

Umwandlung mechanischer Arbeit in Wärme

Stichworte: mechanisches Wärmeäquivalent, Energieerhaltungssatz

1 Grundlagen

Bei Reibungsvorgängen entsteht Wärme aus mechanischer Arbeit. Nach dem Satz von der Erhaltung der Energie ist die so erzeugte Wärmeenergie gleich der dafür verbrauchten mechanischen Arbeit.

In unserem Experiment werden Wasser und einige Geräteteile durch einen Reibungsvorgang erwärmt. Die stufenweise zugeführte (Reibungs-)Arbeit und die jeweiligen Werte der Temperatur können gemessen werden. Das Experiment liefert damit einen Zusammenhang zwischen Arbeitszufuhr und Temperaturanstieg des Systems.

Wird einem System von Körpern die Wärmemenge ΔQ und die Arbeit ΔW zugeführt, so wächst seine innere Energie um

$$\Delta U = \Delta Q + \Delta W \quad (1)$$

wenn dem System weder Wärme zugeführt noch entzogen wird (wenn also $\Delta Q = 0$ ist), gilt daher:

$$\Delta U = \Delta W \quad (2)$$

1.1 Umwandlung mechanischer Arbeit in Wärmeenergie

Bei unserem Experiment wird durch die Arbeit ΔW gegen die Reibungskräfte (zwischen dem Kupferband und der Kupfertrommel) die innere Energie U des Systems vergrößert; es entsteht „Reibungswärme“, die sich in einer Temperaturerhöhung der Kupfertrommel, der Wasserfüllung und anderer Körper äußert.

☞ Überlegen Sie, welche Körper durch den Reibungsvorgang erwärmt werden!

Diese durch die Reibungsarbeit erwärmten Körper bilden das „System von Körpern“, auf das sich unsere Überlegungen beziehen.

Um die Wärmeeinflüsse der Umgebung (der Luft u. a.) auf das System möglichst klein zu machen, beginnen Sie das Experiment mit einer Wassertemperatur, die einige K ($^{\circ}\text{C}$) unter der Lufttemperatur im Praktikumsraum liegt, und beenden das Experiment bei einer Wassertemperatur, die ebensoviel über der Lufttemperatur liegt. Die Wärmezufuhr aus der umgebenden Luft und der Wärmeverlust in die Luft gleichen sich dann im Verlauf des Experiments weitgehend aus ($\Delta Q \approx 0$), so daß die Gleichung 2 mit guter Näherung anwendbar ist.

Der bei dem Experiment beobachtete Temperaturanstieg ΔT hängt mit der gesamten Wärmekapazität C_g des Systems und mit der Erhöhung ΔU der inneren Energie zusammen:

$$\Delta U = C_g \cdot \Delta T \quad (3)$$

Aus Gl. 2 und Gl. 3 folgt:

$$\Delta W = C_g \cdot \Delta T \quad (4)$$

☞ Informieren Sie sich genau über die Bedeutung des Begriffes „Wärmekapazität“! Unter welchen Bedingungen ist die Gleichung 3 gültig?

Die Reibungsarbeit ΔW (die sich in innere Energie, nämlich in Wärmeenergie, umsetzt) läßt sich aus der Masse m des angehängten Wägestückes, der Fallbeschleunigung g , der Anzahl der Umdrehungen k und dem Trommeldurchmesser d berechnen:

$$\Delta W = m \cdot g \cdot k \cdot d \cdot \pi \quad (5)$$

wobei vorausgesetzt ist, dass das Wägestück beim Drehen der Trommel über dem Boden „schwebt“ und die Feder (am oberen Ende des Kupferbandes) entspannt ist.

☞ Überlegen Sie: Wie lässt sich die Gleichung 5 begründen; und wieso ist es dafür von Bedeutung, dass die Feder entspannt ist?

1.2 Wärmekapazität des Systems

Je öfter die Trommel gedreht wird, je mehr Reibungsarbeit ΔW geliefert wird, um so größer ist die Temperaturerhöhung ΔT .

☞ Nehmen wir nun an, bei Ihrem Experiment ergibt sich (innerhalb der Fehlergrenzen), dass der Temperaturanstieg ΔT der Reibungsarbeit ΔW proportional ist:
Was bedeutet dies für die Wärmekapazität C_g des Systems?

