

**EIGENTÜMLICHKEITEN  
DER H<sub>2</sub>O- UND CO<sub>2</sub>-GEHALTE BEI DER  
UNVOLLSTÄNDIGEN VERBRENNUNG**

VON

**YRJÖ KAUKO**

---

DORPAT 1924

---

O. Mattiesen, Dorpat.

Hiller<sup>1)</sup> stösst bei seinen Untersuchungen über das Wassergasgleichgewicht in der Bunsenflamme auf manche Eigentümlichkeiten, die er sich nicht befriedigend erklären kann. Unter anderem beobachtet er, dass manchmal der  $H_2O$ -Gehalt der Zwischengase denjenigen bei der theoretischen Verbrennung übertrifft. Diese Arbeit, ebenso wie diejenige von Bubnoff<sup>2)</sup>, wird von Kauko<sup>3)</sup> einer eingehenden rechnerischen Prüfung unterzogen, wobei die fraglichen Umstände teils als Folge der mathematischen Beziehungen zwischen den Bestandteilen der Rauchgase, teils als Folge der in dem Frischgas der Bunsenflamme stattfindenden Gasentmischung erklärt werden. Die mathematischen Beziehungen zwischen den Bestandteilen der Rauchgase sind an und für sich einfach. Aber die grosse Zahl der Rauchgasbestandteile erschwert den Ueberblick und verschleiert die Endresultate der experimentellen Ergebnisse. Der Verfasser<sup>4)</sup> hat neuerdings eine graphische Behandlung der analytischen Beziehungen bei der Verbrennung eingeführt. Es lassen sich alle Beziehungen der Verbrennungserscheinungen als Funktionen des  $CO_2$ - und  $CO$ - (evtl. auch  $O_2$ -) Gehaltes des Rauchgases und der prozentualen Zusammensetzung des Brennstoffes ableiten. Dabei wird allerdings angenommen, was in vielen Fällen zutreffend sein dürfte, dass keine Kohlenwasserstoffe im Rauchgase anwesend sind und dass die Verbrennung ohne Teerbildung stattfindet.

Falls folgende Bezeichnungen angewandt werden:

$CO_2$ im Rauchgase	$x^0/0$	}	— bezogen auf das luftfreie
$CO$ „ „	$y^0/0$		

1) Hiller, Ztschr. f. phys. Ch. 81. 591. 1913.

2) Bubnoff, Ztschr. f. phys. Ch. 88. 641. 1914.

3) Kauko, Annales Academiae Scientiarum Fennicae Ser. A. Tom. XIX Nr. 14. 1923.

4) Kauko, Chemikerzeitung 1922.

„ Teknilline Aikakaulehti 1923.

$H_2$ im Rauchgase $z$ ‰	} und wasser- freie Rauch- gas
$H_2O$ „ „ $u$ ‰ im Ganzen,	
$H_2O$ „ „ $t$ ‰ aus dem effekt. $H_2$ her- stammend	

und falls der Brennstoff folgende Zusammensetzung hat:

Kohlenstoff . . .  $C$  ‰  
 effekt. Kohlenst. . .  $c$  ‰<sup>1)</sup>  
 Wasserstoff . . .  $H$  ‰

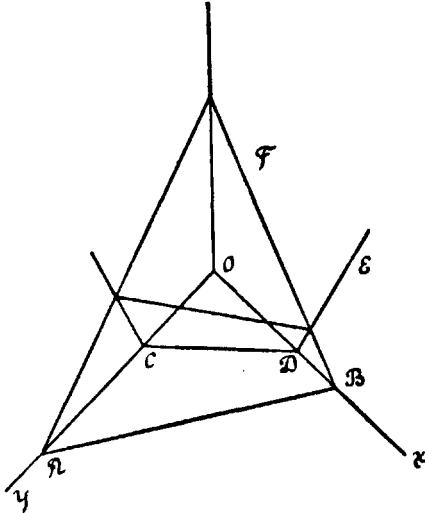
eff. Wasserstoff  $h$  ‰, und falls  $\varepsilon = 6 \cdot \frac{h}{c}$ ,  $\sigma = 6 \cdot \frac{H}{c}$  ist, so haben wir:

$$1) \quad z = \frac{9.56x + 5.78y - 200}{1.78} + \frac{3.78}{1.78} \varepsilon (x + y)$$

$$2) \quad t = \frac{200 - 9.56x - 5.78y}{1.78} - \frac{2\varepsilon}{1.78} (x + y)$$

$$3) \quad u = \frac{200 - 9.56x - 5.78y}{1.78} - \frac{2}{1.78} (x + y) \left( \frac{3.78}{2} \varepsilon - \frac{1.78\sigma}{2} \right)$$

