

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000299569

Kollernstragen 10a

Holzger

xxx  
b49



Wert und Bestimmung  
des  
**Kohlensäuregehaltes**  
der  
**Heizgase.**

Anleitung zur Beurteilung der Vorgänge bei der  
Verbrennung und Anweisung zum Gebrauch  
der für die Untersuchung der Feuerungs-  
gase benutzten Apparate auf grund  
der darin enthaltenen Kohlensäure

von

Ingenieur **A. Dosch**

Köln.

Mit 54 Abbildungen.

397  
~~F. Nr. 25201~~



BERLIN W. 66

**Richard Dietze**

(Verlag von Dinglers Polytechnischem Journal)

**1903.**

89.66

xxx  
949



II 7765

Akc. Nr. 5072/51

## Vorrede.

Vorliegende Abhandlung ist durch den Wunsch entstanden, eine ausführliche Erörterung über die Verhältnisse zu bieten, auf grund deren die Beurteilung einer rationellen Verbrennung bei industriellen Feuerungsanlagen in erster Linie zu erfolgen hat.

Demzufolge soll das Buch insbesondere für Feuerungstechniker und solche, welche sich mit der Untersuchung von Feuerungsanlagen zu befassen haben, bestimmt sein; doch glaube ich, dass der Inhalt auch für Betriebsleiter grösserer Werke mit Dampfkesselbetrieb nicht ohne Interesse sein wird und ferner, dass die Schrift zum Gebrauch für Studierende technischer Hoch- und Mittelschulen geeignet sein dürfte.

Denjenigen Firmen, welche mich bei meinem Vorhaben in lebenswändigster Weise durch Zusendungen unterstützten, spreche ich hierdurch nochmals meinen verbindlichsten Dank aus.

Köln, März 1903.

Der Verfasser.



## Inhalt.

<b>I. Einleitung</b> . . . . .	S. 1
<b>II. Gewichtsverhältnis der <math>CO_2</math> zu den Heizgasen</b> ..	2
Verhältnis der zugeführten, zur theoretisch erforderlichen Luftmenge für reinen Kohlenstoff . . . . .	3
Gasgewicht bei Verbrennung von reinem Kohlenstoff . . . . .	3
Tabelle über Gewichtsverhältnis der $CO_2$ bei verschiedenem Luftüberschuss für reinen Kohlenstoff . . . . .	3
Gewichtsverhältnis der Kohlensäure bei Verbrennung zusammengesetzter Brennstoffe ohne Luftüberschuss ..	4
Gewichtsverhältnis der Kohlensäure bei Verbrennung zusammengesetzter Brennstoffe mit Luftüberschuss ..	5
Gasgewicht bei Verbrennung zusammengesetzter Brennstoffe mit Luftüberschuss . . . . .	6
Luftüberschusskoeffizient . . . . .	7
Einfluss der Brennstoffbestandteile auf das Gewichtsverhältnis der Kohlensäure . . . . .	7
Tabelle über Gasgewicht und Gewichtsverhältnis der $CO_2$ bei verschiedenem Luftüberschuss für verschieden zusammengesetzte Brennstoffe . . . . .	8
<b>III. Volumenverhältnis der <math>CO_2</math> zu den Heizgasen</b> ..	9
Gasvolumen bei Verbrennung reinen Kohlenstoffs ohne Luftüberschuss . . . . .	10
Gasvolumen bei Verbrennung reinen Kohlenstoffes mit Luftüberschuss . . . . .	11
Gasvolumen bei Verbrennung zusammengesetzter Brennstoffe mit Luftüberschuss . . . . .	11
Volumenverhältnis der $CO_2$ bei Verbrennung zusammengesetzter Brennstoffe mit Luftüberschuss . . . . .	12
Luftüberschusskoeffizient bei Verbrennung zusammengesetzter Brennstoffe . . . . .	12
Tabelle über Gasvolumen und Gewichtsverhältnis der $CO_2$ bei verschiedenem Luftüberschuss für verschieden zusammengesetzte Brennstoffe . . . . .	13
Verhältnis des Gewichts- zum Volumenverhältnis der $CO_2$ . . . . .	14
Spezifisches Gewicht der Heizgase . . . . .	14

Werte des Volumenverhältnisses des freien Sauerstoffes zum Gesamtvolumen der Rauchgase und zum Volumen- verhältnis der $CO_2$ . . . . .	S. 15
<b>IV. Wert der Kohlensäurebestimmung</b> . . . . .	„ 15
Ermittlung des Luftüberschusses . . . . .	„ 16
Theoretische Verbrennungsluftmenge . . . . .	„ 17
Wärmeverlust durch die Abgase . . . . .	„ 17
Tabelle über die Wärmeverluste bei verschied. Luftüber- schuss für verschied. zusammengesetzte Brennstoffe	S. 18/19
Bestimmung des Wärmeverlustes durch die Abgase ohne Kenntnis der Zusammensetzung des Brennstoffes .	S. 19
Spezifische Wärme der Heizgase für verschiedenen Kohlensäuregehalt . . . . .	„ 20
Anderes Verfahren zur Bestimmung des Wärmeverlustes durch die Abgase . . . . .	„ 21
Tabelle über die spezifische Wärme bei Verbrennung verschieden zusammengesetzter Brennstoffe mit ver- schiedenem Luftüberschuss . . . . .	„ 22
Graphische Darstellung der Wärmeverluste . . . . .	„ 24
<b>V. Beeinflussungen des Kohlensäuregehaltes</b> . . . . .	„ 25
1. Einfluss des Unverbrannten in der Asche auf den Wärmeverlust durch die Abgase, die erforderliche Sauerstoffmenge, auf das Verhältnis der $CO_2$ , den Luftüberschuss und die entstehende Rauchgasmenge	„ 26
Beispiel hierüber . . . . .	„ 29
2. Einfluss des Kohlenoxydes auf den Wärmeverlust durch die Abgase, die theoretische Sauerstoffmenge, auf das Verhältnis der $CO_2$ , den Luftüberschuss und die entstehende Rauchgasmenge . . . . .	„ 30
Beispiele hierüber . . . . .	„ 33
Zusammenstellung der Resultate . . . . .	„ 36
3. Einfluss des in den Rauchgasen enthaltenen Russes auf den Wärmeverlust durch die Abgase, die theoretische Sauerstoffmenge, auf das Verhältnis der $CO_2$ , den Luft- überschuss und die entstehende Rauchgasmenge . . . . .	„ 36
Beispiele hierüber . . . . .	„ 38
Zusammenstellung der Resultate . . . . .	„ 40
4. Zusammentreffen der unter 1 bis 3 angeführten Verluste und Einfluss dieses Zusammentreffens auf den Wärmeverlust durch die Abgase, die theoretische Sauerstoffmenge, auf das Verhältnis der $CO_2$ , den Luftüberschuss und die entstehende Rauchgasmenge	„ 41
Beispiele hierüber und Zusammenstellung der Resultate	„ 43

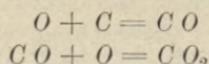
<b>VI. Apparate zur Bestimmung der Kohlensäure</b>	S. 45
a) Allgemeines . . . . .	45
b) Apparate, auf der Gewichtszunahme der Rauchgase durch die Kohlensäure beruhend . . . . .	49
1. Die Arndtsche Gaswage . . . . .	50
2. Die Gaswage von Lustodis . . . . .	59
3. Die Rauchgaswage von W. Dürr . . . . .	63
4. Die hydrostatische Gaswage nach Krell- Schultze . . . . .	64
5. Der Rauchgas-Analysator nach Krell-Schultze	67
c) Absorptionsapparate . . . . .	78
1. Gasbürette nach Bunte . . . . .	78
2. Apparat nach Orsat-Fischer . . . . .	82
3. Orsat-Apparat nach Fuchs . . . . .	86
4. Apparat nach C. Schmitz . . . . .	87
5. Apparat nach Arndt . . . . .	89
6. Selbsttätig aufzeichnender Apparat nach Arndt	92
d) Rauchgassammelapparate . . . . .	96
Allgemeines . . . . .	96
Rauchgassammelapparat von Wwe. Joh. Schu- macher . . . . .	97
<b>VII. Schlussbemerkungen</b> . . . . .	98
Bestimmung des Luftüberschusses und des Gasvolumens aus dem Gehalt der Rauchgase an freiem Sauerstoff und an Stickstoff . . . . .	98
Beispiele über den Wert der abgeleiteten Gleichungen	100



## I. Einleitung.

Als Element, welches zur Erzeugung von Wärme in der Praxis zur Verfügung steht, kommt hauptsächlich Kohlenstoff in Betracht, da alle Brennstoffe zum weitaus grössten Teile aus diesem Elemente bestehen.

Die Erzeugung von Wärme geschieht durch die Verbindung genannten Elementes mit Sauerstoff derart, dass zunächst zu einem Teil *C* ein Teil *O* hinzutritt und bei ausreichendem Vorhandensein von Sauerstoff sich die entstandene Verbindung um ein weiteres Atom *O* vermehrt. Der Prozess geht dementsprechend nach der Formel vor sich



Erstere Verbindung, Kohlenoxyd, wird also bei ungenügendem Vorhandensein, letztere, Kohlendioxyd oder Kohlensäure bei reichlichem Vorhandensein von Sauerstoff sich bilden.

Ausser Kohlenstoff, der den Hauptbestandteil aller verwendeten Brennstoffe bildet, kommen nur einige wenige Elemente in Betracht, wie Wasserstoff und Schwefel, die jedoch in den verwendeten Materialien gewöhnlich in geringeren Mengen vorhanden sind.

Wenn irgend ein Brennmaterial unter Zuführung reinen Sauerstoffes verbrannt wird, so dürfen in den Verbrennungsgasen nur die Verbindungen der einzelnen Materialien, welche überhaupt brennbar sind, erscheinen, und zwar diejenigen Verbindungen des Sauerstoffs, welche die grösste Wärmeentwicklung hervorrufen. Ebenso dürften, wenn in einer industriellen Feuerungsanlage ohne Luftüberschuss gearbeitet werden könnte, in den Rauchgasen nur vorhanden sein: Kohlensäure, schweflige Säure, Stickstoff und Wasserdampf.

Praktisch lässt sich nun eine Verbrennung nicht ohne Luftüberschuss leiten, so dass zu den erwähnten Gasarten noch ein gewisser Prozentsatz Stickstoff und ferner Sauerstoff hinzutreten wird, welcher Prozentsatz jedoch bestimmte Grenzen nicht überschreiten soll.

Um nun ein Urteil über die Güte und Oekonomie der Verbrennung zu gewinnen, ist es erforderlich, die Rauchgase auf ihre Bestandteile hin zu untersuchen und insbesondere den Prozentsatz derselben an Kohlenstoffverbindungen und hiervon wieder denjenigen von Kohlensäure festzustellen. Diese Bestimmung kann nun entweder durch Ermittlung der Gewichtszunahme der Rauchgase bei der Verbrennung oder aber volumetrisch — durch Absorption — geschehen. Vom theoretischen Standpunkte aus betrachtet ist das letztere Verfahren — weil genauer — vorzuziehen; doch bietet die Anwendung desselben für die Praxis, gegenüber dem ersteren, wieder andere Nachteile. Die volumetrische Kohlensäurebestimmung ist mehr für zeitweise, diejenige, welche sich auf die Gewichtszunahme gründet, mehr für kontinuierliche Bestimmung im Gebrauch, doch findet neuerdings für letzteren Zweck auch die volumetrische Bestimmung Verwendung.

## II. Gewichtsverhältnis der $CO_2$ zu den Heizgasen.

Bei vollkommener Verbrennung von Kohlenstoff zu Kohlensäure treten zu einem Volumenteil  $C$  zwei Volumen Sauerstoff hinzu; verbrennt daher 1 kg reiner Kohlenstoff ohne Luftüberschuss, so entstehen

$$1 + \frac{16}{12} \cdot 2 = 1 + 2,667 = 3,667 \text{ kg Kohlensäure.}$$

In 1 kg atmosphärischer Luft befinden sich

$$O_L = 0,232 \text{ kg}^1) \text{ Sauerstoff.}$$

Um daher 1 kg Sauerstoff zuzuführen, müssten

$\frac{1}{O_L} = \frac{1}{0,232} = 4,31$  kg Luft zugeführt werden. Dementsprechend müssten, bei einem Luftüberschuss von Null, zur Verbrennung von 1 kg reinem Kohlenstoff an Luft vorhanden sein:

$$L_g = \frac{8}{3} \cdot \frac{1}{O_L} = 2,667 \cdot 4,31 = 11,493 \text{ kg} \dots (1)$$

und an Rauchgasen würden entstehen, da zu dieser Verbrennungsluft noch 1 kg  $C$  hinzutritt:

$$G_g = 1 + 2,667 \cdot 4,31 = 12,493 \text{ kg} \dots (2)$$

<sup>1)</sup> Nach neueren Versuchen.

Sind nun  $C = \text{kg}$  Kohlenstoff vorhanden, so wird das Gewicht der Verbrennungsgase

$$G_g = C + C \cdot 2,667 + C \cdot 2,667 \left( \frac{1}{O_L} - 1 \right)$$

oder

$$G_g = C [1 + 2,667 + 2,667 \cdot 3,31] = 12,493 C \quad (3)$$

Das Gewichtsverhältnis der Kohlensäure zum Gesamtgewichte der entstehenden Heizgase würde dann betragen

$$\begin{aligned} K_g &= \frac{C \cdot (1 + 2,667)}{C (1 + 2,667 + 2,667 \cdot 3,31)} \\ &= \frac{3,667}{12,493} = 0,293 \dots (4) \end{aligned}$$

Dieses Verhältnis könnte nur dann diese Grösse erreichen, wenn reiner Kohlenstoff ohne Luftüberschuss verbrannt würde, würde also diesem Werte am nächsten kommen bei Verbrennung von Anthracit.

In der Praxis ist es nun nie möglich, eine Verbrennung derart zu leiten, dass der betreffende Körper ohne Luftüberschuss verbrannt werden kann; man muss hingegen stets einen gewissen Luftüberschuss zur Verfügung haben. Bezeichnet  $\varphi$  das Verhältnis des zugeführten Luftquantums zu dem theoretisch notwendigen, so wird das jetzt entstehende Gewicht der Verbrennungsgase sein:

$$\begin{aligned} G_g &= C + C \cdot 2,667 + C \cdot 2,667 \cdot (\varphi - 1) \\ &\quad \text{Kohlensäure} \qquad \qquad \text{freier Sauerstoff} \\ &\quad + C \cdot 2,667 \cdot \left( \frac{1}{O_L} - 1 \right) \cdot \varphi \\ &\quad \qquad \qquad \qquad \text{Stickstoff u. Argon} \end{aligned}$$

$$G_g = C (1 + 2,667 \cdot 4,31 \cdot \varphi) = C (1 + 11,493 \varphi)$$

Das Gewichtsverhältnis der Kohlensäure zum Gewichte der entstandenen Rauchgase würde also kleiner werden und betragen:

$$K = \frac{C \cdot (1 + 2,667)}{C (1 + 11,493 \varphi)} = \frac{3,667}{1 + 11,493 \cdot \varphi} \quad (5)$$

In nachstehender Tabelle 1 ist dieses Verhältnis für verschiedene Luftmengen angegeben.

**Tabelle 1.**

$\varphi =$	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7
$K_v =$	0,293	0,268	0,249	0,230	0,214	0,201	0,189	0,178
$\varphi =$	1,8	1,9	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0
$K_v =$	0,169	0,160	0,153	0,103	0,077	0,062	0,052	0,044

Würde  $K_g$  bekannt sein, so liesse sich aus diesem Verhältnis die zugeführte Luftmenge zu der theoretisch notwendigen berechnen; man würde erhalten

$$\frac{L}{L_e} = \varphi = \frac{3,667 - K_g}{11,493 \cdot K_g} \quad \cdot \quad \cdot \quad (6)$$

giltig nur für Verbrennung reinen Kohlenstoffes.

Alle in der Praxis verwendeten Materialien bestehen nun nicht aus reinem Kohlenstoff, sondern sie setzen sich zusammen aus Kohlenstoff ( $C$ ), Wasserstoff ( $H$ ), Sauerstoff ( $O$ ), Schwefel ( $S$ ), Stickstoff ( $N$ ), Wasser ( $W$ ) und unverbrennbaren Rückständen ( $A$ ).

Aus diesem Grunde setzen sich nun, selbst bei Verbrennung ohne Luftüberschuss, die Heizgase niemals aus  $K_g = 0,293$  Gewichtsteilen Kohlensäure und Stickstoff zusammen, sondern es wird der Wert

$$K_g = 0,293$$

stets zu gross sein.

Unter Berücksichtigung der wirklichen Zusammensetzung eines Brennstoffes würden, wenn aller Kohlenstoff zu Kohlensäure ohne Luftüberschuss verbrennt, an Rauchgasen entstehen:

1. Bei Verbrennung des Kohlenstoffes:

$$G_g = C + 2,667 C + 2,667 C \left( \frac{1}{O_L} - 1 \right)$$

2. Bei Verbrennung des Wasserstoffes:

$$G_H = H + 8 \left( H - \frac{1}{8} O \right) + 8 \left( H - \frac{1}{8} O \right) \left( \frac{1}{O_L} - 1 \right)$$

3. Bei Verbrennung des Schwefels:

$$G_S = S + S + S \left( \frac{1}{O_L} - 1 \right)$$

Im ganzen ist daher an Luft erforderlich:

$$\begin{aligned} L_g &= 2,667 C + 2,667 C \frac{1}{O_L} - 2,667 C + 8 H - O \\ &+ 8 H \frac{1}{O_L} - 8 H - O \frac{1}{O_L} + O + S + S \frac{1}{O_L} - S \\ L_g &= \frac{1}{O_L} (2,667 C + 8 H - O + S) \quad (7) \end{aligned}$$

Hierin bedeutet  $\frac{1}{O_L} = 4,31$  das Verhältnis der Luft zum Sauerstoff, und der Klammerausdruck

$$2,667 C + 8 H - O + S = O_e \quad \cdot \quad \cdot \quad (8)$$

stellt die zur Verbrennung von einem Kilogramm eines bestimmten Brennstoffes erforderliche Sauerstoffmenge dar.

Wird nun das Material mit  $\varphi$ fachem Luftüberschusse verbrannt, so entstehen, analog dem Gesagten, an Rauchgasen:

1. Bei Verbrennung des Kohlenstoffes:

$$C + 2,667 C + 2,667 C (\varphi - 1) + 2,667 \left( \frac{1}{O_L} - 1 \right) \cdot \varphi$$

Kohlensäure                      freier Sauerstoff                      Stickstoff u. Argon

2. Bei Verbrennung des Wasserstoffes:

$$H + 8 \left( H - \frac{1}{8} O \right) + 8 \left( H - \frac{1}{8} O \right) (\varphi - 1)$$

Wasser                                      freier Sauerstoff

$$+ 8 \left( H - \frac{1}{8} O \right) \left( \frac{1}{O_L} - 1 \right) \varphi$$

Stickstoff u. Argon

3. Bei Verbrennung des Schwefels:

$$S + S + S (\varphi - 1) + S \left( \frac{1}{O_L} - 1 \right) \cdot \varphi$$

schwefl. Säure                      freier Sauerstoff                      Stickstoff u. Argon

Die Summe der Verbrennungsgase ergibt:

$$3,667 C \text{ Kohlensäure}$$

$$+ H + 8 \left( H - \frac{1}{8} O \right) \text{ Wasser}$$

$$+ 2 S \text{ schweflige Säure}$$

$$+ 2,667 C (\varphi - 1) + 8 \left( H - \frac{1}{8} O \right) (\varphi - 1)$$

$$+ S (\varphi - 1) \text{ freien Sauerstoff}$$

$$+ 2,667 C \left( \frac{1}{O_L} - 1 \right) \cdot \varphi + 8 \left( H - \frac{1}{8} O \right) \left( \frac{1}{O_L} - 1 \right) \varphi$$

$$+ S \left( \frac{1}{O_L} - 1 \right) \varphi \text{ Stickstoff u. Argon.}$$

Hierzu tritt noch der Gehalt des Brennstoffes an hygroskopischem Wasser, sowie der Stickstoffgehalt desselben. Letzterer ist jedoch meist sehr gering<sup>2)</sup>, wird ferner bei chemischen Analysen überhaupt sehr selten festgestellt, so dass er wohl hier der Einfachheit wegen unbedenklich vernachlässigt werden kann. Mit Rücksicht ferner auf den im Brennstoff enthaltenen Sauerstoffgehalt  $O$  ergibt sich das gesamte entstehende Gasgewicht zu:

<sup>2)</sup> Meist unter 1 Prozent.

3,667 *C* Kohlensäure  
 + 9 *H* + *W* Wasserdampf  
 + 2 *S* schweflige Säure  
 + ( $\varphi - 1$ ) (2,667 *C* + 8 *H* - *O* + *S*) freier Sauerstoff  
 +  $\varphi \left( \frac{1}{O_L} - 1 \right)$  (2,667 *C* + 8 *H* - *O* + *S*) Stickstoff u.  
 Argon.

Es war aber

$$2,667 C + 8 H - O + S = O_e$$

und mit dieser Vereinfachung ergibt sich das Gesamtgewicht der durch Verbrennung von 1 kg entstehenden Rauchgase zu:

$$G = \underset{CO_2}{3,667 C} + \underset{O}{(\varphi - 1) O_e} + \varphi \left( \frac{1}{\underset{N \text{ u. Arg.}}{O_L}} - 1 \right) O_e$$

$$+ \underset{H_2O}{9 H + W} + \underset{SO_2}{2 S} \dots (9)$$

Das Gewichtsverhältnis der Kohlensäure zu den Rauchgasen ergibt sich mithin zu

$$K_g = \frac{3,667 C}{3,667 C + (\varphi - 1) O_e + 3,31 \cdot \varphi \cdot O_e + 9 H + W + 2 S} \quad (10)$$

Für die Rechnung ist es etwas praktischer, wenn diese Formel in die folgende übergeführt wird:

$$K_g = \frac{3,667 C}{3,667 C + O_e (4,31 \varphi - 1) + 9 H + W + 2 S} \quad (10a)$$

Um diese Gleichung für praktische Zwecke noch etwas zu vereinfachen, kann man ferner ohne grossen Fehler die Summe  $9 H + W + 2 S$  vernachlässigen. Der Fehler, den man hierdurch begeht, würde z. B. für einen Brennstoff, bestehend aus:  $C = 0,90$ ,  $H = 0,03$ ,  $O = 0,01$ ,  $S = 0,01$ ,  $A = 0,03$ ,  $W = 0,02$ , sich berechnen zu

$$\frac{3,667 \cdot 0,90}{3,667 \cdot 0,90 + O_e (4,31 \cdot \varphi - 1) + 9 H + W + 2 S} - \frac{3,667 \cdot 0,90}{3,667 \cdot 0,90 + O_e (4,31 \varphi - 1)}$$

und mit  $O_e = 2,64$  und  $\varphi = 2$  zu

$$\frac{3,3003}{23,727} - \frac{3,3003}{23,417} = 0,139 - 0,140 = - 0,001$$

d. h. der Fehler würde  $\frac{1}{10}$  Prozent betragen und zwar würde die vereinfachte Formel den Kohlensäuregehalt um diesen Betrag zu gross anzeigen. Für kleineren Kohlenstoffgehalt und grösseren Gehalt an hygroskopischem Wasser kann dieser Fehler allerdings wesentlich grösser werden, also diesen Betrag wesentlich überschreiten.

Aus der vereinfachten Formel

$$K_g = \frac{3,667 \cdot C}{3,667 C + O_e (4,31 \varphi - 1)} \dots (10b)$$

bestimmt sich ferner das Verhältnis  $\varphi$  der zugeführten Luftmenge zu der theoretisch notwendigen zu

$$\varphi = \frac{3,667 \cdot C (1 - K_g) + O_e K_g}{4,31 \cdot O_e \cdot K_g} \dots (11)$$

Es ist nun von Interesse, zu erfahren, in welcher Weise das Gewichtsverhältnis  $K_g$  der Kohlensäure zu dem Gesamtgewichte der Heizgase wechseln kann; zu diesem Zwecke sind in Tabelle 2 die Gewichtsverhältnisse für verschieden zusammengesetzte Brennstoffe bei einem wechselnden Verhältnisse der zugeführten Luftmenge zu der theoretisch erforderlichen, zusammengestellt.

Wie aus der Tabelle zu ersehen ist, hängt das Gewichtsverhältnis  $K_g$  der Kohlensäure zu dem Gesamtgewichte der Heizgase durchaus nicht so sehr von der Zusammensetzung des Brennstoffes und insbesondere nicht von dem Gehalte des Brennstoffes an Kohlenstoff ab, sondern es ist vielmehr das Verhältnis  $\varphi$  des zugeführten Luftquantums zu dem theoretisch notwendigen, welches die Grösse von  $K_g$  beeinflusst.

Von den Brennstoffbestandteilen, welche  $K_g$  beeinträchtigen, sind insbesondere Wasserstoff und Sauerstoff zu nennen. Der Einfluss macht sich in der Art geltend, dass eine Zunahme des Gehaltes an  $H$  dieses Verhältnis verkleinert, eine Zunahme von  $O$  dagegen dasselbe vergrössert; d. h. also, der Einfluss ist umgekehrt von demjenigen auf die erforderliche Sauerstoffmenge  $O_e$ . Dass hingegen der Gehalt eines Brennstoffes an Kohlenstoff durchaus keinen Einfluss auf die Grösse  $K_g$  gewinnen kann, möge sich aus folgendem ergeben:

Es ist das Verhältnis der Kohlensäure zu den Heizgasen:

$$K_g = \frac{3,667 C}{3,667 C + O_e (\varphi - 1) + 3,31 \cdot \varphi \cdot O_e + W + 9 H + 2 S}$$

Würde nun ein Brennstoff andere Bestandteile als Kohlenstoff und unverbrennbare Rückstände nicht enthalten, so würde die theoretisch erforderliche Sauerstoffmenge für alle Fälle sein:

$$O_e = 2,667 \cdot C$$

und dementsprechend:

$$\begin{aligned} K_g &= \frac{C \cdot 3,667}{C \cdot 3,667 + C \cdot 2,667 (\varphi - 1) + C \cdot 2,667 \cdot 3,31 \cdot \varphi} \\ &= \frac{3,667}{3,667 + 2,667 (\varphi - 1) + 2,667 \cdot 3,31 \cdot \varphi} \end{aligned}$$

Tabelle 2.

$C$ v. H.	$H$ v. H.	$O$ v. H.	$S$ v. H.	$A$ v. H.	$W$ v. H.	Heizwert $W-E$	Theor. Sauerstoffmenge $O_e$	Kohlensäuregehalt $K_g$ und Gasgewicht $G_g$ für:									
								$\varphi =$	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	5,0	
100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8100	2,667	$K_g = 0,293$	0,201	0,153	0,123	0,103	0,088	0,077	0,062		
								$G_g = 12,493$	18,239	23,985	29,713	35,477	41,223	46,969	58,462		
90,0	3,0	1,0	1,0	3,0	2,0	8137	2,640	$K_g = 0,266$	0,181	0,139	0,112	0,093	0,081	0,070	0,057		
								$G_g = 12,350$	18,140	23,730	29,430	35,125	40,819	46,520	57,910		
80,0	4,0	3,0	1,0	5,0	7,0	7839	2,43	$K_g = 0,256$	0,175	0,133	0,107	0,090	0,076	0,066	0,054		
								$G_g = 11,430$	16,673	21,917	27,161	33,406	38,650	43,890	54,382		
70,0	4,0	5,0	1,0	7,0	13,0	6596	2,147	$K_g = 0,251$	0,173	0,131	0,106	0,089	0,076	0,066	0,054		
								$G_g = 10,192$	14,823	19,454	24,085	28,816	33,447	38,078	47,339		
60,0	3,0	8,0	1,0	8,0	20,0	5345	1,770	$K_g = 0,257$	0,177	0,135	0,110	0,092	0,079	0,069	0,056		
								$G_g = 8,549$	12,363	16,177	19,992	23,806	27,621	31,435	39,064		
50,0	2,0	11,0	1,0	7,0	29,0	4082	1,39	$K_g = 0,266$	0,185	0,141	0,115	0,096	0,083	0,074	0,059		
								$G_g = 6,924$	9,920	12,925	15,921	18,916	21,911	24,907	30,989		
45,0	2,0	12,0	1,0	10,0	30,0	3635	1,25	$K_g = 0,266$	0,187	0,144	0,117	0,098	0,085	0,075	0,060		
								$G_g = 6,324$	9,018	11,712	14,405	17,099	19,793	22,486	27,874		
40,0	2,0	15,0	1,0	10,0	32,0	3109	1,087	$K_g = 0,262$	0,184	0,142	0,115	0,097	0,083	0,074	0,060		
								$G_g = 5,585$	7,927	10,270	12,612	14,955	17,297	19,640	24,224		

∞

also, da andere variable Grössen wie  $\varphi$  nicht mehr vorkommen, nur noch mehr von dem Verhältnisse  $\varphi$  abhängig und  $K_g$  würde, solange  $\varphi$  konstant bleibt, ebenfalls konstant bleiben, gleichviel, welcher Kohlenstoff in der Kohle vorhanden ist. Das Verhältniss  $K_g$  würde betragen:

$$K_g = \frac{3,667}{1 + 11,493 \cdot \varphi}$$

Das Verhältniss  $\varphi$  der zugeführten Luftmenge zu der theoretisch notwendigen würde sich hieraus in einfacher Weise ergeben zu:

$$\varphi = \frac{3,667 - K_g}{11,493 \cdot K_g}$$

Es würde dieses Verhältniss selbstverständlich nur für solche Kohlenarten annähernd richtige Werte ergeben können, die gasarm sind, also wenig Wasserstoff und Sauerstoff enthalten; auch der Wassergehalt darf eine gewisse Grösse nicht überschreiten. Das nach vorstehender Formel berechnete Verhältniss  $\varphi$  würde immer zu gross erscheinen, wenn Kohlen mittlerer Zusammensetzung verbrannt werden.

Da in Tabelle 2 der Kohlenstoff von 90% auf 40% fällt und dementsprechend, da der Heizwert in erster Linie von diesem abhängt, auch der Heizwert von 8137  $W-E$  auf 3109  $W-E$ , also um 5028  $W-E$  gleich 61,7% des ursprünglichen Wertes fällt, so lässt sich mit Rücksicht auf die Werte  $K_g$  der Tabelle sagen, dass  $K_g$  im allgemeinen nicht abhängig ist vom Heizwerte des verbrannten Materials, wobei selbstverständlich als Brennstoff Kohlen vorausgesetzt sind.

### III. Volumenverhältniss der $C O_2$ zu den Heizgasen.

Da die gewöhnlichen Verfahren zur Bestimmung der Kohlensäure nicht das Gewichtsverhältniss der letzteren zum Gesamtgewichte der Heizgase feststellen, sondern das Volumen der Kohlensäure zu einem entsprechenden Volumen der Heizgase, und da man ferner aus diesem Grunde gewohnt ist, mit dem Volumenverhältniss der Kohlensäure zu den Heizgasen zu rechnen, so ist es erforderlich, dieses Volumenverhältniss hier näher festzustellen.

Bei Verbrennung von  $C = kg$  reinem Kohlenstoff ohne Luftüberschuss betrug das Gewicht der entstandenen Heizgase:

$$3,667 C + \left( \frac{1}{O_L} - 1 \right) \cdot 2,667 \cdot C$$

$C O_2$   $N u. Arg.$

Um das Volumen dieser Gasmenge zu erhalten, sind die einzelnen Bestandteile durch die entsprechenden spezifischen Gewichte zu dividieren. Zu diesem Zwecke bezeichne im folgenden:

$s_K = 1,9774$  das spezifische Gewicht der Kohlensäure, sowie ferner

$$s_N = 1,2562$$

$$s_O = 1,4298$$

$$s_{Arg.} = 1,780$$

die entsprechenden spezifischen Gewichte des Stickstoffs, Sauerstoffs und Argons; da die Luft ausser den 23,2 Gewichtsteilen Sauerstoff noch 75,6 Gewichtsteile Stickstoff und 1,2 Gewichtsteile Argon in 100 Gewichtsteilen enthält, so ergibt sich das Gasvolumen, welches bei Verbrennung reinen Kohlenstoffes ohne Luftüberschuss entsteht, zu

$$\begin{aligned} G_v &= \frac{3,667 C}{1,9774} + \frac{75,6}{76,8} \cdot \frac{3,31 \cdot 2,667 \cdot C}{1,2562} \\ &\quad + \frac{1,2}{76,8} \cdot \frac{3,31 \cdot 2,667 \cdot C}{1,780} \\ &= 1,854 C + 6,914 \cdot C + 0,077 \cdot C \end{aligned}$$

und für  $C = 1$  würde ein Gasvolumen entstehen von

$$G_v = 8,845 \text{ cbm}$$

Für die Rechnung würde es allerdings wesentlich einfacher sein, anzunehmen, die Luft setze sich nur aus Sauerstoff und Stickstoff zusammen; das Gasvolumen würde unter dieser Annahme betragen

$$G_v = \frac{3,667 C}{1,9774} + \frac{3,31 \cdot 2,667 \cdot C}{1,2562}$$

bei Verbrennung reinen Kohlenstoffes. Für  $C = 1$  wäre

$$G_v = 1,854 + 7,027 = 8,881 \text{ cbm}$$

und der Fehler würde demnach 0,4 % ausmachen, um welchen Betrag für letzteren Fall das Gasvolumen zu gross erscheint. Wenn nun berücksichtigt wird, dass dieser Fehler für reinen Kohlenstoff am grössten ist, während er für alle Kohlenarten kleiner ausfällt und wenn man ferner bedenkt, dass das Gasvolumen auch noch von anderen Seiten beeinflusst wird, so dürfte es aus Gründen der Einfachheit wohl angebracht erscheinen, diesen Fehler mit in Kauf zu nehmen.

Es ist demnach, wenn reiner Kohlenstoff mit einem  $\varphi$  fachen Luftüberschuss verbrannt wird, die entstehende Gewichtsmenge an Rauchgasen

$$G_g = C \cdot \underset{CO_2}{3,667} + C \cdot \underset{\text{freier } O}{2,667} (\varphi - 1) + \varphi (4,31 - 1) \cdot C \cdot \underset{\text{Stickstoff}}{2,667}$$

Das entstehende Gasvolumen ergibt sich hieraus zu:

$$C \cdot \frac{3,667}{1,9774} + C \cdot \frac{2,667 \cdot (\varphi - 1)}{1,4298} + \varphi \frac{8,827}{1,2562}$$

und das Volumenverhältnis der Kohlensäure zu dem Gesamtvolumen der Heizgase zu

$$K_v = \frac{1,854}{1,854 + 1,865 (\varphi - 1) + \varphi \cdot 7,0265} \quad (12)$$

Setzt man  $\varphi = 1$ , so würde

$$K_v = \frac{1,854}{8,881} = 0,208 \dots (12a)$$

Aus Gleichung (12) berechnet sich das Verhältnis  $\varphi$  der zugeführten zu der theoretisch erforderlichen Luftmenge zu

$$\varphi = \frac{1,854 + 0,011 K_v}{8,89 K_v}$$

Für einen Brennstoff, der aus  $C$ -Gewichtsteilen Kohlenstoff,  $H$ -Teilen Wasserstoff,  $O$ -Teilen Sauerstoff,  $S$ -Teilen Schwefel mit  $W$ -Gewichtsteilen hygroskopischem Wasser besteht, während den Rest unverbrennbare Bestandteile ausmachen, betrug das Gasgewicht nach Gleichung (9)

$$G_g = 3,667 \underset{CO_2}{C} + (\varphi - 1) \underset{O}{O_e} + \varphi \cdot 3,31 \cdot \underset{N}{O_e} + 9 \underset{H_2O}{H} + \underset{SO_2}{W} + 2 \underset{S}{S}$$

Das Gasvolumen würde dementsprechend betragen

$$G_v = \frac{3,667 C}{1,9774} + \frac{(\varphi - 1) O_e}{1,4298} + \frac{\varphi \cdot 3,31 \cdot O_e}{1,2562} + \frac{9 H + W}{0,8062} + \frac{2 S}{2,899} \quad (13)$$

In den Heizgasen, wie sie in den Kohlensäurebestimmungsapparaten zur Verwendung kommen, erscheint nun meist der Wasserdampf nicht, oder wenigstens nur zu einem sehr kleinen Teile, ebenso wird ein Teil der schwefligen Säure vom Wasser absorbiert sein, so dass zur Untersuchung in der Gasbürette in Wirklichkeit nur ein Volumen zur Verfügung steht von

1) Alles auf 0° und 760 mm Quecksilbersäule reduziert gedacht.

$$G_v = \frac{3,667 C}{1,9774} + \frac{(\varphi - 1) O_e}{1,4298} + \frac{\varphi \cdot 3,31 \cdot O_e}{1,2562} \quad (13a)$$

worin  $O_e$  den bekannten Wert hat.

Das Volumenverhältnis  $K_v$  beträgt dann:

$$K_v = \frac{1,854 C}{1,854 C + (\varphi - 1) \frac{O_e}{1,4298} + \varphi \cdot 3,31 \frac{O_e}{1,2562}} \quad (14)$$

oder analog der Formel 10a

$$K_v = \frac{1,854 C}{1,854 C + O_e(3,334 \varphi - 0,699)} \cdot \cdot \cdot \quad (14a)$$

Das Verhältnis  $\varphi$  der zugeführten zu der theoretisch notwendigen Luftmenge ergibt sich hieraus zu:

$$\varphi = \frac{1,854 C - K_v(1,854 C - 0,699 O_e)}{3,334 \cdot K_v \cdot O_e} \cdot \cdot \cdot \quad (15)$$

Für eine mittlere Steinkohle z. B. von einer Zusammensetzung von  $C = 80,08$ ,  $H = 3,68$ ,  $O = 4,11$ ,  $S = 1,49$ ,  $W = 0,80$  und  $A = 9,84$ , also einem Heizwerte von rund 7500  $W - E$  würde sich  $\varphi$  ergeben zu:

$$\varphi = \frac{1,854 \cdot 0,8 - K_v(1,854 \cdot 0,8 - 0,699 \cdot 2,4)}{3,334 \cdot K_v \cdot 2,4}$$

$$\varphi = \frac{1,483 - K_v(1,483 - 1,6776)}{8,002 \cdot K_v} = \frac{1,483 + K_v \cdot 0,1946}{8,002 \cdot K_v}$$

Wollte man diese Formel noch weiter vereinfachen, so könnte man für  $K_v$  im Zähler einen mittleren Wert, etwa  $10\%_0 = 0,1$  pro Einheit annehmen und es würde damit

$$\varphi = \frac{1,483 + 0,0195}{8,002 \cdot K_v} = \frac{0,188}{K_v}$$

oder, wenn  $K_v$  in Prozent gegeben ist:

$$\varphi = \frac{18,8}{K_v} \cdot \cdot \cdot \quad (16)$$

Brauchbar ist diese Formel jedoch nur zur ungefähren Ermittlung von  $\varphi$  und für Steinkohlen mittlerer Qualität; für andere Kohlsorten ergibt dieselbe etwas abweichende Werte von  $\varphi$  und kann der Fehler bis zu etwa  $5\%_0$  betragen.

