

## W07a „Bestimmung von Umwandlungswärmen des Wassers“

### Aufgaben

- 1 Messen Sie den elektrischen Widerstand eines Platin-Widerstandsthermometers bei 0°C und am Siedepunkt von Wasser. Berechnen Sie den mittleren Temperaturkoeffizienten.
- 2 Ermitteln Sie die spezifische Schmelzwärme des Eises.
- 3 Bestimmen Sie die molare Kondensationswärme des Wasserdampfs. Berechnen Sie näherungsweise die Änderung der molaren inneren Energie von Wasser beim Verdampfen.

### Literatur

Physikalisches Praktikum, 13. Auflage, Hrsg. W. Schenk, F. Kremer, Wärmelehre, 1.0.1, 1.0.3, 2.0.1, 3.0, 3.3  
Gerthsen Physik, D. Meschede, 22. Auflage, 261-267

### Zubehör

Kalorimeter mit Magnetrührer, Widerstandsthermometer (Pt-100-Sensor), Widerstandsmeßgerät, Waage, Siedegefaß mit Ausströmungsrohr, elektrische Kochplatte, Uhr

### Schwerpunkte zur Vorbereitung

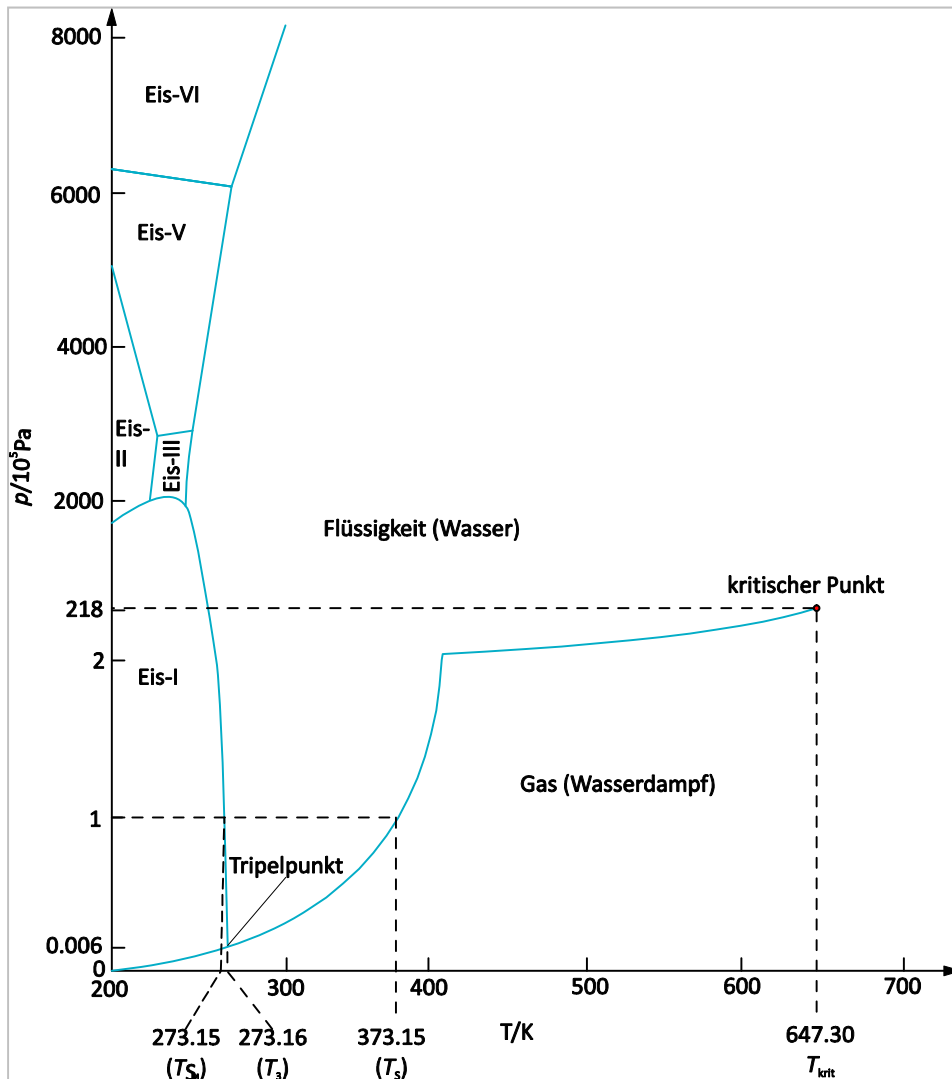
- spezifische und molare Umwandlungswärmen, molare innere Energie
- Zusammenhang zwischen Enthalpie und Wärme
- Zustandsdiagramm ( $p$ - $T$ -Diagramm) von Wasser, Schmelz-, Siede- und Sublimationskurve, Tripelpunkt
- Bestimmung der Wärmekapazität eines Kalorimeters und von Umwandlungswärmen mit Methoden der Mischungskalorimetrie
- Widerstandsthermometer, Methoden der Widerstandsmessung
- andere elektrische Temperaturmessverfahren

