

Gasthermometer

Theorie

Luftdruckmessung:

Mit Dosenbarometer (geeicht auf 0m Meereshöhe), Quecksilberbarometer.

Die Anzeige eines Quecksilberbarometers ist abhängig von der Temperatur des Quecksilbers. (Unterliegt der Wärmeausdehnung.)

p...Druck

Druck ist das Verhältnis einer senkrecht auf eine Fläche wirkenden Kraft zur Größe dieser Fläche. p ist eine skalare Größe.

$$p = \text{Normalkraft} / \text{Fläche}$$

$$\text{SI-Einheit: } [p] = \text{N/m}^2 = \text{Pascal (Pa)} = \text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s}^2)$$

$$1 \text{ mmHg} = 1,33 \text{ mbar} = 133,3 \text{ Pa} = 1 \text{ Torr}$$

$$1 \text{ bar} = 750 \text{ Torr}$$

Man unterscheidet Kolbendruck, Schweredruck (entsteht infolge der eigenen Gewichtskraft.)

Ruhende Gase:

Wegen dem fehlen von Kohäsion, nehmen sie Form und Volumen vom jeweiligen Gefäß an. Jedes Gas steht unter einem bestimmten Druck. Dieser pflanzt sich nach allen Seiten gleichmäßig fort.

Druck und Volumen eines Gases:

Der Druck p ist bei konstanter Temperatur proportional der im Raum vorhandenen Anzahl an Molekülen. Also seiner Masse.

Gesetz von Boyle Mariotte:

Das Volumen eines eingeschlossenen Gases gleich bleibender Temperatur ist seinem Druck umgekehrt proportional.

Oder

Produkt von Druck und Volumen ist bei einem eingeschlossenen Gas gleich bleibender Temperatur konstant.

Oder

Bei einem eingeschl. Gas konstanter Temperatur sind Druck und Dichte einander proportional. $p \sim \rho$

$$p_1/p_2 = V_2/V_1 \quad \text{oder} \quad p \cdot V = \text{konstant (ideales Gas)}.$$

Der Gasdruck wird in der Technik oft Überdruck genannt. (= Differenz zwischen dem Innendruck und den äußeren Luftdruck)

Je 8m Höhenunterschied zur Erdoberfläche ändert sich der Luftdruck um je 100 Pa.

1 Gesetz von Gay Lussac:

Das Volumen eines eingeschlossenen Gases ist der absoluten Temperatur proportional, solange der Druck nicht verändert wird. $V \sim T$ (wenn p = konstant)

$$V_1/V_2 = T_1/T_2 \quad \text{oder} \quad V/T = \text{konstant}$$

2. Gesetz von Gay Lussac:

Der Druck eines eingeschlossenen Gases ist der absoluten Temperatur proportional, solange das Volumen nicht verändert wird. $p \sim T$ wenn $V = \text{konstant}$

$$p_1/p_2 = T_1/T_2 \quad \text{oder} \quad p/T = \text{konstant}$$

Druckänderung:

Der Spannungskoeffizient β (oder Druckkoeff.) ist bei fast allen Gasen gleich.

Während des Erwärms muss das Volumen konstant sein. Die Druckzunahme erfolgt nach den gleichen Gesetzen wie die Volumszunahme. $V_t = V_0(1 + \beta t)$. In Näherung gilt für sie der β des idealen Gases, er ist gleich dem Volumsausdehnungskoeff. des idealen Gases:

$$\beta = 0,003661 \quad 1/K = 1/T_0 = 1/273,15 \text{ K}$$

Der Spannungskoeffizient eines Gases ist das Verhältnis der relativen Druckänderung.

$$\beta = \Delta p/p_0 t \quad [\beta] = 1/K \quad \text{bezieht sich auf } p_0 \text{ bei } 0^\circ\text{C}$$

$$\beta = (p_t - p_0)/(p_0 (t - t_0)) = (1/p_0) \Delta p/\Delta t$$

$$p_t = p_0(1 + \beta t)$$

p_t .. Gasdruck bei beliebiger Temperatur t

p_0 ... Gasdruck bei 0°C

β ... Spannungskoeff.,-Volumen-Temperaturkoeff.

t ... Temperatur in $^\circ\text{C}$

T .. Absolute Temperatur

$$T = (t + 273,15) \text{ K}$$

Die Temperatur ist ein Maß für die mittlere Bewegungsenergie je Molekül.

