

VERSUCH 203

Verdampfungswärme und Dampfdruck-Kurve

Tabea Hacheney
tabea.hacheney@tu-dortmund.de

Bastian Schuchardt
bastian.schuchardt@tu-dortmund.de

Durchführung: 23.11.2021

Abgabe: 30.11.2021

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1 Zielsetzung	3
2 Theorie	3
3 Durchführung	5
3.1 Messung bis 1 bar	5
3.2 Messung von 1 bis 15 bar	5
4 Auswertung	7
4.1 Messung bis 1 bar	7
5 Diskussion	7
6 Messdaten	7
Literatur	7

1 Zielsetzung

In diesem Versuch soll der Phasenübergang von Wasser von flüssig zu gasförmig untersucht werden. Dafür soll die Verdampfungswärme des Wassers in Abhängigkeit der Temperatur ermittelt und insbesondere eine Dampfdruckkurve erstellt werden.

2 Theorie

Allgemein kann Wasser die Phasen fest, flüssig und gasförmig annehmen. Diese Phasen lassen sich in einem Zustandsdiagramm (s. Abbildung 1) darstellen. In dem Zustandsdiagramm ist der Druck p gegen die Temperatur T aufgetragen und mit Hilfe dreier Kurven lassen sich Bereiche abgrenzen, die die Phasen definieren. In den durch die Kurven abgegrenzten Arealen hat das System die zwei Freiheitsgrade p und T .

Sobald sich der Punkt (T, p) einer der Kurven nähert erreicht man Zustände in denen zwei Phasen koexistieren. Dies ist für die Punkte TP. und K.P. der Fall, die auch den Anfangs- und Endpunkt der Dampfdruckkurve charakterisieren.

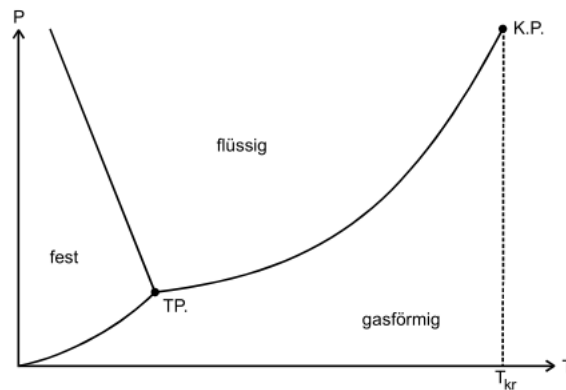


Abbildung 1: qualitatives Zustandsdiagramm des Wassers [[1]
, S. 176]

Auf der Dampfdruckkurve hat das System nur noch einen Freiheitsgrad, da p und T nicht mehr beliebig wählbar sind. Diese Kurve wird durch die Verdampfungswärme L charakterisiert. Dabei ist L eine stoffabhängige, temperaturabhängige Größe und verschwindet im kritischen Punkt (K.P.) fast gänzlich. Dennoch ist L in einem Temperaturbereich in dem die Messung stattfinden soll fast konstant.

Die molare Verdampfungswärme L gibt an wie viel Energie in Joule benötigt werden, um ein Mol eines Stoffs verdampfen zu lassen. Um die mathematische Herleitung zu verstehen, stelle man sich ein evakuiertes Gefäß vor, das zum Teil mit Wassermolekülen gefüllt ist. Da die Wassermoleküle der Maxwell'schen Geschwindigkeitsverteilung gehorchen, gibt es Moleküle mit maximaler kinetischer Energie, die die Flüssigkeitsoberfläche verlassen. Dabei leisten sie Arbeit gegen die molekularen Kräfte. Dieser Prozess heißt Verdampfung

und die dafür benötigte Energie wird entweder von außen hinzugefügt oder dem Wasser in Form von Wärme entnommen. Bei dem umgekehrten Prozess der Kondensation wird diese Energie wieder frei.