### Bemerkungen

Die Wärmekapazität der Kalorimeteranordnung ist bekannt. Zur Messung der Temperatur wird das in der 1. Aufgabe kalibrierte Widerstandsthermometer verwendet. Die graphische Auswertung zur Extrapolation der Anfangs- und Mischungstemperatur erfolgt mit Hilfe eines Widerstand-Zeit-Diagramms, wobei die gesuchten Temperaturen unter Verwendung des Temperaturkoeffizienten des Pt-100-Sensors ermittelt werden. Im Versuch sind die Versuchsbedingungen so zu wählen, dass bei den Aufgaben 2 und 3 die Temperatur während des Temperaturverlaufs des Mischungsexperiments die Zimmertemperatur um etwa 5°C unter- bzw. überschreitet, um den Wärmeaustausch mit der Umgebung so gering wie möglich zu halten. Bei Aufgabe 3 wird der Dampfstrahl direkt über die

Oberfläche des Wassers im Kalorimeter geleitet. Es ist darauf zu achten, dass so wenig wie möglich kondensiertes Wasser in das Kalorimeter tropft.

Die Änderung der molaren inneren Energie  $\Delta u$  kann mit der Gleichung  $\Delta u \approx Q_{23} - RT_S$  ( $Q_{23}$ : molare Verdampfungswärme,  $T_S$ : Siedetemperatur) näherungsweise berechnet werden. Weicht die im Experiment bestimmte Umwandlungswärme um mehr als 10% vom Tabellenwert ab, ist die Messung zu wiederholen. Neben der Abschätzung der Messunsicherheit der experimentell ermittelten Umwandlungswärmen sind andere mögliche Fehlerquellen auf die Ergebnisse zu diskutieren.



Experimentell bestimmtes Phasendiagramm von Wasser<sup>1</sup>

$p$ : Druck,  $T$ : Temperatur,  $T_{\text{sm}}$ : Schmelztemperatur,  $T_3$ : Temperatur des Tripelpunktes,  $T_S$ : Siedetemperatur,  $T_{\text{krit}}$ : kritische Temperatur

Es ist die Änderung der Skaleneinteilung bei  $p = 2$  bar zu beachten. Eis-VII hat einen Schmelzpunkt von  $100^\circ\text{C}$ , existiert aber nur bei  $p > 2.5 \text{ GPa}$ . Die Entdeckung von Eis-IV erwies sich später als Irrtum, ebenso die einer weiteren flüssigen Phase, des legendären „Polywassers“.

<sup>1</sup> Peter W. Atkins. *Physikalische Chemie*. Wiley-VCH, Weinheim, 3. Edition, 2001.

## Platin-Widerstandsthermometer

Die Eigenschaften von Platin-Temperatursensoren des Typs PT100 sind nach der Norm IEC 60751 (IEC = International Electrotechnical Commission) festgelegt. Diese wurde als europäische Norm EN 60751 angenommen. Die deutsche Norm DIN EN 60751 entspricht der europäischen Fassung.

### Temperaturbereich

Die DIN EN 60751 legt für den Platin-Widerstand zwei Temperaturbereiche fest und definiert sie durch unterschiedliche Polynome.

Der erste Temperaturbereich (-200°C bis 0°C) wird festgelegt durch

$$R(\vartheta) = R_0 (1 + A\vartheta + B\vartheta^2 + C(\vartheta - 100^\circ\text{C})\vartheta^3)$$

und der zweite Temperaturbereich (0°C bis 850°C) durch

$$R(\vartheta) = R_0 (1 + A\vartheta + B\vartheta^2)$$

mit den Koeffizienten

$$A = 3.9083 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

$$B = -5.775 \cdot 10^{-7} \text{ }^\circ\text{C}^{-2}$$

$$C = -4.183 \cdot 10^{-12} \text{ }^\circ\text{C}^{-4}$$

$R_0$  ist der sogenannte Nennwiderstand bei 0°C. Entsprechend der Norm beträgt der Widerstand beim PT100  $R_0=100 \Omega$ .

### Temperaturkoeffizient

In guter Näherung kann für den Platin-Widerstand ein mittlerer Temperaturkoeffizient  $\alpha$  im Temperaturbereich von 0°C bis 100°C angenommen werden. Der Temperaturkoeffizient beträgt  $\alpha=3.850 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ . Er definiert die mittlere Widerstandsänderung bezogen auf  $R_0$  mit:

$$R(\vartheta) = R_0 (1 + \alpha\vartheta).$$

Der Temperaturkoeffizient spektalreinen Platins ist

$$\alpha = 3.925 \times 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}.$$

Der Unterschied resultiert aus einer gezielten Verunreinigung des Platins mit anderen Elementen, um das Widerstandsthermometer unempfindlicher gegen zusätzlich auftretende Verunreinigungen (z.B. während des Herstellungsprozesses) zu machen.