In Festkörpern schwingen sie um ihre feste Gleichgewichtslage. In Flüssigkeiten werden neben den Schwingungen zusätzliche Stöße ausgeführt. In gasförmigen Körpern bewegen sich die Moleküle teils mit großen Geschwindigkeiten. (10^3 m/s).

Durchführung

Im Versuch wird der Zusammenhang zwischen dem Druck p , Volumen V und der Temperatur t der eingeschlossenen Luftmenge ermittelt. Das Volumen V ist nicht bekannt, aber der am Maßstab abgelesenen Länge l der Luftsäule proportional. $V \sim l$

Der Druck der eingeschlossenen Luftmenge setzt sich aus dem atmosphärischen Luftdruck p_a und dem an der Höhendifferenz Δh der Quecksilberpegel abzulesenden Druck Δp zusammen:

$$p = p_a + \Delta p$$

Für den atmosphärischen Druck nimmt man den wahren Druck p_a . Er wird am Quecksilberbarometer abgelesen. Ist der Quecksilberpegel im Vorratsbehälter höher, ist Δp mit positiven Vorzeichen anzusetzen. (Umgekehrt mit negativem Vorzeichen.)

Die Differenz wird direkt in mmHg abgelesen.

$$\text{Basislinie [mmHg]} = 270$$

Messwerte

Versuch 1:

Zusammenhang zwischen Druck und Volumen bei konstanter Temperatur.
Boyle-Mariotte'sches Gesetz:

Bei konstanter Temperatur wird schrittweise die Höhe D_h geändert und liest die zugehörige Längen l der Luftsäule ab. Werden mit den Gesamtdrücken p die Produkte $p \cdot l$ so sollen sie innerhalb der Messgenauigkeit konstant sein.

$$p \cdot V = \text{const} \text{ daraus folgt: } p \cdot l = \text{const}$$

Basisdaten

p_a [Pa]	100750	
Genauigkeit Längenmessung [m]	0,001	
Genauigkeit Druckmessung [Pa]	133	wegen 1mm skala
Temperatur [°C]	19	

Boyle-Mariotte'sches Gesetz:

$p \cdot l = \text{konstant}; \text{ Fehlerrechnung}$

D_h [mmHg]	l [m]	D_p [Pa]	$p \cdot l$ [Pa·m]	$s(p \cdot l)$ [Pa·m]
60	0,205	7980	22289,65	115,3645238
143	0,188	19019	22516,572	124,879996
184	0,178	24472	22289,516	129,6204684
317	0,158	42161	22579,938	145,968251
-87	0,239	-11571	21313,781	99,86851746

Die Produkte $p \cdot l$ sind annähernd konstant.

Versuch2:Amonton'sches Gesetz

Der Druck als Funktion von t bzw. T bei konstanten Volumen

$$p = \text{const } T \text{ (bei } V \text{ const.)}$$

Allgemeine Gasgleichung

$$(p_t V_t)/T = (p_0 V_0)/T_0 = N k_B$$

Bei konstantem Druck muss sich bei einer Temperaturänderung von T_0 auf $T_0 + t$ das Volumen V_0 auf V'_0 wie folgt ändern, damit die Gasgleichung erfüllt bleibt:

$$(V'_0/T) = (V_0/T_0)$$

$$V'_0 = V_0 ((T_0 + \Delta t)/T_0) = V_0 ((T_0 + (t - t_0))/T_0) = V_0 (1 + \beta t)$$

t... Temperatur in °C

t_0 ...0°C

V_t, p_t ... Volumen und Druck bei der Temperatur t

V_0, p_0 ... Volumen und Druck bei der Temperatur 0°C

V'_0 ... Volumen bei Druck p_0 und Temperatur t

β ... Raumausdehnungskoeffizient Beta bezieht sich auf das Volumen bei 0°C.

N...Teilchenzahl

k_B ...Boltzmannkonstante (= $1,38066 \cdot 10^{-23}$ J/K)

$$p_t V_t = p_0 V_0 (1 + \beta t)$$

Wird im Experiment das Volumen V konstant gehalten erhält man:

$$p_t = p_0 (1 + \beta t)$$

siehe Gay Lussac Gesetz: Der Druck ändert sich bei konstantem Volumen proportional zur Temperatur.

