

3.4. Dampfdruckkurve von Wasser; Luftdichte und Luftfeuchtigkeit

Ziel

Ein Ziel des Versuchs ist die Bestimmung der *Dichte trockener Luft unter Standardbedingungen*. Zu diesem Zweck bestimmen Sie zunächst experimentell sehr einfach die Dichte *feuchter Luft bei Raumtemperatur*. Um aus dieser dann die gewünschte Größe berechnen zu können, müssen weitere Messungen gemacht werden: der Luftdruck und die relative Luftfeuchtigkeit am Versuchstag, sowie der Sättigungsdampfdruck von Wasser bei der im Labor herrschenden Temperatur.

Als vielleicht noch wichtigeres zweites Resultat erhalten Sie dabei die Temperaturabhängigkeit des Sättigungsdampfdrucks von Wasser bei Temperaturen zwischen $\approx 20^\circ\text{C}$ und $\approx 130^\circ\text{C}$. Daraus berechnen Sie wiederum die Verdampfungswärme von Wasser nach der Gleichung von Clausius-Clapeyron.

Hinweise zur Vorbereitung

Die Antworten auf diese Fragen sollten Sie vor der Versuchsdurchführung wissen. Sie sind die Grundlage für das Gespräch mit Ihrer Tutorin/Ihrem Tutor vor dem Versuch. Informationen zu diesen Themen erhalten Sie in der unten angegebenen Literatur.

- Was versteht man unter dem Dampfdruck?
- Was ist Verdampfungswärme?
- Was passiert beim Siedeverzug?
- Wie groß sind Temperatur und Druck bei Normbedingungen?
- Wie besagt die clausius-clapeyronsche Gleichung?

Zubehör

- Dampfdruckmessung im Niedertemperaturbereich ($T \lesssim 100^\circ\text{C}$):
 - Erlenmeyerkolben mit Überdruckventil, etwa zur Hälfte mit Wasser gefüllt
 - zwei Magnetrührer, einer davon mit regelbarer Heizplatte
 - Gefäß mit Eiswasser zur Kühlung
 - Quecksilberthermometer, Messbereich ca. $0^\circ\text{C} \dots 100^\circ\text{C}$
 - elektronisches Barometer zur Messung des Absolutdruckes
- Dampfdruckmessung im Hochtemperaturbereich ($T \gtrsim 100^\circ\text{C}$):
 - Dampfkochtopf mit elektronischem Thermometer und Barometer
 - Heizplatte

- Bestimmung von Luftdichte und Luftfeuchtigkeit:
 - Glasrundkolben mit (zwei) Ventilstutzen, Volumen $V \approx 1 \text{ L}$
 - elektronische Feinwaage, Auflösung 0.1 g bei einer Tragkraft von max. 3000 g (das Gerät steht normalerweise beim Versuch Saccharimetrie)
 - Wasserstrahlpumpe
 - Taupunkthygrometer
 - Trockeneis (festes CO_2) im Äthanolbad zur Kühlung

Grundlagen

Dampfdruck

Der Übergang von der flüssigen in die gasförmige Phase eines Stoffes ist ein rein physikalischer Vorgang ohne chemische Umwandlung. Ein solcher Übergang bietet ein besonders einfaches Anwendungsbeispiel für thermodynamische Gesetzmäßigkeiten. Das Phasendiagramm eines Stoffes ist eine graphische Darstellung der Druck-¹ und Temperaturbereiche, in denen die einzelnen Phasen (z. B. Festkörper, Flüssigkeit oder Gas) thermodynamisch stabil sind. Abbildung 3.4.1 zeigt als Beispiel das experimentell bestimmte Phasendiagramm von Wasser für einen großen Bereich von Druck p und Temperatur T . Im hier beschriebenen Versuch sollen Sie einen kleinen Ausschnitt dieses Diagramms näher untersuchen, nämlich für $0^\circ\text{C} \lesssim T \lesssim 130^\circ\text{C}$ und $p \lesssim 2700 \text{ hPa} = 2.7 \text{ bar}$. Bei einem solchen Phasendiagramm interessiert man sich besonders für die Steigung dp/dT der Phasengrenzlinien. Letztere sind dadurch gekennzeichnet, dass auf Ihnen die chemischen Potentiale beider Phasen, nennen wir sie z. B. α und β , jeweils gleich sind.² Bewegt man sich entlang der Phasengrenzlinie weiter, so müssen also auch die Änderungen der chemischen Potentiale beider Phasen gleich sein, d. h. $d\mu_\alpha = d\mu_\beta$. Die Änderung des chemischen Potentials ist allgemein gegeben durch

