

Joule-Thomson-Effekt und -Koeffizient

Kerstin Reichenberger, WS 12/13

Gliederung

1	Linde-Verfahren.....	1
2	Funktionsweise eines Kühlschranks.....	2
3	Joule-Thomson-Effekt und Joule-Thomson-Koeffizient.....	2
3.1	Joule-Thomson-Effekt	2
3.2	Joule-Thomson-Koeffizient.....	3
4	Messung des Joule-Thomson-Koeffizienten.....	4

Einstieg: Eine Brünette und eine Blondine unterhalten sich über den Klima-Wandel. Die Brünette fragt die Blondine, was man gegen den Klima-Wandel machen kann. Da sagt die Blondine: „Lass doch einfach die Kühlschrank-Tür geöffnet.“ Das macht die Brünette stutzig. Könnte es sein, dass Blondie Recht hat und ein offener Kühlschrank wirklich einen Beitrag gegen die Klima-Erwärmung leistet?

1 Linde-Verfahren

Das Linde Verfahren (Abb. 1) ist eine von Carl von Linde im Jahr 1895 entwickelte technische Methode, die die Verflüssigung von Gas-Gemischen, wie Luft, in großen Mengen ermöglicht. Dabei wird einströmende Luft durch einen Verdichter auf ca. 200 bar komprimiert, wodurch diese erwärmt wird. Anschließend wird die erwärmte Luft durch ein Kühl-System geführt, um die Kompressionswärme zu beseitigen. Das Kühl-Mittel übernimmt dabei die Wärme, sodass sich die komprimierte Luft abkühlt. Die komprimierte, abgekühlte Luft wird durch ein Drossel-Ventil expandiert, wodurch sie sich weiter abkühlt. Hierbei wird der Joule-Thomson-Effekt ausgenutzt. Die kalte Luft dient zum weiteren Vorkühlen der komprimierten Luft, die nach der Expansion noch kälter und anschließend bei ca. -190°C flüssig wird.

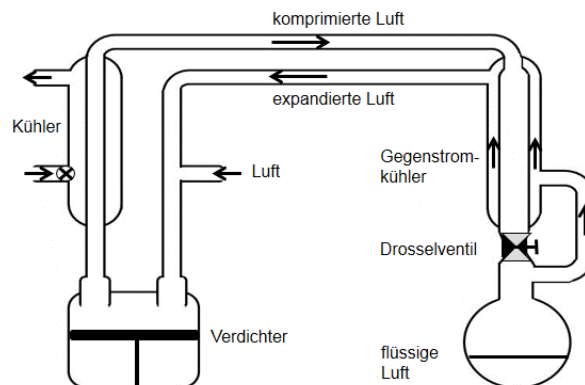


Abb. 1: Linde Verfahren

Animation: [Linde Verfahren](#), ppsx

2 Funktionsweise eines Kühlschranks

Mithilfe des von Carl von Linde entwickelten Linde-Verfahrens war die Entwicklung der ersten Kühlschränke möglich, da die Kälte-Erzeugung auf dem gleichen Prinzip beruht. Das Kühl-Mittel mit einem Siedepunkt von -30°C (unter Normal-Druck) gelangt in flüssiger Form bei ca. 1 bar in den Kühlschrank. Dort verdampft es im Verdampfer und nimmt dafür Energie aus dem Kühl-Raum des Kühlschranks. Deswegen ist der Kühlschrank-Innenraum kalt. Anschließend wird das gasförmige Kühl-Mittel durch einen Kompressor abgesaugt und auf 8 bar komprimiert. Dadurch erhöht sich die Kondensationstemperatur des gasförmigen Kühl-Mittels und es kann im Kondensator, an der Rückseite des Kühlschranks, kondensieren. Die dabei frei werdende Kondensationswärme wird an die Umgebung abgegeben. Zur Druck-Absenkung strömt das Kühl-Mittel durch eine Drossel und wird entspannt. Der Kreislauf beginnt von vorne.