Nun hat β eine andere physikalische Bedeutung. Es gibt die relative Druckänderung bei $V = \text{const}$ pro °C an und heißt nun Spannungskoeffizient des Gases.

$$\beta = 1/p_0 \cdot (p_t - p_0) / (t - t_0)$$

Durchführung

Im Experiment wird das Volumen der Luftsäule konstant gehalten. (rote Markierung Beachten) und der Höhenunterschied für 5 Messpunkte beim Aufheizen zwischen Raumtemperatur und ca. 60 °C abgelesen. Aus dem p –t Diagramm mit Origin erhält man die Steigung Dp/DT durch lineare Regression und p_0 aus dem Achsenabschnitt.

Amonton'sches Gesetz

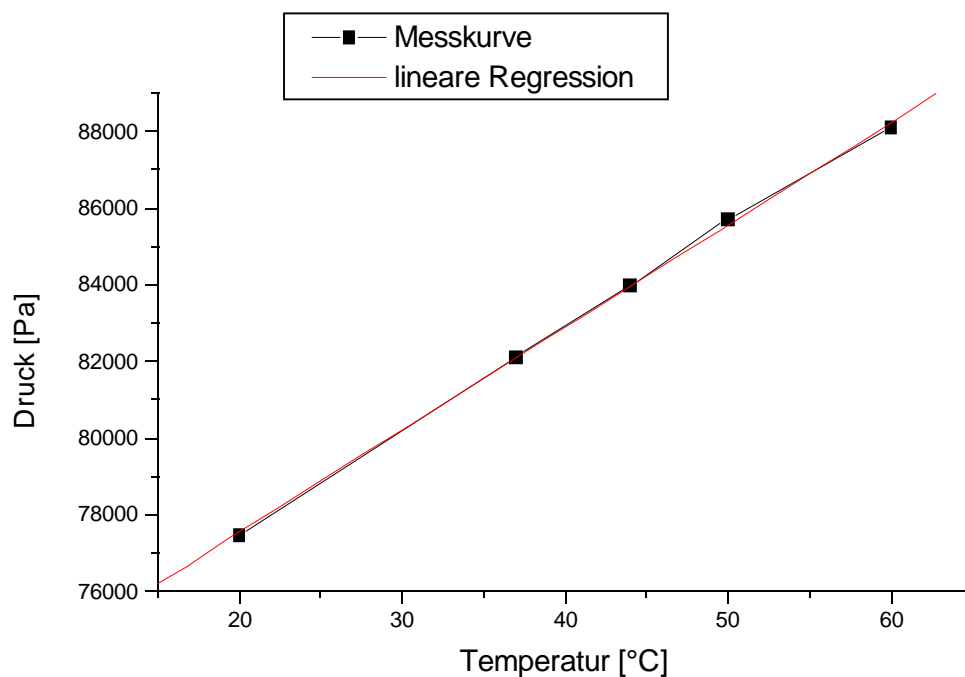
Dh [mmHg]	Dp [Pa]	DT [K]
-175	77475	20
-140	82130	37
-126	83992	44
-113	85721	50
-95	88115	60

Auswertung

Linear Regression for Datal_A:

$$Y = A + B * X$$

Parameter	Value	Error
A	72185,38566	183,90219
B	267,80129	4,15287



b	0,00370991
Fehler b	5,8302E-05
pa [Pa]	100750
p0 [Pa]	72185,38566
Fehler p0	183,90219

Nach Potenzgesetz für Fehlerfortpflanzung

pa ... Atmosphärendruck

$$Dp/DT = 267,80129$$

Fehler: 4,15287

$$1 / b = 269,548312 \text{ K} \quad (\text{anstelle von } 273,15 \text{ K})$$

$$b = 370,991 \text{ E-5} + - 5,8302\text{E-05 K}^{-1}$$

Interpretation

Der Theoretische Wert für den Raumausdehnungskoeffizienten liegt bei:

$$b = 1 / T_0 = (1 / 273,15) \text{ K}^{-1} = 366,1 \text{ E-5 K}^{-1} \quad [\text{für } 0 \dots 100^\circ\text{C und } 1013 \text{ hPa}]$$

Der im Experiment bestimmte Wert von $370,991 \text{ E-5} + - 5,8302 \text{ E-5 } 1/\text{K}$ liegt innerhalb der gefundenen Messgenauigkeit in guter Übereinstimmung mit dem theoretischen Wert.

