

T1 WÄRMEKAPAZITÄT EINES KALORIMETERS

PHYSIKALISCHE GRUNDLAGEN

Grundbegriffe: Erster Hauptsatz, Wärmekapazität, Arbeit von Gleich- und Wechselstrom. Wärmeaustauschkorrektur (Einführungsskript, Abschnitt 3.2).

Wärme ist eine Energieform, die zwischen Körpern ausgetauscht wird oder in andere Energieformen umgewandelt werden kann. Führt man einem Körper der Masse m die Wärmemenge dQ zu, dann ist die sich einstellende Temperaturerhöhung dT proportional zur zugeführten Wärmemenge

$$dQ = m c dT, \quad (1)$$

wobei der Proportionalitätsfaktor

$$c = \frac{1}{m} \frac{dQ}{dT} \quad (\text{SI-Einheit: } [c] = \text{J/kg K}) \quad (2)$$

eine Stoffkonstante ist, die in kleineren Temperaturbereichen praktisch konstant ist und spezifische Wärmekapazität heißt. Das Produkt

$$C = c m \quad (\text{SI-Einheit: } [C] = \text{J/K}) \quad (3)$$

nennt man Wärmekapazität des Körpers.

Zur Bestimmung von Wärmemengen benutzt man Kalorimeter, dies sind gut wärmeisolierte Gefäße. Führt man einem mit Wasser (Masse m_w) gefüllten Kalorimeter die Wärmemenge ΔQ zu, dann werden außer dem Wasser auch Teile des Kalorimeters wie Gefäßwandung, Thermometer und Rührer erwärmt. Die Wärmekapazität der Versuchsanordnung setzt sich also aus der des Wassers ($m_w c_w$) und der des Kalorimeters C_K zusammen:

$$\Delta Q = (m_w c_w + C_K) \Delta T. \quad (4)$$

Die spezifische Wärmekapazität des Wassers hat den Wert $c_w = 4,187 \text{ kJ/kgK}$. Die Bestimmung der Wärmekapazität C_K des Kalorimeters ist rechnerisch nur näherungsweise möglich, deshalb wird sie im Allgemeinen experimentell ermittelt.

1. Elektrische Methode: Fließt durch einen ohmschen Leiter (Heizspirale), an dem die Spannung U anliegt, der Strom I , dann entsteht in der Zeit Δt in ihm eine der elektrischen Energie äquivalente Wärmemenge

$$\Delta Q = IU \Delta t. \quad (5)$$

Überträgt man diese Wärmemenge an das Wasser (Masse m_w) und das Kalorimeter (Wärmekapazität C_K), dann steigt die Wassertemperatur (Gl. (4)). Bei verlustloser Wärmeübertragung sind beide Wärmemengen gleich (Energieerhaltungssatz), und es gilt

$$IU \Delta t = (m_w c_w + C_K) \Delta T, \quad (6)$$

woraus C_K bestimmt werden kann.

2. Mischungsmethode: Fügt man dem kalten Wasser (Masse m_1 , Temperatur T_1) eines Kalorimeters warmes Wasser (Masse m_2 , Temperatur T_2) hinzu, dann findet ein Wärmeaustausch statt, bis das gesamte Wasser die Mischungstemperatur T_m hat. Aus dem Energieerhaltungssatz folgt, dass die vom warmen Wasser abgegebene Wärmeenergie

$$\Delta Q_2 = m_2 c_w (T_2 - T_m)$$

gleich der vom kalten Wasser und dem Kalorimeter aufgenommenen Wärmeenergie

$$\Delta Q_1 = (m_1 c_w + C_K)(T_m - T_1)$$

ist. Der Energieerhaltungssatz in dieser speziellen Form des Austausches von Wärmemengen heißt Richmannsche Mischungsregel und ergibt die Gleichung

$$(m_1 c_w + C_K)(T_m - T_1) = m_2 c_w (T_2 - T_m) \quad (7)$$

zur Bestimmung der Wärmekapazität C_K des Kalorimeters.

Korrektur des Wärmeaustausches mit der Umgebung: Bei kalorimetrischen Messungen ist im Allgemeinen der Wärmeaustausch mit der Umgebung als systematischer Fehler zu korrigieren. Das Prinzip dieser Korrektur besteht darin, den langsam erfolgenden Erwärmungsprozess und den dadurch möglichen Wärmeaustausch mit der Umgebung auf eine **momentane** Wärmeaufnahme ohne Wärmeaustausch mit der Umgebung zu extrapolieren. Man misst vor dem Beginn

