



Berlent

betr.

Die graphische Darstellung

der aus

Sauerstoff, Dampf und Kohlenstoff

gewinnbaren Mischungse.

Z.VII. 52.

Eckhard

Laboratorium  
Braunkohlen - Vergasung  
Me 420

Dr.E./St.

T.

B e r i c h t

betr.

Die graphische Darstellung

der aus

Sauerstoff, Dampf und Kohlenstoff

gewinnbaren Mischgase.

1.VII.31.

Eckhard.

Braun, Vergas Labor	27.7.31	Nr 31373
---------------------------	---------	----------

2 D Herrn Dr. Koppe  
1 " " Obing. Sabel  
2 " " Dr. Zepf  
1 " " Dr. Schmitz  
1 " " Dr. Eckhard  
2 " Reserve

9 D

Leunawerke, den 1. Juli 1931.

B e r i c h t

betr.

Die graphische Darstellung

der aus

Sauerstoff, Dampf und Kohlenstoff

gewinnbaren Mischgase.

Inhalt

I.	Allgemeines über Vergasungsdiagramme	S. 3
II.	Formeln zur Konstruktion der Koordinatennetze	" 5
A)	Trockenes Sauerstoffmischgas ohne Methan	" 5
1.	Die volumetrische Konstitution	" 6
2.	Die Trockengasmenge pro kg vergastem Kohlenstoff	" 7
3.	Die Wärmetönung pro cbm Gas	" 9
4.	Die geometrischen Örter für $v/d = \text{konst.}$	" 10
5.	Die geometrischen Örter der Gleichgewichtsgase mit gleicher Reaktionstemperatur	" 11
	Tabelle I, Gleichgewichtskonstanten	" 13
"	II, Feuchte Gleichgewichtswassergase, Analysen	" 14
"	III, Trockene " " " "	" 15
"	IV, Gleichgewichtsgeneratorgase, " "	" 16
"	V, Sauerstoffgleichgewichtsmischgase, feucht, Analysen	" 17 - 19
"	VI, " " " , trocken, Analysen	" 19 - 21
"	VII, Dampfersetzung für Gleichgewichtsmischgase	" 22
B)	Feuchtes Sauerstoffmischgas ohne Methan	" 22
1.	Die volumetrische Konstitution	" 23
2.	Die feuchte Gasmenge pro kg vergastem Kohlenstoff	" 24
3.	Die Wärmetönung pro cbm Gas	" 25
4.	Die Linien konstanter Dampfersetzung	" 26
5.	Die geometrischen Örter der Gleichgewichtsgase gleicher Reaktionstemperatur	" 26
C)	Sauerstoffmischgase mit Methan	" 27
1.	Die Analysen der Gleichgewichtsgase	" 27
	Tabelle VIII, Zusammensetzung des reinen Gleichgewichtswassergases (feucht)	" 27
"	IX, " " " reinen Gleichgewichtswassergases (trocken)	" 28
"	X, " " " feuchten Sauerstoffgleichgewichtsmischgases	" 29 - 30
"	XI, " " " trockenen Sauerstoffgleichgewichtsmischgases	" 31
2.	Die volumetrische Konstitution	" 32
3.	Die Gasmenge pro kg vergastem Kohlenstoff	" 33
4.	Die Dampfersetzung	" 33
5.	Die Wärmetönung pro cbm Gas	" 33 - 35
III.	Zusammenfassung	" 36



## 1. Einleitung

### Allgemeines über Vergasungsdiagramme

Alle aus Dampf, Sauerstoff oder Luft und Kohlenstoff erzielbaren Gaszusammensetzungen, gleichgültig ob sie im Gleichgewicht sind oder nicht, lassen sich graphisch darstellen; in diese graphischen Darstellungen, die so aufgezogen werden können, daß jeder Diagrammpunkt einer und nur einer bestimmten Gaszusammensetzung entspricht, können durch passend konstruierte Koordinatennetze diejenigen Größen eingetragen werden, welche eindeutige Funktionen der Gasanalyse sind; so z.B. der Brennstoff-, Dampf-, Sauerstoffverbrauch pro cbm Gas, die Gasmenge pro Gewichtseinheit Brennstoff oder Kohlenstoff, die Wärmetönung usw.

Alle stöchiometrisch überhaupt möglichen Gaszusammensetzungen entsprechen einer ganz bestimmten Gleichgewichtstemperatur, ob allerdings die zu einer Gleichgewichtstemperatur gehörigen Gasanalysen in praxi auch bei dieser Temperatur erzielt werden, hängt von der Reaktionsfähigkeit des Brennstoffs bzw. der Reaktionszeit ab. Macht man hierüber eine Annahme, z.B. die, daß die Reaktionsfähigkeit genügend groß ist, so daß die Einstellung des Gleichgewichts erfolgt, so können die Diagramme außer mit den oben genannten Netzen auch mit solchen Koordinatennetzen, die von der Reaktionsfähigkeit abhängen, wie Gleichgewichtstemperatur, Dampfzersetzung und dergl. versehen werden.

Die Lage eines Punktes in einer Ebene ist bekanntlich eindeutig durch 2 Koordinaten bestimmt. Gaszusammensetzungen, für welche solche Beziehungen gelten, daß durch 2 Bestandteile alle übrigen eindeutig bestimmt sind, können daher graphisch in einer Ebene zur Darstellung gebracht werden. Dies ist z.B. der Fall für ein Gas, welches

nur drei Bestandteile enthält, wie trockenes Wassergas oder trockenes Sauerstoffmischgas (enthaltend:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$  und  $\text{H}_2$ ); eine solche Darstellung ist auch möglich für ein Gas mit 4 Bestandteilen, wie trockenes Luft-Mischgas, wenn sich für die 4 Bestandteile mindestens 2 Gleichungen aufstellen lassen, so daß zusammen mit den durch die beiden Koordinaten für 2 Bestandteile <sup>gegebenen</sup>: 4 Bestimmungsstücke gegeben sind. Außer bei dem oben erwähnten Luftmischgas ist dies der Fall bei einem feuchten Sauerstoffmischgas, wenn, analog wie beim Luftmischgas, der Sauerstoffgehalt des Vergasungsmittels gegeben ist.

Eine graphische Darstellung der Vergasungsverhältnisse für Sauerstoff-Mischgas ist daher auf zweierlei Weise möglich:

- 1) für trockenes Gas für jeden beliebigen Sauerstoffgehalt im Vergasungsmittel,
- 2) und für das feuchte Gas mit den 4 Bestandteilen:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$  u.  $\text{H}_2\text{O}$ , wenn ein bestimmter Anteil an Sauerstoff im Vergasungsmittel zu Grunde gelegt wird.

Beide Möglichkeiten für die graphische Darstellung der Sauerstoffmischgase sind im Nachstehenden durchgeführt.

Die folgenden Betrachtungen erstrecken sich außerdem auf 2 Fälle:

im ersten Fall wird die Bildung von Methan beim Wassergasprozeß vernachlässigt,

im zweiten Fall wird sie berücksichtigt.

Für den ersteren werden die Beziehungen in Formeln, Tabellen und Diagrammen, für den zweiten nur in Formeln und Tabellen gegeben.

Aus den thermodynamischen Bedingungen ergibt sich, daß bei Temperatur über etwa  $900$  bis  $1000^\circ\text{K}$  die Methanbildung schon bei Gleichgewichtsgasen vernachlässigt werden kann; bei niedrigeren Temperaturen spielt die Methanbildung reaktionskinetisch keine Rolle, so

daß auch die Betrachtung der nicht im thermodynamischen Gleichgewicht befindlichen Gaszusammensetzungen praktisch berechtigt ist.

## II. Formeln zur Konstruktion der Koordinatennetze

### A). Trockenes Sauerstoffmischgas

Das trockene Sauerstoffmischgas enthält nur drei Bestandteile:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$  und  $\text{H}_2$ , es ließe sich also in einem Dreieckskoordinatensystem darstellen; da jedoch das feuchte Sauerstoffmischgas -welches außer den obigen Bestandteilen noch  $\text{H}_2\text{O}$  enthält- ein viereckiges Diagramm verlangt, haben wir für das trockene Gas eine viereckige Diagrammform gewählt, die sich unseren früheren Diagrammen für Lindeluftarten anschließt. Dieses Diagramm ist auf Zeichnung 1 wiedergegeben; im Anschluß an frühere Berichte ist als Ordinate der Wasserstoff-, als Abszisse der Kohlenoxydgehalt gewählt; die  $\text{CO}_2$ -skala für trockenes Sauerstoffmischgas liegt dadurch nach Gradwert und Richtung fest.

Bezeichnet man mit: „v“ das volumetrische Verhältnis:  $\frac{\text{Sauerstoff}}{\text{Dampf}}$

im angewendeten Vergasungsmittel, mit: „d“ die Dampfersetzung in Hundertstel Prozent, mit  $\text{H}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}$  und  $\text{CO}_2$  die Volumanteile dieser Gase im feuchten Sauerstoffmischgas, so bestehen zwischen diesen Größen die folgenden Beziehungen:

$$(1) \quad \text{H}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO} + \text{CO}_2 = 1$$

$$(2) \quad 2 \text{ v} = \frac{2 \text{ CO}_2 + \text{CO} - \text{H}_2}{\text{H}_2 + \text{H}_2\text{O}}$$

$$(3) \quad \text{d} = \frac{\text{H}_2}{\text{H}_2 + \text{H}_2\text{O}}$$

1

$$\frac{2 \text{ CO}_2 + \text{CO} - \text{H}_2}{\text{H}_2 + \text{H}_2\text{O}}$$

$$\frac{\text{H}_2 + \text{H}_2\text{O}}{\text{H}_2}$$

$$\frac{\text{H}_2}{\text{H}_2 + \text{H}_2\text{O}}$$

$$\frac{\text{H}_2 + \text{H}_2\text{O}}{\text{H}_2 + \text{H}_2\text{O}}$$

Aus diesen drei Gleichungen ergeben sich die Konstruktionsformeln sowohl für das trockene wie für das feuchte Gas. Für das trockene Gas gelangten auf Zeichnung Nr.1 folgende Größen zur Darstellung:

1. Die volumetrische Konstitution,
2. die trockene Gasmenge pro kg vergasten Kohlenstoffs,
3. die Wärmetönung pro cbm Gas,
4. die geometrischen Örter derjenigen Gase, für welche der Quotient:  $\frac{V}{d} = \text{konst.}$
5. die geometrischen Örter der Gleichgewichtsgase mit gleicher Reaktionstemperatur.

Im Folgenden sind die zur Konstruktion der Koordinatennetze dieser Größen nötigen Formeln abgeleitet, nach denen dann die Zeichnung des Diagramms für das trockene Sauerstoffmischgas erfolgt ist.

### 1. Die volumetrische Konstitution.

Legt man die Wasserstoffprocente als Ordinaten, die CO-procente als Abszissen zu Grunde, so ergibt sich aus Gleichung:

$$(4) \quad \text{CO} + \text{H}_2 + \text{CO}_2 = 1$$

für  $\text{CO}_2$  und  $\text{H}_2 = 0$  : CO zu 1, d.h. der Punkt für welchen  $\text{CO}_2 = 0$  und  $\text{H}_2 = 0$  ist, liegt auf der CO-skala bei  $\text{CO} = 1$ ; wenn ferner aus dem Dampfsauerstoff des Vergasungsmittels kein CO sondern nur  $\text{CO}_2$  gebildet wird und nur Dampf ohne Sauerstoffzusatz vergast wird, erhält man als maximalmöglichen  $\text{H}_2$ -gehalt bei  $\text{CO} = 0$  den Wert  $\text{H}_2 = 0,6667$ .

Nimmt man schließlich an, daß der gesamte Dampfsauerstoff nur CO (kein  $\text{CO}_2$ ) bildet, so erhält man je 0,5 Tle.  $\text{H}_2$  und CO, d.h. der Anfangspunkt der  $\text{CO}_2$ -skala ( $\text{CO}_2 = 0$ ) liegt bei  $\text{H}_2 = \text{CO} = 0,5$ .

Hiermit sind die vier Eckpunkte des Diagramms (s. Zeichnung Nr. 1) festgelegt, außerhalb des Diagramms liegende Gaszusammensetzungen (beispielsweise  $H_2 = 0,7$ ;  $CO_2 = 0,2$ ;  $CO = 0,1$ ) sind aus Dampf und Sauerstoff nicht möglich. Aus Gl. (4) ergibt sich ferner der Gradwert und die Richtung der (geraden) Linien  $CO_2 = \text{konst.}$  so, wie aus Zeichnung Nr. 1 ersichtlich, womit die volumetrischen Verhältnisse vollständig und eindeutig wiedergegeben sind.

## 2. Die Trockengasmenge pro kg vergastem Kohlenstoff.

Der C-gehalt eines aus  $H_2$ ,  $CO$  und  $CO_2$  bestehenden Gases ist bekanntlich:

$$(5) \quad G = 0,536 (CO + CO_2) \text{ kg/cbm } 0,760.$$

bezw.

$$(6) \quad G = 0,491 (CO + CO_2) \text{ kg/cbm } 15,735.$$

woraus sich die pro kg vergastem Kohlenstoff erzeugte Trockengasmenge zu:

$$(7) \quad G = \frac{1}{0,536 (CO + CO_2)} \text{ cbm } 0,760$$

$$(8) \quad \text{bezw.} \quad \frac{1}{0,491 (CO + CO_2)} \text{ cbm } 15,735 \text{ ergibt}$$

Mit Rücksicht auf die in der Vergasungstechnik übliche Bezugnahme auf den Normalzustand:  $0^\circ$ , 760 mm Hg wird im Folgenden auf diesen Normalzustand bezogen. ("ncbm").