$$d\mu = -S_m dT + V_m dp \quad (3.4.1)$$

mit

$$S_m = \text{molare Entropie}$$

$$V_m = \text{Molvolumen}$$

¹Als Formelzeichen für den Druck wird üblicherweise p verwendet. Zu gebräuchlichen Einheiten siehe Seite 207.

²Das chemische Potential μ gibt an, wie sich die Freie Enthalpie G eines Systems bei Änderung der Stoffmenge n ändert. Anschaulich gesprochen ist es ein Maß für die „Umwandlungsfreudigkeit“ einer Phase. Eine Phase mit einem hohen chemischen Potential gibt sozusagen „gern“ Teilchen an andere Phasen ab.

Es gilt also

$$\begin{aligned} S_{\alpha,m} \cdot dT + V_{\alpha,m} \cdot dp &= S_{\beta,m} \cdot dT + V_{\beta,m} \cdot dp \\ \Rightarrow (V_{\beta,m} - V_{\alpha,m}) \cdot dp &= (S_{\beta,m} - S_{\alpha,m}) \cdot dT \end{aligned} \quad (3.4.2)$$

$$\Rightarrow \frac{dp}{dT} = \frac{\Delta S_m}{\Delta V_m} \quad (3.4.3)$$

mit

$$\Delta S_m := S_{\beta,m} - S_{\alpha,m} = \text{molare Entropieänderung}$$

$$\Delta V_m := V_{\beta,m} - V_{\alpha,m} = \text{molare Volumenänderung.}$$

Gleichung (3.4.3) ist als Clapeyron-Gleichung bekannt und gilt *exakt* für die Steigung der Phasengrenzlinie für jedes Gleichgewicht zwischen zwei beliebigen Phasen α und β eines beliebigen reinen Stoffes.

Setzt man näherungsweise für das Molvolumen des Gases den Wert für das ideale Gas ein, also $V_{g,m} = RT/p$ und vernachlässigt demgegenüber das molare Volumen der Flüssigkeit $V_{l,m}$, so geht die exakt gültige clapeyronsche Gleichung in die näherungsweise gültige clausius-clapeyronsche Gleichung über:³

$$\frac{d \ln p}{dT} = \frac{\Delta_v H}{RT^2} \quad (3.4.4)$$

mit

$$p = \text{Dampfdruck}$$

$$T = \text{Temperatur}$$

$$\Delta_v H = \text{molare Verdampfungsenthalpie.}$$

Nimmt man weiterhin an, dass die molare Verdampfungsenthalpie $\Delta_v H$ nicht vom Druck abhängt, so lässt sich diese Gleichung integrieren (siehe Aufgabenteil), und man erhält schließlich

$$p = p^* \cdot e^{-\chi} \quad (3.4.5)$$

mit

$$\chi := \frac{\Delta_v H}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T^*} \right)$$

$$T^* = \text{eine spezielle Temperatur}^4$$

$$p^* = \text{Dampfdruck bei dieser Temperatur } T^*.$$

³Siehe z. B. [Atk01] S. 184-187.