In Tabelle 3 sind eine Anzahl verschieden zusammengesetzter Brennstoffe und die denselben entsprechenden Verhältnisse  $K_v$  für verschiedene Luftmengen zusammengestellt. Die Tabelle zeigt, dass auch auf die Werte von  $K_v$ , genau so wie auf diejenigen von  $K_g$ , der Heizwert der betreffenden

Tabelle 3.

C v. H.	H v. H.	O v. H.	S v. H.	A v. H.	W v. H.	Heizwert W—E	Theor. Sauerstoffmenge O <sub>e</sub>	Kohlensäuregehalt K <sub>v</sub> und Gasvolumen G <sub>v</sub> für									
								φ =	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	5,0	
100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8100	2,667	G <sub>v</sub> =	8,881	13,327	17,773	22,219	26,665	31,111	35,557	44,449	
								K <sub>v</sub> =	0,208	0,139	0,104	0,083	0,069	0,059	0,052	0,041	
90,0	3,0	1,0	1,0	3,0	2,0	8137	2,64	G <sub>v</sub> =	8,625	13,026	17,427	21,828	26,229	30,630	35,031	43,833	
								K <sub>v</sub> =	0,193	0,129	0,095	0,076	0,063	0,054	0,047	0,038	
80,0	4,0	3,0	1,0	5,0	7,0	7839	2,43	G <sub>v</sub> =	7,886	11,937	16,089	20,140	24,192	28,243	32,294	40,397	
								K <sub>v</sub> =	0,188	0,124	0,092	0,073	0,061	0,052	0,045	0,036	
70,0	4,0	5,0	1,0	7,0	13,0	6596	2,147	G <sub>v</sub> =	6,955	10,534	14,113	17,692	21,271	24,850	28,429	35,587	
								K <sub>v</sub> =	0,186	0,123	0,091	0,073	0,061	0,052	0,045	0,036	
60,0	3,0	8,0	1,0	8,0	20,0	5345	1,77	G <sub>v</sub> =	5,776	8,727	11,678	14,628	17,579	20,530	23,482	29,384	
								K <sub>v</sub> =	0,192	0,127	0,095	0,076	0,062	0,054	0,047	0,038	
50,0	2,0	11,0	1,0	7,0	29,0	4082	1,39	G <sub>v</sub> =	4,589	6,907	9,224	11,541	13,858	16,175	18,493	23,127	
								K <sub>v</sub> =	0,202	0,134	0,100	0,080	0,066	0,057	0,050	0,040	
45,0	2,0	12,0	1,0	10,0	30,0	3635	1,25	G <sub>v</sub> =	4,228	6,363	8,496	10,630	12,764	14,898	17,032	21,309	
								K <sub>v</sub> =	0,197	0,131	0,098	0,078	0,065	0,056	0,049	0,039	
40,0	2,0	15,0	1,0	10,0	32,0	3109	1,087	G <sub>v</sub> =	3,606	5,418	7,230	8,962	10,794	12,606	14,418	18,042	
								K <sub>v</sub> =	0,205	0,136	0,102	0,082	0,069	0,058	0,050	0,040	

Kohlensorte einen bedeutenden Einfluss *nicht* ausübt und dass ein diesbezüglicher Einfluss insbesondere nur durch den Gehalt des Brennstoffes an flüchtigen Bestandteilen hervorgerufen wird.

Bemerkt möge noch sein, dass die in der Tabelle angegebenen Werte von  $K_v$  den in den Kohlensäureapparaten bestimmten Werten entsprechen, dass dieselben jedoch von den wirklichen Werten etwas abweichen, da der Wasserdampf und die schweflige Säure in den Rauchgasmenen nicht berücksichtigt sind. Die Werte von  $K_v$  werden daher durchweg etwas zu gross sein und das Verhältnis  $\varphi$  der zugeführten zu der theoretisch notwendigen Luftmenge wird sich hieraus durchweg etwas zu klein berechnen. Ausführlicheres hierüber möge weiter unten folgen.

Zunächst wird es interessieren, in welchem Verhältnisse die Werte der Gewichts- und der Volumenverhältnisse der Kohlensäure zu den Heizgasen, zu einander stehen.

Es ist

$$K_v = \frac{1,854 C}{G_v}$$

und

$$K_g = \frac{3,667 \cdot C}{G_g}$$

demnach

$$\frac{K_v}{K_g} = \frac{1,854 C \cdot G_g}{3,667 C \cdot G_v}$$

und da  $\frac{G_g}{G_v} = s_g =$  dem spezifischen Gewichte der Rauchgase ist, so ist

$$\frac{K_v}{K_g} = 0,505 s_g \dots \dots (17)$$

Es ist demnach

$$K_v = 0,505 \cdot K_g \cdot s_g$$

$$K_g = \frac{K_v \cdot}{0,505 \cdot s_g}$$

$$s_g = \frac{K_v \cdot}{0,505 \cdot K_g}$$

wobei jedoch immer wieder darauf zu achten ist, das  $G_v$  auf 0° und 760 mm Barometerstand reduziert gedacht war.

Im Anschluss hieran wird es ferner noch interessieren, welche Werte das Verhältnis des freien Sauerstoffes zum Gesamtvolumen der Heizgase und insbesondere zum Volumenverhältnis  $K_v$  annehmen kann, resp. in welchem Zusammen-

hange letzteres und ersteres stehen. Bezeichnet man das Volumenverhältnis des freien Sauerstoffes zu dem Gesamtvolumen der Heizgase mit  $O_v$  dann ist

$$O_v = \frac{O_e (\varphi - 1)}{1,4298 G_v}$$

und demnach ferner:

$$O_v + K_v = \frac{O_e (\varphi - 1)}{1,4298 G_v} + \frac{1,854 O}{G_v}$$

$$O_v + K_v = \frac{O_e (\varphi - 1) + 2,551 C}{1,4298 \cdot G_v} \quad \dots \quad (18)$$

Für  $\varphi = 0$  und reinen Kohlenstoff z. B.

$$O_v + K_v = \frac{1,854}{8,881} = 0,208 = 20,8\%$$

Ferner würde sein für

$$C = 0,60 \quad \varphi = 3 \quad O_e = 1,77 \quad G_v = 17,579$$

$$O_v + K_v = \frac{3,54 + 1,5306}{25,23} = 0,2009 = 20,09\%$$

und für

$$C = 0,45 \quad \varphi = 4 \quad O_e = 1,25 \quad G_v = 17,032$$

ist

$$O_v + K_v = \frac{3,75 + 1,1479}{24,35} = 0,201 = 20,1\%$$

Man erhält somit nach den vorstehenden Werten die Regel, dass das Volumen des freien Sauerstoffes und der Kohlensäure, ausgedrückt in Prozent vom Gesamtvolumen, durchschnittlich die Zahl 20 erreicht.

#### IV. Wert der Kohlensäurebestimmung.

Wenn die abziehenden Heizgase einer industriellen Feuerungsanlage auf den Gehalt an Kohlensäure hin untersucht werden, so geschieht dies immer zu dem Zwecke, festzustellen, welche Menge überschüssiger Luft in den Abgasen vorhanden ist, um hieraus wiederum den durch die letzteren herbeigeführten Wärmeverlust bestimmen zu können.

Da nun die Höhe des Kohlensäuregehaltes einen Massstab für die Güte der Verbrennung bietet, so ist es weiter gegeben, diese durch entsprechende Manipulationen zu beeinflussen, etwa durch Stellen des Rauchschiebers, durch

entsprechende Bemessung der Schütthöhe des Materials auf dem Roste und anderes; insbesondere kann man an Hand von Kohlensäureversuchen den Wert einer Feuerungseinrichtung an sich beurteilen und eine gute Anlage von einer schlechten unterscheiden.

Es möge jedoch schon hier erwähnt sein, dass der Kohlensäuregehalt wohl die Wärmeverluste angiebt, die durch die abziehenden Gase herbeigeführt werden, dass aber ein hoher Kohlensäuregehalt nicht immer und unter allen Umständen eine gute Ausnutzung der Kohle überhaupt gewährleisten müsste. Es wird dies letztere insbesondere dann nicht der Fall sein, wenn der Brennstoff nicht mit der für ihn geeigneten Zugstärke verbrannt wird, wobei es also wahrscheinlich ist, dass einerseits der Brennstoff nicht in vollkommenem Masse durchbrennt, also noch brennbare Teile in der Schlacke enthalten sind, andererseits die Gase selbst noch brennbare Substanzen, wie festen Kohlenstoff in Form von Russ, Kohlenoxyd, Kohlenwasserstoffverbindungen u. s. w. enthalten. Hieraus ergibt sich schon theoretisch, was sich in der Praxis durch Versuche als richtig erwiesen hat, dass der ökonomischste Kohlensäuregehalt nicht in unmittelbarer Nähe des Maximums, d. h. bei etwa 18,8% liegt, sondern dass der vorteilhafteste Kohlensäuregehalt bei etwa 14% liegt. Eine Feuerungsanlage, welche diesen Kohlensäuregehalt im *Durchschnitt* aufzuweisen hätte, würde als äusserst vorteilhaft arbeitend zu bezeichnen sein.

Wenn Verbrennungsgase zwecks Untersuchung entnommen werden, so wird im allgemeinen von Einfluss auf die Höhe des Gehaltes an Kohlensäure sein, an welcher Stelle der Heizkanäle diese Entnahme stattfand. Da diese Rauchgaszüge unter Umständen, beispielsweise bei Dampfkesseln, ziemlich lang sein können und die Wandungen dieser Züge teilweise wohl immer durch Mauerwerk gebildet werden, so kann es nicht ausbleiben, dass durch die Fugen desselben atmosphärische Luft in die Heizgase überströmt. Diese sog. *falsche Luft* muss jedoch, indem sie sich mit den Heizgasen mischt, dieselbe Temperatur annehmen, wie die Gase selbst und es entsteht mithin in Wirklichkeit — abgesehen von anderen kleinen Nebenbeeinflussungen — derselbe Wärmeverlust durch die Abgase, als wenn die durch das Mauerwerk zugeströmte Luftmenge mit durch die Feuerung geleitet worden wäre. Diesen Verlust, welcher bei schlecht verfügtem Mauerwerk recht wesentlich werden kann, kann man nun in einfacher Weise dadurch feststellen, das man an verschiedenen Stellen der Heizkanäle Verbrennungsgase — möglichst zu gleicher Zeit — entnimmt und aus der Differenz des Kohlensäuregehaltes den Verlust berechnet, welcher von einem Entnahmepunkte zum anderen durch die durch die Mauerfugen zuströmende Luft entsteht.

Für die weitere Bestimmung der Wärmeverluste durch die abziehenden Gase auf Grund der darin enthaltenen Kohlensäuremenge sei zunächst angenommen, aller in einem Brennstoffe enthaltene Kohlenstoff verbrenne zu Kohlensäure, d. h. es seien in den Abgasen weder brennbare Gase, noch feste Kohlenstoffteile in Form von Russ vorhanden; ausserdem sei als selbstverständlich vorausgesetzt, dass die Asche nur wirklich *unverbrennbare* Teile enthalte.

Unter diesen Voraussetzungen bedarf ein kg eines Brennstoffes, der aus den verschiedenen Elementen und Substanzen von bekannter Bezeichnung zusammengesetzt ist, eine Luftmenge (in kg) von

$$L_g = (2,667 \cdot C + 8 \cdot H - O + S) \frac{1}{O_L}$$

In cbm beträgt dies

$$L_v = \frac{2,667 \cdot C + 8 H + S - O}{1,293} \cdot 4,31$$

$$L_v = 3,333 \cdot (2,667 \cdot C + 8 H + S - O) = 3,333 \cdot O_e \quad (19)$$

Hierbei ist zu beachten, dass dieses Luftvolumen wohl in die Verbrennung eintritt, dass dasselbe jedoch nach der Verbrennung entsprechend reduziert ist, indem ein Teil  $O_e$  sich mit den verschiedenen Elementen des Brennstoffes verbunden hat und in diesen Verbindungen entsprechend kleinere Volumina einnimmt. Der Wert von  $L_v$  ist daher für die Verbrennungsgase selbst weniger wichtig, da natürlich nur das entstehende *Rauchgasvolumen* für die Wärmeverluste massgebend sein kann.

Tritt die Verbrennungsluft mit einer Temperatur von  $t^0$  in die Verbrennung ein, und verlassen die Verbrennungsgase die Feuerung oder den Kessel mit  $T^0$ , bezeichnet ferner  $c$  die spezifische Wärme der Heizgase, sowie  $c_1$  diejenige des Wasserdampfes, so ist der Wärmeverlust in jedem Falle

$$Q_v = (G_v c + \mathfrak{B} \cdot c_1) (T - t) \quad (20)$$

Hierin ist unter  $G_v$  der Ausdruck

$$G_v = 1,854 C + \frac{Q_e (\varphi - 1)}{s_o} + \frac{O_e \cdot 3,31 \cdot \varphi}{s_N}$$

sowie unter

$$\mathfrak{B} = \frac{9 H + W}{0,806}$$

verstanden, wobei das entstehende Volumen an schwefliger Säure vernachlässigt ist und ebenso ist auf den Wassergehalt der *Verbrennungsluft* keine Rücksicht genommen.

Es war nun

$$K_v = \frac{1,854 C}{G_v}$$

Dementsprechend ist

$$G_v = \frac{1,854 \cdot C}{K_v} \quad \dots \quad (21)$$

und es wird der Wärmeverlust durch die Abgase

$$Q_v = \left( \frac{1,854 \cdot C}{K_v} \cdot c \cdot + \frac{9 H + W}{0,806} \cdot c_1 \right) (T - t) \quad \dots \quad (22)$$

Das Wärmequantum

$$Q_v' = \left[ \left( 1,854 C + \frac{3,31 \cdot O_e}{1,2562} \right) c \cdot + \frac{9 H + W}{0,806} \cdot c_1 \right] (T - t) \quad (23)$$

geht nun bei Verbrennung von 1 kg Brennstoff auf jeden Fall verloren, da das hierbei berücksichtigte Volumen dasjenige für  $\varphi = 1$  ist, und es kann daher dieser Verlust als *absoluter* Verlust bezeichnet werden; derselbe ist natürlich für ein gegebenes Brennmaterial unveränderlich.

Der weiter durch überschüssige Verbrennungsluft herbeigeführte Wärmeverlust ist

$$Q_v'' = c \left( \frac{O_e (\varphi - 1)}{s_o} + \frac{O_e (\varphi - 1) \cdot 3,31}{s_N} \right) (T - t)$$

$$Q_v'' = 3,33 \cdot O_e \cdot (\varphi - 1) \cdot c \cdot (T - t) \quad \dots \quad (24)$$

und mit dem entsprechenden Werte von  $\varphi$

$$Q_v'' = c \cdot 3,33 \cdot O_e \left( \frac{1,854 C - K_v \cdot (1,854 C - 0,699 O_e)}{3,33 \cdot O_e \cdot K_v} - 1 \right) (T - t) \quad (24a)$$

Die Summe der Wärmeverluste  $Q_v'$  und  $Q_v''$  muss natürlich den Gesamtverlust  $Q_v$  ergeben.

Besteht z. B. eine Kohle aus  $C = 80,0$ ;  $H = 4,0$ ;  $O = 3,0$ ;  $S = 1,0$ ;  $A = 5,0$  und  $W = 7,0\%$ , so ist, wenn  $\varphi$  zu 2,0, und dementsprechend  $K_v = 9,2\%$  = 0,092 angenommen, und ferner  $c = 0,32$  und  $c_1 = 0,475$  gewählt wird:

$$Q_v = \left( \frac{1,854 \cdot 0,8}{0,092} \cdot 0,32 + \frac{9 \cdot 0,04 + 0,07}{0,806} \cdot 0,475 \right) (270 - 20)$$

wenn die Eintrittstemperatur zu 20° Celsius und die Abgastemperatur zu 270° Celsius vorausgesetzt wird.

Hieraus bestimmt sich  $Q_v$  zu

$$Q_v = (5,1584 + 0,2534) \cdot 250 = \infty 1353 W - E$$

oder bei einem Heizwerte der betreffenden Kohlensorte von  $\infty 7840 W - E$ , zu  $\infty 17,1\%$  des Heizwertes.

Der absolute Verlust beträgt hierbei

$$Q_v' = [(1,854C + 2,634 \cdot 2,43) \cdot 0,32 + 0,2534] \cdot 250 \\ = \infty 694 W - E$$

oder 8,85% des Heizwertes.

Der Verlust, welcher durch überschüssige Verbrennungsluft herbeigeführt wird, berechnet sich zu

$$Q_v'' = 0,32 \cdot 3,333 \cdot 2,43 \cdot (2 - 1) \cdot 250 = 648 W - E \\ \text{oder } 8,26\% \text{ des Heizwertes.}$$

In Tabelle 4 sind für 5 verschiedene Kohlsorten die Wärmeverluste bei den verschiedensten Luftmengen, resp. dem verschiedensten Kohlensäuregehalt berechnet. Zunächst fällt auf, dass, obwohl der Heizwert der in Betracht gezogenen Brennstoffsorten stark wechselt und Unterschiede bis zu etwa 45% aufweist, der absolute Verlust, in Prozenten vom Heizwerte, fast dieselbe Grösse ergibt und im Mittel etwa 9,5% beträgt, wenn die Temperaturdifferenz  $T - t$  zu 250° Celsius angenommen wird. Ferner ergibt die Tabelle, dass auch der Gesamtverlust verhältnismässig geringe Abweichungen — selbst bei einem 5fachen Luftüberschusse — aufweist, so dass gesagt werden kann, dass die in den Heizgasen festgestellte Kohlensäuremenge einen direkten Massstab zur Beurteilung des Wärmeverlustes in einer Feuerungsanlage bietet.

Es wird nun wünschenswert sein, für die Praxis einen allgemeinen Ueberschlagswert zu haben, ohne dass man erst die Zusammensetzung und den Heizwert des betreffenden Brennstoffes zu wissen nötig hätte. Wie nun die Tabelle erweist, ist der Wärmeverlust sowohl, als auch der Kohlensäuregehalt, von der Zusammensetzung und dem Heizwerte der Kohle in sehr untergeordnetem und für mittlere Verhältnisse in kaum merkbarer Masse abhängig. Der Wärmeverlust selbst ist daher, wenn man von den kleinen Beeinflussungen durch die Zusammensetzung des Brennstoffes absieht, demnach nur abhängig von der Temperaturdifferenz  $T - t$  und von dem Luftüberschuss resp. dem Kohlensäuregehalte. Bedeutet daher  $q_v$  den Verlust in Prozenten des Heizwertes, so ist

$$q_v = \frac{T - t}{K_v} \cdot \varepsilon$$

worin  $\varepsilon$  einen noch zu bestimmenden Koeffizienten darstellt. Durch Einsetzen entsprechender Werte aus der Tabelle 4 erhält man angenähert im Mittel

$$q_v = \frac{T - t}{K_v} \cdot 0,66 \quad . \quad . \quad (25)$$

Hinsichtlich der Tabelle 4 möge noch bemerkt sein, dass zu deren Berechnung eine spezifische Wärme der Verbrennungsgase von 0,32 und für den entstehenden Wasserdampf eine solche von 0,48 angenommen wurde; die Temperaturdifferenz ( $T - t$ ) ist zu 250° C. gewählt. Im Gasvolumen  $G_v$  ist nur das Volumen der entstehenden Kohlensäure, des freien Sauerstoffes und des Stickstoffes enthalten, während das Volumen des entstehenden Wasserdampfes hierin vernachlässigt ist. Die Summe beider wird durch das Volumen  $G_v'$  dargestellt. Eine Vergleichung der beiden Volumina  $G_v$  und  $G_v'$  zeigt zugleich, dass der durch Vernachlässigung des Wasserdampfes für  $\varphi$  entstehende Fehler für kleinen Luftüberschuss und insbesondere für hohen Wasserstoffgehalt, wohl ziemlich wesentlich werden kann, dass dieser Fehler jedoch für grösseren Luftüberschuss rasch abnimmt. Ferner ist aus der Tabelle zu ersehen, dass das Volumen der in die Verbrennung eintretenden Luft immer etwas grösser ist, als das Volumen  $G_v$ , während dasjenige  $G_v'$  nur um wenig höher ist, als das erstgenannte; sämtliche Volumina sind natürlich auf 0° und 760 mm Barometerstand reduziert gedacht.

Es erübrigt hier ferner noch, darauf hinzuweisen, dass die spezifische Wärme  $c$  pro 1 cbm der Heizgase nicht konstant 0,32 ist, sondern dass  $c$  von der Zusammensetzung der Heizgase, und da diese wieder von dem Kohlensäuregehalt beeinflusst wird, von diesem abhängt. Bezeichnen

$$c_{CO_2} = 0,2164, \quad c_O = 0,2175 \quad \text{und} \quad c_N = 0,2438$$

die spezifischen Wärmen für bezw. 1 kg Kohlensäure, Sauerstoff und Stickstoff, so beträgt die spezifische Wärme für 1 cbm der Heizgase

$$c = \frac{3,667 \cdot C \cdot 0,2164 + O_e \cdot (C - 1) \cdot 0,2175 + O_e \cdot 3,31 \cdot C \cdot 0,2438}{1,854 C + \frac{O_e}{s_O} \cdot (C - 1) + \frac{O_e}{s_N} \cdot 3,31 \cdot \varphi} \quad (26)$$

Wie die Formel 26 zeigt, ist die spezifische Wärme der Heizgase also abhängig sowohl von der Zusammensetzung der letzteren selbst, d. h. von dem Kohlensäuregehalt, als auch von der Zusammensetzung des zur Verbrennung gebrachten Brennstoffes. Um Aufschluss über die Grösse des Fehlers, der durch Annahme eines konstanten Wertes von  $c$  in der Tabelle enthalten ist, zu bekommen, diene nachstehende Tabelle 5. Es sind in dieser die in Tabelle 4 angeführten 5 Kohlsorten in der Reihenfolge, wie sie in dieser letzteren enthalten waren, aufgeführt und die denselben für verschiedenen Kohlensäuregehalt resp. verschiedenen Luftüberschuss entsprechenden Werte von  $c$  angegeben.

Wie die Tabelle erkennen lässt, ändert sich die Grösse von  $c$  mit der Grösse des Kohlensäuregehaltes und zwar in





der Weise, dass bei  $K_v = 1$  die spezifische Wärme für 1 cbm der Heizgase den kleinsten Wert aufweist und mit zunehmendem Kohlensäuregehalte steigt. Die angenommene Grösse von 0,32 erreicht  $c$  bei etwa 10—11% Kohlensäure und es sind dementsprechend die in der Tabelle 4 berechneten Wärmeverluste für kleineren Luftüberschuss als ca. 1,5 etwas zu klein, diejenigen für einen grösseren Luftüberschuss als den genannten, etwas zu gross; doch ist der Fehler im allgemeinen, da  $K_v$  bei einer ordnungsgemäss arbeitenden Feuerungsanlage wenigstens 8% betragen soll, selten aber mehr als 13—14% beträgt, nicht sehr bedeutend, da bei den angegebenen Werten von  $K_v$  die Luftüberschussmenge zu der theoretisch erforderlichen Luftmenge nur zwischen 2,3 und 1,4 im Mittel wechselt.

Wie ferner noch aus der Tabelle 5 hervorgeht, übt die Zusammensetzung des Brennstoffes einen mehr untergeordneten Einfluss auf die Grösse von  $c$ , einen Einfluss, der wohl mit Rücksicht auf Einfachheit der Rechnung im allgemeinen vernachlässigt werden kann. In der letzten Spalte der Tabelle 5 sind daher die Mittelwerte von  $c$ , welche sich aus dieser bestimmen, angegeben.

Der Vollständigkeit wegen möge hier noch auf ein Verfahren<sup>1)</sup> hingewiesen werden, welches gleichfalls — wie dies bei Formel (25) der Fall ist — gestattet, ohne Kenntniss sowohl des Heizwertes wie der Zusammensetzung eines Brennstoffes auf den Wärmeverlust durch die Abgase zu schliessen; dieses Verfahren stützt sich ebenfalls auf den Kohlensäuregehalt der Heizgase, indem es  $K_v$  benutzt, die Anfangstemperatur  $T_1$  und mit dieser dann den Wärmeverlust zu bestimmen.

Wird 1 cbm Kohlensäure durch Verbrennung von reinem Kohlenstoff (0,536 kg) in Sauerstoff oder in atmosphärischer Luft erzeugt, so werden 4343  $W-E$  entwickelt (s. a. a. Orte). Enthält ein Heizgas 1%  $CO_2$ , so sind bei seiner Bildung auf 1 cbm Rauchgas 43,43  $W-E$  erzeugt worden; entsprechend sind, wenn  $x = \%$   $CO_2$  vorhanden sind,  $x \cdot 43,43$   $W-E$  frei geworden. Diese Wärmemenge hat das Verbrennungsgas auf eine bestimmte Temperatur  $T_1$  erhitzt, die sich in einfacher Weise berechnen lässt, wenn man die aus dem Kohlensäuregehalt berechnete Wärmemenge  $W$  durch die Wärmekapazität von 1 cbm Rauchgas ( $c$ ) dividirt.

Der Ausdruck  $T_1 = \frac{W}{c}$ <sup>2)</sup> stellt die sog. Anfangstemperatur  $T_1$  dar, welche allerdings in Wirklichkeit nicht erreicht

<sup>1)</sup> *Bunte*: Zur Beurteilung der Leistung von Dampfkesseln, Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure. 1900, S. 673.

<sup>2)</sup> Die Bezeichnungen sind den in vorliegender Abhandlung gewählten entsprechend umgeändert.

Tabelle 5.

K <sup>o</sup>	I.		II.		III.		IV.		V.		Mittelwert von
	$\varphi$	c									
1	18,3	0,307	18,2	0,307	17,6	0,308	17,7	0,309	17,5	0,309	0,308
2	9,2	0,308	9,1	0,309	8,8	0,310	8,8	0,310	8,5	0,310	0,309
3	6,1	0,309	6,0	0,310	5,9	0,311	5,9	0,311	5,7	0,311	0,310
4	4,6	0,310	4,5	0,311	4,4	0,312	4,4	0,312	4,3	0,312	0,311
5	3,7	0,311	3,6	0,312	3,6	0,313	3,6	0,313	3,4	0,313	0,312
6	3,1	0,312	3,1	0,313	3,1	0,314	3,1	0,314	2,8	0,314	0,313
7	2,6	0,313	2,6	0,314	2,6	0,315	2,6	0,315	2,4	0,315	0,314
8	2,4	0,315	2,3	0,315	2,2	0,316	2,2	0,317	2,1	0,317	0,316
9	2,1	0,314	2,04	0,316	2,00	0,317	2,00	0,318	1,91	0,317	0,316
10	1,85	0,317	1,84	0,317	1,80	0,318	1,80	0,319	1,74	0,318	0,317
11	1,70	0,318	1,67	0,318	1,64	0,320	1,64	0,320	1,59	0,319	0,318
12	1,55	0,319	1,54	0,320	1,53	0,321	1,53	0,321	1,46	0,320	0,319
13	1,40	0,310	1,40	0,321	1,38	0,322	1,38	0,322	1,35	0,321	0,320
14	1,33	0,321	1,32	0,322	1,29	0,323	1,29	0,323	1,26	0,322	0,321
15	1,24	0,322	1,23	0,323	1,21	0,324	1,21	0,324	1,18	0,323	0,322
16	1,17	0,323	1,16	0,324	1,13	0,326	1,13	0,325	1,11	0,324	0,323
17	1,10	0,324	1,09	0,325	1,07	0,327	1,07	0,327	1,04	0,326	0,325

wird; es kommt dies für den vorliegenden Zweck jedoch nicht in betracht, da hier  $T_1$  lediglich dazu dient, die erzeugte Wärmemenge mit der Abgangstemperatur der Heizgase in einfache Beziehung zu setzen und den Wärmeverlust zu bestimmen. Kennt man die Temperaturdifferenz der abziehenden Gase gegenüber der in die Verbrennung ein-

tretenden Luft  $T - t$ , so giebt der Bruch  $\frac{T-t}{T_1}$  unmittelbar

das Verhältnis des Wärmeverlustes durch die entweichenden Heizgase zu der entwickelten Wärme an.

Zur Erleichterung der Rechnung sind am angegebenen Orte für 1 bis 16%  $CO_2$  die Wärmekapazitäten  $c$  und die Anfangstemperaturen  $T_1$  berechnet und zwar für die Verbrennung von reinem Kohlenstoff und für eine bestimmte Sorte Steinkohle. Die verschiedenen natürlichen Brennstoffe zeigen jedoch in bezug auf  $T_1$  nur verhältnismässig geringe Abweichungen von einander, so dass die dort für Steinkohlen gegebenen Werte in der Tabelle auch für andere Kohlensorten benutzt werden können.

Um sowohl den praktischen Wert des soeben ange deuteten Verfahrens, als auch, in Ergänzung des weiter oben Gesagten, die praktische Verwendbarkeit der Formel (25) zu zeigen, sei in Tabelle 6 eine Zusammenstellung praktisch ausgeführter Leistungsversuche an Dampfkesseln gegeben.<sup>1)</sup> Die Tabelle zeigt, dass beide Näherungsverfahren brauchbare Ueberschlagswerte für die Praxis geben, doch ist zu bemerken,

dass in der Formel für den Wärmeverlust  $\frac{T-t}{T_1}$  der un-

mittelbare Zusammenhang der Grösse desselben mit dem Kohlensäuregehalte der Heizgase nicht mehr erkennbar ist, wie dies bei Gleichung (25) der Fall ist. Für die Praxis ist wohl letztere Formel, weil einerseits ebenso einfach wie die erstere und weil sie andererseits die Abhängigkeit des Wärmeverlustes von dem  $CO_2$ -Gehalte direkt erkennen lässt, vorzuziehen. Für Steinkohlen (Ruhrkohlen), wie sie in den Versuchen I bis VII der Tabelle benutzt wurden, er giebt dieselbe sogar noch etwas genauere Werte und für Braunkohlen oder überhaupt gasreiche Kohlensorten könnte ja der Koeffizient 0,66 entsprechend kleiner genommen werden, wie dies weiter oben bereits angedeutet wurde. Es würde dies also für die Versuche  $a$ ,  $b$  und  $c$  der Tabelle 6 der Fall sein müssen, welche von der preussischen Rauchverhütungs-

<sup>1)</sup> Bericht über Leistungsversuche an Dampfkesseln der elektrotechnischen Ausstellung zu Frankfurt a. M.; die Werte von

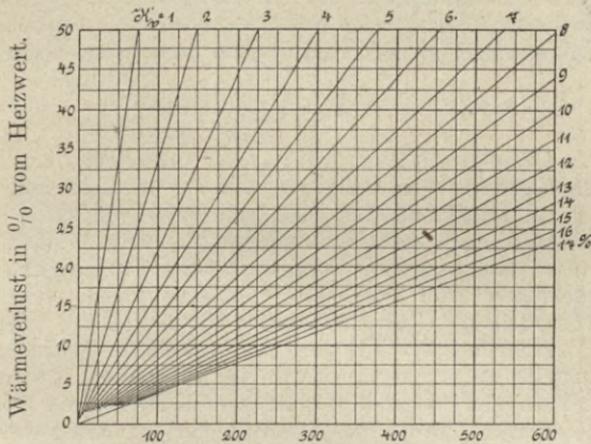
$T$  und  $\frac{t}{T}$  sind der Abhandlung von Bunte a. a. O. entnommen.

kommission<sup>2)</sup> vorgenommen und bei denen mit schlesischer Steinkohle (*a* und *b*) und mit böhmischer Braunkohle (*c*) geheizt wurde.

Tabelle 6.

Versuch	Temperatur- Überschuss der Heizgase $T - t$	Kohlensäure- gehalt der Heizgase pCt. $CO_2$	Anfangs- temperatur aus dem $CO_2$ -Gehalt $T_1$	Wärmeverlust der Heizgase		
				Berechnet		im Leistungs- versuch gefunden
				$\frac{T-t}{T_1}$	$0,66 \cdot \frac{T-t}{K_v}$	
I	287	11,9	1830	15,6	16,0	16,07
III	286	8,3	1306	22,0	22,7	22,62
IV	304	9,7	1512	20,1	20,7	20,82
V	261	9,8	1527	17,1	17,5	17,71
VI	286	10,7	1655	17,3	17,6	17,73
VII	260	12,8	1940	13,9	13,4	13,52
<i>a</i>	216	8,9	1383	15,6	16,0	15,41
<i>b</i>	213	10,5	1620	13,1	13,3	12,57
<i>c</i>	216	8,2	1291	16,7	17,3	15,96

Die Formel (25) bietet nun auch die Möglichkeit, den Wärmeverlust  $q_v$ , da derselbe nur von der Temperaturdifferenz  $T - t$  und von dem  $CO_2$ -Gehalt  $K_v$  abhängig ist,



Temperaturdifferenz  $T - t$  in Celsiusgraden.

Fig. 1.

graphisch darzustellen und ist dies in den Figuren 1 und 2 geschehen. In Fig. 1 sind die Temperaturdifferenzen  $T - t$

<sup>2)</sup> Zeitschrift des Vereins für Gewerbefleiß 1894 S. 232.

als Abscissen aufgetragen, während für die Werte von  $K_e = 1, 2$  u. s. w. bis 17 vom Nullpunkte  $O$  aus Strahlen gezogen sind; die Schnittpunkte dieser Strahlen mit den entsprechenden Temperaturdifferenzen geben die Wärmeverluste als Ordinaten an.

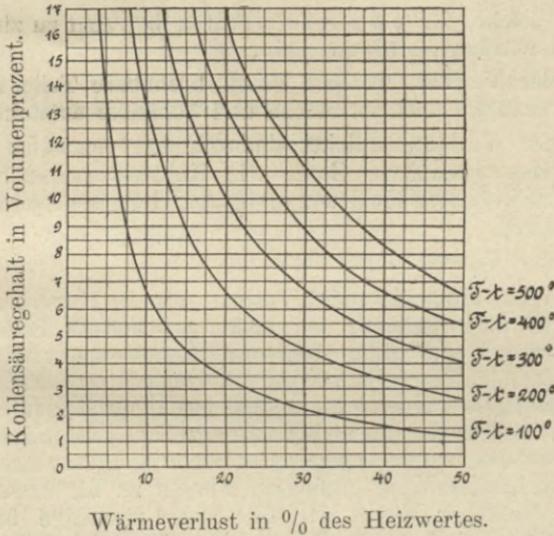


Fig. 2.

In Fig. 2 sind die Werte von  $K_e$  als Ordinaten aufgetragen und die daraus berechneten Wärmeverluste bei einer bestimmten Temperaturdifferenz als Abscissen angegeben. Es ergeben sich hieraus die bezeichneten Temperaturkurven.

## V. Beeinflussungen des Kohlensäuregehaltes.

Wenn in vorstehendem der Wärmeverlust durch die abziehenden Gase und die Abhängigkeit von dem Kohlensäuregehalte derselben dargelegt war, so geschah dies unter der Voraussetzung, dass aller Kohlenstoff zu Kohlensäure, sowie aller disponible Wasserstoff zu Wasser verbrennt. Es ist dies jedoch nicht immer der Fall, sondern sowohl Kohlenstoff als Wasserstoff können andere Verbindungen eingehen; der Kohlenstoff kann weiter überhaupt nicht vollständig verbrennen, sondern entweder in der Asche zurückbleiben oder als Russ entweichen. Durch alle diese Vor-

gänge, durch welche auch die Rauchgasmenge beeinflusst wird, entstehen aber Verluste und es würde nun zu untersuchen sein, ob die Höhe des in den Heizgasen festgestellten Kohlensäuregehaltes auch dann noch ein annähernd richtiges Bild von der Höhe des Wärmeverlustes giebt, wenn der eine oder andere dieser Verluste vorhanden ist, derselbe jedoch nicht für sich festgestellt wurde.

Als solche, für vorliegenden Fall in betracht zu ziehende Verluste würden zu nennen sein:

1. der Verlust, welcher durch brennbare Teile in der zurückbleibenden Asche und Schlacke entsteht,
2. der Verlust, welcher dadurch hervorgerufen wird, dass brennbare Gase, wie Kohlenwasserstoffe und insbesondere Kohlenoxyd in den Heizgasen vorhanden sind,
3. der Verlust durch Russ.

1. Was zunächst den Verlust durch Unverbranntes betrifft, so wird derselbe bei ordnungsgemässer Bedienung der Feuerung, Verwendung nicht zu schlackenreichen Materials und bei normalen Zugverhältnissen u. normaler Rostbeschickung, nicht allzu gross werden können; wo jedoch das Gegenteil der Fall ist, kann derselbe eine nicht unwesentliche Grösse annehmen. Die Grösse des in der Asche enthaltenen Kohlenstoffgehaltes ist mit verhältnismässig einfachen Mitteln zu bestimmen und kann in einfacher Weise für die Rauchgasmenge berücksichtigt werden, indem derselbe den unverbrennlichen Bestandteilen zuzuzählen und der für 1 kg Brennstoff entfallende Betrag von dem im Brennstoff enthaltenen Kohlenstoffgehalt in Abzug zu bringen sein würde.

Sind  $a$  pCt. Kohlenstoff in der Asche vorhanden, so dass also  $\frac{a}{100} \cdot A$  den gesamten, in der Aschen- und Schlacken-

menge enthaltenen Kohlenstoff in kg darstellt, so würde auf 1 kg Kohle ein Betrag hiervon entfallen, von

$$C_A = \frac{a}{100} \cdot \frac{A}{B} \quad \dots \quad (27)$$

wenn mit  $B$  diejenige Gewichtsmenge an Brennstoff bezeichnet wird, welche während derselben Zeit verbrannt wurde, während welcher sich das Gewicht  $A$  an Unverbrenlichem ergab.