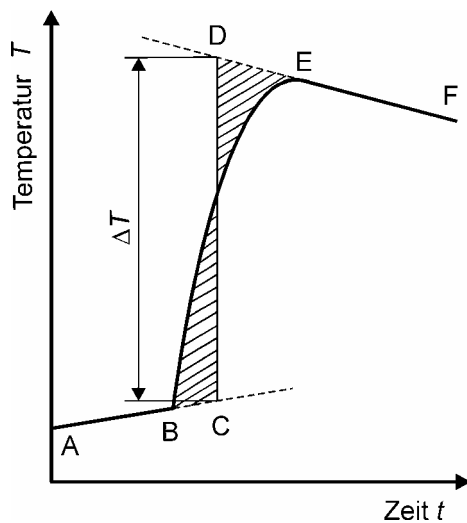


Abb. 1 WÄRMEAUSTAUSCH-KORREKTUR

des eigentlichen Wärmeaustausches fünfmal in Abständen von 1 min die Wassertemperatur (Vorperiode AB, Abb. 1). Während des beabsichtigten Wärmeaustausches (Hauptperiode BE) ändert sich die Temperatur schnell und es wird in kürzeren Zeitabständen (15-30 s) gemessen. Nach Beendigung des Wärmeaustausches misst man die Temperatur wieder fünfmal in Abständen von 1 min (Nachperiode EF). Die gemessenen Temperaturen T werden in Abhängigkeit von der Zeit grafisch dargestellt und die nahezu geradlinigen Kurvenanteile von Vor- und Nachperiode linear extrapoliert.

Zur Bestimmung der Temperaturdifferenz ΔT lege man eine Gerade CD senkrecht zur Zeit-Achse, so dass die schraffierten Flächen gleich groß werden. Beim hier beschriebenen Kurvenverlauf wird vorausgesetzt, dass die Umgebungstemperatur T_u zwischen Anfangs- und Mischungstemperatur liegt, dies sollte man immer anstreben, um den Wärmeaustausch mit der Umgebung gering zu halten. Erzeugt der Wärmeaustausch eine Abkühlung der Kalorimeterflüssigkeit, dann verändert sich der Kurvenverlauf sinngemäß, aber das Korrekturverfahren kann in gleicher Weise angewandt werden.

AUFGABEN

1. Bestimmung der Wärmekapazität C_K nach der elektrischen Methode (Gl. (6)).
2. Bestimmung der Wärmekapazität C_K nach der Mischungsmethode (Gl. (7)).
3. Bestimmung der Messunsicherheiten (Gl. (8) bzw. (9)) und Vergleich beider Messmethoden.

VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Für Aufgabe 1 wird der Heizeinsatz in das mit 300 cm³ Wasser gefüllte Kalorimeter getaucht (Tauchsiederprinzip) und der Rührer eingeschaltet. Nach der Messung der Vorperiode wird die Heizung eingeschaltet und für fünf Minuten alle 30 s die Temperatur, die Spannung und der Strom gemessen. Zur Berechnung der Wärmekapazität (Gl. (6)) werden für die Spannung U und den Strom I die Mittelwerte aus den während der Hauptperiode gemessenen Werten eingesetzt. Die Temperaturdifferenz ΔT wird der grafischen Darstellung zur Wärmeaustauschkorrektur entnommen. Der Versuch wird zweimal durchgeführt.

Für Aufgabe 2 fülle man das Kalorimeter mit 150 cm³ Leitungswasser, schalte den Rührer ein und messe die Temperatur T_1 . Dann gieße man 150 cm³ Wasser von 35 - 45 °C dazu und messe

die Mischungstemperatur T_m . Der Versuch wird dreimal durchgeführt ohne Wärmeaustauschkorrektur.

Für Aufgabe 3 ergibt die Anwendung des Fehlerfortpflanzungsgesetzes auf die Auswertungsformeln (Gl. (6)) bzw. (7)) sehr unübersichtliche Ausdrücke. Bei sorgfältiger Durchführung der Messungen können bei der elektrischen Methode die Messunsicherheiten von m_w und t und bei der Mischungsmethode die Messunsicherheiten von m_1 und m_2 vernachlässigt werden. Zur Berechnung der Messunsicherheiten verwende man deshalb für die elektrische Methode die Näherungsformel

$$u_{C_K} = \frac{IU\Delta t}{\Delta T} \left\{ \left| \frac{u_I}{I} \right| + \left| \frac{u_U}{U} \right| + \left| \frac{u_{\Delta T}}{\Delta T} \right| \right\} \quad (8)$$

und für die Mischungsmethode die Näherungsformel

$$u_{C_K} = m_2 c_w \left\{ \left| \frac{u_{T_2}}{T_m - T_1} \right| + \left| \frac{T_1 - T_2}{(T_m - T_1)^2} u_{T_m} \right| + \left| \frac{T_2 - T_m}{(T_m - T_1)^2} u_{T_1} \right| \right\}. \quad (9)$$

FRAGEN

1. Weshalb ist die Wärmekapazität C_K des Kalorimeters von der eingefüllten Wassermenge und der Temperatur abhängig?
2. Warum ist für die Mischungsmethode keine Wärmeaustauschkorrektur erforderlich?
3. Der Wert der spezifischen Wärmekapazität für Wasser ist groß im Vergleich zu anderen Flüssigkeiten und Festkörpern. Welche Bedeutung hat dies für das Klima?