

Versuch Nr.203

Verdampfungswärme und Dampfdruck-Kurve

Niklas Düser

niklas.dueser@tu-dortmund.de

Benedikt Sander

benedikt.sander@tu-dortmund.de

Durchführung: 10.11.2020

Abgabe: 17.11.2020

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1	Zielsetzung	3
2	Theoretische Grundlagen	3
2.1	Phasendiagramm	3
2.2	Kreisprozess	4
2.3	Clausius-Clapeyronische Gleichung	5
3	Durchführung und Versuchsaufbau	7
3.1	Druckbereich 30 bis 1000 mBar	7
3.2	Druckbereich 1 bis 15 Bar	8
4	Auswertung	9
4.1	Messungen bis 1 Bar	9
4.1.1	Plot der Messwerte und Funktionen	9
4.1.2	Berechnung von L	9
4.1.3	Die Messwerte bis 1 Bar	11
4.2	Messung bis 15 Bar	11
4.2.1	Bestimmung einer Funktion $L(T)$	11
4.2.2	Plots der Funktionen der Verdampfungswärme	14
4.2.3	Die Messwerte bis 15 Bar	15
5	Diskussion	16
5.1	Messungen bis 1 Bar	16
5.2	Messungen zwischen 1 und 15 Bar	17
6	Anhang	18
6.1	Versuchsaufbauten	18
6.2	Messwerte	20

1 Zielsetzung

In diesem Versuch soll durch Beobachtung des Phasenübergangs die Verdampfungswärme von Wasser bestimmt werden. Dafür wird die Dampfdruckkurve zu Hilfe genommen. Außerdem soll dabei die Temperaturabhängigkeit nicht vernachlässigt werden. Zusätzlich wird der Vorgang der Phasenumwandlung von fest zu flüssig untersucht.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Phasendiagramm

Die „Phase“ eines Stoffes beschreibt in diesem Fall den Aggregatzustand. Unterscheiden wird dieser zwischen fest, flüssig und gasförmig. Zur Veranschaulichung wird hier ein Phasendiagramm von Wasser genutzt in dem der Druck gegen die Temperatur aufgetragen ist und die 3 „Phasen“ durch 3 Kurven voneinander abgegrenzt sind.

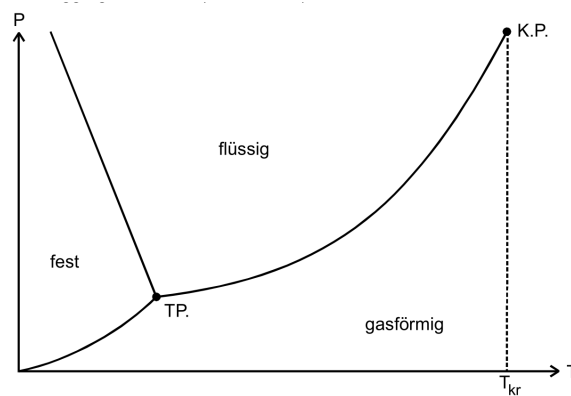


Abbildung 1: Zustandsdiagramm des Wassers (qualitativ) [8].

Die beiden wichtigen Punkte in dem Diagramm sind der Tripelpunkt (TP.), indem die 3 Aggregatzustände koexistieren und der kritische Punkt (K.P.) in dem der flüssige und gasförmige Zustand in einem thermodynamischen Gleichgewicht stehen.

In diesem Experiment wird jedoch nur der Übergang: flüssig \Leftrightarrow gasförmig untersucht. Dieser Übergang wird von der Dampfdruckkurve beschrieben bzw. von der Siedepunktskurve zwischen dem Tripelpunkt und dem kritischen Punkt. Diese Kurve wird charakterisiert durch die temperaturabhängige Verdampfungswärme L .

Innerhalb jedes Stoffes werden die Geschwindigkeiten der einzelnen Teilchen durch die Maxwellsche Geschwindigkeitsverteilung vorgegeben. Sobald die Geschwindigkeit eines Teilchen einen gewissen Grenzwert überschreitet, kann es aus der flüssigen in die gasförmige Phase übergehen. Bei diesem Übergang müssen molekulare Bindungskräfte überwunden werden. Dies ist die Verdampfungswärme L . Diese Energie wird beim Umkehrprozess, der Kondensation, wieder frei.

Zwischen der Kondensation und der Verdampfung entwickelt sich nach einiger Zeit ein Gleichgewicht. Wenn genau so viele Moleküle aus der Flüssigkeit verdampfen wie aus dem Gas kondensieren, entsteht ein konstanter Druck. Dies ist der Sättigungsdruck. L ist eine temperaturabhängige Größe. Allerdings gibt es einen Temperaturbereich in dem die Verdampfungswärme näherungsweise konstant ist. Diesen Bereich nutzen wir in diesem Experiment um L zu bestimmen.

Somit beschreibt die molare Verdampfungswärme L eine stoffspezifische Größe, die angibt, wie viel Energie nötig ist, um ein Mol einer Flüssigkeit isotherm und isobar zu verdampfen.

Der Sättigungsdruck lässt sich nicht durch die allgemeine Gasgleichung:

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

mit dem Druck p , dem Volumen V , der Temperatur T und der allgemeine Gaskonstante $R=8,314 \text{ J K/mol}$ beschreiben, da der Sättigungsdruck nicht von dem Volumen des Gases, lediglich von den Temperaturen der Flüssigkeit und des Gases abhängen.