Ohne Rücksicht darauf, dass das Kohlenstoffgewicht  $C_A$  auch auf die Menge der entstehenden Heizgase einen gewissen Einfluss ausübt, würde sich der Verlust für 1 kg Kohle ergeben zu:

$$Q_A = 8100 \cdot \frac{a}{100} \cdot \frac{A}{B}$$

Durch die abziehenden Heizgase würde, wenn ein Einfluss von  $C_A$  auf die entstehende Menge derselben nicht angenommen würde, ein Verlust entstehen, von

$$Q_{vw} = \left[ \frac{1,854 C}{K_v'} \cdot c + \frac{9 H + W}{0,806} \cdot 0,48 \right] \cdot (T - t)$$

worin  $C$  die in 1 kg Brennstoff wirklich enthaltene Kohlenstoffmenge bedeutet. Es hat sich nun aber  $C$  um die Grösse  $C_A$  verringert, so dass jetzt also wird:

a) Die erforderliche Sauerstoffmenge:

$$O_e' = 2,667 (C - C_A) + 8 H - O + S$$

b) Das Verhältnis der zugeführten, zu der theoretisch erforderlichen Luftmenge

$$\varphi' = \frac{1,854 (C - C_A) - K_v' [1,854 (C - C_A)]}{-0,699 (O_e - 2,667 C_A)} \quad (28)$$

$$K_v' (3,33 \cdot O_e - 8,88 C_A)$$

Mit diesem Verhältnis wird ferner die entstehende Rauchgasmenge

$$G_v' = 1,854 (C - C_A) + (O_e - 2,667 C_A) (3,33 \cdot \varphi' - 0,699) \quad (29)$$

Das Verhältnis des entstandenen Kohlensäurevolumens zu dem Gesamtvolumen der entstandenen Heizgase beträgt ohne Rücksicht auf Wasserdampf

$$K_v' = \frac{1,854 (C - C_A)}{G_v'}$$

$$= \frac{1,854 (C - C_A)}{1,854 (C - C_A) + (O_e - 2,667 C_A) (3,33 \varphi' - 0,699)} \quad (30)$$

c) Der Verlust, welcher lediglich durch die Abgase herbeigeführt wird, würde betragen:

$$Q_v' = \left[ \frac{1,854 (C - C_A)}{K_v'} \cdot c + \frac{9 H + W}{0,806} \cdot 0,48 \right] (T - t)$$

oder, wenn das Gasvolumen  $G_v'$  bekannt ist

$$Q_v' = \left[ G_v' \cdot c + \frac{9 H + W}{0,806} \cdot 0,48 \right] \cdot (T - t) \quad (31)$$

Der gesamte Verlust, welcher durch unverbrannte Teile in der Asche und durch die Abgase herbeigeführt wird, würde also nicht sein

$$Q_g = Q_A + Q_{v w}$$

sondern

$$\begin{aligned} Q_{g'} &= Q_A + Q_{v'} \\ &= 8100 \cdot \frac{a}{100} \cdot \frac{A}{B} + \left[ \frac{1,854 C}{K_{v'}} \cdot c - \frac{1,854 C_A}{K_{v'}} c \right. \\ &\quad \left. + 0,595 (9 H + W) \right] \cdot (T - t), \end{aligned}$$

würde also um den Betrag

$$\frac{1,854 C_A}{K_{v'}} \cdot c (T - t)$$

und mit dem entsprechenden Werte von  $C_A$ , um den Betrag

$$\frac{1,854}{K_{v'}} \cdot \frac{a}{100} \cdot \frac{A}{B} \cdot c (T - t)$$

kleiner sein, als jener, welcher sich ohne Rücksicht des Einflusses von  $C_A$  auf die Rauchgasmenge berechnen würde. Wenn dieser Betrag im allgemeinen und insbesondere bei guter, d. h. wenig Asche enthaltender Kohle nicht allzu gross wird, um so wesentlicher kann derselbe aber für schlackenreiche Kohle werden. Zum nicht geringen Teile wird selbstverständlich auch die Art des Rostes auf die Grösse von  $a$  und mithin auf den gesamten Betrag einwirken.

Der wirkliche Verlust durch Unverbranntes in der Asche würde demnach betragen:

$$Q_{g'} = \frac{a}{100} \cdot \frac{A}{B} \cdot \left[ 8100 - \frac{1,854}{K_{v'}} c (T - t) \right] \quad \dots \quad (31a)$$

und ist derselbe, abgesehen von der Grösse des Prozentsatzes  $a$ , abhängig von dem Verhältnis der entstandenen Schlacke und Asche zur verbrannten Brennstoffmenge, und nimmt mit zunehmendem Kohlensäuregehalte und zunehmender Temperatur der entweichenden Gase ab.

Um ein Bild über die diesbezüglichen Verluste zu bekommen, diene nachstehendes Beispiel, welches zwar einen ausserordentlich hohen Prozentsatz an Unverbranntem in der Asche angiebt, aber gerade aus diesem Grunde geeignet sein dürfte, die daran geknüpften Folgerungen um so deutlicher erscheinen zu lassen. Der bei dem Versuche, welcher dem Beispiel als Unterlage diente,<sup>1)</sup> festgestellte Prozentsatz an Unverbrenlichem war thatsächlich noch etwas grösser fest-

<sup>1)</sup> Dessen Werte jedoch, aus Gründen praktischer Rechnung, etwas abgeändert sind.

gestellt worden, als angegeben. Es wurde allerdings auch ein äusserst schlackenhaltiges Material verfeuert, auch mochte wohl der Rost eine für das verwendete Material zu grosse Luftspalte aufweisen.

Beispiel: Bei einem Verdampfungsversuch seien festgestellt:  $C = 65,0$ ;  $H = 1,85$ ;  $O = 4,0$ ;  $S = 0,75$ ;  $W = 5,20$ , demnach berechneter Heizwert  $H_w = 5644 W - E$ . Die während der Versuchszeit verbrannte Brennstoffmenge betrage  $B = 2200$  und die während derselben Zeit erhaltene Schlacke und Asche  $A = 640$  kg. Ferner seien ermittelt  $K_v' = 8,0$  und  $T - t = 270 - 20 = 250^\circ$  Cels., sowie angenommen  $c = 0,32$ ,  $c_1 = 0,48$ . Die bei dem Versuche erhaltene Schlacke habe  $20,0\%$  Unverbranntes ergeben. Hieraus bestimmt sich der Kohlenstoffgehalt in der Asche zu

$$C_A = \frac{20}{100} \cdot \frac{640}{2200} = 0,058 \text{ kg}$$

pro 1 kg Brennstoff.

Der Verlust durch die Heizgase würde, ohne Rücksicht auf das Unverbrannte, betragen

$$Q_{vw} = \left( \frac{1,854 \cdot 0,65}{0,08} \cdot 0,32 + \frac{9 \cdot 0,0185 + 0,052}{0,806} \cdot 0,48 \right) \cdot 250$$

$$Q_{vw} = 1237 W - E = 22\% \text{ des Heizwertes.}$$

Der Verlust durch Unverbranntes würde ohne Rücksicht auf die entstehende kleinere Rauchgasmenge sein:

$$Q_A = 8100 \cdot C_A = 8100 \cdot 0,058 = \infty 470 W - E$$

oder  $\infty 8,3\%$  des Heizwertes und dementsprechend würde, unter der genannten Vernachlässigung der Gesamtverlust betragen

$$Q_g = 22 + 8,3 = 30,3\%$$

herbeigeführt durch die Abgase und durch Unverbranntes.

Der Verlust durch die abziehenden Gase erreicht nun aber nicht die oben berechnete Grösse von  $22\%$ , sondern ist um die Grösse

$$\frac{1,854 \cdot C_A}{0,08} \cdot 0,32 \cdot 250 = 107 W - E$$

oder  $\infty 1,9\%$  des Heizwertes zu gross, beträgt mithin nur  $20,1\%$  des Heizwertes, so dass der Gesamtverlust beträgt

$$Q_{g'} = 20,1 + 8,3 = 28,4\%.$$

Würde man nun das Unverbrannte in der Asche nicht berücksichtigen, sondern angenommen haben, es sei aller Kohlenstoff zu Kohlensäure verbrannt, so würde der gesamte Verlust durch den Verlust durch die Heizgase dargestellt werden und würde um  $28,4 - 22 = 6,4\%$  zu klein angezeigt werden.

Wenn nun auch in den weitaus meisten Fällen ein so hoher Prozentgehalt von Kohlenstoff in der Asche, wie hier angenommen, nicht festgestellt werden wird, so lehrt das Beispiel immerhin, dass der Kohlensäuregehalt allein einen wahren Wert des Wärmeverlustes nicht mehr giebt, sobald der Brennstoff nicht vollständig verbrennt und kann die Differenz unter Umständen ziemlich beträchtliche Grössen erreichen. Allerdings ist der Fehler nicht von der Grösse des Verlustes, wie derselbe sich aus dem Unverbrannten allein berechnen würde.

2. Wesentlich verwickelter als unter 1. werden die Vorgänge bei der Verbrennung, wenn in den abziehenden Heizgasen brennbare Gasarten wie Kohlenoxyd und Kohlenwasserstoffe vorhanden sind und sei daher hier von dem Vorhandensein der letzteren Gasart abgesehen und nur angenommen, dass Kohlenoxyd in den Heizgasen vorhanden sei.

Es sollen z. B. in den Abgasen  $z$  pCt.  $CO$  neben  $K_v'$  pCt.  $CO_2$  festgestellt sein. Wird das Gewicht von 1 cbm Kohlenoxyd  $s_2 = 1,2509$  angenommen und sind  $z$  pCt. Volumenprocente vorhanden, so stellt diese Menge ein Gewicht an

$CO$  dar von:  $\frac{z}{100} \cdot 1,2509$  kg für 1 cbm der Heizgase, und es

würde z. B. für jedes cbm der Heizgase, durch den Kohlenoxydgehalt  $z$ , da 1 kg  $CO$ , wenn es zu  $CO_2$  verbrennt 2440  $W-E$  entwickelt, verloren gehen, ein Wärmebetrag von

$$z \cdot \frac{1,2509}{100} \cdot 2440 \text{ } W-E \quad . \quad . \quad (32)$$

Für  $1\%$  Kohlenoxyd würde z. B. für 1 cbm Heizgas verloren gehen eine Wärmemenge von

$$\frac{1}{100} \cdot 1,2509 \cdot 2440 = 30,5 \text{ } W-E$$

und es würde, um den ganzen, durch das in den Heizgasen enthaltene Kohlenoxyd herbeigeführten Wärmeverlust zu erhalten, der oben genannte Verlust für 1 cbm mit der Heizgasmenge multipliziert werden müssen. Der Verlust würde dementsprechend betragen

$$Q_z' = \frac{z}{100} \cdot 1,2509 \cdot 2440 \text{ } G_v' \quad . \quad (33)$$

worin  $G_v'$  die für diesen Fall entstandene Gasmenge darstellt, und welche *eine andere* ist, als die aus dem Kohlensäuregehalte  $K_v'$  nach der gewöhnlichen Art berechnete (Gleichung 13a).

Dadurch, dass ein gewisser Prozentsatz Kohlenstoff zur Bildung von  $CO$  verwendet wurde, ist diese selbe Menge für die Bildung von  $CO_2$  verloren gegangen, mithin hat sich die erforderliche Sauerstoffmenge  $O_e$  in  $O_e'$  geändert,  $K_v$  ist in  $K_v'$  übergegangen,  $\varphi$  in  $\varphi'$  und  $G_v$  in  $G_v'$  und es würde festzustellen sein, ob diese Aenderungen von wesentlichem Einflusse auf die Höhe des Wärmeverlustes, wie er sich lediglich aus dem festgestellten Kohlensäuregehalte ergeben würde, sind.

Zu diesem Zwecke würde zunächst die durch den Kohlenoxydgehalt gebundene Kohlenstoffmenge festzustellen sein. In 1 kg  $CO$  sind

$$\frac{12}{12 + 16} = 0,4286 \text{ kg Kohlenstoff}$$

und demnach waren zur Bildung der oben genannten Gewichtsmenge von  $CO$  erforderlich

$$C_z' = \frac{z}{100} \cdot 1,2509 \cdot 0,4286 = 0,00536 \cdot z \text{ kg Kohlenstoff}$$

für 1 cbm der Heizgase und dieser Betrag ist also für die Bildung von  $CO_2$  verloren;  $z$  ist hier in Prozent einzusetzen. Die ganze für 1 kg des Brennstoffes verloren gegangene Kohlenstoffmenge beträgt mithin:

$$C_z = 0,00536 \cdot z \cdot G_v' \quad . \quad . \quad (34)$$

Es sei z. B.  $z = 2\%$  und die Rauchgasmenge = 20 cbm, so würde sein

$$C_z = 0,00536 \cdot 2 \cdot 20 = 0,2144 \text{ kg pro 1 kg Brennstoff.}$$

Enthielt z. B. die Kohle 0,8 kg Kohlenstoff, so würde zur Bildung von  $CO_2$  nur noch ca. 0,59 kg vorhanden gewesen sein und die Rauchgasmenge wird dementsprechend geringer werden und ebenso würden die übrigen Grössen entsprechend andere Werte angenommen haben.

Die theoretisch erforderliche Sauerstoffmenge würde jetzt betragen

$$O_e' = 2,667 (C - C_z) + 1,333 C_z + 8 H - O + S$$

oder mit dem Werte von  $C_z$  aus Gleichung (34) und etwas vereinfacht:

$$O_e' = 2,667 C - 1,333 \cdot 0,00536 \cdot z \cdot G_v' + 8 H - O + S \quad (35)$$

und diese Sauerstoffmenge würde um den Betrag

$$1,333 \cdot 0,00536 \cdot z \cdot G_v'$$

kleiner sein, als diejenige bei der Verbrennung des gesamten Kohlenstoffes der Kohle zu  $CO_2$ .

Zur Ermittlung von  $O_e'$  müsste nun  $G_v'$  bekannt sein. Die Rauchgasmenge  $G_v'$  beträgt

$$G_v' = \frac{3,667}{1,9774} \cdot (C - C_z) + \frac{2,333}{1,2509} C_z \\ + \frac{O_e'}{1,4298} (\varphi' - 1) + \frac{3,31 \cdot O_e'}{1,2562} \cdot \varphi'$$

In dieser Gleichung sind unbekannt  $C_z$ ,  $\varphi'$  und  $O_e'$ . Um letztere Grösse aus der Gleichung zum Verschwinden zu bringen, setzt man nach Gleichung (35)

$$O_e' = (2,667 C + 8 H - O + S) - 1,333 \cdot C_z = O_e - 1,333 C_z$$

d. h. der Klammerausdruck stellt nichts weiter dar, als diejenige Sauerstoffmenge  $O_e$ , welche bei *vollständiger* Verbrennung erforderlich sein würde. Hiermit würde sein:

$$G_v' = 1,854(C - C_z) + 1,865 \cdot C_z + 0,699(O_e - 1,333 C_z)(\varphi' - 1) \\ + 2,6349(O_e - 1,333 C_z) \cdot \varphi' \quad \dots (36)$$

Ferner ist für vorliegenden Fall das Verhältnis des Kohlensäuregehaltes zu dem Rauchgasvolumen

$$K_v' = \frac{1,854(C - C_z)}{G_v'} \quad \dots (37)$$

worin unbekannt ist  $C_z$  und  $\varphi'$ , wenn man sich den Wert  $G_v'$  aus Gleichung (36) eingesetzt denkt.

Es war nun

$$C_z = 0,00536 \cdot z \cdot G_v'$$

Setzt man den Wert von  $G_v'$  aus Gleichung (36) in Gleichung (34) ein und löst nach  $C_z$  auf, so ergibt sich:

$$C_z = \frac{0,00536 \cdot z [1,854 C + 0,699 O_e (\varphi' - 1) + 2,6349 \cdot O_e \cdot \varphi']}{1 + 0,00536 \cdot z (4,444 \varphi' - 0,943)} \quad (38)$$

Der Klammerausdruck des Zählers des Bruches der rechten Seite ist nichts anderes als die Rauchgasmenge, welche entstehen würde, wenn der Brennstoff vollständig, jedoch mit dem Luftüberschuss  $\varphi'$  verbrennt.

In Gleichung (38) ist nur noch  $\varphi'$  unbekannt und setzt man zur Bestimmung dieser Grösse den eben gefundenen Wert von  $C_z$  in Gleichung (37) für  $K_v'$  ein. Nach  $\varphi'$  aufgelöst erhält man eine Gleichung von der Form:

$$\varphi' \cdot P + M = 0$$

worin bedeutet

$$P = 3,33 \cdot K_v' \cdot O_e + 1,854 \cdot 0,00536 \cdot z \cdot (3,33 O_e - 4,44 C)$$

und

$$M = -1,854 C + K_v' (1,854 C - 0,699 O_e) + 1,854 \cdot 0,00536 \cdot z \cdot [C (0,943 + 1,854) - 0,699 O_e]$$

Hieraus bestimmt sich dann das Verhältnis der zugeführten zu der theoretisch erforderlich gewesenenen Luftmenge zu

$$\varphi' = \frac{1,854 C - K_v' (1,854 C - 0,699 O_e)}{-0,00994 \cdot z \cdot (2,797 C - 0,699 \cdot O_e)} \quad (39)$$

$$\frac{3,33 \cdot K_v' \cdot O_e + 0,00994 \cdot z \cdot (3,33 O_e - 4,44 \cdot C)}$$

worin  $O_e$  den bekannten Wert

$$O_e = 2,667 C + 8 H - O + S$$

bedeutet.

Ist in den Abgasen kein Kohlenoxyd vorhanden, wird also  $z = 0$ , so geht Gleichung (39) über in die bereits abgeleitete

$$\varphi = \frac{1,854 C - K_v (1,854 C - 0,699 O_e)}{3,33 K_v \cdot O_e}$$

was selbstverständlich auch der Fall sein musste

Zur Ergänzung des Gesagten diene ein Beispiel:

Bei Verbrennung einer Kohlensorte von der Zusammensetzung der in Tabelle 4 unter II (Gute Kohle) angegebenen, für welche also  $C = 0,793$  und  $O_e = 2,43$  beträgt, sei ermittelt worden  $K_v' = 12\%$ , sowie a)  $CO = 1\%$ ; b)  $CO = 2\%$ ;  $T - t$  betrage für beide Fälle  $= 250^\circ$ .

Zu a) Sieht man zunächst von dem Einflusse des Kohlenoxydgehaltes auf die entstehende Rauchgasmenge ab, so ergibt sich

$$\varphi = \frac{1,854 \cdot 0,793 - 0,12 \cdot (1,854 \cdot 0,793 - 0,699 \cdot 2,43)}{3,33 \cdot O_e \cdot K_v'}$$

$$\varphi = 1,54.$$

Hiermit würde die entstehende Rauchgasmenge:

$$G_v = 1,854 \cdot 0,793 + O_e \cdot (3,33 \cdot \varphi - 0,699 \cdot 2,43) = 12,08 \text{ cbm}$$

ohne Berücksichtigung des Wasserdampfes.

Aus dieser Rauchgasmenge erhielte man den durch die Rauchgase selbst herbeigeführten Verlust nach Gleichung (22) zu

$$Q_v = [12,08 \cdot 0,32 + 0,595 \cdot (9 \cdot 0,0513 + 0,0218)] \cdot 250$$

$$Q_v = 1038 W - E$$

oder  $13,8\%$  des Heizwertes.

Ferner würde sich nach Gleichung (33) der Verlust durch Kohlenoxyd ergeben zu

$$Q_z = 0,01 \cdot 1,2509 \cdot 12,08 \cdot 2440 = 0,15 \cdot 2440 = 366 W - E$$

oder  $4,86\%$  des Heizwertes.

Der Gesamtverlust durch die Abgase würde demnach betragen:  $13,8 + 4,86 = 18,66\%$  des Heizwertes.

Unter Berücksichtigung des Einflusses des Kohlenoxyd-gehaltes auf die Grösse des Rauchgasvolumens, stellen sich die diesbezüglichen Verhältnisse wie folgt:

Das Verhältnis des zugeführten zu dem theoretisch er-forderlich gewesenenen Luftquantum beträgt nach Gleichung (39)

$$\varphi' = \frac{1,854 \cdot 0,793 - 0,12 \cdot (1,854 \cdot 0,793 - 0,699 \cdot 2,43)}{-0,00994 \cdot 1 \cdot (2,797 \cdot 0,793 - 0,699 \cdot 2,43)}$$

$$\frac{3,33 \cdot 2,43 \cdot 0,12 + 0,00994 \cdot 1 \cdot (3,33 \cdot 2,43 - 4,44 \cdot 0,793)}{\varphi' = 1,46}$$

Mit diesem Verhältnis ergibt sich der durch den Kohlen-oxidgehalt gebundene Kohlenstoff für 1 kg Brennmaterial, nach Gleichung (38) zu:

$$C_z = \frac{0,00536 \cdot 1 \cdot [1,465 + 1,698 (\varphi' - 1) + 6,4 \varphi']}{1 + 0,00536 \cdot 1 \cdot (4,44 \varphi' - 0,943)}$$

$$C_z = \frac{0,061}{1,031} = 0,059 \text{ kg}$$

und der Kohlenstoffgehalt, welcher zur Bildung von Kohlen-säure noch vorhanden war — unter der Annahme, dass andere Verluste nicht eingetreten seien — würde betragen:

$$C_K = 0,793 - 0,059 = 0,734 \text{ kg}$$

für 1 kg Brennstoff.

Ferner bestimmt sich die entstandene Rauchgasmenge, wenn  $G_v'$  nach Gleichung (36) in etwas einfacherer Form geschrieben wird.

$$G' = 1,854 C + O_e (3,33 \varphi' - 0,699) - C_z (4,44 \varphi' - 0,943) \dots \dots \dots (40)$$

zu

$$G_v' = 1,854 \cdot 0,793 + 2,43 (3,33 \cdot 1,46 - 0,699) - 0,059 \cdot (4,44 \cdot 1,46 - 0,943)$$

$$G_v' = 11,254 \text{ cbm.}$$

Mit dieser Rauchgasmenge erhält man den durch die abziehenden Gase an sich herbeigeführten Verlust zu:

$$Q_v' = [11,254 \cdot 0,32 + 0,595 \cdot (9 \cdot 0,0513 + 0,0218)] \cdot 250$$

$$Q_v' = (3,601 + 0,288) \cdot 250 = 972 \text{ W} - E$$

oder  $12,9\%$  des Heizwertes.

Ferner ergibt sich der Wärmeverlust durch Kohlenoxyd zu

$$Q_z' = \frac{C_z}{0,4286} \cdot 2440 = \frac{0,059}{0,4286} \cdot 2440 = 341 \text{ W} - E$$

gleich  $4,5\%$  des Heizwertes, oder aber nach Gleichung (33)

$$Q_z' = 0,01 \cdot 1,2509 \cdot 11,254 \cdot 2440 = 344 \text{ W} - E$$

oder ebenfalls  $4,5\%$  des Heizwertes.

Der Gesamtverlust beträgt mithin  $12,9 + 4,5 = 17,4\%$  gegenüber  $18,66\%$  ohne Berücksichtigung des Einflusses des Kohlenoxydgehaltes auf die Rauchgasmenge.

Zu *b*) Analog dem Fall unter *a*) ist:

$$\varphi = 1,54$$

$$G_v = 12,08 \text{ cbm}$$

$Q_v = 1038 W - E$  oder  $13,8\%$  des Heizwertes.

Ferner würde sich nach Gleichung (33) der Verlust durch Kohlenoxyd ergeben zu

$$Q_z = 0,02 \cdot 1,2509 \cdot 12,08 \cdot 2440 = 732 W - E$$

oder  $9,72\%$  des Heizwertes.

Mit Berücksichtigung des Einflusses des Kohlenoxydgehaltes ergibt sich

$$\varphi' = \frac{1,854 \cdot 0,793 - 0,12 (1,854 \cdot 0,793 - 0,699 \cdot 2,43)}{-0,00994 \cdot 2 \cdot (2,797 \cdot 0,793 - 0,699 \cdot 2,43)}$$

$$\frac{3,33 \cdot 2,43 \cdot 0,12 + 0,00994 \cdot 2 \cdot (3,33 \cdot 2,43 - 4,44 \cdot 0,793)}{\varphi' = 1,39}$$

Hiermit ergibt sich der durch den Kohlenoxydgehalt gebundene Kohlenstoff

$$C_z = \frac{0,00536 \cdot 2 \cdot [1,465 + 1,698 (\varphi' - 1) + 6,4 \varphi']}{1 + 0,00536 \cdot 2 \cdot (4,44 \varphi' - 0,943)}$$

$$C_z = \frac{0,118}{1,055} = 0,112 \text{ kg}$$

für 1 kg Brennstoff und es beträgt demnach der für  $C O_2$  zur Verfügung gewesene Kohlenstoff

$$C_K = 0,793 - 0,112 = 0,681 \text{ kg}$$

für 1 kg Brennstoff.

Ferner beträgt:

$$G_v' = 1,854 \cdot 0,793 + 2,43 (3,33 \cdot 1,39 - 0,699)$$

$$- 0,112 (4,44 \cdot 1,39 - 0,943)$$

$$G_v' = 10,44 \text{ cbm}$$

Weiter ergibt sich mit diesem Wert

$$Q_v' = [10,44 \cdot 0,32 + 0,595 (9 \cdot 0,0513 + 0,0218)] \cdot 250$$

$$Q_v' = 907 W - E \text{ oder } 12,0\% \text{ des Heizwertes.}$$

Der Wärmeverlust durch Kohlenoxyd beträgt:

$$Q_z' = \frac{0,112}{0,4286} \cdot 2440 = 0,26 \cdot 2440 = 634 W - E$$

gleich  $8,4\%$  des Heizwertes, oder nach Gleichung (33)

$$Q_z' = 0,02 \cdot 1,2509 \cdot 10,44 \cdot 2440 = 0,263 \cdot 2440$$

$$= \infty 642 W - E$$

oder  $8,5\%$  des Heizwertes.

Der Gesamtverlust beträgt mithin  $12,0 + 8,5 = 20,5\%$  des Heizwertes, gegenüber  $13,8 + 9,72 = 23,52\%$ , ohne Berücksichtigung des Einflusses des Kohlenoxydgehaltes auf die Rauchgasmenge.

Wie aus einer Betrachtung der beiden vorstehenden Beispiele unter *a* und *b* hervorgeht, giebt der Kohlendioxidgehalt der Heizgase allein kein richtiges Bild mehr von der Grösse des Wärmeverlustes, wenn Kohlenoxyd in den Abgasen vorhanden ist, denn es war:

	Fall a)	Fall b)
Lediglich aus dem Kohlendioxidgehalt festgestellter Wärmeverlust	13,8 0/0	13,8 0/0
Wirklicher Wärmeverlust mit Berücksichtigung von <i>CO</i>	17,4 0/0	20,5 0/0
Differenz der Wärmeverluste	3,6 0/0	6,7 0/0
Es sind dies 0/0 vom wirklichen Werte	20,7	32,6

d. h., die allein aus dem Kohlendioxidgehalt festgestellten Wärmeverluste differieren mit den wirklichen Werten, insbesondere bei höherem Kohlenoxydgehalte, ganz wesentlich.

Ferner ergibt sich aus den beiden gegebenen Beispielen, dass auch dann ein Fehler bei Vorhandensein von *CO* in den Heizgasen begangen werden kann, wenn keine Rücksicht auf den Einfluss des *CO*-Gehaltes auf die Rauchgasmenge genommen wird. Die diesbezüglichen Werte waren:

	Fall a)	Fall b)
Gesamtverlust ohne Rücksicht des Einflusses von <i>CO</i>	18,66 0/0	23,52 0/0
Wirklicher Wärmeverlust	17,4 0/0	20,5 0/0
Differenz der Wärmeverluste	1,26 0/0	3,02 0/0
Es beträgt dies in 0/0 vom wirklichen Werte	7,2	14,7

Auch dieser Fehler kann, bei höherem Kohlenoxydgehalte, nicht unbedeutend werden, wie die Beispiele erweisen.

3. Ähnlich stellen sich die Verhältnisse, wenn in den Heizgasen fester Kohlenstoff in Form von Russ vorhanden ist; von anderen Beimengungen sei zunächst abgesehen.

Würde in 1 cbm Rauchgas  $r = \text{kg}$  Russ festgestellt worden sein, so wäre bei der Verbrennung eines kg Brennstoffes durch Russ verloren gegangen ein Gewicht von

$$C_r = r \cdot G_v'$$

wenn mit  $G_v'$  die jetzt entstandene Rauchgasmenge bezeichnet wird. Die Grössen von  $O_e$ ,  $\varphi$  und  $G_e$  werden sich wiederum, wie unter 2., in  $O_e'$ ,  $\varphi'$  und  $G_e'$  verwandelt haben und es würde sein:

$$O_e' = 2,667 (C - C_r) + 8H - O + S$$

oder

$$O_e' = O_e - 2,667 \cdot C_r \quad \dots \quad (41)$$

Das Rauchgasvolumen würde, auf 0° Cels. und 760 mm Barometerstand reduziert gedacht, betragen

$$G_v' = \frac{3,677}{1,9774} (C - C_r) + \frac{O_e' (\varphi' - 1)}{1,4298} + \frac{\varphi' O_e' \cdot 3,31}{1,2562}$$

und mit dem Werte von  $O_e'$  aus Gleichung (41)

$$G_v' = 1,854 (C - C_r) + 0,699 \cdot (O_e - 2,667 C_r) (\varphi' - 1) + 2,634 \cdot \varphi' (O_e - 2,667 C_r)$$

$$G_v' = 1,854 C + O_e (3,33 \cdot \varphi' - 0,699) - C_r (8,88 \cdot \varphi' - 0,011) \quad \dots \quad (42)$$

Ferner ist das Verhältnis des Kohlensäuregehaltes zu dem Rauchgasvolumen

$$K_v' = \frac{1,854 (C - C_r)}{G_v'} \quad \dots \quad (43)$$

worin  $G_v'$  den Wert aus Gleichung (42) hat und worin noch unbekannt ist  $C_r$  und  $\varphi'$ .

Es war nun

$$C_r = r \cdot G_v'$$

Setzt man den Wert von  $G_v'$  aus Gleichung (42) ein und löst nach  $C_r$  auf, so ergibt sich

$$C_r = \frac{r \cdot [1,854 C + O_e (3,33 \cdot \varphi' - 0,699)]}{1 + r (8,88 \cdot \varphi' - 0,011)} \quad \dots \quad (44)$$

Der Klammerausdruck des Zählers stellt wiederum diejenige Rauchgasmenge dar, welche entstände, wenn der Brennstoff vollständig, jedoch mit dem Luftüberschuss  $\varphi'$  verbrennen würde.

In Gleichung (44) ist nur noch  $\varphi'$  unbekannt. Um diese Grösse zu ermitteln, setzt man den Wert von  $C_r$  aus Gleich. (44) in Gleich. (43) für  $K_v'$  ein. Nach  $\varphi'$  aufgelöst, erhält man, wie unter 2., eine Gleichung von der Form:

$$\varphi' \cdot R + N = 0$$

worin bedeutet:

$$R = 3,33 \cdot O_e \cdot K_v' + 1,854 \cdot r (3,33 \cdot O_e - 8,88 C)$$

und

$$N = -1,854 C + K_v' (1,854 C - 0,699 O_e) + 1,854 r [C (1,854 + 0,011) - 0,699 O_e]$$

Hieraus bestimmt sich dann das Verhältnis der zugeführten zu der theoretisch erforderlich gewesenem Luftmenge zu:

$$\varphi' = \frac{1,854 C - K_v' (1,854 C - 0,699 O_e)}{3,33 \cdot O_e \cdot K_v' + 1,854 \cdot r (3,33 O_e = 8,88 C)} \quad (45)$$

worin  $O_e$  den bekannten Wert für vollständige Verbrennung bedeutet.

Ist in den Abgasen kein Russ vorhanden, würde also  $r = 0$ , so geht die Gleich. (45) für  $\varphi'$  in diejenige für  $\varphi$  bei vollständiger Verbrennung über.

Der Wärmeverlust durch Russ allein beträgt, unter der Annahme, dass das festgestellte Russgewicht reiner Kohlenstoff sei,

$$Q_r' = r \cdot G_v' \cdot 8100 \quad . \quad . \quad (46)$$

Um Vergleichswerte zu erhalten, seien wieder zwei Beispiele gegeben:

Es werde, wie unter 2., eine Kohle wie unter II, Tabelle 4 verbrannt; demnach  $C = 0,793$ ,  $O_e = 2,43$ . Es sei ermittelt:  $K_v' = 10\%$ ,  $T - t = 250^\circ$ , sowie a)  $r = 0,005$  kg; b)  $r = 0,002$  kg per 1 cbm der Heizgase.

Setzt man zunächst einen Einfluss des Russgehaltes auf die entstehende Rauchgasmenge nicht voraus, so ist

$$\varphi = \frac{1,854 \cdot 0,793 - 0,10 \cdot (1,854 \cdot 0,793 - 0,699 \cdot 2,43)}{3,33 \cdot 0,10 \cdot 2,43}$$

$$\varphi = 1,84$$

Hiermit würde die entstehende Rauchgasmenge

$$G_v = 1,854 \cdot 0,793 + 0,10 \cdot (3,33 \cdot 1,84 - 0,699)$$

$$G_v = 14,655 \text{ cbm}$$

ohne Berücksichtigung des entstehenden Wasserdampfes.

Hiermit würde der durch die Rauchgase an sich herbeigeführte Verlust

$$Q_v = [14,655 \cdot 0,32 + 0,595 (9 \cdot 0,0513 + 0,0218)] \cdot 250$$

$$Q_v = 1244 \text{ W} - E$$

oder  $16,5\%$  des Heizwertes.

Ferner würde sich der Verlust durch Russ nach Gleichung (46) ergeben zu

$$Q_r = 0,005 \cdot 14,655 \cdot 8100 = 594 \text{ W} - E$$

oder  $7,88\%$  des Heizwertes.

Unter Berücksichtigung, dass der Russgehalt einen Einfluss auf die entstehende Rauchgasmenge gewinnt, stellen sich die wirklichen Verhältnisse etwas anders. Es ist  $\varphi'$  nach Gleichung (45)

$$\varphi' = \frac{1,854 \cdot 0,793 - 0,10 \cdot (1,854 \cdot 0,793 - 0,699 \cdot 2,43)}{3,33 \cdot 2,43 \cdot 0,10 + 1,854 \cdot 0,005 \cdot (3,33 \cdot 2,43 - 8,88 \cdot 0,793)}$$

$$\varphi' = 1,82$$

Mit diesem Verhältnis ergibt sich der durch den Russ verlorene Kohlenstoffgehalt pro 1 kg Brennstoff, zu

$$C_r = \frac{0,005 \cdot [1,854 \cdot 0,793 + 2,43 \cdot (3,33 \cdot 1,82 - 0,699)]}{1 + 0,005 \cdot (8,88 \cdot 1,82 - 0,011)}$$

$$C_r = 0,067 \text{ kg pro 1 kg Brennstoff,}$$

und der Kohlenstoffgehalt, welcher zur Bildung von Kohlensäure noch zur Verfügung war, betrug

$$C_K = 0,793 - 0,067 = 0,726 \text{ kg}$$

pro 1 kg Brennstoff.

Ferner bestimmt sich die entstandene Rauchgasmenge nach Gleichung (42)

$$G_v' = 1,854 \cdot 0,793 + 2,43 (3,33 \cdot 1,82 - 0,699) - 0,067 (8,88 \cdot 1,82 - 0,011)$$

$$G_v' = 13,413 \text{ cbm}$$

Mit dieser Rauchgasmenge erhält man den durch die Rauchgase an sich herbeigeführten Verlust zu

$$Q_v' = [13,413 \cdot 0,32 + 0,595 (9 \cdot 0,0513 + 0,0218)] \cdot 250$$

$$Q_v' = 1145 \text{ W} - E$$

oder 15,2% des Heizwertes.

Ferner ergibt sich der Wärmeverlust durch Russ zu

$$Q_r' = 0,005 \cdot 13,413 \cdot 8100 = 0,067 \cdot 8100 = 543 \text{ W} - E$$

oder 7,2% des Heizwertes.

Der Gesamtverlust beträgt mithin  $15,2 + 7,2 = 22,4\%$  des Heizwertes, gegenüber  $16,5 + 7,88 = 24,38\%$ , wenn der Einfluss des Russgehaltes auf die Rauchgasmenge nicht berücksichtigt wird.

Zu b.)

Es ist wie unter a)

$$\varphi = 1,84;$$

$$G_v = 14,655 \text{ cbm.}$$

Der Verlust durch die Rauchgase an sich, ohne Rücksicht auf den Einfluss des Russgehaltes auf die Rauchgasmenge:

$$Q_a = [14,655 \cdot 0,32 + 0,288] \cdot 250 = 1244 \text{ W} - E$$

oder 16,5% des Heizwertes.

Der Verlust durch den Russgehalt

$$Q_r = r \cdot G_v \cdot 8100 = 0,002 \cdot 14,655 \cdot 8100 = 237 \text{ W} - E$$

oder 3,15% des Heizwertes.

Wird der Einfluss des Russgehaltes auf die Rauchgasmenge *berücksichtigt*, so ergibt sich:

$$\varphi' = \frac{1,854 \cdot 0,793 - 0,10 (1,854 \cdot 0,793 - 0,699 \cdot 2,43)}{3,33 \cdot 2,43 \cdot 0,10 + 1,854 \cdot 0,002 \cdot (3,33 \cdot 2,43 - 8,88 \cdot 0,793)}$$

$$\varphi' = 1,83$$

Hiermit wird die Russmenge

$$C_r' = \frac{0,002 \cdot [1,465 + 2,43 \cdot (3,33 \cdot 1,83 - 0,699)]}{1 + 0,002 \cdot (8,88 \cdot 1,83 - 0,011)}$$

$$C_r' = 0,0282 \text{ kg pro 1 kg Brennstoff.}$$

Die zur Bildung von  $CO_2$  zur Verfügung gewesene Kohlenstoffmenge beträgt demnach

$$C_K = 0,793 - 0,0282 = 0,7648 \text{ kg}$$

Ferner beträgt die entstandene Rauchgasmenge

$$G_v' = 1,854 \cdot 0,793 + 2,43 (3,33 \cdot 1,83 - 0,699) - 0,0282 \cdot (8,88 \cdot 1,83 - 0,011)$$

$$G_v' = 14,12 \text{ cbm}$$

Hiermit ergibt sich der Wärmeverlust durch die Rauchgase an sich

$$Q_v' = [14,12 \cdot 0,32 + 0,288] \cdot 250 = 1202 \text{ W} - E$$

oder 15,9% des Heizwertes.