Bestimmung des Adiabatenexponenten der Luft

Theorie

Der Adiabatenexponent κ gibt das Verhalten von Gasen bei adiabatischen (konstante Entropie) Zustandsänderung an, gemäß der Formel $p \cdot V^\kappa = \text{const.}$ Für κ selbst gelten folgende Formeln:

$$\kappa = \frac{c_p}{c_v} = \frac{f + 2}{f}$$

Hier sind f die Freiheitsgrade des Gases, wobei ein zweiatomiges Gas wie in guter Näherung Luft (78,084 % N_2 , 20,946 % O_2 , 0,930 % Ar, 0,034 % CO_2 und Spuren zahlreicher anderer Verbindungen) 5 Freiheitsgrade besitzt und sich somit ein theoretischer Adiabatenexponent von 1,4 ergibt.

Durchführung

Als erstes wogen wir die Reservekugel ab. Danach begaben wir uns zum vorbereiten Versuchsaufbau und versuchten zuerst einmal halbwegs ein Gefühl für die Beweglichkeit der Kugel im Rohr zu gewinnen in dem wir vorsichtigen mit dem Blasebalg ein wenig herum versuchten. Als wir uns dann bereit fühlten begannen wir die Kugel mit einem gut abgestimmten Luftstoß in Schwingung zu versetzen und zählten dann nach der ersten Schwingungsperiode 5 Perioden und stoppten die dafür nötige Zeit. Auf Grund der starken Dämpfung nahmen immer die höchsten Punkte der Kugelschwingung als Begrenzungen für eine Periode.

Messwerte

Basisdaten

Kugelmasse [kg]	0,0166
Fehler Masse [kg]	0,0000005
V [m ³]	0,01
q [m]	0,00020106
p0 [Pa]	100750

Schwingungsdauer

5 * T [s]	T [s]
5,48	1,096
5,49	1,098
5,37	1,074
5,53	1,106
5,49	1,098
5,71	1,142
5,66	1,132
5,4	1,08
5,4	1,08
5,47	1,094
5,53	1,106
5,55	1,11
5,47	1,094
5,44	1,088
5,57	1,114
MW:	1,1008
Stabw.:	0,01863637

Auswertung

Aus der gemessenen Schwingungsdauer und konnte man gemeinsam mit den anderen bekannten Parametern des Versuchsaufbaus durch einsetzen in folgende Formel:

$$\kappa = (2 * \pi / T)^2 * m * V * / (q^2 * p)$$

den Adiabatenexponenten κ bestimmen. Es ergab sich hiermit ein Wert von 1,3172521. Für die Fehlerfortpflanzung verwendeten wir das Potenzgesetz und erhielten für κ einen Fehler von 0,04460176. Somit erhalten wir aus unseren Messwerten einen Adiabatenexponenten von **(1,32 ± 0,04)**, dessen relativer Fehler folglich ~3,4% beträgt.

Interpretation

Unser Wert von ca. 1,32 liegt leider etwas abseits vom Literaturwert von 1,402. Jedoch gilt dieser Wert nur unter idealen Normalbedingungen, was ziemlich sicher in unserem Versuch nicht der Fall war. Weiters kommt eine sicherlich nicht unwesentlich Abweichung hinzu, da unsere gemessene Schwingungsdauer und somit auch die Kreisfrequenz nicht stimmen, weil wir bei unserem Versuch eine deutlich sichtbare Dämpfung erkennen konnte. Jedoch basiert die Formel auf der Verwendung der ungedämpften Kreisfrequenz, welche wir auf Grund der nicht genau bekannten Dämpfung nicht ermitteln konnten. Wäre die Reibung geringer so müsste die Schwingungsdauer etwas geringer sein und folglich unser Adiabatenexponent ein wenig größer und würde somit dem Literaturwert besser entsprechen.

Dampfdruck von Wasser bis 100°C

Theorie

Die Verdampfungswärme ist die nötige Energie, welche ein die Teilchen einer Substanz beim Übergang vom flüssigen in den gasförmigen Aggregatzustand benötigen um die Anziehungskräften innerhalb der Flüssigkeit zu überwinden. Die Verdampfungswärme wird dann Teil der inneren Energie des Gases. Es handelt sich hierbei um eine von der Temperatur abhängige Materialeigenschaft.

