

5. Der wirkliche Luftbedarf und die wirkliche Verbrennungsgasmenge.

Mit einer Luftmenge gleich der theoretischen kann eine vollkommene Verbrennung nicht erreicht werden, da eine so enge Mischung von Brennstoff und Verbrennungsluft, daß jedes Molekül Sauerstoff mit einem Molekül C, H oder S in Berührung kommt, nicht möglich ist. Es muß daher die Luft immer im Überschuß zugeführt werden.

Die wirkliche Luftmenge ist $L = n L_0$, worin $n = 1,25$ bis 2 ist. Da nun mit dem Luftüberschuß die Höhe der Verbrennungstemperatur abnimmt, die mit den Abgasen bei gleicher Fuchstemperatur verlorene Wärmemenge aber zunimmt, so sollte der Feuerungsbetrieb so geregelt werden, daß nicht mehr Luft zugeführt wird, als zu einer möglichst vollständigen Verbrennung gerade erforderlich ist.

Es ist daher wichtig, daß man aus dem Gehalt der Rauchgase an Kohlensäure oder an Sauerstoff die Größe des Luftüberschusses und aus dem Gehalt an Kohlenoxyd den Grad der Vollständigkeit der Verbrennung bestimmen kann (s. Abschn. XXI).

a) Bestimmung von n nach dem Sauerstoffgehalt.

Als Sauerstoffgehalt der Verbrennungsgase seien o v. H. gemessen.

Vor der Verbrennung ist:

die Luftmenge $L = n \cdot L_0$ cbm, davon $\frac{21}{100} \cdot L$ cbm Sauerstoff.

Nach der Verbrennung ist:

die Rauchgasmenge $G = n \cdot L_0$ cbm, davon noch $\frac{o}{100} L$ cbm Sauerstoff und $\frac{21-o}{100} L$ cbm Kohlensäure, die gesamte zugeführte Sauerstoffmenge beträgt

$$\frac{21}{100} L \text{ cbm,}$$

die verbrauchte Sauerstoffmenge beträgt $\frac{21-o}{100} L$ cbm, diese ist aber gleich der in der theoretischen Luftmenge

enthaltenen Sauerstoffmenge $\frac{21}{100} L_0$, also

$$\frac{21-o}{100} L = \frac{21}{100} L_0,$$

woraus folgt

$$n = \frac{L}{L_0} = \frac{21}{21-o}. \quad (17)$$

b) Bestimmung von n aus dem Kohlensäuregehalt.

Es sei der Kohlensäuregehalt zu k v. H. des Rauchgasvolumens bestimmt. Aus den vorstehenden Ausführungen geht nun hervor, daß, bezogen auf gleichen Druck und gleiche Temperatur, das Rauchgasvolumen ungefähr gleich dem Luftvolumen ist, und daß bei der Verbrennung an die Stelle des verbrauchten Sauerstoffvolumens ein gleich großes Kohlensäurevolumen tritt.

Bei der Verbrennung von 1 kg C mit der Luftmenge L beträgt das CO_2 -Volumen

$$\frac{k}{100} \cdot L = \frac{k}{100} \cdot n \cdot L_0 \text{ cbm};$$

dies ist aber gleich demjenigen, welches auch bei der theoretischen Luftmenge entwickelt wäre, also gleich

$$\frac{k_{\max}}{100} L_0 = \frac{21}{100} \cdot L_0,$$

somit folgt aus

$$\frac{21}{100} L_0 = \frac{k}{100} \cdot n L_0, \quad n = \frac{21}{k}. \quad (18)$$

Für praktische Ausführungen rechnet man mit folgenden Werten von n :

für Steinkohlenfeuerungen:

Planrost mit Handbeschiekung . . .	$n = 1,6$ bis $1,9$
„ „ „ mechan. Beschiekung . . .	$n = 1,4$ „ $1,75$
Schrägrost und Stufenrost	$n = 1,3$ „ $1,6$
für Braunkohlenfeuerungen	$n = 1,3$ „ $1,5$
„ Gasfeuerungen	$n = 1,15$ „ $1,3$
„ flüssige Brennstoffe	$n = 1,2$ „ $1,4$

Ist nun C der Kohlenstoffgehalt des Brennstoffes, so liefert

$$1 \text{ kg Brennstoff } 1,86 \cdot C = \frac{C}{0,536} \text{ cbm Kohlensäure}$$

und dementsprechend, d. h. ohne Beachtung von Wasserstoff und Wasserdampf,

$$\frac{C}{0,536 \cdot k} \text{ cbm Rauchgase}$$

bei n facher theoretischer Luftmenge.

Nun fällt ein Teil des Brennstoffes unverbrannt durch die Rostspalten. Wenn man diesen Anteil C_r , der bei der Analyse der Herdrückstände festgestellt werden kann und etwa 2 bis 3 v. H. beträgt, berücksichtigt, so ist für den wirklich verbrannten Kohlenstoff anstatt C

$$C' = C - C_r$$

zu setzen.

