

andere mit Rauchgas gefüllt ist, werden die Meßräder der beiden Kammer einen Unterschied im Drehungsimpuls aufweisen, der dem jeweiligen Dichteverhältnis entspricht.

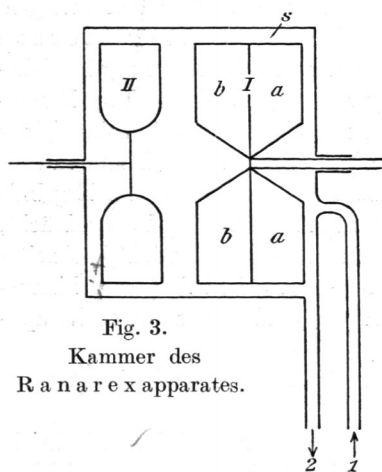


Fig. 3.
Kammer des
Ranarexapparates.

Durch eine eigenartige Kupplung, die „Ranarexkupplung“, sind die Axen der beiden Meßräder so miteinander verbunden, daß dieses Verhältnis durch einen Zeiger auf der Skala zum Ausdruck kommt. Die Instrumente sind so geeicht, daß auf der Skala der Prozentgehalt des Rauchgases an Kohlendioxyd direkt abgelesen werden kann. Da die heißen, durch Staubfilter gereinigten Rauchgase vor Eintritt in die Kammer auf die Temperatur des Kesselhauses herabgekühlt werden, sind sie bei dieser Temperatur mit Wasser-

dampf gesättigt; es muß daher der Vergleichsluft durch Anfeuchtevorrichtungen ebenfalls der entsprechende Feuchtigkeitsgrad verliehen werden.

Ein einfach zu handhabender Rauchgasprüfer, der genügend genaue Resultate gibt, ist der von Siemens und Halske. Er beruht auf der Änderung des Wärmeleitungsvermögens der Rauchgase infolge des wechselnden Kohlendioxydgehaltes, wobei man ihre abkühlende Wirkung auf einen elektrisch geheizten Draht feststellt. Die Messung kann auch kontinuierlich außerhalb des Feuer-raumes durchgeführt werden.

2. Bestimmung des Heizwertes der Brennstoffe.

a) Experimentelle Bestimmung.

a. Für feste und flüssige Brennstoffe.

Die Verbrennung von Kohlenstoffverbindungen in freiem Sauerstoff verläuft unter gewöhnlichem Druck nur bei Anwendung eines Katalysators, z. B. Platin, vollkommen, ohne diesen entsteht immer auch Kohlenmonoxyd. Da dieses noch brennbar ist, muß die gefundene Verbrennungswärme in diesem Falle niedriger sein als bei vollkommener Verbrennung. Die Bestimmung des Heizwertes muß demnach in einem

geschlossenen Gefäß unter höherem Sauerstoffdruck, gewöhnlich von 25 Atmosphären, durchgeführt werden. Unter diesen Verhältnissen verläuft die Verbrennung zwar vollkommen, aber unter anderen Bedingungen wie in den gewöhnlichen Feuerungen, so daß einige Korrekturen vorgenommen werden müssen, um richtige Resultate zu erhalten.

Ein Apparat, der zur Bestimmung der Verbrennungswärme nach dieser Methode dient, ist die Berthelotsche Bombe, die von Mahler und Kroecker einige Abänderungen erfahren hat, die vor allem auf eine billigere Herstellung hienzielen.

Sie (Fig. 4) besteht aus einem Stahlgefäß mit aufschraubbarem Deckel, das innen mit einem gegen Säuren widerstandsfähigen Belag (bei der ursprünglichen Berthelotschen Bombe einem Platinüberzug) versehen ist. Ihr Rauminhalt beträgt etwa 300 cm³. Durch den Deckel geht das Platinrohr 2 und der Platindraht 8, die mit Zuleitungen für den elektrischen Strom in Verbindung stehen. An dem Platinrohr 2 ist ein kleiner Platintiegel 9 zur Aufnahme des Brennstoffes befestigt. Rohr 2 dient gleichzeitig zur Zuleitung des Sauerstoffes, 3 zur Ableitung der Verbrennungsgase.

Die Durchführung des Versuches geschieht in folgender Weise: Fester Brennstoff wird, wenn möglich in Pastillenform abgewogen, in den Tiegel der Bombe gelegt. Um die Zündung einzuleiten, ist ein gewogener Eisendraht durch die Pastille gesteckt und mit 2 und 8 in leitende Verbindung gebracht. Läßt sich der Brennstoff nicht zu Pastillen formen, so wird er in feines Zigarettenpapier gewickelt und ebenfalls mit dem Eisendraht verbunden.

