

Versuch B 1: Bestimmung der spezifischen Verdampfungswärme des Wassers

1. Literatur: Walcher, Praktikum der Physik
Dobrinski/Krakau/Vogel, Physik für Ingenieure
Gerthsen/Kneser, Physik
Bergmann-Schaefer, Experimentalphysik, Bd.I

Stichworte: p(T)-Phasendiagramm des Wassers, Tripelpunkt, kritischer Punkt, Schmelzpunkt, Siedepunkt, Wärmekapazität, latente Wärme, 1. Hauptsatz der Thermodynamik, Kalorimeter, Wasserwert.

2. Grundlagen

Grundlage des vorliegenden Versuchs bildet das Druck(p)-Temperatur(T)-Phasendiagramm des Wassers (s. Abb.1). In diesem Diagramm trennt die sog. *Dampfdruckkurve* die dampfförmige von der festen bzw. flüssigen Phase. Die Dampfdruckkurve endet am *kritischen Punkt* ($p_{kr} = 221 \text{ bar}$; $T_{kr} = 374^\circ\text{C}$). Oberhalb des kritischen Punktes kann man zwischen Dampf und Flüssigkeit nicht mehr unterscheiden. Die *Verfestigungskurve* trennt die flüssige von der festen Phase. Man beachte die sog. *Dichteanomalie* des Wassers; d.h. das *rückläufige* Verhalten der Verfestigungskurve: Bei konstanter Temperatur schmilzt Eis, wenn man den Druck steigert (Schlittschuhlauf!?). Entlang der Dampfdruck- bzw. Verfestigungskurve stehen die entsprechenden Phasen miteinander im Gleichgewicht. Am *Tripelpunkt* ($p_{tr} = 6,105 \text{ mbar}$; $T_{tr} = 0,01^\circ\text{C}$) sind alle drei Phasen (dampfförmig, flüssig, fest) miteinander im Gleichgewicht. Ähnliche Phasendiagramme wie in Abb.1 kann man für alle Elemente (außer Helium) und viele Verbindungen und Substanzen aufstellen.

Ändert sich der Aggregatzustand einer Substanz, so werden die Grenzlinien (Dampfdruck- oder Verfestigungskurve in Abb.1) überschritten (Phasenübergang). Erfolgt dies bei konstanter Temperatur, so spricht man von einem *isothermen Phasenübergang* bzw. bei konstantem Druck von *isobarem Phasenübergang*. In jedem Fall wird dabei eine bestimmte Energie benötigt oder frei, je nachdem in welche Richtung (Druck- oder Temperatur- Zu- bzw. Abnahme) der Phasenübergang erfolgt. Beim isothermen Übergang vom flüssigen in den gasförmigen (dampfförmigen) Zustand muss die *Verdampfungswärme* aufgebracht werden. Bei der Umkehrung, der Kondensation, wird der gleiche Energiebetrag als *Kondensationswärme* freigesetzt. Ähnliches gilt beim isothermen Phasenübergang fest-flüssig (Schmelzwärme, Erstarrungswärme). Die bei isothermen Phasenüber-

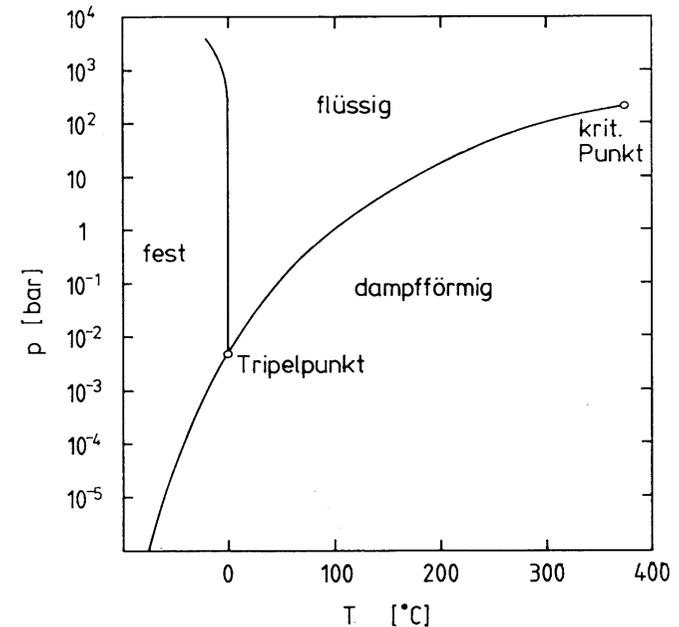


Abb.1: p(T) Phasendiagramm des Wassers

gängen benötigten Energien (Umwandlungswärmen) bezeichnet man auch als *latente Wärmen* (latent: verborgen, gebunden), da sie keine Temperaturänderungen verursachen. Ihre Größen hängen mit den Bindungskräften der betreffenden Substanz im jeweiligen Aggregatzustand zusammen.