⁴Die Variable T^* steht hier für eine beliebige Temperatur, für die der Dampfdruck bekannt ist. Hierfür bieten sich insbesondere der Tripelpunkt und der Normalsiedepunkt an (siehe auch Aufgabenteil). Die

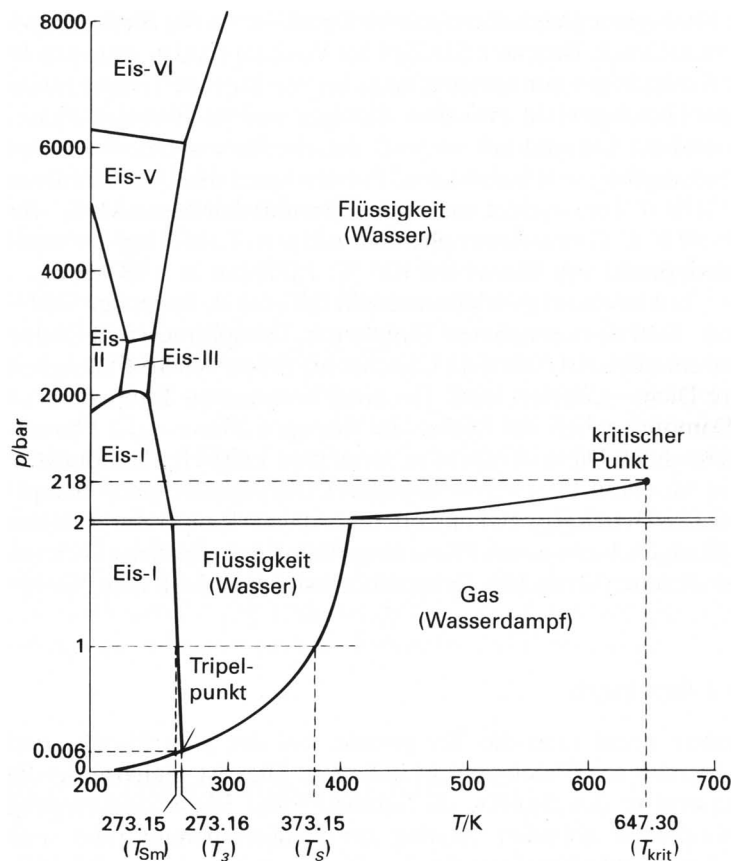


Abbildung 3.4.1.: Experimentell bestimmtes Phasendiagramm von Wasser [Atk01]. Bitte beachten Sie die Änderung der Skaleneinteilung bei $p = 2$ bar. Eis-VII hat einen Schmelzpunkt von 100°C , existiert aber nur bei $p > 2.5$ GPa. Die Entdeckung von Eis-IV erwies sich später als Irrtum, ebenso die einer weiteren flüssigen Phase, des legendären „Polywassers“. Die Bezeichnungen bedeuten: p Druck, T Temperatur, T_{Sm} Schmelztemperatur, T_3 Temperatur des Tripelpunktes, T_S Siedetemperatur, T_{krit} kritische Temperatur.

Luftfeuchtigkeit

Unter dem Begriff „Luftfeuchtigkeit“ versteht man den Wasserdampfgehalt der Luft. Dabei kann die absolute Luftfeuchtigkeit gemeint sein (Einheit z. B. 1 g/cm^3 , Messung durch Wägung stark hygroskopischer Substanzen), meist allerdings die relative Luftfeuchtigkeit. Letztere ist der Quotient aus dem tatsächlich in der Luft enthaltenen Wasserdampf und dem bei dieser Temperatur maximal möglichen Wert. Bequemer als mit Massenangaben

Näherungsgleichung liefert dann brauchbare Werte für den Dampfdruck, sofern man nur Temperaturen betrachtet, die nicht allzu verschieden von T^* sind. Benötigt man die Dampfdruckkurve über einen weiteren Temperaturbereich, so muss man die Funktion u. U. aus mehreren Zweigen zusammensetzen und dazwischen (z. B. graphisch) interpolieren.

lässt sich dabei mit Partialdrücken rechnen (bei einer Gasmischung versteht man unter dem Partialdruck einer bestimmten Komponente den Druck, der herrschen würde, wenn diese Komponente allein im gegebenen Volumen wäre).

