

sich ein Teil der flüchtigen Produkte der trockenen Destillation zu Teernebeln, die zusammen mit Kohlenteilchen, die teils mitgerissen werden, teils durch Zerfall chemischer Verbindungen in der Hitze entstanden sind, den Rauch bilden; je mehr Kohlenstoffteilchen in ihm enthalten sind, um so schwärzer ist der Rauch.

Bei trockenem Holz liegen die Verhältnisse etwas anders; abgesehen davon, daß die Destillationsprodukte des Holzes leichter flüchtig und zum größten Teile leichter verbrennlich sind, haben sie infolge der physikalischen Eigenschaften (Dichte, Wärmeleitung) des Holzes und der daraus entstehenden Holzkohle weniger Gelegenheit zur Abkühlung.

Da der Kohlenrauch, wenn er einmal entstanden ist, wegen seiner physikalischen und chemischen Beschaffenheit nur schwer und unvollkommen beseitigt werden kann, muß seine Entstehung möglichst vermieden werden.

Dies geschieht teils durch eigene Feuerungsanlagen, die eine allmähliche aber dauernde Zufuhr des Brennmaterials gestatten oder es sehr fein verteilen (Kohlenstaubfeuerung) oder, vollkommener, durch vorhergehende Vergasung des Brennstoffes. Erhöhung der Luftzufuhr allein kann die Rauchbildung nicht hintanhaltend, da hierdurch auch Abkühlung herbeigeführt wird.

Die meisten technisch verwendeten Brennstoffe verbrennen unter **Flammenbildung**. Da die Flamme aus brennenden Gasen besteht, wird die Flammenentwicklung (Flammbarkeit) bei festen Brennstoffen um so stärker ausgebildet sein, je mehr Gase sich bei der trockenen Destillation, die der Verbrennung vorangeht, bilden. Es hängt dies in erster Linie mit dem Wasserstoffgehalt, insbesondere dem disponiblen Wasserstoff, zusammen.

Reiner Kohlenstoff (Koks, Holzkohle) brennt ohne wesentliche Flammenbildung und die Flamme besteht dann nur aus dem brennenden Kohlenmonoxyd, das durch Reduktion von Kohlendioxyd an der glühenden Kohle entstanden ist. Zur Erhitzung großer Flächen (z. B. Kesselfeuerung) ist nur Brennmaterial von größerer Flammbarkeit verwendbar.

1. Der Luftbedarf beim Verbrennungsvorgang.

Zur Durchführung einer rationellen Verbrennung ist außer auf die Auswahl eines geeigneten Brennstoffes auch auf die Zufuhr der entsprechenden Luftmenge Bedacht zu nehmen. Die Berechnung der theoretisch nötigen Luftmenge geschieht auf folgende Weise:

Es liege ein Brennstoff mit C% Kohlenstoff, H% Wasserstoff, O% Sauerstoff und S% Schwefel vor; hygroskopisches Wasser und

Asche seien hierbei vernachlässigt. Da 12 Gewichtsteile Kohlenstoff 32 Gewichtsteile Sauerstoff zur Verbrennung zu Kohlendioxyd benötigen, ist der Sauerstoffbedarf obigen Brennstoffes in bezug auf den

$$\text{Kohlenstoff: } \frac{\frac{8}{3} \text{ C}}{100}.$$

Analog ergibt sich für den Wasserstoff $\frac{8 \text{ H}}{100}$ Gewichtsteile Sauerstoff oder, da nur der dispensible Wasserstoff für die Verbrennung in Betracht kommt, $\frac{8 \text{ H} - \text{O}}{100}$ Gewichtsteile Sauerstoff, ferner für den Schwefel $\frac{\text{S}}{100}$ Gewichtsteile Sauerstoff für die Verbrennung zu Schwefeldioxyd.

Der Gesamtsauerstoffbedarf ist demnach für 1 kg Brennstoff

$$A = \frac{\frac{8}{3} \text{ C} + 8 \text{ H} - \text{O} + \text{S}}{100} \text{ kg.}$$

Mit Rücksicht auf die Zusammensetzung der Luft, die 23 Gewichtsprocente Sauerstoff enthält, ergibt sich hieraus der theoretische Luftbedarf dem Gewichte nach:

$$L = \frac{\frac{8}{3} \text{ C} + 8 \text{ H} - \text{O} + \text{S}}{0,23 \cdot 100} = \frac{\frac{8}{3} \text{ C} + 8 \text{ H} - \text{O} + \text{S}}{23} \text{ kg.}$$

Diese Formel wird häufig (zweite) *Verbandsformel* genannt, da sie von einem Ingenieurverband aufgestellt wurde. Wird die Luft nicht dem Gewichte, sondern was zweckmäßiger ist, dem Volumen nach angegeben, so erhält man unter Zugrundelegung des spezifischen Gewichtes der Luft = 1,293 kg für 1 m³

$$L' = \frac{\frac{8}{3} \text{ C} + 8 \text{ H} - \text{O} + \text{S}}{23 \cdot 1,293} = \frac{\frac{8}{3} \text{ C} + 8 \text{ H} - \text{O} + \text{S}}{30} \text{ m}^3.$$

Diese Menge gilt eigentlich nur für 0° und den Normalbarometerstand von 76 cm; für andere Temperaturen und Drucke müssen die entsprechenden Korrekturen angebracht werden.

Anmerkung: Unter Zuhilfenahme obiger Formeln berechnet sich der Luftbedarf für

1 kg Kohlenstoff zu 11,6 kg Luft oder 8,96 m³ Luft.