Die graphische Darstellung erfolgt jetzt in der oben erwähnten Arbeit derart, dass die unabhängigen Variablen auf zwei und die abhängigen Variablen auf die dritte der gegeneinander senkrechten Achsen aufgetragen werden, wobei die Funktionen geometrisch Flächen darstellen. Diese Anschauung führt zur Aufstellung von Rechentafeln, die in der Praxis Anwendung finden können.



Figur 1.

Diese Betrachtungsweise lässt sich auch für die Theorie der Verbrennung im Allgemeinen dienstbar machen.

Die Funktionen 1) und 3) stellen augenscheinlich zwei Ebenen  $E$  und  $F$  (Fig. 1) dar.

1) Unter dem effektiven Kohlenstoff verstehen wir den Teil des Kohlenstoffes, der tatsächlich verbrennt. D. eff. Wasserst. ist d. Rest d. Wasserst., d. übrig bleibt, wenn soviel Wasserst. abgezogen wird, wie zur Wasserbildg. m. d. Konstitutionssauerst. d. Brennst. nötig ist.

Naturgemäss können nur solche Werte von  $x$  und  $y$  in Betracht kommen, für welche  $z$  und  $u$  d. h. die prozentualen Wasserstoff- und Wassergehalte des Rauchgases positiv sind, also bloss diejenigen  $x$  und  $y$ , die innerhalb der Figur  $ABDC$  fallen.  $AB$  und  $CD$  lassen sich dadurch bestimmen, dass für die erste Gerade  $u = 0$  und für die zweite Gerade  $z = 0$  ist. So erhalten wir für den Punkt

$$6) \quad B: \bar{x} = \frac{200}{9.56 + (3.78 \varepsilon - 1.78 \sigma)}$$

$$7) \quad A: \bar{y} = \frac{200}{5.78 + (3.78 \varepsilon - 1.78 \sigma)}$$

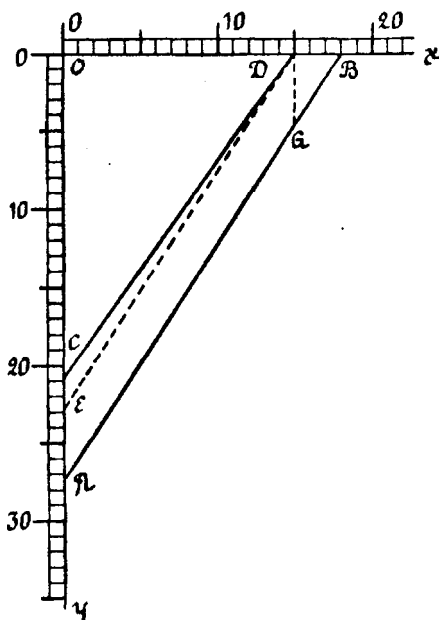
$$8) \quad D: \bar{x} = \frac{200}{9.56 + 3.78 \varepsilon}$$

$$9) \quad C: \bar{y} = \frac{200}{5.78 + 3.78 \varepsilon}$$

Die Gerade  $DC$  entspricht dem Fall, dass aller Wasserstoff bei der Verbrennung verbraucht worden ist, und Punkt  $D$  stellt die theoretische Verbrennung dar.