Ferner kommen als Rauchgas bildende Bestandteile noch H und W in Betracht, während man sonst etwa vorkommende Gase in bezug auf die Rauchgasmenge vernachlässigt.

Dann ist die wirkliche Gasmenge bei der Verbrennung von 1 kg Brennstoff

$$G_v = \frac{C'}{0,536 \cdot k} + \frac{9H + W}{0,804} + 21,2 \cdot H \text{ [in cbm.]} \quad (19)$$

Rauchgase durch Verbrennung von C Wasserdampf Luftstickstoff infolge Verbrennung von H

In den Normen für Leistungsversuche²⁾ heißt die Formel mit Auslassung des letzten Gliedes

$$G_v = \frac{C'}{0,536 \cdot k} + \frac{9H + W}{0,804} \text{ cbm.} \quad (19a)$$

Beispiel 4. Nehmen wir mit der N-Kohle eine Verbrennung mit $k = 13$ v. H. CO_2 -Gehalt an, ferner $C_r = 2,5$ v. H., so daß

$$C' = 0,785 - 0,025 = 0,76$$

wird, so ist:

$$G_v = \frac{0,76}{0,536 \cdot 0,13} + \frac{9 \cdot 0,037 + 0,02}{0,804} + 21,2 \cdot 0,037 = 10,9 + 0,44 + 0,785 = 12,13 \text{ cbm.}$$

Für einen CO_2 -Gehalt von 21 v. H., d. h. Verbrennung ohne Luftüberschuß ergibt die Gleichung $G_v = 7,95$ cbm,

1) $\frac{8H76,8}{23,2} \cdot \frac{1}{1,252} = 21,2 H$.

2) Normen für Leistungsversuche an Dampfkesseln und Dampfmaschinen, aufgestellt vom Verein deutscher Ingenieure, dem internationalen Verband der Dampfkesselüberwachungsvereine und dem Verein deutscher Maschinenbauanstalten im Jahre 1900. (Der teilweise Abdruck dieser Normen befindet sich in Abschn. XXIII.)

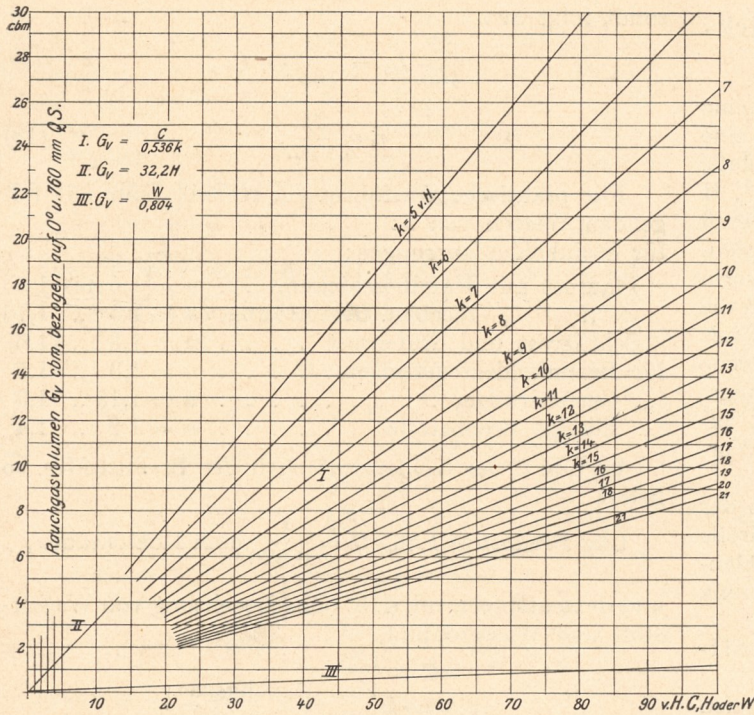


Fig. 7. Ermittlung des Rauchgasvolumens aus den Bestandteilen des Brennstoffes.

also einen etwas kleineren Wert, als nach Gl. (16a) ermittelt.

Da die Ermittlung der Gasmengen, die bei einem gegebenen Brennstoff und bei bestimmtem CO₂-Gehalt de. Rauchgase zu erwarten sind, eine häufig vorkommende Aufgabe ist, so sei im folgenden ein einfaches Verfahren angegeben, welches die Gasmengen aus einem Schaubild abzugreifen gestattet.