2.2 Kreisprozess

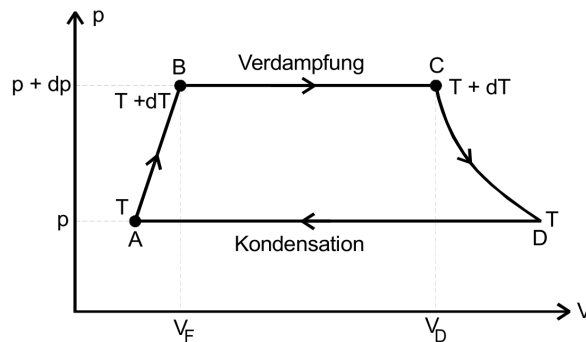


Abbildung 2: Darstellung eines Kreisprozesses im pV-Diagramm [8].

Um nun eine Dampfdruckkurve zu erhalten, wird ein reversibler Kreisprozess analysiert. Hier findet in einem fortlaufendem Kreislauf eine isotherme und isobare Verdampfung gefolgt von einer isothermen und isobaren Kondensation statt. Beim Ausgangspunkt A wird die Wärmemenge dQ_{AB} hinzugeführt, so dass der Druck und die Temperatur um dp und dT ansteigen. Diese Wärmemenge berechnet sich mittels der spezifischen Wärmekapazität der Flüssigkeit.

$$dQ_{AB} = C_F \cdot dT$$

Die Flüssigkeit aus Zustand B verdampft isobar und isotherm unter Aufnahme der Verdampfungswärme dL

$$L(T + dT) = L(T) + dL$$

Für diesen Prozess muss die Flüssigkeit eine gewisse Arbeit A_{BC} verrichten. Diese Arbeit bestimmt sich mit:

$$-A_{BC} = (p + dp)(V_D - V_F)$$

Der Dampf wird jetzt wieder auf die Temperatur T abgekühlt. Bei diesem Schritt wird wieder eine gewisse Wärmemenge dQ_{CD} frei:

$$-dQ_{CD} = C_D \cdot dT$$

Hier ist C_D die Molarwärme des Dampfes. Im letzten Schritt kondensiert der Dampf unter Zufuhr einer gewissen mechanischen Arbeit A_{DA} . Hierbei wird wiederum die Verdampfungswärme $L(T)$ frei.

$$-A_{DA} = p \cdot (V_D - V_F)$$

Nach dem ersten Hauptsatz der Thermodynamik darf nun die Summe der insgesamt hinzugefügt Wärme mit der insgesamt verrichteten Arbeit gleichstellen. Dies ergibt dann:

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

Weiterhin ist nach dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik die Summe der reduzierten Wärmemenge gleich 0.

$$\sum_i \frac{Q_i}{T_i} = 0$$

Außerdem dürfen wir die Differentialausdrücke 2. Ordnung vernachlässigen und erhalten dadurch:

$$(C_F - C_D)dT + dL - \frac{LdT}{T} = 0 \quad (3)$$

2.3 Clausius-Clapeyronische Gleichung

Das Gleichstellen der Formel (2) mit der Formel (3) ergibt dann:

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

Die erhaltene Formel (4) wird in der Literatur als Clausius-Clapeyronische Gleichung bezeichnet. Mit ihrer Hilfe lässt sich die Dampfdruckkurve eines Stoffes berechnen. Da

sich die Integration sehr schwierig gestalten kann müssen zum Lösen zunächst einige Näherungen gemacht werden. Diese gelten, in besonderen Temperaturbereichen.

Für den Temperaturbereich weit unter der kritischen Temperatur T_{kr} (siehe Abbildung 1) dürfen einige Näherungen gemacht werden.

1. V_F ist im Verhältnis zu V_D vernachlässigbar.
2. V_D lässt sich durch die ideale Gasgleichung beschreiben (1)

$$\Rightarrow V_D(p, T) = R \cdot \frac{T}{p}$$

Dabei ist R wieder die allgemeine Gaskonstante, p der Druck und T die Temperatur, mit denen sich dann das Volumen V_D berechnen lässt.

3. Die Verdampfungswärme L ist druck- und temperaturunabhängig.

Unter diesen Näherungen können die Clausius-Clapeyronsche Gleichung (4) deutlich Vereinfachen werden:

$$\frac{R}{p} dp = \frac{L}{T^2} dT \quad (5)$$

Durch Integration der Gleichung (5), entsteht eine Formel zur Berechnung der Dampfdruckkurve:

$$p = \exp(C) \cdot \exp\left(-\frac{L}{RT}\right)$$

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

mit $C = \ln(p_0)$.

3 Durchführung und Versuchsaufbau

3.1 Druckbereich 30 bis 1000 mBar

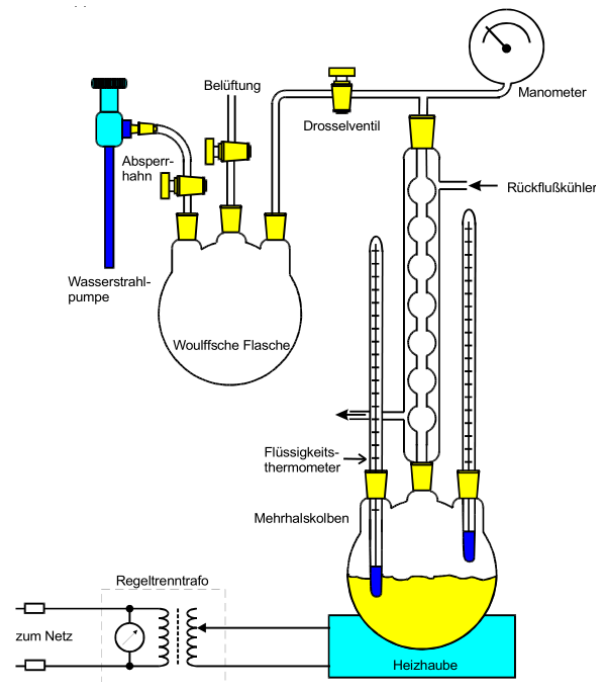


Abbildung 3: Der Versuchsaufbau für Drücke kleiner als 1 Bar [8].