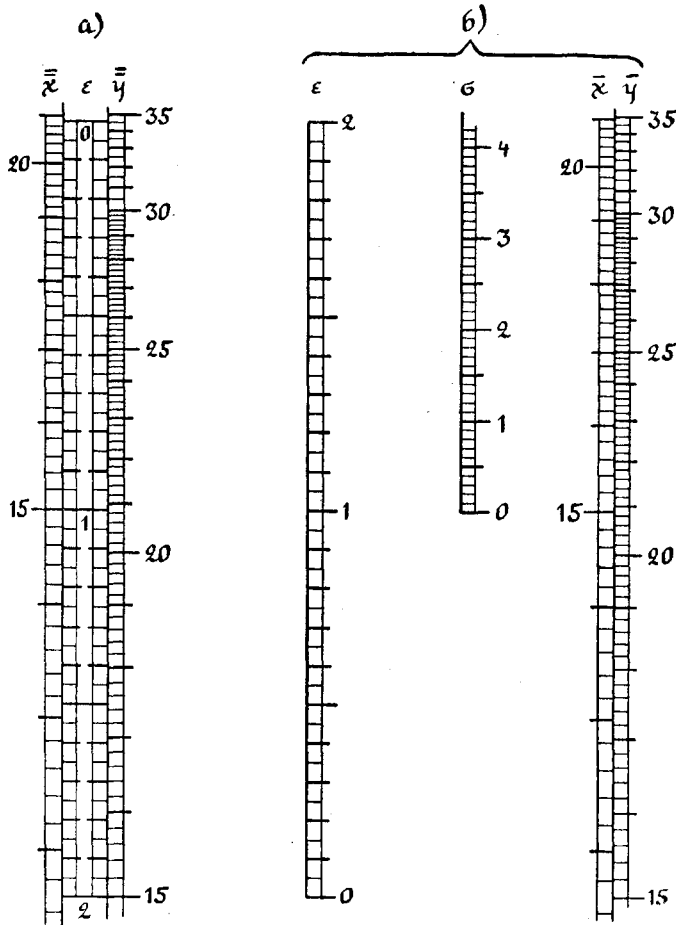
Der prozentuale Gehalt an  $CO_2$  bei der theoretischen Verbrennung hängt ersichtlich mit  $\varepsilon$  zusammen. In der Figur 3a. haben wir zwischen der  $\bar{x}$ - und  $\bar{y}$ -Achse eine Skala für  $\varepsilon$  aufgetragen. Durch die Kenntnis von  $\varepsilon$  lässt sich der Punkt  $D$ , d. h. der  $CO_2$ -Gehalt bei der theoretischen Verbrennung, direkt ablesen. Ebenso ermitteln wir aus der  $\bar{y}$ -Achse den Punkt  $C$ , so dass die Linie  $DC$ , Fig. 2, gezogen werden kann.

Für die Punkte  $A$  und  $B$  ist ausser der Kenntnis von  $\varepsilon$  noch die von  $\sigma$  erforderlich. In der Figur 3b werden



Figur 2.

$\bar{y}$  und  $\bar{x}$  d. h.  $A$  und  $B$  derart gewonnen, dass auf den  $\varepsilon$ - und  $\sigma$ -Achsen entsprechende Werte, z. B. für Aether  $\varepsilon = 1$  und  $\sigma = 1\frac{1}{4}$ , aufgetragen und diese Punkte miteinander verbunden werden. Der Schnittpunkt dieser Linie mit der  $\vartheta$ -Achse zwischen den  $\bar{x}$ - und



Figur 3.

$\bar{y}$ -Skalen gibt gleichzeitig die Werte für  $\bar{x}$  und  $\bar{y}$ , die in den entsprechenden Skalen gelesen werden, an.

Es ergibt sich für Aether  $\varepsilon = 1$  und  $\sigma = 1\frac{1}{4}$  z. B.:

$$B. \bar{x} = 18$$

$$A. \bar{y} = 27,3$$

$$D. \bar{x} = 15$$

$$C. \bar{y} = 20,9$$

Auf diese Weise haben wir in der Fig. 2 die Linien  $DC$  und  $BA$  konstruiert, und wir sind in der Lage, dieselben für einen beliebigen Brennstoff zu zeichnen. Es wird jetzt vom Punkte  $D$  eine Parallele  $DG$  zur  $y$ -Achse gezogen, und dann eine zweite  $DE$  zu  $BA$ . Dann ist ohne weiteres ersichtlich, dass den Punkten innerhalb des Dreiecks  $DGB$  ein grösserer  $CO_2$ -Gehalt entspricht, als derjenige der theoretischen Verbrennung beträgt, und dass der  $H_2O$ -Gehalt innerhalb des Dreiecks  $DCE$  grösser als derjenige der theoretischen Verbrennung ist.

