

# Versuch W03: Schmelz- und Verdampfungswärme

27. Februar 2023

## I. Lernziele

- latente Wärmen bei Phasenumwandlungen
- spezifische Wärme, Schmelz- und Verdampfungswärme von Eis bzw. Wasser

## II. Physikalische Grundlagen

Führt man einem Eisblock der Temperatur  $T = 0^\circ\text{C}$  Wärme zu, so kommt es zu einer Phasenumwandlung in den flüssigen Aggregatzustand, das Eis schmilzt. Setzt man die Wärmezufuhr fort, so wird das Wasser bei  $T = 100^\circ\text{C}$  anfangen zu sieden, also in die Gasphase übergehen.

Die *Schmelzwärme*  $Q_s$  (gemessen in  $\text{J} \cdot \text{g}^{-1}$ ) ist die Wärmemenge, die benötigt wird, um ein Gramm eines festen Stoffes bei der Temperatur  $T_s$  (*Schmelztemperatur*) zum Schmelzen zu bringen.

Analog ist die *Verdampfungswärme*  $Q_v$  für den Übergang flüssig-gasförmig bei der Temperatur  $T_v$  (*Verdampfungstemperatur*) definiert.

Während der Phasenumwandlung bleibt die Temperatur des Stoffes unverändert. Die zugeführte Wärmeenergie wird dazu benötigt, Bindungskräfte zu überwinden, denen die Atome sowohl im Festkörper als auch in der Flüssigkeit unterliegen. Daher bezeichnet man Schmelz- und Verdampfungswärme als latente Wärmen. Die spezifische Wärme  $c$  eines Stoffes ist die Wärmemenge, die man einem Gramm des Stoffes zuführen muß, um seine Temperatur um ein Grad zu erhöhen. Definitionsgemäß ist 1 cal die benötigte Wärmemenge, um 1 Gramm Wasser um 1 Grad zu erwärmen (genauer: von  $14,5^\circ\text{C}$  auf  $15,5^\circ\text{C}$ ). Die SI-Einheit ist J (Joule;  $1 \text{ cal} = 4,185 \text{ J}$ ).

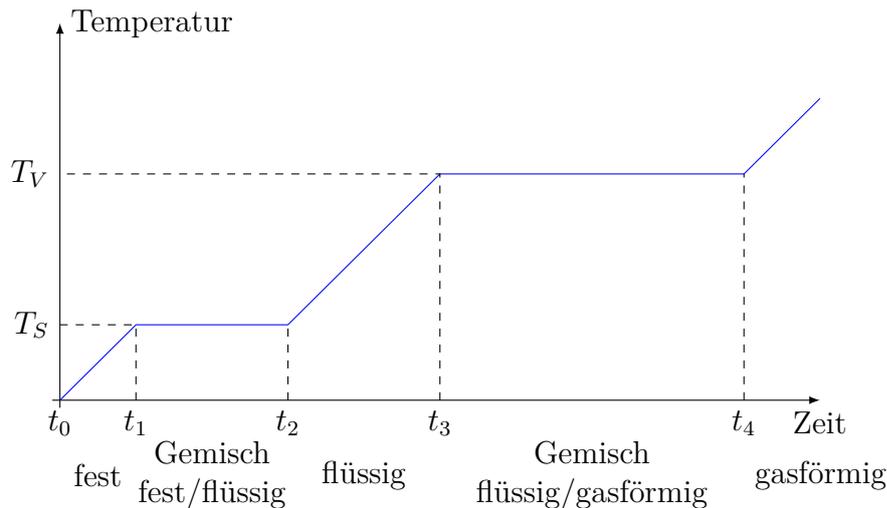


Abbildung 1: Idealer Temperaturverlauf bei Zufuhr eines konstanten Wärmestroms.

### III. Meßanordnung

In einem Dewargefäß mit Rührer wird einer bekannten Wassermenge der Temperatur  $0^\circ\text{C}$  eine Menge Eis der Masse  $m_E$  hinzugefügt und mit einem Tauchsieder vom Zeitpunkt  $t_1$  an ein konstanter Wärmestrom zugeführt. Zur Zeit  $t_2$  sei alles Eis geschmolzen. Ist  $U$  die Spannung am Tauchsieder und  $I$  der durch ihn fließende Strom, so lautet die Energiebilanz:

$$U \cdot I \cdot (t_2 - t_1) = m_E \cdot Q_s. \quad (1)$$

Die weiterhin zugeführte Wärme erhitzt die gesamte Wassermenge der Masse  $m_W$ , bis zu einem Zeitpunkt  $t_3$  eine Temperatur von  $T = 100^\circ\text{C}$  erreicht wird. Für den Zeitraum  $t_2 < t < t_3$  gilt:

$$U \cdot I \cdot \Delta t = (m_W \cdot c + W) \cdot \Delta T. \quad (2)$$

Hierbei ist  $c$  die spezifische Wärme des Wassers (in  $\text{J g}^{-1} \text{K}^{-1}$ ),  $\Delta T$  die Temperaturerhöhung im Zeitraum  $\Delta t$  ( $t_2 < t < t_3$ ), und  $W$  die Wärmekapazität des Kalorimeters, also die Wärmemenge, die man dem Dewargefäß zuführen muß, um es um  $1^\circ\text{C}$  zu erwärmen. In diesem Versuch ist  $W \approx 40 \text{ J/K}$ .

