

Kalorik

Wärme als Energieform

Umwandlung von mechanischer Energie in Wärme

LD
Handblätter
Physik

P2.3.3.2

Umwandlung von mechanischer Energie in Wärmeenergie

Aufzeichnung und Auswertung mit CASSY

Versuchsziele

- Aufzeichnung der Temperaturerhöhung des Kalorimeters verursacht durch Reibung.
- Auswertung der verrichteten mechanischen Arbeit sowie der durch die Erwärmung erhaltenen thermischen Energie.
- Vergleich der beiden Energieformen sowie Nachweis der Äquivalenz zwischen beiden Energieformen.

Versuchsbeschreibung

Die Energie gehört zu den fundamentalen Größen der Physik. Energie tritt in unterschiedlichen Erscheinungsformen auf, die sich ineinander umwandeln lassen. Die gesamte Energie bleibt bei Umwandlungsprozessen in einem abgeschlossenen System erhalten.

In diesem Versuch wird die Äquivalenz von mechanischer Energie E_m und thermischer Energie E_{th} experimentell nachgewiesen. Dazu wird im Experiment durch Kurbeln gegen die Reibungskraft mechanische Arbeit E_m verrichtet. Dies führt zu

einer Temperaturerhöhung des Kalorimeters und damit zu einer Erhöhung der thermischen Energie E_{th} . Durch die Messung der Temperatur ϑ und der Anzahl der Umdrehungen können die beiden Energieformen mit den Einheiten Newtonmeter (Nm) und Joule (J) quantitativ erfasst werden, so dass ihre zahlenmäßige Äquivalenz experimentell nachweisbar wird: $E_m = E_{th}$.