Flüssigkeiten, besonders solche, die leichtflüchtig sind, müssen in geschlossenen Glasgefäßchen eingeführt werden, die einen gut schließenden Deckel aus leicht brennbarer Substanz (z. B. Zelluloid) besitzen; der Zündfaden wird zwischen Deckel und Glasröhrchen festgeklemmt. Die Verbrennungswärme der Deckelsubstanz muß genau bekannt sein und in Rechnung gestellt werden. Nach Einführung des Brennstoffes wird aus einem Stahlzylinder Sauerstoff unter 25 Atmosphären Druck eingeleitet und die Bombe sodann in das Kalorimetergefäß gebracht (Fig. 5). Dieses ist ein gewöhnlich aus Nickelblech her-

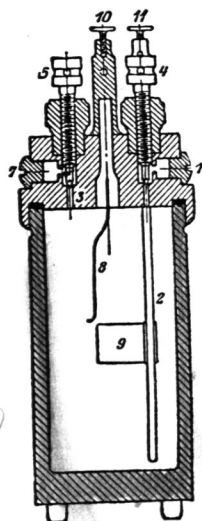


Fig. 4. Kalorimetrische Bombe (von Mahler und Kroecker abgeänderte Form).

14 Kalorimetrische Bestimmung des Heizwertes fester u. flüssiger Brennstoffe.

gestelltes Gefäß, das mit einer Rührvorrichtung und einem Thermometer versehen ist, und zum Schutz gegen Wärmeverluste in einem zweiten, leeren Zylinder steht, der seinerseits wieder eine wärmeisolierende Hülle besitzt. Manchmal ist diese Hülle durch ein mit Wasser gefülltes Doppelgefäß ersetzt (wie in Fig. 5).

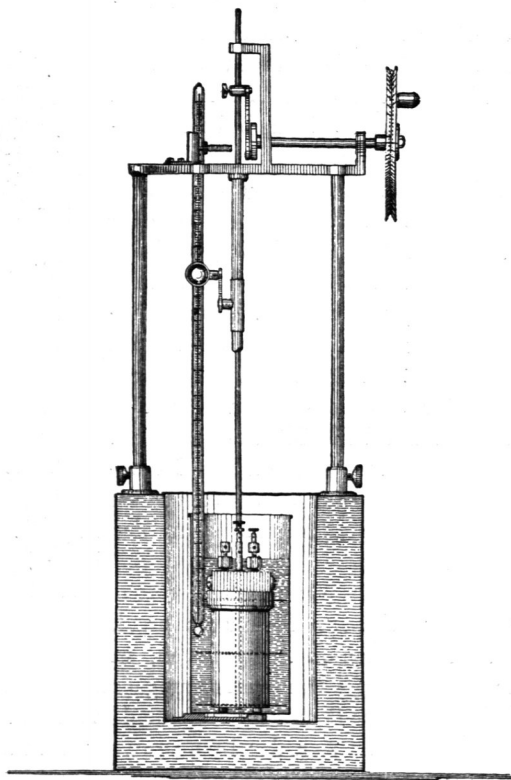


Fig. 5. Kalorimetergefäß mit kalorimetrischer Bombe.

Nachdem die gewogene Menge Wasser in das Kalorimetergefäß eingefüllt ist, wird die Temperatur auf $\frac{1}{100}^{\circ}\text{C}$ genau abgelesen. Für diese feine Temperaturmessung bedient man sich eines Thermometers, das nur wenige Grade umfaßt, so daß die Grade genügend lang sind, um Hundertelgrade bei gleichzeitiger Abschätzung der Tausentel ablesen zu können.

Die Temperatur des Wassers wird vor dem Versuche so bemessen, daß sie etwas unter jener des Beobachtungsraumes liegt.

Im ersten Teil des Versuches, dem Vorversuch, wird nun die Temperatur innerhalb von 9 Minuten in gleichen Zwischenräumen 9 mal abgelesen.

Hierauf beginnt mit dem Schließen des Stromes, der die Zündung herbeiführt, der Hauptversuch, bei dem die Temperatursteigerung von Minute zu Minute beobachtet wird. Ist die höchste Temperatur erreicht, so wird noch durch 9 Minuten das Sinken der Wassertemperatur 9 mal festgestellt (Nachversuch).