Der Wärmeverlust durch Russ ist

$$Q_r' = 0,002 \cdot 14,12 \cdot 8100 = 228 \text{ W} - E$$

gleich 3,03%, oder

$$Q_r' = C_r' \cdot 8100 = 0,0282 \cdot 8100 = 228 \text{ W} - E$$

Der gesamte Verlust durch Russ und Rauchgase beträgt mithin  $15,9 + 3,03 = 18,93\%$  gegenüber einem Verlust von  $16,5 + 3,15 = 19,65\%$  ohne Rücksicht auf den Einfluss des Russgehaltes.

Man erhält mithin folgende Zusammenstellung, welche darthut, dass die Bestimmung des Kohlensäuregehaltes nicht genügt, wenn Russ in den Heizgasen vorhanden ist.

	Fall a)	Fall b)
Lediglich aus dem Kohlensäuregehalt festgestellter Wärmeverlust	16,5%	16,5%

	Fall a)	Fall b)
Wirklicher Wärmeverlust mit Berücksichtigung von Russ	22,4 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	18,93 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>
Differenz der Wärmeverluste	5,9 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	2,43 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>
Es sind dies <sup>0</sup> / <sub>0</sub> vom wirklichen Werte	26,3	12,8

Dass ferner bei grösserem Russgehalte auch Rücksicht auf den Einfluss desselben auf die entstehende Rauchgasmenge genommen werden muss, um Fehler zu vermeiden, erweist nachstehende Zusammenstellung

	Fall a)	Fall b)
Gesamtverlust ohne Rücksicht des Einflusses von $C_r$	24,38 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	19,65 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>
Wirklicher Wärmeverlust	22,4 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	18,93 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>
Differenz der Wärmeverluste	1,98 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	0,72 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>
Es beträgt dies <sup>0</sup> / <sub>0</sub> vom wirklichen Werte	8,8	3,8

4. Es erübrigt hier noch, kurz den Fall zu untersuchen, in welchem alle unter 1 bis 3 angegebenen Verluste zusammentreffen. Mit Bezug auf die daselbst gewählten Bezeichnungen würde zunächst die erforderliche Sauerstoffmenge sein:

$$O_e'' = 2,667(C - C_A - C_z - C_r) + 8H - O + S + 1,333 \cdot C_z$$

Hierin ist

$$C_A = \frac{a}{100} \cdot \frac{A}{B}$$

kann also stets als bekannt vorausgesetzt werden;

$$C_r = r \cdot G_v''$$

$$C_z = 0,00536 \cdot z \cdot G_v''$$

wenn mit  $G_v''$  das jetzt entstandene Gasvolumen bezeichnet wird.

Hieraus ist

$$\left. \begin{aligned} \frac{C_r}{C_z} &= \frac{r}{0,00536 \cdot z} \\ C_r &= \frac{r \cdot C_z}{0,00536 \cdot z} \\ C_z &= \frac{0,00536 \cdot z \cdot C_r}{r} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (47)$$

Das entstehende Rauchgasvolumen würde mit der obigen Grösse von  $O_e''$

$$G_v'' = 1,854 (C - C_A - C_r) + 0,011 C_z + [O_e - 2,667 (C_A + C_r) - 1,33 \cdot C_z] (3,33 \varphi'' - 0,699) \quad (48)$$

Setzt man einen der Werte von  $C_r$  oder  $C_z$  aus Gleichung (47) in diese Gleichung ein und löst nach einer dieser Grössen auf, so erhält man:

$$\left. \begin{aligned} C_r &= \frac{r \cdot [1,854 \cdot (C - C_A) + (3,33 \varphi'' - 0,699) (O_e - 2,667 \cdot C_A)]}{1 + 1,854 r - 0,011 \cdot 0,00536 \cdot z + (3,33 \cdot \varphi'' - 0,699) (2,667 \cdot r + 1,33 \cdot 0,00536 z)} \\ \text{und} \\ C_z &= \frac{0,00536 \cdot z [1,854 (C - C_A) + (3,33 \varphi'' - 0,699) (O_e - 2,667 C_A)]}{1 + 1,854 r - 0,011 \cdot 0,00536 \cdot z + (3,33 \varphi'' - 0,699) (2,667 \cdot r + 1,33 \cdot 0,00536 z)} \end{aligned} \right\} (49)$$

worin die Grösse  $0,011 \cdot 0,00536 \cdot z$ , weil verhältnismässig klein, vernachlässigt werden kann.

Das Verhältnis der Kohlensäure zu dem entstandenen Rauchgasvolumen beträgt jetzt

$$K_v'' = \frac{1,854 (C - C_A - C_r - C_z)}{G_v''} \dots (50)$$

Setzt man die Werte von  $C_r$  und  $C_z$  aus Gleichung (49) in Gleichung (50) ein, so ergibt sich das Verhältnis der zugeführten zu der theoretisch erforderlichen Luftmenge zu:

$$\begin{aligned} \varphi'' &= \left[ 1,854 (C - C_A) - K_v \left\{ 1,854 (C - C_A) - 0,699 (O_e - 2,667 C_A) \right\} \right. \\ &\quad - 1,854 r \cdot (1,865 C - 0,699 O_e) \\ &\quad \left. - 1,854 \cdot 0,00536 z \left\{ 2,797 (C - C_A) - 0,699 (O_e - 2,667 C_A) \right\} \right] : \\ &\quad \left[ K_v (3,33 \cdot O_e - 8,88 C_A) + 1,854 r \cdot (3,33 \cdot O_e - 8,88 C) \right. \\ &\quad \left. + 1,854 \cdot 0,00536 \cdot z \cdot \left\{ 3,33 \cdot O_e - 4,44 (C + C_A) \right\} \right] (51) \end{aligned}$$

Aus dieser allgemeinen Formel für  $\varphi''$  ergibt sich das Verhältnis  $\varphi$  für andere Fälle, wenn nicht alle hier angenommenen Bestandteile in den Heizgasen oder in der zurückbleibenden Schlacke festgestellt werden, in einfacher Weise, indem die nicht vorhandenen Grössen Null gesetzt werden.

Da hier alle unter 1 bis 3 erwähnten Verluste zusammen-  
treffen, so wird selbstverständlich auch der Unterschied  
zwischen dem Wärmeverluste, wie er sich lediglich aus dem  
Kohlensäuregehalte bestimmen würde und dem wirklichen  
Wärmeverluste um so auffallender in die Erscheinung treten.

Um ein ungefähres Bild über die diesbezüglichen Ver-  
hältnisse zu erhalten, sei nachstehend ein Beispiel gegeben:  
Eine Kohlensorte habe folgende Zusammensetzung:  
 $C = 60\%$ ;  $H = 4,0\%$ ;  $O = 1,0\%$ ;  $S = 3,0\%$ ;  $A_B =$   
 $14,0\%$ ;  $W = 7,0\%$ .  $H_w$  (berechnet) =  $5618 W - E$ ; die  
erforderliche Sauerstoffmenge aus der Zusammensetzung  
 $O_e = 1,83$ . Von dieser Kohlensorte seien während einer  
gewissen Zeit  $B = 3000$  kg verfeuert worden; während  
derselben Zeit erhielt man  $A = 467$  kg Asche und Schlacke  
auf dem Roste. Ferner sei festgestellt worden: der in der  
Asche und Schlacke enthaltene Kohlenstoff  $a = 10\%$ ;  $K_r$   
 $= 8\%$ ,  $z = 1,0\%$ ,  $r = 0,0025$  kg, sowie  $T - t = 250^\circ$ .

Die nach den vorstehend gegebenen Formeln berechneten  
Werte sind nachstehend zusammengestellt. Die Folgerungen,  
welche aus den Resultaten zu ziehen sind, sind im allgemeinen  
dieselben, wie sie bereits unter 1 bis 3 angegeben waren:  
*Sobald nicht der gesamte in dem Brennstoffe enthaltene  
Kohlenstoff zu Kohlensäure verbrennt, genügt die Kenntnis  
der Grösse von  $K_r$  allein nicht mehr zur Ermittlung des wirklichen  
Wärmeverlustes und ebensowenig zur Ermittlung der wirk-  
lichen Rauchgasmenge; jener würde zu klein, diese zu gross  
erhalten.*

**Zusammenstellung der Ergebnisse bei Vorhandensein  
von Unverbranntem in der Asche, sowie Kohlenoxyd  
und Russ in den Heizgasen.**

Grössen- bezeichnung	Wert- bezeichnung	a) Verhältnisse ohne Berück- sichtigung des Einflusses von $C_A$ , $C_r$ und $C_z$ auf die Rauch- gasmenge	b) Verhältnisse mit Berücksich- tigung des Ein- flusses von $C_A$ , $C_r$ und $C_z$ auf die Rauchgas- menge Wirkl. Verhältnisse
Verhältnis der zugeführt. zu der theoretisch erforderlichen Luftmenge	$\varphi =$	—	2,31
In der Asche u. Schlacke ent- haltener Koh- lenstoff pro 1kg Brennstoff	$C_A =$	kg	0,0155

Größenbezeichnung	Wertbezeichnung	a) Verhältnisse ohne Berücksichtigung des Einflusses von $C^A$ , $rC$ und $C^z$ auf die Rauchgasmenge	b) Verhältnisse mit Berücksichtigung des Einflusses von $C^A$ , $C^r$ und $C^z$ auf die Rauchgasmenge Wirkl. Verhältnisse
Durch Russ für die Verbrennung verlorenen Kohlenstoff pro 1 kg Brennstoff	$C_r =$ kg	0,0347	0,0275
Durch Kohlenoxyd gebundener Kohlenstoff pro 1 kg d. Brennstoffes	$C_z =$ kg	0,112	0,088
Für die Verbrennung wirklich vorhandener Kohlenstoff pro 1 kg Brennstoff	$C_k =$ kg	0,44	0,469
Entstehendes Rauchgasvolumen	$G_v =$ cbm	13,9	11,0
Lediglich aus dem Kohlen säuregehalte berechneter Wärmeverlust	$Q_v =$ $\left\{ \begin{array}{l} W - E \\ \% \text{ von } H_w \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 1175 \\ 20,9 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 942 \\ 16,8 \end{array} \right.$
Wärmeverlust durch $C^A$ . . . $Q_A =$	$\left\{ \begin{array}{l} W - E \\ \% \text{ von } H_w \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 123 \\ 2,2 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 123 \\ 2,2 \end{array} \right.$
Wärmeverlust durch $C^z$ . . . $Q_z =$	$\left\{ \begin{array}{l} W - E \\ \% \text{ von } H_w \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 634 \\ 11,3 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 502 \\ 9,0 \end{array} \right.$
Wärmeverlust durch $C^r$ . . . $Q_r =$	$\left\{ \begin{array}{l} W - E \\ \% \text{ von } H_w \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 281 \\ 5,0 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 223 \\ 3,9 \end{array} \right.$
Gesamter Wärmeverlust $Q_g =$	$\left\{ \begin{array}{l} W - E \\ \% \text{ von } H_w \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 2213 \\ 39,4 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 1790 \\ 31,8 \end{array} \right.$

Auf Grund der vorstehend erhaltenen Ergebnisse wird nun die Frage entstehen, ob die Bestimmung des Kohlen säuregehaltes der Rauchgase allein von demjenigen Werte, wie dies für gewöhnlich angenommen und behauptet wird, sei. Im allgemeinen muss dies bejaht werden; denn es darf nicht vergessen werden, dass alle die angeführten Verluste, wie durch Unverbranntes in der Asche, Kohlenoxyd und

Russ, bei einer ordnungsgemäss und gut arbeitenden Feuerungsanlage nicht vorkommen sollen. Andererseits muss dem freilich entgegengehalten werden, dass wohl bei wenigen Feuerungen aller Kohlenstoff zu Kohlensäure verbrennt, sondern, dass ein gewisser, wenn auch nach Art und Bedienung der Feuerung sehr verschiedener Betrag desselben verloren geht. Immerhin muss jedoch im Auge behalten werden, dass dieser Betrag im allgemeinen nicht zu bedeutend ist, und dass für viele Fälle so genaue Rauchgasuntersuchungen, wie sie hier angenommen waren, nicht durchgeführt werden können — aus verschiedenen Gründen — so dass eben die Kenntnis des Kohlensäuregehaltes allein dasjenige Mittel bleibt, welches schnell und an Hand von guten, bequem zu handhabenden Apparaten einen meist richtigen Aufschluss über das Arbeiten einer Feuerungsanlage giebt.

## VI. Apparate zur Bestimmung der Kohlensäure.

### a) Allgemeines.

Für die Untersuchung der Rauchgase auf ihre Zusammensetzung müssen während der Zeit, während welcher die Güte der Feuerungsanlage ermittelt werden soll, Proben der Verbrennungsprodukte entnommen werden. Zu diesem Zwecke führt man durch die Umgrenzungsmauern der Feuerzüge an denjenigen Stellen, an welchen die Ermittlung stattfinden soll, Rohre aus Glas, Porzellan oder Eisen, welch letzteres jedoch weniger zu empfehlen ist, bis in das Innere der Rauchgaskanäle. Im allgemeinen lässt man die Rohrenden nach innen etwas vorstehen, doch ist dies, wenn die Entnahmestelle sehr nahe dem Feuer, etwa im ersten Zuge liegt, nicht zu empfehlen. Bei einer so hohen Temperatur, wie sie hier unter Umständen herrscht, ist es nicht ausgeschlossen, dass das ins Innere ragende Rohrende und mit ihm der in demselben abgelagerte Russ glühend wird, wodurch die Zusammensetzung der Rauchgase in der Art beeinflusst werden kann, dass sich Kohlenoxyd bildet. Hierdurch wird die durch das Rohr passierende Rauchgasmenge eine andere Zusammensetzung zeigen, als diejenige der wirklichen Verbrennungsgase. Es ist daher für solche Fälle besser, das Entnahmerohr, welches selbstverständlich sorgfältig in das Mauerwerk einzudichten ist und für Reinigung leicht zugänglich sein muss, mit dem Mauerwerk innen bündig abschneiden zu lassen.

Es kann nun nicht gleichgültig sein, an welcher Stelle man die Rauchgase entnimmt, da dieselben beispielsweise unmittelbar hinter dem Rost im allgemeinen eine andere Zusammensetzung aufweisen werden, als im Fuchs. Insbesondere wird dies bei solchen Anlagen zutreffend sein, bei welchen die Umschliessungswände der Feuerzüge ganz oder teilweise durch Mauerwerk gebildet werden, dessen Fugen wohl nicht immer so sorgfältig ausgeführt werden, dass sie für Luft undurchlässig sind. Hat man daher die Verbrennungsprodukte an zwei solchen von einander entfernt liegenden Entnahmestellen untersucht, so lässt sich aus den Resultaten beurteilen, wieviel atmosphärische Luft (falsche Luft) auf dem Wege von der einen zur anderen Stelle in die Heizgase übergetreten ist und es lässt sich hieraus der Wärmeverlust<sup>1)</sup> berechnen, welcher durch Eintritt der falschen, nicht zur Verbrennung erforderlich gewesen Luft herbeigeführt wurde; ferner ist man in der Lage aus dem Kohlensäuregehalte direkt hinter dem Feuer, wo also die Verbrennung eben beendet ist, den Luftüberschuss bei dieser selbst, festzustellen.

Bezeichnet z. B.  $K_v'$  den Kohlensäuregehalt an der Entnahmestelle I,  $K_v''$  denjenigen an der Entnahmestelle II, so würden die entsprechenden Wärmeverluste durch die Abgase angenähert sein

$$q_v' = 0,66 \frac{T' - t}{K_v'}$$

$$q_v'' = 0,66 \frac{T'' - t}{K_v''}$$

wenn  $T'$  resp.  $T''$  diejenige Temperaturdifferenz darstellt, welche entstanden wäre, wenn die Gase auch beim Verlassen des Kessels den an den Stellen I oder II ermittelten Kohlensäuregehalt aufgewiesen und sich nicht infolge von zuströmender kalter Luft, sondern nur infolge der Wärmeabgabe an den Kesselinhalt auf diese Temperatur abgekühlt hätten. Lag die Entnahmestelle am Ende des Kessels, so stellt die Grösse von  $Q_v''$  den Wärmeverlust durch die Abgase und die Temperatur  $T''$  die Abgastemperatur dar.

Der wahrscheinliche Wert der Temperatur  $T'$  würde, wenn keine Abkühlung durch hinzutretende kalte Luft eingetreten wäre, grösser ausgefallen sein, als die ermittelte Abgastemperatur  $T$ . Die rechnerische Ermittlung derselben dürfte wohl von untergeordneter Bedeutung sein und ist daher hier davon abgesehen. Roh angenähert würde man  $T'$  gleich der Abgastemperatur  $T$  setzen können, so dass man also erhält:

<sup>1)</sup> In Prozent des Heizwertes.

$$q_{v'} = 0,66 \frac{T - t}{K_{v'}}$$

$$q_{v''} = 0,66 \frac{T - t}{K_{v''}}$$

demnach beträgt der Wärmeverlust, welcher durch hinzutretende falsche Luft entstanden ist, angenähert

$$q_{vf} = 0,66 \cdot (T - t) \left( \frac{1}{K_{v''}} - \frac{1}{K_{v'}} \right)$$

Würde z. B. ermittelt:  $K_{v'} = 13^0/0$ ,  $K_{v''} = 8^0/0$  (am Ende des Kessels), sowie  $T - t = 250^0/0$ , so würde sein

$$q_{vf} = 0,66 \cdot 250 \cdot \left( \frac{1}{8} - \frac{1}{13} \right)$$

$$q_{vf} = \infty 7,9^0/0 \text{ des Heizwertes.}$$

Man sieht hieraus, welch grosser Wert auf eine gute Einmauerung der Dampfkessel zu legen ist.

Die Entnahme der Verbrennungsprodukte kann nun entweder kontinuierlich oder zeitweise geschehen und hiernach unterscheidet man die Apparate in solche, welche den Kohlensäuregehalt fortlaufend und in solche, welche denselben nur nach jedesmaliger Füllung in gewissen Zeitabschnitten festzustellen gestatten.

Die ersteren gründen sich auf die Gewichtszunahme der Volumeneinheit durch die entstehende Kohlensäure, die letzteren auf die Absorption der Kohlensäure oder anderer Gasarten durch bestimmte Absorptionsmittel.

Es muss nun ohne weiteres anerkannt werden, dass eine fortlaufende Orientierung über die Höhe des Kohlensäuregehaltes ein weit genaueres Bild von dem Arbeiten einer Feuerung giebt — vorausgesetzt, dass die Angaben an und für sich genau sind — als wenn nur eine zeitweise Feststellung möglich ist, bei welchem letzteren Verfahren man nicht immer die Gewissheit hat, einen wirklichen Mittelwert zu erhalten. Der Wunsch, jeden Augenblick die Höhe des Kohlensäuregehaltes feststellen zu können, um durch das erhaltene Resultat eine Handhabe zu besitzen, durch entsprechende Bedienung des Feuers und überhaupt der Anlage, auf die Höhe des Kohlensäuregehaltes und damit auf die Güte der Verbrennung einwirken zu können, führte zur Konstruktion verschiedener derartiger Apparate. Dieselben gestatten, durch einen Zeiger oder dergleichen auch einem Nichtfachmanne den Kohlensäuregehalt, welcher vollständig selbstthätig angezeigt wird, jederzeit abzulesen. So kann sich auch der Heizer durch einen Blick auf den Apparat von

dem Stande des Feuers und dem Arbeiten seiner Anlage überzeugen und es ist ihm mithin die Möglichkeit gegeben, bei sinkendem Kohlensäuregehalte die entsprechenden Vorkehrungen zu treffen, um denselben wieder zu heben.

Ferner ist es durch besondere Vorrichtungen bei derartigen Apparaten möglich, den Kohlensäuregehalt selbstthätig aufzuzeichnen, so dass man hierdurch in der Lage ist, die Thätigkeit des Heizers zu kontrollieren, auch ohne dass letzterer persönlich überwacht zu werden braucht.

Es muss nun bemerkt werden, dass Apparate, wie sie hier ins Auge gefasst sind, verhältnismässig hohe Anlagekosten erfordern, und dass auch die Anbringung selbst mit ziemlichen Zeitverlusten verknüpft ist, so dass dieselben nur da am Platze sein können, wo man die Absicht hat, sie *andauernd* zu verwenden. Durch die unter Umständen ziemlich lange Zuleitung und durch die meist grosse Kompliziertheit derartigen Apparate kann ferner die Genauigkeit der Angaben nicht unwesentlich leiden.

Handelt es sich daher darum, den Kohlensäuregehalt möglichst genau und nur während einer gewissen Zeit zu bestimmen, so sind Apparate für kontinuierliche Anzeige nicht am Platze und man wird dann vorteilhaft zu der zweiten Art übergehen. Da diese jedoch den Kohlensäuregehalt nur in gewissen Zeitabschnitten anzeigen, so musste man bestrebt sein, den Vorteil grösserer Genauigkeit mit demjenigen kontinuierlicher Angabe — neben bequemer Transportfähigkeit des Apparates — zu vereinigen. Zur Erreichung dieses Zieles führen zwei Wege:

Entweder saugt man während der ganzen Versuchszeit ein kontinuierliches Gasvolumen in einen oder mehrere genügend grosse Behälter und untersucht diese Rauchgasmenge erst später im Laboratorium; oder man benützt mehrere einzelne Apparate, so dass immer einer derselben zur Untersuchung steht, während ein anderer gefüllt wird. Welches von beiden Verfahren anzuwenden ist, dürfte sich aus den einzelnen Fällen wohl von selbst ergeben.

Für Untersuchungen, bei welchen es nicht auf äusserste Genauigkeit ankommt, und für welche ausgedehnte Hilfsmittel und Hilfskräfte nicht zur Verfügung stehen, genügt es, wenn die Rauchgase in gewissen, möglichst kurz zu wählenden Zeitabschnitten untersucht werden, da sich ja immerhin die Zusammensetzung der Rauchgase nicht allzu rasch ändert. Um den Mittelwert aus den Untersuchungen zu erhalten, würden sämtliche Werte zu addieren und die Summe durch die Anzahl zu dividieren sein. Derartige Apparate können natürlich nur in der Hand Sachkundiger zur Ermittlung des Kohlensäuregehaltes dienen.

Im nachstehenden möge nun eine Uebersicht über die zur Bestimmung der Kohlensäure der Heizgase benutzten und in der Praxis schon zum Teil zur Einführung gebrachten Apparate folgen. Eingeteilt wurden dieselben hier darnach, ob sie das Gewichtsverhältnis ( $K_g$ ) oder das Volumenverhältnis ( $K_v$ ) der Kohlensäure zu den Heizgasen direkt messen. In beiden Fällen zeigt jedoch der Apparat den Kohlensäuregehalt in Volumenprozenten an, da die Skala der ersteren Art ebenfalls dementsprechend festgestellt und eingeteilt wurde.

**b) Apparate, auf der Gewichtszunahme der Rauchgase durch die Kohlensäure beruhend.**

Bei diesen Apparaten wird ein kontinuierlicher Strom Verbrennungsprodukte durch den Apparat geleitet und die Gewichtszunahme der im Apparate eingeschlossenen Rauchgasmenge gegenüber derselben Menge gewöhnlicher atmosphärischer Luft bestimmt. Man ist mithin in der Lage, jeden Augenblick den Gehalt der Gase an Kohlensäure abzulesen.

Werden die Volumina der Rauchgase resp. der Luft, die gegeneinander verglichen werden sollen und welche der Einfachheit wegen stets als gleich angenommen werden, mit  $v$  bezeichnet, bedeuten ferner  $s_L$  und  $s_G$  die spezifischen Gewichte der Luft und der Abgase, so ist das Gewicht der Luft

$$g_L = v \cdot s_L$$

dasjenige der Gase

$$g_G = v \cdot s_G$$

mithin beträgt die Gewichts Differenz bei 0° C.

$$g_D = v (s_G - s_L)$$

Da die Luft immer die Temperatur im Kesselhause hat, die verhältnismässig wenig schwankt, so kann  $s_L$  als gleichbleibend vorausgesetzt werden.

Das spezifische Gewicht der Abgase beträgt bei 0°  $\frac{G_g}{G_v}$ , bei  $t^0$  dagegen

$$s_g' = \frac{G_g}{G_v \frac{273 + t}{273}}$$

Demnach beträgt die Gewichts Differenz bei  $t^0$

$$g_D' = v \left( \frac{G_g}{G_v \frac{273 + t}{273}} - s_L \right)$$

Es betrug nun

$$G_g = 3,667 C + O_e (4,31 \cdot \varphi - 1)$$

und

$$G_v = \frac{1,854 C}{K_v}$$

Mit diesen Werten wird

$$g_{D'} = v \left( \frac{[3,667 \cdot C + O_e \cdot (4,31 \varphi - 1)] K_v}{1,854 \cdot C \cdot \frac{273 + t}{273}} - s_L \right)$$

Hieraus ergibt sich

$$K_v = \frac{(g_{D'} + v \cdot s_L) \cdot 1,854 C \cdot \frac{273 + t}{273}}{[3,667 C + O_e (4,31 \varphi - 1)] \cdot v}$$

Die Gewichts­differenz  $g_{D'}$  würde abhängig sein ausser von dem Volumen  $v$ , von der Zusammensetzung des betreffenden Brennstoffes, von dem Verhältnis  $\varphi$ , sowie von der Temperatur  $t$  der Rauchgase, welche in den Apparat eintreten.

Da auf diese Temperatur bei den Messungen an sich keine Rücksicht genommen wird, die Messskala des Apparates vielmehr nur für eine bestimmte Temperatur gilt, so liegt hierin ohne Zweifel eine Fehlerquelle. Um hieraus sich ergebende Fehler zu vermeiden, ist es daher erforderlich, die Gase mit möglichst niedriger Temperatur in den Apparat treten zu lassen, sowie letzteren vor Wärmestrahlen zu schützen. Die Apparate dürfen also nicht zu nahe dem Kessel hängen und ebenso dürfen sie Sonnenstrahlen nicht ausgesetzt sein.

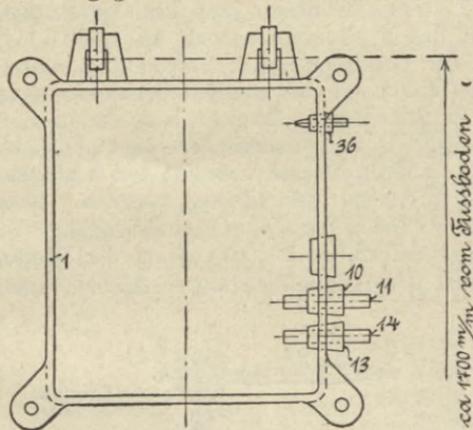
### 1. Die Arndtsche Gaswage.<sup>1)</sup>

Die *Arndtsche* Gaswage oder das Oekonometer besteht zunächst aus dem Oekonometergehäuse 1 (Fig. 3), welches an einem gut belichteten Orte so aufgehängt werden soll, dass es vom Heizerstande aus gut sichtbar, sowie vor direkter Wärmestrahlung der Feuerung und auch vor direkter Einwirkung der Sonnenstrahlen geschützt ist. Selbstverständlich muss die Aufhängung eine entsprechend solide sein.

Der Hauptteil des Apparates ist die eigentliche Wage, welche aus dem Wagebalken 2 (Fig. 4), dem Wiegegefäss 3 und dem Kompensationsgefäss 4 besteht. Diese beiden Gefässe, welche in unbelastetem Zustande genau gleich schwer sein müssen, sind mittels empfindlicher Pfannen und Schneiden

<sup>1)</sup> Hergestellt von der Firma: *Wve. Joh. Schumacher*, Köln

an dem Wagebalken aufgehängt. Das untere offene Ende des Wiegegefäßes 3 ist in einen Hals 5 ausgezogen und kann



sich frei in dem Glasstutzen 6 bewegen, welcher auf dem Brettchen 7 aufsitzt und den seitlichen kleinen Stutzen 8 besitzt. Ueber letzteren ist der Schlauch 9 gestülpt und durch diesen steht Stutzen 8 mit der Gasableitung in Verbindung, die weiter durch eine mittels Kautschukpfropfens 10 in der Gehäusewand eingedichtete

Fig. 3.

Oekonometergehäuse zur Gaswage von Arndt.

Glasröhre 11 hergestellt wird (Fig. 3).

In den Glasstutzen 6 ist das Steigrohr 12 eingeschmolzen, welches am oberen Ende mit einer kugelförmigen Erweiterung

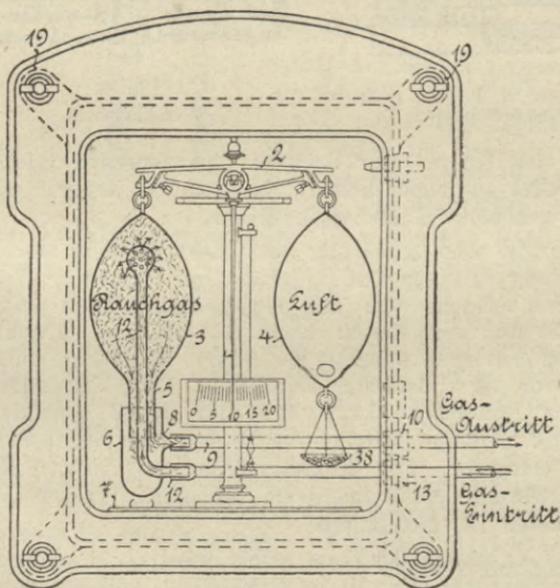


Fig. 4.

Arndts Rauchgaswage.

versehen ist und in das Innere des Wiegegefäßes hineinragt.

An dem Umfange der Erweiterung befinden sich kleine Öffnungen, durch welche das Gas austreten kann.

Das Steigrohr 12 steht am unteren, aus dem Glasstutzen herausragenden Ende durch Gummischlauch 13 und Glasrohr 14 (Fig. 3) mit der Gaszuleitung in Verbindung. Diese letztere wird ebenfalls durch ein mittels Kautschukpfropfens in die Gehäusewand eingedichtetes Glasrohr hergestellt.

Um den ganzen Apparat und insbesondere die eigentliche Wage vor Staub und anderen Beeinflussungen zu schützen, muss das Gehäuse entsprechend verschlossen werden. Dies geschieht mittels der Glasscheibe 16, Gummidichtung 17, Deckel 18 (Fig. 5) und Schrauben 19 (Fig. 4) in der Weise, dass der schmälere Teil der Gummidichtung zwischen Glas-

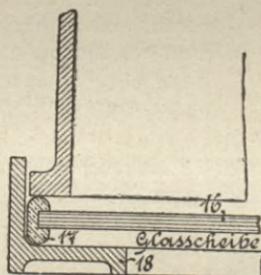


Fig. 5.  
Kastenverschluss.

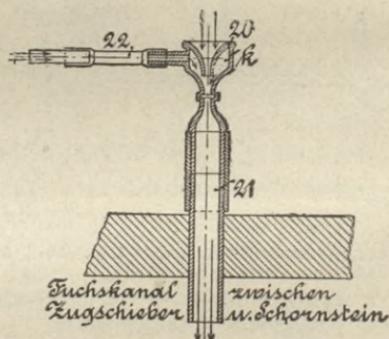


Fig. 6.  
Strahlapparat.

scheibe und Kasten, der breitere Teil zwischen Glasscheibe und Deckel zu liegen kommt, da letzterer weniger eben ist, als die gehobelte Kastenschlussfläche.

Die Zu- und Ableitung der Gase geschieht durch eine Rohrleitung aus sorgfältig gerade gerichteten,  $\frac{1}{4}$ " weiten Gasrohren, welche von den Gasentnahmestellen nach dem Apparate und von diesem nach dem Fuchse zurückführen. Vor dem Verlegen müssen die Rohre sorgfältig untersucht werden; ob sie vollständig rein sind. Die Verbindung der einzelnen Rohrstücke kann entweder durch sorgfältig mit Hanf und Mennige abgedichtete Muffen, oder durch Schlauchstücke erfolgen. Die Rohre müssen mit etwas Neigung verlegt werden, damit dem sich bildenden Wasser Gelegenheit geboten ist, abzulaufen.

Das Ansaugen der Gase selbst wird durch einen kleinen Luftstrahlapparat (Fig. 6) bewerkstelligt, welcher durch den natürlichen Kesselzug selbst bethätigt wird, indem durch die Düse 20 und das  $\frac{3}{4}$  Zoll weite Rohr 21 ein kontinuierlicher Luftstrom infolge der Zugwirkung des Schornsteines

streicht, welche seinerseits wieder eine saugende Wirkung auf die Gase im Ableitungsrohr 22 ausübt, welches letzteres nach dem Apparate führt. Die saugende Wirkung im Rohr 22 wird dadurch hervorgerufen, dass infolge des durch die Düse 20 gehenden Luftstrahles in der Kammer *k* eine Luftverdünnung erzeugt wird, welche bewirkt, dass die Rauchgase in ununterbrochenem Strome zirkulieren.

Zur weiteren Vervollständigung und zum ordnungsgemässen Arbeiten des Apparates sind in das Gaszuströmrohr noch verschiedene kleine Neben-Apparate eingeschaltet.

Kurz vor der Vereinigung der beiden nach zwei verschiedenen Gasentnahmestellen führenden Rohre 23 und 24 (Fig. 7), deren Verbindung durch das U-Stück 25 hergestellt

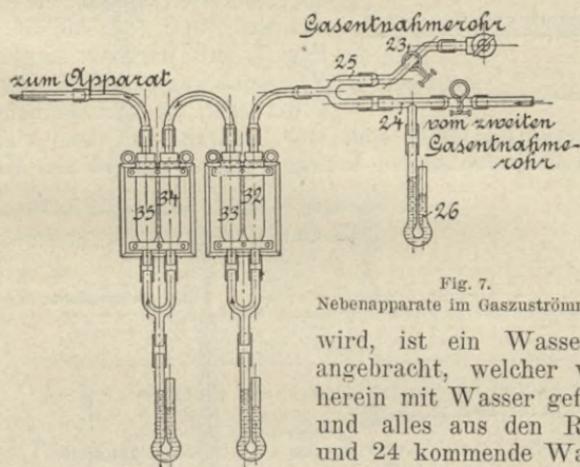


Fig. 7.  
Nebenapparate im Gaszuströmrohr.

wird, ist ein Wassersack 26 angebracht, welcher von vornherein mit Wasser gefüllt wird und alles aus den Rohren 23 und 24 kommende Wasser aufnimmt und überlaufen lässt.

Das Gasentnahmerohr selbst ist durch Fig. 8 dargestellt und besteht aus einem  $\frac{3}{4}$  Zoll weiten Rohrstück 27, welches am besten aus Glas oder Porzellan besteht. Um dasselbe zeitweise von Russ und Flugasche reinigen zu können, erhält es am oberen herausragenden Ende einen abnehmbaren Verschlussstopfen 28. Die Verbindung zwischen Entnahmerohr und Gaszuleitung geschieht durch Muffe 29, in welche der Verschlussstopfen 28 mittels Kautschukringes 30 eingedichtet ist. Auf dichtes Einsetzen des Stopfens 28 und des Gasentnahmerohres in das Mauerwerk mittels Lehm oder dergl. ist besonders zu achten. Die Entnahmeröhren müssen ferner soweit in die Feuerzüge eingeführt werden — mit Ausnahme der unmittelbar hinter dem Feuer befindlichen —, dass die Rohrmündung möglichst mitten im Gasstrom liegt (vergl. Fig. 8 und 9); keinesfalls dürfen die Röhren an einer Stelle angebracht werden, an welcher die Ablagerung von Flugasche zu befürchten ist.

Bei dem Gasentnahmerohr 31 (Fig. 9) am Kesselende resp. im Fuchs, ist darauf zu achten, dass infolge der Schieberstellung der Gasstrom vor dem Schieber — wenn dieser nahezu geschlossen ist — eine Richtung nach abwärts annimmt; man führt deshalb dieses Rohr in einer entsprechenden Entfernung *E* vom Schieber *S*, in den Fuchs ein.

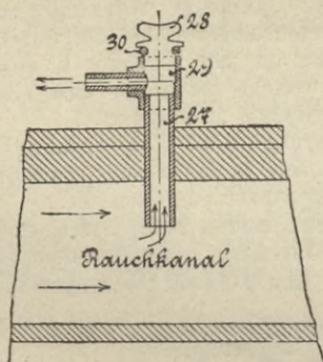


Fig. 8.  
Gasentnahmerohr.

Um alle Unreinigkeiten und etwa noch in den Rauchgasen enthaltenes Wasser aus denselben zu entfernen, müssen die Gase mehrere Filter (32, 33, 34, 35, Fig. 7) mit darunter liegenden Wassersäcken passieren. In den Filtern 32, 33 und 34 befindet

sich lose Watte (vergl. Fig. 10), während in dem vierten Filter 35 Chlorcalcium in Stücken von 10 bis 15 mm Korn-

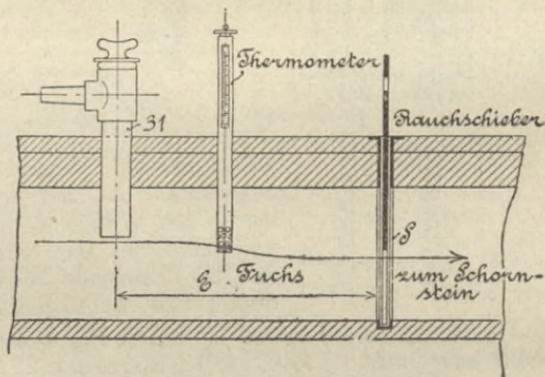


Fig. 9.  
Anordnung des Gasentnahmerohres im Fuchs.

größe eingebracht wird und dazu dient, alles in den Gasen etwa noch enthaltene Wasser aufzunehmen und festzuhalten.

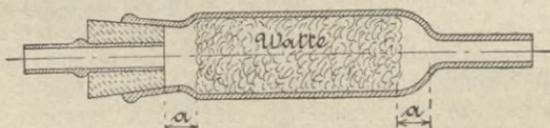


Fig. 10.  
Wattefilter.

Die Watte in den Filtern 32, 33 und 34 sowohl als auch das Chlorcalcium müssen von Zeit zu Zeit erneuert werden.