Die Gasmoleküle erzeugen nun einen Druck, da sie gegen die Wände des Gefäßes stoßen. Außerdem können die Gasmoleküle, die auch sich nach der Maxwell'schen Geschwindigkeitsverteilung verhalten, wenn sie auf das Wasser treffen wieder eingefangen werden, so dass sich auf Dauer ein Gleichgewichtszustand einstellt. Wenn das Gleichgewicht erreicht ist, gilt der Verdampfungsvorgang als abgeschlossen. Dann stellt sich ein Druck ein, der als Sättigungsdruck bezeichnet wird. Da bei höherer Temperatur die Geschwindigkeitsverteilung zu höheren Geschwindigkeiten verschoben wird, steigt bei der Sättigungsdruck an. Dabei ist zu beachten, dass der Druck nicht vom Volumen abhängt, so dass die ideale Gasgleichung

$$pV = RT \quad (1)$$

nicht verwendet werden kann.

Um eine DGL für die Dampfdruckkurve zu erhalten, wird ein Kreisprozess in einem pV -Diagramm aufgetragen. In Abbildung 2 wird einem Mol die Wärmeenergie Q_{AB} hinzugefügt. Dadurch steigt der Druck auf $T + dT$ und das Volumen auf V_F . Danach verdampft die Flüssigkeit isotherm und isobar zu einem Gas und die Wärmeenergie wird wieder abgegeben. In der darauffolgenden Kondensation, die isotherm und isobar abläuft,

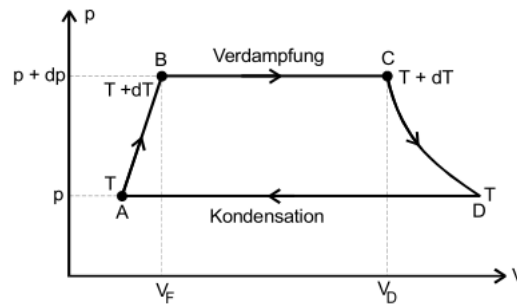


Abbildung 2: Kreisprozess mit Verdampfung und Kondensation

hat die Flüssigkeit wieder den Anfangsdruck p . Durch Addieren der Wärmeenergien und anschließendem Gleichsetzen der verrichteten Arbeit erhält man

$$(C_F - C_D)dT + dL = (V_D - V_F)dp. \quad (2)$$

Dabei sind C_F die Molwärme der Flüssigkeit, C_D die Molwärme des Gases und dL der Unterschied der Verdampfungswärmen. Mit Hilfe des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik

$$\sum_i \frac{Q_i}{T_i} = 0 \quad (3)$$

und Vernachlässigung der Terme zweiter Ordnung, bestimmt sich die Clausius-Clapeyronsche Gleichung zu

$$(V_D - V_F)dp = \frac{L}{T}dT. \quad (4)$$

Unter den Annahmen, dass V_F gegenüber V_D vernachlässigt werden kann, V_D sich dann durch die ideale Gasgleichung (??) beschreiben lässt und dass L nicht von der Temperatur und dem Druck abhängt, ergibt sich die Formel

$$p = \exp(\ln(p_0)) \cdot \exp\left(-\frac{L}{RT}\right) \quad (5)$$

$$\ln(p) = -\frac{L}{RT} + \ln(p_0). \quad (6)$$

[1]

3 Durchführung

3.1 Messung bis 1 bar

Die in Abbildung 3 dargestellte Apparatur wird aufgebaut. Zu Anfang wird sie mittels einer Wasserstrahlpumpe evakuiert. Dafür wird das Drosselventil und der Absperrhahn geöffnet und das Belüftungsventil geschlossen. Nachdem sich ein für das Experiment akzeptabler Druck eingestellt hat, wird das Drosselventil und der Absperrhahn geschlossen und die Wasserstrahlpumpe ausgestellt. Anschließend wird die Heizhaube eingeschaltet, so dass sich die Flüssigkeit erhitzt. Um aufsteigenden Dampf zu kondensieren wird zusätzlich die Kühlung angestellt. Die Temperatur wird durch ein Thermometer bestimmt, das sich im Mehrhalskolben befindet und der Druck wird am Manometer abgelesen. Der Druck und die Temperatur werden paarweise gemessen bis 1 bar erreicht wird.