3 Joule-Thomson-Effekt und Joule-Thomson-Koeffizient

3.1 Joule-Thomson-Effekt

Versuchsaufbau:

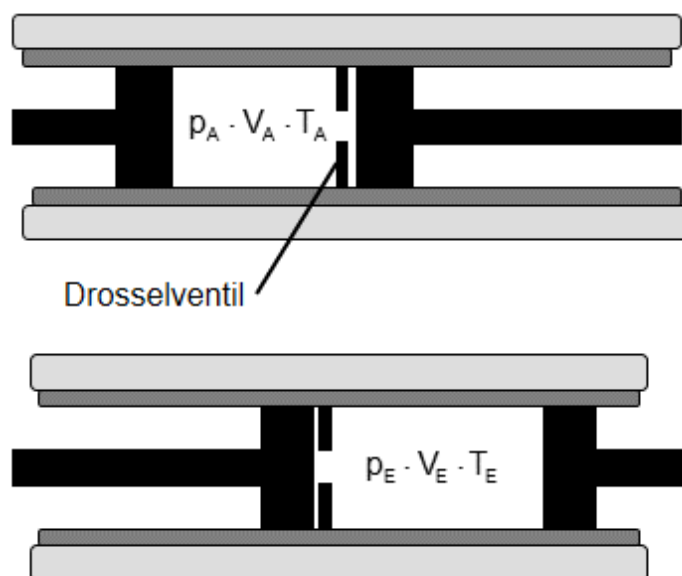


Abb. 2: Joule-Thomson-Versuch

Zwei Gefäße mit jeweils konstant gehaltenen, unterschiedlichen Drücken, sind durch eine poröse Trennwand (Drossel-Ventil) miteinander verbunden (Abb. 2). Durch dieses Ventil lässt man ein komprimiertes Gas in ein größeres Volumen expandieren und misst dabei die Temperatur-Differenz. Das Gas muss hierbei Arbeit gegen die intermolekulare Anziehung leisten, die es seiner kinetischen Energie entnimmt. Es bewegt sich anschließend langsamer und hat sich abgekühlt. Die gesamte Anordnung ist thermisch isoliert, sodass der Prozess adiabatisch verläuft. Die Temperatur-Differenz zwischen beiden Gefäßen ist somit proportional zur Druck-Differenz zwischen beiden Gefäßen. Reale Gase kühlen sich also bei selbstständiger, adiabatischer Expansion ab, um die zur Volumen-Vergrößerung erforderliche, mechanische Energie aus dem eigenen Wärme-Inhalt zu gewinnen. Bei idealen Gasen gibt es keinen Joule-Thomson-Effekt, da es keine Wechselwirkungen zwischen den Teilchen gibt. Der Joule-Thomson-Effekt beschreibt eine Änderung der Temperatur bei adiabatischer Expansion.

Vorgang:

Isotherme Kompression

$$W_A = p_A * V_A$$

Isotherme Expansion

$$W_E = -p_E * V_E$$

Insgesamt am System verrichtete Arbeit:

$$w = p_A * V_A - p_E * V_E$$

$$\Delta U = U_E - U_A = w + q$$

$$U_A + p_A * V_A = U_E + p_E * V_E$$

$$H_A = H_E$$

3.2 Joule-Thomson-Koeffizient

Die Stärke und Richtung der Temperatur-Änderung wird durch den Joule-Thomson-Koeffizienten beschrieben. Er stellt die partielle Ableitung der Temperatur nach dem Druck bei konstanter Enthalpie bei einem isenthalpen Vorgang dar.

$$\mu = \left(\frac{\delta T}{\delta p} \right)_H \text{ [K*bar}^{-1}\text{]}$$

Joule-Thomson-Koeffizient

Für reale Gase ist der Joule-Thomson-Koeffizient verschieden von null und kann abhängig von der Art des Gases, von dem Druck, der Temperatur sowie von dem Verhältnis der zwischenmolekularen Anziehungs- und Abstoßungskräften, ein negatives oder positives Vorzeichen haben. Ein positives Vorzeichen bedeutet, dass sich das Gas bei Expansion abkühlt. Ein negatives Vorzeichen bedeutet, dass sich das Gas bei Expansion erwärmt. Das Linde Verfahren zur Gas-Verflüssigung setzt damit einen positiven Joule-Thomson-Koeffizienten voraus, denn nur so kann die Energie des komprimierten Gases abgeführt werden, obwohl die Umgebungstemperatur höher, als die des Gases ist.

$$\Delta T = \int_{p_1}^{p_2} \mu \delta T dp$$

4 Messung des Joule-Thomson-Koeffizienten

Der Joule-Thomson-Koeffizient wird indirekt über den isothermen Joule-Thomson-Koeffizienten gemessen (Abb. 3).