In Gleichung (7) läßt sich  $CO_2$  mit Hilfe von Gl. (4) durch:

$(1 - H_2 - CO)$  ersetzen, so daß man erhält:

$$(9) \quad G = \frac{1}{0,536 (1 - H_2)}, \text{ daraus folgt:}$$

$$(10) \quad H_2 = 1 - \frac{1}{0,536 G} \text{ als Konstruktionsgleichung für}$$

die Linien:  $G = \text{konst.}$  Man ersieht daraus ohne weiteres folgende Tatsachen:



- a) die Linien  $G = \text{konst}$  sind Gerade,
- b) " " " " " parallel mit  $H_2 = \text{konst}$ ,
- c) " maximal mögliche Gasmenge ist:

$$G_{\max} = \frac{1}{0,536 \cdot 0,3333} \quad (\text{da } H_{2\max} = 0,6667) = 5,6 \text{ ncbm/kg}$$

- d) die minimal mögliche Gasmenge ist:

$$G_{\min} = \frac{1}{0,536} \quad (\text{da } H_{2\min} = 0) = 1,866 \text{ ncbm/kg}$$

Durch Einsetzen abgerundeter Werte für „G“ in Gl.(10) ergeben sich die zugehörigen  $H_2$ -werte, bei welchen die Linien  $G = \text{konst}$  die  $H_2$ -skala schneiden, und somit durch Konstruktion der Parallelen mit  $H_2 = 0$  durch diese  $H_2$ -werte: das Koordinatennetz für die Trockengasmengen wie aus Zeichnung Nr.1 ersichtlich.

Da die Wasserdampfersetzung in der Regel jedoch nicht = 1 ist, tritt in den Vergasungsgasen unersetztter Wasserdampf auf; die feuchte Gasmenge, von welcher die Fortführung der fühlbaren Wärmemengen aus dem Generator abhängt, ist also anders als die Trockengasmenge und zwar größer um einen von der Dampfersetzung „d“ abhängigen Betrag; dieser Betrag „B“ wird als Funktion der Dampfersetzung und pro cbm Trockengasmenge dargestellt durch die Formel:

(11)  $B = H_2 \left( \frac{1}{d} - 1 \right)$ , wobei unter „ $H_2$ “ der Wasserstoffgehalt des trockenen Gases zu verstehen ist. Die Gesamtgasmenge pro cbm Trockengas ist also =

$$(12) \quad 1 + H_2 \left( \frac{1}{d} - 1 \right) = \frac{1}{f}$$

wobei also „f“ = 
$$\frac{1}{1 + H_2 \left( \frac{1}{d} - 1 \right)}$$

Mit Hilfe des Reduktionsfaktors „f“ (definiert durch Gl.(12)) lassen sich die Anteile der einzelnen Gasbestandteile im feuchten Gas

aus denen im trockenen Gas durch einfache Multiplikation finden:

es ist:

$$\begin{aligned}
\text{H}_2 \text{ feucht} &= \text{H}_2 \text{ trocken} \text{ mal } f \\
\text{CO}_2 \text{ " } &= \text{CO}_2 \text{ " " " } \\
\text{CO " } &= \text{CO " " " } \\
\text{H}_2\text{O " } &= 1 - f
\end{aligned}$$

Die Gesamtmenge feuchten Gases pro cbm trockenen Gases ist also  $= \frac{1}{f}$ . Gem. Gl. (12) ist  $\frac{1}{f}$  eine Funktion des Wasserstoffgehaltes des trockenen Gases und der Dampfersetzung. Unter Berücksichtigung dieses Umstandes läßt sich also das Diagramm für trockenes Sauerstoffmischgas (Zeichnung Nr.1) auch zu Betrachtungen über das feuchte Gas benutzen, wenn man den Faktor  $\frac{1}{f}$  für die einzelnen Wasserstoffgehalte und Dampfersetzungen zur Hand hat. Auf der Zeichnung Nr.1 ist deshalb eine Tabelle für die Werte von  $\frac{1}{f}$  angelegt und zwar so, daß die zu einem bestimmten Wasserstoffgehalt gehörigen ( $\frac{1}{f}$  - werte) auf derselben Horizontalen stehen wie die Wasserstoffgehalte.

3. Die Wärmetönung pro cbm Gas.

Die Wärmetönung ist gleich der arithmetischen Summe der anteilmäßig eingesetzten Bildungswärmen der Gasbestandteile; setzt man die Bildungswärme pro cbm

$$\begin{aligned}
\text{CO}_2 &\text{ zu } + 4326 \text{ kcal/ncbm} \\
\text{CO} &\text{ zu } + 1283 \text{ " } \\
\text{H}_2 &\text{ zu } - 2580 \text{ " } \quad \text{an, so ergibt sich als}
\end{aligned}$$

Ausdruck für die Wärmetönung pro cbm Gas:

$$(13) \quad Q = 4326 \text{ CO}_2 + 1283 \text{ CO} - 2580 \text{ H}_2$$

oder (mit  $\text{CO}_2 = 1 - \text{CO} - \text{H}_2$ ):

$$(14) \quad Q = 4326 - 3043 \text{ CO} - 6906 \text{ H}_2$$

Daraus ergibt sich.

$$(15) \quad H_2 = 0,6264 - 0,4406 \text{ CO} - \frac{Q}{6906}$$

und:

$$(16) \quad \text{CO} = 1,4216 - 2,2695 H_2 - \frac{Q}{3043}$$

Indem man zur Auffindung der Isokalorenschnittpunkte mit  $\text{CO} = 0$  ( $H_2$ -skala) und  $H_2 = 0$  ( $\text{CO}$ -skala) in (15):  $\text{CO} = 0$  setzt bzw. in (16):  $H_2 = 0$ , erhält man die Ausdrücke:

$$(17) \quad H_2 = 0,6264 - \frac{Q}{6906}$$

$$(18) \quad \text{CO} = 1,4216 - \frac{Q}{3043}$$

Für Wärmetönungen unter etwa + 1200 kcal/obm erhält man aus (18) Schnittpunkte die über  $\text{CO} = 1$  liegen, so daß für diese bequemer mit:

$$(19) \quad H_2 = 0,1858 - \frac{Q}{6906} \quad (\text{aus (15) } \text{CO} = 1)$$

konstruiert wird.

Aus (14) ersieht man, daß bei  $\text{CO} = 0$  und  $H_2 = 0$  das Maximum der Wärmetönung mit + 4326 kcal/ncbm und bei  $\text{CO} = H_2 = 1/2$  das Minimum mit - 648 kcal/ncbm eintritt. Wärmetönungen außerhalb der beiden Grenzwerte: + 4326 und - 648 sind innerhalb des Diagramms nicht möglich.

Auf Grund der Gl.Gl. (17), (18) und (19) erfolgte die Konstruktion des auf Zeichnung Nr.1 dargestellten Wärmetönungsnetzes.

#### 4. Die geometrischen Orter für $\frac{v}{d} = \text{konst.}$

Aus praktischen Gründen ist es erwünscht, die Gaszusammensetzung in ihrer Abhängigkeit von der Zusammensetzung des Vergasungsmittels - also von "v" ersehen zu können. Aus den Gleichungen (2) und

(3) ersieht man, daß sich "v" nur dann eindeutig ergibt, wenn entweder  $H_2O$  oder "d" als gegeben angenommen werden, wie das bei Gasen, die



gewissen Grenzbedingungen sollen, (z.B. den thermodynamischen Gleichgewichten) auch geschehen kann; da hier jedoch beliebige Gaszusammensetzungen dargestellt werden sollen, lassen sich für trockene Sauerstoffmischgase nur die Werte:  $\frac{V}{d}$  eindeutig darstellen. Für das trockene Gas hat man:

$$(20) \quad \text{CO}_2 + \text{CO} + \text{H}_2 = 1$$

und

$$(21) \quad 2 \text{CO}_2 + \text{CO} = \text{H}_2 \left( \frac{2V}{d} + 1 \right), \text{ welche letztere Formel}$$

übrigens auch für die feuchten Gase gültig ist.

Aus (20) und (21) gewinnt man:

$$(22) \quad \text{H}_2 \left( \frac{V}{d} + 1,5 \right) + \frac{\text{CO}}{2} = 1$$

woraus für die  $\text{H}_2$ -skala ( $\text{CO} = 0$ ) folgt:

$$(23) \quad \text{H}_2 = \frac{1}{\frac{V}{d} + 1,5}$$

ferner folgt auf der für die Konstruktion der  $\frac{V}{d} = \text{konst.}$  bequemen Linie:  $\text{CO} = 1$ :

$$(24) \quad \text{H}_2 = \frac{0,5}{\frac{V}{d} + 1,5}$$

Aus (22) ergibt sich noch, daß sich die Geraden  $\frac{V}{d} = \text{konst.}$  bei  $\text{CO} = 2$  und  $\text{H}_2 = 0$  in einem Punkte schneiden.

Die Konstruktionsbedingungen sind damit gegeben.

### 5. Die geometrischen Örter der Gleichgewichtsgase mit gleicher Reaktionstemperatur.

Nimmt man an, daß das erzeugte Gas den thermodynamischen Gleichgewichtsbedingungen genügt, so hat man folgende 4 Gleichungen für die Gaszusammensetzung:

$$\begin{aligned} (25) \quad & \text{H}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO} + \text{CO}_2 = 1 \\ (26) \quad & \text{CO} \cdot \text{H}_2\text{O} = K \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{H}_2 \\ (27) \quad & \text{CO}_2 = G \cdot \text{CO}^2 \\ (28) \quad & \text{CO}_2 + \frac{1}{2} \text{CO} - \frac{1}{2} \text{H}_2 = \sqrt{v} (\text{H}_2 + \text{H}_2\text{O}) \end{aligned}$$

Gl.(26) ist das Wassergasgleichgewicht

Gl.(27) ist das Generatorgasgleichgewicht

Gl.(28) ist die Sauerstoffbilanz

K und G sind die betreffd. Gleichgewichtskonstanten

wobei

$$(29) \quad \log K = 1,66 - \frac{1820}{T}$$

$$(30) \quad \log G = \frac{8554}{T} - 8,861$$

Die Funktionen (29) und (30) stammen aus Reinders, Z.phys. Chem.1927; Bd.130, S.405 ff. Nach der eingehenden und neueren Arbeit von Neumann und Köhler, Z.f.Elektrochem.34, 1928, Nr.5 S.229 ergab sich für die Wassergaskonstante eine kompliziertere Funktion als (29), die jedoch nur unwesentlich andere Werte für „K“ liefert. Die Temperaturabhängigkeit von „K“ ist auf dem beifolgenden Kurvenblatt (Zeichnung Nr.2) nach beiden Literaturstellen dargestellt; eine merkliche Divergenz zeigt sich erst unterhalb ca 475°C, in welchem Gebiet Neumann und Köhler ihre Formel ohnehin für ungenau ansehen. (l.c.)

Wegen ihrer einfachen Form, und da wir sowieso für das Generatorgas- und später das Methangleichgewicht auf die Reinders'schen Funktionen angewiesen sind, sind für das Folgende die Funktionen

(29), (30) und

$$(31) \quad \log M = \log \frac{\text{CH}_4}{\text{H}_2} = \frac{4108}{T} - 4,924 \text{ zu Grunde gelegt.}$$

Für „K“, „G“ und „M“ ergeben sich aus (29), (30) und (31) die in der nachstehenden Tabelle I aufgeführten Werte.

Tabelle I.

Die Gleichgewichtskonstanten : K, G und M  
auf 4 stählende Ziffern neu berechnet.

$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{K}$	K	G	M
400	673	0,09030	7067,3	15,14
500	773	0,2021	160,3	2,457
550	823	0,2809	34,096	1,168
600	873	0,3760	8,658	0,6048
650	923	0,4877	2,5503	0,3363
700	973	0,6159	0,8519	0,1986
750	1023	0,7602	0,3167	0,1235
800	1073	0,9201	0,1291	0,08026
900	1173	1,284	0,0270	0,03786
1000	1273	1,699	0,007220	0,02009
1100	1373	2,160	0,002340	0,01169
1200	1473	2,657	0,0008835	0,007326
1300	1573	3,184	0,0003776	0,004870
1400	1673	3,734	0,0001786	0,003400
1500	1773	4,300	0,00009196	0,002472
1600	1873	4,879	0,00005082	0,001859
1700	1973	5,464	0,00002982	0,001439
1800	2073	6,054	0,00001842	0,001142
1900	2173	6,644	0,00001190	0,0009257
2000	2273	7,233	0,000007986	0,0007644

Aus den Gleichungen (25) bis (31) ersieht man, daß die Analysen der Gleichgewichtsgase eindeutig durch die Temperatur  $T$  und das Verhältnis  $\frac{\text{Sauerstoff}}{\text{Wasserdampf}} = v$  im Vergasungsmittel festgelegt sind; d.h. daß für ein bestimmtes  $T$  und für ein bestimmtes  $v$  immer nur eine einzige Gasanalyse möglich ist.

Wir haben diese Gasanalysen für die Temperaturen von 500 bis 1000°C und  $v$ -Werte von 0 bis 10 berechnet. Aus (25) bis (28) erhält man für reines Wassergas ( $v = 0$ ) für den CO-Gehalt folgende Funktion:

$$(32) \quad CO^3 + 2 K G^2 + CO^2 (G K + 3 G) + 2 CO = 1$$

und hieraus auf dem Wege über (27), (28) und (25) die übrigen Gasbestandteile (Tabelle II).

Tabelle II.

Feuchte Gleichgewichtswassergase ( $v = 0$ ; von 500 bis 1000°C)

Temp. °C	CO <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	Feuchte Gas- menge in cbm/cbm Dampf = $\frac{1}{H_2 + H_2O}$
500	0,1737	0,03278	0,3808	0,4127	1,26024
550	0,1829	0,07324	0,43904	0,30482	1,34434
600	0,1679	0,1391	0,4751	0,2179	1,4430
650	0,1336	0,2289	0,4961	0,1413	1,56787
700	0,0892	0,3236	0,5020	0,0852	1,7030
750	0,0507	0,3998	0,5012	0,0483	1,81984
800	0,0260	0,4478	0,4999	0,0264	1,90006
900	0,00638	0,4862	0,4992	0,00845	1,96986
1000	0,00177	0,4958	0,4991	0,00303	1,99152

Auf wasserfreie Gaszusammensetzung umgerechnet:

Tabelle III.