Zur Bestimmung der Luftfeuchtigkeit werden je nach geforderter Genauigkeit verschiedene Verfahren eingesetzt. In diesem Versuch wird ein sog. Taupunkthygrometer verwendet. Dieses ist ein Instrument zur Bestimmung derjenigen Temperatur, bei der in der Raumluft enthaltener Wasserdampf anfängt zu kondensieren, also einen feuchten Niederschlag auf Oberflächen oder auch Nebeltröpfchen zu bilden. Das im Praktikum eingesetzte Gerät besteht aus zwei miteinander verbundenen Glaskugeln und ist mit flüssigem und gasförmigem Äther (chemische Formel $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OCH}_2\text{CH}_3$) gefüllt. In der linken Glaskugel befindet sich ein Thermometer, das die Temperatur des Äthers misst. Ein weiteres Thermometer misst die Außentemperatur. Die linke Glaskugel ist außerdem mit einem Goldring bedampft, an dem die Kondensation von Wasserdampf besonders gut zu sehen ist, weil die sich bildenden Tautröpfchen die vorher spiegelnde Oberfläche matt erscheinen lassen. Zur Messung wird zunächst durch Kippen der Anordnung der Äther in die linke Kugel gegossen. Dann wird die rechte Kugel des Hygrometers abgekühlt. Dies kann z. B. mittels eines Äthanolbades erfolgen, in das ein Stückchen Trockeneis gegeben wurde. Falls ausnahmsweise kein Trockeneis verfügbar sein sollte, kann zur Abkühlung auch Kältespray verwendet werden. Zu diesem Zweck ist die Kugel mit Stoff umwickelt. Durch die Abkühlung kondensiert Äther im Inneren der rechten Kugel und der Druck sinkt dort ab. Ätherdampf strömt von links nach, so dass auch links der Druck sinkt. Er liegt dann unter dem Dampfdruck des flüssigen Äthers in der linken Kugel. Dies führt dazu, dass dort Äther verdampft. Die Verdampfungswärme wird dabei der Flüssigkeit entzogen, so dass diese sich abkühlt. Diese Abkühlung erfolgt im Gegensatz zur Abkühlung der rechten Kugel recht langsam und definiert, so dass es möglich ist, durch ständige Beobachtung des Goldringes genau die Temperatur zu bestimmen, bei der Taubildung auftritt.

Versuchsdurchführung

Aus praktischen Gründen wird der längste Versuchsteil „Dampfdruck“ zuerst bearbeitet. Allerdings ist es sehr sinnvoll, den Glasrundkolben für die Bestimmung der Luftdichte gleich zu Anfang auf die „Trockenstation“ zu legen, damit er später keine störenden Wassertröpfchen mehr enthält:

1. Öffnen Sie beide Ventile des Glasrundkolbens und gießen Sie eventuell noch enthaltenes Wasser aus. Schließen Sie den Kolben dann über einen Gummischlauch an den speziell hierfür vorgesehenen Druckluftanschluss an (Überdruck ist begrenzt auf max. 0.2 bar, eigentlich reicht aber schon viel weniger — dann zischt es auch nicht so laut), so dass der Kolben kontinuierlich von Luft durchströmt wird. Dadurch wird der Kolben innen gründlich getrocknet, während Sie die anderen Versuchsteile bearbeiten.

Dampfdruck Niedertemperaturbereich:

2. Füllen Sie den Erlenmeyerkolben etwa zur Hälfte mit destilliertem Wasser (evtl. ist auch noch genug drin) und geben Sie einen großen „Magnetrührfisch“ hinein. Ver-

schließen Sie den Kolben und bringen Sie das Wasser auf der Heizplatte zum Kochen. Lassen Sie das Wasser ca. 1 min sprudelnd kochen. Der entstehende Wasserdampf entweicht dabei durch das Überdruckventil.

3. Nehmen Sie den Glaskolben von der Heizplatte und stellen Sie ihn auf den kalten Magnetrühr Tisch.
4. Nehmen Sie eine Dampfdruckkurve auf, indem Sie während des Abkühlens ständig (möglichst in Schritten von 1°C) Temperatur (Quecksilberthermometer) und Dampfdruck (Anzeige des elektronischen Barometers) notieren. Da die Abkühlung im unteren Temperaturbereich recht langsam erfolgt, sollten Sie diese beschleunigen, indem Sie den Glaskolben in ein Gefäß mit Eiswasser stellen und beide Gefäße zusammen wieder auf den Rühr Tisch stellen.
Messen Sie bis zu einer Endtemperatur von ca. 45°C .

