Vorgaben durch mich im Lehrervortrag gemacht werden. Wichtig ist

⁴Teilweise wird vorgeschlagen, auch die Proportionalität zwischen zugeführter Energie und Wassermasse im Versuch zu bestätigen [3]. Dieser Zusammenhang lässt sich aber auch rein argumentativ auf Grundlage der Erfahrungen der Schüler verdeutlichen.

mir dann, dass die Schüler – sofern es die Zeit zulässt – den Quotienten c für ihre Messungen selbst berechnen und miteinander vergleichen. Erschwerend für die Versuchsauswertung erweist sich die vernachlässigte Wärmekapazität des Kalorimeters. In der Versuchsbeschreibung des Herstellers wird sie unterschlagen [6]. Tatsächlich macht sie sich im Messergebnis durch eine etwa 15%ige Abweichung vom Literaturwert bemerkbar. Ich hatte überlegt, den Wert für die Wärmekapazität des Behälters im Vorfeld zu errechnen und den Schülern bekanntzugeben, dies jedoch wieder verworfen. Eine Diskussion der Abweichung vom Literaturwert sollte die Schüler im Nachhinein auf den systematischen Fehler aufmerksam machen.

Das Ergebnis wird im Folienaufschrieb durch mich gesichert, wobei ich im Lehrervortrag darauf hinweisen werde, dass die Wärmekapazität eine materialspezifische Größe ist.

Abschließend soll die Verwendung des gefundenen Zusammenhangs am Beispiel der eingangs gestellten Problemstellung geübt werden. Sofern es die Zeit zulässt, können über die benötigte Energie hinaus die Kosten hierfür berechnet werden. Da es sich hierbei jedoch in erster Linie um mathematische Größenumformungen und Einsetzungen handelt, könnte dieser Schritt auch in die Hausaufgaben verlagert werden.

Ansonsten ist als Hausaufgabe ein Arbeitsblatt vorbereitet, das ein Nachvollziehen des Vorgehens in der Stunde mit einem haushaltüblichen Wasserkocher und eine Rechenübungsaufgabe für die spezifische Wärmekapazität vorsieht.

Literatur

- [1] Lehrplan-Entwürfe Lernbereich Naturwissenschaften. Biologie, Physik, Chemie. Orientierungsstufe (Klassen 5-6), Hauptschule, Realschule, Gymnasium (Klassen 7-9/10). [Lehrplan für Rheinland-Pfalz]
- [2] FRANZ BADER/HEINZ-WERNER OBERHOLZ (Hg.): *Dorn Bader. Physik. Gymnasium Sek. I.* Hannover 2001.
- [3] GERD BOYSEN U. A.: *Physik für Gymnasien. Sekundarstufe I. Länderausgabe C.* Teilband 2, Neubearbeitung. Berlin 1995. [Eingeführtes Lehrbuch]
- [4] WILHELM BRENDTHAUER U. A.: *Impulse Physik, Klasse 8-10, Ausgabe Rheinland-Pfalz.* Stuttgart 2003.
- [5] FRIEDRICH HERRMANN (Hg.): *Der Karlsruher Physikkurs.* Teil 1. *Energie, Impuls, Entropie.* Köln 1998.
- [6] *Leybold-Heraeus. Schüler Versuche Physik.* Loseblattsammlung. Versuch 0603: Spezifische Wärmekapazität von Wasser.

A Geplantes Folienbild I

WAS KOSTET ES, EIN SCHWIMMBECKEN ZU ERWÄRMEN?



Gegeben:

LÄNGE:	16,67 m	WASSERVOLUMEN:	136,7 m ³
BREITE:	8,00 m (ohne Treppenbereich)	WASSERMASSE:	136 700 kg
TIEFE:	0,85 bis 1,20 m	gewünschte Temperaturerhöhung:	15 °C → 30 °C $\Delta\theta = 15$ K

Gesucht:

Energie E

$$E \sim m$$

$$E \sim \Delta\theta ?$$

Die Energie (Wärme) E die ich einer gegebenen Masse m zuführen muss, um eine Temperaturerhöhung $\Delta\theta$ zu erhalten, errechnet sich wie folgt: $E = c \cdot m \cdot \Delta\theta$
 c ist die spezifische Wärmekapazität. $c_{Wasser} = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$

$$E_{Schwimmbad} = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \cdot 136\,700 \text{ kg} \cdot 15 \text{ K} = 8\,591\,595 \text{ kJ}$$

$$1 \text{ J} = 1 \text{ Ws} \qquad \qquad \qquad = 8\,591\,595 \text{ kWs}$$

$$1 \text{ h} = 3600 \text{ s} \qquad 1 \text{ s} = \frac{1}{3600} \text{ h} \qquad \qquad = 2\,386 \text{ kWh}$$

$$\text{Energiekosten: } 0,15 \text{ €/kWh} \cdot 2\,386 \text{ kWh} = 358 \text{ €}$$

B Geplantes Folienbild II

$$m_{\text{Wasser}} = 0,2 \text{ kg}$$

t in s	$E = P \cdot t$ in J	θ in °C	$\Delta\theta$ in K	$c = \frac{E}{m \cdot \Delta\theta}$ in $\frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$
0	0	20,7	0	0
120	1200	22,0	1,3	4,6
240	2400	23,2	2,5	4,8
360	3600	24,5	3,8	4,7
480	4800	25,5	4,8	5,0

$$E = c \cdot m \cdot \Delta\theta$$

c ist konstant!

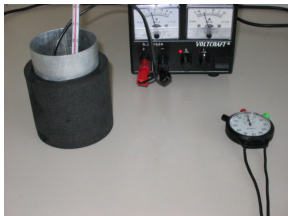
C Arbeitsblatt

Aufbau wie im nebenstehenden Bild, Wassermenge $m = 200 \text{ g}$ (200 ml abmessen). Die Stoppuhr wird gestartet, sobald der Heizvorgang beginnt.

Den Heizwiderstand vollständig ins Wasser eintauchen; seine Leistung P beträgt ca. 10 Watt, dazu müssen am Netzgerät $U = 12 \text{ V}$ und $I \approx 0,9 \text{ A}$ eingestellt sein.

Während der gesamten Messung kontinuierlich rühren, damit im Wasser überall gleiche Temperatur herrscht.

Alle $t = 120 \text{ s}$ Temperatur θ ablesen und in die Tabelle eintragen (Anfangstemperatur nicht vergessen)!



t in s	$E = P \cdot t$ in J	θ in °C	$\Delta\theta$ in K	
0	0		0	
120	1200			
240	2400			
360	3600			
480	4800			

D Hausaufgaben

1. Überprüfe die Leistungsangabe auf dem Wasserkocher oder Tauchsieder bei Euch zu Hause! Fülle 1 kg Wasser ein und stoppe die Zeit, die benötigt wird, um das Wasser von Zimmertemperatur (Schätzen oder Messen!) bis zum Siedepunkt zu erhitzen. Erkläre gegebenenfalls die Abweichungen zwischen Versuch und Rechnung!
2. Berechne aus den Angaben in der Tabelle die spezifische Wärmekapazität von Glycerin und vervollständige die Tabelle:

Masse des Glycerins	Temperaturerhöhung	Zugeführte Energie
1,5 kg	5 K	17,93 kJ
2,0 kg	10 K	
1,0 kg		2,39 kJ
0,5 kg		2,39 kJ
1,5 kg		14,34 kJ
	10 K	15,00 kJ
	15 K	100,00 kJ