Für die Messung der Dampfdruckkurve wird die Apparatur aus der Abbildung 3 verwendet. Den realen Aufbau findet man hier 9. In dem Photo ist auf der linken Seite die Wasserstrahlpumpe in der Spüle. Der Absperrhahn, das Drosselventil und das Belüftungsventil sind direkt an der Wouffschen Flasche angeschlossen. Diese steht leicht links hinter der größeren Apparatur. Das linke Thermometer, welches die Temperatur der Flüssigkeit abliest, wird für diesen Versuch verwendet. Der Druck wird an dem digitalen Manometer rechts unten im Bild abgelesen.

Um ein Vakuum für die Versuchsdurchführung zu erzeugen wird zunächst der Absperrhahn und das Drosselventil geöffnet und zusätzlich das Belüftungsventil geschlossen. Die Wasserstrahlpumpe wird nun solange angestellt bis sich ein konstanter Druck einstellt. Dieser Druck ist dabei, unter anderem, abhängig von der Wassertemperatur.

Bevor nun die Wasserstrahlpumpe abgeschaltet wird müssen der Absperrhahn und das Drosselventil geschlossen werden. Als nächstes wird nun die Heizhaube eingeschaltet und gleichzeitig dafür gesorgt, dass Kühlflüssigkeit durch den Rückflusskühler fließt. Falls die Substanz nach ein wenig Zeit nicht anfängt zu sieden wird noch einmal das Drosselventil geöffnet um den Druck innerhalb des Gefäßes weiter zu senken.

Anschließend wird bei laufender Heizung die Siedetemperatur und der Dampfdruck im Druckbereich 30 mbar bis 1000 mbar in fünfziger Schritten jeweils mit den Messgeräten

gemessen. Damit höhere Temperaturen erreicht werden können muss nach einer Weile der Durchfluss der Kühlflüssigkeit reduziert werden, bis die Kühlflüssigkeit nur noch tropft.

3.2 Druckbereich 1 bis 15 Bar

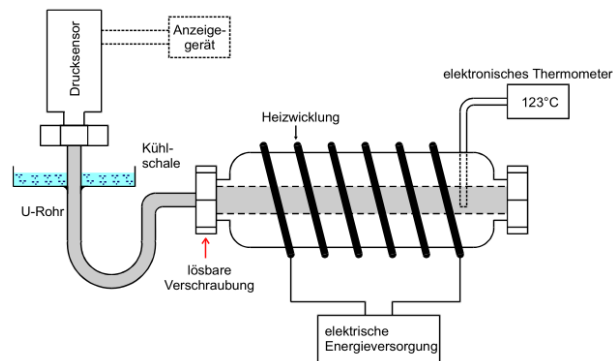


Abbildung 4: Der Versuchsaufbau für den Messbereich von 1 bis 15 Bar [8].

Die Dampfdruckkurve für Drücke im Bereich von 1 bar bis 15 bar wird mit Hilfe der Apparatur in 4 bestimmt. Ihr reales Äquivalent findet man hier 9.

Um den Versuch zu starten muss zunächst der Hohlraum vollständig mit destilliertem und entgastem Wasser befüllt sein. Sobald die Apparatur eingeschaltet ist, wird während das Wasser nun langsam erhitzt, die Siedetemperatur und der Sättigungsdampfdruck abgelesen. Der Druck wird in 1 bar Schritten mit den jeweils zugehörigen Temperaturen vermessen. Es sollte dabei besonders beachtet werden, dass der Vollausschlag des Manometers nicht überschritten wird.

4 Auswertung

4.1 Messungen bis 1 Bar

4.1.1 Plot der Messwerte und Funktionen

Im folgenden Plot sind die Messwerte und die dazugehörige berechnete Fit-Funktion 7 zusehen. Hier wurde der Logarithmus des Drucks gegen den Kehrwert der Temperatur aufgetragen. Dies dient zur Bestimmung von L in der Theorie bereits dargestellten Zusammenhang 6.

