

Der Heizwert des Knallgases wird dabei mit 2020 Kalorien für 1 m³ angenommen.

Gase, die so wenig brennbare Bestandteile enthalten, daß sie für sich allein nicht brennbar sind, werden mit einem gemessenen Knallgasvolumen vermischt. Aus kohlendioxidgehaltenen Gasen muß das Kohlendioxyd vorher durch Kalilauge entfernt werden.

Die Fehler betragen etwa 1%, nur bei Wasserstoff und sehr armen Gasen gegen 5%.

Zu bemerken ist noch, daß die Heizwertbestimmung hier bei konstantem Volumen erfolgt, während in Junkers Kalorimeter konstanter Druck herrscht. Der Unterschied der beiden Heizwerte ist meist so gering, daß er praktisch vernachlässigt werden kann. Bei Wasserstoff, wo er den höchsten Wert besitzt, beträgt er rund 1% des gesamten Heizwertes.

b) Berechnung des Heizwertes von Brennstoffen.

Bei solchen Brennstoffen, die Mischungen sind, von deren Bestandteilen die Verbrennungswärme bekannt ist, ergibt sich die gesamte Verbrennungswärme als Summe der Verbrennungswärmen der Bestandteile.

Als Beispiel möge das Wassergas, ein Gemenge von Wasserstoff und Kohlenmonoxyd dienen:

1 m³ Wassergas enthält (theoretisch) 0,5 m³ Wasserstoff und 0,5 m³ Kohlenmonoxyd.

Demnach ist:

$$\text{für CO: } 0,5 \times 2580 = 1290 \text{ Kalorien}$$

$$\text{für H}_2: 0,5 \times 3040 = 1520 \quad \text{,,}$$

$$\text{Also Heizwert für 1 m}^3 \text{ Wassergas} = 2810 \text{ Kalorien.}$$

Nach dem Vorschlage von Dulong wurde aber auch die Verbrennungswärme zusammengesetzter Brennstoffe unter der Voraussetzung berechnet, daß sie Gemische aus den Elementen darstellen. Es ergab sich so die folgende Dulong'sche Formel:

$$Q = \frac{8100 C + 34600 \left(H - \frac{O}{8} \right)}{100}$$

für Steinkohlen (C, H, O bedeuten die durch die Elementaranalyse gefundenen prozentischen Mengen dieser Elemente).

Bei den stark wasserhaltigen Brennstoffen Holz, Torf und Braunkohle wird auch die Verdampfungswärme des Wassers berücksichtigt und daher folgende Formel verwendet:

$$Q = \frac{8100 C + 29\,600 \left(H - \frac{O}{8} \right) - 637 \left(\frac{9}{8} O + W \right)}{100}$$

wobei W das hygroskopische Wasser bedeutet.

Durch Umgestaltung obiger Formel unter Einbeziehung des Schwefelgehaltes der Brennstoffe erhält man die vom Vereine deutscher Ingenieure und dem internationalen Verband der Dampfkesselüberwachungsvereine vorgeschlagene sogenannte (erste) **V e r b a n d s - f o r m e l**:

$$Q = \frac{8000 C + 29\,000 \left(H - \frac{O}{8} \right) + 2500 S - 600 W}{100}$$

Auch diese Formel kann keine genauen Werte liefern, da sie prinzipielle Fehler enthält. So ist der Brennstoff als Gemisch der Elemente aufgefaßt, also die Bildungswärme der Verbindungen nicht berücksichtigt, ferner ist die Verbrennungswärme des gasförmigen Wasserstoffes eingesetzt, was ebenfalls nicht zutrifft und schließlich ist der Sauerstoff des Brennstoffes sicher teilweise auch an Kohlenstoff gebunden.

Die Abweichungen der nach der Verbandsformel berechneten Verbrennungswärmen von den experimentell bestimmten betragen bei Steinkohle $\pm 2\%$, bei Braunkohle $\pm 5\%$, bei Torf $\pm 8\%$ und bei Holz $\pm 12\%$, sind also um so größer, je größer der Sauerstoffgehalt ist.