Durchführung

Wir erhitzen das Gefäß stufenweise von 35° bis 81° C und lasen dabei alle 2° die Höhe der Quecksilbersäule. Anschließend ließen wir das Gefäß wieder auskühlen(beschleunigt mit Hilfe eines Ventilators) und führten dabei die gleichen Messungen durch.

Messwerte

kleiner Schenkel

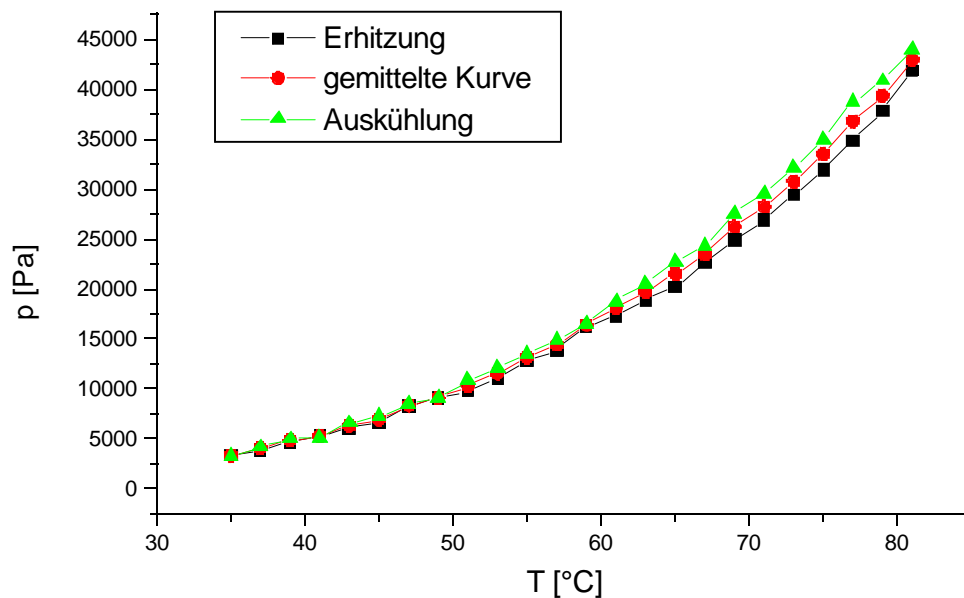
T [°C]	h [mmHg] Erhitzen	p [Pa] Erhitzen	h [mmHg] Abkühlen	p [Pa] Abkühlen
35	850	3369,333333	851	3236,333333
37	846	3901,333333	844	4167,333333
39	840	4699,333333	838	4965,333333
41	835	5364,333333	837	5098,333333
43	830	6029,333333	826	6561,333333
45	826	6561,333333	821	7226,333333
47	813	8290,333333	812	8423,333333
49	807	9088,333333	807	9088,333333
51	802	9753,333333	794	10817,333333
53	792	11083,333333	785	12014,333333
55	779	12812,333333	774	13477,333333
57	771	13876,333333	763	14940,333333
59	753	16270,333333	751	16536,333333
61	745	17334,333333	734	18797,333333
63	733	18930,333333	721	20526,333333
65	723	20260,333333	704	22787,333333
67	705	22654,333333	693	24250,333333
69	688	24915,333333	668	27575,333333
71	673	26910,333333	653	29570,333333
73	654	29437,333333	634	32097,333333
75	635	31964,333333	612	35023,333333
77	613	34890,333333	584	38747,333333
79	591	37816,333333	568	40875,333333
81	560	41939,333333	545	43934,333333