Trockene Gleichgewichtswassergase ( $v = 0$ ; von 500 bis 1000°C)

Temp. °C	CO <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>	Trockene Gasmenge in cbm/cbm Dampf = $\frac{1 - H_2O}{H_2 + H_2O}$
500	0,2957	0,0563	0,6480	0,704014
550	0,2631	0,1053	0,6316	0,93456
600	0,2147	0,1775	0,6078	1,12857
650	0,1555	0,2665	0,5776	1,34633
700	0,0975	0,3567	0,5468	1,55790
750	0,0533	0,4200	0,5265	1,73194
800	0,0267	0,4600	0,5133	1,84990
900	0,00644	0,4898	0,5038	1,95321
1000	0,00178	0,4972	0,5010	1,98549

Die Zusammensetzung des aus reinem Sauerstoff erzeugten Gleichgewichts-Generatorgases ist gegeben durch:

$$(33) \quad CO_2 + CO = 1$$

$$(34) \quad CO_2 = G \cdot CO^2$$

Für CO ergibt sich heraus:

$$(35) \quad CO = \frac{1}{2G} \sqrt{4G + 1} - 1$$

Durch Einsetzen der G-werte aus Tabelle I erhält man über (33) folgende Gasanalysen für Gleichgewichts-Generatorgas aus Sauerstoff (Tabelle IV):

Tabelle IV.

Gleichgewichtsgeneratorgase aus reinem Sauerstoff.

Temp. °C	CO <sub>2</sub> '	CO'	Gasmenge i. cbm/cbm Sauerstoff = $\frac{1}{CO'/2 + CO_2'}$
500	0,924075	0,075925	1,03945
550	0,84278	0,15722	1,08532
600	0,71302	0,28698	1,16753
650	0,53989	0,46011	1,29878
700	0,35472	0,64528	1,47632
750	0,20179	0,79821	1,66417
800	0,10372	0,89628	1,81205
900	0,02565	0,97435	1,94996
1000	0,00693	0,99307	1,98622

Aus  $v$  cbm Sauerstoff erhält man:  $\frac{v}{CO'/2 + CO_2'}$  cbm der in  
Tabelle IV wiedergegebenen Gase, aus 1 cbm Dampf:  $\frac{1}{H_2 + H_2O}$  cbm  
der in Tabelle II aufgeführten feuchten, oder  $\frac{1 - H_2O}{H_2 + H_2O}$  cbm trockenen  
Gase.

Aus einem Gemisch von  $v$  cbm Sauerstoff und 1 cbm Dampf ent-  
stehen somit:

$$(36) \text{ Trockene Gasmenge: } \left( \frac{v}{CO'/2 + CO_2'} + \frac{1 - H_2O}{H_2 + H_2O} \right) \text{ cbm}$$

$$(37) \text{ Feuchte Gasmenge: } \left( \frac{v}{CO'/2 + CO_2'} + \frac{1}{H_2 + H_2O} \right) \text{ cbm}$$

Pro cbm Mischung aus  $v$  cbm Sauerstoff + 1 cbm Dampf entstehen

dann:



$$(38) \text{ trocken: } = \frac{1}{v+1} \left( \frac{v}{CO'/2 + CO'_2} + \frac{1 - H_2O}{H_2 + H_2O} \right) \text{ cbm}$$

$$(39) \text{ feucht: } = \frac{1}{v+1} \left( \frac{v}{CO'/2 + CO'_2} + \frac{1}{H_2 + H_2O} \right) \text{ cbm}$$

Die Analyse des aus  $v$  cbm Sauerstoff und 1 cbm Dampf bei  $t^{\circ}C$  entstehenden Gases erhält man nun auf folgendem Wege durch ein Mischungsverfahren:

man berechnet zunächst für verschiedene „ $v$ “-werte die auf Generatorgas entfallenden absoluten Mengen an  $CO'_2$  und  $CO'$ , und darauf die absoluten auf Wassergas entfallenden Mengen an  $CO_2$ ,  $CO$ ,  $H_2$  und  $H_2O$ ; durch Division der absoluten Beträge:  $CO_2 + CO'_2$ ;  $CO + CO'$ ;  $H_2$ ;  $H_2O$  durch die Summe (37) ergeben sich die Gasanalysen:

Tabelle V.

Analyse des Sauerstoffgleichgewichtsmischgases (feucht)

aus  $v$  cbm Sauerstoff + 1 cbm Dampf und Gesamtgasmenge

v	500°					550°				
	CO <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	cbm	CO <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	cbm
0	0,1737	0,0328	0,3808	0,4127	1,26024	0,1829	0,0732	0,4391	0,3048	1,34434
0,1	0,2309	0,0361	0,3518	0,3812	1,36419	0,2322	0,0795	0,4062	0,2821	1,45287
0,2	0,2800	0,0389	0,3269	0,3542	1,46813	0,2746	0,0849	0,3780	0,2625	1,56140
0,3	0,3225	0,0413	0,3053	0,3309	1,57208	0,3116	0,0896	0,3534	0,2454	1,66994
0,4	0,3598	0,0435	0,2864	0,3103	1,67602	0,3440	0,0937	0,3319	0,2304	1,77847
0,6	0,4221	0,0471	0,2547	0,2761	1,88391	0,3982	0,1006	0,2958	0,2054	1,99553
0,8	0,4720	0,0499	0,2294	0,2487	2,09180	0,4419	0,1062	0,2667	0,1852	2,21260
1,0	0,5129	0,0523	0,2087	0,2261	2,29969	0,4756	0,1144	0,2419	0,1681	2,42966
1,5	0,5887	0,0566	0,1702	0,1845	2,81942	0,5443	0,1192	0,1986	0,1379	2,97232
2,0	0,6409	0,0596	0,1437	0,1558	3,33914	0,5904	0,1251	0,1679	0,1166	3,51498
2,5	0,6790	0,0618	0,1244	0,1348	3,85887	0,6242	0,1294	0,1454	0,1010	4,05764
3,0	0,7081	0,0635	0,1096	0,1188	4,37859	0,6525	0,1327	0,1273	0,0886	4,60030
5,0	0,7776	0,0675	0,0743	0,0806	6,45749	0,7118	0,1405	0,0872	0,0605	6,77094
10,0	0,8429	0,0713	0,0412	0,0446	11,65474	0,7681	0,1505	0,0481	0,0333	12,19754

Tabelle V.  
(Fortsetzung)

v	600°					650°				
	CO <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	cbm	CO <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	cbm
0	0,1679	0,1390	0,4751	0,2180	1,4430	0,1336	0,2289	0,4961	0,1414	1,56787
0,1	0,2087	0,1502	0,4395	0,2016	1,55975	0,1647	0,2466	0,4582	0,1305	1,69775
0,2	0,2438	0,1597	0,4089	0,1876	1,67651	0,1913	0,2618	0,4256	0,1213	1,82763
0,3	0,2744	0,1680	0,3823	0,1753	1,79326	0,2145	0,2749	0,3974	0,1132	1,95750
0,4	0,3012	0,1753	0,3589	0,1646	1,9100120	0,2347	0,2862	0,3724	0,1067	2,09638
0,6	0,3460	0,1874	0,3199	0,1467	2,14352	0,2685	0,3057	0,3314	0,0944	2,34714
0,8	0,3821	0,1972	0,2884	0,1323	2,37702	0,2955	0,3211	0,2984	0,0850	2,60689
1,0	0,4117	0,2052	0,2626	0,1205	2,61053	0,3177	0,3337	0,2713	0,0773	2,86665
1,5	0,4668	0,2202	0,2146	0,0984	3,19430	0,3587	0,3570	0,2212	0,0631	3,51604
2,0	0,5048	0,2305	0,1815	0,0832	3,77806	0,3870	0,3731	0,1867	0,0532	4,16543
2,5	0,5327	0,2381	0,1572	0,0720	4,36183	0,4076	0,3848	0,1615	0,0461	4,81482
3,0	0,5540	0,2438	0,1386	0,0636	4,94559	0,4347	0,3928	0,1370	0,0355	5,46421
5,0	0,6050	0,2577	0,0942	0,0431	7,28065	0,4673	0,4122	0,0935	0,0270	8,06177
10,0	0,6531	0,2707	0,0523	0,0239	13,11830	0,4961	0,4352	0,0534	0,0153	14,55567
	700°					750°				
0	0,0892	0,3236	0,5020	0,0852	1,7070	0,0507	0,3998	0,5012	0,0483	1,81984
0,1	0,1103	0,3493	0,4620	0,0784	1,85063	0,0634	0,4332	0,4592	0,0442	1,98626
0,2	0,1284	0,3711	0,4278	0,0727	1,99826	0,0741	0,4614	0,4237	0,0408	2,15267
0,3	0,1440	0,3900	0,3984	0,0676	2,14590	0,0832	0,4856	0,3922	0,0379	2,31909
0,4	0,1576	0,4064	0,3727	0,0633	2,29353	0,0912	0,5065	0,3670	0,0353	2,48551
0,6	0,1815	0,4267	0,3355	0,0563	2,57879	0,1042	0,5410	0,3236	0,0312	2,81834
0,8	0,1979	0,4553	0,2964	0,0504	2,88406	0,1145	0,5681	0,2894	0,0280	3,15108
1,0	0,2125	0,4730	0,2690	0,0455	3,17932	0,1229	0,5901	0,2618	0,0252	3,48401
1,5	0,2393	0,5054	0,2182	0,0371	3,91748	0,1381	0,6302	0,2113	0,0204	4,31610
2,0	0,2576	0,5276	0,1836	0,0312	4,65564	0,1484	0,6574	0,1772	0,0170	5,14818
2,5	0,2709	0,5437	0,1585	0,0269	5,39380	0,1558	0,6770	0,1525	0,0147	5,98027
3,0	0,2810	0,5539	0,1394	0,0237	6,13196	0,1614	0,6918	0,1339	0,0129	6,81235
5,0	0,3049	0,5850	0,0941	0,0160	9,08460	0,1747	0,7267	0,0899	0,0087	10,14069
10,0	0,3273	0,6120	0,0519	0,0088	16,46620	0,1869	0,7589	0,0494	0,0048	18,46154
	800°					900°				
0	0,0260	0,4478	0,4999	0,0263	1,90006	0,0064	0,4861	0,4991	0,0084	1,96986
0,1	0,0328	0,4868	0,4563	0,0241	2,08111	0,0081	0,5302	0,4542	0,0075	2,16486
0,2	0,0384	0,5196	0,4198	0,0222	2,26247	0,0096	0,5668	0,4166	0,0070	2,35985
0,3	0,0433	0,5476	0,3887	0,0204	2,44368	0,0108	0,5979	0,3848	0,0065	2,55485
0,4	0,0475	0,5716	0,3619	0,0190	2,62488	0,0116	0,6246	0,3576	0,0060	2,74984
0,6	0,0543	0,6110	0,3180	0,0167	2,98729	0,0135	0,6681	0,3131	0,0053	3,13984
0,8	0,0596	0,6399	0,2826	0,0179	3,34970	0,0149	0,7019	0,2785	0,0047	3,52983
1,0	0,0639	0,6667	0,2559	0,0135	3,71211	0,0160	0,7290	0,2508	0,0042	3,91982
1,5	0,0717	0,7118	0,2057	0,0108	4,61814	0,0179	0,7779	0,2008	0,0034	4,89480
2,0	0,0770	0,7420	0,1719	0,0091	5,52416	0,0192	0,8105	0,1675	0,0028	5,86978
2,5	0,0808	0,7632	0,1482	0,0078	6,43019	0,0201	0,8338	0,1437	0,0024	6,84476
3,0	0,0836	0,7801	0,1295	0,0068	7,33621	0,0208	0,8513	0,1258	0,0021	7,81974
5,0	0,0902	0,8185	0,0866	0,0047	10,96031	0,0224	0,8923	0,0839	0,0014	11,71966
10,0	0,0963	0,8537	0,0474	0,0026	20,02056	0,0239	0,9295	0,0458	0,0008	21,46946



Tabelle V.

(Fortsetzung)

v	CO <sub>2</sub>	CO	1000°		cbm
			H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	
0	0,0018	0,4958	0,4992	0,0032	1,99152
0,1	0,0023	0,5409	0,4539	0,0029	2,19014
0,2	0,0026	0,5786	0,4162	0,0026	2,38876
0,3	0,0031	0,6103	0,3842	0,0024	2,58739
0,4	0,0033	0,6376	0,3568	0,0023	2,78601
0,6	0,0037	0,6821	0,3123	0,0019	3,18325
0,8	0,0041	0,7165	0,2776	0,0018	3,58050
1,0	0,0044	0,7441	0,2499	0,0016	3,97774
1,5	0,0049	0,7938	0,2000	0,0013	4,97085
2,0	0,0052	0,8271	0,1667	0,0010	5,96396
2,5	0,0055	0,8507	0,1429	0,0009	6,95707
3,0	0,0057	0,8685	0,1250	0,0008	7,95018
5,0	0,0061	0,9100	0,0834	0,0005	11,92262
10,0	0,0065	0,9477	0,0455	0,0003	21,85372

Bezogen auf das trockene Gas ergeben sich die Analysen der  
Tabelle VI.:

Tabelle VI

Analyse des Sauerstoffgleichgewichtsmischgases (trocken  
aus v cbm Sauerstoff + 1 cbm Dampf und Gesamtgasmenge.

v	500°				550°			
	CO <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>	cbm	CO <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>	cbm
0	0,2957	0,0565	0,6480	0,74014	0,2651	0,1055	0,6316	0,93456
0,1	0,3731	0,0587	0,5682	0,84409	0,3234	0,1107	0,5659	1,04309
0,2	0,4335	0,0606	0,5059	0,94803	0,3724	0,1151	0,5125	1,15162
0,3	0,4820	0,0621	0,4559	1,05198	0,4129	0,1187	0,4684	1,26016
0,4	0,5217	0,0634	0,4149	1,15592	0,4470	0,1218	0,4312	1,36869
0,6	0,5831	0,0653	0,3516	1,36381	0,5011	0,1266	0,3723	1,58575
0,8	0,6282	0,0667	0,3051	1,57170	0,5423	0,1303	0,3274	1,80282
1,0	0,6627	0,0678	0,2695	1,77959	0,5746	0,1332	0,2922	2,01988
1,5	0,7218	0,0696	0,2086	2,29932	0,6314	0,1383	0,2303	2,56254
2,0	0,7591	0,0708	0,1701	2,81904	0,6683	0,1416	0,1901	3,10520
2,5	0,7848	0,0716	0,1436	3,33877	0,6943	0,1439	0,1618	3,64786
3,0	0,8035	0,0722	0,1243	3,85849	0,7135	0,1456	0,1409	4,19052
5,0	0,8457	0,0735	0,0808	5,93739	0,7576	0,1496	0,0928	6,36116
10,0	0,8823	0,0746	0,0431	11,13464	0,7968	0,1531	0,0501	11,78776

Tabelle VI.