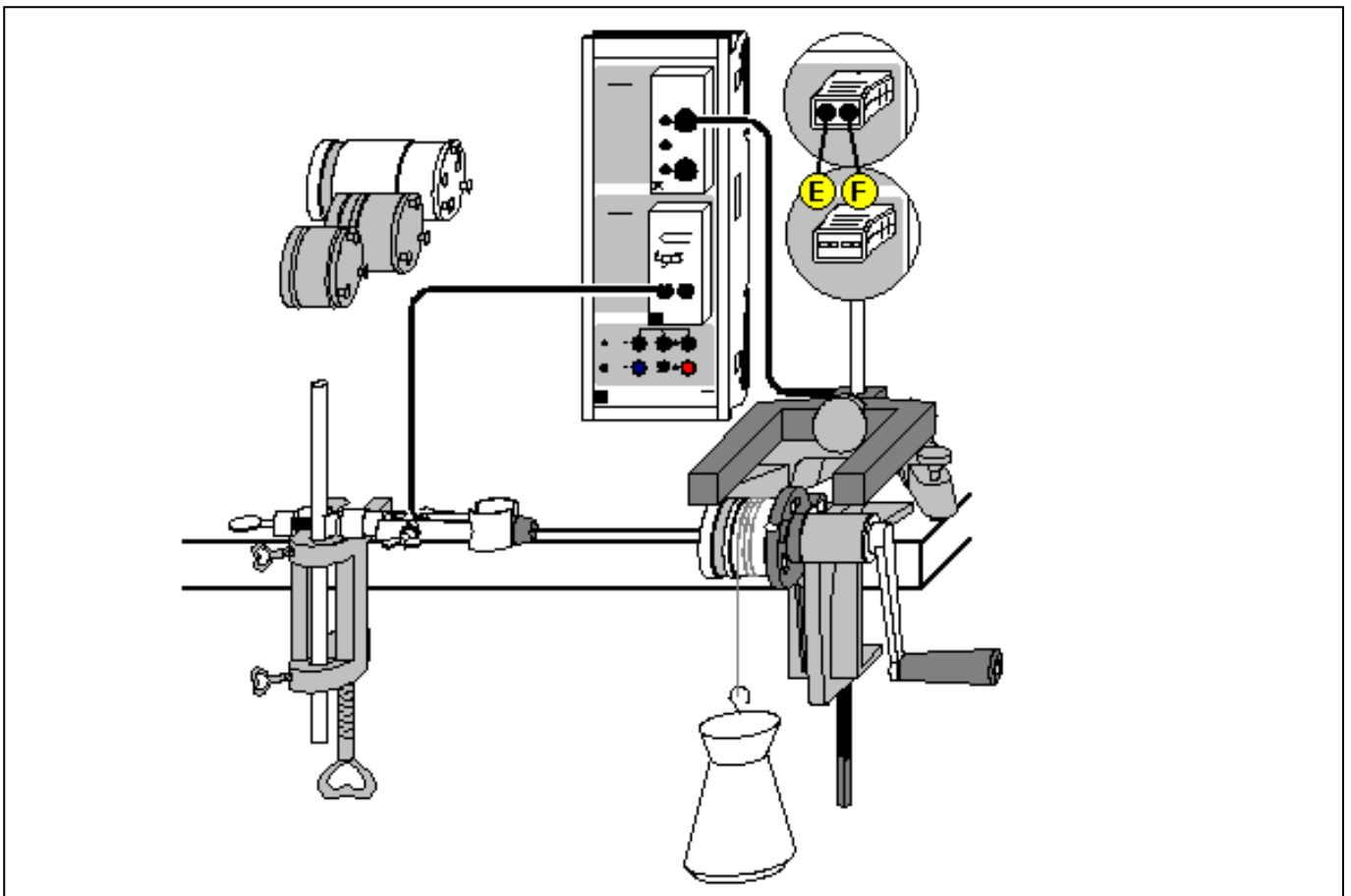


Abb. 1: Versuchsaufbau: Umwandlung von mechanischer Energie in Wärmeenergie.

Geräte

1 Sensor-CASSY.....	524 010/13
1 CASSY Lab 2	524 220
1 Timer-Box	524 034
oder	
1 Timer S	524 074
1 Temperatur-Box	524 045
1 Temperaturfühler NiCr-Ni	666 193
oder	
1 NiCr-Ni-Adapter S	524 0673
1 Temperaturfühler NiCr-Ni, Type K	529 676
1 Gabellichtschranke, infrarot.....	337 46
1 Verbindungskabel, 6-polig, 1,5 m	501 16
1 Wärmeäquivalent-Grundgerät	388 00
1 Kalorimete	
z.B.	
Wasserkalorimeter	388 01
oder	
Kupferkalorimeter mit Heizung.....	388 02
oder	
Aluminiumkalorimeter mit Heizung.....	388 03
oder	
Großes Aluminiumkalorimeter mit Heizung.....	388 04
1 Tischklemme, einfach.....	301 07
1 Kleiner Stativfuß, V-förmig	300 02
1 Stativstange, 10 cm	300 40
1 Stativstange, 25 cm	300 41
1 Muffe mit Klemme.....	301 11
1 Wägestück mit Haken, 5 kg	388 24
1 PC mit Windows XP/Vista/7	

Sicherheitshinweis

Standort des Experimentators so wählen, dass Verletzungen durch ein versehentliches Herabfallen des 5 kg-Wägestücks ausgeschlossen sind.

Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau ist in Abb. 1 dargestellt. Wärmeäquivalent-Grundgerät an einer Tischcke befestigen.

Tischklemme an der Tischkante im Abstand von ca. 40 cm zur Kunststoffhalterung des Grundgerätes befestigen. Muffe mit Klemme mit Hilfe des Stativstange 25 cm zur späteren Fixierung des Temperaturfühlers entsprechend Abbildung einspannen.

Kalorimeter mit der Bohrung nach oben aufstellen und Wasser in die Öffnung einfüllen.

Dichtung in Bohrung einsetzen und mit Verschlusschraube festhalten.

Gefüllten Kalorimeterkörper ins Grundgerät einsetzen. Dazu Nietzapfen am Boden des Kalorimeters in die Schlitze der Kunststoffhalterung stecken und so drehen, dass sie einrasten und der Kalorimeterkörper fest sitzt.