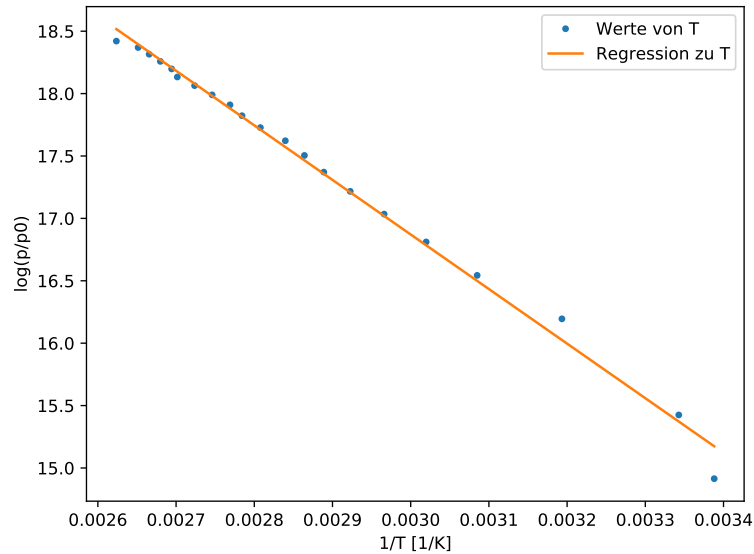


Abbildung 5: Ein Plot der Messwerte inklusive der gefitteten Funktionen.

4.1.2 Berechnung von L

Die gefittete Funktion auf die Messwerte 1 wurde mithilfe einer linearen Regression berechnet. Die Rechnung führt zu der Formel:

$$\begin{aligned} y &= m \cdot x + n \\ \Rightarrow y &= -4372.84836719 \cdot x + 29.98959435 \end{aligned} \quad (7)$$

Mit Hilfe der Gaskonstante R [5] und der Steigung der Ausgleichsgerade lässt sich nun eine gute Näherung für L , für Werte kleiner als 1 bar berechnen. Die -1 rührt dabei daher, dass L aus einer negativen Steigung hergeleitet wird, aber nur ihr Betrag relevant ist.

$$\begin{aligned} L &= (-1) \cdot m \cdot R \\ \Rightarrow L &\approx (36,357\,884\,3 \pm 0,666\,773\,7) \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{mol}} \end{aligned}$$

Anschließend soll die innere Verdampfungswärme L_i , pro Molekül, bestimmt werden. Dies geschieht über das Berechnen der äußeren Verdampfungswärme L_a , um L_i aus der Formel $L = L_i + L_a$ zu bestimmen.

Die äußere Verdampfungswärme ist dabei die Energie, die nötig ist um das Volumen eines Stoffes von V_F auf V_D auszudehnen, also die Volumenarbeit $W = pV$.

Wenn nun als äußere Verdampfungswärme $T = 373\text{K}$, also $T \approx 100^\circ\text{C}$, angenommen wird, lässt sich über die Allgemeine Gasgleichung L_i bestimmen.

$$L_a = pV = R \cdot T = 3101,2946 \frac{\text{J}}{\text{mol}}$$

Daraus folgt dann:

$$L_i = L - L_a$$

$$L_i = (33,256\,589\,7 \pm 0,666\,773\,7) \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{mol}}$$

Um dies dann pro Molekül zu betrachten wird der Wert durch die Avogadro-Konstante N_A [4] geteilt und zusätzlich, für bessere Anschaulichkeit, noch in eV umgerechnet.

$$L_i = (34,47 \pm 0,69) \cdot 10^{-2} \text{eV}$$

4.1.3 Die Messwerte bis 1 Bar

Dies ist die Tabelle, der im ersten Versuchsteil aufgenommenen Messwerte. Zusätzlich zu den Messwerten zeigt sie auch noch die im Plot 6 aufgetragenen Werte von $\log(\frac{p}{p_0})$ und $\frac{1}{T}$, korrespondierend zu den dazugehörigen Messwerten.

P / mbar	$T / ^\circ\text{C}$	$\log(\frac{p}{p_0})$	$\frac{1}{T} / 1/\text{K}$
30	22	14,914	0,003 39
50	26	15,425	0,003 34
108	40	16,195	0,003 19
153	51	16,543	0,003 08
200	58	16,811	0,003 02
250	64	17,034	0,002 97
300	69	17,217	0,002 92
350	73	17,371	0,002 89
400	76	17,504	0,002 86
450	79	17,622	0,002 84
500	83	17,728	0,002 81
550	86	17,823	0,002 78
600	88	17,910	0,002 77
650	91	17,990	0,002 75
700	94	18,064	0,002 72
750	97	18,133	0,002 70
800	98	18,198	0,002 69
850	100	18,258	0,002 68
900	102	18,315	0,002 67
950	104	18,369	0,002 65
1000	108	18,421	0,002 62

Tabelle 1: Eine Tabelle der Messwerte bis 1000 mbar und der Für den Plot6 aufgetragenen Werte.

4.2 Messung bis 15 Bar

4.2.1 Bestimmung einer Funktion $L(T)$

Um eine Funktion $L(T)$ zu bestimmen wird zu erst ein Fit $p(T)$ auf die Messreihe 4 benötigt. Dieser wird genutzt um später p und $\frac{dp}{dT}$ approximieren zu können. Zunächst wird aber die Clausius-Clapeyronsche Gleichung 4 nach der Verdampfungswärme L umgestellt.

$$L = T \cdot (V_D - V_F) \frac{dp}{dT} \quad (8)$$

Da bei diesem Experiment ein Sättigungsdampfdruck erreicht wird, welcher nicht vom Volumen abhängig ist lässt sich V_D nicht mehr über die Allgemeine Gasgleichung bestim-

men. Stattdessen wird folgende Näherung genutzt:

$$\begin{aligned} R \cdot T &= \left(p + \frac{A}{V_D^2} \right) \cdot V_D & \text{mit} & \quad A = 0,9 \frac{\text{J m}^3}{\text{mol}^2} \\ \Rightarrow V_D &= \frac{R \cdot T}{2p} \pm \sqrt{\frac{R^2 \cdot T^2}{4p^2} - \frac{A}{p}} \end{aligned}$$