(Fortsetzung)

v	600°				650°			
	CO <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>	cbm	CO <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>	cbm
0	0,2147	0,1775	0,6078	1,12857	0,1556	0,2666	0,5778	1,34633
0,1	0,2614	0,1878	0,5508	1,24532	0,1894	0,2836	0,5270	1,47621
0,2	0,3001	0,1963	0,5036	1,36208	0,2178	0,2980	0,4842	1,60609
0,3	0,3327	0,2034	0,4639	1,47883	0,2418	0,3101	0,4481	1,73596
0,4	0,3606	0,2095	0,4299	1,59558	0,2629	0,3206	0,4165	1,87484
0,6	0,4055	0,2194	0,3751	1,82909	0,2965	0,3376	0,3659	2,12560
0,8	0,4404	0,2271	0,3325	2,06259	0,3230	0,3509	0,3261	2,38535
1,0	0,4690	0,2332	0,2988	2,29610	0,3443	0,3617	0,2940	2,64511
1,5	0,5177	0,2441	0,2382	2,87987	0,3828	0,3811	0,2361	3,29450
2,0	0,5506	0,2513	0,1981	3,46363	0,4087	0,3941	0,1972	3,94389
2,5	0,5741	0,2565	0,1614	4,04740	0,4273	0,4034	0,1693	4,59328
3,0	0,5916	0,2603	0,1481	4,63116	0,4413	0,4104	0,1483	5,24267
5,0	0,6323	0,2692	0,0985	6,96622	0,4739	0,4269	0,0992	7,84023
10,0	0,6691	0,2773	0,0536	12,80387	0,5038	0,4419	0,0543	14,33413
			700°				750°	
0	0,0975	0,3562	0,5463	1,55790	0,0533	0,4202	0,5265	1,73194
0,1	0,1197	0,3813	0,4990	1,70553	0,0663	0,4532	0,4805	1,89836
0,2	0,1384	0,4023	0,4593	1,85316	0,0772	0,4811	0,4417	2,06478
0,3	0,1544	0,4202	0,4254	2,00080	0,0865	0,5047	0,4088	2,23119
0,4	0,1682	0,4356	0,3962	2,14843	0,0945	0,5251	0,3804	2,39761
0,6	0,1907	0,4632	0,3461	2,44369	0,1076	0,5584	0,3340	2,73044
0,8	0,2084	0,4808	0,3108	2,73896	0,1178	0,5844	0,2978	3,06318
1,0	0,2226	0,4969	0,2805	3,03422	0,1261	0,6054	0,2685	3,39611
1,5	0,2483	0,5259	0,2258	3,77238	0,1410	0,6433	0,2157	4,22820
2,0	0,2658	0,5454	0,1888	4,51054	0,1510	0,6688	0,1802	5,06028
2,5	0,2783	0,5595	0,1622	5,24870	0,1581	0,6871	0,1548	5,89237
3,0	0,2877	0,5701	0,1422	5,98686	0,1635	0,7009	0,1356	6,72445
5,0	0,3098	0,5949	0,0953	8,93950	0,1762	0,7331	0,0907	10,05279
10,0	0,3301	0,6177	0,0522	16,32110	0,1878	0,7626	0,0496	18,37364
			800°				900°	
0	0,0267	0,4600	0,5133	1,84990	0,0065	0,4898	0,5037	1,95321
0,1	0,0336	0,4989	0,4675	2,03111	0,0082	0,5338	0,4580	2,14821
0,2	0,0393	0,5315	0,4292	2,21231	0,0096	0,5704	0,4200	2,34320
0,3	0,0442	0,5591	0,3967	2,39352	0,0109	0,6015	0,3876	2,53820
0,4	0,0484	0,5828	0,3688	2,57472	0,0119	0,6281	0,3600	2,73319
0,6	0,0552	0,6215	0,3233	2,93713	0,0136	0,6713	0,3151	3,12319
0,8	0,0605	0,6517	0,2878	3,29954	0,0150	0,7050	0,2800	3,51318
1,0	0,0648	0,6759	0,2593	3,66195	0,0160	0,7319	0,2521	3,90317
1,5	0,0725	0,7196	0,2079	4,56798	0,0180	0,7803	0,2017	4,87815
2,0	0,0777	0,7488	0,1735	5,47400	0,0192	0,8127	0,1681	5,85313
2,5	0,0814	0,7698	0,1488	6,38003	0,0202	0,8357	0,1441	6,82811
3,0	0,0842	0,7854	0,1303	7,28605	0,0208	0,8531	0,1261	7,80309
5,0	0,0907	0,8223	0,0870	10,91015	0,0224	0,8935	0,0841	11,70301
10,0	0,0966	0,8559	0,0475	19,97040	0,0239	0,9302	0,0459	21,45281

Tabelle VI.

(Fortsetzung)

v	CO <sub>2</sub>	CO	1000° H <sub>2</sub>	cbm
0	0,0018	0,4972	0,5010	1,98549
0,1	0,0022	0,5423	0,4555	2,18411
0,2	0,0026	0,5799	0,4175	2,38273
0,3	0,0030	0,6117	0,3853	2,58136
0,4	0,0033	0,6389	0,3578	2,77998
0,6	0,0037	0,6832	0,3131	3,17722
0,8	0,0041	0,7176	0,2783	3,57447
1,0	0,0044	0,7452	0,2504	3,97171
1,5	0,0049	0,7948	0,2003	4,96482
2,0	0,0052	0,8278	0,1670	5,95793
2,5	0,0055	0,8514	0,1431	6,95104
3,0	0,0057	0,8691	0,1252	7,94415
5,0	0,0061	0,9105	0,0834	11,91659
10,0	0,0065	0,9480	0,0455	21,84769

Trägt man die Gasanalysen der Tabelle VI in das Diagramm Zeichnung-Nr.1 ein, so erhält man für die Gleichgewichtsgase gleicher Reaktionstemperatur gerade Linien, welche aus Zeichnung Nr.1 zu ersehen sind.

Man könnte auch die Gleichgewichtsgase für gleiche v-werte eintragen und würde Kurvenbögen erhalten haben, die zur CO-skala konkav sind.

Für die Gleichgewichtsgase ist die Wasserdampfzersetzung übrigens eindeutig durch die Temperatur festgelegt. Und zwar ergeben sich aus

$$(40) \quad d = \frac{H_2}{H_2 + H_2O}$$

bezw. (bei Berücksichtigung der Methangleichgew.):

$$(41) \quad d = \frac{H_2 + 2 CH_4}{H_2 + H_2O + 2 CH_4}$$

folgende Gleichgewichtsdampfzersetzen:

Tabelle VII.

Dampfersetzungen der Gleichgewichtsgase.

	$d_{40}$	$d_{41}$
500°	0,47990	0,6273
550°	0,59022	
600°	0,68557	0,7449
650°	0,77832	
700°	0,85490	0,8737
750°	0,91210	
800°	0,94984	0,9551
900°	0,98335	0,9836
1000°	0,99397	0,9964

B). Feuchtes Sauerstoffmischgas

Für das feuchte Gas gelten die (schon oben angegebenen)

Beziehungen:

$$(42) \quad H_2 + H_2O + CO_2 + CO = 1$$

$$(43) \quad 2 CO_2 + CO = H_2 (2 v + 1) + 2 v H_2O$$

Bei einer bestimmten Annahme für  $v$  lassen sich also ebene Diagramme aufbauen, deren Punkte durch  $H_2 = \text{konst.}$ ; und  $CO = \text{konst.}$  festgelegt sind. In diese Diagramme (für jeden  $v$ -wert ein besonderes) lassen sich dann Koordinatennetze für die von der Gaszusammensetzung abhängigen Größen (Gasmenge pro kg C usw.usw.) einzeichnen. Insbesondere gilt auch:

$$(44) \quad H_2O = \frac{H_2}{d} - H_2, \text{ so daß sich auch ein besonderes Koordinatennetz für die Dampfersetzung ergibt.}$$

Im Folgenden ist die Konstruktion folgender Koordinatennetze berücksichtigt:

- 1) die volumetrische Konstitution des feuchten Sauerstoffmischgases,
- 2) die feuchte Gasmenge pro kg vergastem Kohlenstoff,
- 3) die Wärmetönung pro cbm feuchten Gases,
- 4) die Linien:  $d = \text{konst.}$ ,
- 5) die geometrischen Örter gleicher Gleichgewichtstemperatur.

### 1). Die volumetrische Konstitution.

Aus (42) und (43) ergeben sich für die Konstruktion dieses Netzes die Beziehungen:

$$(44) \quad \text{H}_2 (2v + 3) + \text{H}_2\text{O} (2v + 2) + \text{CO} = 2$$

$$(45) \quad \text{H}_2 (2v + 2) + \text{H}_2\text{O} (2v + 1) - \text{CO}_2 = 1$$

$$(46) \quad \text{CO}_2 (2v + 3) + \text{CO} (2v + 2) + \text{H}_2\text{O} = 2v + 1$$

$$(47) \quad \text{CO}_2 (2v + 2) + \text{CO} (2v + 1) - \text{H}_2 = 2v$$

Aus diesen Gleichungen ergeben sich durch 0-setzen der betreffenden Anteile die Diagramm- (eck-) punkte für

$$(48) \quad \text{CO}_2 = 0, \quad \text{H}_2\text{O} = 0$$

$$(49) \quad \text{H}_2 = 0, \quad \text{CO}_2 = 0$$

$$(50) \quad \text{CO} = 0, \quad \text{H}_2\text{O} = 0$$

in Bezug auf den Anfangspunkt:  $\text{H}_2 = 0$ ;  $\text{CO} = 0$ .

Die Berechnung ergibt, daß für verschiedene  $v$ -werte der Punkt (48) folgende Reihe durchläuft:

$$\text{H}_2 = \frac{1}{2}; \frac{1}{4}; \frac{1}{6}; \frac{1}{8} \text{ usf.}$$

$$\text{CO} = \frac{1}{2}; \frac{3}{4}; \frac{5}{6}; \frac{7}{8} \text{ usf.};$$

der Punkt (49) folgt der Reihe:

$$\text{H}_2 = 0; 0; \text{ usf.}$$

$$\text{CO} = \frac{0}{1}; \frac{2}{3}; \frac{4}{5}; \frac{6}{7} \text{ usf.}$$

und der Punkt (50) der Reihe:

$$\text{CO} = 0; 0; \text{ usf.}$$

$$\text{H}_2 = \frac{2}{3}; \frac{2}{5}; \frac{2}{7}; \frac{2}{9} \text{ usf.}$$

Durch die Gleichungen (44) bis (47) sind die Netze für die CO<sub>2</sub>- und H<sub>2</sub>O-anteile völlig nach Richtung und Gradwert angegeben,

Für die Werte:

v = 0	sind in Zeichnung Nr. 3
v = 0,2	" " " " 4
v = 0,4	" " " " 5
v = 0,6	" " " " 6
v = 0,8	" " " " 7
v = 1,0	" " " " 8
v = 1,5	" " " " 9
v = 2,0	" " " " 10
v = 3,0	" " " " 11

die Koordinatennetze konstruiert worden; man erkennt, daß sich für v = 0: das aus unseren früheren Berichten bekannte Netz für reines Wassergas und für v = ∞: das Netz für reines Generatorgas (das hier zu einer Geraden zusammenschrumpft) ergibt.

2). Die feuchte Gasmenge pro kg vergasten Kohlenstoffs.

Analog wie beim trockenen erhält man für die feuchte Gasmenge:

(51)  $G = \frac{1}{0,536 (CO + CO_2)} = \frac{1}{0,536 (1 - H_2 - H_2O)}$

Die Schnittpunkte für konstante G-werte liegen also für:

CO<sub>2</sub> = 0 bei:

(52)  $CO = \frac{1}{0,536 G}$ , oder:  $H_2 = \frac{2v + 1}{0,536 G} - 2v$ ; für

CO = 0 bei:

(53)  $CO_2 = \frac{1}{0,536 G}$ , oder:  $H_2 = \frac{2v + 2}{0,536 G} - 2v$  (Aus Gl. 51 u. 47)



für  $H_2O = 0$  bei:

$$(54) \quad H_2 = 1 - \frac{1}{0,536 G},$$

und für  $H_2 = 0$  bei:

$$(55) \quad H_2O = 1 - \frac{1}{0,536 G} \quad \text{oder} \quad CO = 2 - (2v + 2) \left(1 - \frac{1}{0,536 G}\right)$$

Damit sind die Bedingungen für die Konstruktion des Koordinatennetzes gegeben.

### 3). Die Wärmetönung pro cbm feuchten Gases.

Die Konstruktionsbedingungen für dieses Netz ergeben sich ohne Schwierigkeit durch geeignete Kombination der Gleichungen (13) und (44) bis (47); und zwar liegen danach die Schnittpunkte gleicher Wärmetönungslinien mit  $CO = 0$  bei:

$$(56) \quad H_2 = \frac{4326 v - (v + 1) Q}{417 + 2580 v}$$

mit  $CO_2 = 0$  bei:

$$(57) \quad H_2 = \frac{2566 v - (2v + 1) Q}{1297 + 5160 v} \quad \text{oder} \quad CO = \frac{5160 v - Q}{1297 + 5160 v};$$

mit  $H_2O = 0$  bei:

$$(58) \quad CO = \frac{8652 v - (2v + 3) Q - 834}{2223 + 6086 v}$$

und mit  $H_2 = 0$  bei:

$$(59) \quad CO = \frac{8652 v - (2v + 2) Q}{1760 + 6086 v}$$

#### 4). Die Linien konstanter Dampfersetzung d.

Aus der Gleichung:

$$(60) \quad d = \frac{H_2}{H_2 + H_2O} \quad \text{ergeben sich durch Kombination}$$

mit Gl. (44) bzw. (45) zur Konstruktion der Linien:  $d = \text{konst}$  auf

$CO = 0$  die Werte:

$$(61) \quad H_2 = \frac{2d}{2v + 2 + d};$$

und auf  $CO_2 = 0$  die Werte:

$$(62) \quad H_2 = \frac{d}{2v + 1 + d}; \quad \text{woraus man durch Einsetzen bestimmter}$$

Werte für „d“ die Schnittpunkte der zugehörigen Linien:  $d = \text{konst}$

mit  $CO = 0$  bzw.  $CO_2 = 0$  erhält.