Eine wesentliche Bedingung für richtiges Funktionieren der Gaswage ist das Vorhandensein von reiner atmosphärischer Luft im Oekonometerkasten. Um dies zu erreichen, ist rechts oben im Kasten eine Oeffnung vorgesehen, welche mittels des Kautschukpfropfens 36 verschlossen ist (Fig. 11). Letzterer ist durchbohrt und in der Oeffnung befindet sich eine mit der Spitze nach innen gekehrte, teilweise mit Watte gefüllte Glasdüse. Durch dieselbe strömt beim Funktionieren des Apparates immer eine geringe Menge Luft, welche mit den Heizgasen durch Stutzen 10 wieder abgesogen wird und mithin ein Uebertreten von Heizgasen in den Oekonometerraum verhindert.

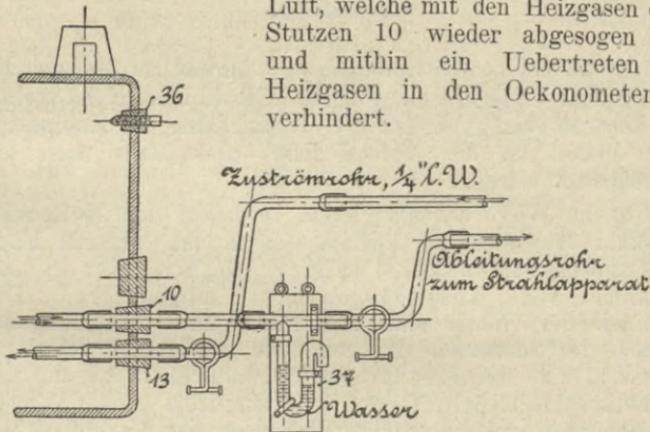


Fig. 11.

Neben Dichtheit der Gaszuleitung ist ferner ein Haupterfordernis für ein richtiges Anzeigen des Apparates, dass die Rauchgase mit nicht zu grosser Geschwindigkeit durch die Leitungen gehen, d. h. dass sie langsam in das Wiegegefäss eintreten, also keine blasende Wirkung auf dasselbe ausüben. Es ist dies sehr einfach dadurch kontrollierbar, dass man gewöhnliche Luft durch den Apparat saugt, indem man die Leitung etwa an dem U-Rohr 25 (Fig. 7) unterbricht und dass sich dann der Zeiger der Wage auf den Nullpunkt der Skala einstellen muss.

Ist dies nicht der Fall, so ist die Geschwindigkeit des zuströmenden Gases zu gross und muss dann ein künstlicher Leitungswiderstand in das Gaszuleitungsrohr eingeschaltet werden. Hierzu setzt man an beliebigen Stellen eine entsprechende Anzahl düsenartig zugespitzter Glasröhrchen und zwar mit der Spitze gegen den Gasstrom, in die Absaugleitung ein (Fig. 12), bis der Zeiger sowohl bei Nichtbetrieb des Gebläses, als auch wenn dasselbe nur gewöhnliche Luft saugt, ruhig auf dem Nullpunkt stehen bleibt.

Zur Untersuchung auf Dichtheit der Gasleitung dient der Zugmesser 37 (Fig. 11) in der Weise, dass man die

Lufteinlassdüse 36 mit dem Finger schliesst und die Schläuche dicht bei den Entnahmeröhren 23 bzw. 24 (Fig. 7) mittels der vorgesehenen Quetschhähne abquetscht, sowie ebenso

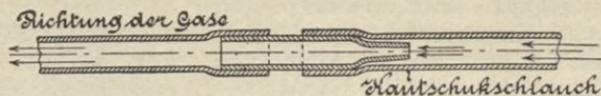


Fig. 12.  
Widerstandsdüse.

Schlauch 22 bei dem Strahlapparat, während im übrigen die Leitung ohne Unterbrechung bleibt. Sobald hierauf die vorher vom Schornsteinzug angesaugte Wassersäule im Zugmesser stehen bleibt, ist die Anlage dicht; andernfalls muss sie nachgedichtet werden.

Um die Wage ausbalancieren, resp. auf den Nullpunkt der Skala einstellen zu können, ist an dem unteren Ende des Kompensationskörpers 4 (Fig. 4) ein Schälchen 38 zur Aufnahme von Ausgleichsgewichten aufgehängt. Die Schneiden der Wage sind aus Stahl und vergoldet, die Pfannen der Schneiden dagegen sind aus Achat gefertigt, um sowohl eine möglichst grosse Empfindlichkeit in bezug auf Gewichtsunterschiede, als auch eine möglichst grosse Widerstandsfähigkeit gegenüber den Einflüssen der Rauchgase zu erhalten.

Die Wirkungsweise des Apparates dürfte nach dem vorstehenden unschwer zu erkennen sein. Da das Wiegegefäß 3 (Fig. 4) an dem Wagebalken gut ausbalanciert ist, so wird dasselbe, da es rings von reiner atmosphärischer Luft umgeben ist, einen Auftrieb erleiden oder es wird sinken, je nachdem ein leichteres oder schwereres Gas in das Gefäß strömt. Die im Wiegegefäße eingeschlossene und durch dasselbe zirkulierende Rauchgasmenge ist nun stets schwerer als das nahezu gleich grosse Volumen<sup>1)</sup> atmosphärischer Luft, welches es umgibt und diese Gewichts-differenz wird sich durch Sinken des Gefäßes anzeigen. Da hier ein und dasselbe Gefäß zum Abwiegen beider in Vergleich zu ziehender Volumina benutzt wird, so kann das Kompensationsgefäß von beliebiger Gestalt sein; in der That werden diese Kompensationskörper neuerdings aus einem massiven Glasstabe hergestellt.

<sup>1)</sup> Wird die Wandstärke des Wiegegefäßes berücksichtigt, so ergibt sich für die atmosphärische Luft ein dieser Stärke entsprechendes grösseres Volumen. Kompensiert scheint dieser Fehler dadurch zu werden, dass im Innern des Apparates eine gewisse Luftverdünnung hergestellt werden kann.

Wie man aus der Beschreibung des Apparates ferner ersieht, müssen — wie dies allerdings bei anderen Apparaten, welche gleichfalls das Gewicht der Heizgase zur Kohlensäurebestimmung verwenden — eine ganze Reihe Bedingungen erfüllt sein, wenn der Apparat den thatsächlichen Verhältnissen entsprechende Angaben liefern soll. Es lässt sich daher sagen, dass diese und ähnliche Vorrichtungen wohl da angebracht sind, wo dieselben sorgfältig behandelt und äusserst sauber instand gehalten werden. Sie werden aber in diesem Falle ihren Zweck auch erfüllen. In Betrieben jedoch, in welchen diesen Bedingungen nicht entsprochen werden kann, dürfte der Apparat, so sinnreich derselbe auch ausgedacht sein mag, nicht angebracht erscheinen. Dies wird natürlich für alle derartigen Apparate zutreffen.

Die Angaben werden im übrigen, wie bei allen auf gleicher Basis beruhenden Vorrichtungen, bei stark schwefelhaltiger Kohle durch das Vorhandensein des mit ziemlich grossem spezifischen Gewichte behafteten Schwefeldioxyds etwas zu gross ausfallen.

Der Apparat in der vorbeschriebenen Konstruktion zeigt den Kohlensäuregehalt wohl fortlaufend an, die Angaben müssten jedoch, wenn man ein Bild des gesamten Verlaufes haben wollte, in kurzen Zeitabschnitten einzeln niedergeschrieben werden. In den meisten Fällen, z. B. zur Beurteilung der Thätigkeit des Heizers genügt es jedoch, wenn man Aufschluss über den Durchschnittskohlensäuregehalt während einiger Stunden erhält und diese Probe beliebig oft wiederholen kann. Diesem Zwecke soll das sogen. *Rauchgasmischgefäss* dienen, welches den Wert der Rauchgaswage wesentlich erhöht. Mit Hilfe dieses Rauchgasmischgefässes können seitens des aufsichtführenden Beamten in gewissen Zeitabschnitten Aufzeichnungen über die durch einen bestimmten Heizer erzielten Feuerungsergebnisse gewonnen werden, welche Feststellung ferner noch den Wert hat, dass der Heizer sich unter steter Kontrolle weiss und daher bemüht bleibt, mit Hilfe des Oekonometers nur beste Resultate zu erzielen. Einen weiteren Nutzen bietet das Rauchgasmischgefäss in Verbindung mit einem zweiten Strahlapparat dadurch, dass durch die Wirkung des letzteren etwa die doppelte Menge Rauchgase gegen sonst bis in die unmittelbare Nähe des Oekonometers gesaugt wird. Die Gase gehen deshalb mit doppelter Geschwindigkeit bis fast zum Apparate, wodurch ein ungefähr doppelt so rasches Anzeigen aller Aenderungen in der Feuerung erzielt wird.

Die allgemeine Gestaltung des Rauchgasmischgefässes geht bei seiner Einfachheit ohne weiteres aus Fig. 13 hervor. Der Apparat wird mit den Schlauchstutzen *g* und *h* am besten unmittelbar unter der Gaswage in die Leitung zu

dieser eingeschaltet, so dass die Gase bei geöffnetem Hahn *b* direkt zur Wage gehen. Es ist bei Anbringung des Mischgefäßes erforderlich, einen zweiten Strahlapparat anzuwenden, welcher durch Rohrleitung mit dem Schlauchstutzen *i* in Verbindung gesetzt wird. Dieser zweite Strahlapparat *B* saugt bei geöffneten Hähnen *a* und *d* und bei geschlossenem Hahn *c* eine gewisse Menge Gase durch den ca. 20 l fassenden Sammelbehälter *A*, welcher sich in etwa 1 bis 2 Stunden füllt. Die Gase mischen sich darin vollständig und stellen den Durchschnitt während der angegebenen Zeit dar. Der direkte Gasdurchgang zum Oekonometer und das Sammeln im Behälter findet also, wenn alle Hähne ausser *c* geöffnet werden, gleichzeitig statt.

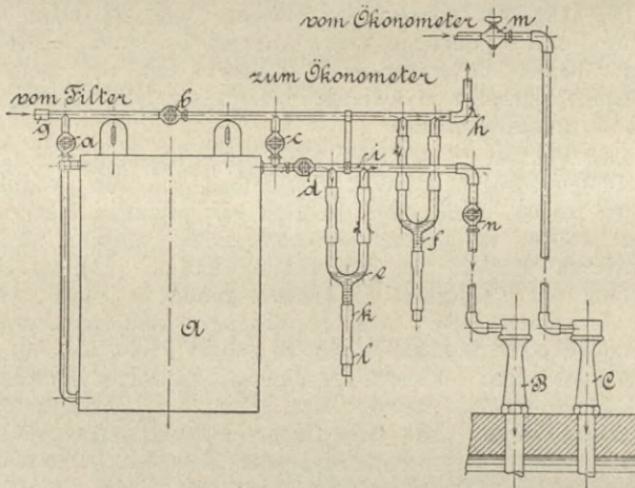


Fig. 13.

Kann man nun bei der erstmaligen Ingebrauchnahme nach etwa zwei Stunden annehmen, dass alle Luft aus dem Behälter entfernt ist, so braucht man nur, um den Durchschnittskohlensäuregehalt zu ermitteln, die Hähne *b* und *d* zu schliessen und *c* zu öffnen, wodurch der direkte Durchgang gesperrt wird und nur noch Gase aus dem Sammelbehälter zum Oekonometer gelangen können. Das letztere zeigt den Durchschnittsgehalt dann nach 1 bis 2 Minuten an.

Zur Beobachtung des Gasdurchganges sind am Sammelgefäß Schauglasröhrchen *e* und *f* angebracht, welche, wie in Fig. 13 angedeutet, mit einem dünnflüssigen Oel zu füllen sind. An der unteren Schlauchverbindung giesst man erst etwas Wasser ein, da Oel den Gummi angreift. Der Oelspiegel ist durch Verschieben des Glasstabes *l* im Schlauch *k*

einstellbar und entsprechend der Figur zu justieren, so dass alle Gase den Oelspiegel passieren müssen; etwa 60 bis 100 Blasen in der Minute entsprechen dem richtigen Durchgang. Die Regulierung erfolgt durch die Drosselhähnen *m* und *n*, doch ist darauf zu achten, dass die Wage nicht durch zu starke Strömung beeinflusst wird (vergl. weiter oben). Hat man sich von dem richtigen Gasdurchgang vergewissert, so kann man durch Herabziehen des Glasstabes *l* den Durchgang ganz freigeben. Das Oel kann event. durch Glycerin ersetzt werden, welches weniger rasch verdunstet, sich aber leicht verdickt und dann den Gasdurchgang erschwert.

## 2. Die Gaswage von *Custodis*.<sup>1)</sup>

Auf ähnlichem Prinzipie wie die *Arndtsche* Gaswage beruht diejenige von *A. Custodis*. Letztere besteht aus einem gusseisernen Gehäuse (Fig. 14, Taf.), welches vorn durch zwei mit Glasscheiben versehene Deckel verschlossen ist. In dem Gehäuse befinden sich drei von einander getrennte Kammern. In der oberen Kammer befindet sich ein mit grösster Genauigkeit hergestellter Wagebalken, welcher mit seiner mittleren Schneide auf einer an der Rückwand des Gehäuses befestigten Pfanne balanciert. An den beiden äusseren Schneiden des Wagebalkens sind in Gehängen Drähte aufgehängt, welche durch die Decken der beiden unteren Kammern hindurchgehen, und an ihrem unteren Ende zwei Glaskugeln *r* und *l* von genau gleichen Volumen so tragen, dass diese frei in den Kammern schweben.

Wenn die drei Kammern mit atmosphärischer Luft gefüllt sind, zeigt ein am Wagebalken befestigter Zeiger auf Null einer Skala; die letztere ist mittels einer von der Aussen- seite des oberen Gehäuses drehbaren Spindel verstellbar angeordnet, so dass eine Einstellung des Zeigers erfolgen kann, ohne dass die Deckel geöffnet werden.

Durch die rechte untere Kammer können nun durch den unteren Boden (siehe Fig. 15, Taf.) Rauchgase gesogen werden und die Kugel *r* wird einen, der Höhe des Kohlensäuregehaltes dieser Gase entsprechenden Auftrieb erfahren. Dieser letztere überträgt sich auf den Wagebalken und Zeiger, so dass letzterer den Kohlensäuregehalt der Gase, wenn die Skala dementsprechend eingeteilt wurde, an dieser unmittelbar anzeigen wird. Es wird dies, da die Rauchgase die untere Kammer in ununterbrochenem Strome durchstreichen, stetig der Fall sein, und es lässt sich daher jede Schwankung im Kohlensäuregehalte sofort ablesen; man kann mithin die Feurung dementsprechend bedienen.

<sup>1)</sup> Ausgeführt von *Alphons Custodis*, Düsseldorf.

Barometer- und Temperaturschwankungen der Aussenluft haben keinen Einfluss auf die Richtigkeit der Angaben, da die beiden Kugeln genau gleiches Volumen haben und infolgedessen durch derartige Schwankungen in gleicher Weise beeinflusst werden, so dass sich die Einflüsse gegenseitig aufheben. Dagegen ist zu bemerken, dass selbstverständlich die Temperatur der in die Kammer tretenden Rauchgase von wesentlichem Einflusse auf die Richtigkeit der Angaben sein kann; es ist daher Bedingung, dass die Rauchgase mit annähernd der Aussenluft gleicher Temperatur in den Apparat gelangen.

Die mittels der chemischen Analysen vielfachen angestellten Gegenproben sollen stets in Uebereinstimmung mit den Angaben des Apparates gestanden haben.

Um stete Kontrolle über die Thätigkeit des Heizers ausüben zu können, ohne dass derselbe unmittelbar beaufsichtigt wird, werden die Apparate mit einer Schreibvorrichtung zur selbstthätigen Aufzeichnung des Kohlensäuregehaltes in gewissen Zeitabschnitten, versehen.

Zur Aufnahme dieser Vorrichtung ist über der oberen Kammer ein weiteres Gehäuse angebracht (Fig. 15, Taf.). Der Zeiger hat nach oben eine Verlängerung erhalten, welche in dieses Gehäuse hineinragt und an der Spitze mit einem Schreibstift versehen ist. Mittels eines durch ein Uhrwerk bethätigten Exzenters wird dieser Schreibstift in periodischen Zwischenräumen für einen Augenblick langsam, ohne dass Erschütterungen oder seitliche Schwankungen des Zeigers entstehen, an eine rotierende Papierrolle angedrückt und auf dieser die jeweilige Zeigerstellung in Form eines Diagramms markiert.

Durch entsprechende Umänderung dieser Vorrichtung ist es ferner möglich, den Apparat mit Fernregistrierung zu versehen. Es geschieht dies auf elektrischem Wege und ist zu diesem Zwecke die Zeigerverlängerung nicht mit Schreibstift versehen, sondern sie wird durch Umdrehung des Exzenters mit elektrischen Kontakten in Berührung gebracht; hierdurch wird die in beliebiger Entfernung aufgestellte Schreibvorrichtung (Fig. 16) in Thätigkeit gesetzt.

In welchem Masse durch sachgemässe Benutzung der Gaswage eine Verbesserung des Schürens und damit Erhöhung der Nutzwirkung des Kessels erzielt werden kann, möge z. B. aus nachstehender Tabelle hervorgehen, die seitens der Königlichen Berginspektion in Neunkirchen aufgestellt ist, und zwar auf Grund von Heizversuchen, welche mit und ohne Benutzung einer Gaswage durchgeführt wurden. Wie aus der Tabelle<sup>1)</sup> ersichtlich, sind die Dampfkosten in dem einen

<sup>1)</sup> Dem Prospekt der die Apparate ausführenden Firma entnommen; in der Tabelle sind dort für die Dampfkosten und erzielte

Falle von M. 1,09 auf 0,77, in dem anderen von M. 1,09 auf M. 0,84 für 1000 kg Dampf gefallen, wodurch im ersten Falle eine Ersparnis von 28,9 v. H., im letzteren eine solche von 23,3 v. H. erreicht wurde.

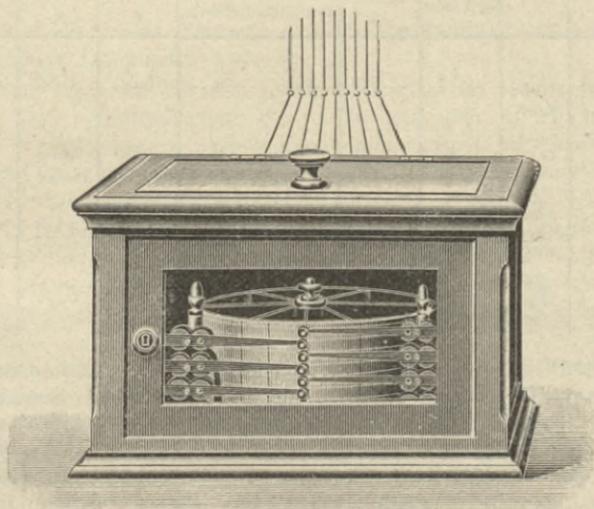


Fig. 16.  
Fernregistrierung zur Rauchgaswage von Custodis.

In Diagramm I—IV (Fig. 17—20, Taf.) seien schliesslich die während einer gewissen Zeit festgestellten Höhen des Kohlen- säuregehaltes gegeben und zwar stellen die Diagramme I und III den Verlauf ohne Rauchgaswage, Diagramme II und IV denjenigen mit Rauchgaswage dar. Die Höhe des  $CO_2$  Gehaltes ist ohne Anwendung des Apparates eine äusserst wechselnde (I und III), während sie bei Benutzung der Gaswage während der ganzen Versuchszeit auf annähernd

Ersparnis die eingeklammerten Zahlen angegeben, während ich bei Nachrechnung der Werte die über den eingeklammerten Zahlen stehenden Werte erhalten habe. Es dürfte daher wohl ein Rechen- fehler oder sonstiges Versehen vorliegen. Bezeichne  $z$  und  $k$  die Verdampfungsziffer und die Dampfkosten ohne Gaswage,  $z_1$  und  $k_1$  die entsprechenden Werte bei Anwendung des Apparates, so ist die Ersparnis entweder  $E = 100 \left(1 - \frac{z}{z_1}\right)$  oder  $E = 100 \left(1 - \frac{k_1}{k}\right)$  in Prozent. Hier also  $E = \left(1 - \frac{4,57}{6,42}\right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{0,77}{1,09}\right) \cdot 100 = 28,9$  v. H. im ersten und  $E = \left(1 - \frac{4,56}{5,94}\right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{0,84}{1,09}\right) \cdot 100 = 23,3$  v. H. im zweiten Falle. Vergl. des Verfassers Aufsatz in Dingl. Journal 1901 S. 230 u. ff.

Kessel-System	Art des Versuchs	Verdampfung für 1 kg Kohle kg Wasser	Verdampfung für die Stunde und qm Heizfläche kg	Kohlenverbrauch		Kohlenpreis für 1000 kg M.	Dampfpreis für 1000 kg M.	Ersparnis v. H.
				für den qm Heizfläche	für den qm Rostfläche			
Steinmüller-Kessel	ohne Gaswage	4,57	7,70	1,68	64	5,00	1,09	—
	mit Gaswage	6,42	13,36	2,05	79,2	5,00	0,77 (0,84)	28,9 (23,0)
Cornwall-Kessel	ohne Gaswage	4,56	12,46	2,70	73,7	5,00	1,09 (1,06)	—
	mit Gaswage	5,94	18,70	3,10	85,6	5,00	0,84	23,3 (20,7)

derselben Höhe verbleibt. Zu bemerken ist noch, dass bei Diagramm I Zweifel darüber nicht unberechtigt erscheinen, ob der Kohlensäuregehalt an einzelnen Stellen nicht durch andere Beimengungen der Rauchgase, etwa schweflige Säure, beeinflusst wurde, denn an einer Stelle erhält der Kohlensäuregehalt einen Wert (15,7 v. H.), wie er in der Praxis wohl nur in äusserst seltenen Fällen erreicht werden dürfte.

Vergleicht man die mit und ohne Apparat an denselben Kesseln erhaltenen Diagramme (I und II, III und IV), so ergeben sich die Wärmeverluste, welche in den einzelnen Fällen durch die Abgase herbeigeführt wurden, wenn sich der mittlere Kohlensäuregehalt bestimmt für

$$I = 9,8 \text{ v. H.}$$

$$II = 10,2 \text{ „}$$

$$III = 8,2 \text{ „}$$

$$IV = 12,8 \text{ „}$$

und wenn man ferner den Temperaturunterschied  $T - t$  in allen Fällen zu  $250^{\circ}$  annimmt, zu etwa:

$$q_I = \frac{250}{9,8} \cdot 0,66 = 16,8 \text{ v. H. des Heizwertes}$$

$$q_{II} = \frac{250}{10,2} \cdot 0,66 = 16,1 \text{ v. H. des Heizwertes}$$

$$q_{III} = \frac{250}{8,2} \cdot 0,66 = 20,1 \text{ v. H. des Heizwertes}$$

$$q_{IV} = \frac{250}{12,8} \cdot 0,66 = 12,9 \text{ v. H. des Heizwertes}$$

Der Unterschied würde im ersten Falle  $q_I - q_{II} = 16,8 - 16,1 = 0,7$  v. H., im zweiten Falle  $q_{III} - q_{IV} = 20,1 - 12,9 = 7,2$  v. H. des Heizwertes betragen, wenn in allen

Fällen Kohlen gleicher Beschaffenheit verfeuert wurden, ihr Heizwert also als gleich vorausgesetzt werden kann.<sup>1)</sup>

### 3. Die Rauchgaswaage von W. Dürr.<sup>2)</sup>

Auf ähnlichem Prinzip, wie der vorbeschriebene Apparat, beruht das Dasymeter von W. Dürr.

Der Apparat besteht in der Hauptsache ebenfalls aus einer sehr empfindlichen Waage, welche sich in einem luftdicht verschlossenen, nach vorn mit einer Glasscheibe versehenen gusseisernen Kasten befindet. Der eine Wagebalken trägt die hermetisch verschlossene Glaskugel *o* (Fig. 21, Taf.) von etwa 2 l Inhalt, der andere ein entsprechendes Gegengewicht, an welchem sich der Kompensator *c* befindet. Derselbe besteht aus einer Uförmig gebogenen Glasröhre, welche teilweise mit Quecksilber gefüllt ist. Das eine Ende der Glasröhre ist offen, während in dem anderen, zugeschmolzenen Ende sich atmosphärische Luft befindet, welche den Einflüssen des wechselnden Barometerstandes und der Temperatur ebenso ausgesetzt ist, als die Luft oder die Gase in dem Kasten. Steigt oder fällt die Dichte der Gase infolge von Temperatur- oder Luftdruckveränderungen, so ändert in analoger Weise sich auch das Volumen der eingeschlossenen Luft und es tritt eine dieser Veränderung entsprechende Quecksilbermenge nach der einen oder anderen Seite und verschiebt den Schwerpunkt der Waage, wodurch die auf die Kugel einwirkenden störenden Einflüsse der Temperatur oder des Barometerstandes mit vollkommen genügender Genauigkeit kompensiert werden sollen. Ohne Anwendung dieser Vorrichtung würde der Apparat genaue Angaben nicht liefern.

Zur genauen Einregulierung der Empfindlichkeit und des Gleichgewichtes der Waage dienen die beiden Stellschrauben *m* und *n*.

Um allen etwaigen Einflüssen der Rauchgase auf die Bestandteile der Waage vorzubeugen, sowie zur Erzielung grosser Dauerhaftigkeit sind die Wagebalkenschneiden und Pfannen aus Edelsteinen hergestellt und die Metallteile der Waage vergoldet oder verplatinirt, ausserdem noch durch einen säurebeständigen Lacküberzug geschützt.

Der Apparat ist in der Regel noch mit einem Zugmesser ausgerüstet, welcher dem Heizer die gleichzeitige Beobachtung der Zugstärke gestattet.

Der Apparat arbeitet in folgender Weise:

<sup>1)</sup> Die Ergebnisse sind mit dem Apparate von W. Dürr (vergl. 3) gewonnen.

<sup>2)</sup> W. Dürr, München.

Der Luftstrahlapparat *S* saugt die zu untersuchenden Gase durch das in der Regel bis in die Mitte des Querschnittes des Fuchses hineinragende Rohr *e* an, und zwar geschieht dies infolge der saugenden Wirkung des Schornsteinzuges. Die Gase treten zunächst in die mit Baumwollwatte präparierten Filter (Fig. 22, Taf.), wo sie von Russ und Flugasche gereinigt werden; alsdann durchströmen sie ununterbrochen den Kasten des Apparates. Bei reiner Luft im Kasten spielt der Zeiger auf Null der Skala ein. Umgibt jedoch die Kugel *o* eine spezifisch schwerere Gasart, wie sie die Heizgase sind, so erleidet die Glaskugel einen Auftrieb. Die in betracht kommenden Grössen sind nun derart gewählt, dass ein Volumenprozent Kohlensäure im Gas einem Ausschlag der Zeigerspitze von einem Teilstrich an der Skala entspricht. Es kann somit auch bei diesem Apparat der jeweilige Kohlensäuregehalt der denselben durchstreichenden Gase unmittelbar abgelesen werden.

Die mittels der chemischen Analyse vielfach angestellten Gegenproben sollen auch bei wechselnder Temperatur und verschiedener Spannung der zu untersuchenden Gase stets mit den Angaben des Apparates übereingestimmt haben.

Da hier alle Teile des Apparates von Rauchgasen umgeben werden, so ist nicht zu verkennen, dass die Abnutzung dieser Teile, wenn dieselben nicht besonders gut geschützt oder wenn der Schutzüberzug beschädigt ist, eine verhältnismässig grosse werden kann; auch können die beweglichen Teile, wenn die Wattefilter nicht stets gut in Ordnung gehalten werden, leicht verschmutzen, wodurch natürlich die Genauigkeit der Angaben nicht unwesentlich beeinflusst werden kann.<sup>1)</sup>

#### 4. Die hydrostatische Gaswage nach Krell-Schultze.<sup>2)</sup>

Die bisher behandelten Apparate ermittelten den Kohlensäuregehalt auf die Art, dass ein bestimmtes Volumen an Rauchgasen gegenüber dem gleichen Volumen atmosphärischer Luft gewogen wurden. Wenn dieses Verfahren an sich nun auch ebenfalls bei der Gaswage nach *Krell* Anwendung findet, so unterscheidet sich letztere doch dadurch von den vorbesprochenen Apparaten, dass bei ihr zwei Gassäulen (Luft und Rauchgase) von verhältnismässig grosser Länge gegeneinander gewogen werden; ferner sind hier ausser der Sperrflüssigkeit alle beweglichen Teile vermieden.

<sup>1)</sup> Wie mir der Erfinder mitteilt, ist sein Apparat an vielen Stellen mit bestem Erfolge eingeführt gewesen. Er hat jedoch die Fabrikation des Dasymeters als nicht lohnend aufgegeben, da sich auch insofern Unzuträglichkeiten einstellen, als der Erfinder zur Inbetriebsetzung jedes neu aufgestellten Apparates persönlich an Ort und Stelle anwesend sein musste.

<sup>2)</sup> *G. W. Schultze*, Berlin SW.

Der Apparat besteht in der Hauptsache aus dem Standrohr *A* und dem Manometer *B* (Fig. 23).

Das Standrohr *A* ist eine starkwandige Messingröhre von etwa 20 mm lichter Weite und 2 m Höhe. An dem

oberen und unteren Ende des Rohres befinden sich die Hähne *a* und *b*, welche durch die

Stange *c* mit einander gekuppelt sind, so dass sie also gleichzeitig ihre Stellung ändern müssen. Die Hähne *a* und *b* haben die aus den Fig. 24—27 ersichtlichen Bohrungen. Bei Hochstellung der Stange korrespondieren die Bohrungen Fig. 24 und 25 mit einander, bei Tiefstellung die Bohrungen Fig. 26 und 27. Stehen die Hähne *a* und *b* nach Fig. 24 und 25, so werden, wenn Hahn

*a* mit einer Quetschpumpe (Beschreibung siehe unter den Absorptionsappa-

raten) und Hahn *b* mit dem Gasentnahmerohr in Verbindung gebracht wird, oder umgekehrt, die Rauchgase angesogen.

Werden nun die Hähne *a* und *b* in

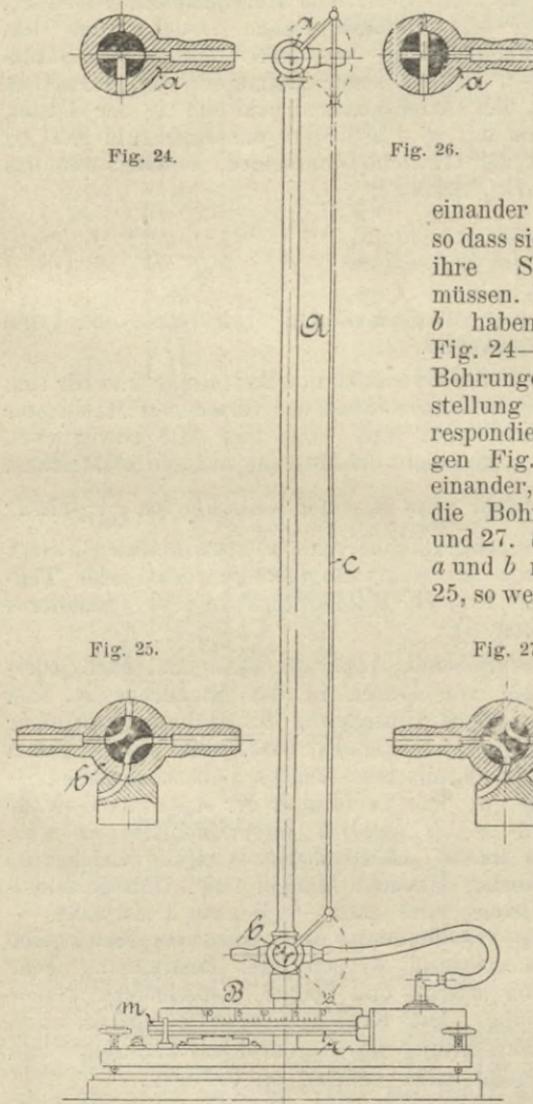


Fig. 23.

Hydrostatische Gaswage nach Krell-Schultze.

die Stellungen Fig. 26 und Fig. 27 gebracht, so wird nun-

mehr das untere Ende des Standrohres in Verbindung mit einem äusserst empfindlichen Manometer gebracht, während  $A$  nach oben etwas geöffnet ist, also in Verbindung mit der atmosphärischen Luft steht. Die Flüssigkeit in dem Manometer steht also einerseits unter dem atmosphärischen Drucke, andererseits unter dem atmosphärischen Drucke plus dem Drucke einer Rauchgassäule von dem Volumen des Standrohres, minus dem Drucke einer Luftsäule von demselben Volumen. Wird der Atmosphärendruck mit  $A$ , der Druck der Rauchgassäule mit  $g_r$ , derjenige der Luftsäule mit  $g_L$  bezeichnet, so ist der Gewichtsunterschied, welcher auf das Manometer einwirkt, demnach

$$g_D = (A - g_L + g_r) - A = g_r - g_L$$

d. h. es werden hier zwei Gassäulen (Rauchgase und Luft) gegeneinander abgewogen.

Da die Grösse des Gewichtsunterschiedes an und für sich keine bedeutende sein kann, so muss das verwendete Manometer ein äusserst empfindliches sein. Um hier alle beweglichen Teile zu vermeiden, geschieht die Messung auf hydrostatischem Wege. Das Messrohr  $r$  ist in einer Neigung von  $\frac{1}{400}$  schräg gelegt und mit reinem Alkohol von 0,8 spezifischem Gewicht gefüllt. Die Skala ist derart angefertigt, dass jeder Teilstrich unmittelbar 1 v. H. Kohlensäure angiebt (genaueres hierüber siehe unter 5).

Mit dem beschriebenen Apparate kann man nach jedesmaligem Ansaugen von Gasen in das Standrohr  $A$ , den Kohlensäuregehalt durch Umschalten der Hähne unmittelbar ablesen und man muss anerkennen, dass, wenn die Angaben mit denjenigen der chemischen Analyse übereinstimmen — wofür im übrigen von dem Verfertiger der Apparate Gewähr übernommen wird — der Apparat zu empfehlen sein wird und geeignet sein dürfte, die chemische Analyse, welche für die Praxis in mancher Hinsicht Mängel resp. Unbequemlichkeiten bietet, teilweise oder ganz — je nach Umständen — zu ersetzen. Die Handhabung des Apparates kann eine äusserst einfache genannt werden, die Bestimmung geht äusserst rasch von statten und bedarf insbesondere keiner besonderen Einübung. Der Kohlensäuregehalt wird in etwa einer Minute nach Füllung des Standrohres angezeigt und kann die Bestimmung daher beliebig oft erfolgen.

Bei der betriebsfertigen Aufstellung solcher Apparate ist insbesondere darauf zu achten, dass sie nach jeder Richtung hin genau wagerecht stehen, wozu zwei senkrecht zu einander stehende Wasserwagen dienen.

5. Der Rauchgas-Analysator nach Krell-Schultze.<sup>1)</sup>

Um den vorbeschriebenen Apparat, welcher nur nach jedesmaligem Ansaugen der Verbrennungsprodukte ein Ablesen des Kohlensäuregehaltes gestattet, auch für stetige Anzeige geeignet zu machen, musste seine Konstruktion entsprechend abgeändert werden.

Der geänderte Apparat besteht in der Hauptsache ebenfalls aus Manometer *B* und dem Rohrsystem *A* (Fig. 28), nur dass bei ihm statt der einen Standröhre deren zwei zur Anwendung gelangt sind und zwar wird durch eine dieser Röhren gewöhnliche Luft, durch die andere Rauchgas angesaugt und der Gewichtsunterschied dieser beiden Gasarten wird auf das Manometer übertragen und von demselben angezeigt.

Die beiden, in einem Blechmantel liegenden Standröhren *a* und *b* von etwa 30 mm l. W. und 1,75 m Höhe, vereinigen sich an ihrem oberen Ende bei *x*, woselbst ein halbzölliges Gasrohr *g* ansetzt, welches zunächst senkrecht nach unten und dann

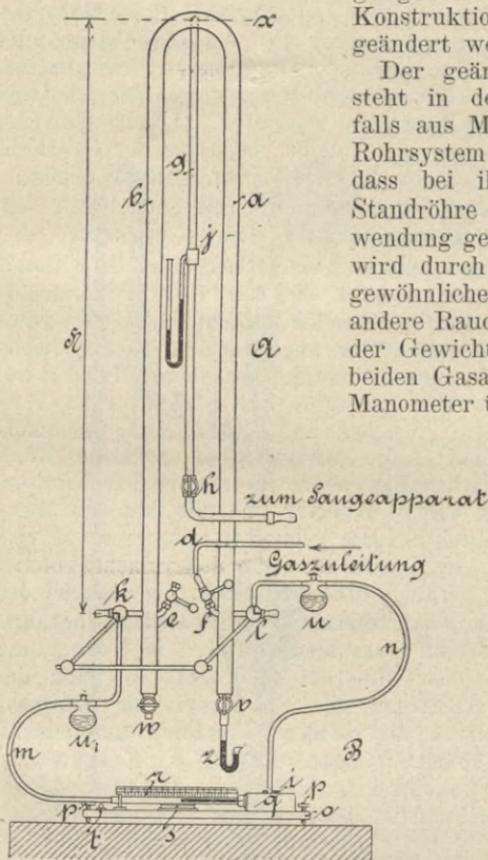


Fig. 28.

Schema des Rauchgasanalysators nach Krell-Schultze.

weiter zum Saugeapparate führt (vergleiche auch Fig. 29, Taf.). Rohr *g* trägt ein kleines Reguliermanometer *j* und den Absperrhahn *h*; ersterer dient zur Einregulierung des Saugeapparates, letzterer zum Absperrn der Saugleitung. Die Röhren *a* und *b* sind an ihrem unteren Teile mit den Hähnen *f*, *l* und *v*, beziehungsweise *e*, *k* und *w* versehen. Die Hähne *f* und *v*, bzw. *e* und *w* sind nach hinten gerichtet, während die Drei-

<sup>1)</sup> G. A. Schultze, Berlin SW.

weghähne  $l$  und  $k$  seitwärts in  $a$  und  $b$  einmünden und zwecks gleichzeitigen Einstellen durch eine Hahnstange gekuppelt sind.