Dampfdruck Hochtemperaturbereich:

5. Füllen Sie ca. $\frac{1}{2}$ Liter destilliertes Wasser in den Dampfkochtopf. Schließen Sie den Deckel und das Ventil (Schieber ganz nach vorne).
6. Bringen Sie das Wasser im Topf mit Hilfe der Heizplatte zum Kochen.
7. Warten Sie, bis der entstehende Wasserdampf alle Luft aus dem Topf verdrängt hat (dazu soll ca. 1 min lang Dampf aus dem Ventil ausströmen).
8. Nehmen Sie den Topf von der Heizplatte und stellen Sie ihn auf eine hitzebeständige kühle Unterlage.
9. Nehmen Sie ähnlich wie im ersten Versuchsteil wieder eine Dampfdruckkurve auf, indem Sie während des Abkühlens ständig (möglichst in Schritten von 1°C) Temperatur T (Anzeige des elektronischen Thermometers) und Dampfdruck p_{\downarrow} (Anzeige des elektronischen Barometers) notieren. Bei $T \lesssim 95^\circ\text{C}$ öffnet das Unterdruckventil des Topfes (leichtes Zischen hörbar). Die Messung ist damit beendet.

Luftdichte:

10. Messen Sie den Umgebungsluftdruck p_U mit Hilfe des elektronischen Barometers. Evakuieren Sie den Glasrundkolben so gut wie möglich mit Hilfe der Wasserstrahlpumpe.⁵ Bestimmen Sie dann auf der Feinwaage die Masse des Glaskolbens erst evakuiert (m_G), dann mit Luftfüllung (m_{GL}) und schließlich gefüllt mit destilliertem Wasser (m_{GW}).

Hinweis: Die Reihenfolge ist wichtig, da auf diese Weise zumindest bei den ersten beiden Messungen Fehler vermieden werden, die sonst durch nahezu unvermeidliche Wassertropfen entstehen. Außerdem ist die unten angegebene Korrektur der Luftdichte für *trockene* Luft nur dann sinnvoll, wenn auch tatsächlich die Luftfeuchtigkeit *im Glaskolben* bekannt ist. Dazu ist es notwendig, den Kolben vor der Wägung mit Luft zunächst zu evakuieren und anschließend mit *Umgebungsluft* zu belüften, da nicht davon ausgegangen werden kann, dass die Druckluft den gleichen Feuchtigkeitsgehalt aufweist.

⁵Das dauert typischerweise weniger als eine Minute. Das Strömungsgeräusch ändert sich deutlich und man sieht es dem Wasserstrahl auch an, wenn die Pumpe kaum noch Luft fördert.

Luftfeuchtigkeit:

- Bestimmen Sie den Taupunkt mit Hilfe des Taupunkthygrometers.

Kühlen Sie hierzu die rechte Kugel ab (siehe Grundlagenteil) und beobachten Sie, wann sich am Goldring ein sichtbarer Niederschlag (Tau) bildet. Notieren Sie die zugehörige Temperatur der linken Kugel (innenliegendes Thermometer) und die Raumtemperatur (Thermometer am Holzständer des Instruments).

Allgemein:

- Bestimmen Sie den äußeren Luftdruck am Versuchstag unabhängig von den elektronischen Barometern mit Hilfe des Quecksilberbarometers im Flur.

Auswertung

- Berechnen und zeichnen Sie mit Hilfe der Clausius-Clapeyron-Gleichung (3.4.5) die Dampfdruckkurve von Wasser im Bereich zwischen $-5\text{ }^\circ\text{C}$ und $+130\text{ }^\circ\text{C}$. Da die Gleichung nur näherungsweise gilt, müssen Sie dazu im oberen und unteren Temperaturbereich von jeweils geeigneten gut bekannten Punkten ausgehen. Wählen Sie hierfür den Tripelpunkt ($p_1^* = 6.11\text{ hPa}$, $T_1^* = 273.16\text{ K}$, $\Delta_{\text{V},1}H = +45.05\frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$) und den Normalsiedepunkt ($p_2^* = 1013.25\text{ hPa}$, $T_2^* = 373.15\text{ K}$, $\Delta_{\text{V},2}H = +40.66\frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$).