#### 5). Die geometrischen Örter der Gleichgewichtsgase gleicher Reaktionstemperatur

Die in Tabelle V angegebenen auf Grund der stöchiometrischen Verhältnisse und der thermodynamischen Gleichgewichtsbedingungen berechneten Gaszusammensetzungen fanden hier direkt (ohne Umrechnung auf trockenes Gas) Verwendung. Für jedes „v“ und jede Gleichgewichtstemperatur gibt es nur ein Gleichgewichtsgas, und da sich die Diagramme für die feuchten Sauerstoffmischgase auf immer nur einen v-wert beziehen, erhält man für jede Gleichgewichtstemperatur in jedem Diagramm nur eine einzige Gasanalyse, also einen Punkt.

Durch Konstruktion dieser Punktfolgen für jedes einzelne Diagramm bekommt man je eine Temperatur als eine Kurve, die konkav zur Linie  $H_2 = 0$  ist und ungleichmäßige Gradwerte besitzt.

(s. Zeichnung 5 bis 11).



C). Sauerstoffmischgase mit Methan.

Die Zusammensetzung der methanhaltigen Gase ergibt sich leicht aus den grundlegenden Gleichungen:

$$\begin{aligned}
 (63) \quad & H_2 + H_2O + CH_4 + CO_2 + CO = 1 \\
 (64) \quad & 2 CO_2 + CO = (H_2 + 2 CH_4)(2 v + 1) + 2 v H_2O \\
 (65) \quad & CO \cdot H_2O = K CO_2 \cdot H_2 \\
 (66) \quad & CO_2 = G CO^2 \\
 (67) \quad & CH_4 = M H_2^2
 \end{aligned}$$

1). Die Analysen der Gleichgewichtsgase.

Aus dem System (63) bis (67) ist von Reinders (l.c.) die Zusammensetzung auf demselben Wege wie in diesem Bericht (s.o.) für die Methanfreien Gase zunächst für reines Wassergas berechnet worden. Es ergaben sich die Werte der Tabelle VIII.

Tabelle VIII.

Zusammensetzung des reinen Gleichgewichtswassergases mit Methangleichgew. (feucht).

Temp. °C	CO <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>	Gasmenge in cbm/cbm Dampf = $\frac{H_2 + H_2O + 2CH_4}{2}$
500	0,25	0,0393	0,245	0,319	0,146	1,168
600	0,198	0,151	0,377	0,188	0,086	1,355
700	0,0945	0,340	0,449	0,0765	0,040	1,651
800	0,0270	0,457	0,474	0,0240	0,018	1,872
900	0,0065	0,491	0,485	0,0084	0,0091	1,955
1000	0,0018	0,498	0,492	0,0018	0,0052	1,965

Tabelle VIII umgerechnet auf trockenes Gas ergibt Tabelle IX.

Tabelle IX.

Zusammensetzung des reinen Gleichgewichtswassergases  
mit Methangleichgew. (trocken)

Temp. °C	CO <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	Gasmenge in cbm/cbm Dampf $= \frac{1-H_2O}{H_2+H_2O+2CH_4}$	Temp. °C
500	0,367	0,0577	0,360	0,219	0,796	500
600	0,244	0,186	0,464	0,106	1,101	600
700	0,103	0,368	0,486	0,043	1,524	700
800	0,0277	0,468	0,487	0,018	1,826	800
900	0,0066	0,495	0,489	0,009	1,938	900
1000	0,0018	0,499	0,493	0,005	1,978	1000

Gem. Tabelle IV erhält man durch Generatorgasbildung aus  $v$  cbm Sauerstoff:  $\frac{v}{CO/2 + CO_2}$  cbm Generatorgas; aus einem cbm Dampf erhält man durch Wassergasbildung:  $\frac{1}{H_2 + H_2O + 2CH_4}$  cbm feuchtes bzw.  $\frac{1-H_2O}{H_2 + H_2O + 2CH_4}$  cbm trockenes Gas. Aus einem Gemisch von  $v$  cbm Sauerstoff und 1 cbm Dampf entstehen somit:

$$(68) \quad \frac{v}{CO/2 + CO_2} + \frac{1}{H_2 + H_2O + 2CH_4} \text{ cbm feuchtes Gas}$$

oder:

$$(69) \quad \frac{v}{CO/2 + CO_2} + \frac{1-H_2O}{H_2 + H_2O + 2CH_4} \text{ cbm trockenes Gas}$$

Pro cbm Mischung aus  $v$  cbm Sauerstoff + 1 cbm Dampf entstehen

also:

$$(70) \quad \text{feuchtes Gas} = \frac{1}{v+1} \left( \frac{v}{CO/2 + CO_2} + \frac{1}{H_2 + H_2O + 2CH_4} \right) \text{ cbm}$$

oder:

$$(71) \quad \text{trockenes Gas} = \frac{1}{v+1} \left( \frac{v}{CO/2 + CO_2} + \frac{1-H_2O}{H_2 + H_2O + 2CH_4} \right) \text{ cbm}$$

Nach demselben Verfahren wie bei den methanfreien Sauerstoffmischgasen sind die Analysen aus den Tabellen VIII und IV für verschiedene v-werte gemischt worden, wodurch sich die Analysen für die methanhaltigen Sauerstoffgleichgewichtsmischgase wie folgt ergeben:

Tabelle X.

Zusammensetzung des methanhaltigen Sauerstoffgleichgewichtsmischgases (feucht)

und feuchte Gasmenge aus v cbm Sauerstoff + 1 cbm Dampf.

v	500°						600°					
	CO <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>	cbm	CO <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>	cbm
0	0,250	0,039	0,246	0,319	0,146	1,168	0,198	0,151	0,379	0,188	0,086	1,356
0,1	0,306	0,042	0,225	0,293	0,134	1,272	0,238	0,162	0,348	0,173	0,079	1,473
0,2	0,352	0,045	0,208	0,271	0,124	1,376	0,274	0,171	0,322	0,160	0,073	1,590
0,3	0,393	0,047	0,193	0,252	0,115	1,480	0,302	0,179	0,301	0,149	0,069	1,706
0,4	0,426	0,049	0,181	0,236	0,108	1,584	0,330	0,186	0,280	0,140	0,064	1,823
0,6	0,485	0,052	0,160	0,208	0,095	1,792	0,373	0,198	0,248	0,124	0,057	2,057
0,8	0,531	0,055	0,143	0,186	0,085	2,000	0,408	0,206	0,224	0,111	0,051	2,290
1,0	0,567	0,057	0,130	0,169	0,077	2,207	0,437	0,212	0,203	0,102	0,046	2,524
1,5	0,634	0,063	0,105	0,136	0,062	2,727	0,489	0,228	0,164	0,082	0,037	3,107
2,0	0,681	0,063	0,083	0,115	0,053	3,247	0,524	0,237	0,135	0,069	0,035	3,691
2,5	0,715	0,065	0,076	0,099	0,045	3,767	0,549	0,244	0,119	0,059	0,027	4,275
3,0	0,740	0,066	0,067	0,087	0,040	4,286	0,569	0,249	0,105	0,053	0,024	4,859
5,0	0,800	0,069	0,045	0,059	0,027	6,365	0,616	0,262	0,071	0,035	0,016	7,194
10,0	0,856	0,072	0,025	0,032	0,015	11,563	0,660	0,272	0,039	0,020	0,009	13,031
	700°						800°					
0	0,095	0,340	0,449	0,076	0,040	1,651	0,027	0,457	0,474	0,024	0,018	1,872
0,1	0,116	0,365	0,412	0,071	0,036	1,799	0,034	0,496	0,432	0,022	0,016	2,053
0,2	0,134	0,386	0,381	0,065	0,034	1,946	0,039	0,529	0,397	0,020	0,015	2,234
0,3	0,149	0,403	0,354	0,063	0,031	2,094	0,044	0,556	0,367	0,019	0,014	2,416
0,4	0,163	0,421	0,331	0,056	0,029	2,242	0,049	0,579	0,342	0,017	0,013	2,597
0,6	0,190	0,434	0,299	0,051	0,026	2,527	0,056	0,620	0,296	0,016	0,012	2,959
0,8	0,203	0,467	0,260	0,047	0,023	2,832	0,061	0,647	0,267	0,014	0,011	3,332
1,0	0,216	0,486	0,237	0,040	0,021	3,127	0,064	0,673	0,241	0,012	0,009	3,684
1,5	0,248	0,519	0,192	0,024	0,017	3,865	0,073	0,716	0,193	0,010	0,008	4,590
2,0	0,262	0,536	0,161	0,027	0,014	4,604	0,076	0,751	0,159	0,008	0,006	5,496
2,5	0,274	0,552	0,139	0,023	0,012	5,342	0,081	0,768	0,139	0,007	0,005	6,402
3,0	0,284	0,562	0,122	0,021	0,011	6,080	0,084	0,785	0,121	0,006	0,004	7,308
5,0	0,307	0,590	0,082	0,014	0,007	9,033	0,091	0,821	0,081	0,004	0,003	10,932
10,0	0,328	0,615	0,046	0,007	0,004	16,414	0,097	0,855	0,044	0,002	0,002	19,993

Tabelle X.

(Fortsetzung)

v	900°						
	CO <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>	cbm	
0	0,065	0,491	0,485	0,0084	0,0091	1,955	
0,1	0,0082	0,539	0,441	0,0076	0,0082	2,150	
0,2	0,0097	0,572	0,404	0,0070	0,0073	2,345	
0,3	0,010	0,603	0,374	0,006	0,007	2,540	
0,4	0,0119	0,629	0,346	0,0063	0,0068	2,735	
0,6	0,0137	0,672	0,3033	0,0053	0,0057	3,125	
0,8	0,0150	0,706	0,270	0,004	0,005	3,515	
1,0	0,016	0,733	0,243	0,004	0,004	3,905	
1,5	0,0180	0,781	0,194	0,0034	0,0036	4,880	
2,0	0,0193	0,8125	0,1624	0,0028	0,003	5,855	
2,5	0,020	0,837	0,139	0,002	0,002	6,830	
3,0	0,020	0,855	0,121	0,002	0,002	7,805	
5,0	0,0221	0,894	0,081	0,0014	0,0015	11,705	
10,0	0,0239	0,930	0,0445	0,0008	0,0008	21,455	
			1000°				
0	0,0018	0,4986	0,4926	0,0018	0,0052	1,983	
0,1	0,0023	0,5443	0,4471	0,0016	0,0047	2,182	
0,2	0,0027	0,5816	0,4099	0,0015	0,0043	2,380	
0,3	0,0030	0,6133	0,3783	0,0014	0,0040	2,579	
0,4	0,0033	0,6404	0,3513	0,0013	0,0037	2,777	
0,6	0,0037	0,6847	0,3077	0,0011	0,0032	3,175	
0,8	0,0041	0,7189	0,2731	0,0010	0,0029	3,572	
1,0	0,0044	0,7463	0,2458	0,0009	0,0026	3,969	
1,5	0,0049	0,7957	0,1966	0,0007	0,0021	4,962	
2,0	0,0052	0,8287	0,1638	0,0006	0,0017	5,955	
2,5	0,0055	0,8521	0,1404	0,0005	0,0015	6,949	
3,0	0,0057	0,8697	0,1228	0,0005	0,0013	7,942	
5,0	0,0061	0,9110	0,0819	0,0001	0,0009	11,914	
10,0	0,0065	0,9483	0,0447	0,0000	0,0005	21,845	

Für das trockene Gas erhält man:

Tabelle XI

Zusammensetzung des methanhaltigen  
Sauerstoffgleichgewichtsmischgases (trocken)  
und trockene Gasmenge aus v cbm Sauerstoff + 1 cbm Dampf.

v	500°					600°				
	CO <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	cbm	CO <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	cbm
0	0,3670	0,0577	0,3563	0,2190	0,796	0,2440	0,1860	0,4640	0,1060	1,101
0,1	0,4313	0,0598	0,3152	0,1937	0,900	0,2889	0,1957	0,4195	0,0959	1,218
0,2	0,4823	0,0615	0,2825	0,1737	1,004	0,3259	0,2038	0,3828	0,0804	1,335
0,3	0,5237	0,0628	0,2561	0,1574	1,108	0,3573	0,2103	0,3520	0,0804	1,451
0,4	0,5558	0,0639	0,2365	0,1438	1,212	0,3837	0,2161	0,3258	0,0744	1,568
0,6	0,6116	0,0657	0,1998	0,1229	1,420	0,4264	0,2252	0,2836	0,0648	1,802
0,8	0,6514	0,0671	0,1743	0,1072	1,628	0,4593	0,2324	0,2510	0,0573	2,035
1,0	0,6826	0,0679	0,1545	0,0950	1,835	0,4854	0,2379	0,2252	0,0515	2,269
1,5	0,7359	0,0697	0,1204	0,0740	2,355	0,5317	0,2481	0,1792	0,0410	2,852
2,0	0,7698	0,0709	0,0987	0,0606	2,875	0,5627	0,2546	0,1487	0,0340	3,436
2,5	0,7934	0,0716	0,0836	0,0514	3,395	0,5845	0,2593	0,1271	0,0291	4,020
3,0	0,8109	0,0722	0,0725	0,0444	3,914	0,6008	0,2628	0,1110	0,0254	4,604
5,0	0,8501	0,0735	0,0473	0,0291	5,993	0,6386	0,2709	0,0736	0,0169	6,939
10,0	0,8844	0,0747	0,0253	0,0156	11,191	0,6726	0,2783	0,0400	0,0091	12,776
	700°					800°				
0	0,1030	0,3680	0,4860	0,0430	1,524	0,0277	0,4677	0,4867	0,0179	1,826
0,1	0,1252	0,3924	0,4431	0,0393	1,672	0,0346	0,5063	0,4427	0,0164	2,007
0,2	0,1439	0,4130	0,4071	0,0360	1,819	0,0403	0,5386	0,4061	0,0150	2,188
0,3	0,1597	0,4304	0,3765	0,0334	1,967	0,0451	0,5660	0,3751	0,0138	2,370
0,4	0,1733	0,4454	0,3503	0,0310	2,115	0,0492	0,5895	0,3485	0,0128	2,551
0,6	0,1963	0,4677	0,3086	0,0274	2,400	0,0560	0,6277	0,3051	0,0112	2,913
0,8	0,2129	0,4891	0,2738	0,0242	2,705	0,0613	0,6573	0,2714	0,0100	3,276
1,0	0,2269	0,5044	0,2469	0,0218	3,000	0,0655	0,6811	0,2444	0,0090	3,638
1,5	0,2520	0,5323	0,1982	0,0175	3,738	0,0731	0,7241	0,1956	0,0072	4,544
2,0	0,2691	0,5508	0,1654	0,0147	4,477	0,0782	0,7527	0,1631	0,0060	5,450
2,5	0,2811	0,5642	0,1421	0,0126	5,215	0,0818	0,7732	0,1399	0,0051	6,356
3,0	0,2903	0,5743	0,1244	0,0110	5,953	0,0846	0,7885	0,1224	0,0045	7,262
5,0	0,3116	0,5978	0,0832	0,0074	8,906	0,0909	0,8244	0,0817	0,0030	10,886
10,0	0,3310	0,6198	0,0452	0,0040	16,287	0,0968	0,8570	0,0446	0,0016	19,947
	900°					1000°				
0	0,0068	0,4951	0,4891	0,0090	1,938	0,0018	0,4996	0,4936	0,0050	1,978
0,1	0,0084	0,5321	0,4445	0,0082	2,133	0,0023	0,5452	0,4480	0,0045	2,177
0,2	0,0098	0,5755	0,4072	0,0075	2,328	0,0027	0,5821	0,4110	0,0042	2,375
0,3	0,0110	0,6063	0,3758	0,0069	2,523	0,0030	0,6138	0,3793	0,0039	2,574
0,4	0,0121	0,6327	0,3488	0,0064	2,718	0,0033	0,6410	0,3521	0,0036	2,772
0,6	0,0138	0,6756	0,3050	0,0056	3,108	0,0037	0,6851	0,3080	0,0032	3,170
0,8	0,0151	0,7089	0,2710	0,0050	3,498	0,0041	0,7195	0,2736	0,0028	3,567
1,0	0,0162	0,7354	0,2439	0,0045	3,888	0,0044	0,7469	0,2462	0,0025	3,964
1,5	0,0181	0,7834	0,1949	0,0036	4,863	0,0049	0,7964	0,1957	0,0020	4,957
2,0	0,0193	0,8154	0,1623	0,0030	5,838	0,0052	0,8291	0,1640	0,0017	5,950
2,5	0,0202	0,8379	0,1393	0,0026	6,816	0,0055	0,8525	0,1406	0,0014	6,944
3,0	0,0209	0,8552	0,1217	0,0022	7,788	0,0056	0,8703	0,1229	0,0012	7,937
5,0	0,0225	0,8949	0,0811	0,0015	11,688	0,0061	0,9112	0,0819	0,0008	11,909
10,0	0,0239	0,9311	0,0442	0,0008	21,438	0,0065	0,9481	0,0446	0,0005	21,840