Die Bedingungen, dass diese Dreiecke überhaupt entstehen, sind:

für  $CO_2$ :

$$OB > OD \text{ oder } \bar{x} > \bar{\bar{x}}$$

und für  $H_2O$ :

$$OE > OC, \text{ d. h. } y_0 > \bar{y}, \text{ oder da } y_0 = \bar{y} \cdot \frac{\bar{\bar{x}}}{\bar{x}},$$

$$\frac{\bar{y}}{\bar{x}} > \frac{\bar{\bar{y}}}{\bar{\bar{x}}}$$

In dem ersten Falle ist durch Betrachten der Gleichungen 6 und 8 ohne weiteres ersichtlich, dass  $\bar{x} \geq \bar{\bar{x}}$ , je nachdem  $\sigma \geq 0$ , d. h. falls der Brennstoff Wasserstoff enthält, ist das Dreieck  $DGB$  immer vorhanden.

In dem zweiten Falle erhalten wir:

$$\frac{\bar{y}}{\bar{x}} \begin{matrix} \geq \\ < \end{matrix} \frac{\bar{\bar{y}}}{\bar{\bar{x}}}, \text{ je nachdem}$$

$$\frac{5.78 + 3.78 \varepsilon - 1.78 \sigma}{200} \begin{matrix} > \\ < \end{matrix} \frac{5.78 + 3.78 \varepsilon}{200}$$

$$9.56 + 3.78 \varepsilon - 1.78 \sigma \begin{matrix} > \\ < \end{matrix} 9.56 + 3.78 \varepsilon$$

oder ausgerechnet:  $\sigma \begin{matrix} \geq \\ < \end{matrix} 0$ , wobei allerdings vorausgesetzt wird, dass  $5.78 + 3.78 \varepsilon - 1.78 \sigma > 0$  ist,

welche Annahme — abgesehen von solchen seltenen Brennstoffen, die Wasserstoff in Molen wenigstens 3 mal mehr als Kohlenstoff und ausserdem dem  $H_2$  äquivalente Mengen Sauerstoff enthalten — auch berechtigt ist.

Wenn der Brennstoff neben Kohlenstoff Wasserstoff enthält, ist also die Möglichkeit, dass bei einer unvollständigen Verbrennung prozentual mehr Wasser vorkommt als bei der vollständigen, vorhanden.

Wenn wir in der Fig. 2 die in dieser Beziehung verdächtigen Werte von Hiller in der  $x$ - $y$ -Ebene einzeichnen, so können wir dabei feststellen, dass die Punkte so gut wie alle innerhalb der Fig. *DCE* fallen, wodurch diese Erscheinung in der Hillerschen Arbeit aufgeklärt ist.

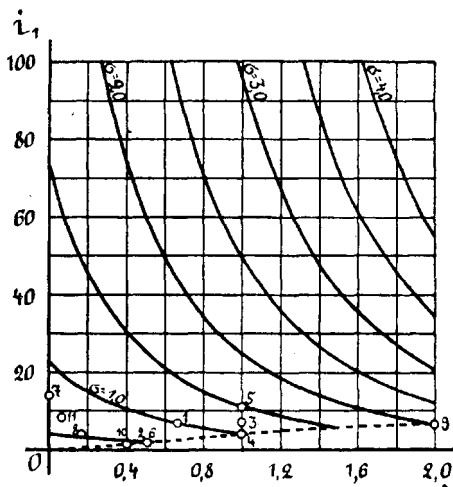
Es ist ersichtlich, je grösser die Inhalte der Dreiecke *DCE* und *DGB* sind, desto grösser sind die Möglichkeiten, dass bei unvollkommener Verbrennung ein grösserer  $H_2O$ - bzw.  $CO_2$ -Gehalt gefunden wird, als bei der vollkommenen Verbrennung. Da diese merkwürdige Tatsache insofern auch eine praktische Bedeutung haben kann, als bei der technischen Feuerungskontrolle u. U. irrtümliche Schlüsse gezogen werden können, so ist die Möglichkeit des Auftretens solcher Fälle einer genauen Untersuchung unterzogen worden.