Da V_F vernachlässigbar ist, kann für die Gleichung 8 ($V_D - V_F$) $\approx V_D$ eingesetzt werden.

$$\begin{aligned} L &= T \left(\frac{dp}{dt} \frac{R \cdot T}{2p} \pm \sqrt{\frac{R^2 \cdot T^2}{4p^2} - \frac{A}{p}} \right) \frac{dp}{dt} \\ L &= \frac{T}{p} \left(\frac{R \cdot T}{2} \pm \sqrt{\frac{R^2 \cdot T^2}{4} - Ap} \right) \frac{dp}{dt} \end{aligned} \quad (9)$$

Um $\frac{dp}{dt}$ in 9 zu approximieren wird eine Fit-Funktion 3.Grades für die Temperatur T und den Druck p bestimmt. Diese wird anschließend differenziert.

Der Fit auf p und seine dazugehörige Ableitung sind:

$$\begin{aligned} p(T) &= a \cdot T^3 + b \cdot T^2 + c \cdot T + d \\ \frac{dp}{dt} &= 3a \cdot T^2 + 2b \cdot T + c \end{aligned}$$

Mit den Werten

Parameter	Bestimmte Werte			
a	0,929 30	±	0,197 12	Pa/K ³
b	−1028,736 15	±	255,753 08	Pa/K ²
c	384 662,956 44	±	110 409,313 69	Pa/K
d	−48 574 494,469 44	±	15 858 875,973 27	Pa

Tabelle 2: Berechnete Werte für die Polynome der Fit-Funktion gerundet auf die fünfte Nachkommastelle.

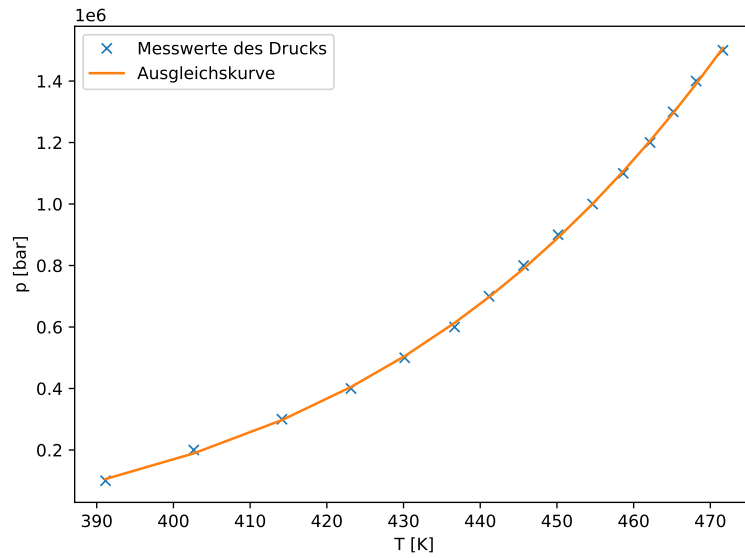


Abbildung 6: Die Messwerte inklusive der Fit-Funktion.

Einsetzen der Fit-Funktionen in 9 führt zu:

$$L(T) = \left(\frac{R \cdot T}{2} \pm \sqrt{\frac{R^2 \cdot T^2}{4} - Ap} \right) \frac{3a \cdot T^3 + 2b \cdot T^2 + c \cdot T}{a \cdot T^3 + b \cdot T^2 + c \cdot T + d} \quad (10)$$

Das \pm führt zu zwei Funktionen für die Verdampfungswärme. Durch einsetzen von beliebigen Zahlen zeigt sich, dass die Funktion für das Minus 8 eine positive Steigung liefert und zusätzlich noch sehr kleine Werte. Aus diesen Gründen bietet sie keine vernünftige Lösung für L .

Die Funktion 7 für das Plus hingegen, liefert eine streng monoton fallende Funktion für L . Dies ergibt auch Sinn, da die Verdampfungswärme immer weiter abnehmen sollte, je näher die eingesetzten Temperaturen der kritischen Temperatur kommen, bei der $L = 0$ gilt.

Die nachfolgende Tabelle 3 zeigt Theoriewerte für L bei bestimmten Temperaturen und die dazu korrespondierenden Werte der zuvor gewählten Fit-Funktion.

T / K	$L_{\text{Theorie}} / \text{J/mol}$	$L_{\text{Fit}_+} / \text{J/mol}$	$\text{Abweichung} / \%$
393,1	39 684	71 630,765	80,5
413,1	38 643	50 767,536	31,4
433,1	37 518	44 745,589	19,3
453,1	36 304	41 103,275	13,2
473,1	34 962	37 865,484	8,3

Tabelle 3: Eine Tabelle, welche die Temperatur und ihre korrespondierenden Fit- und Theorie-Werte [6] für L zeigt. Außerdem ist die prozentuale Abweichung der L Werte voneinander enthalten.

4.2.2 Plots der Funktionen der Verdampfungswärme

Die folgenden Abbildungen zeigen die beiden gefundenen Funktionen 10.

Dabei wird die Dampfdruckwärme gegen die Temperatur abgetragen. Der erste Plot bildet dabei die Theoriewerte 3 und die Funktion $L_+(T)$ ab.

Es zeigt sich, dass die Funktion für steigende Temperaturen den Theoriewerten annähert.