Von den vielen empirischen Formeln, die zur Berechnung des Heizwertes vorgeschlagen worden sind, sei noch die von **G o n t a l** erwähnt, die außer dem Kohlenstoffgehalt den Gehalt an flüchtigen Bestandteilen, also den Gewichtsverlust beim Erhitzen unter Luftabschluß, zugrunde legt.

Sie lautet:

$$Q = 8150 C + A \cdot M.$$

Hierbei ist C der Kohlenstoffgehalt, M der Gehalt an flüchtigen Stoffen und A ein Koeffizient, der von der Menge der flüchtigen Stoffe abhängt, wie sich aus folgender Tabelle ergibt:

M	A
2—15%	13 000
15—30%	10 000
30—35%	9 500
35—40%	9 000

Diese Formel ist bequemer als die Verbandsformel, da sie keine Elementaranalyse des Brennstoffes erfordert. Unter allen Umständen ist aber die experimentelle Ermittlung des Heizwertes in der kalorimetrischen Bombe jeder Berechnung mittels Formeln vorzuziehen.

In nachstehenden Tabellen finden sich sowohl die Verbrennungswärmen einiger wichtiger Brennstoffe als auch die von solchen Elementen und Verbindungen, die als Bestandteile von Brennstoffen Bedeutung besitzen, angegeben. Die meisten Angaben sind aus den physikalisch-chemischen Tabellen von Landolt-Börnstein (Roth-Scheel) entnommen.

Brennstoff	Oberer ¹⁾ Heizwert in Kalorien für 1 kg Brennstoff mit			Oberer Heizwert in Kalorien für 1 kg wasser- und aschenfreien Brennstoff	
	% H ₂ O	% Asche			
Holzkohle zu CO ₂	7010	8	2	7790	
Anthrazit	8580—8270	0,5—1	2—4	8720	
Saarkohle	7640—6970	1—3	6—12	8210	
Steinkohle	Gasflammkohle, Oberschlesische	7700—7120	3—5	5—10	8375
	Gasflammkohle, Ruhrgebiet	7930—7500	2—4	5—8	8650
	Fettkohle, Ruhrgebiet	8250—7730	1—3	4—8	8680
	EBkohle, Ruhrgebiet	8340—8000	1—2	3—6	8690
	Magerkohle, Ruhrgebiet	8400—8100	0,5—2	3—5	8700
Westfälischer Hüttenkoks	7450—7120	0,5—1,5	7—10	8050	
Retorten-Gaskoks	6800—6080	5—10	10—14	7990	
Halbkoks aus Steinkohle	6920—6200	2—6	11—16	7950	
Jüngere deutsche Braunkohle, hochbituminöse	3160—3310	50	5—7	7360	
Bituminöse Braunkohle	—3100	50	7	7030	
Lignit (Oberhessen)	2700	50	10	6700	
Ältere böhm. Braunkohle I	6100	18	3,5	7780	
Ältere böhm. Braunkohle II	5080	25	5,0	7250	
Gewöhl. dunkler Brenntorf	3860	25	5,5	5550	
Heller Fasertorf	4180	18	2,5	5270	
Brennholz, lufttrocken	4290—4050	10—15	0,5	4800	

¹⁾ Bei der Besprechung der einzelnen Brennstoffe ist der untere (praktische) Heizwert angegeben.

Brennstoff	Verbrennungswärme für 1 kg in Kalorien
Schwefel zu Schwefeldioxyd SO_2	2 220
Spiritus (denaturiert):	
95proz. (d = 0,810)	6,710
90proz. (d = 0,823)	6 350
Äthylalkohol absolut	7 140
Motorenbenzol (d = 0,885) . .	10 050
Leichtbenzin (d = 0,700) . . .	11 400
Mittelbenzin (d = 0,725) . . .	11 050
Toluol	10 212
Xylol	10 273
Cyklohexan	11 139
Methylalkohol (flüss.)	5 365
Phenol	7 811
Kresol	8 176
Wasserstoff zu flüss. Wasser .	34 100
Wasserstoff zu Wasserdampf .	28 700
Methan	12 000
Kohlenmonoxyd	2 430

Brennstoff	Heizwert für 1 m ³ ¹⁾ in Kalorien
Wasserstoff zu Wasserdampf	2580
Kohlenmonoxyd	3040
Methan	8600
Wassergas	3060 (oberer Heizwert)
Wassergas	2820 (unterer Heizwert)

Die Verdampfungsziffer.