Der anormale  $CO_2$ -Gehalt.

$$\text{Fläche } DGB = \frac{DB \cdot DG}{2} = \frac{(\bar{x} - \bar{x})^2}{2} \cdot \frac{\bar{y}}{\bar{x}}$$

$$\text{weil ja } DB = \bar{x} - \bar{x} \text{ und } DG = \frac{\bar{y}}{\bar{x}} (\bar{x} - \bar{x})$$

Die Abhängigkeit des Flächeninhaltes



Figur 4.

$$10) i_1 = \frac{\bar{y}}{\bar{x}} \cdot \frac{(\bar{x} - \bar{x})^2}{2}$$

von  $\epsilon$  und  $\sigma$  wird durch die graphische Darstellung Fig. 4 veranschaulicht: auf die eine Achse haben wir die Werte von  $\epsilon$  und auf die andere diejenigen von  $i_1$  eingetragen. Dann haben wir die Abhängigkeit des  $i_1$  von  $\epsilon$  für verschiedene  $\sigma$ -Werte gezeichnet. Die Kurven laufen bis zu  $\epsilon$  dem Punkte  $\epsilon = \sigma$  oder bis zu der Grenzkurve:

$$11) i_1 = \frac{200^2 \cdot 1.78^2 \cdot \epsilon^2}{2(5.78 + 2\epsilon)(9.56 + 2\epsilon)(9.56 + 3.78\epsilon)^2}$$

Es ergibt sich jetzt aus der Figur:

1) Das Gebiet der besprochenen Anomalie in dem CO<sub>2</sub>-Gehalte ist desto grösser, je grösser das Verhältnis zwischen dem totalen Wasserstoff und Kohlenstoff des Brennstoffes ist.

2) Bei demselben obigen Verhältnisse ( $\sigma = \text{konst.}$ ) ist das Anomaliegebiet desto grösser, je mehr Sauerstoff ( $\varepsilon$  kleiner) der Brennstoff enthält.

3) Da nun im allgemeinen bei zunehmendem Sauerstoffgehalte auch der totale Wasserstoffgehalt zunimmt, so variiert das Anomaliegebiet bei verschiedenen Brennstoffen recht wenig. Um dieses zu demonstrieren haben wir die Punkte für verschiedene Brennstoffe eingezeichnet. Dabei entsprechen den Nummern folgende Brennstoffe: 1) Aceton, 2) Acethylen, 3) Aether, 4) Aethylen, 5) Alkohol, 6) Benzol, 7) Cellulose, 8) Holz, 9) Methan, 10) Naphtalin, 11) Torf.

Die absolute Grösse des Dreiecks *DGB* gibt schon ein Bild von der Wahrscheinlichkeit, dass bei einer unvollständigen Verbrennung mehr CO<sub>2</sub> vorkommen kann, als bei einer vollständigen. Bedenkt man aber, dass die Fläche *DCAB* die Gesamtheit der in der Verbrennung vorkommenden Gaszusammensetzung darstellt, und dass diese Fläche bei verschiedenen Brennstoffen verschieden gross ist, so sieht man ein, dass die absolute Grösse dieser Fläche *DGB* nicht für die Wahrscheinlichkeit massgebend sein kann, sondern vielmehr der Bruch:

$$\frac{\text{Fläche } BDG}{\text{Fläche } BDCA}$$

zu diesem Zwecke geeignet ist<sup>1)</sup>.

Dieser Bruch wird durch den folgenden Ausdruck wiedergegeben:

$$F_1 = \frac{\bar{y}}{\bar{x}} \cdot \frac{(\bar{x} - \bar{\bar{x}})^2}{(\bar{x}\bar{y} - \bar{\bar{x}}\bar{\bar{y}})}$$

oder wenn die Werte aus den Gleichungen eingesetzt werden:

---

1) Es lässt sich allerdings zeigen, wie in einer späteren Arbeit vorgebracht wird, dass die Punkte der Fläche *BDCA* nicht bei der Verbrennung gleichberechtigt sind, sondern dass in der Tat ein sehr schmales Gebiet bzw. eine Linie in Frage kommen kann. Für d. qualitat. Begriff von d. Häufigkeit der obenangf. Anomalie dürfte dieser Umstand v. keiner ausschlaggebenden Bedeutung sein, da ja auch d. Fläche *BDG* kleiner wird.

$$12) F_1 = \frac{(1.78 \sigma)^2}{(9.56 + 3.78 \varepsilon)^2} \cdot \frac{1}{\left[ 1 - \left( 1 - \frac{1.78 \sigma}{9.56 + 3.78 \varepsilon} \right) \left( 1 - \frac{1.78 \sigma}{5.78 + 3.78 \varepsilon} \right) \right]}$$

Genau wie bei der absoluten Grösse der Anomaliefläche wollen wir uns hier Klarheit über folgende Fragen schaffen.