1.3 Spezifische Wärmekapazität von Wasser und Kupfer

Die gesamte Wärmekapazität C_g des Systems setzt sich aus der Wärmekapazität C_w des Wassers, der Wärmekapazität C_{CU} der Kupferteile (Band, Trommel, Verschlusschraube) und der Wärmekapazität C_{Th} des Thermometers zusammen.

$$C_g = C_w + C_{CU} + C_{th} \quad (6)$$

Die Gl. 4 und Gl. 6 ergeben:

$$\Delta W = (C_w + C_{CU} + C_{th}) \cdot \Delta T \quad (7)$$

Für die Wärmekapazitäten C_w und C_{CU} gilt:

$$C_w = c_w \cdot m_w \quad c_w = \text{spezifische Wärmekapazität von Wasser (soll bestimmt werden)} \quad (8)$$

$$C_{CU} = c_{CU} \cdot m_{CU} \quad c_{CU} = \text{spezifische Wärmekapazität von Kupfer} \quad (9)$$

$$m_w \text{ und } m_{CU} = \text{Masse des Wasser und der Kupferteile}$$

☞ Informieren Sie sich genau über die Bedeutung des Begriffes „spezifische Wärmekapazität“!

Wärmekapazität des Thermometers: $C_{th} = 0,8 \cdot 10^{-3} \cdot 4186 \text{ J/K}$

Die spezifischen Wärmekapazitäten von Kupfer und (flüssigem) Wasser lassen sich in speziellen Experimenten vergleichen (Temperaturausgleich im Kalorimetergefäß, „Mischungsregel“!). Hier das Ergebnis:

$$c_{CU} : c_w = 0,0915 : 1 \quad (10)$$

Die Kupfermasse m_{CU} (Gl. 8) setzt sich aus der Masse m_O leeren Kupfertrommel (mit Verschlusschraube, ohne Thermometer) und der Masse m_B des Kupferbandes zusammen:

$$m_A = m_O + m_B \quad (11)$$

Aus den Gleichungen 7, 8, 9, 10 und Gl. 11 lässt sich eine Formel für die gesuchte spezifische Wärmekapazität c_w von Wasser gewinnen.

☞ Leiten Sie diese Formel her! Die Formel wird bei der Auswertung des Experimentes gebraucht!

Ist c_w bekannt, so lässt sich mit Gl. 10 auch die spezifische Wärmekapazität c_{CU} von Kupfer bestimmen. Ähnlich kann es auch bei anderen Materialien gemacht werden.

2 Versuchsbeschreibung und Durchführung

Eine Kupfertrommel mit Thermometer wird in waagerechter Achsenlage mit einer Handkurbel angetrieben. Der für das Experiment wichtige Reibungsvorgang spielt sich zwischen der Kupfertrommel (die mit Wasser gefüllt wird) und einem mehrmals um die Trommel geschlungenen Kupferband ab. An dem einen Ende des Bandes hängt ein Wägestück, das andere Ende ist über eine Feder (mit Stift) mit der Grundplatte verbunden. Bei geeigneter Durchführung „schwebt“ das Wägestück über dem Boden (d. h. es wird weder hochgezogen, noch sinkt es ab - ohne die Unterlage zu berühren) und zwar bei möglichst entspannter Feder.