Mess-Anordnung:

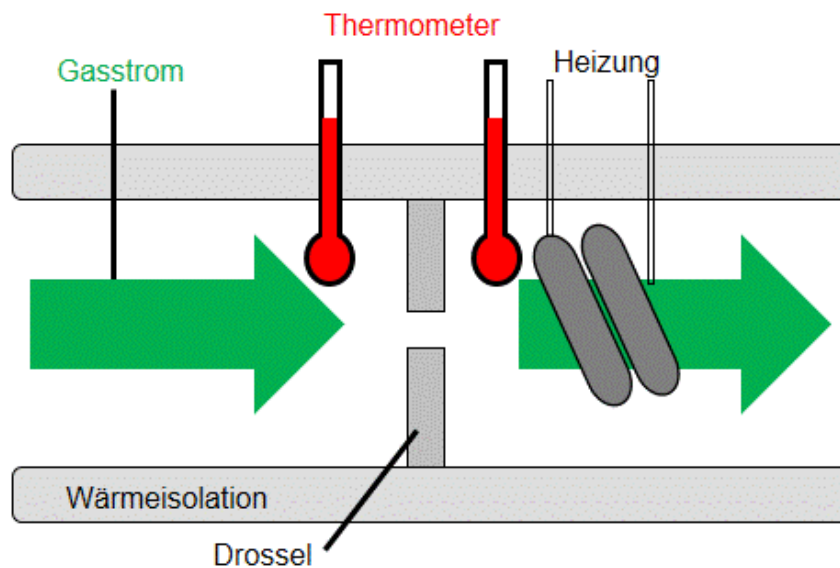


Abb. 3: Mess-Anordnung zur Messung des isothermen Joule-Thomson-Koeffizienten

Ein Gas wird kontinuierlich und bei konstantem Druck zunächst durch einen Wärme-Tauscher gepumpt, der es auf die gewünschte Temperatur bringt. Anschließend gelangt das Gas durch eine poröse Trennwand (Drossel) in einen thermisch isolierten Behälter, wobei der plötzliche Druck-Abfall gemessen wird. Durch ein elektrisches Heizgerät, das sich unmittelbar hinter der Drossel befindet, wird der Abkühlungseffekt kompensiert. Die Energie, die das Heizgerät dafür verbraucht, wird ebenfalls gemessen. Die Wärme-Menge entspricht der Enthalpie des Gases.

Isothermer Joule-Thomson-Koeffizient

$$\mu_T = \left(\frac{\delta H}{\delta p} \right)_T$$
$$\mu = -\frac{1}{c_p} * \left(\frac{\delta H}{\delta p} \right)_T$$

Zusammenfassung:

1. Der Joule-Thomson-Effekt beschreibt eine Änderung der Temperatur bei adiabatischer Expansion
2. Die Stärke und Richtung der Temperatur-Änderung wird mit Hilfe des Joule-Thomson-Koeffizienten beschrieben, welcher durch die Messung des isothermen Joule-Thomson-Koeffizienten bestimmt wird
3. Entscheidend für das Abkühlen nach dem Joule-Thomson Verfahren ist, dass die Ausgangstemperatur unterhalb der Inversionstemperatur des jeweiligen Gases liegt
4. Wenn ein Gas unterhalb seiner Inversionstemperatur entspannt wird, kühlt es sich ab
5. Wenn das Gas oberhalb seiner Inversionstemperatur entspannt wird, erwärmt es sich

Abschluss: fehlt.

Quellen:

1. Atkins, Peter W.; de Paula, Julio.: Physikalische Chemie, Wiley-VCH, Weinheim 2006
2. Rosenberg, S.: Vorlesungsskript Physikalische Chemie II, SS 2011
3. Senker, J: Vorlesungsskript Anorganische Chemie II, SS 2011
4. <http://www.fsmpi.uni-bayreuth.de/thermo/joulethomson.html>, 30.09.2013 (Quelle verschollen, 28.10.2020)