Gl. (19) läßt sich, etwas umgeformt, in folgender Weise schreiben:

$$G_v = \frac{C'}{0,536 \cdot k} + 32,2 H + \frac{W}{0,804}; \quad (19b)$$

es sind nun in Fig. 7 die den verschiedenen C-, H- und W-Gehalten entsprechenden Einzelgasmengen als gerade

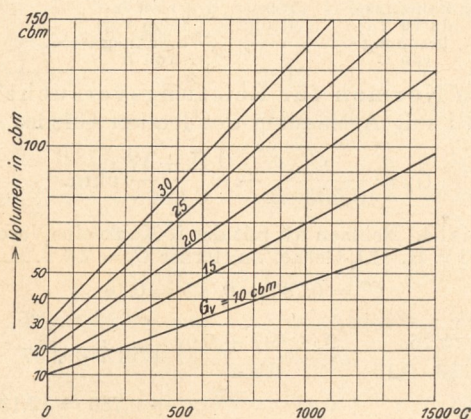


Fig. 8. Volumenzunahme der Gase bei Temperaturerhöhung.

Linien aufgetragen, so daß man mit dem Greifzirkel die Summierung vornehmen kann. Für H ist die Linie nur bis zur 10 v. H.-Ordinate gezogen, da Wasserstoffgehalte über 5 v. H. selten vorkommen; für C sind mehrere Linien entsprechend dem wechselnden CO₂-Gehalt gezogen.

Man erkennt den geringen Einfluß von H und den fast verschwindenden von W.

Das Gasvolumen G_v bezieht sich auf 0° C und 760 mm; da es ebenfalls mitunter erwünscht ist, die bei bestimmten Temperaturen wirklich vorhandenen Volumen zu kennen, so sind dieselben in Fig. 8 für verschiedene Anfangsvolumen aufgetragen.

6. Temperaturen und Wärmeverluste bei der Verbrennung.

Jeder Stoff bedarf zur Einleitung der Verbrennung einer gewissen Temperatur, der Zündungstemperatur; dieselbe beträgt bei C rund 700° C, bei H über 500° C, bei CO rund 300° C.

Um die Verbrennungstemperatur t_{g1} zu ermitteln, braucht man nur den Heizwert h , die Gewichtsmengen der auf 1 kg des Brennstoffes entwickelten Heizgasbestandteile $G_1, G_2, G_3 \dots$ und die zugehörigen spez. Wärmen $c_1, c_2, c_3 \dots$, und zwar als Mittelwerte des Temperaturabstandes, zu kennen. Dann ist, wenn die Temperatur der Verbrennungsluft zu $t = 0^\circ$ angenommen wird, die theoretische Verbrennungstemperatur

$$t_{g1} = \frac{h}{G_1 \cdot c_1 + G_2 \cdot c_2 + G_3 \cdot c_3 \dots} \quad (20)$$

Danach würde sich bei der Verbrennung von Kohlenstoff in reinem Sauerstoff eine Temperatur $t_{g1} = 4500^\circ C$, bei Verbrennung in Luft ohne Überschub $t_{g1} = 2200^\circ C$ ergeben.

Diese Ermittlung leidet an einer gewissen Unsicherheit und Umständlichkeit wegen der wechselnden Luftmengen und Zusammensetzungen der Gase, der veränderlichen spez. Wärmen, und weil bei höheren Temperaturen Dissoziationen (Zersetzungen von Verbindungen, die eben durch die Verbrennung gebildet waren) auftreten. Die berechneten Temperaturen werden aus den genannten Gründen auch nicht annähernd erreicht. Die wirklichen Temperaturen werden daher beim Kesselbetrieb allgemein durch Messung mit Thermometern für Temperaturen bis 500° C und Thermoelementen für höhere Temperaturen festgestellt.

Für Überschlagsrechnungen betrachten wir die Heizgase, als ob sie nur aus Verbrennungsprodukten von C beständen, und nehmen eine konstante spez. Wärme $c_p = 0,32$, bezogen auf 1 cbm, an. Tatsächlich wird c_p höher sein, da der Wasserdampf nicht berücksichtigt ist; die Schwankungen von c_p mit wachsenden Temperaturen betragen etwa nur 0,006 bis 0,008 für je 100° Temperaturunterschied; ferner bleibt die wirkliche Verbrennungstemperatur unter der theoretischen infolge von Verlusten durch unvollkommene Verbrennung, durch Wärmeleitung und -strahlung. Besonders bei Innenfeuerungen ist anzunehmen, daß ein nicht unerheblicher Teil der Wärme sofort durch Strahlung von den Flammrohrwänden aufgenommen wird.

Alle diese Umstände seien durch Annahme eines Faktors $\eta = 0,8$ berücksichtigt, so daß die Verbrennungstemperatur, die man nach Bunte¹⁾ zweckmäßig als „Anfangstemperatur“ bezeichnet, mit Annäherung aus

$$t_{g1} = 0,8 \frac{h}{G_v \cdot 0,32} \quad (21)$$

ermittelt werden kann, worin G_v für einen beliebigen Brennstoff aus Fig. 7 zu entnehmen ist.

¹⁾ Z. Ver. deutsch. Ing. 1900, S. 669f.