I. Ist die Möglichkeit des anomalen  $CO_2$ -Gehaltes bei irgend einem  $\varepsilon$ - und  $\sigma$ -Werte besonders gross oder klein, d. h. bei welchen  $\varepsilon$ - und  $\sigma$ -Werten wird  $F_1$  Maximum oder Minimum.

II. Wie verändert sich bei den verschiedenen  $\varepsilon$ - und  $\sigma$ -Werten die Funktion  $F_1$ .

Die erste Frage wollen wir rein analytisch, die zweite graphisch beantworten.

Für beide Zwecke ist es angebracht, dass die Funktion durch Einführung von neuen Variablen einfacher gestaltet wird:

Es ist ja ersichtlich, dass falls

$$p = \frac{1.78 \sigma}{9.56 + 3.78 \varepsilon} \quad \text{so}$$

$$\frac{1.78 \sigma}{5.78 + 3.78 \varepsilon} = \frac{1.78 \sigma \cdot p}{1.78 \sigma - 3.78 p} \quad \text{d. h.}$$

$$13) F_1 = \frac{p(1.78 \sigma - 3.78 p)}{3.56 \sigma - 1.78 p \sigma - 3.78 p} \quad \text{oder}$$

$$F_1 = \frac{p(1.78 - 3.78 \cdot b)}{3.56 - 1.78 p - 3.78 b} \quad \text{falls } b = \frac{1.78}{9.56 + 3.78 \varepsilon}$$

für Maximum oder Minimum soll:

$$\frac{\partial F_1}{\partial \varepsilon} = 0; \quad \frac{\partial F_1}{\partial \sigma} = 0$$

Bekanntlich:

$$dF = \frac{\partial F}{\partial \varepsilon} d\varepsilon + \frac{\partial F}{\partial \sigma} d\sigma \quad \text{und}$$

$$dF = \frac{\partial F}{\partial p} dp + \frac{\partial F}{\partial b} db \quad \text{da aber } dp = \frac{\partial p}{\partial \varepsilon} d\varepsilon + \frac{\partial p}{\partial \sigma} d\sigma \quad \text{und}$$

$$db = \frac{\partial b}{\partial \varepsilon} d\varepsilon + \frac{\partial b}{\partial \sigma} d\sigma \quad \text{so erhalten wir:}$$

$$dF = \left( \frac{\partial F}{\partial p} \cdot \frac{\partial p}{\partial \varepsilon} + \frac{\partial F}{\partial b} \cdot \frac{\partial b}{\partial \varepsilon} \right) d\varepsilon + \left( \frac{\partial F}{\partial p} \cdot \frac{\partial p}{\partial \sigma} + \frac{\partial F}{\partial b} \cdot \frac{\partial b}{\partial \sigma} \right) d\sigma \quad \text{d. h.}$$

$$14) \quad \frac{\partial F}{\partial p} \cdot \frac{\partial p}{\partial \epsilon} + \frac{\partial F}{\partial b} \cdot \frac{\partial b}{\partial \epsilon} = \frac{\partial F}{\partial \epsilon}$$

$$15) \quad \frac{\partial F}{\partial p} \cdot \frac{\partial p}{\partial \sigma} + \frac{\partial F}{\partial b} \cdot \frac{\partial b}{\partial \sigma} = \frac{\partial F}{\partial \sigma}$$

Nun haben wir:

$$I. \quad \frac{\partial p}{\partial \epsilon} = - \frac{3.78 \cdot 1.78 \sigma}{(9.56 + 3.78 \epsilon)^2} = - \frac{3.78}{1.78} \cdot \frac{p^2}{\sigma} = - \frac{3.78}{1.78} b p$$

$$II. \quad \frac{\partial p}{\partial \sigma} = \frac{1.78}{(9.56 + 3.78 \epsilon)} = \dots = b$$

$$III. \quad \frac{\partial b}{\partial \epsilon} = - \frac{1.78 \cdot 3.78}{(9.56 + 3.78 \epsilon)^2} = - \frac{3.78}{1.78} b^2$$

$$IV. \quad \frac{\partial b}{\partial \sigma} = \dots = 0$$

$$V. \quad \frac{\partial F_1}{\partial p} = \frac{3.56 \cdot 1.78 - 5.34 \cdot 3.78 b + 3.78^2 b^2}{(3.56 - 1.78 p - 3.78 b)^2}$$

$$VI. \quad \frac{\partial F_1}{\partial b} = \frac{1.78 \cdot 3.78 p (1 + p)}{(3.56 - 1.78 p - 3.78 b)^2}$$