Die Umwandlungswärmen Q bezieht man i.a. auf eine Masseneinheit, und spricht dann z.B. von der spezifischen Verdampfungswärme (Kondensationswärme) r :

$$r = \frac{Q}{m} \quad (1)$$

Für Wasser ist am Siedepunkt $T_s = 100^\circ\text{C}$ und bei Normaldruck ($p = 1,013 \text{ bar} = 1013 \text{ hPa}$): $r = 2,26 \times 10^6 \text{ J/kg}$. Die Verdampfungs- bzw. Kondensationswärme r ist stark druck- und temperaturabhängig. Am kritischen Punkt verschwindet die spezifische Verdampfungswärme.

Zur Bestimmung der spezifischen Verdampfungswärme des Wassers wird im vorliegenden Versuch wie im Versuch B2 ein Mischungskalorimeter verwendet (vgl. Vers. B2: Bestimmung der spez. Wärmekapazität fester Körper, adiabatischer Vorgang, Wasserwert W eines Kalorimeters, Richmann'sche Mischungsregel). Man leitet Wasserdampf (Masse m_D) mit der Siedetemperatur T_S in ein mit Wasser (Masse m_W) der Temperatur T_1 gefülltes Kalorimeter (Wasserwert W_K) ein. Dabei werden folgende Wärmemengen vom Wasserdampf an das Wasser *abgegeben*:

- a) Die Kondensationswärme $Q = m_D r$, entsprechend dem Phasentübergang dampfförmig \rightarrow flüssig.
- b) Der kondensierte Dampf kühlt sich gleichzeitig noch von T_S auf die Mischungstemperatur T_M ab. Die dabei abgegebene Wärmemenge ist:

$$\Delta Q = m_D c_W (T_S - T_M) \quad (2)$$

wobei c_W die spez. Wärmekapazität des Wassers ist.

Das mit Wasser gefüllte Kalorimeter (einschließlich Rührer und Thermometer) nimmt folgende Wärmemenge *auf*:

$$\Delta Q = (m_W + W_K) c_W (T_M - T_1) \quad (3)$$

Nach der Richmann'schen Mischungsregel (Energieerhaltung) ist die vom Wasserdampf abgegebene Wärmemenge gleich der vom gefüllten Kalorimeter aufgenommenen Wärmemenge:

$$m_D r + m_D c_W (T_S - T_M) = (m_W + W_K) c_W (T_M - T_1) \quad (4)$$

Daraus lässt sich r bestimmen:

$$r = \frac{(m_W + W_K) c_W (T_M - T_1) - m_D c_W (T_S - T_M)}{m_D} \quad (5)$$

Um das nichtadiabatische Verhalten des Kalorimeters zu berücksichtigen, wird die Wassertemperatur eine Zeit lang vor und nach dem Einlassen des Wasserdampfes registriert und als Funktion der Zeit in einem Diagramm aufgetragen. Durch Extrapolation auf den idealen Zeitpunkt t_0 gemäß der Regel gleicher Flächen werden T_1 und T_M ermittelt (vgl. Versuch B 2).

Die Siedetemperatur T_S wird im Versuch nicht unmittelbar gemessen, sondern unter Berücksichtigung des herrschenden Luftdrucks p (Barometerstand) einer Tabelle entnommen.

3. Aufgabenstellung

- 1. Aufgabe:** Bestimmen Sie die spezifische Verdampfungswärme des Wassers.
- 2. Aufgabe:** Bestimmen Sie den Wasserwert des verwendeten Kalorimeters (entspr. Versuch B 2).