großer Schenkel

Anfang	870 mmHg
Mitte	876 mmHg
Ende	880 mmHg
MW	875,333333 mmHg

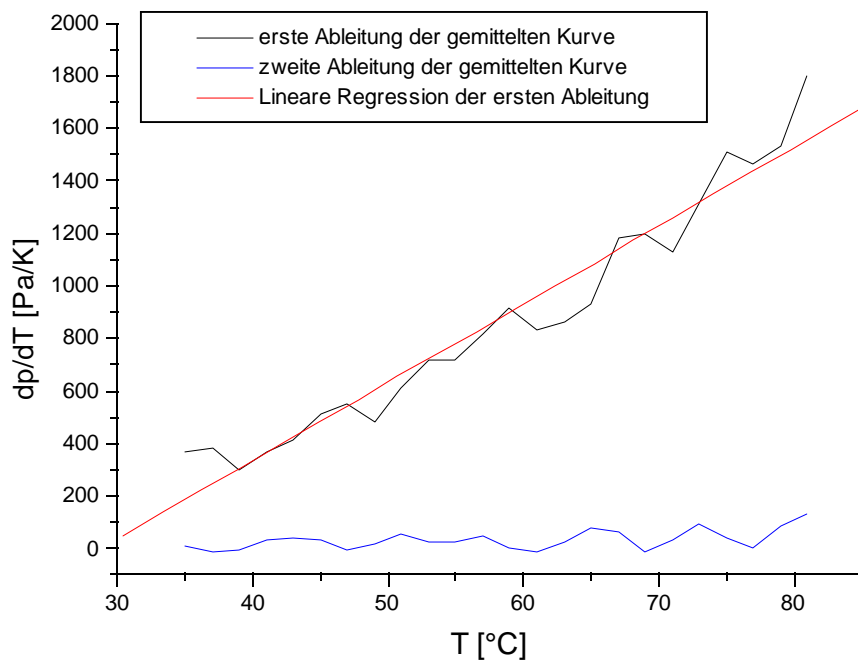
Auswertung

Als erstes rechneten wir unsere Messwerte in die SI-Einheit Pascal um, und zogen den Mittelwert des Druckes im großen Schenkel vom dem Drücken im kleinen Schenkel ab. Anschließend trugen wir die dadurch entstehende Kurve bei Erhitzung und bei Abkühlen gegen die Temperatur in ein Diagramm auf.



Da die beiden Kurve wie erwartet annähernd berechneten wir noch aus den einzelnen Messwerten bei Erhitzung und bei Abkühlung die Mittelwerte und trugen sich auch in das Diagramm ein. Diese Mittelwertskurve differenzierten wird dann zu erst einmal und dann ein zweites Mal und erkannten dass die 2. Ableitung praktisch konstant war. Somit konnten wir die erste Ableitung mit einer Geraden approximieren und erhielten folgende Gleichung für die Gerade:

$$dp/dT = 29,75514 * T[°C] - 855,06351$$



Durch simples Einsetzen unseres gefragten Wertes von 60°C werden in die Geradengleichung erhält man ein dp/dT von **930,24489 Pa/K**. Damit kann man nun in die Gleichung für die Verdampfungswärme L gehen:

$$L = T * dp/dT * (V_1 - V_2)$$

V_1 ist das Volumen von Wasser in Form von Dampf während V_2 das Volumen von Wasser in flüssiger Form beschreibt. Die Werte hierfür sind gemäß einer Tabelle bei 60°C für V_1 7,602 m³/kg und für V_2 1,01709 * 10⁻³ m³/kg (wäre somit vernachlässigbar gegenüber V_1). Man erhält somit eine Verdampfungswärme für Wasser von **2354568 J/kg**.

Interpretation

Eine der Hauptschwierigkeiten beim Versuch war die Trägheit der Heizung beim erwärmen, da sie es schwierig machte die genau Temperatur zu erreichen, auch wenn man wie laut Anleitung beim Erreichen der gewünschten Temperatur (welche eingestellt wurde) die Heizung auf ½ stellte. Dann gab es noch ein weiteres Problem, welches das Ablesen erschwerte, denn das Quecksilber im kleinen Schenkel begann ab so ca. 45°C leicht zu „blubbern“, so kam es teilweise zu nicht ganz unerheblichen (in der Größenordnung von ein paar Millimetern) Sprüngen der Höhe der Säule. Trotz allem scheint unser Wert für die Verdampfungswärme von Wasser bei 60°C brauchbar zu sein. Leider gelang es uns nicht einen genauen Vergleichswert in der Literatur zu finden, da praktische alle Angaben für die Verdampfungswärme von Wasser sich entweder auf 25°C oder auf 100°C beziehen, soweit überhaupt eine genaue Temperaturangabe dabei ist. Der Wert bei 25°C liegt bei 2,442 kJ/kg und der Wert bei 100°C ist gegeben mit 2088 kJ/kg. Unser Messwert liegt somit wie erwartet mit 2355 kJ/kg zwischen den beiden anderen Werten.