Setzt man den Saugeapparat (Fig. 31, S. 69) in Thätigkeit, so treten durch die von den Kesselzügen kommende Leitung  $d$  und den Hahn  $f$  die Rauchgase in das Standrohr  $a$  ein, während durch Hahn  $e$  Luft einzieht. Beide Gasarten gehen nach oben und bei  $x$  durch  $g$  ab. Auf diese Weise entstehen zwei Gassäulen von gleichem Durchmesser und gleicher Höhe  $H$ , deren Gewichtsunterschied um so grösser wird, je mehr Kohlensäure die Rauchgase enthalten. Da das Gewicht der Luftsäule in  $b$  stets gleichbleibt, dasjenige der Gassäule in  $a$  aber hauptsächlich von dem Kohlensäuregehalte abhängt, so kann der vorhandene Gewichtsunterschied unmittelbar zur Bestimmung des Kohlensäuregehaltes benutzt werden.

Zu diesem Zwecke sind die beiden Gassäulen bei  $l$  und  $k$  durch feste Leitungen  $n$  und  $m$  mit dem Differenzialmanometer  $B$  verbunden. Dasselbe besteht aus der gusseisernen Grundplatte  $o$  mit der angegossenen Dose  $q$  (siehe auch Fig. 30, Taf.), in deren Wandung fest gelagert und in bestimmtem Neigungswinkel gebracht, das starkwandige Glasrohr  $r$  (Fig. 28) liegt, welches an seinem Ende nochmals gestützt und in seiner Lage unverrückbar gehalten wird. Mit Hilfe der Stellschrauben  $p$ , sowie der beiden Wasserwagen  $s$  und  $t$  wird das Manometer und mit ihm das Messrohr in genau wagerechte Lage gebracht, in welcher es verbleibt. In die Dose giesst man bei  $i$  die aus reinem Alkohol bestehende, intensiv gefärbte Messflüssigkeit, bis dieselbe den Nullpunkt der neben dem Messrohr liegenden Skala berührt.

Sind nun die beiden Gassäulen  $a$  und  $b$  in Verbindung mit der Dose und dem Messrohr gebracht, so wird das Manometer durch Ansteigen der Flüssigkeit im Messrohr den Gewichtsunterschied der beiden Gassäulen und mithin, da die Skala dementsprechend angefertigt ist, den Kohlensäuregehalt der Heizgase unmittelbar anzeigen. Da die Rauchgase ununterbrochen durch den Apparat gesogen werden, so macht sich der stets wechselnde Kohlensäuregehalt an dem sich entsprechend ändernden Stand der Flüssigkeit bemerkbar, so dass der jeweilige  $CO_2$ -Gehalt in jedem Augenblick ermittelt werden kann.

Die an dem Messrohr anliegende Holzskala hat eine ungleiche, durch die Abweichungen des Messrohres von der genau geraden Form bedingte Teilung, wobei jedes Teilstrich-

intervall  $\frac{1}{400}$  mm Wassersäule entspricht. Diese ungleichen

Teilungen am Messrohr werden durch eine Kompensationskala auf eine gleichförmige, gleichwertige Teilung übertragen, an welcher der die Kohlensäureteilung tragende Schieber gleitet. Der letztere hat in dem Teilungszwischenraum

zwischen 0<sup>0</sup>/<sub>0</sub> und 1<sup>0</sup>/<sub>0</sub> bei 0,6<sup>0</sup>/<sub>0</sub> einen durchgehenden Teilstrich, den korrigierten Nullpunkt, welcher anstatt des bezeichneten Nullpunktes der Schieberskala bei den Messungen auf den Nullpunkt des Mikromanometers, bezw. auf den Meniscus der Sperrflüssigkeit eingestellt werden muss. Es soll durch diese Korrektur dem Einfluss des grösseren Feuchtigkeitsgehaltes der Verbrennungsprodukte gegenüber der atmosphärischen Luft Rechnung getragen werden, da hier das Wasser durch besondere Apparate nicht aus-

geschieden wird. Jedoch ist am unteren Ende des Standrohres *a* (Fig. 28) ein Wasserverschluss *z* vorgesehen, welcher den Zweck hat, das sich während des Durchganges der Rauchgase durch den Apparat ausscheidende Wasser abzuleiten.

Die Verbindungsleitungen *m* und *n* haben in *u* und *u*<sub>1</sub> eingeschaltete kleine Gefässe, welche reinen Alkohol enthalten und durch Gummistopfen verschlossen sind. Der Alkohol verhindert durch eigenes Verdunsten dasjenige der Sperrflüssigkeit.

Der Gasanalysator soll mit seiner Grundpatte auf einer festen Unterlage in einer Höhe von etwa 0,8 m über dem Boden aufgestellt werden, wobei zugleich darauf zu achten ist, dass der Apparat von strahlender Wärme u. s. w. nicht beeinflusst wird. Die Entfernung von der Gasentnahmestelle soll zwar nicht unnötig gross genommen werden, doch ist es, wenn anderen Bedingungen nicht entsprochen werden kann, vorzuziehen,

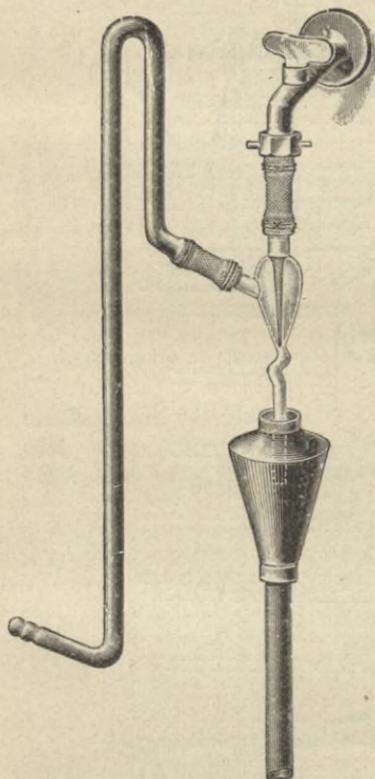


Fig. 31.  
Sauge-Vorrichtung für den Fall, dass die Absaugung mit Druckwasser erfolgt.

die Gaszuleitung zu verlängern; 10 m und etwas mehr ist noch zulässig.

Der Strahlapparat (Sauge-Vorrichtung, Fig. 31), soll möglichst dicht am Gasanalysator aufgestellt werden, damit eine Einregulierung der zuströmenden Gasmenge erfolgen kann, ohne dass der Beobachter genötigt ist, seine Stellung

vor dem Apparate zu verändern. Bisher sind zum Ansaugen der Rauchgase unmittelbar durch den Schornsteinzug betätigte Apparate verwendet worden. Da dieselben jedoch zu sehr den Witterungseinflüssen unterworfen sind, so kommen für vorliegenden Fall Strahlapparate zur Anwendung, welche durch Wasser betrieben werden; nötigenfalls kann das Ansaugen auch mit Dampf bewerkstelligt werden und werden für diesen Fall besondere Apparate geliefert.

Für gewöhnlich wird für den Betrieb des Saugers ein Wasserdruck von nicht unter 2 Atm. in Aussicht genommen

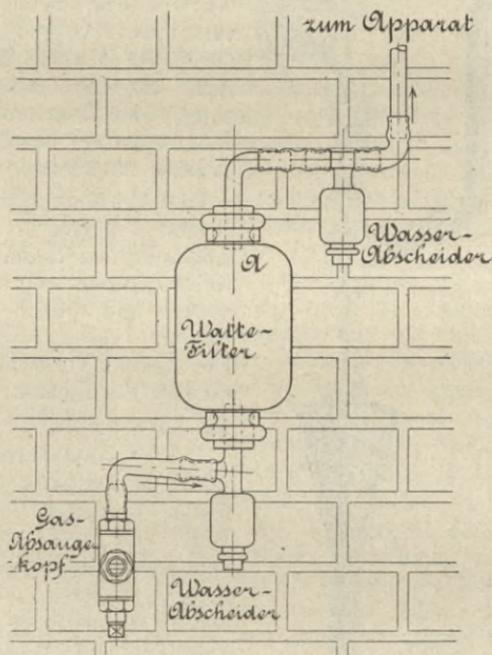


Fig. 32.

Gasentnahmeverrichtung und Gasfilter.

und soll der zur Verfügung stehende Druck ein möglichst gleichmässiger sein, so dass es am besten ist, die Wasserversorgung an ein Hochwasserreservoir, von anderen Leitungen unabhängig, anzuschliessen. Das Wasserablafröhr wird nach einem Wasserablaufkanal oder der Kondenswasser-Cysterne geführt, in welcher letzterem Falle ein Wasserverlust vermieden wird.

Bevor der Apparat in Benutzung genommen wird, muss die Rohrleitung auf Dichtheit geprüft werden, was in der Weise geschieht, dass man alle Hähne bis auf *l* (Fig. 28)

schliesst, auch die Verbindung zwischen Gasentnahmerohr und Wattefilter absperrt und dann mit dem Munde durch den Wasserverschluss  $z$  eine Wassersäule von 100—150 mm im Manometer  $j$  ansaugt. Ist die Leitung dicht, so muss  $j$  auf diesen Stand verbleiben.

Bei Inbetriebsetzung des Apparates wird zunächst das den Wasserzuschuss regelnde Ventil (oder Hahn) behutsam

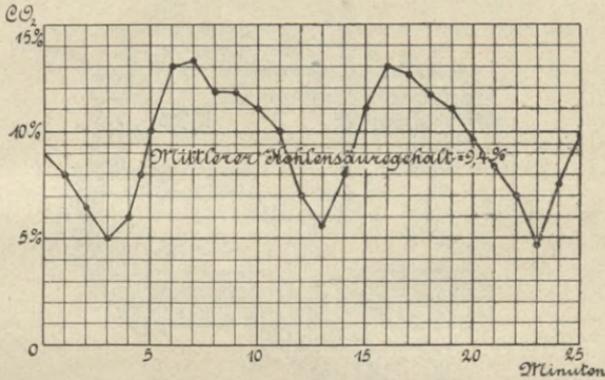


Fig. 33.

Diagramm V. Ergebnis ohne Verwendung des Gasanalysators.

geöffnet, bis das Manometer  $j$  einen Unterdruck von 150 mm oder mehr zeigt. Sodann wird das Ventil  $h$  am Gasanalysator nach und nach so weit beidgedreht, bis das Manometer nur

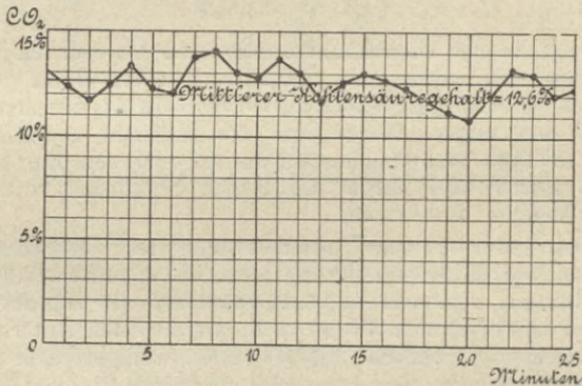


Fig. 34.

Diagramm VI. Ergebnis mit Verwendung des Gasanalysators.

noch 100 mm zeigt. Alsdann wird der Hahn  $f$  für die Gaszuleitung vollständig geöffnet und Hahn  $e$  für den Luftzufluss vollständig geschlossen, welcher nebst dem Hahn  $h$

bisher offen war, während alle anderen Hähne geschlossen waren. Das Manometer *j* wird, nachdem *e* geschlossen ist, eine geringere Unterpression als 100 mm zeigen, und zwar um so weniger, je weniger Widerstände in dem Gaszuleitungsrohr vorhanden sind.

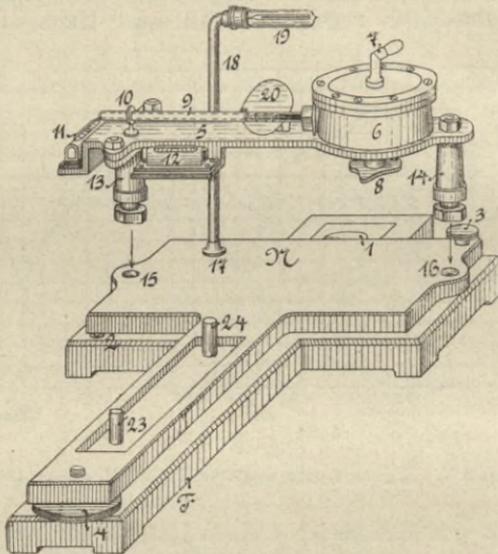


Fig. 35.

Ansicht der Fundament- und Niveauplatte mit Mikromanometer.

Wenn an der Gasentnahmestelle kein Unterdruck (Zug) vorhanden sein würde, so brauchte nur der Hahn *f* nach und nach so weit geschlossen zu werden, bis das Manometer *j* auf 100 mm zeigt. Wird jetzt der Lufthahn *e* ganz geöffnet, so fällt das Manometer auf 25—30 mm Zug herab und es gehen nun durch die beiden Standrohre *a* und *b* gleiche Mengen von Gasen.

Wenn aber an der Entnahmestelle der Verbrennungsprodukte, wie es gewöhnlich der Fall, ein Unterdruck (Zug) vorhanden ist, so muss die Einregulierung des Hahnes *f* in der oben beschriebenen Weise nicht auf 100 mm Unterdruck im Manometer *j*, sondern auf 100 mm, weniger dem Vierfachen des an der Gasentnahmestelle herrschenden Unterdruckes geschehen, so dass, wenn dieser Unterdruck z. B. 7 mm beträgt, der Hahn *f* auf

$$100 - 4 \cdot 7 = 72 \text{ mm}$$

Unterdruck im Manometer einreguliert werden muss. Die Feststellung des an der Gasentnahmestelle herrschenden

Unterdruckes kann in einfacher, leicht erkennbarer Weise durch das Manometer *j* selbst bestimmt werden.

In neuerer Zeit geschieht die Einregulierung nicht mehr nach der eben beschriebenen, etwas umständlichen Weise, sondern wesentlich einfacher. Mit Bezug auf Fig. 28 gestaltet sich die neuerdings übliche Art der Einregulierung wie folgt:

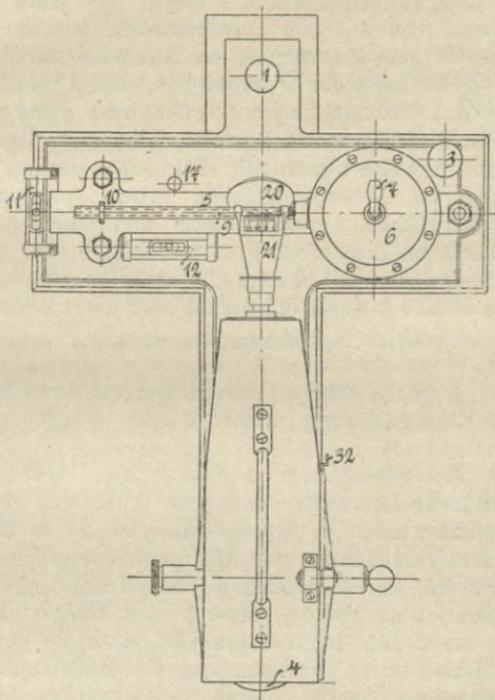


Fig. 36.

Aufsicht auf das Mikromanometer und die Registrier-Kamera.

Nachdem der Apparat nach Vorschrift in Betrieb gesetzt wurde, beobachtet man den Stand der Sperrflüssigkeit im Messrohr des Mikromanometers. In einem Zeitpunkt, in welchem die Flüssigkeit bei annähernd gleich bleibendem Kohlensäuregehalte fast stillsteht, schliesst man gleichzeitig Hahn *h* und *f*. Hierdurch bekommt man ruhende Gassäulen, da jetzt weder die Absaugvorrichtung, noch der Zug im Kessel irgend welche Einwirkung ausüben können. War nun vorher in dem einen oder anderen der beiden Standrohre Saugwirkung vorhanden, so wird sich jetzt die Flüssigkeit etwas nach rechts oder links verschieben, ehe sie ins Gleichgewicht kommt. War z. B. vorher Saugwirkung in dem

Luftrohr  $b$  vorhanden, so wird die Flüssigkeit nach Schluss der beiden Hähne  $h$  und  $f$  nach rechts zurückgehen, war Saugwirkung im Rauchgasrohr  $a$  vorhanden, so wird sie nach links ansteigen; in ersterem Falle zeigte der Apparat vorher zu viel, in letzterem zu wenig  $CO_2$  an. Um diese etwa vorhandenen unrichtigen Angaben zu beseitigen, verändert man die Oeffnung des kleinen Messingplättchens, welches in dem Lufteinlasshahn  $e$  liegt. Bei einer Oeffnung des Plättchens von 0,7 mm Durchmesser, wie sie bei Anlieferung des Apparates vorgesehen ist, wird durchweg eine Saugwirkung im Luftrohr  $b$  entstehen, die Flüssigkeit also etwas nach links heraufgezogen werden, resp. beim Schliessen der Hähne nach rechts zurückgehen. Um diese Erscheinung zu beseitigen, erweitert man mit Hilfe einer dünnen Reibahle die Bohrung im Messingplättchen etwas, probiert durch Schliessen der Hähne  $h$  und  $f$  wieder und fährt so fort, bis die Flüssigkeit an demselben Punkt stehen bleibt, gleichviel, ob mit ruhenden oder mit bewegten Gassäulen gearbeitet wird, resp. ob die Hähne  $h$  und  $f$  offen sind oder geschlossen werden.

Das *gleichzeitige* Schliessen von  $h$  und  $f$  ist unbedingt erforderlich.

Ist der Apparat einmal einreguliert, so braucht die beschriebene Einregulierung nicht wieder vorgenommen zu werden.

Da in den Standröhren  $a$  und  $b$  ein Unterdruck von 20 mm und mehr herrscht, der ganze Ausschlag des Mikromanometers aber nur  $\frac{1}{2}$  mm beträgt, so ist es notwendig, dass bei der Verbindung der Mikromanometerschenkel mit den Standröhren durch Umlegen der Hebelstange für die Hähne  $k$  und  $l$  nach rechts, diese beiden Hähne gleichzeitig öffnen. Es wird dies dadurch erreicht, dass die gegenseitige Lage der Hähne durch Verschiebung des Hebelendes auf der Verbindungsstange, wofür kleine Stellschrauben vorgesehen sind, reguliert werden kann.

Es möge noch bemerkt sein, dass eine Trocknung der Verbrennungsprodukte durch Chlorkalcium bei diesem Apparat nicht erforderlich ist. Selbstverständlich müssen aber die Verbrennungsprodukte von Russ und Flugasche gereinigt werden, ehe sie in den Apparat gelangen; für diesen Zweck dient der Wattefilter (Fig. 32), bei welchem sowohl vor dem Eintritt der Gase als nach dem Verlassen desselben je ein Wasserabscheider angeordnet wird.

In welcher Weise sich der Gehalt der Rauchgase bei Verwendung des Rauchgas-Analysators gegenüber einem Betrieb ohne Benutzung desselben ändern kann, lassen die Diagramme V und VI (Fig. 33 u. 34) erkennen, von welchen das erstere ohne Verwendung des Apparates, das letztere unter Benutzung desselben erhalten wurde. Aus den Dia-

grammen bestimmte ich den mittleren Kohlensäuregehalt zu 9,4<sup>0</sup>/<sub>0</sub> ohne Benutzung, und zu 12,6<sup>0</sup>/<sub>0</sub> mit Benutzung des Apparates. Nimmt man die mittlere Abgastemperatur wiederum zu 250<sup>0</sup> an, so ergibt sich der Verlust durch die Abgase im ersten Falle (für Diagramm V)

$$q_v = 0,66 \cdot \frac{250}{9,4} = 17,5 \text{ } ^0\text{/}_0 \text{ des Heizwertes}$$

und im zweiten Falle (für Diagramm VI)

$$q_v = 0,66 \cdot \frac{250}{12,6} = 13,09 \text{ } ^0\text{/}_0 \text{ des Heizwertes.}$$

Der vorbeschriebene Apparat zeigt den Kohlensäuregehalt wohl kontinuierlich an, giebt jedoch in der besprochenen Konstruktion kein zusammenhängendes Bild von der Höhe des Kohlensäuregehaltes zu bestimmten Zeiten, es sei denn, dass der Stand des Mikromanometers fortlaufend niedergeschrieben werde.

Um bei dem Gasanalysator eine selbstthätige Aufzeichnung zu erreichen, wird derselbe in Verbindung mit einer elektrischen Glühlampe gebracht, die den jeweiligen Stand der Sperrflüssigkeit im Mikromanometer in bestimmten Zeitabschnitten auf lichtempfindlichem Papier, welches in einer Dunkelkammer, der sogen. Registrierkamera, der Zeit entsprechend fortbewegt wird, markiert.

Bei dieser Anordnung ist der gesamte Apparat auf der Fundamentplatte *F* (Fig. 35), einer starken kreuzförmigen Eisenplatte untergebracht; das Rohrsystem ist gegenüber dem gewöhnlichen Apparate nicht verschieden. Zur Aufnahme des Gewindezapfens des Rohrsystems ist die Platte *F* mit dem Loch 1 versehen und wird das Rohr mittels Mutter von unten festgeschraubt. Auf der Fläche der Fundamentplatte befinden sich drei Versenkungen, in welche der Stift 2 und die beiden Stellschrauben 3 und 4 der sogen. Niveauplatte *N* passen. Die beiden Löcher 15 und 16 in letzterer

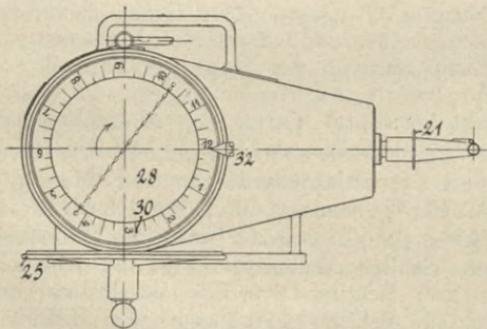


Fig. 38.  
Kamera.

dienen zur Aufnahme der beiden Ständer 13 und 14, welche das Mikromanometer tragen. Die Stellschrauben 3 und 4 dienen zur genau wagenrechten Einstellung des gesamten Apparates und insbesondere des Mikromanometers.

Das Mikromanometer selbst ist ähnlich dem bereits beschriebenen und besteht aus der horizontalen, schmalen Platte 5 mit angegossener, oben durch aufgeschraubtem Deckel festverschlossener Dose 6 (s. Fig. 35 und 36, sowie Gesamtansicht des Apparates, Fig. 37), welche zum Schutze

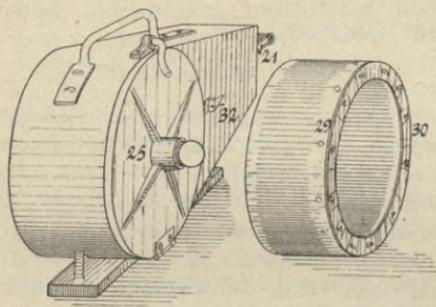


Fig. 39.  
 Kamera. Schlitzzylinder.

gegen schroffe Temperaturschwankungen mit Filz umkleidet ist. In dem Deckel befindet sich die winkelförmige Schlauchtülle 7, unten im Boden die mit feinem Gewinde versehene starke Regulierschraube 8. In die Dose ist linksseitig das starkwandige Glasmessrohr 9 fest eingedichtet und in dem kleinen Rohrträger 10 gelagert. Links am Ende und vorn ist die Platte 5 winkelförmig nach unten gekröpft zur Aufnahme der Querwasserwage 11 und der Längswasserwage 12. Die Befestigungsschrauben der Wasserwagen sind zum Schutz gegen unbefugtes Verstellen mit starken Winkelbügeln versehen, deren Schrauben verplombt sind.

Das Glasmessrohr 9 hat eine aus schwarzen Strichen hergestellte Teilung, deren Nullpunkt rechts liegt und welche nach links bis 16 % Kohlensäure fortschreitet. Das Innere des Messrohres ist bis zum Nullpunkte mit reinem Alkohol gefüllt, welcher intensiv gefärbt und daher für weisses Licht undurchlässig ist.

Bei 17 steht der Lampenträger 18 mit an dem oberen Ende horizontal befestigter Glühlampe 19. Unter derselben ist ein kleiner Asbestschirm (Fig. 37, Taf.) mit Schlitz befestigt, durch welchen das Lampenlicht in den hinter dem Messrohr 9 im Winkel von 45° befestigten runden Spiegel 20 fällt. Dieser wirft das Licht horizontal durch das Messrohr und die Blende 21 in die Registrierkamera (Fig. 36 und 37, Taf.).

Dieselbe besteht in der Hauptsache aus der Messingtrommel 28 (Fig. 38 und 39), welche durch ein Uhrwerk in 12 Stunden einmal herumgedreht wird. Ueber die Trommel passt lose der sogen. Schlitzzylinder 29 (Fig. 39), welcher an seinem Umfange 240 Schlitze von 0,5 mm Breite und 65 mm Länge besitzt; die Schlitze sind 2 mm von einander entfernt. Von 20 zu 20 Schlitzen fortschreitend stehen die durchbrochenen Zahlen 1—12, entsprechend einer zwölf-

gegen schroffe Temperaturschwankungen mit Filz umkleidet ist. In dem Deckel befindet sich die winkelförmige Schlauchtülle 7, unten im Boden die mit feinem Gewinde versehene starke Regulierschraube 8. In die Dose ist linksseitig das starkwandige Glasmessrohr 9 fest eingedichtet und in dem

stündigen Schicht. Seitlich am Schlitzzylinder und parallel mit dem Boden der Trommel 28 befindet sich der etwa 20 mm breite Zeiring 30 mit Einteilung von Viertelstunden. Neben der Klappenöffnung sitzt aussen an dem Gehäuse die im Scharnier bewegliche kleine Pfeilmarke 32, mit deren Hilfe man den Schlitzzylinder resp. Trommel 28 auf eine bestimmte Anfangszeit einstellen kann. Das Aufziehen des Uhrwerks geschieht dadurch, dass man bei geöffneter Deckelklappe 25 (Fig. 39) gegen die Messingtrommel 28 drückt und letztere in der Richtung des auf derselben eingravierten Pfeiles dreht.

Die Befestigung der Kamera auf der Niveauplatte (Fig. 35) geschieht mittels der beiden Stifte 23 und 24. Die kreisrunde Verschlussklappe 25 (Fig. 39), welche ein Einbringen des Schlitzzylinders ermöglicht, ist am Rande mit Falz versehen, so dass das Innere des Gehäuses vollkommen gegen Eindringen von Licht abgeschlossen ist.

Zwischen Messingtrommel und Schlitzzylinder wird bei Inbetriebsetzung des Apparates entsprechend zugeschnittenes, lichtempfindliches Papier gebracht, und auf demselben wird die jeweilige Stellung der Sperrflüssigkeit im Mikromanometer durch einen mittels des Winkelspiegels 20 in die Registrierkamera geworfenen Lichtstrahles aufgezeichnet. Man erhält daher nach Einbringen des lichtempfindlichen Papiers in eine entsprechende Fixierflüssigkeit ein Diagramm, wie es durch Diagramm VII (Fig. 40, Taf.) dargestellt wird. Das Auswechseln der Papierstreifen in dem Schlitzzylinder kann nach jeder Arbeitsschicht geschehen.

Zur Vervollständigung der Einrichtung resp. zur Entwicklung der Diagramme würden dementsprechend noch einige kleinere Apparate, wie Dunkelkammer-Lampe mit rotem Zylinder, ein Kasten zur Aufbewahrung des lichtempfindlichen Papiers und einige weitere kleinere Gegenstände erforderlich sein.

Wenn das in Fig. 40, (Taf.) dargestellte Diagramm auch vollständig genügt, den Verlauf der Verbrennung zu beurteilen und den Durchschnittskohlensäuregehalt festzustellen, so ist es doch als eine wesentliche, weitere Vervollkommnung des Rauchgasanalysators anzuerkennen, dass die Firma *G. A. Schultze* die Registrierkamera in neuester Zeit so abänderte, dass letztere eine ununterbrochene Kurve über den Verlauf des  $CO_2$ -Gehaltes liefert. In Diagramm VIII (Fig. 41, Taf.) ist eine solche Aufzeichnung dargestellt, wie sie an einem Kessel des *Magdeburger Vereins für Dampfkesselbetrieb* zu Magdeburg erhalten wurde.

Wie in Diagramm VII (Fig. 40, Taf.) wird auch hier der Kohlensäuregehalt durch die weisse Fläche dargestellt. Besonders beachtenswert ist in Fig. 41, Taf., wie scharf die Aenderungen im Feuerraum im Diagramm zum Ausdruck

kommen; insbesondere lässt sich jedes Oeffnen der Feuerthüre aus dem Diagramm durch Sinken des Kohlensäuregehaltes erkennen.

### c. Absorptionsapparate.

Statt den Prozentgehalt der Heizgase an Kohlensäure durch deren Gewichtszunahme zu bestimmen, ist es in der Regel einfacher, einen Teil der Gase in ein Gefäss von bekanntem Volumen einzusaugen und die darin enthaltene Kohlensäure durch eine Absorptionsflüssigkeit (Kalilauge) zu absorbieren. Man erhält hierbei unmittelbar das Volumenverhältnis der Kohlensäure zu den Heizgasen. Es ist jedoch bei den in Rede stehenden Apparaten weiter gegeben, ausser der Kohlensäure auch den Gehalt der Gase an anderen Bestandteilen, wie insbesondere Kohlenoxyd und Wasserstoff, sowie ferner Sauerstoff zu bestimmen. Von welchem Einfluss die beiden ersteren Gasarten auf die Ergebnisse sein können, ist weiter oben ausgeführt und es lässt sich sagen, dass die Absorptionsapparate genauere Untersuchungen der Feuerungsgase auszuführen gestatten, als diejenigen, welche nur den Kohlensäuregehalt anzugeben vermögen.

Zweck des vorliegenden Aufsatzes kann es natürlich nicht sein, etwa alle für diesen Zweck konstruirten Apparate aufzuzählen — wenn auch Vollständigkeit angestrebt wurde — sondern es sollen nur die in der Praxis eingeführten oder für dieselbe geeignet erscheinenden Vorrichtungen besprochen werden. Bemerkt möge übrigens noch sein, dass sämtliche hierher gehörigen Apparate auf demselben Prinzipie beruhen und dass nur in der Ausführung einzelner Teile und hierdurch in der Bequemlichkeit der Handhabung Verschiedenheiten bestehen.

#### 1. Gasbürette nach Bunte.<sup>1)</sup>

Die Gasbürette nach *Bunte* dürfte die einfachste Vorrichtung unter den Absorptionsapparaten sein. Sie ist nach einiger Uebung durchaus nicht so unbequem, wie es im ersten Augenblick scheint, und ausserdem kann man mit ihr grösste Genauigkeit erreichen.

Der Apparat besteht in der Hauptsache aus der Bürette *A* (Fig. 41, Taf.) von etwa 120 ccm Inhalt und mit einer Teilung derart, dass der Raum von der Mitte des oberen Hahnes *a* bis zum Nullpunkte der Teilung genau 100 ccm umfasst. Die Gasbürette ist nochmals mit einem Glasgefässe umgeben. Der Luftraum zwischen beiden soll Temperaturschwankungen

<sup>1)</sup> Ausgeführt von *Joh. Greiner*, Fabrik für Präzisions-Glasinstrumente, München.

von der Bürette abhalten. Am oberen Ende der letzteren wird der Abschluss durch den mit je einer bis zur Mitte reichenden radialen und achsialen Bohrung versehenen Hahn *a* mit darüber befindlichem Gefäß *t* bewerkstelligt; am unteren Ende befindet sich der Hahn *b* mit durchgehender Bohrung.

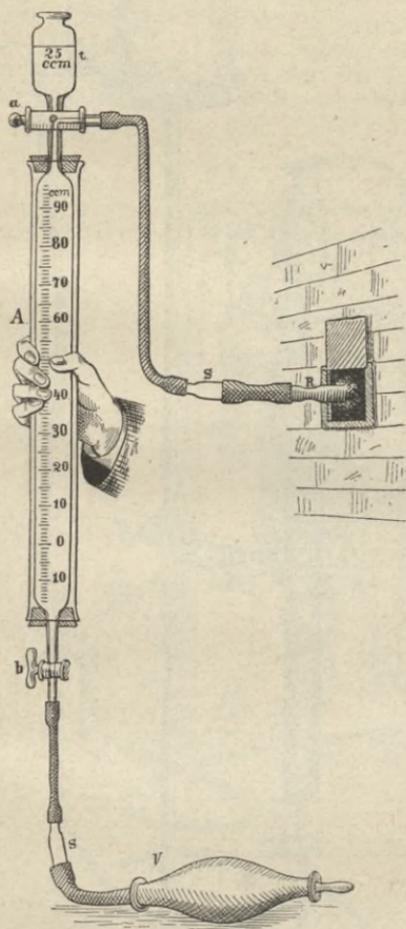


Fig. 41.  
Apparat nach Bunte.

Das Einbringen des zu untersuchenden Gases in die Bürette geschieht entweder durch Ansaugen mittels Kautschukpumpe oder aus einem Gasbehälter (Aspirator). Um die Bürette auf dem erstgenannten Wege mit Gas zu füllen (Fig. 41, Taf.), verbindet man das Innere des Messraumes durch den Schlauch *g* mit dem Entnahmerohr *R*, während man das untere Ende mit der Quetsch- oder Kautschukpumpe in Verbindung bringt und den Hahn *b* öffnet, zuvor jedoch Wasser in das Gefäß *t* giesst (25 ccm). Durch die Kautschukpumpe *V* saugt man so lange Gas durch die Bürette, bis sämtliche Luft daraus entfernt ist; alsdann schliesst man die Hähne *a* und *b*; die durchbohrte Spitze des ersten verschliesst man mittels Schlauch und Glasstäbchen. — Soll die Füllung der Bürette aus einem Gasbehälter erfolgen, so füllt man *A* mit Wasser und verbindet alsdann die durchbohrte Spitze des Hahnes *a* mit dem Be-

hälter. Steht das Gas unter Druck, so lässt man durch passende Drehung des Hahnes einen Teil des Gases durch das Wasser im Trichteraufsatz *t* entweichen. Während das Wasser *b* abfließt, füllt sich die Bürette mit Gas.

Zur Bestimmung der Kohlensäure bringt man mittels Gummischlauch das hochstehende Wassergefäß *F* (Fig. 42)

in Verbindung mit dem Hahn *b*, nachdem der Schlauch vollständig mit Wasser gefüllt ist. Durch Oeffnen von *b* tritt Wasser in die Bürette, während das überschüssige Gas durch den geöffneten Hahn *a* und *t* entweicht. Sobald die Flüssigkeit bis zum Nullpunkte der Skala gestiegen ist, schliesst man beide Hähne und es befinden sich dann genau 100 ccm in der Bürette eingeschlossen. Um nunmehr das Absorptionsmittel einbringen zu können, entfernt man das in die Bürette getretene Wasser; es geschieht dies dadurch, dass man die teilweise mit Wasser gefüllte Saugflasche *S* durch den vorerst mit Wasser angefüllten Schlauch *s* in Verbindung mit dem Hahn *b* bringt, und dann das in der Bürette befindliche Wasser bis nahezu zur Mitte dieses Hahnes absaugt. Die Absorptionsflüssigkeit, Kalilauge, lässt man eintreten, indem man hiervon etwas in die Schale *P* giesst und die Spitze des Hahnes *b* unter den Spiegel der Flüssigkeit taucht; öffnet man *b*, so wird letzdtre in die Bürette aufgesaugt. Zur Beschleunigung der Absorption schüttelt man bei geschlossenen Hähnen *a* und *b* die Bürette, nach dem man sie aus dem

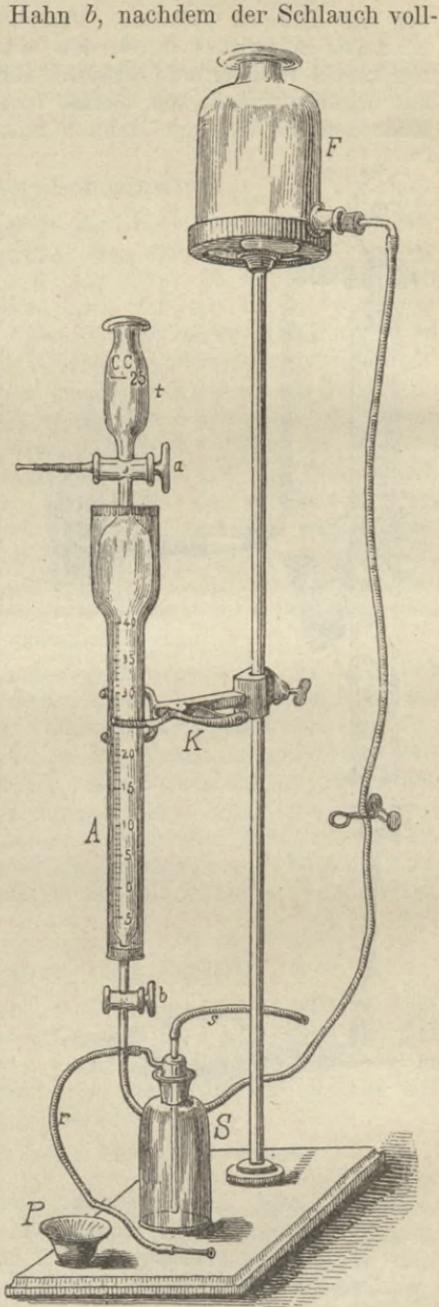


Fig. 42.

Ständer genommen hat. Man fährt mit dem Einbringen der Kalilauge nach jedesmaligem Schütteln fort, bis Absorptionsflüssigkeit nicht mehr eintritt und ist dann die Absorption beendet. Alsdann setzt man durch Drehen von *a* den Trichteraufsatz *t* mit dem Messrohr *A* in Verbindung. Nach Wiederauffüllen des Wassers in *t* bis zur Marke steht das Gas in der Bürette unter demselben Druck wie am Anfang und der Stand der Flüssigkeit im Messrohr giebt den Gehalt des Gases an Kohlensäure in Hundertteilen an ( $K_v$ ).

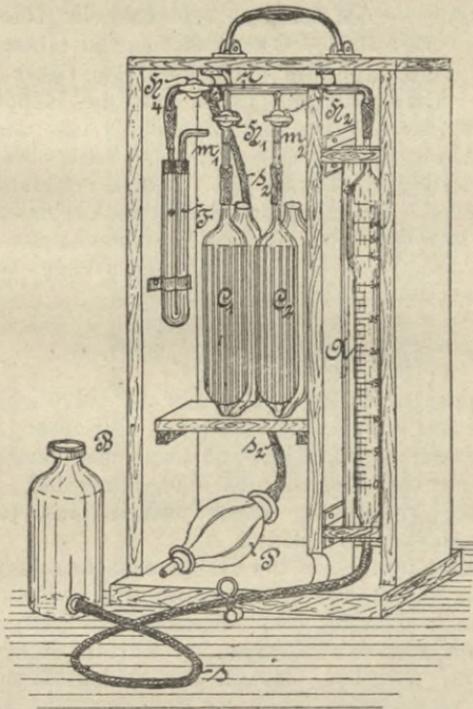


Fig. 43.