Die zweite Abbildung zeigt nur exemplarisch $L_-(T)$, um zu ersichtlich zu machen, dass die Werte der Funktion mit dem erwarteten Ergebnis für L nicht kompatibel sind.

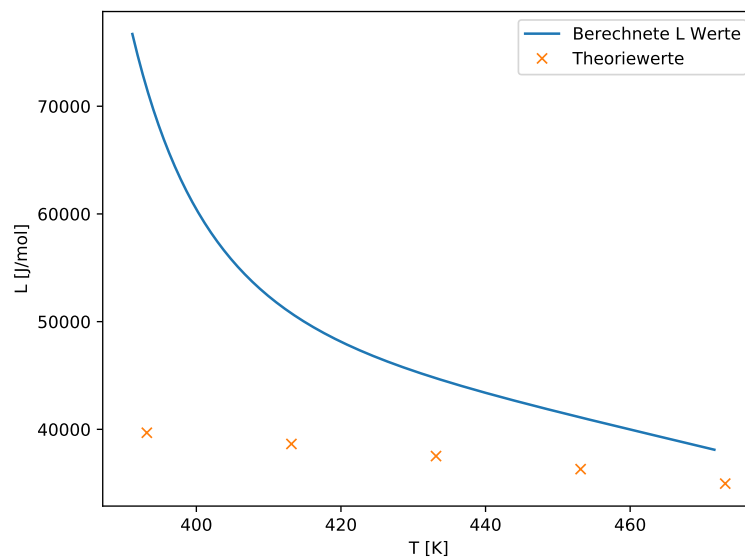


Abbildung 7: Ein Plot der Funktion $L_+(T)$ und der Theoriewerte [6].

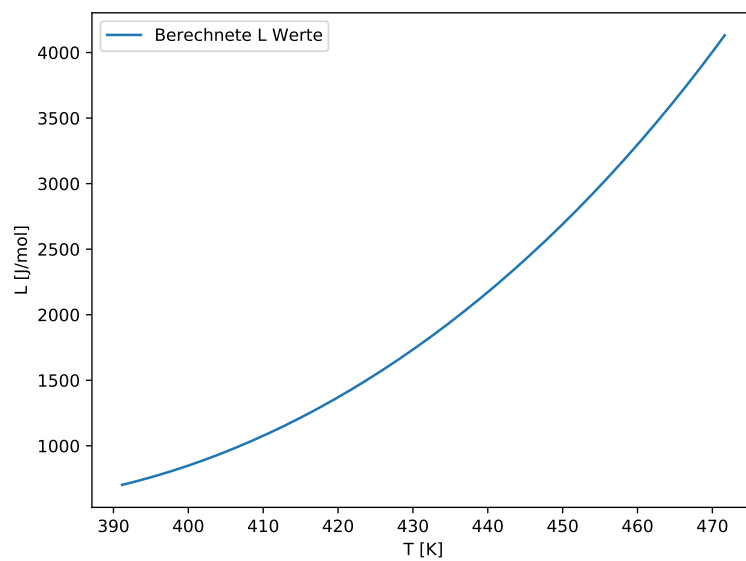


Abbildung 8: Ein Plot der Funktion $L_-(T)$.

4.2.3 Die Messwerte bis 15 Bar

Dies ist die Tabelle, der im zweiten Versuchsteil aufgenommenen Messwerte. Sie zeigt die gemessenen Drücke, so wie die gemessenen Temperaturen in Bar und Kelvin.

P / bar	$T / ^\circ\text{C}$	T / K
1	118,0	391,1
2	129,5	402,6
3	141,0	414,1
4	150,0	423,1
5	157,0	430,1
6	163,5	436,6
7	168,0	441,1
8	172,5	445,6
9	177,0	450,1
10	181,5	454,6
11	185,5	458,6
12	189,0	462,1
13	192,0	465,1
14	195,0	468,1
15	198,5	471,6

Tabelle 4: Eine Tabelle der Messwerte bis 15 bar.

5 Diskussion

5.1 Messungen bis 1 Bar

Für diesen Teil des Versuches gab es bei der Durchführung keine größeren Probleme. Der Startdruck fiel am Anfang auf einen zufriedenstellenden Wert und bis auf minimale Druckschwankungen beim Erhitzen gab es keine Besonderheiten. Nur bei den ersten drei Messpaaren hatte das Wasser noch nicht gesiedet. Somit ist nicht sicher ob der Sättigungsdampfdruck bereits vollständig erreicht war. Diese Werte müssen mit etwas Vorsicht betrachtet werden.

Jedoch scheinen auch die ersten drei Messwerte gut in die Reihe der anderen Messwerte zu passen.

$T / ^\circ\text{C}$	$L_{\text{Theorie}} / \text{J/mol}$
25	43 990
40	43 350
60	42 483
80	41 585
100	40 657
120	39 684

Tabelle 5: Eine Tabelle der Theoriewerte[6] für L .

Der Mittelwert der aus den oben aufgeführten Theoriewerten für die Verdampfungswärme ist: $41\,958,17 \text{ J/mol}$

Dies führt für unseren Wert von $L = (36,357\,884\,3 \pm 0,666\,773\,7) \cdot 10^3 \text{ J/mol}$ zu einer prozentualen Abweichung von $(1,54 \pm 0,21) \cdot 10^1 \%$.

Diese Abweichung und damit der gemittelte Wert von L , der aus der Messreihe bestimmt wurde, ist zufriedenstellend.