Wählen Sie zweckmäßigerweise eine halblogarithmische Darstellung (p -Achse logarithmisch nach oben, $1/T$ -Achse linear nach rechts, Achtung: T in Kelvin einsetzen!).

Tragen Sie in dieses Diagramm zusätzlich auch Ihre experimentellen Daten ein und vergleichen Sie. Nehmen Sie dabei alle Werte aus dem Niedertemperatur- und Hochtemperaturbereich (Punkte 4 bzw. 9 der Versuchsdurchführung) mit auf.

Bestimmen Sie auf folgende Weise die molare Verdampfungswärme $\Delta_{\text{V}}H$ des Wassers für verschiedene Temperaturen:

- Legen Sie für $T = 60\text{ }^\circ\text{C}$ und $T = 120\text{ }^\circ\text{C}$ jeweils eine Tangente an die von Ihren Messwerten gebildete Kurve.
- Bestimmen Sie aus den Steigungen der Tangenten unter Verwendung von Gleichung (3.4.5) die molare Verdampfungswärme $\Delta_{\text{V}}H$ des Wassers.

Vergleichen Sie die erhaltenen Werte mit den Literaturwerten aus Tabelle 3.4.1.

- Berechnen Sie aus dem von Ihnen bestimmten Taupunkt die relative Luftfeuchtigkeit im Labor am Versuchstag. Benutzen Sie dazu die unter Punkt 1 der Auswertung nach Clausius-Clapeyron berechnete „Theoriekurve“.
- Berechnen Sie die Dichte *trockener* Luft bei Versuchsbedingungen und bei Standardbedingungen STP⁶.

⁶Es gibt zwei gebräuchliche Standardbedingungen:

- STP (Standard Temperature and Pressure): $0\text{ }^\circ\text{C}$, 1013.25 hPa , oft auch als „Normalbedingungen“ bezeichnet.
- SATP (Standard Ambient Temperature and Pressure): $25\text{ }^\circ\text{C}$ (genauer 298.15 K), 10^5 Pa

Bestimmen Sie hierzu aus der Masse $m_W = m_{GW} - m_G$ und der Dichte des Wassers ($\varrho_W = 0.99821 \text{ g/cm}^3$ bei Raumtemperatur $T = 20^\circ\text{C}$) das Volumen V .

Die Masse der enthaltenen Luft ergibt sich zu $m_L = m_{GL} - m_G$.

Der Quotient m_L/V der beiden Größen ergibt zunächst nur die Dichte der feuchten Luft bei Raumtemperatur, so dass das Ergebnis wie folgt korrigiert werden muss: Betrachtet man Wasserdampf und Luft beide als ideale Gase, dann gilt jeweils:

$$p V_m = R T \quad (3.4.6)$$

$$\Rightarrow \varrho = \frac{M}{V_m} = \frac{M p}{R T} \quad (3.4.7)$$

mit

$V_m = \text{Molvolumen,}$

$M = \text{Molmasse,}$

$\varrho = \text{Dichte.}$

Die experimentell bestimmte Dichte ϱ_{LW} der feuchten Luft setzt sich aus der Dichte ϱ_L der trockenen Luft und der Dichte ϱ_W des Wasserdampfes zusammen:

$$\varrho_{LW} = \varrho_L + \varrho_W = \frac{M_L p_L}{R T} + \frac{M_W p_W}{R T} \quad (3.4.8)$$

$$\Rightarrow \varrho_L = \frac{\varrho_{LW}}{\left(1 + \frac{M_W p_W}{M_L p_L}\right)} \quad (3.4.9)$$

mit

$\varrho_L = \text{scheinbare Dichte der trockenen Luft,}$

$\varrho_{LW} = \text{scheinbare Dichte der feuchten Luft,}$

$p_L, p_W = \text{Partialdruck von Luft bzw. Wasserdampf.}$

Den Partialdruck p_W des Wasserdampfes erhalten Sie aus der in Punkt 2 der Auswertung bestimmten relativen Luftfeuchtigkeit.