Temperaturfühler so weit wie möglich in die Kalorimeteröffnung einführen und Verschlusschraube des Kalorimeters anziehen. Temperaturfühler mit dem bereits vorbereiteten Stativmaterial entsprechend Abbildung fixieren.

5 kg-Wägestück unterhalb den Kalorimeterkörper stellen.

Das Nylonband ca. 4 (maximal 6) Mal um das Kalorimeter wickeln und an dem auf dem Boden stehenden Wägestück 5 kg befestigen. Das Wägestück soll an der Kurbelseite nach vorne herunterhängen.



Kurbel betätigen und überprüfen, ob das 5 kg-Wägestück um einige cm angehoben wird und bei weiterem Drehen auf einer konstanten Höhe gehalten wird. Falls es zu weit angehoben wird, Windungszahl des Nylonbandes verringern; hebt es nicht vom Boden ab, Anzahl der Windungen erhöhen.

Gabellichtschranke zur Messung der Umdrehungen N_{A1} (=Anzahl der Verdunklungen) mit Hilfe des Stativfußes entsprechend Abbildung positionieren und über die Timer-Box an den Eingang A des Sensor-CASSYs anschließen.

Temperaturfühler zur Messung der Temperatur ϑ_{B11} über die Temperatur-Box (Buchse T_1) am Eingang B des Sensor-CASSYs anschließen.

Versuchsdurchführung

Während der Messung dreht man die Kurbel und es wird die steigende Temperatur sowie die Anzahl der Umdrehungen aufgenommen. Dabei hängt das 5 kg schwere Wägestück in der Luft. Es übt eine Kraft aus, gegen die man bei der Drehung mechanische Arbeit leistet. Diese wird durch Reibung in Wärme umgewandelt.

- Einstellungen in CASSY Lab laden.
- Umdrehungen auf Null stellen, dazu in [Einstellungen NA1](#) $\rightarrow 0 \leftarrow$ betätigen.
- Messung mit  starten.
- Kurbel drehen und Temperaturzunahme in Abhängigkeit von den durchgeführten Umdrehungen messen.
- Messung bei gewünschter Endtemperatur ϑ_{B11} wieder mit  stoppen.

Auswertung

Bereits während der Messung wird die Temperatur ϑ_{B11} als Funktion der Umdrehungen N_{A1} grafisch dargestellt. Im vorbereiteten Diagramm **Auswertung** (vergl. Abb. 3) wird die thermische Energie gegen die mechanische Energie aufgetragen, welche beim Kurbeln gegen die Reibung aufgebracht wurde. Die mechanische Energie E_m ergibt sich aus dem Produkt von Reibungskraft F und dem zurückgelegten Weg s :

$$E_m = F \cdot s$$

$$\text{mit } F = m \cdot g$$

$$F = \text{Reibungskraft}$$

$$m = \text{Masse des Wägestücks} = 5 \text{ kg}$$

$$g = \text{Erdbeschleunigung} = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$\text{und } s = N \cdot d \cdot \pi$$

$$s = \text{Reibungsweg}$$

$$N = \text{Zahl der Umdrehungen}$$

$$d = \text{Durchmesser des Kalorimeters} = 0,047 \text{ m}$$

$$\text{Damit gilt nun für die mechanische Energie: } E_m = m \cdot g \cdot d \cdot \pi \cdot N.$$

Die Zunahme der thermischen Energie in Folge der Temperaturerhöhung ist gegeben durch:

$$E_{th} = C \cdot (\vartheta_2 - \vartheta_1)$$

Die Wärmekapazität C hängt vom verwendeten Kalorimeter ab und muss gemäß folgender Tabelle in den [Einstellungen C](#) eingetragen werden:

Kalorimeter	Wärmekapazität $C/(J/K)$
Wasser (388 01)	$40 + m_{H_2O}/g \cdot 4,2$ (mit Masse des Wassers in g)
Kupfer (388 02)	$264 + 4,2$
Aluminium (388 03)	$188 + 4,2$
Aluminium, groß (388 04)	$384 + 4,2$ (mit zusätzlichen 4,2 J/K für jeweils 1 g Wasserfüllung in der Bohrung)

Durch Anpassen einer [Ursprungsgerade](#) kann die Äquivalenz zwischen mechanischer Energie E_m und thermischer Energie E_{th} bestätigt werden. Die Steigung der Ursprungsgeraden ist gewöhnlich etwas kleiner als 1. Dies ist auf nicht erfasste Wärmeverluste wie z. B. thermischer Kontakt des Kalorimeters mit der Nylonschnur oder der Kunststoffhalterung zurückzuführen.

Messbeispiel

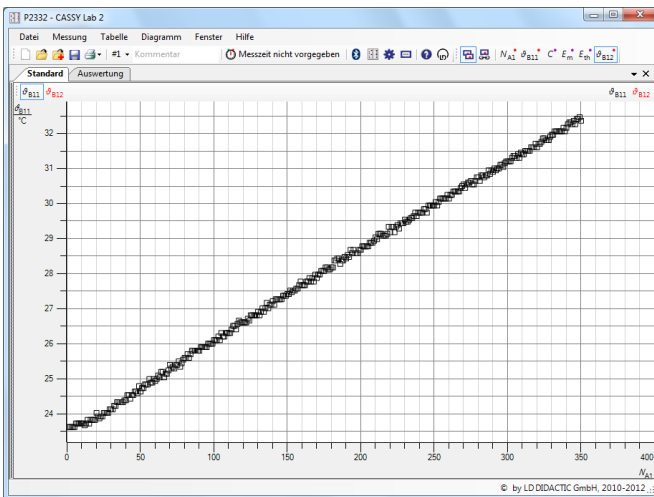


Abb. 2: Die Temperatur ϑ des Kalorimeters als Funktion der Umdrehungszahl N .

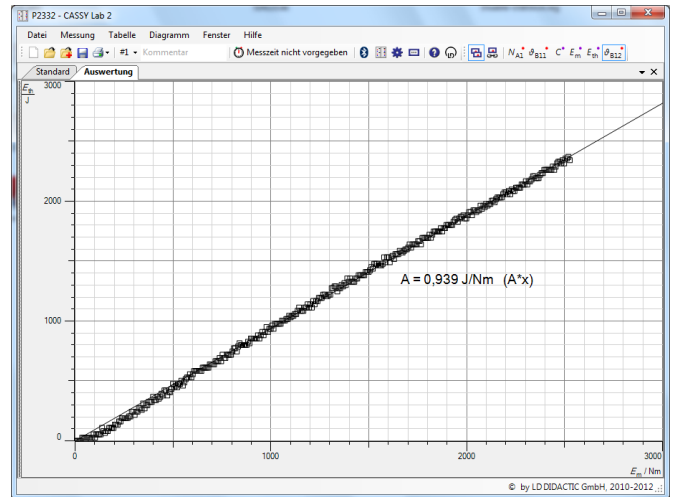


Abb. 3: Die thermische Energie E_{th} als Funktion der mechanisch geleisteten Arbeit E_m . Die durchgezogene Linie ist die angepasste Ursprungsgerade mit einer Steigung A von 0,939 J/Nm.

Der lineare Zusammenhang bedeutet zunächst $E_{th} = A \cdot E_m$. Die Energien sind proportional zu einander, aber nicht gleich. Diese Tatsache wird durch nicht erfasste Wärme (Luft, Nylonschnur etc.) erklärt. Die Menge der nicht erfassten Wärme ist $(1-A) \cdot 100\%$. Im Messbeispiel betrug die nicht erfasste Wärme etwa 6,1 % der mechanisch geleisteten Arbeit.

Wenn man diesen Anteil vernachlässigen kann, gilt: $E_m = E_{th}$.