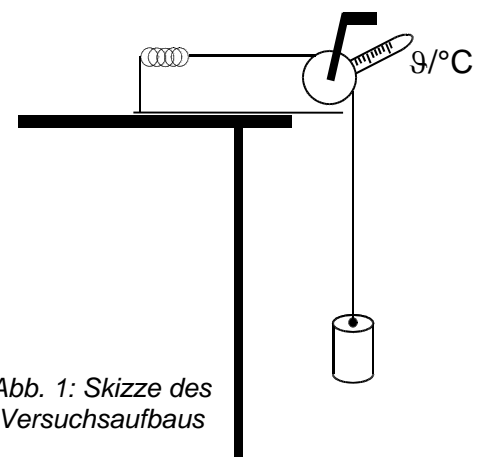


Abb. 1: Skizze des Versuchsaufbaus

Hinweise zur Durchführung

- Bitte Vorsicht beim Umgang mit dem Thermometer!
- Achten Sie darauf, dass die Kupfertrommel an der Reibfläche blank ist (evtl. Metallputzmittel verwenden!).
- Bestimmen Sie den Außendurchmesser d der Trommel (Messschieber).
- Bestimmen Sie mit einer Waage die Masse m_0 der leeren Kupfertrommel (mit Verschlusschraube, ohne Thermometer), ebenso die Masse m_B des Kupferbandes.
- Füllen Sie die Kupfertrommel mit Wasser (50g bis 60g); trocknen Sie evtl. übergelaufenes Wasser gut ab. Die Wassertemperatur sollte etwa 5°C unter der Lufttemperatur im Praktikumsraum liegen. Bestimmen Sie die Masse m_l der Kupfertrommel mit Wasserfüllung (mit Verschlusschraube, ohne Thermometer)
- Setzen Sie das Thermometer ein und befestigen Sie die Kupfertrommel am Isolierstoff-Flansch; achten Sie auf eine horizontale Lage der Trommelachse. Schlingen Sie das Kupferband ca. 2 mal um die Trommel (glatte Auflage!). Hängen Sie das eine Ende des Bandes an die Feder (Stift in ein Loch stecken). Hängen Sie das 5 kg Wägestück mit der Schnur an das andere, herabhängende Ende des Bandes.
- Prüfen Sie durch langsames Drehen der Kurbel die richtige Funktion:
Das Wägestück muss beim Drehen frei über dem Boden „schweben“, die Feder soll möglichst entspannt sein (regulieren Sie eventuell nach: Stecken Sie den Stift in ein anderes Loch). Eine evtl. geringe Spannkraft der Feder braucht nicht berücksichtigt werden. Drehen Sie so lange, bis die Temperatur des Wassers etwa 3°C bis 4°C unter der Temperatur der Luft im Praktikumsraum liegt (diese Umdrehungen werden noch nicht mitgerechnet).
- Lesen Sie nun die Anfangstemperatur recht genau ab und beginnen Sie dann unmittelbar mit dem „gezählten“ Drehen. Lesen Sie jeweils nach 20 Umdrehungen die Temperatur möglichst genau ab (nur kurze Unterbrechungen zum Ablesen!).
- Drehen Sie so solange, bis die Temperatur ebenso weit **über** der Lufttemperatur liegt, wie die Anfangstemperatur **darunter** lag. In diesem Fall kann man von der Wärmeübertragung aus der Umgebung bzw. in die Umgebung absehen.

Günstig ist es, das Experiment zweimal durchzuführen (andere Wassermasse - darauf achten, dass das Thermometer in das Wasser eintaucht! - andere Anfangs- und Endtemperaturen).

3. Auswertung

- Berechnen Sie (nach Gl. 5) die Werte der Reibungsarbeit ΔW , die dem System stufenweise (bei 20, 40, 60.....Umdrehungen) zugeführt wurde, und stellen Sie diese Werte in einer Tabelle mit den entsprechenden Werten der Temperaturerhöhung ΔT zusammen ($\Delta T = \Delta \vartheta$, die Differenz der absoluten Temperaturen ist gleich der Differenz der entsprechenden Celsius-Temperaturen).
- Stellen Sie den Zusammenhang zwischen ΔW und ΔT grafisch dar (siehe 1.1 Umwandlung mech. Arbeit in Wärme).
- Entwickeln Sie aus diesem Zusammenhang eine Aussage über die Wärmekapazität C_g des Systems. Welchen Wert (bzw. welche Werte) hat diese (siehe 1.2 Wärmekapazität).
- Berechnen Sie aus m_l und m_0 die Masse m_w der Wasserfüllung. Entwickeln Sie aus den Gleichungen 7, 8, 9, 10, 11 eine Formel für die spezifische Wärmekapazität c_w von Wasser und berechnen Sie diese. Verwenden Sie die Werte, die Sie aus der Steigung der Ausgleichsgeraden für das $\vartheta(k)$ -Diagramm gewinnen (siehe 1.3 spezif. Wärmekapazität von Wasser und von Kupfer).
- Berechnen Sie die spezifische Wärmekapazität von Kupfer (siehe 1.3 spezif. Wärmekapazität von Wasser und von Kupfer).

Literatur:

Leybold Gerätekarte: *Gerät zur Bestimmung des mechanischen Wärmeäquivalents*

Unterschrift (Prof./Lehrbeauftragt.): _____

Name(n):	Kurs:	Gruppe: Datum:
Messwertprotokoll zum Versuch: <i>Umwandlung mechanischer Arbeit in Wärme</i>		

	Versuch 1		Versuch 2	
Außendurchmesser der Kupfertrommel:	d =		d =	
Masse der leeren Kupfertrommel: (mit Verschlusschraube, ohne Thermometer)	m ₀ =		m ₀ =	
Masse des Kupferbandes	m _B =		m _B =	
Masse der Kupfertrommel mit Wasserfüllung (mit Verschlusschraube, ohne Thermometer)	m ₁ =		m ₁ =	
Masse des Wägestückes	m =		m =	
Wärmekapazität des Thermometers (wird beim Versuchsaufbau angegeben)	c _{Th} =		c _{Th} =	
Lufttemperatur im Praktikumsraum während des Experiments	ϑ _L =		ϑ _L =	

k	Versuch 1 ϑ/°C	Versuch 2 ϑ/°C
0		
20		
40		
60		