Für Dampfkesselfeuerungen wird der Heizwert auch durch die Anzahl der kg Wasser ausgedrückt, die durch 1 kg Brennstoff in Dampf von 100° verwandelt werden können; man nennt diese Zahl die *Verdampfungsziffer*.

Die theoretische Verdampfung ergibt sich durch Division des Heizwertes durch die Verdampfungswärme des Wassers, sie ist also:

$$V = \frac{W}{637} \text{ kg.}$$

Die wirklich erreichbare Verdampfungsziffer ist natürlich wesentlich kleiner und muß experimentell ermittelt werden. Man findet sie, indem man feststellt, wie viel Wasser während einer gemessenen Zeitperiode durch eine größere, zur Dampfkesselfeuerung benützte Brennstoffmenge im Kessel verdampft wird, was genügend genau durch Abmessen des Speisewassers geschehen kann.

¹⁾ 0°, 760 mm.

Folgende Tabelle liefert einige Werte:

Brennstoff: 1 kg	Verdampfte Wassermenge in kg	
	theoretisch	praktisch (je nach der Feuerungsanlage)
Holz (lufttrocken) . . .	4,5	2,5—3,0
Torf (lufttrocken) . . .	5,6	3,0 (Mittel)
Braunkohle (böhmische)	6,8	3,4—5,0
Steinkohle (westfälische)	11,4	5,7—9,0
Koks	11,4	5,7—7,5

3. Wärmeverluste bei Feuerungsanlagen.

Von der Wärmemenge, die durch Verbrennung des Brennstoffes entsteht, wird nur ein Bruchteil tatsächlich ausgenützt, da jede technische Feuerung mit **W ä r m e v e r l u s t e n** verbunden ist. Diese Wärmeverluste kommen zustande:

1. Durch Leitung und Strahlung nach außen.
2. Durch unvollständige Verbrennung, indem ein Teil der brennbaren Substanz in Form von Rauch und Flugruß entweicht, oder von der Asche eingeschlossen und so an der Verbrennung gehindert wird.
3. Durch unvollkommene Verbrennung, indem ein Teil des Kohlenstoffes bloß Kohlenmonoxyd liefert.

4. Infolge des Temperaturunterschiedes zwischen der zutretenden Luft und den entweichenden Rauchgasen; er beträgt in der Regel 250 bis 300° C. Diese Temperaturdifferenz ist natürlich bis zu einem gewissen Grade zur Erhaltung des Schornsteinzuges notwendig.

Von allen diesen Verlusten ist der an letzter Stelle angegebene der wichtigste. Da er um so größer wird, je größer die überschüssig zugeführte Luftmenge ist, diese aber von der Leitung und Überwachung der Feuerung abhängt, ist die Kontrolle der Zusammensetzung der Rauchgase von großer ökonomischer Bedeutung.

Wie Seite 10 angegeben, wird der Luftüberschuß gewöhnlich aus dem Kohlendioxydgehalt der Rauchgase abgeleitet und **S i e g e r t** berechnet nun den Wärmeverlust durch die heißen Rauchgase für Kohlenfeuerung nach der Formel:

$$W_v = \frac{0,65}{a} (T - t),$$

wobei **a** den Prozentgehalt der Rauchgase an **K o h l e n d i o x y d**, **T** ihre Temperatur und **t** die Temperatur der Luft, die in die Feuerstelle eintritt, bedeuten. Bemerkt sei, daß der höchste Kohlendioxydgehalt der Rauchgase bei Steinkohlenfeuerung etwas über 12% beträgt.