4. Versuchsdurchführung

Wasser wird im Erhitzungsgefäß zum Sieden gebracht, wobei schon vor Beginn des Versuches so lange Dampf erzeugt werden sollte, bis die Dampfleitung ebenfalls auf die Siedetemperatur des Wassers erwärmt ist. In das Kalorimeter wird eine gewogene Wassermenge m_W eingebracht, die 2/3 bis 3/4 des Kalorimetervolumens einnehmen sollte. Man lese 5 Min. vor dem Einleiten des Dampfes alle 30 Sek. die Kalorimetertemperatur ab (Vorversuch).

Der Wasserdampf wird darauf in das Kalorimeter eingeleitet, indem das Gefäß von unten über das Rohr geschoben und auf einem Tischchen hoch gestellt wird, so dass das Rohr mindestens 5 cm in das Wasser eintaucht. Man leite so lange Dampf ein, bis die Temperatur auf ca 40°C angestiegen ist und messe dabei die Temperatur alle 10 Sek (Hauptversuch). Auch nach beendeter Einleitung des Dampfes messe man die Temperatur noch weitere 5 Min. (Nachversuch).

Danach wird das Kalorimeter erneut gewogen und aus der Differenz der Werte m_W die Masse der eingeleiteten Dampfmenge m_D bestimmt.

Man zeichne ein Temperatur-Zeit-Diagramm und extrapoliere auf die ideale Anfangstemperatur T_1 und Endtemperatur T_M (s. Versuch B2).

Zur Bestimmung des Wasserwertes W_K wird in das Kalorimeter eine neue Wassermenge m_1 (ungef. 2/3 von $m_W + m_D$) mit einer Temperatur $T_1' \approx T_1$ eingewogen. Nach Aufnahme des Temperaturverlaufs wird eine zweite Wassermenge m_2 (ungef. 1/3 von $m_W + m_D$), die auf Siedetemperatur T_S erhitzt wurde, hinzugefügt und die Mischungstemperatur T_M' gemessen. (Die Summe $m_1 + m_2$ sollte annähernd gleich der Summe $m_W + m_D$ sein, so dass die Mischungstemperatur T_M' annähernd gleich T_M wird). Man bestimme durch eine

weitere Wägung m_2 .

Zur Bestimmung der Siedetemperatur wird der Barometerstand abgelesen, reduziert und aus einer Tabelle die Siedetemperatur T_s entnommen.

5. Auswertung

Aus den gemessenen Werten werden nach den o.a. Gleichungen zuerst W_K und dann r berechnet ($c_w = 4,1868 \times 10^3 \text{ J / kg K}$).

Geben Sie eine Fehlerabschätzung gem. dem Fortpflanzungsgesetz an. Als geschätzte Unsicherheit der einzelnen Messgrößen gelte:

Für alle Masseangaben: $\Delta m = \pm 0,1 \text{ g}$, für alle Temperaturen: $\Delta T = \pm 0,2^\circ\text{C}$.

Die Siedetemperatur und die spezifische Wärmekapazität des Wassers können als fehlerfrei angenommen werden. Berechnen Sie den relativen und den absoluten Größtfehler zuerst von W_K und dann vom gesuchten Wert r . Vergleichen Sie Ihren experimentell gewonnenen Wert für r mit dem Literaturwert. Diskutieren Sie ggfls. mögliche Ursachen für die Abweichung.

6. Fragen zur Selbstkontrolle

- 1) Wie sieht ein p-T-Phasendiagramm aus?
- 2) Was bedeutet *spezifische Verdampfungswärme*?
- 3) Was versteht man unter *latenter Wärme*?
- 4) Ist die spezifische Verdampfungswärme temperaturabhängig?
- 5) Was bezeichnet man als *Dichteanomalie des Wassers*?
- 6) Wovon ist der Siedepunkt des Wassers abhängig? Wieso?
- 7) Wie ist ein Kalorimeter aufgebaut?
- 8) Was versteht man unter einem *adiabatischen* Vorgang?
- 9) Was bedeutet der Begriff *Wasserwert*? Wie groß ist der Wasserwert des Wassers?
- 10) Warum soll die Temperatur des Wassers im Kalorimeter eine gewisse Zeit lang vor und nach der Dampfeinleitung gemessen werden?
- 11) Welche experimentelle Methode gibt es noch zur Bestimmung der spezifischen Verdampfungswärme?