2). Die volumetrische Konstitution.

a) feuchtes Gas.

Für das feuchte Sauerstoffmischgas mit Methan gelten -gleich-  
gültig ob sich die Gleichgewichte einstellen oder nicht- die Beziehungen:

$$(72) \quad H_2 + H_2O + CH_4 + CO_2 + CO = 1$$

$$(73) \quad 2 CO_2 + CO = (H_2 + 2 CH_4)(2v + 1) + 2v H_2O$$

$$(74) \quad d = \frac{H_2 + 2 CH_4}{H_2 + 2 CH_4 + H_2O} \text{ bzw. } H_2O = \frac{H_2 + 2 CH_4}{d} - H_2 - 2 CH_4$$

woraus sich ableiten läßt:

$$(75) \quad 2 CO_2 + CO = (H_2 + 2 CH_4) \left( \frac{2v}{d} + 1 \right)$$

und:

$$(76) \quad \frac{H_2 + 2 CH_4}{d} - CH_4 + CO_2 + CO = 1$$

Gem. (72) bis (74) hat man drei Beziehungen für die 5 Gasbestand-  
teile, so daß sich bei je einer bestimmten Annahme für  $v$  und  $d$  die  
volumetrische Konstitution in ebenen Diagrammen darstellen läßt.  
Berechnet man mit  $V$  und  $D$  die Anzahl der zu Grunde gelegten Werte, <sup>von  $v$  und  $d$</sup>  so  
erhält man in ebener Darstellung  $V$  mal  $D$  Diagramme.

b) trockenes Gas.

Gl. (75) gilt unverändert für das trockene Gas; außerdem natür-  
lich:

$$(77) \quad H_2 + CO_2 + CO + CH_4 = 1$$

Mit (75) und (77) hat man 2 Beziehungen für 4 Gasbestandteile,  
so daß sich bei je einer bestimmten Annahme für  $\frac{v}{d}$  und irgend einem  
Gasbestandteil wieder ebene Diagramme konstruieren ließen.



Ein Gas, welches a Vol-teile  $\text{CO}_2$

b " "  $\text{CO}$

c " "  $\text{H}_2$

d " "  $\text{CH}_4$  enthält, ist aus C,  $\text{H}_2\text{O}$  und  $\text{O}_2$

nach folgender Gleichung entstanden:

$$(81) \quad (a + b + d) \text{C} + (c + 2d) \text{H}_2\text{O} + \left(a + \frac{b}{2} - \frac{c + 2d}{2}\right) \text{O}_2 =$$

$$= a \text{CO}_2 + b \text{CO} + c \text{H}_2 + d \text{CH}_4 + Q$$

Ein Gas enthält z.B. 0,4 Teile  $\text{CO}_2$  (a = 0,4)  
 0,2 "  $\text{CO}$  (b = 0,2)  
 0,2 "  $\text{H}_2$  (c = 0,2)  
 0,2 "  $\text{CH}_4$  (d = 0,2)

so ist die allgemeine Vergasungsgleichung gem. (81)

$$(82) \quad 0,8 \text{C} + 0,6 \text{H}_2\text{O} + 0,2 \text{O}_2 = 0,4 \text{CO}_2 + 0,2 \text{CO} + 0,2 \text{H}_2 + 0,2 \text{CH}_4 + Q$$

hiervon ziehen wir ab die Gleichung:

$$0,4 \text{C} + 0,4 \text{H}_2\text{O} = 0,2 \text{CO}_2 + 0,2 \text{CH}_4 + 0,8$$

es ergibt sich:

$$(83) \quad 0,4 \text{C} + 0,2 \text{H}_2\text{O} + 0,2 \text{O}_2 = 0,2 \text{CO}_2 + 0,2 \text{CO} + 0,2 \text{H}_2 + Q - 0,8$$

hiervon kann z.B. abgezogen werden:

$$0,2 \text{C} + 0,4 \text{H}_2\text{O} = 0,2 \text{CO}_2 + 0,4 \text{H}_2 - 3,6$$

es entsteht:

$$(84) \quad 0,2 \text{C} - 0,2 \text{H}_2\text{O} + 0,2 \text{O}_2 = 0,2 \text{CO} - 0,2 \text{H}_2 + Q - 0,8 + 3,6$$

hiervon wird abgezogen:

$$0,2 \text{C} + 0,1 \text{O}_2 = 0,2 \text{CO} + 5,9$$

es entsteht:

$$(85) \quad 0,1 \text{O}_2 - 0,2 \text{H}_2\text{O} = -0,2 \text{H}_2 + Q - 0,8 + 3,6 - 5,9$$

hierzu wird addiert:

$$0,2 \text{H}_2\text{O} = 0,2 \text{H}_2 + 0,1 \text{O}_2 - 11,5$$

3). Die Gasmenge pro kg vergastem Kohlenstoffs.

Die Gasmenge ergibt sich für das feuchte Gas zu:

$$(78) \quad G = \frac{1}{0,536 (CO_2 + CO + CH_4)} = \frac{1}{0,536 (1 - H_2 - H_2O)} \text{ obm/kg C}$$

für das trockene Gas zu:

$$(79) \quad G = \frac{1 - H_2O}{0,536 (CO_2 + CO + CH_4)} = \frac{1 - H_2O}{0,536 (1 - H_2 - H_2O)} \text{ obm/kg C}$$

worin  $CO_2$ ,  $CO$ , usw. in den beiden Fällen die Volumanteile des feuchten Gases bedeuten.

Im Verein mit (72) und (73) bzw. (73) und (77) sind damit die Konstruktionsbedingungen für ein entsprechendes Koordinatennetz gegeben.

4). Die Dampfersetzung.

Aus Gl. (74):  $d = \frac{H_2 + 2 CH_4}{H_2 + 2 CH_4 + H_2O}$  ergeben sich die Linien

gleicher Dampfersetzung für das feuchte Gas ohne weiteres; an Stelle von (74) tritt für das trockene Gas Gl. (75):

$$2 CO_2 + CO = (H_2 + 2 CH_4) \left( \frac{2V}{d} + 1 \right),$$

so daß sich hier -analog wie beim methanfreien trockenen Sauerstoffmischgas- nur die Linien  $\frac{V}{d} = \text{konst.}$  konstruieren lassen.

5). Die Wärmetönung pro cbm.

Die Wärmetönung ergibt sich unter Zuhilfenahme der Bildungswärme: + 21,8 kcal pro Mol Methan wie folgt:

$$(80) \quad 4326 CO_2 + 1283 CO - 2580 H_2 - 4100 CH_4$$

Die Ableitung des Faktors: - 4100 für 1 Vol-teil  $CH_4$  ist auf folgendem Wege erfolgt:



woraus sich schließlich ergibt:

$$\begin{aligned} 0 &= Q - 0,8 + 3,6 - 5,9 - 11,5 \\ Q &= 14,6 \text{ kcal/Mol} \\ &= 14,6 \cdot 44,7 = 651 \text{ kcal/cbm} \end{aligned}$$

Ferner hat man mit:

0,4 CO <sub>2</sub>	=	1730 kcal	(da 1 CO <sub>2</sub>	=	4326)
0,2 CO	=	257 "	( " 1 CO	=	1283)
0,2 H <sub>2</sub>	=	-516 "	( " 1 H <sub>2</sub>	=	- 2580)
Sa (CO <sub>2</sub> +CO+H <sub>2</sub> )	=	1471			

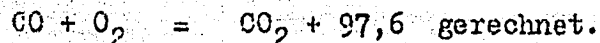
und aus:

$$(87) \quad 651 = 1471 + x \text{ CH}_4, \text{ wobei also } \text{CH}_4 = 0,2$$

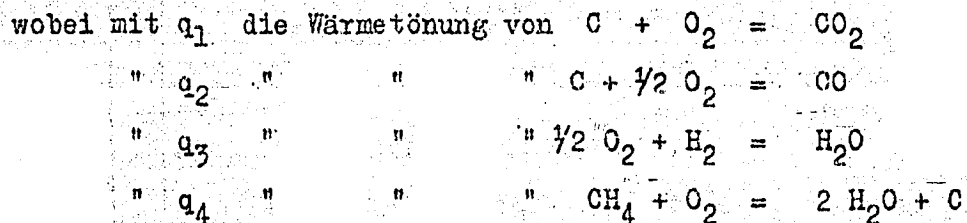
ergibt sich:

$$(88) \quad x = - 4100$$

Das gleiche Resultat erhält man auf anderen Wegen und aus anderen Gaszusammensetzungen; wie meist bei derartigen Ableitungen hängt die Genauigkeit des Resultates auch hier im wesentlichen von der Verbrennungswärme des Kohlenstoffs ab, welche nicht sicher bekannt ist. Im obigen wurde mit:



Allgemein ist  $Q = q_1 a + q_2 b - q_3 c - q_4 d$  kcal/mol.



bezeichnet sei.

### III. Zusammenfassung

Aus den stöchiometrischen Verhältnissen eines Vergasungsmittels, welches auf 1-cbm Dampf eine als bekannt vorausgesetzte Menge von  $v$  cbm reinen gasförmigen Sauerstoffs enthält, wurden zur graphischen Darstellung der aus diesem Vergasungsmittel mit reinem Kohlenstoff erzielbaren Gaszusammensetzungen eine Reihe von Formeln abgeleitet. Die Eigenschaften dieser Gase ließen sich als Funktionen der Gaszusammensetzung gewinnen und sind zusammen mit den Gasanalysen in Diagrammen zur Darstellung gebracht worden.

Die Betrachtungen erstreckten sich auf die trockenen und feuchten und auf die methanfreien und methanhaltigen Sauerstoffmischgase.

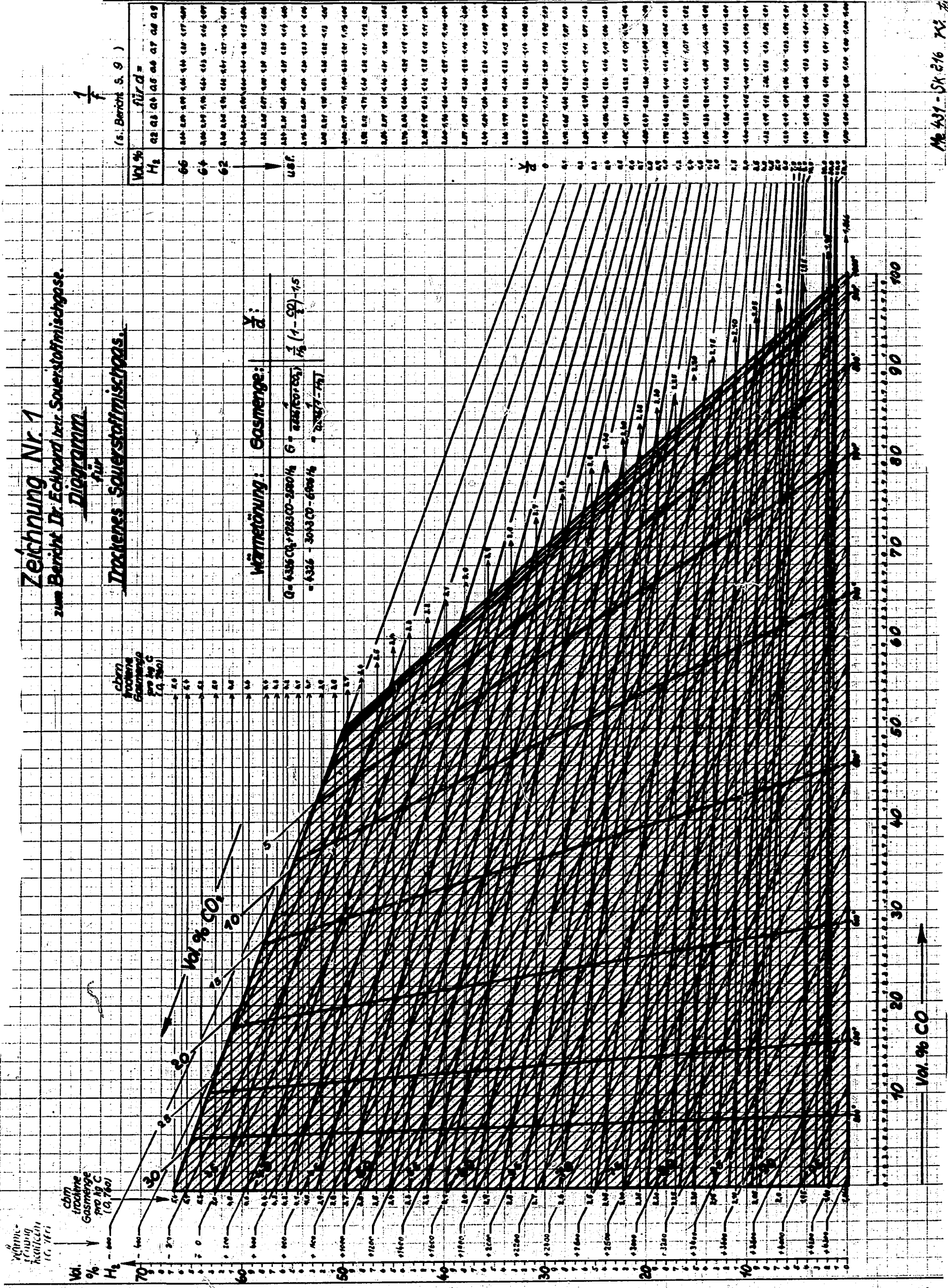
gez. E c k h a r d

# Zeichnung Nr. 1

zum Bericht Dr. Eckhard zur Sauerstoffmischgase.