Nehmen Sie zur Bestimmung von M_L an, dass die Luft aus einer Mischung von 80 % N_2 und 20 % O_2 besteht.

Der so bestimmte Wert ϱ_L ist etwas zu niedrig, weil die Wasserstrahlpumpe kein perfektes Vakuum erzeugt, sondern nur einen endlichen Enddruck p_E erreicht. Nehmen Sie an, dass der Enddruck $p_E \approx 30 \text{ hPa}$ beträgt und korrigieren Sie wie folgt⁷:

$$\tilde{\varrho}_L = \varrho_L \cdot \frac{p_U}{p_U - p_E} \quad (3.4.10)$$

⁷Man hätte die Korrekturen natürlich auch in umgekehrter Reihenfolge durchführen können, also zuerst die Dichte der *feuchten* Luft um den Fehler durch den Restdruck korrigieren und dann von feuchter auf trockene Luft umrechnen.

mit

$\tilde{\varrho}_L$ = wahre Dichte der Umgebungsluft,
 ϱ_L = scheinbare Dichte der Umgebungsluft,
 p_U = Umgebungsluftdruck,
 p_E = erreichter Enddruck der Wasserstrahlpumpe.

T (°C)	$\Delta_V H$ (kJ/mol)	T (°C)	$\Delta_V H$ (kJ/mol)	T (°C)	$\Delta_V H$ (kJ/mol)
0	45.054	140	38.643	280	27.795
25	43.990	160	37.518	300	25.300
40	43.350	180	36.304	320	22.297
60	42.482	200	34.962	340	18.502
80	41.585	220	33.468	360	12.966
100	40.657	240	31.809	374	2.0666
120	39.684	260	29.930		

Tabelle 3.4.1.: Verdampfungsenthalpie (= Verdampfungswärme) von Wasser bei verschiedenen Temperaturen nach [Lid01].

Fragen und Aufgaben

1. Für $T \lesssim 40^\circ\text{C}$ kommt es oft zu Abweichungen der Messwerte von den nach der Clausius-Clapeyron-Gleichung errechneten Werten (Punkt 1 der Auswertung). Woran könnte das liegen?
2. Aus welchen Gründen ist destilliertes Wasser für die Experimente geeigneter als Leitungswasser?
3. Vergleichen Sie die Messwerte für den äußeren Luftdruck, die Sie mit Hilfe der elektronischen Barometer bzw. mit Hilfe des Quecksilberbarometers erhalten haben. Welcher Wert ist wohl zuverlässiger? Warum?
4. Wie hängt die Dichte des Wasserdampfes von der Temperatur ab?
Warum „köchelt“ das Wasser beim Abkühlen zunächst noch eine Weile weiter?
5. **für alle Physik-Studiengänge (B.Sc. und B.Ed.):** Führen Sie die im Grundlagenteil erwähnte Integration aus, und leiten Sie somit Gleichung (3.4.5) aus Gleichung (3.4.4) her.
6. **für alle Physik-Studiengänge (B.Sc. und B.Ed.):** Am Samstag, den 11.08.2007, ging folgende Meldung durch die Presse:⁸
Verpuffung im Ofen – Tod im Ferienhaus

Bei einer Explosion in einem österreichischen Ferienhaus sind am Freitagabend zwei Urlauber ums Leben gekommen. Sechs Menschen wurden verletzt, unter ihnen eine 26-jährige Deutsche aus Heppenheim in Hessen. Die deutsche Studentin erlitt leichte Verletzungen und wurde in ein Krankenhaus gebracht. Sie studiere in Wien und habe mit ihren österreichischen Kommilitonen, drei Frauen und vier Männern, Urlaub in dem Haus in der Dachstein-Tauernregion in der Steiermark gemacht, so die Behörden.