Da sich die innere Verdampfungswärme pro Molekül, $L_i = (34,47 \pm 0,69) \cdot 10^{-2} \text{ eV}$ ziemlich direkt, mit nur einer kleinen Näherung, aus dem oben genannten Wert berechnet, muss ihr Wert auch zufriedenstellend sein.

Allerdings ist der Wert kleiner als die Theoriewerte. Er wurde aber auch mithilfe von Näherungen bestimmt und er ist außerdem auch nur ein gemittelter Wert. Trotzdem könnte sich dies dadurch erklären lassen, dass die Temperatur nicht über dem Wasser, wie es optimal wäre, sondern im Wasser gemessen wurde. Dies kann zu leicht erhöhten Messwerten geführt haben, was wiederum zu einer kleineren Verdampfungswärme führen sollte.

Zusammenfassend kann aber gesagt werden, dass die Messwerte recht gut sind.

5.2 Messungen zwischen 1 und 15 Bar

Die Durchführung des Versuches lief ohne irgendwelche direkt erkennbaren Probleme ab. Bei der Auswertung wurde die in 7 zusehende Funktion der in 8 vorgezogen. Dies liegt,

wie zuvor schon erläutert, daran, dass die gesuchte Funktion eine negative Steigung besitzen sollte und Werte in der Größenordnung der Theoriewerte besitzen sollte.

Beides trifft auf die Erste zu, aber nicht auf die Zweite.

Allerdings gibt es, wie in 7 und in 3 sichtbar ist, für die ersten Messwerte der gewählten Funktion eine recht hohe Diskrepanz zwischen den Theoriewerten und unserer Funktion für L .

Diese Diskrepanz beträgt am Anfang sogar 80%, am Ende aber nur 8%.

Dies könnte daran liegen, dass sich der Gleichgewichtszustand, welcher für den Sättigungsdampfdruck benötigt wird, sich später einstellt. Dies würde bedeuten, dass es also ein Problem bei der Durchführung gab, das nicht direkt ersichtlich war.

Alternativ könnte für die starke Abweichung auch der große Fehler der Fit-Funktion mit verantwortlich sein, obwohl sie eigentlich sehr gut auf die Messwerte passt. Eine zusätzlicher Faktor wären auch noch die vielen Näherungen die getroffen werden mussten um die Clausius-Clapeyronsche Gleichung lösen zu können und um die Funktionen für L bilden zu können.

Allerdings nähert sich die Funktion für die späteren Messwerte gegen die Theoriewerte an, was ein Indikator dafür sein kann, dass kein grundlegender Fehler vorliegt.

Die in 3 zusehenden Werte sind aber alles in allem zufriedenstellend.

6 Anhang

6.1 Versuchsaufbauten

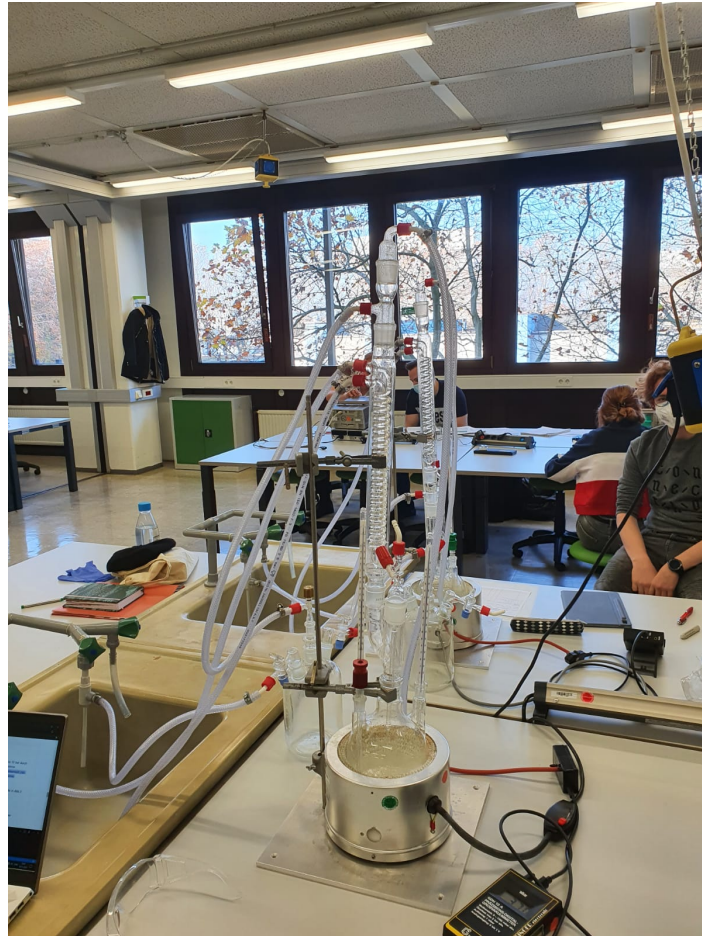


Abbildung 9: Ein Foto der Apparatur für Messwerte kleiner als 1 Bar.