In der Realität verdampft Wasser schon bei deutlich unter  $T = 100^\circ\text{C}$ , daher gilt der Zusammenhang nur für eine tatsächlich lineare Abhängigkeit. Bei höheren Temperaturen wird neben der Erwärmung auch eine Wassermenge  $m_{v_1}$  verdampft:

$$U \cdot I \cdot (t - t_2) = m_{v_1} \cdot Q_v + (m_1 \cdot c + W) \cdot \Delta T_E. \quad (3)$$

wobei  $m_1 = m_W - m_{v_1}$  und  $\Delta T_E$  die Temperaturerhöhung im Zeitraum  $t - t_2$  ist. Während die zurückgebliebene Wassermenge  $m_1$  nun um  $\Delta T_A$  abkühlt, wird durch die abgegebene Energie  $m_1 \cdot c \cdot \Delta T_A$  eine weitere Wassermenge  $m_{v_2}$  verdampft:

$$m_1 \cdot c \cdot \Delta T_A = m_{v_2} \cdot Q_v. \quad (4)$$

## IV. Versuchsdurchführung

- Vorbereitung
  - Becherglas ( $m_B$ ) und Dewargefäß ( $m_D$ ) werden ohne Rührer gewogen.
  - Etwa 150 g Wasser und genügend Eis, um es auf  $0^\circ\text{C}$  abzukühlen, werden in das Dewargefäß gefüllt.
  - Tauchsieder und Thermometer werden eingetaucht, der Tauchsieder ist aber noch ausgeschaltet.
  - Anschließend wird gewartet, bis eine Temperatur von  $T = 0^\circ\text{C}$  erreicht ist.
  - Das überschüssige Eis wird wieder entfernt.
  - Das Dewargefäß wird mit dem Eis-Wasser-Gemisch ( $m_G$ ) gewogen ( $m = m_G - m_D$ ).
  - Aus einem zweiten Becherglas mit abgewogenem, leicht zerkleinertem Eis gibt man mit der Pinzette etwa 100 g in das vorbereitete Wasser und schaltet den Tauchsieder an.
  - Das in diesem Becherglas verbliebene Eis wird gewogen und so die Masse des in das kalte Wasser gebrachten Eises bestimmt ( $m_E$ ).

- Die Stromquelle wird eingeschaltet und der Strom  $I$  gemessen.
- In Minutenabständen notiere man die Temperatur des ständig gerührten Wassers ( $m_W = m + m_E$ ).
- Beim Erreichen des Siedens wird der Tauchsieder abgeschaltet und aus dem Wasser genommen, danach das Dewargefäß ohne Rührer gewogen.
- Die Temperatur des Wassers wird weiterhin registriert bis es bei etwa  $95\text{ °C}$  nochmals gewogen wird ( $m_2 = m_1 - m_{v2}$ ).

## V. Auswertung

- Man stelle die Temperatur als Funktion der Zeit graphisch dar und lege eine Ausgleichsgerade durch die Messpunkte im linearen Kurventeil (steilster Bereich).
- Aus Gl. (1) bestimme man die Schmelzwärme  $Q_s$ , aus der Geradensteigung aus Gl. (2) die spezifische Wärme  $c$ . Aus Gl. (3) und Gl. (4) bestimme man jeweils die Verdampfungswärme  $Q_v$  und vergleiche sie miteinander. Man gebe die spezifische Wärme auch in cal an.
- An den linearen Kurventeil passe man zwei weitere Geraden mit minimaler und maximaler Steigung an und bestimme daraus die Fehlergrenzen für  $Q_v$  und  $c$ .

## VI. Fragen und Diskussionspunkte

- Warum weicht der gemessene Temperaturverlauf vom idealen Verlauf zwischen  $t_1$  und  $t_3$  ab?
- Wie hängen Schmelz- und Siedetemperatur des Wassers vom Druck ab? Wie ist der Zusammenhang für die meisten anderen Stoffe?
- Wie sieht das Phasendiagramm  $(p, T)$  von Wasser aus?
- (Schätzen Sie die Wärmekapazität des Kalorimeters  $W$  ab.)