Will man in dem verbleibenden Rest des Gases den Sauerstoffgehalt bestimmen, so saugt man einen Teil der Kalilauge ab und lässt eine wässrige Lösung von Pyrogallussäure und Kalilauge eintreten, welche Flüssigkeit sich durch Sauerstoff dunkel färbt. Man verfährt genau wie vorher und erhält bei festem Stand der Absorptionsflüssigkeit in der Bürette den Sauerstoffgehalt, wenn man von dem jetzt angegebenen Prozentgehalt den vorher gefundenen der Kohlensäure in Abzug bringt.

Für Bestimmung des Kohlenoxydes muss das bisher verwendete Absorptionsmittel vollkommen aus der Bürette entfernt werden. Zu diesem Zwecke saugt man die Flüssigkeit mittels der Flasche *S* vollständig ab, indem man nach entstandener Luftverdünnung Wasser aus dem Gefäss *t* nachlaufen lässt und damit bis zur vollständigen Entfernung des Absorptionsmittels fortfährt. Man lässt dann saure Kupferchlorürlösung aufsteigen. Der nun ermittelte Prozentgehalt, weniger der Summe der Kohlensäure und des Sauerstoffes, giebt den Prozentsatz an Kohlenoxyd an.

Zweckmässig werden vor jeder Ableseung die Absorptionsmittel, welche verschieden starke Adhäsion am Glase zeigen, durch Wasser verdrängt und die Ableseungen über Wasser vorgenommen. Dies geschieht, indem man die Hähne *a* und *b* öffnet und Wasser aus dem Trichteraufsatz ein- und durch den Hahn *b* Absorptionsmittel ausfliessen lässt; bei saurer Kupferchlorürlösung wird statt des Wassers verdünnte Salzsäure angewendet. Der Apparat kann in Verbindung mit einer zweiten Bürette ferner für die Bestimmung des Kohlenoxydes und des Wasserstoffes auf dem Wege der Verbrennung dienen<sup>2)</sup>.

## 2. Apparat nach Örsat-Fischer.<sup>3)</sup>

Dieser Apparat, zur Zeit wohl einer der gebräuchlichsten, wird entweder mit zwei (Fig. 43) oder mit drei (Fig. 44) Absorptionsgefässen ausgeführt, und zwar dient erstere Art zur Bestimmung von Kohlensäure und Sauerstoff, letztere Art ausser zur Ermittlung dieser beiden Gasarten noch zur Bestimmung von Kohlenoxyd.

Der Apparat besteht in der Hauptsache aus der Bürette *A* von 100 ccm Inhalt, die in ihrem unteren, etwa 40 ccm haltenden Teile in Zehntel ccm eingeteilt ist. Gegen Einfluss von Temperaturschwankungen ist Bürette *A* mit einem weitem Glasrohr umgeben, das an den beiden Enden durch Gummistopfen verschlossen ist. Der Zwischenraum zwischen Glaszylinder und Bürette ist mit Wasser ausgefüllt. Die Bürette selbst ist im Gehäuse sicher gelagert und steht unten durch Gummischlauch *s* mit der Niveauflasche *B*, am oberen Ende durch Capillarrohr *r* mit den Absorptionsgefässen *C*<sub>1</sub>, *C*<sub>2</sub> (resp. *C*<sub>3</sub>), sowie mit einem Watterfilter *F* von meist U-förmiger Gestalt in Verbindung. Die Schenkel des U-Rohres

<sup>2)</sup> Genauere Beschreibung würde hier zu weit führen; vergl. hierüber: Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung 1877, S. 447, u. 1878, S. 263; Dingl. polytechn. Journal 1878, 227 S. 167, — 228, S. 529; Thonindustrie-Zeitung 1878, No. 25 u. 26; Gastechniker, Band II, Heft 10 u. 11.

<sup>3)</sup> Von verschiedenen Firmen hergestellt.

werden mit Watte gefüllt, während sich in der unteren Biegung etwas Wasser befindet,<sup>4)</sup> um das angesaugte Gas sicher mit Feuchtigkeit zu sättigen. Durch die Hähne  $H_1$ ,  $H_2$ ,  $H_3$ , können die Absorptionsgefäße, durch Hahn  $H_4$  mit Winkelbohrung kann der Filter und hiermit der Gaszufluss zur Messburette  $A$  abgeschlossen werden. Die Hähne müssen selbstverständlich immer gut gehend und dicht schliessend

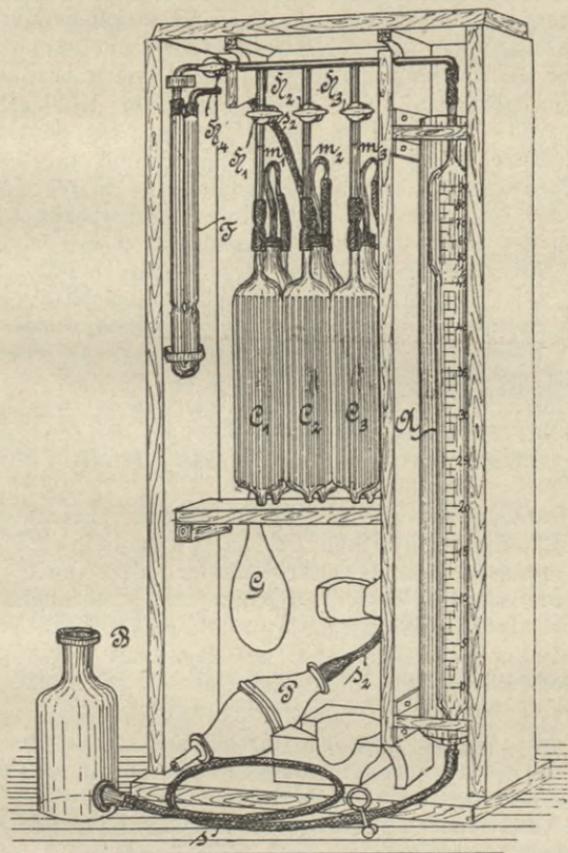


Fig. 41.

erhalten werden, was am besten durch Einfetten mit Vaseline geschieht. Durch Schlauch  $s_2$  ist das eine Ende des Filters  $F$  mit der Quetschpumpe  $P$  verbunden.

<sup>4)</sup> Vergl. *Fischer*, Taschenbuch für Feuerungstechniker, 1901, S. 31.

Die Absorptionsgefäße sind mit dem Capillarrohr  $r$  durch kurze Schlauchstücke verbunden und zur Vergrößerung der Berührungsfläche zwischen Gas und Flüssigkeit mit dünnen Glasröhren angefüllt. Die Gefäße stehen am unteren Ende mit in der Regel gleich grossen Aufnahmegefässen, welche oben durch Gummistopfen verschlossen sind, in Verbindung. Durch den Verschlussstopfen ist ein Glasrohr geführt, welches zwecks Abhaltung der atmosphärischen Luft von den Absorptionsflüssigkeiten mit einem Gummiballon  $G$  (Fig. 44) in Verbindung steht. Es kann für sämtliche Gefäße ein gemeinschaftlicher oder für jedes derselben ein gesonderter Ballon zur Anwendung gelangen. Als Absorptionsflüssigkeiten verwendet man für Bestimmung der Kohlensäure Kalilauge von 1,20 bis 1,28 spez. Gewicht, für Sauerstoff Pyrogallussäure (15 g in 30 ccm Wasser und fügt etwa 80 ccm Kalilauge hinzu) und für Kohlenoxyd Kupferchlorid (35 g in 200 ccm Salzsäure und einige Kupferspähe). Die Absorption des Sauerstoffes würde sich auch durch feuchten Phosphor bewerkstelligen lassen. Das Gefäß müsste dann natürlich zur Einbringung dieses Absorptionsmittels entsprechend gestaltet sein. Die Absorptionsgefäße werden bis etwa zur Hälfte mit Flüssigkeit gefüllt und die letztere sodann auf die entsprechenden Marken  $m_1$ ,  $m_2$  und  $m_3$  eingestellt (unterhalb der betreffenden Absperrhähne) was durch Absaugen der Luft aus dem Raum oberhalb der Flüssigkeit in jedem Gefäße durch die mit Wasser gefüllte Bürette geschieht.

Um festzustellen, ob der Apparat und die Gaszuleitung dicht sind, setzt man Hahn  $H_4$  in Verbindung mit der Bürette, quetscht das Gasentnahmerohr kurz nach dem Austritt aus dem Kessel ab und öffnet den Quetschhahn des Schlauches  $s$ . Die Wassersäule in  $A$  sinkt direkt beim Oeffnen etwas, muss dann aber auf demselben Niveau fest stehen bleiben. Ist dies nicht der Fall, so ist irgend eine Undichtigkeit vorhanden, die beseitigt werden muss.

Um den Apparat bequem fortschaffen zu können, ist derselbe in einem verschliessbaren, bequem zu tragenden Holzkasten untergebracht.

Zum Gebrauche des Apparates muss — falls dies nicht vorher schon geschehen — der Zwischenraum zwischen Bürette und Glasrohr sowie Flasche  $B$  mit destilliertem Wasser gefüllt werden. Alsdann stellt man die Flasche  $B$  hoch und setzt die Bürette durch entsprechende Drehung des Hahnes  $H_4$  mit der Aussenluft in Verbindung, sodass das Wasser in der Bürette hochsteigt. Bei Marke 100 im Messrohr stellt man Hahn  $H_4$  so, dass das Entnahmerohr in Verbindung mit der Quetschpumpe  $P$  steht und saugt mittels derselben Gase durch die Rohrleitung. Ist man sicher, dass

letztere nur mit Rauchgasen gefüllt, dass also alle Luft daraus verdrängt ist, so verbindet man durch Drehen des Hahnes  $H_4$  die Entnahmestelle mit der Bürette und lässt durch Senken der Flasche und mithin Entfernen des Wassers aus der Bürette Gase ansaugen. Sobald das Wasser die Marke Null im Messrohr erreicht hat, schliesst man  $H_4$  und hat mithin 100 ccm Gase im Apparat.

Zur Bestimmung des Kohlensäuregehaltes verbindet man durch Drehen des Hahnes  $H_1$  die Bürette mit dem Gefässe  $C_1$ , hebt die Flasche  $B$ , so dass das Glas nach  $C_1$  übertritt, senkt  $B$  wieder und treibt durch Heben der Flasche das Gas nochmals in das Absorptionsgefäss, worauf man durch Senken der Flasche  $B$  die Kalilauge wieder auf die Marke  $m_1$  einstellt. Nach Schliessen des Hahnes  $H_1$  hält man die Flasche  $B$  so, dass die Flüssigkeitsspiegel in dieser und in der Messbürette gleichstehen; der alsdann an letzterer abgelesene Wert giebt unmittelbar die Volumenprocente an Kohlensäure an.

In gleicher Weise verfährt man bei Bestimmung des Sauerstoffes, nur wird hier im allgemeinen ein öfteres Uebertreiben des Gases in das Absorptionsgefäss erforderlich sein. Der nach Beendigung der Absorption in der beschriebenen Weise festgestellte Stand der Sperrflüssigkeit in der Bürette giebt die Summe an Kohlensäure- und Sauerstoffgehalt an.

Ebenso verfährt man bei Bestimmung des Kohlenoxydgehaltes. Die Absorptionsfähigkeit der Kupferchlorürlösung wird aber schon nach einiger Zeit unsicher. *Fischer* zieht daher vor<sup>5)</sup> diese Probe auf Kohlenoxyd gar nicht erst auszuführen. Soll Kohlenoxyd bestimmt werden, so ist das genauere Verfahren vorzuziehen.<sup>6)</sup>

Zum Nachweis, ob andere Bestandteile als Kohlensäure in den Heizgasen enthalten sind, kann die Feststellung des

---

<sup>5)</sup> Siehe *Fischer*, Taschenbuch für Feuerungstechniker 1901, Seite 34.

<sup>6)</sup> Dasselbst S. 35. Im Uebrigen möge noch bemerkt sein, dass in der reinen Praxis die Gase meist so genau nicht untersucht werden können, da für ausführliche Versuche an Ort und Stelle nicht die erforderliche Zeit und Hilfe vorhanden ist. Man beschränkt sich in der Regel darauf, nur den Kohlensäuregehalt zu bestimmen und nur von Zeit zu Zeit, d. h. in längeren Zwischenräumen Sauerstoff- und Kohlenoxydgehalt festzustellen. Werden genauere Untersuchungen gewünscht, so müssen diese doch im Laboratorium vorgenommen werden und es genügt dann auch nicht allein, dass ausser  $CO_2$  nur  $O$  und  $CO$  bestimmt wird (vergl. weiter oben V), sondern es müssen auch noch der etwaige Wasserstoff und die Kohlenwasserstoffe, sowie der Russ festgestellt werden, welcher letzterer bei entsprechender Kohle immerhin recht wesentlich werden kann (vergl. z. B. Bericht der Heizversuchsstation München 1879/81, Bayer. Industrie- und Gewerbeblatt).

Sauerstoffgehaltes allein schon dienen (vgl. Schlussbemerkung).

Die Flüssigkeiten in den Gefäßen müssen natürlich, sobald die Absorption träge wird, erneuert werden.

Es ist aus Vorstehendem ersichtlich, dass dieser Apparat wesentlich bequemer zu handhaben ist, als der vorbeschriebene und dass derselbe sehr schnell in Bereitschaft gesetzt werden kann. Kleine Ungenauigkeiten der Angaben entstehen durch das Capillarrohr.

3. Orsat-Apparat nach Fuchs.<sup>7)</sup>

Aehnlich, wie der eben beschriebene Apparat, ist derjenige nach *Fuchs* (Fig. 45).

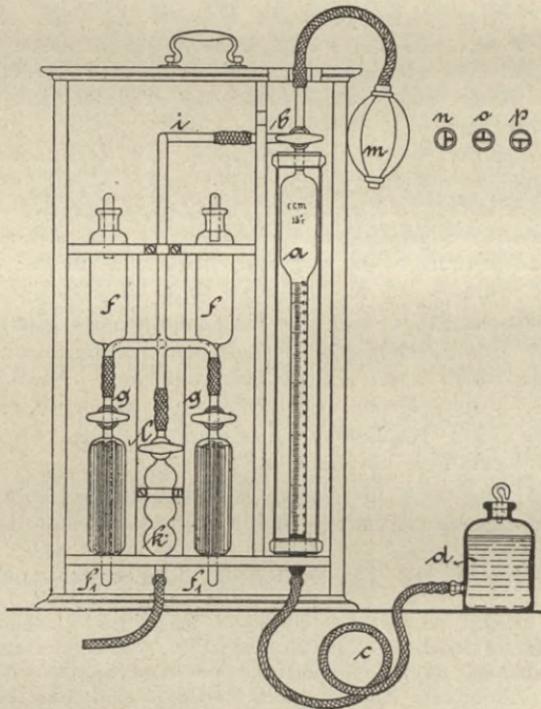


Fig. 45.

Der Apparat besteht wie jener aus der Gasbürette *a* von 100 ccm Inhalt, deren Marke 100 ccm auf der unterhalb der Hahnhülse befindlichen Capillare liegt, und ist am oberen Ende mit dem Dreiweghahn *b* versehen, am unteren durch Schlauch *c* mit der Flasche *d* in Verbindung gesetzt. Ueber den Absorptionsgefäßen *f* befindet sich ein Raum, gross

<sup>7)</sup> G. A. Schultze, Berlin SW.

genug, um beim Transporte oder Nichtgebrauche der Flasche *d* dieselbe dort unterzubringen.

Jedes der Absorptionsgefäße *f* besteht aus zwei zylinderförmigen Glaskörpern von etwa 110 ccm Inhalt, welche durch ein Rohr leitend mit einander verbunden sind. Der untere Glaskörper ist durch Hahn *g* verschliessbar, welcher auf der, der Ansatzseite gegenüberliegenden Stelle ein kurzes Stück capillares, mit Schlauchstück versehenes Rohr trägt. Das Capillarhahnrohr des früheren Apparates kommt hier in Fortfall. Die Gasbürette *a* ist mit den Absorptionsgefässen *f'* durch das Rohr *i* verbunden. In Verlängerung davon ist das Wattefilter *k* vorgesehen, welches vermittels des Hahnes *l* mit der Rauchgasleitung verbunden oder davon abgeschlossen werden kann. Zum Ansaugen der Rauchgase dient der Respirator *m*. Der Hahn *b* besitzt die Bohrungen, wie die Stellungen *n*, *o* und *p* ergeben.

Der Apparat wird ähnlich gehandhabt, wie der bereits beschriebene. Nach Einstellung der Absorptionsflüssigkeiten auf die Marke wird Hahn *b* in die Stellung *n* gebracht und mittels des Respirators Wasser in die Bürette gesaugt (es könnte dies natürlich auch durch Hochstellen der Flasche und Abnehmen der Quetschpumpe geschehen). Nach Einstellung des Wasserspiegels auf Marke 100 bringt man Hahn *b* in die Stellung *o* und saugt, indem man auch *l* öffnet, Gase durch die Rohrleitung; dann dreht man *b* in die Stellung *p* und es findet Füllung der Bürette mit Gasen statt, indem man Flasche *d* senkt. Bei Marke Null stellt man Hahn *l* ab, indem man beide Wasserspiegel (Flasche *d* und Bürette) in gleicher Höhe hält und treibt alsdann die Gase in die Absorptionsgefäße. Die Bestimmung geschieht in der bekannten Weise. Der Apparat wird mit zwei und drei Absorptionsgefässen geliefert, je nachdem nur Kohlensäure und Sauerstoff, oder ausserdem noch Kohlenoxyd bestimmt werden soll. Als Absorptionsmittel finden dieselben Flüssigkeiten Verwendung, wie sie weiter oben bereits angegeben sind.

Der Apparat ist ohne Zweifel noch etwas praktischer zu handhaben, als derjenige nach *Fischer*; doch dürfte die Genauigkeit eine grössere nicht sein, als bei diesem.

#### 4. Apparat nach *C. Schmitz*.<sup>8)</sup>

Eine gute, transportsichere Form zeigt der Apparat von *C. Schmitz* (Fig. 46), welcher in einen polierten Holzkasten mit fester Rückwand eingebaut ist.

Die Bürette *a* ist hier mit einem fest mit ihr verschmolzenen und mit Wasser gefüllten Mantel umgeben, so dass das Abdichten der Bürette in dem Schutzrohr, welches

<sup>8)</sup> Hergestellt von *Fr. Fischer & Röwer*, Stützerbach i. Thür.

bei mangelhafter Ausführung leicht zum Tropfen Anlass giebt, ganz wegfällt. Das Schutzrohr, wie es bei manchen Apparaten üblich ist, leer zu lassen, d. h. nur mit Luft zu füllen, ist nicht zu empfehlen, da die Luft viel weniger geeignet ist, Temperaturschwankungen des in der Bürette eingeschlossenen Gases zu verhindern, als Wasser (spez. Wärme 0,31 resp. 1,0). Unmittelbar an die Bürette ist der Dreiweghahn *g* angebracht und schliesst oben der Sauger *g*<sub>1</sub> an.

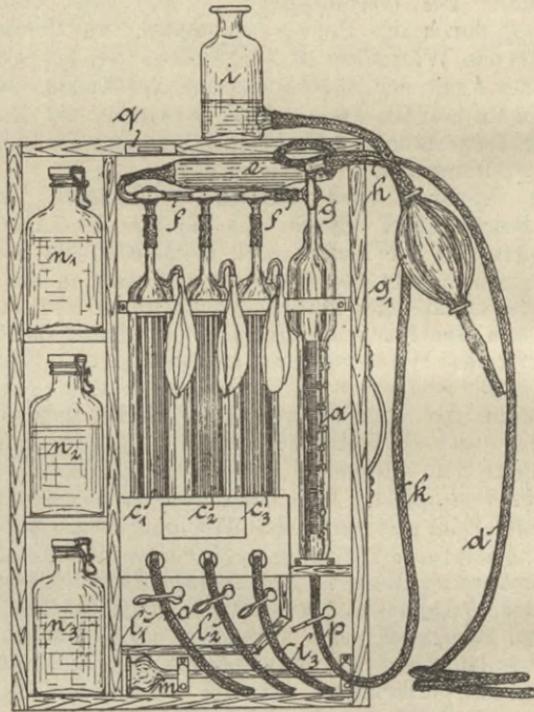


Fig. 46.

Das links zeigende, angeschmolzene Capillarrohr führt zum Hahnrohr *f*, welches 3 (resp. bei Apparaten für nur zwei Gase 2) Dreiweghähne enthält. Links schliesst sich dann durch einen Bogen das Filter *e* und an dieses das Gasentnahmerohr mit Schlauch *d* an.

Aus dieser Anordnung geht hervor, dass beim Absaugen mittels Saugers *g*<sub>1</sub> das ganze Hahnrohr von frischem Gas durchspült wird (wie dies übrigens auch bei dem Apparat nach *Fuchs* der Fall ist), so dass also das Zurückbleiben von altem Gas aus den früheren Untersuchungen in den schädlichen Räumen auf ein Minimum beschränkt ist.

Die Absorptionsgefäße  $e_1$  bis  $e_3$  (resp.  $c_1$  und  $c_2$ , siehe Fig. 46 S. 112) bestehen aus dem eigentlichen Absorptionsgefäß, welches mit Glasröhren gefüllt ist und einem Mantelgefäß, welches das erstere umschliesst. In den so entstandenen Ringraum treten die Absorptionsflüssigkeiten ein. Unten haben die Doppelgefäße einen Tubus, durch welchen die Glasröhren eingeführt werden können, durch welchen aber auch mittels Schläuche  $l_1$  bis  $l_3$ , die mit Quetschhähnen geschlossen sind, die Entleerung und Füllung mit den Absorptionsflüssigkeiten erfolgt. Auf diese Weise ist erreicht worden, dass der Apparat äusserst transportsicher wurde und zugleich das Füllen und Entleeren der Rohre gestattet, ohne einen Teil des Apparates abbauen zu müssen. Jedes Umschliessungsrohr der Gefäße  $c$  ist oben mit einem angeschmolzenen Glasrohr versehen, über welches je ein Gummiballon zur Abhaltung des Sauerstoffes der atmosphärischen Luft geschoben wird.

Eine kleine Vorrichtung, die jedoch von wesentlicher Bedeutung für das bequeme Arbeiten mit dem Apparat ist, ist der drehbare Schlauchhalter  $h$ . In ihm wird der Schlauch des Saugers, der oben an die Bürette anschliesst, und der Gasentnahmeschlauch  $d$ , welcher zum Filter  $e$  führt, eingelagert. Die Schläuche können infolgedessen nicht knicken und werden gleich oben seitwärts vom Apparat geführt, so dass sie handgerecht untergebracht sind, aber das Arbeiten an den Hähnen und das Ablesen an der Bürette nicht hindern. Für den Transport kann der Schlauchhalter in den Kasten zurückgedreht werden.

Die Absorptionsflüssigkeiten sind in Vorratsflaschen  $n_1$  bis  $n_3$  mit Patentverschluss untergebracht, die in 3 Abteilungen des Kastens transportsicher lagern. Ein beigegebener kleiner Trichter  $m$  dient zum Füllen der Absorptionsrohre. In der Abteilung  $o$  findet die Niveauflasche  $i$  Platz, während der Sauger  $g_1$  und kleinere Teile in dem Fache  $p$  untergebracht sind. Die Transportflaschen und die Niveauflasche werden für den Transport selbst in zugehörige Friesstücke gefüllt.

Die Handhabung und sonstige Inbetriebsetzung des Apparates ist ähnlich, wie die der früheren und dürfte nach der Beschreibung und Handhabung der oben behandelten Apparate unschwer zu erkennen sein.

### 5. Apparat nach Arndt.<sup>1)</sup>

Wie des öfteren schon darauf hingewiesen wurde, ist es in der reinen Praxis nicht immer möglich, ganz genaue Heizgasuntersuchungen anzustellen, d. h. ausser Kohlensäure

<sup>1)</sup> Firma *Wwe. Joh. Schumacher*, Köln u. *Ados, Feuerungs-technische Gesellschaft m. b. H.*, Aachen.

auch Sauerstoff, Kohlenoxyd, Wasserstoff u. s. w. zu bestimmen, sondern man wird und muss sich oft damit begnügen, nur den Kohlensäuregehalt festzustellen. Es ist daher für solche Fälle auch nicht erforderlich, dass der Apparat Vorrichtungen zur Bestimmung anderer Gasarten enthält, wenn im übrigen nur auf recht praktische Anordnung für die Bestimmung der Kohlensäure Rücksicht genommen ist. Ein Apparat, welcher dieses Ziel erstrebt und wohl erreicht, ist derjenige von der Firma *Wwe. Joh. Schumacher* zu Köln.

Der Apparat besteht aus dem Messgefässe *M* (Fig. 48, resp.  $M_1$  und  $M_2$ , Fig. 47), der Kautschukpumpe *P*, dem Filter *F*, dem Gefäss für die Kalilauge *K* und der aus dem

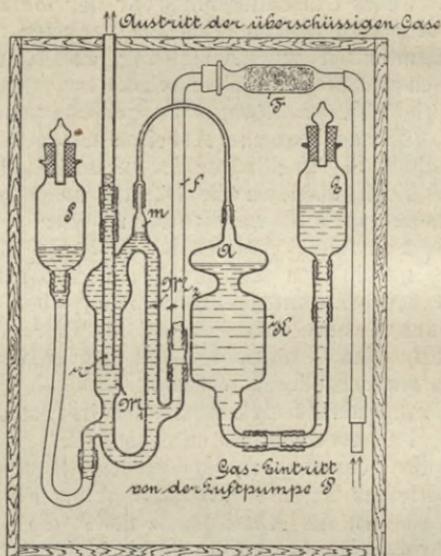


Fig. 47.

Schema des Apparates nach Arndt.

Halter herausnehmbaren Flasche *S*. Die rechts oben im Kasten angebrachte Einfeldflasche *E* dient zum Einguss der Kalilauge; *A* ist das Absorptionsgefäss.

Das Messgefäss besteht aus den beiden Glasrohren  $M_1$  und  $M_2$  (Fig. 47, schematische Darstellung), welche oben und unten kommunizieren. In das Rohr  $M_1$ , welches im oberen Teile kugelförmig erweitert ist, ist das Rohr *r* eingeschmolzen. Die Teilung für das Messgefäss ist derart angefertigt, dass das untere Ende des Rohres *r* gleichzeitig den Nullpunkt der Skala bildet (Fig. 48) und der Inhalt des Messgefäßes  $M_1$  plus dem Inhalte des Gefäßes  $M_2$  von diesem Nullpunkte an bis zur Marke *m* oberhalb der Vereinigung der beiden Schenkel des Messgefäßes 100 ccm beträgt.

Zur Ausführung von Analysen wird das Absorptionsgefäß *A* durch die Flasche *E* mit Kalilauge gefüllt und zwar bis zum Ansatz des gebogenen Schlauches, welcher das Absorptionsgefäß mit dem Messgefäß verbindet. Hierauf

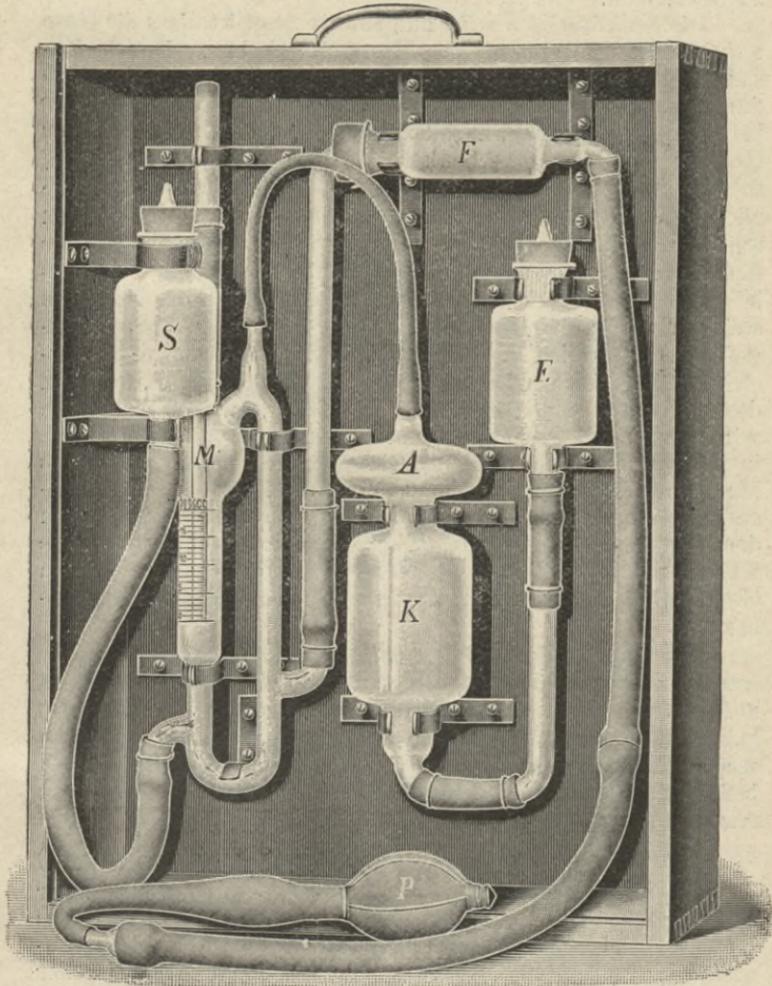


Fig. 48.

Absorptionsapparat nach Arndt.

wird die Senkflasche *S* herausgenommen und mit  $\frac{1}{3}$  Glycerin und  $\frac{2}{3}$  Wasser gefüllt, so dass letzteres beim Heben der Flasche durch das Messgefäß hindurch bis zu der eingravierten Marke *m* steigt. Ist dies erreicht, so soll der Boden der Flasche *S* eben noch mit der Flüssigkeit bedeckt sein.

Das Ende der Kautschukpumpe *P* wird mit dem Gasentnahmerohr in Verbindung gebracht, doch ist es vorteilhaft, wenn zwischen dieses und Pumpe nochmals ein Wattefilter geschaltet wird, um Verschmutzen der Pumpe durch Russ zu vermeiden.

Die Senkflasche *S* wird nun soweit gesenkt, dass die Gase ungehindert Eintritt in das Messgefäss haben. Durch Zusammendrücken der Kautschukpumpe treibt man die Gase durch das Filter in das Messgefäss und weiter durch das Rohr *r* ins Freie. Hebt man, nachdem man sicher ist, dass sich nur Gase in den Messrohrschenkeln befinden, die Senkflasche *S*, so wird die Flüssigkeit in den beiden Schenkeln hochsteigen, zunächst die Mündung des Rohres *f* zum Filter *F* abschliessen und durch den gebogenen, dünnen Gummischlauch auf die Kalilauge in *A* drücken. Die Flasche *S* muss so weit gehoben werden, dass die Absperrflüssigkeit bis zu der Marke *m* steigt. Die Gase werden die Kalilauge aus dem Absorptionsgefäss *A* teilweise verdrängen und wird auf der dann entstehenden grossen Oberfläche der Kalilauge die Absorption der Kohlensäure vor sich gehen. Nach etwa 10 Sekunden wird Flasche *S* gesenkt und es wird jetzt die Flüssigkeit in dem Rohr *r*, die natürlich entsprechend höher stand, als Marke *m*, schneller sinken, als die Flüssigkeit in dem Messgefässe selbst. Allmählich wird Uebereinstimmung zwischen dem Stande der beiden Flüssigkeitsoberflächen eintreten. Die Höhenlage, bei der dies geschieht, zeigt die Prozente der im Gase enthaltenen, absorbierten Kohlensäure unmittelbar an.

Wird nach 150 bis 200 Analysen die Absorption träge — was man daran erkennt, dass mit demselben Gas, wenn es noch einmal in das Absorptionsgefäss *A* gedrückt wird, ein höherer Gehalt erzielt wird — so muss die Kalilauge erneuert werden. Zu diesem Zwecke nimmt man die rechts oben befindliche Flasche *E* heraus, leert sie und füllt sie mit frischer Lauge.

#### 6. Selbstthätig aufzeichnender Absorptionsapparat von Arndt.<sup>2)</sup>

Die bisher oehandelten Absorptionsapparate gestatten nur nach jedesmaliger Füllung und Handhabung seitens des Untersuchenden die Feststellung des jeweiligen Kohlensäuregehaltes. *Arndt* hat nun einen Apparat konstruiert, welcher den Prozentgehalt an Kohlensäure durch Absorption feststellt und hierbei den jeweils durch den Apparat bestimmten Gehalt selbstthätig aufzeichnet. Das Prinzip, nach welchem der Apparat arbeitet, resp. den Kohlensäuregehalt feststellt, ist an und für sich dasselbe, wie bei dem soeben beschriebenen Apparate.

<sup>2)</sup> Ados, Feuerungstechnische Gesellschaft, G. m. b. H., Aachen.

Durch ein vom Schornsteinzug betriebenes Kraftwerk (vergl. weiter unten) wird die in Fig. 49, Taf. links stehende Flasche mit einer Sperrflüssigkeit, Glycerin, in bestimmten Zeitabschnitten um den Hub  $H$  gehoben und gesenkt. Die Flasche steht mit dem Gasbehälter (Messgefäß)  $G_1$  durch den Stutzen  $St_1$  und dem Schlauch  $s_1$  in Verbindung und kommuniziert somit das Glycerin in der Flasche und  $G_1$ . In der höchsten Stellung der Flasche spielt die Sperrflüssigkeit auf Marke  $m_2$  des Gasbehälters  $G_1$  ein. Das Gefäß  $G_1$  ist mit Teilung versehen und beträgt sein Rauminhalt zwischen den Teilstrichen 0 und 20 20 ccm, dasjenige von Null bis Marke  $m_2$  100 ccm.

Solange das Glycerin den Gaseintritt  $g_1$  am Gefäß  $G_1$  nicht abgeschlossen hat, können die in Pfeilrichtung  $I$  durch den Stutzen  $St_3$  und Rohr  $s_2$  eingepumpten Feuerungsgase in  $G_1$  frei zirkulieren und durch das Rohr  $r_1$  im Gasbehälter weiter durch Rohr  $s_3$  in Pfeilrichtung  $II$  in die Atmosphäre treten. Durch selbsttätiges Heben der Flasche steigt das Glycerin im Gefäß  $G_1$ , versperrt zunächst den Gaseintritt  $g_1$  und verhindert somit das weitere Eintreten der Rauchgase in das Messgefäß. Die dann noch unter dem Pumpendrucke ankommenden Gase sind genötigt, durch das Sperrgefäß  $S_6$  unter Ueberwindung der Flüssigkeitssäule  $h$  durch Stutzen  $St_2$  in die Atmosphäre zu treten. Es werden so von dem gesamten Inhalte der Pumpenglocke etwas mehr als 100 ccm Gas zwecks Analyse abgefangen, während der Rest in die Atmosphäre zurücktritt.

Wird nun die Flasche weiter gehoben, so wird die Sperrflüssigkeit bei Erreichung des Nullpunktes der Skala in dem Apparate eine Gasmenge von 100 ccm von atmosphärischer Spannung eingeschlossen haben. Diese wird nun bei weiterem Steigen der Sperrflüssigkeit bis zur Marke  $m_2$  durch das dünne Rohr  $s_4$  auf die Absorptionsflüssigkeit (Kalilauge) im Gefäße  $A$  gedrückt. Hierbei wird die Kohlensäure absorbiert und die Kalilauge von dem Rest der Gase verdrängt. Letztere steigt durch den engen Gummischlauch über Marke  $m_3$  in den Luftraum  $a_1$ , versperrt bei weiterem Steigen die Oeffnung des Rohres  $r_3$  und hat in diesem Augenblick etwa 60 ccm atmosphärische Luft durch  $r_3$  in die Atmosphäre verdrängt.

Der nun nach unten hydraulisch abgeschlossene Luftraum  $a_2$  ist oben mit dem im Gefäße  $G_2$  eingegossenen Glasstutzen  $G_3$  verbunden. In dem Glase  $G_2$  befindet sich Glycerin, in welches eine mit Führungsspitzen versehene Tauchglocke  $T$  eintaucht. Bei dem Eindringen der Kalilauge in den Luftraum  $a_2$  nach geschlossenem Röhrchen  $r_3$  wird nun eine entsprechende Luftmenge durch Schlauch  $s_5$  unter die Glocke  $T$  gedrängt. 20 ccm werden benötigt, um Glocke  $T$  bis zum Mitnehmerstifte  $W_1$  des Registrierhebels  $R$

zu heben. Die weiter noch bleibenden 20 cm abzüglich der von der Kalilauge absorbierten Kohlensäure werden zur Aufzeichnung des Diagramms, d. h. zum Heben der Schreibfeder  $F$  durch den Hebel  $R$ , vermöge Steigens der Kalilauge im Luftraum  $a_2$ , der damit verbundenen Luftverdrängung und hierdurch wieder bewirktes Steigen der Glocke  $T$  benutzt. Diese letztere wird also um so weniger gehoben, je mehr Kohlensäure in den Heizgasen vorhanden war und umgekehrt. Entsprechend wird die Feder  $F$  eine um so höhere Linie auf dem Diagrammstreifen aufzeichnen, je weniger Volumenprozent Kohlensäure die im Apparate eingeschlossenen Gase enthielten.

Die von einem kleinen Konsol  $Z$  gestützte Schreibfeder  $F$  bewegt sich auf einer Trommel auf und ab, die den Diagrammstreifen trägt; diese Trommel macht, durch ein Uhrwerk getrieben, in 24 Stunden eine Umdrehung.

Hat das Glyzerin seinen höchsten Stand bei Marke  $m_2$  im Gasbehälter erreicht, ist mithin die Flasche in ihrer höchsten Stellung, so ist die Analyse beendet. Es tritt ein selbstthätiger Hubwechsel der Flasche ein und die letztere, sowie die Sperrflüssigkeit in  $G_1$  sinkt, ebenso die Kalilauge in  $a_1$ , während sie in  $A$  steigt, hierdurch aber das von der Kohlensäure befreite Gas nach  $G_1$  zurückdrängt, und werden mit den durch den Gasbehälter neu angesaugten Gasen in die Atmosphäre befördert. Da die Pumpen ungefähr das Dreissigfache des zu einer Analyse erforderlichen Gases fördern, so ist genügende Sicherheit vorhanden, dass die neu zu analysierende Gasprobe keinerlei Gasreste der vorangegangenen enthält.