Aus den gefundenen Temperaturen, dem Gewicht des Brennstoffes und dem des Wassers im Kalorimeter läßt sich der Heizwert berechnen, wobei allerdings einige Korrekturen angebracht werden müssen.

Zunächst ist zu bedenken, daß auch die Metallteile des Kalorimeters, der Rührer und das Thermometer eine gewisse Wärmemenge aufnehmen, die berücksichtigt werden muß. Diese Wärme, die experimentell ermittelt werden kann, wird auf Wasser umgerechnet und heißt der W a s s e r w e r t des Kalorimeters. Der Wasserwert ist für jedes Instrument bekannt, so daß er zu der gewogenen Wassermenge ohne weiteres hinzugefügt werden kann.

Ferner muß die Korrektur für die Z ü n d u n g vorgenommen werden; falls die Zündung durch einen Eisendraht erfolgt, werden für je 1 g Eisen 1600 Kalorien in Rechnung gesetzt. (Unverbrannte Eisendrahtstücke müssen in Abzug gebracht werden.)

Weitere Korrekturen sind deshalb nötig, weil bei der Verbrennung im Bombenkalorimeter Stickstoff in Salpetersäure und Schwefel in Schwefelsäure (statt in Schwefeldioxyd wie in der Feuerungsanlage) übergeht.

Es muß demnach die Menge der S a l p e t e r - und S c h w e f e l - s ä u r e analytisch ermittelt werden.

Ferner wird bei der Verbrennung in der kalorimetrischen Bombe der Wasserdampf als flüssiges Wasser kondensiert, während er in der Feuerstelle als solcher in das Rauchgas übergeht. Will man daher statt des mittels des Kalorimeters gefundenen „o b e r e n“ H e i z w e r t e s, den „u n t e r e n“ oder p r a k t i s c h e n H e i z w e r t haben, so muß die Kondensationswärme des Wasserdampfes, die mit 600 Kalorien für 1 g Wasser gerechnet wird, in Abzug gebracht werden.

Schließlich ist auch wegen des W ä r m e a u s t a u s c h e s des Kalorimeters mit der U m g e b u n g, die beim Vor- und Nachversuch direkt beobachtet wird, eine Korrektur nötig.

Diese Korrektur läßt sich nach folgender Formel finden:

16 Kalorimetrische Bestimmung des Heizwertes gasförmiger Brennstoffe.

$$a = n \cdot v' + \frac{v + v'}{2};$$

hierbei ist:

n = Dauer der Verbrennung im Hauptversuch in Minuten ausgedrückt.

v und v' der mittlere Temperaturunterschied zwischen den einzelnen Minuten des Vor- beziehungsweise Nachversuches, wobei die Temperaturabnahme mit positivem, die Zunahme mit negativem Vorzeichen eingesetzt wird.

Diese Korrektur a wird zur gefundenen Temperaturerhöhung t hinzuaddiert.

Unter Berücksichtigung aller Korrekturen ist demnach der Heizwert für 1 g Brennstoff:

$$H = \frac{(W + w) \cdot (t + a) - a_n - a_s - z}{g} - 6 (F + 9 H);$$

hierbei bedeutet:

W die gewogene Wassermenge,

w den Wasserwert des Kalorimeters,

g das Gewicht des Brennstoffes,

t die gefundene Temperaturerhöhung im Hauptversuch,

a die Korrektur für den Wärmeaustausch mit der Umgebung während des Hauptversuches,

a_n die Korrektur für die Salpetersäurebildung, die für 1% Salpetersäure 2,27 Kalorien beträgt.

a_s die Korrektur für die Bildung von Schwefelsäure an Stelle von Schwefeldioxyd, die für 1% Schwefel 22,5 Kalorien beträgt,

z die Korrektur für die Zündung (bei Flüssigkeiten auch für die eventuell verwendete brennbare Umhüllung),

F den Gehalt an hygroskopischem Wasser,

H den Wasserstoffgehalt des Brennstoffes.

β. Heizwertbestimmung gasförmiger Brennstoffe.

Mit dem Kalorimeter von Junkers.

Bei der Bestimmung des Heizwertes mit diesem Apparate wird eine gemessene Gasmenge in einem Bunsenbrenner verbrannt und die entstehende Wärme auf eine gemessene Wassermenge übertragen, deren Temperaturerhöhung festgestellt wird.

Der Bau des Instrumentes ist aus Fig. 6 ersichtlich.