1 kg Wasserstoff zu 34,7 kg Luft oder 26,8 m³ Luft.

1 kg Schwefel zu 4,34 kg Luft oder 3,4 m³ Luft.

Ist der Luftbedarf und die Brennstoffmenge bekannt, so kann man die Menge der Verbrennungsprodukte berechnen, zu denen auch das hygroskopische Wasser und der mit der Luft zutretende Stickstoff zu zählen sind. Unter den früheren Annahmen erhält man so für 1 kg Brennstoff:

$$P = \frac{12,6 C + 35,78 \left(H - \frac{O}{8} \right) + 5,34 S + W + N}{100},$$

wobei W das Wasser, N den Stickstoff des Brennstoffes bedeutet. In W ist nicht nur das hygroskopische, sondern auch das chemisch gebundene Wasser inbegriffen, das unter der Annahme, daß aller Sauerstoff an Wasserstoff gebunden ist, der 9fachen Sauerstoffmenge entspricht.

Bei Berechnung des Volumens der Verbrennungsprodukte muß berücksichtigt werden, daß zwar der Kohlenstoff und der Schwefel ein dem Sauerstoffvolumen gleiches Volumen Verbrennungsprodukt liefern, nicht aber der Wasserstoff, der doppelt so viel Wasserdampf gibt als bei seiner Entstehung Sauerstoff verbraucht wurde.

Es gibt demnach:

1 kg Kohlenstoff 8,966 m³ Verbrennungsprodukt (Kohlendioxyd)

1 kg Wasserstoff 32,529 m³ Verbrennungsprodukt (Wasserdampf).

Die Volumina des Wasserdampfes (chem. gebundenes und hygroskopisches Wasser) und des Stickstoffes ergeben sich durch Division der betreffenden Gewichte durch die spezifischen Gewichte. Man erhält so schließlich:

$$V = \left[\frac{8,966 C + 32,529 \left(H - \frac{O}{8} \right)}{100} + \frac{W}{0,804 \cdot 100} + \frac{N}{1,256 \cdot 100} \right] \text{ m}^3.$$

Alle bisher durchgeführten Berechnungen des Luftbedarfes und der Verbrennungsprodukte gelten nur unter der Voraussetzung, daß die Verbrennung mit der theoretisch notwendigen Luftmenge erfolgt. Diese Bedingung kann in technischen Feuerungsanlagen aber nie erfüllt werden, sondern es ist stets ein gewisser Luftüberschuß nötig.

Der Grund hierfür ist darin zu suchen, daß es unmöglich ist, Brennstoff und Luft so miteinander in Berührung zu bringen, daß jedes Sauer-

stoffmolekül auf das entsprechende Brennstoffmolekül zur Einwirkung gelangt. Je inniger die Mischung von Brennstoff mit Luft erfolgen kann, um so geringer ist der Luftüberschuß, so daß gasförmige Brennstoffe den kleinsten Luftüberschuß erfordern.

Der Luftüberschuß führt naturgemäß zu Wärmeverlusten, da er den Verbrennungsprodukten zugezählt werden muß und diese die Feuerstelle mit höherer Temperatur verlassen als sie die zutretende Luft besessen hat.

Da jede Brennstoffart einen bestimmten Luftüberschuß benötigt, bei dem die betreffende Feuerungsanlage am rationellsten arbeitet, ergibt sich die Notwendigkeit seiner ständigen Kontrolle und im Zusammenhang damit die entsprechende Regelung der Luftzufuhr.

Bestimmung des Luftüberschusses bei Verbrennungen.

Die Bestimmung des Luftüberschusses geschieht durch Untersuchung der bei der Verbrennung entweichenden Gase, die gewöhnlich kurz als Rauchgase bezeichnet werden. Das beste Bild vom Verlaufe des Verbrennungsprozesses erhält man durch Feststellung der prozentischen Zusammensetzung der Rauchgase, wobei man sich auf ihre Hauptbestandteile Kohlendioxyd, Kohlenmonoxyd und Sauerstoff beschränken kann. Der Wasserdampf kondensiert sich größtenteils vor Eintritt in die Meßapparate, der Stickstoff ergibt sich aus der Differenz.

Ein für die Technik brauchbarer Apparat zur vollständigen Analyse der Rauchgase ist von Orsat gebaut worden. Fig. 2.

Er besteht aus einer Meßröhre *a* und einer Reihe von Absorptions-

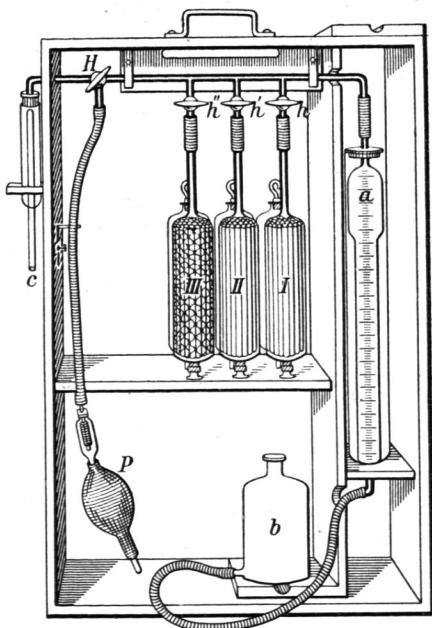


Fig. 2. Apparat zur Analyse der Rauchgase von Orsat.