Ursache des Unglücks war laut Polizeiermittlungen Wasserüberdruck in einem Kachelofen, der von den Studenten zur Beheizung des Ferienhauses verwendet wurde. Der Ofen diente als Zentralheizung. In einem eingebauten Wasserbehälter wurde Wasser für die Heizkörper erhitzt. Da die Studenten laut Berichten der österreichischen Nachrichtenagentur APA alle Ventile der Heizkörper geschlossen hatten, entlud sich der Wasserdruck in einer Explosion. Dabei wurden drei Außenwände des Hauses weggerissen, die Decke stürzte ein.

Die Ermittler vermuten, dass sich zwischen 20 und 30 Liter Wasser in dem Behälter befanden. „Wenn man bedenkt, dass ein Liter Wasser rund 1760 Liter Wasserdampf ergibt, kann man sich vorstellen, mit welchem Druck sich das entladen hat“, sagte ein Ermittler.

Drei Männer wurden unter den Trümmern des Hauses begraben. Am Freitagabend konnten zwei 23 Jahre alte Studenten aus Wien und Niederösterreich nur noch tot geborgen werden. Ein weiterer Mann wurde schwer verletzt, die anderen fünf Oper leicht. Einige der Leichtverletzten wurden bereits wieder aus dem Krankenhaus entlassen, teilte die Polizei am Samstag mit.



Abbildung 3.4.2.: Schäden durch eine Dampfexplosion.⁸

Diese Meldung zeigt auf gleichermaßen tragische wie eindrucksvolle (siehe v. a. Abbildung 3.4.2) Weise, wie viel Energie in heißem Wasser gespeichert sein kann.

Wie ist dieser Bericht aus physikalischer Sicht zu bewerten?

Wie heiß hätte das Wasser sein müssen, um beim Platzen des Rohrsystems sofort vollständig zu verdampfen?

Welchen Druck hätten dabei die Rohre und der Kessel aushalten müssen?

Ergänzende Informationen

Bedeutung des Tripelpunktes

Festlegung der Temperatureinheit auf der 10. Generalkonferenz für Maß und Gewicht im Jahr 1954:

⁸Text und Bild der Meldung kopiert am 12.08.2007 von <http://www.n-tv.de/838048.html>.

„Der Tripelpunkt des Wassers wird zu 273.16 K festgelegt. Die Gradeinteilung nach oben und unten gewinnt man mit Hilfe des Gasthermometers.“

Der Tripelpunkt liegt um 0.0098 K über dem Eispunkt des Wassers. Die Festlegung auf den Tripelpunkt erfolgte deshalb, weil der Tripelpunkt sehr genau reproduziert werden kann, die Unsicherheit beträgt nur 0.00005 K. Der Eispunkt 0 °C hat hingegen eine Unsicherheit von etwa 0.002 K. Der Siedepunkt des Wassers bei 100 °C hat eine Ungenauigkeit von 0.001 K.

Wasserstrahlpumpe

Bei Benutzung einer Wasserstrahlpumpe stellt der Dampfdruck des Leitungswassers eine untere Grenze für den erreichbaren Enddruck dar. Selbst wenn alle Luft abgepumpt wird, bleibt immer Wasserdampf im Gefäß zurück. Dies ist auch der Grund, warum kaltes und nicht warmes Leitungswasser verwendet wird. Nehmen wir an, dass das Wasser eine Temperatur von 8 °C hat, so sind Drücke bis hinab zu ca. 10 hPa zumindest theoretisch gerade noch erreichbar. Hätte das Wasser eine Temperatur von 50 °C, so käme die Pumpe schon bei einem Druck von 123 hPa an ihre Leistungsgrenze.

Literaturhinweise

Sehr ausführlich ist [Atk01]. Sonst auch Standardlehrbücher, z. B. [Gob74].

Literaturverzeichnis

- [Atk01] ATKINS, PETER W.: *Physikalische Chemie*. Wiley-VCH, Weinheim, 3. Auflage, 2001.
- [Gob74] GOBRECHT, HEINRICH: *Bergmann-Schaefer – Lehrbuch der Experimentalphysik*, Band I: Mechanik, Akustik, Wärme. Walter de Gruyter, Berlin, 9. Auflage, 1974.
- [Lid01] LIDE, DAVID R. (editor): *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. CRC Press, Boca Raton · London · New York · Washington, D.C., 82. edition, 2001.