3.2 Messung von 1 bis 15 bar

Die verwendete Apparatur ist in Abbildung 4 dargestellt. Vor Beginn des Versuchs ist schon Wasser in der Schale, so dass nur noch die Heizung eingeschaltet werden muss. Dann werden in 1 bar Schritten die Messwerte aufgenommen.

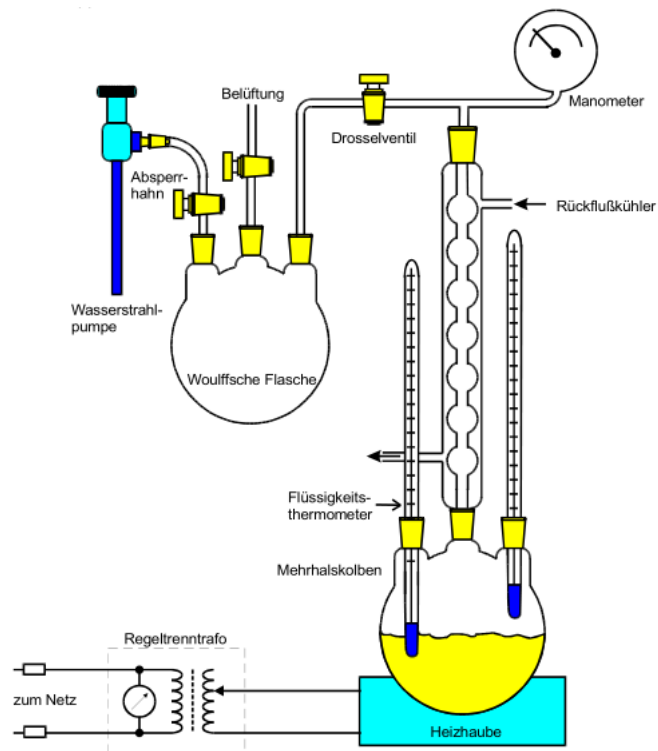


Abbildung 3: Aufbau 1 [1]

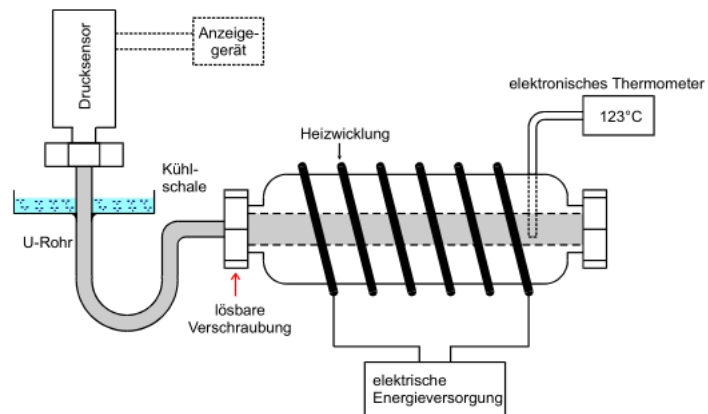


Abbildung 4: Aufbau 2 [1]

4 Auswertung

4.1 Messung bis 1 bar

Um die gemittelte Verdampfungswärme L zu bestimmen, wird zunächst der Logarithmus des Dampfdrucks gegen die reziproke absolute Temperatur dargestellt und dann die gesuchte Größe mittels einer Ausgleichsrechnung bestimmt.

Die verwendeten Messwerte lassen sich in Tabelle 1 finden.

Tabelle 1: Messwerte bis 1 bar

$T_{Dampf} \text{ in } ^\circ\text{C}$	$T_{Dampf} \text{ in K}$	$p \text{ in mbar}$	$p \text{ in Pa}$
21	35	23	77
26	43	24	67

5 Diskussion

6 Messdaten

Literatur

- [1] TU Dortmund. *Verdampfungswärme und Dampfdruckkurve*. 2014.