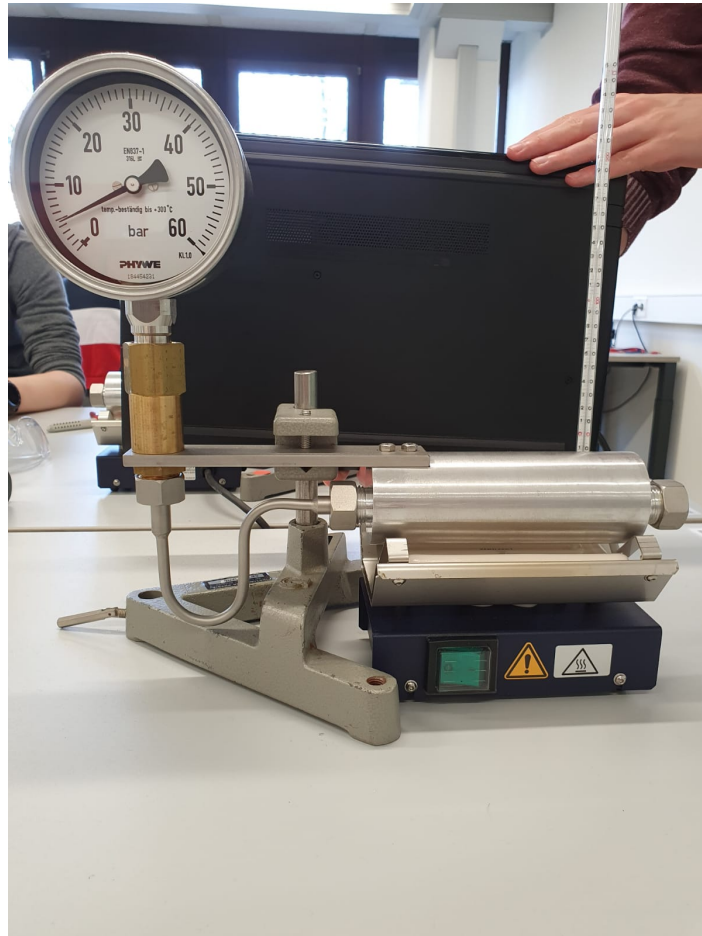


Abbildung 10: Ein Foto der Apparatur für Messwerte zwischen 1 und 15 Bar.

6.2 Messwerte

Versuch 203 Wasser 30mbar-1bar

Druck in mBar	Temperatur in °C
30	22
25	21.6
20	21.4
15	21.0
10	20.7
5	20.4
0	20.3
0	20.1
0	19.9
0	19.6
0	19.3
0	19.0
0	18.7
0	18.4
0	18.1
0	17.9
0	17.6
0	17.3
0	17.0
0	16.7
0	16.4
0	16.1
0	15.9
0	15.6
0	15.3
0	15.0
0	14.7
0	14.4
0	14.1
0	13.9
0	13.6
0	13.3
0	13.0
0	12.7
0	12.4
0	12.1
0	11.9
0	11.6
0	11.3
0	11.0
0	10.7
0	10.4
0	10.1
0	9.9
0	9.6
0	9.3
0	9.0
0	8.7
0	8.4
0	8.1
0	7.9
0	7.6
0	7.3
0	7.0
0	6.7
0	6.4
0	6.1
0	5.9
0	5.6
0	5.3
0	5.0
0	4.7
0	4.4
0	4.1
0	3.9
0	3.6
0	3.3
0	3.0
0	2.7
0	2.4
0	2.1
0	1.9
0	1.6
0	1.3
0	1.0
0	0.7
0	0.4
0	0.1
0	0.0

28.10.2010

Abbildung 11: Ein Foto der Messwerte aus dem Messheft, für Werte kleiner als 1 Bar.

Versuch 203		Druck 1-15 bar
Druck / bar		Temperatur / °C
1		118
2		129,5
3		141
4		150
5		157
6		163,5
7		168
8		172,5
9		177
10		181,5
11		185,5
12		189
13		192
14		195
15		198,5


10.11.2020 

Abbildung 12: Ein Foto der Messwerte aus dem Messheft, für Werte zwischen 1 und 15 Bar.

Literatur

- [1] John D. Hunter. „Matplotlib: A 2D Graphics Environment“. Version 1.4.3. In: *Computing in Science & Engineering* 9.3 (2007), S. 90–95. URL: <http://matplotlib.org/>.
- [2] Eric Jones, Travis E. Oliphant, Pearu Peterson u. a. *SciPy: Open source scientific tools for Python*. Version 0.16.0. URL: <http://www.scipy.org/>.
- [3] Eric O. Lebigot. *Uncertainties: a Python package for calculations with uncertainties*. Version 2.4.6.1. URL: <http://pythonhosted.org/uncertainties/>.
- [4] *Literaturwert für die Avogadro-Konstante*. 2020. URL: <https://www.chemie.de/lexikon/Avogadro-Konstante.html> (besucht am 15.11.2020).

- [5] *Literaturwert für die Gaskonstante R* . 2020. URL: https://www.chemie.de/lexikon/Universelle_Gaskonstante.html (besucht am 30.11.2020).
- [6] *Literaturwerte für spezifische Wärmekapazität von Wasser*. 2020. URL: <https://www.chemie-schule.de/KnowHow/Verdampfungsw%C3%A4rme> (besucht am 16.11.2020).
- [7] Travis E. Oliphant. „NumPy: Python for Scientific Computing“. Version 1.9.2. In: *Computing in Science & Engineering* 9.3 (2007), S. 10–20. URL: <http://www.numpy.org/>.
- [8] *Versuchsanleitung zu Versuch V203 "Verdampfungswärme und Dampfdruck-Kurve"*. Fakultät Phyik, TU Dortmund. 2020.