Wenn diese Werte in den Gleichungen 14) und 15) eingesetzt werden, so erhalten wir Werte:

$$b = 0$$

$$p = 0$$

$$p = \infty$$

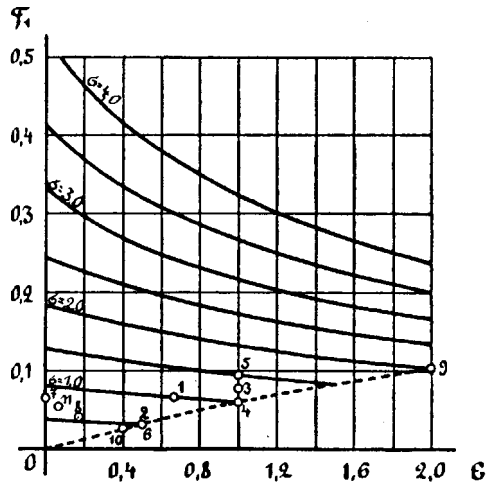
$$b = \infty$$

$$p = - \frac{1}{3.78}$$

welche Werte in unserem Falle nicht möglich sind: dieses bedeutet, dass bei dem bei uns in Frage kommenden Gebiete weder Maximum- noch Minimumstellen vorkommen. Dies ergibt sich auch aus der Fig. 5. Es ist weiter ersichtlich, dass die rel. Wahrscheinlichkeit der erwähnten Anomalie sehr stark von  $\sigma$  d. h. von dem Verhältnis zwischen dem total. Wasserstoff und Kohlenstoff abhängig ist, dagegen von  $\epsilon$  d. h. von dem Verhältnis zwischen dem effekt. Wasserstoff und Kohlenstoff weniger abhängt. Bei den verschiedensten Brennstoffen ist die Gesamtvariation recht gering.

Der anormale HO<sub>2</sub>-Gehalt.

Wir haben bereits Fälle angeführt, wo tatsächlich bei der unvollkommenen Verbrennung der Wassergehalt der Rauchgase



Figur 5.

grösser ist, als bei der vollständigen. Die Wahrscheinlichkeit dieses Falles wird natürlich durch den Flächeninhalt

$$i_2 = CDE = 1/2 (y_0 \bar{x} - \bar{y} x) \quad \text{und durch das Verhältnis:}$$

$$F_2 = \frac{\text{Fläche } CDE}{\text{Fläche } ABDC} = \frac{y_0 \bar{x} - \bar{y} x}{\bar{x} \bar{y} - \bar{x} \bar{y}} \quad \text{wo}$$

$$y_0 = \bar{y} \cdot \frac{\bar{x}}{x} \quad \text{bestimmt.}$$

Durch Einsetzen der entsprechenden Werte erhalten wir:

$$i_2 = 1/2 \frac{\bar{x}}{x} (\bar{y} \bar{x} - \bar{y} x)$$

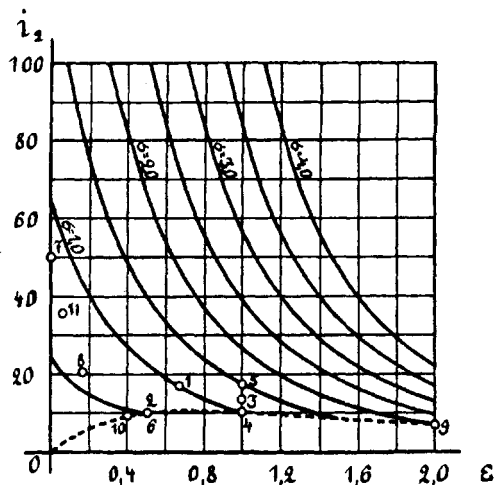
Es ist zweckmässig,  $F_2$  in folgender Weise umzuformen:

$$F_2 = \frac{\frac{\bar{x}}{x} - \frac{\bar{y}}{y}}{\frac{\bar{x}}{x} - \frac{\bar{y}}{y}}$$

$$\frac{\bar{x}}{x} = 1 - p$$

$$\frac{\bar{y}}{y} = 1 - \frac{1.78 \sigma p}{1.78 \sigma - 3.78 p} \quad \text{wo } p = \frac{1.78 \sigma}{9.56 + 3.78 \epsilon} \quad \text{und}$$

$$\text{falls } b = \frac{1.78}{9.56 + 3.78 \epsilon}$$

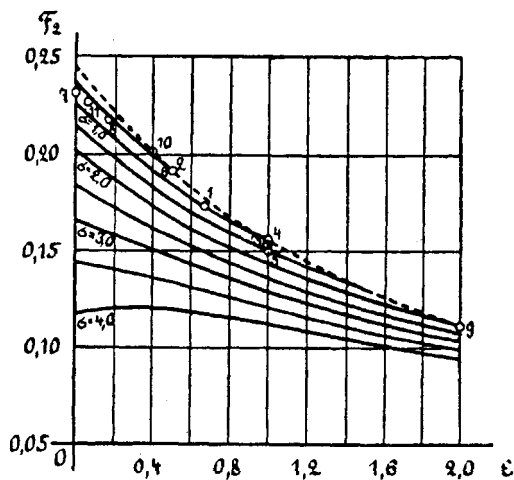


Figur 6.

$$\text{so } F_2 = \frac{3.78 b (1 - p)}{3.56 - 1.78 p - 3.78 b}$$

und es ermittelt sich jetzt für  $i_2$  und  $F_2$  genau wie vorher für  $i_1$  und  $F_1$ , dass es im Bereiche der physikalischen Möglichkeit weder Maximum- noch Minimumstellen gibt.

Das beste Bild ergibt sich durch die graphische Darstellung der Funktionen  $i_2$  und  $F_2$  als Funktionen von  $\epsilon$  und  $\sigma$  (Fig. 6 und 7).



Figur 7.

Es zeigt sich nun, dass  $i_2$  mit zunehmendem totalen Wasserstoff zunimmt, wogegen  $F_2$  abnimmt, und dass bei dem zunehmenden  $\varepsilon$  d. h. bei abnehmendem Sauerstoffgehalt des Brennstoffes alle beide abnehmen. Bei der rel. Wahrscheinlichkeit  $F_2$  spielt die Veränderung des tot.  $H_2$ -Gehaltes eine geringere und diejenige des effekt.  $H_2$ -Gehalts die massgebende Rolle. Also die Anomalie des  $H_2O$ -Gehalts ist desto geringer, je mehr Sauerstoff im Vergleich zu  $H_2$  der Brennstoff enthält.

Es soll noch bemerkt werden, dass in den Figuren 5, 6, 7 dieselben Brennstoffe mit gleichen Bezeichnungen wie in Figur 4 eingezeichnet sind.

Die ab und zu vorkommende Eigentümlichkeit der prozentualen Zusammensetzung des Rauchgases, dass der Wasser ebenso wie der Kohlensäuregehalt desselben bei der unvollständigen Verbrennung u. U. grösser ist als derjenige bei vollständiger Verbrennung, ist hier in Abhängigkeit von der Zusammensetzung des Brennstoffes gebracht worden.

Die Möglichkeit dieser Eigentümlichkeit ist im Allgemeinen desto grösser, je mehr Wasserstoff und Sauerstoff im Vergleich zu Kohlenstoff der Brennstoff enthält.

Der  $H_2O$ -Gehalt kommt bekanntlich bei den Rauchgasanalysen nicht vor; er hat aber bei der thermodynamischen Temperaturbestimmung eine grosse Bedeutung. Dagegen wird der  $CO_2$ -Gehalt auch in den wärmetechnischen Bestimmungen als Masstab für den Heizungseffekt angewandt. Ein Fall wie der oben geschilderte mag selten vorkommen, aber die Möglichkeit desselben dürfte nicht vergessen werden, um falsche Schlussfolgerungen vermeiden zu können.

Berlin, 20. III. 1922.