

V203 - Verdampfungswärme und Dampfdruck-Kurve

Sophia Brechmann
sophia.brechmann@tu-dortmund.de

Simon Kugler
simon.kugler@tu-dortmund.de

Durchführung: 14.11.2023

Inhaltsverzeichnis

1	Ziel	3
2	Theorie	3

1 Ziel

In diesem Versuch soll die Verdampfungswärme L , ihre Temperaturabhängigkeit sowie die Dampfdruckkurve von Wasser ebenso wie von einer anderen Substanz bestimmt werden.

2 Theorie

Einem Stoff kann in fast allen Kombinationen aus Druck p und Temperatur T eine feste Phase zugeordnet werden. Im Allgemeinen wird zwischen den Phasen fest, flüssig und gasförmig unterschieden. Zwischen diesen Zuständen verlaufen jeweils sogenannte Dampfdruckkurven. Wird sich auf einer dieser Kurven bewegt, koexistieren die zwei Zustände, welche sich jeweils neben der Kurve befinden. Visualisiert wird das ganze in einem Zustandsdiagramm. Ebenso sind die Punkte "TP" sowie "KP" wichtig zu erläutern. Der Tripelpunkt (TP) beschreibt jene Kombination aus p und T , an der alle drei Phasen koexistieren. Von ihm aus startet die, zwischen der gasförmigen und flüssigen Phase verlaufenden, Dampfdruckkurve und endet am kritischen Punkt (KP). Entlang dieser Kurve hat das System nur noch einen Freiheitsgrad - T -, da zu jeder Temperatur ein Druck festgelegt ist. Eine weitere, wichtig einzuführende Größe, ist die molare Verdampfungs-

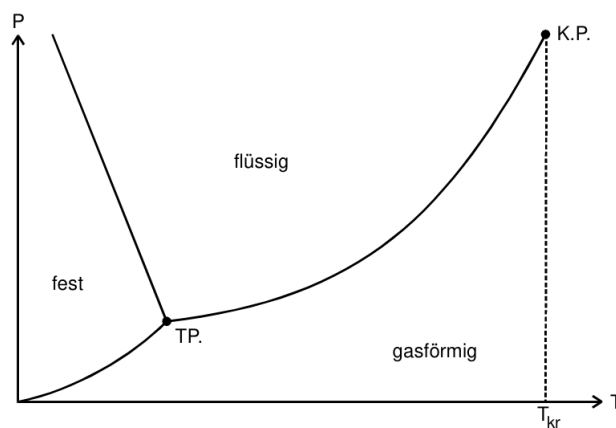


Abbildung 1: Qualitatives Zustandsdiagramm des Wassers. Der Druck p ist gegen die Temperatur T aufgetragen.

wärme L . Sie besitzt die Einheit Joule/Mol und beschreibt die Menge an Energie, um einen Mol des Stoffes in einen gasförmigen Zustand zu bringen. Daher ist sie maßgebend für den Verlauf der Dampfdruckkurve. In unserem Messbereich wird L als Konstante angenommen.

Aus der Thermodynamik ist bekannt, dass die Temperatur eines Stoffes über die gemittelte Stoßzeit eines Teilchens zur "Wand" oder mit anderen Teilchen definiert ist. Die Teilchen mit der kürzesten mittleren Stoßzeit, sind auch jene mit der größten kinetischen

Energie. Soll ein Stoff also zum verdampfen gebracht werden, muss ihm Energie zugeführt werden, was wiederum die Teilchengeschwindigkeit erhöht. Hat ein Teilchen genug kinetische Energie, kann es aus der flüssigen (festen) Umgebung austreten - der Stoff verdampft. Für dieses Phänomen braucht man genau die Energiemenge L . Das Austreten der Teilchen aus der Flüssigkeit (Festkörper) bewirkt ebenfalls einen Anstieg des Drucks im Gas oberhalb.

Nach langer Zeit stellt sich ein Gleichgewicht zwischen jenen Teilchen, welche die Flüssigkeit verlassen, und denen, die sich zurück in die Flüssigkeit bewegen, ein Gleichgewicht ein. Der so erreichte Druck im Dampf wird mit Sättigungsdampfdruck bezeichnet. Dieser ist nicht abhängig vom Volumen in dem sich der Dampf befindet. Ändert sich dieses Volumen, wird nicht der Druck, sondern das Gleichgewicht verändert. Daher gilt die allgemein bekannte Gasgleichung $pV=RT$ nicht.

Im Folgenden soll eine Differentialgleichung bestimmt werden, welche zur Bestimmung der Dampfdruckkurve führt. Dazu muss folgender Kreisprozess, für ein Mol, mathematisch näher betrachtet werden.

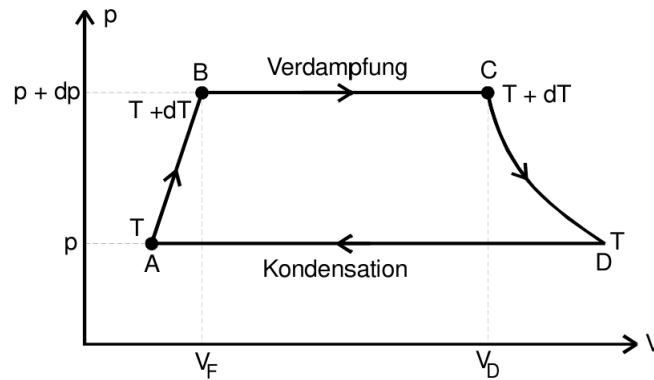


Abbildung 2: Kreisprozess für Verdampfung und Kondensation eines Stoffes. Der Druck p ist gegen das Volumen V dargestellt.

Durch mathematische Überlegungen ergibt sich folgende Differentialgleichung:

$$(V_D - V_F)dp = \frac{L}{T}dT \quad (1)$$

Diese Differentialgleichung trägt den Namen Clausius-Clapeyronsche Gleichung. Auf beiden Seiten des Gleichheitszeichens stehen Ausdrücke für die gesamt geleistete Arbeit, die sich links aus der Volumendifferenz von B zu C sowie einer infinitesimalen Druckänderung ergibt. Rechts beschreibt der Quotient der Verdampfungswärme mit der Temperatur um eine infinitesimal kleine Temperaturänderung die Gesamtarbeit.

Unter der Bedingung, dass V_D , V_F und L konstant seien, ist diese Gleichung gut lösbar. Dies ist im Allgemeinen jedoch nur in manchen Temperaturbereichen möglich. Hier wird der Fall behandelt, dass T deutlich kleiner als die kritische Temperatur T_{K_r} ist.

Somit sind folgende Annahmen zu treffen:

1. $V_F \ll V_D$. Daher darf V_F vernachlässigt werden.
2. Für V_D gilt die ideale Gasgleichung: $V_D(p, T) = \frac{T}{p}$
3. L darf keine Abhängigkeit von Druck p oder Temperatur T haben. Damit ergibt sich als Lösung der DGL: $p = p_0 \cdot \exp(-\frac{1}{T} \cdot \frac{L}{R})$

Es existiert also eine Proportionalität zwischen der Molekülanzahl in der Dampfphase sowie des Drucks oberhalb der Flüssigkeit. Wie vorhin diskutiert, braucht ein Teilchen jedoch eine gewisse kinetische Energie zum Austreten aus der Flüssigkeit, was durch die Boltzmann-Statistik parametrisiert wird. Mit Gesamtenergie W ergibt sich für den Bruchteil der Moleküle, die austreten könnten: $\exp(-W/kT) \Rightarrow p \propto \exp(-W/kT)$.