Auf diese Weise wiederholen sich die einzelnen Gasanalysen ganz selbstthätig alle 10 Minuten oder öfter, je nachdem man das Kraftwerk schneller oder langsamer durch Stellen des im Verbindungsrohr zum Schornsteinzug eingeschalteten Quetschhahnes  $Q$  (Fig. 51, Taf.) arbeiten lässt.

Der ganze Apparat befindet sich in einem mit einer abschliessbaren Glashüre versehenen Holzkasten.

Kontrollieren lassen sich die durch Schreibfeder  $F$  aufgezeichneten Angaben, indem man beim Sinken der Flasche die beiden Flüssigkeitsspiegel im Messgefässe  $G_1$  und Rohr  $r_1$  beachtet. Der Teilstrich, an welchem beide Flüssigkeitsspiegel auf einer Höhe stehen (vergl. den Vorgang bei dem vor diesem beschriebenen Handabsorptionsapparate), giebt den wirklichen Kohlensäuregehalt an und muss die Aufzeichnung der Feder  $F$  mit diesem übereinstimmen.

Das Ansaugen und Weiterdrücken der Gase durch den Apparat geschieht durch eine doppelwirkende Gaspumpe. Dieselbe besteht aus den Gefässen  $A$  und  $B$  (Fig. 50, Taf.), welche bis zu einem Ueberlauf mit Wasser gefüllt sind und durch

deren Boden je ein Saugrohr  $a$  und  $b$  geführt ist. In die Sperrflüssigkeit tauchen zwei Pumpenglocken  $G_1$  und  $G_2$ , die abwechselnd saugen und drücken.

Wird nun z. B. die Glocke  $G_2$  vom Kraftwerk gehoben, so entsteht unter der ersteren eine Luftverdünnung und die Glocke saugt das von  $c$  ankommende Gas nach Ueberwindung der kleinen Flüssigkeitssäule  $f$  an. Tritt Hubwechsel ein, so drückt die Glocke  $G_2$  die Gase durch Ventil  $V_4$  und  $V_2$ , die Gase überwinden wieder eine Flüssigkeitssäule gleich  $f$  und werden in der Pfeilrichtung in den eigentlichen Apparat gedrückt. Gas, welches durch ein Ventil gegangen ist, kann nicht mehr durch dasselbe zurück. Beim Heben und Senken der Glocke  $G_1$  arbeiten die Ventile  $V_3$  und  $V_1$  in entsprechender Weise. Die Ventile werden bis zur Marke mit reinem Glycerin gefüllt.

Zur Bethätigung sowohl der Gaspumpen, als auch zum Heben und Senken der Glycerinflasche, dient das Kraftwerk (Fig. 51, Taf.). Dasselbe besteht aus einem Behälter, welcher bis zur Marke mit einer Sperrflüssigkeit (Wasser) gefüllt ist. Um das Gewicht des Behälters zu vermindern, befindet sich im Innern ein Hohlzylinder, der zugleich dazu dient, das Saugrohr oben festzuhalten. Eine Glocke taucht in die Sperrflüssigkeit. Am Gehäuse ist ein Holzgestell befestigt, das die Schnurscheiben  $J$ ,  $G$ ,  $H$  und ein Ventil trägt. Die Luftkammer des letzteren ist mit dem Schornstein durch ein Rohr verbunden.

Bei geschlossenem Ventil erstreckt sich der Schornsteinzug von der Luftkammer des Ventils durch einen Schlauch und Rohr unter die Glocke, erzeugt dadurch Luftverdünnung und der atmosphärische Luftdruck drückt die Glocke herab. Auf der Scheibe  $J$  befinden sich nun zwei Mitnehmerstifte, die einen Hebel abwechselnd von der einen Seite auf die andere werfen. Es würde dementsprechend der eine Mitnehmer, wenn angenommen wird, dass das Ventil geschlossen ist, den Hebel über die Vertikale werfen und infolgedessen würde sich das Ventil öffnen. Der Schornsteinzug kann sich nun nicht mehr bis unter die Glocke erstrecken, da die unmittelbare Luftverbindung hergestellt ist und der Druckunterschied auf und unter der Glocke ist nicht mehr vorhanden. Ein ausbalanzirtes Gegengewicht  $K$  zieht nun die Glocke so lange in die Höhe, bis der andere Mitnehmer den Hebel wiederum über die Vertikale wirft und so das Ventil wieder schliesst, worauf die Glocke, da nunmehr der Schornsteinzug in Thätigkeit tritt, wieder sinkt. Auf diese Weise wiederholt sich das Spiel ununterbrochen. Zwischen Luftkammer des Ventils und dem Rohr befindet sich eine Quetsche, mit deren Hilfe man die Zugstärke drosseln kann.

Um den Apparat ausser Thätigkeit zu setzen, entfernt man aus dem Rohre unten den Stöpsel S.

Als Gasfilter, welcher möglichst unmittelbar nach dem Austritt des Gasentnahmerohres aus dem Kessel in die Gaszuleitung eingeschaltet wird, wird hier der in Fig. 52, Taf. dargestellte Apparat benutzt, dessen Konstruktion aus der Figur ohne weiteres zu ersehen sein dürfte.

Das Diagramm Fig. 53, Taf. stellt die Aufzeichnung des Apparates während einer Arbeitsschicht von 24 Stunden dar. Beim Beurteilen des Diagramms ist zu beachten, dass hier die weisse Fläche die Kohlensäureprocente bedeuten, welche von der oberen Begrenzungslinie des Diagrammes aus zu rechnen sind. Der Kohlensäuregehalt wird also um so grösser, je geringere Höhen die im Diagramm aufgezeichneten Senkrechten annehmen.

#### d) Rauchgas-Sammelapparate.

Die vorstehend beschriebenen Apparate zur Bestimmung der Kohlensäure sollen durchaus keine Aufzählung aller hier überhaupt inbetracht kommenden Apparate sein, sondern es sollte nur insofern etwas Vollständigkeit angestrebt werden, als alle in der Dampfkessel- und Feuerungspraxis brauchbaren und teilweise in Verwendung stehenden Apparate und Vorrichtungen genannt werden sollten. Sie Alle bedürfen, mögen sie nun zur stetigen Anzeige oder zur zeitweisen Feststellung des Kohlensäuregehaltes dienen, einer entsprechenden Wartung, um sie in betriebsfähigem Zustande zu erhalten und die Angabe richtiger Ergebnisse zu sichern. Insbesondere betrifft dies alle selbstthätig aufzeichnenden Apparate, da bei diesen naturgemäss ausserordentlich viele Nebenapparate erforderlich sind, deren jeder einzelne eine gute Instandhaltung verlangt, um fortdauernd richtiges Anzeigen des Apparates zu bewirken.

Ferner gestatten sämtliche Apparate, den jeweiligen Kohlensäuregehalt unmittelbar nach der Entnahme der Gasprobe abzulesen und bieten somit für den Beobachter die Möglichkeit, unmittelbar ein Bild von dem jeweiligen Stande der Feuerungsanlage zu erhalten.

Könnte man nun für eine einmalige Untersuchung einer Feuerung ohne grosse Kosten einen selbstthätig aufzeichnenden Apparat zur Aufstellung bringen, so würde man ohne weiteres über den ununterbrochenen Verlauf der Wirkungsweise der Feuerung unterrichtet sein. Es sind nun für vorübergehende Kessel- oder Feuerungsuntersuchungen derartige Apparate einesteils viel zu teuer, anderenteils ist die Aufstellung und Inbetriebsetzung mit ziemlich grossem Zeitverlust verknüpft, so dass man, wenn man eine fortdauernde Untersuchung der Heizgase zu haben wünscht, auf Handapparate angewiesen

ist. Diese bedingen jedoch wieder das Vorhandensein einer entsprechenden Hilfskraft, welche die Untersuchungen auszuführen im Stande ist, und deren Zeit, wenn die Versuche fortlaufend ausgeführt werden sollen, hierdurch ganz in Anspruch genommen sein würde. Um daher einestheils diese Hilfskraft zu sparen, andererseits aber auch eine Probe der mittleren Zusammensetzung der Heizgase zu haben, um im Laboratorium genauere Untersuchungen auf Kohlenoxyd etc. ausführen zu können, verwendet man mitunter sog. Rauchgassammelapparate.

Dieselben haben den Zweck, während der ganzen Versuchszeit einen kleinen Teil der Abgase anzusaugen und man hat dann mithin am Schlusse des Versuches einen Mittelwert der Rauchgasszusammensetzung; allerdings muss bekannt werden, dass man hierdurch den Vorteil, ein Bild von dem Verlauf der Wirkungsweise der Feuerung zu bekommen, aufgibt, doch dürfte wohl für diese Fälle, um welche es sich hier handelt, der erstere Vorteil der grössere sein.

Am einfachsten benutzt man als derartigen Sammelbehälter ein Gefäss mit geäichtem Inhalte, welches vor Gebrauch mit Wasser gefüllt wird. Durch ein Wasserstandsglas mit Teilung lässt sich von aussen erkennen, wie weit die Füllung vorgeschritten ist. Die obere Oeffnung des Gefässes wird mit dem Gasentnahmerohr in Verbindung gebracht und nach Prüfung, ob die Zuleitung dicht ist, wird der Wasserablaufhahn geöffnet und es wird ein ununterbrochener Strom an Rauchgasen in den Apparat gesogen.

In etwas anderer Weise, wie den beschriebenen, äusserst einfachen Apparat bildet die Firma *Wwe. Joh. Schumacher* ihre Rauchgassammelapparate aus, welche insbesondere in Verbindung mit Rauchgaswagen<sup>3)</sup> geliefert werden (vergleiche weiter oben bei Beschreibung von *Arndts* Gaswage).

Dieser Apparat (Fig. 54, Taf.) besteht aus dem zylindrischen mit Wasser gefüllten Gefässe *a*, in welchem sich die Tauchglocke *b* hebt und senkt. Ueber dem Wasser befindet sich eine dünne Oelschicht zur Verhinderung der Absorption der Kohlensäure. Am Kopfe eines Holzgestells *c* sind auf gemeinschaftlicher Achse die Rollen *d* und *e* befestigt. Rolle *d* ist durch eine Schnur mit der beweglichen Tauchglocke verbunden, Rolle *e* trägt an einer Schnur ein Gegengewicht *f* zur Ausbalanzierung der Glocke. Durch Aufsetzen des Bleigewichtes *g* wird die Glocke *b* gehoben, infolge dessen dieselbe Gase aus dem Gasentnahmerohr durch Gummischlauch *h* ansaugt. Auf diesem Wege gehen die Gase zwecks Reinigung durch die Filter *i* und *k*. Der unter den letzteren befindliche Wassersack *l* ist

<sup>3)</sup> Dieselben können jedoch auch in Verbindung mit jedem anderen Apparate benutzt werden.

stets mit Wasser gefüllt zu halten. Neben den Filtern ist noch ein Schauglas  $m$  in die Leitung eingeschaltet, welches im unteren Teile mit Glycerin gefüllt ist. Letzteres soll die untere Verbindung der U förmigen Glasröhre eben füllen, so dass Gase, die aus dem linken Schenkel kommen, in Form von Blasen im Glycerin sichtbar werden. Der Stand des Glycerins lässt sich durch Verlängerung und Verkürzung des im Gummischlauch verschiebbaren, senkrechten Mittellöhrchens  $n$  senken, bezw. heben.

In Betrieb gesetzt wird der Apparat, indem man das Bleigewicht  $g$  auf das Gegengewicht  $f$  setzt, das Hähnchen  $o$  öffnet und die Glocke bis unter den Spiegel der im Gefässe  $a$  befindlichen Oelschicht niederdrückt, so dass alle Luft aus der Glocke entweicht. Jetzt schliesst man  $o$ , öffnet dagegen Hahn  $p$  für die Gaszuleitung und lässt die Tauchglocke steigen, bis man sicher ist, dass alle Luft aus der Rohrleitung, den Filtern u. s. w. entfernt ist. Alsdann schliesst man  $p$  wieder, öffnet  $o$  und drückt die Glocke nochmals unter den Oelspiegel, so dass auch dieses Gas aus der Tauchglocke entweicht. Die Hähne  $o$  und  $p$  werden nunmehr wieder umgestellt und der Apparat kann in Thätigkeit treten. Es erübrigt nur noch, Hahn  $p$  so einzustellen, dass die Glocke sich in einer bestimmten Zeit füllt. Um dies festzustellen, soll das Schauglas  $m$  dienen; treten etwa 30 bis 40 Gasblasen i. d. Minute durch das Glycerin, so hebt sich die Glocke in etwa 10 Stunden einmal.

Am Ende des Hubes setzt sich das Gegengewicht unten auf ein Brettchen  $q$ , wodurch der Apparat zur Ruhe kommt und ein Heraustreten der Glocke unmöglich wird.

Um die im Behälter befindlichen Gase nach dem Kohlensäureuntersuchungsapparate zu leiten, verbindet man die Leitung  $w$  mit diesem, entfernt das lose Gewicht  $g$  von  $f$  und setzt es auf den Teller  $r$  über der Tauchglocke, welche dann langsam sinken wird und Gase in den Untersuchungsapparat treibt.

### VII. Schlussbemerkungen.

Die atmosphärische Luft enthält 21,0  $R-T$  Sauerstoff und 79,0  $R-T$  Stickstoff (und Argon). Wenn daher der Gehalt der Rauchgase einer Feuerung an Sauerstoff ( $O_v$ ) und Stickstoff ( $N_v$ ) bekannt sein würde, so müsste sich verhalten:

$$\varphi : 1 = 21 : \left( 21 - \frac{79}{N_v} \cdot O_v \right) = N_v : \left( N_v - \frac{21}{O_v} \cdot 79 \right)$$

Dementsprechend ist

$$\varphi = \frac{21}{21 - \frac{79}{N_v} \cdot O_v} = \frac{N_v}{N_v - \frac{21}{O_v} \cdot 79} \quad (52)$$

Ferner würde in diesem Falle das Rauchgasvolumen sein:

$$G_v = 1,854 C + 1,854 C \cdot \frac{O_v}{K_v} + 1,854 C \cdot \frac{N_v}{K_v} \\ + \frac{2 S}{2,899} + \frac{9 H + W}{0,806}$$

oder

$$G_v = 1,854 C \cdot \left( 1 + \frac{O_v + N_v}{K_v} \right) + \frac{2 S}{2,899} + \frac{9 H + W}{0,806} \quad (53)$$

Hierbei würde also Voraussetzung sein, dass neben dem Prozentgehalte der Rauchgase an freiem Sauerstoff auch derjenige des Stickstoffes bekannt sei. Wenn nun auch ersterer, d. h.  $O_v$  in der Regel mit den meistgebräuchlichen Apparaten zur Rauchgasuntersuchung bestimmt werden kann, so ist das von dem Stickstoffgehalte ( $N_v$ ) nicht ohne weiteres der Fall, wenn man nicht einfach annehmen will, alles Uebrige, nach Abzug der Kohlensäure und des Sauerstoffes sei Stickstoff. Zutreffend würde diese Voraussetzung in äusserst seltenen Fällen sein, da die Kohle zunächst immer etwas Schwefel enthält, ferner eine geringe Menge Stickstoff, ganz abgesehen von etwaigen Beimengungen noch brennbarer Gase, so dass man hiermit, selbst wenn die Verbrennung eine vollkommene war, nicht in allen Fällen genaue Werte erhalten wird.

Kennt man nun die Werte von  $K_v$  und  $O_v$ , so lässt sich schon aus der Summe dieser beiden Werte annähernd feststellen, ob die Verbrennung eine vollkommene war, oder ob etwa brennbare Gase in den Verbrennungsprodukten vorhanden sind. Wie zu Ende des IV. Abschnittes der Abhandlung festgestellt war, giebt für mittlere Verhältnisse die Summe von  $K_v$  und  $O_v$  ungefähr die Zahl 20, sodass, wenn man als Summe von  $K_v$  und  $O_v$  eine von dieser sehr abweichende Zahl erhält, man auf das Vorhandensein brennbarer Gase und mithin auf unvollkommene Verbrennung schliessen kann. Für  $\varphi = 1$  müsste allerdings die Summe  $K_v + O_v$ , da  $O_v = 0$  ist, den Wert von  $K_v$  annehmen. Für  $\varphi = 1$  könnte daher dieser Wert wesentlich geringer werden als 20, wie z. B. Tabelle 4 erkennen lässt, worin  $K_v$  max. den Wert von 17,7 erreicht, so dass, wie bemerkt, dieses Verfahren nur ein Annäherungsverfahren bleibt. Immerhin ist aber zu bedenken, dass  $\varphi = 1$  niemals erreicht werden kann, so dass der Näherungswert für die Praxis meist genügt.

Infolge des Umstandes, dass die Summe von  $K_v + O_v$  durchschnittlich gleich 20 ist und in Berücksichtigung ferner, dass kleine Beimengungen anderer Gase meist vorhanden sein werden, wird der Wert von  $N_v$  in der Regel wenig von dem Wert 79 v. H. abweichen, so dass Gleichung

$$\varphi = \frac{21}{21 - \frac{79}{N_v} \cdot O_v}$$

übergeht in

$$\varphi = \frac{21}{21 - \frac{79}{79} O_v} = \frac{21}{21 - O_v} \quad \dots \quad (54a)$$

oder aber, da

$$K_v + O_v = 20$$

also

$$O_v = 20 - K_v$$

ist, so wird

$$\varphi = \frac{21}{21 - (20 - K_v)} = \frac{21}{1 + K_v} \quad \dots \quad (54b)$$

d. h. man kann, wenn  $N_v$  für sich nicht bestimmt wird, zur ungefähren Ermittlung von  $\varphi$  mit derselben Genauigkeit kommen, als wenn  $N_v$  lediglich als Gasrest, nach Abzug von  $K_v$  und  $O_v$ , angesehen wird.

Es dürften die Gleichungen 54a und 54b jedenfalls in einfachster Weise die Feststellung der zugeführten Luftmenge zu der theoretisch notwendigen gestatten, wenn es auf grössere Genauigkeit nicht ankommt, oder wenn die genaue Zusammensetzung des Brennstoffes nicht bekannt war, da in der Gleichung als Unbekannte nur  $K_v$  resp.  $O_v$  vorkommt.

Um den Wert sämtlicher Gleichungen gegeneinander abschätzen zu können, seien nachstehend noch einige Beispiele gegeben.

Beispiel 1. Es sei eine Kohle verbrannt worden von der Zusammensetzung;  $C = 0,80$ ;  $H = 0,04$ ;  $O = 0,05$ ;  $S = 0,01$ ;  $N = 0,01$ ;  $A = 0,06$ ;  $W = 0,03$ . Demnach wird  $O_e = 2,414$ ;  $H_v = 7465,75$ . — Es sei nur  $K_v = 12\%$  bestimmt und die Wirkungsweise der Feuerung lasse die Annahme zu, die Verbrennung sei eine vollkommene gewesen.

Das Verhältnis der zugeführten zur theoretisch notwendigen Luftmenge,  $\varphi$ , beträgt

1. nach Gleichung (15)

$$\varphi = \frac{1,854 C + K_v (0,699 O_e - 1,854 C)}{3,33 O_e \cdot K_v} = 1,56$$

2. nach Gleichung (16)

$$\varphi = \frac{18,8}{K_v} = 1,57$$

3. nach Gleichung (54b)

$$\varphi = \frac{21}{1 + K_v} = 1,61.$$

Das Rauchgasvolumen, ohne Berücksichtigung des Wasserdampfes, würde betragen

1. nach Gleichung (21)

$$G_v = \frac{1,854 C}{K_v} = 12,36 \text{ cbm}$$

2. Nach Gleichung (13)

$$G_v = 1,854 C + 0,699 O_e (\varphi - 1) + O_e \cdot \varphi \cdot \frac{3,31}{1,2562} + \frac{2 S}{2,899}$$

$G_v = 1,4832 + 0,9449 + 9,922 + 0,013 = 12,363 \text{ cbm}$ , wobei  $\varphi$  nach Gleichung (15) als der richtigste Wert eingesetzt wurde.

Der Wärmeverlust durch die Abgase bestimmt sich:

1. nach Gleichung (22) zu

$$Q_v = \left( \frac{1,854 C}{K_v} \cdot c + \frac{9 H + W}{0,806} \cdot c_1 \right) \cdot T - t$$

und mit  $c = 0,32$ ,  $c_1 = 0,48$  und  $T - t = 250^\circ$ , zu

$$Q_v = 1046,8 W - E \text{ oder } 14,02\% \text{ des Heizwertes.}$$

2. nach Gleichung (25) zu

$$q_v = \frac{T - t}{K_v} \cdot 0,66$$

$q_v = \infty 14\%$  des Heizwertes (vergl. auch die graphischen Darstellungen Fig. 1 und Fig. 2).

Die Gleichungen (52) und (53), welche die Kenntnis mindestens von  $O_v$  bedingten, könnten unter den gemachten Voraussetzungen überhaupt nicht benutzt werden.

Beispiel 2. Es komme eine Kohlensorte wie unter IV (weniger gute Kohle) der Tabelle 4 zur Verwendung.  $O_e = 1,829 \text{ kg}$ ,  $H_w = 5632 W - E$ . Es sei festgestellt  $K_v = 11,97\%$ .  $O_v = 7,1$  und demnach ist, da  $N_v$  für sich nicht bestimmt wurde, angenommen  $N_v = 100 - (K_v + O_e) = \infty 81\%$ . Die Temperaturdifferenz sei zu  $T - t = 250^\circ$  bestimmt.

Es würden sich hieraus folgende Resultate ergeben:

1. Das Verhältnis der zugeführten, zu der theoretisch notwendigen Luftmenge würde betragen:

- a) Nach Gleichung (15)  $\varphi = 1,5$  (als genauester Wert)
- b) " " (16)  $\varphi = 1,56$
- c) " " (52)  $\varphi = 1,49$
- d) " " (54a)  $\varphi = 1,5$ .

2. Das Rauchgasvolumen würde sich ergeben zu:

	Nach Gl. (21)	Nach Gl. (13)	Nach Gl. (53)
Kohlensäure	—	1,0753 cbm	1,0753 cbm
freier Sauerstoff	—	0,6392 „	0,6378 „
Stickstoff	—	7,2264 „	7,276 „
$S O_2$	—	0,0335 „	0,0335 „
Gesamtvolum. ohne $H_2O$	8,983 cbm	8,9744 „	9,0226 „
Wasserdampf ohne Rücksicht auf den Wassergehalt der Verbrennungsluft	} 0,585 „	0,585 „	0,585 „

3. Der Wärmeverlust durch die Abgase bestimmt sich:

- Nach Gleichung (22)  $Q_v = 789 W-E$  oder 14 0/0 des Heizwertes.
- Nach Gleichung (25)  $q_v = \infty 14 0/0$  des Heizwertes.
- Aus der Zusammensetzung der Abgase nach Gleich. (53) berechnet:

durch Kohlensäure	=	1,0753 . 0,439 . 250 =	118,012 $W-E$
durch Sauerstoff	=	0,6378 . 0,311 . 250 =	49,600 $W-E$
durch Stickstoff	=	7,276 . 0,306 . 250 =	556,600 $W-E$
durch $S O_2$	=	0,0335 . 0,445 . 250 =	3,727 $W-E$
durch $H_2 O$	=	0,585 . 0,48 . 250 =	71,200 $W-E$

Die Summe ergibt 799  $W-E$  oder 14,2 0/0 des Heizwertes.

Wie aus den Ergebnissen der beiden Beispiele zu erkennen ist, geben auch die einfachen Gleichungen, welche nur die Kenntnis des Wertes von  $K_v$  bedingen, durchaus brauchbare für mittlere Verhältnisse für die Praxis jedenfalls genügend genaue Werte.









Fig. 14.  
Gaswaage von Custodis ohne Registriervorrichtung.

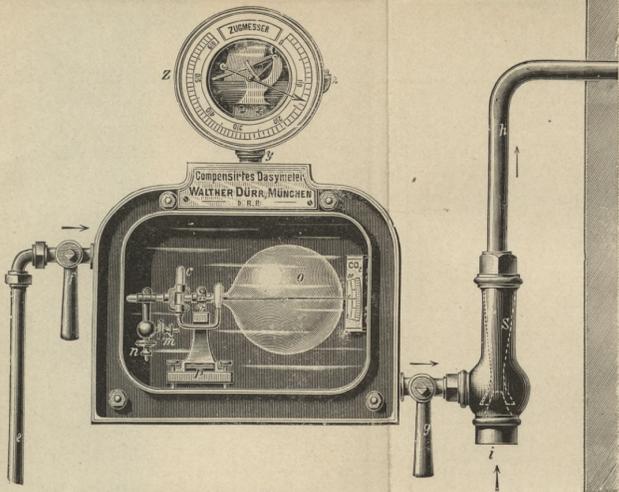


Fig. 21.  
Rauchgaswaage von W. Dürr.

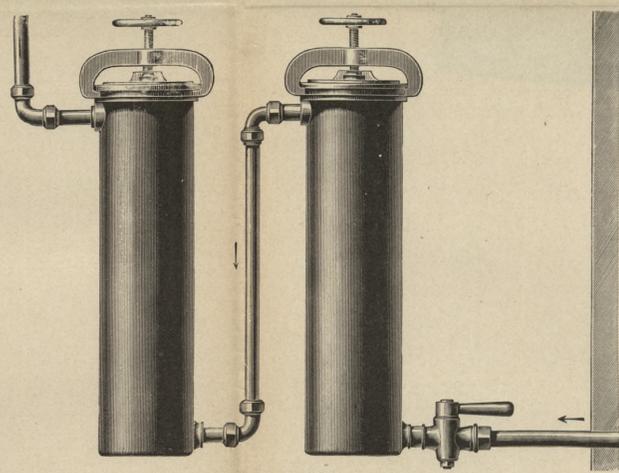


Fig. 22. Filter.

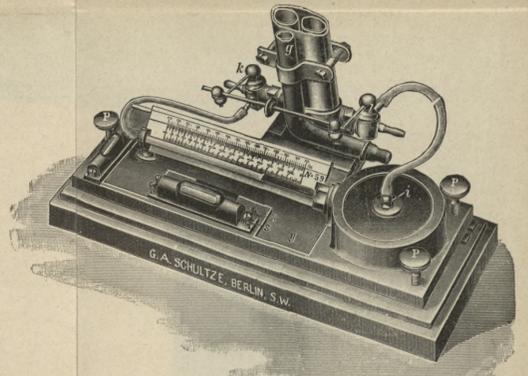


Fig. 30.  
Mikromanometer der Rauchgaswaage nach Krell.

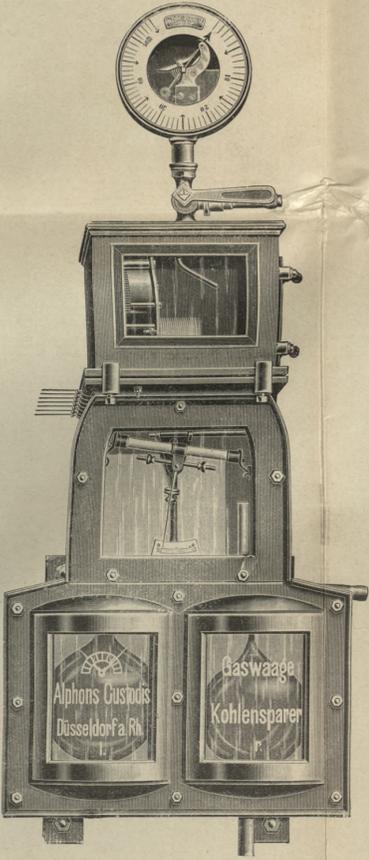


Fig. 15.  
Rauchgaswaage von Custodis mit Registriervorrichtung.



Fig. 29.  
Rohrsystem.

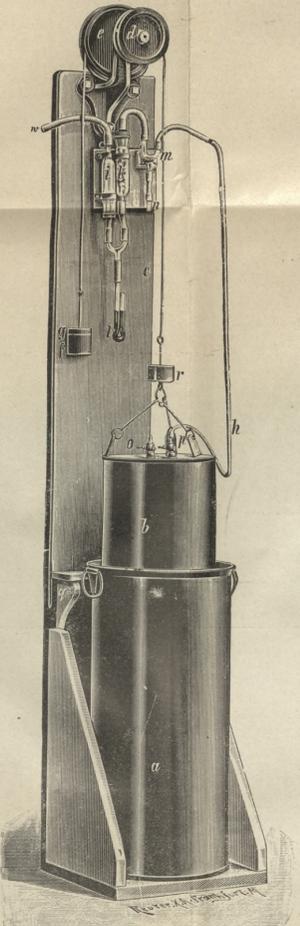


Fig. 54. Rauchgassammelapparat von Schumacher.

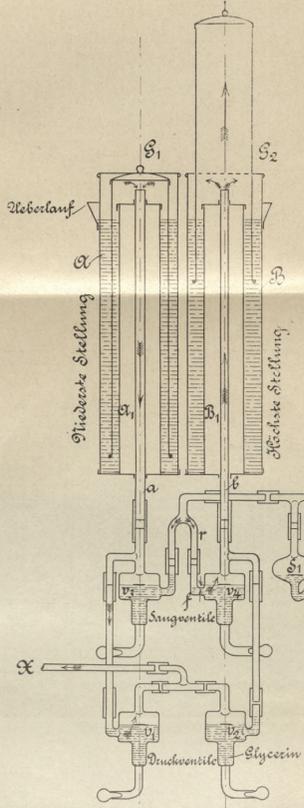


Fig. 50. Gaspumpe.

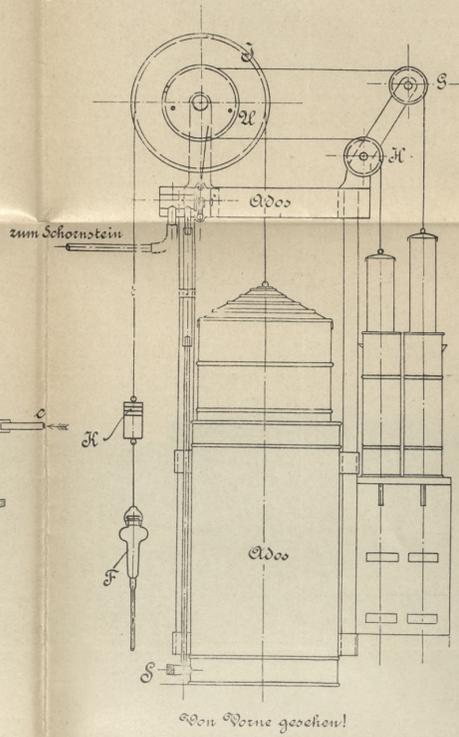


Fig. 51. Kraftwerk.

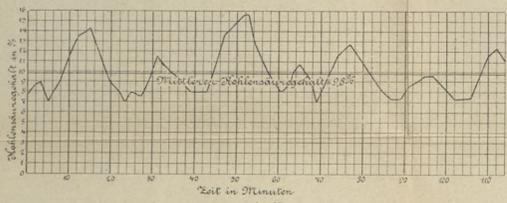


Fig. 17.  
Diagramm I.

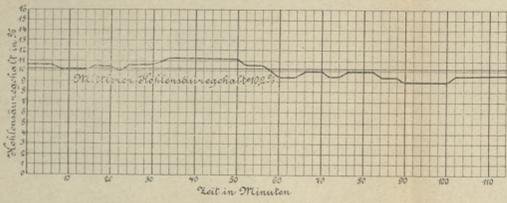


Fig. 18.  
Diagramm II.

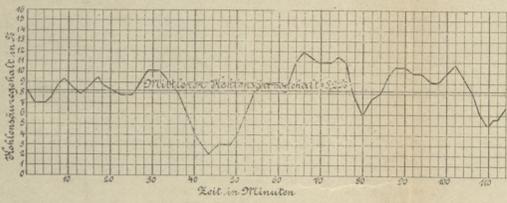


Fig. 19.  
Diagramm III.

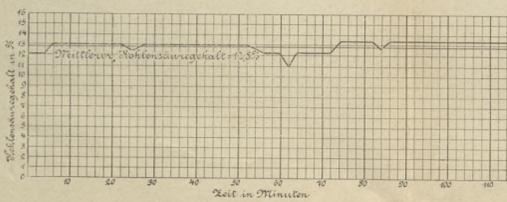


Fig. 20.  
Diagramm IV.

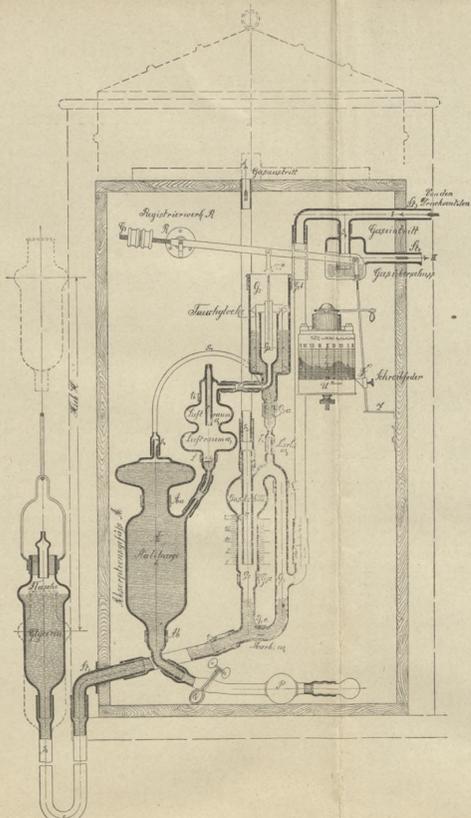


Fig. 49.  
Selbsttätig aufzeichnender Absorptionsapparat von Arndt.

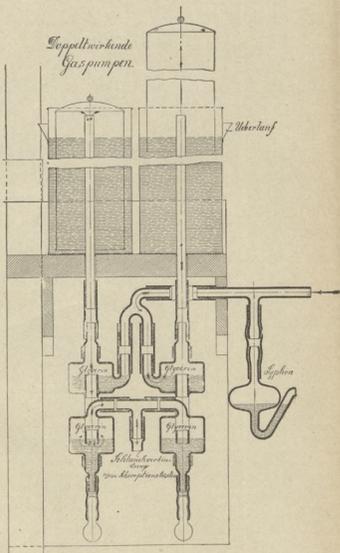


Fig. 52. Gasfilter.

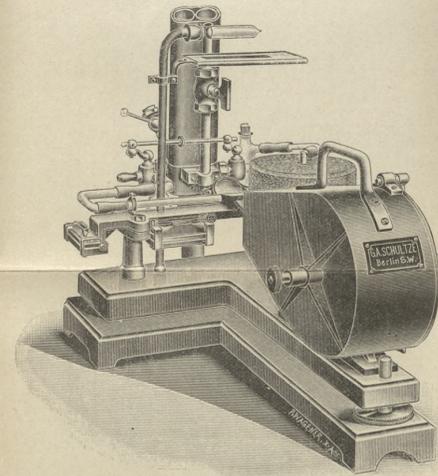


Fig. 37.  
Ansicht der Registriervorrichtung.

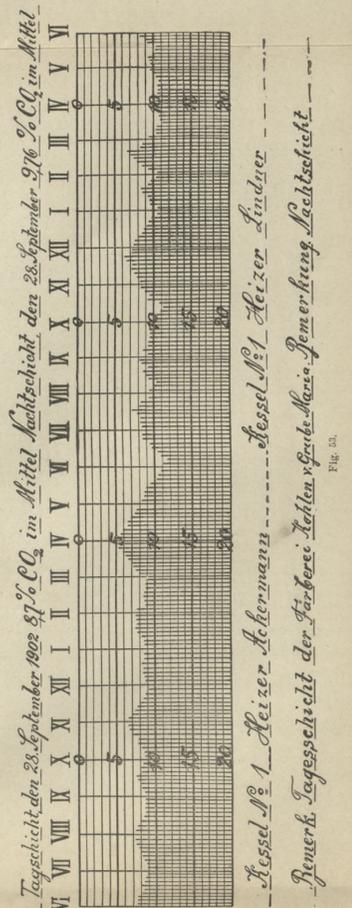
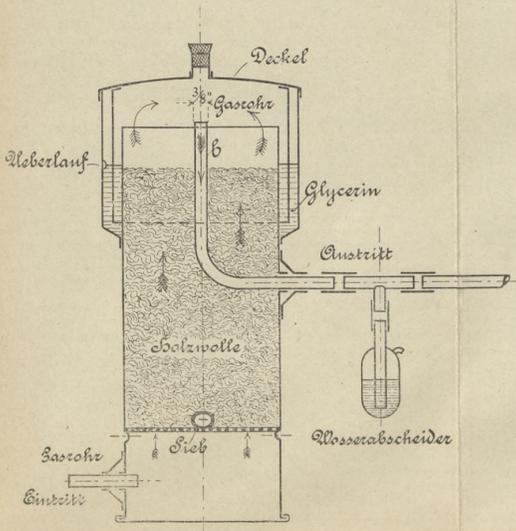


Fig. 33.

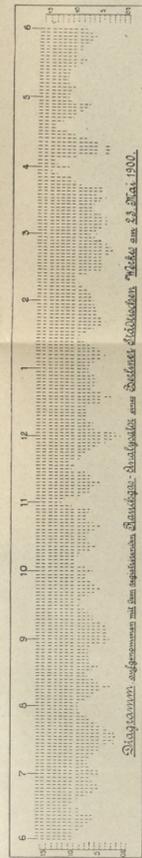


Fig. 41. Diagramm VII.

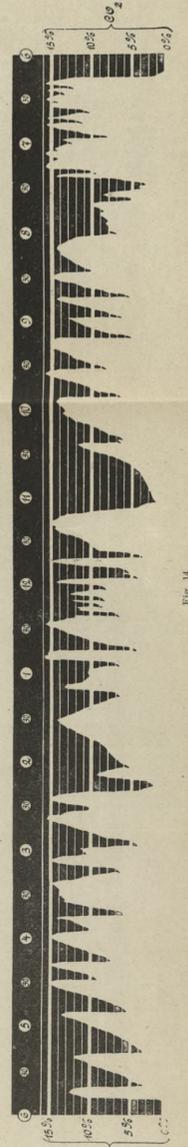


Fig. 14.

S. 61







WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA



L. inw.

7765

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000299569