## Diagramm

### Trachens Sauerstoffmischgase.



Wärmetönung: Gasmenge:  $\alpha$ :

$G = 4,336 \text{ CO} + 1,283 \text{ CO}_2 - 2,980 \text{ H}_2$   $G = \frac{2,281(507,203)}{1,9} (1 - \frac{0,0}{2}) - 1,1$

$= 6,326 - 3,043 \text{ CO} - 6,000 \text{ H}_2$   $= \frac{2,281(507,203)}{2,980(71 - 74)}$

cbm trachene Gasmenge pro kg C (0,760)

Wärme-Entwicklung kcal/l

cbm trachene Gasmenge pro kg C (0,760)

Vol. % CO

Vol. % O<sub>2</sub>

cbm trachene Gasmenge pro kg C (0,760)

Vol. % H<sub>2</sub>

für d =

02	03	04	05	06	07	08	09
66	64	62	60	58	56	54	52

(s. Bericht S. 9)

Me 431 - SK 216 743

Page/Image  
Missing

# Zeichnung Nr 3.

## Feuchtes Sauerstoffmischgas

$v = 0$

$$\begin{aligned} 3H_2 + 2H_2O + CO &= 2 \\ 3H_2 + H_2O + CO &= 1 \\ 3CO + 2H_2 &= 1 \\ CO + H_2 &= 0 \end{aligned}$$

Gesamtheit:  $\frac{1}{2}H_2 + \frac{1}{2}CO$

$$CO_2 = 0; H_2 = \frac{2 \cdot 1}{2 \cdot 1} = 1$$

$$CO = 0; H_2 = \frac{2 \cdot 1}{2 \cdot 1} = 1$$

Wärmebildung:

$$CO = 0; H_2 = \frac{0}{1} = 0$$

$$CO_2 = 0; H_2 = \frac{0}{1} = 0$$

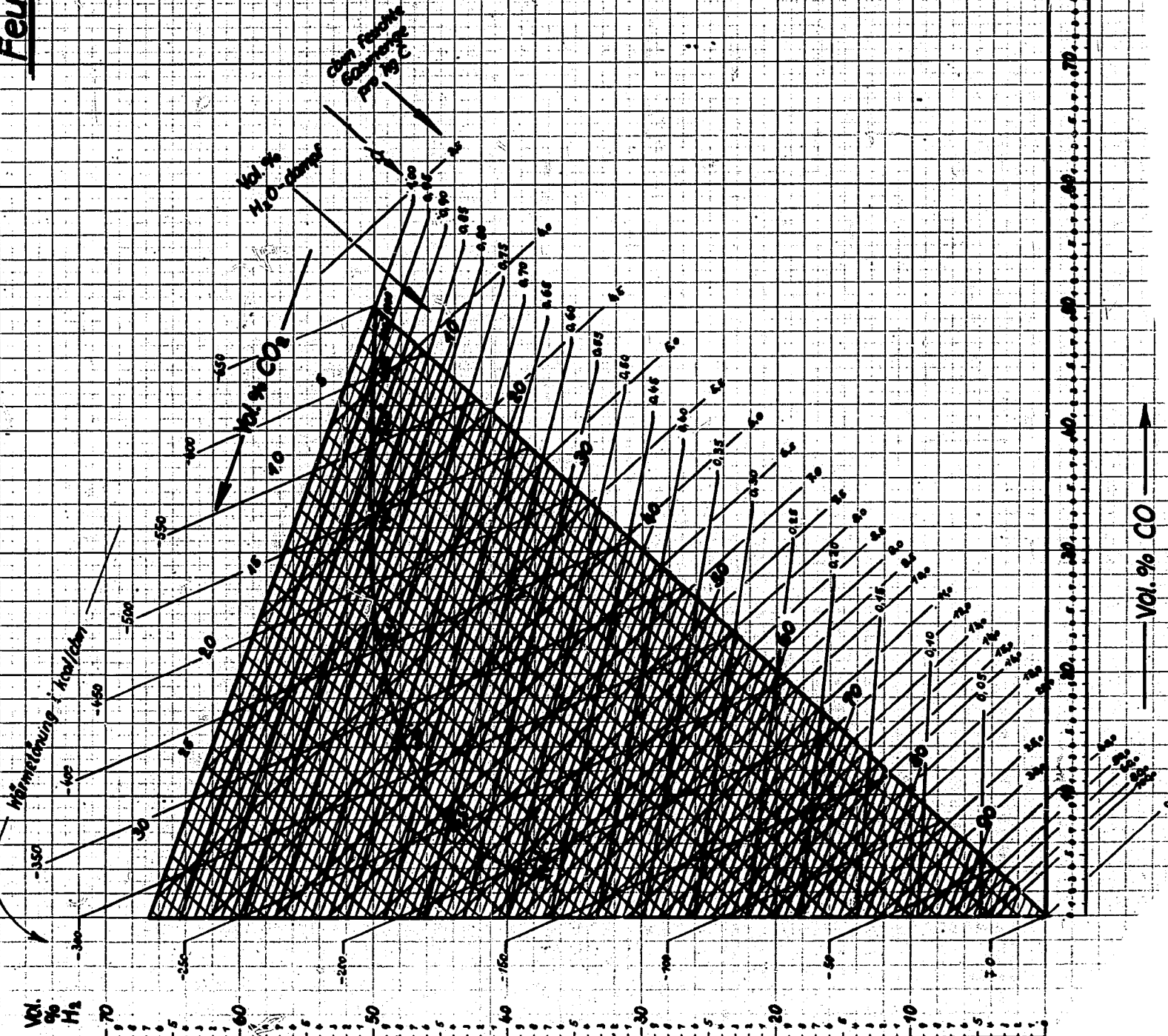
$$H_2O = 0; CO = \frac{0}{1} = 0$$

$$H_2 = 0; CO = \frac{0}{1} = 0$$

Dampfzerstörung:

$$CO = 0; H_2 = \frac{0}{1} = 0$$

$$CO_2 = 0; H_2 = \frac{0}{1} = 0$$



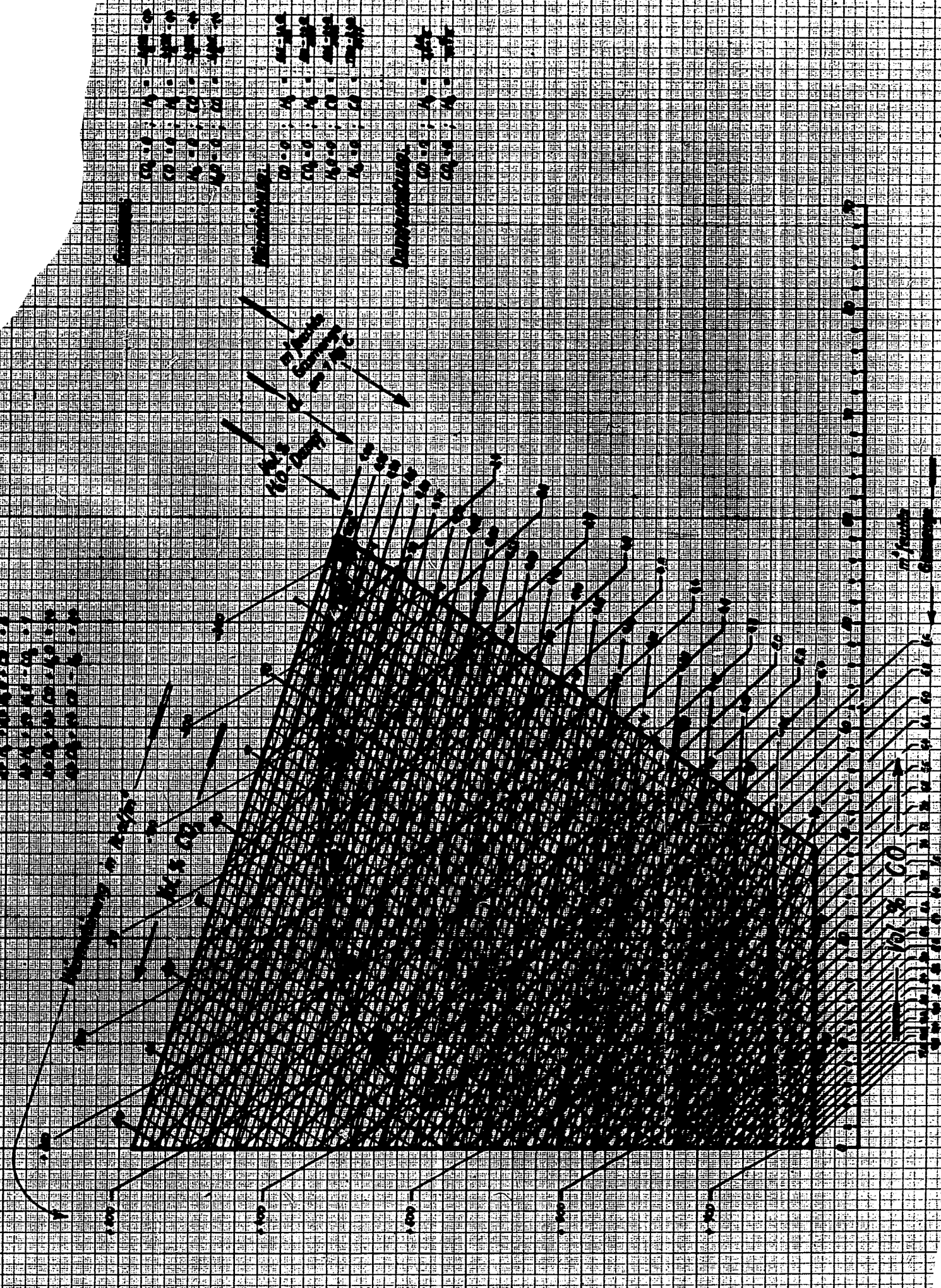


Zeichnung Nr. 1  
Fertiges Substanzmischgas

1:102

1. 100%  
2. 100%  
3. 100%  
4. 100%

Vol. %  
H<sub>2</sub>





# Zeichnung Nr. 5

## Formales Sauerstoffmischungs

$V_{O_2} = 0,6$   
 $V_{N_2} = 0,4$   
 $V_{CO_2} = 0,0$   
 $V_{H_2O} = 0,0$   
 $V_{H_2} = 0,0$   
 $V_{CH_4} = 0,0$   
 $V_{C_2H_6} = 0,0$   
 $V_{C_3H_8} = 0,0$   
 $V_{C_4H_{10}} = 0,0$   
 $V_{C_5H_{12}} = 0,0$   
 $V_{C_6H_{14}} = 0,0$   
 $V_{C_7H_{16}} = 0,0$   
 $V_{C_8H_{18}} = 0,0$   
 $V_{C_9H_{20}} = 0,0$   
 $V_{C_{10}H_{22}} = 0,0$   
 $V_{C_{11}H_{24}} = 0,0$   
 $V_{C_{12}H_{26}} = 0,0$   
 $V_{C_{13}H_{28}} = 0,0$   
 $V_{C_{14}H_{30}} = 0,0$   
 $V_{C_{15}H_{32}} = 0,0$   
 $V_{C_{16}H_{34}} = 0,0$   
 $V_{C_{17}H_{36}} = 0,0$   
 $V_{C_{18}H_{38}} = 0,0$   
 $V_{C_{19}H_{40}} = 0,0$   
 $V_{C_{20}H_{42}} = 0,0$   
 $V_{C_{21}H_{44}} = 0,0$   
 $V_{C_{22}H_{46}} = 0,0$   
 $V_{C_{23}H_{48}} = 0,0$   
 $V_{C_{24}H_{50}} = 0,0$   
 $V_{C_{25}H_{52}} = 0,0$   
 $V_{C_{26}H_{54}} = 0,0$   
 $V_{C_{27}H_{56}} = 0,0$   
 $V_{C_{28}H_{58}} = 0,0$   
 $V_{C_{29}H_{60}} = 0,0$   
 $V_{C_{30}H_{62}} = 0,0$   
 $V_{C_{31}H_{64}} = 0,0$   
 $V_{C_{32}H_{66}} = 0,0$   
 $V_{C_{33}H_{68}} = 0,0$   
 $V_{C_{34}H_{70}} = 0,0$   
 $V_{C_{35}H_{72}} = 0,0$   
 $V_{C_{36}H_{74}} = 0,0$   
 $V_{C_{37}H_{76}} = 0,0$   
 $V_{C_{38}H_{78}} = 0,0$   
 $V_{C_{39}H_{80}} = 0,0$   
 $V_{C_{40}H_{82}} = 0,0$   
 $V_{C_{41}H_{84}} = 0,0$   
 $V_{C_{42}H_{86}} = 0,0$   
 $V_{C_{43}H_{88}} = 0,0$   
 $V_{C_{44}H_{90}} = 0,0$   
 $V_{C_{45}H_{92}} = 0,0$   
 $V_{C_{46}H_{94}} = 0,0$   
 $V_{C_{47}H_{96}} = 0,0$   
 $V_{C_{48}H_{98}} = 0,0$   
 $V_{C_{49}H_{100}} = 0,0$   
 $V_{C_{50}H_{102}} = 0,0$   
 $V_{C_{51}H_{104}} = 0,0$   
 $V_{C_{52}H_{106}} = 0,0$   
 $V_{C_{53}H_{108}} = 0,0$   
 $V_{C_{54}H_{110}} = 0,0$   
 $V_{C_{55}H_{112}} = 0,0$   
 $V_{C_{56}H_{114}} = 0,0$   
 $V_{C_{57}H_{116}} = 0,0$   
 $V_{C_{58}H_{118}} = 0,0$   
 $V_{C_{59}H_{120}} = 0,0$   
 $V_{C_{60}H_{122}} = 0,0$   
 $V_{C_{61}H_{124}} = 0,0$   
 $V_{C_{62}H_{126}} = 0,0$   
 $V_{C_{63}H_{128}} = 0,0$   
 $V_{C_{64}H_{130}} = 0,0$   
 $V_{C_{65}H_{132}} = 0,0$   
 $V_{C_{66}H_{134}} = 0,0$   
 $V_{C_{67}H_{136}} = 0,0$   
 $V_{C_{68}H_{138}} = 0,0$   
 $V_{C_{69}H_{140}} = 0,0$   
 $V_{C_{70}H_{142}} = 0,0$   
 $V_{C_{71}H_{144}} = 0,0$   
 $V_{C_{72}H_{146}} = 0,0$   
 $V_{C_{73}H_{148}} = 0,0$   
 $V_{C_{74}H_{150}} = 0,0$   
 $V_{C_{75}H_{152}} = 0,0$   
 $V_{C_{76}H_{154}} = 0,0$   
 $V_{C_{77}H_{156}} = 0,0$   
 $V_{C_{78}H_{158}} = 0,0$   
 $V_{C_{79}H_{160}} = 0,0$   
 $V_{C_{80}H_{162}} = 0,0$   
 $V_{C_{81}H_{164}} = 0,0$   
 $V_{C_{82}H_{166}} = 0,0$   
 $V_{C_{83}H_{168}} = 0,0$   
 $V_{C_{84}H_{170}} = 0,0$   
 $V_{C_{85}H_{172}} = 0,0$   
 $V_{C_{86}H_{174}} = 0,0$   
 $V_{C_{87}H_{176}} = 0,0$   
 $V_{C_{88}H_{178}} = 0,0$   
 $V_{C_{89}H_{180}} = 0,0$   
 $V_{C_{90}H_{182}} = 0,0$   
 $V_{C_{91}H_{184}} = 0,0$   
 $V_{C_{92}H_{186}} = 0,0$   
 $V_{C_{93}H_{188}} = 0,0$   
 $V_{C_{94}H_{190}} = 0,0$   
 $V_{C_{95}H_{192}} = 0,0$   
 $V_{C_{96}H_{194}} = 0,0$   
 $V_{C_{97}H_{196}} = 0,0$   
 $V_{C_{98}H_{198}} = 0,0$   
 $V_{C_{99}H_{200}} = 0,0$   
 $V_{C_{100}H_{202}} = 0,0$

### Normmischung:

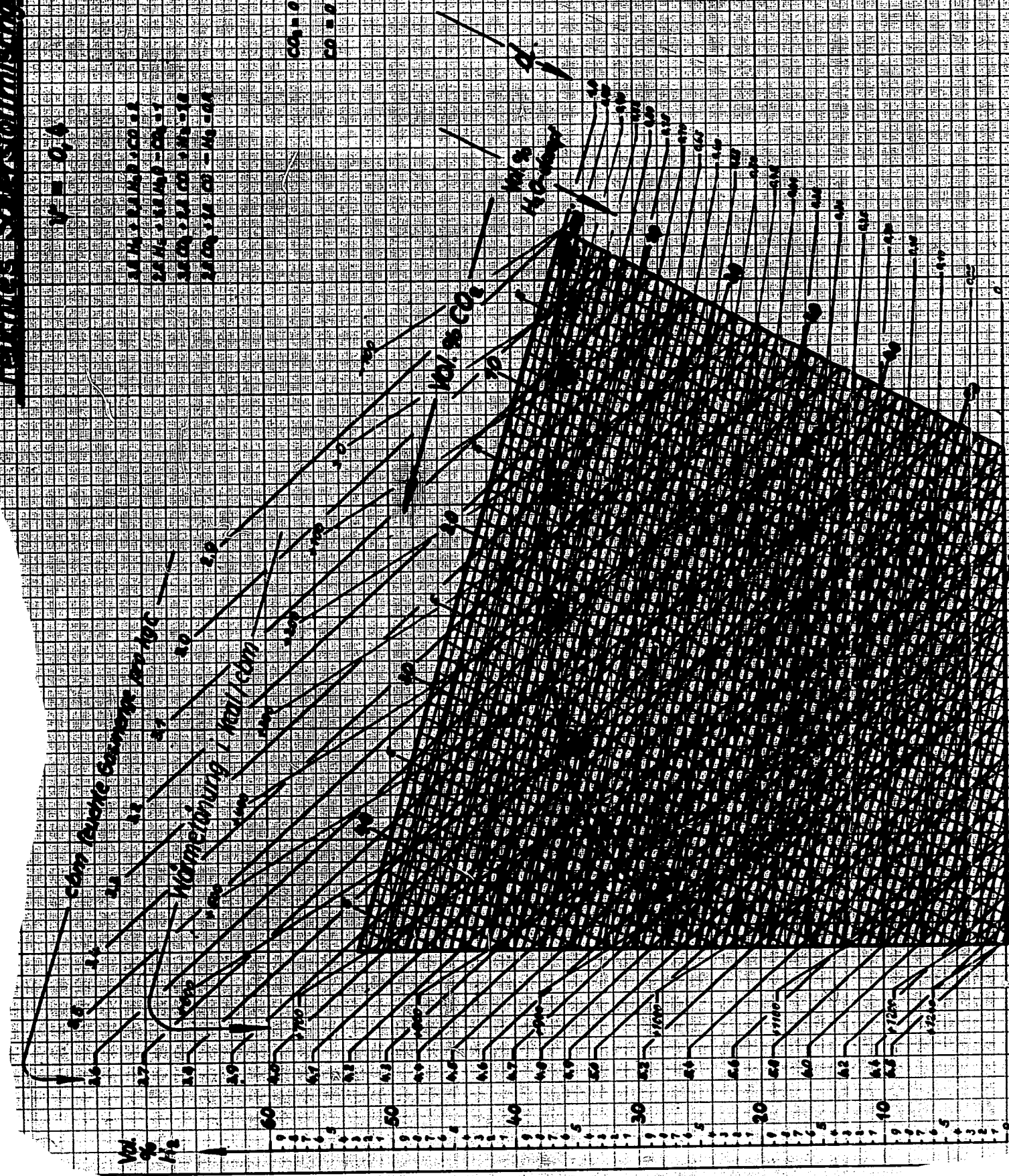
$CO_2 = 0,143$ ;  $H_2 = 0,0$ ;  $H_2O = 0,0$ ;  $CH_4 = 0,0$   
 $CO = 0,143$ ;  $H_2 = 0,0$ ;  $H_2O = 0,0$ ;  $CH_4 = 0,0$

### Wärmetabelle:

$CO_2 = 0,143$ ;  $H_2 = 0,0$   
 $CO = 0,143$ ;  $H_2 = 0,0$   
 $H_2O = 0,0$ ;  $CH_4 = 0,0$   
 $H_2 = 0,0$ ;  $CO = 0,0$

### Wärmetabelle:

$CO_2 = 0,143$ ;  $H_2 = 0,0$   
 $CO = 0,143$ ;  $H_2 = 0,0$



Vol. % CO

# Zeichnung Nr 6

## Feuchtes Sauerstoffmischgas

V = 0,6

$100 \cdot \frac{100 - 100 \cdot 0,6}{100 - 100 \cdot 0,6} = 100$

$100 \cdot \frac{100 - 100 \cdot 0,6}{100 - 100 \cdot 0,6} = 100$

$100 \cdot \frac{100 - 100 \cdot 0,6}{100 - 100 \cdot 0,6} = 100$

$100 \cdot \frac{100 - 100 \cdot 0,6}{100 - 100 \cdot 0,6} = 100$

**Gaszusamm.**

CO <sub>2</sub>	1/6	100	16,67
CO	1/6	100	16,67
H <sub>2</sub> O	20	100	33,33
H <sub>2</sub>	20	100	33,33

**Wärmezusamm.**

CO <sub>2</sub>	1/6	2000	33,33
CO	1/6	2000	33,33
H <sub>2</sub> O	20	2000	33,33
H <sub>2</sub>	20	2000	33,33

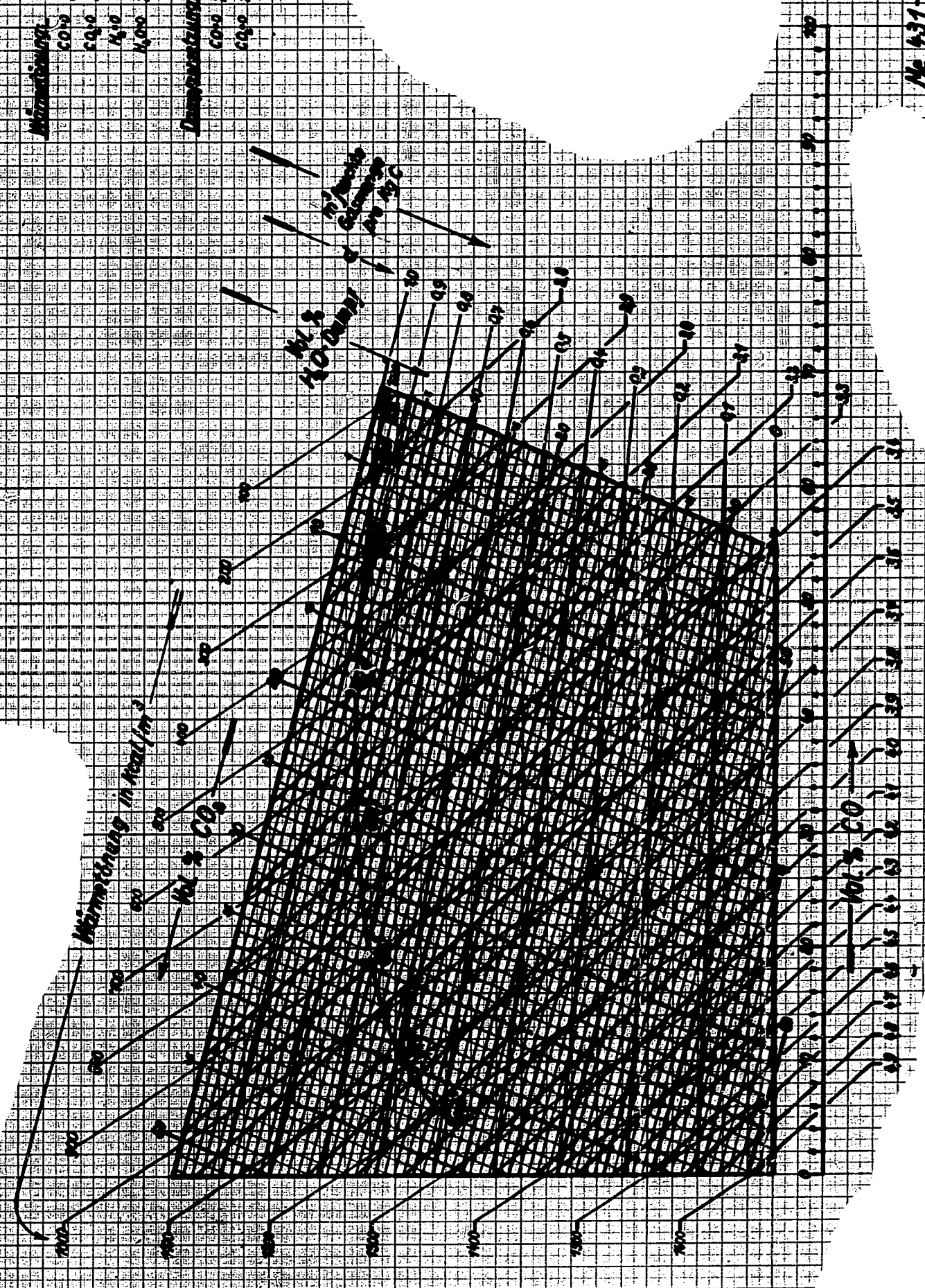
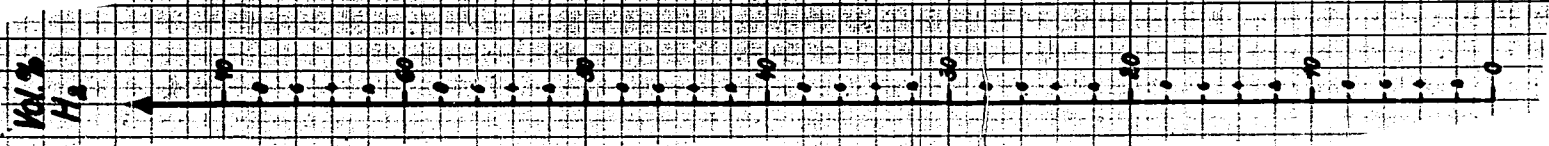
**Dampfzusamm.**

CO <sub>2</sub>	1/6	100	16,67
CO	1/6	100	16,67
H <sub>2</sub> O	20	100	33,33
H <sub>2</sub>	20	100	33,33

Wärmerichtung in kcal/m<sup>3</sup>

H<sub>2</sub> & CO

100 kcal  
100 kcal  
100 kcal



Handwritten mark



# Zeichnung Nr 7

## Feuchtes Sauerstoffmischgas

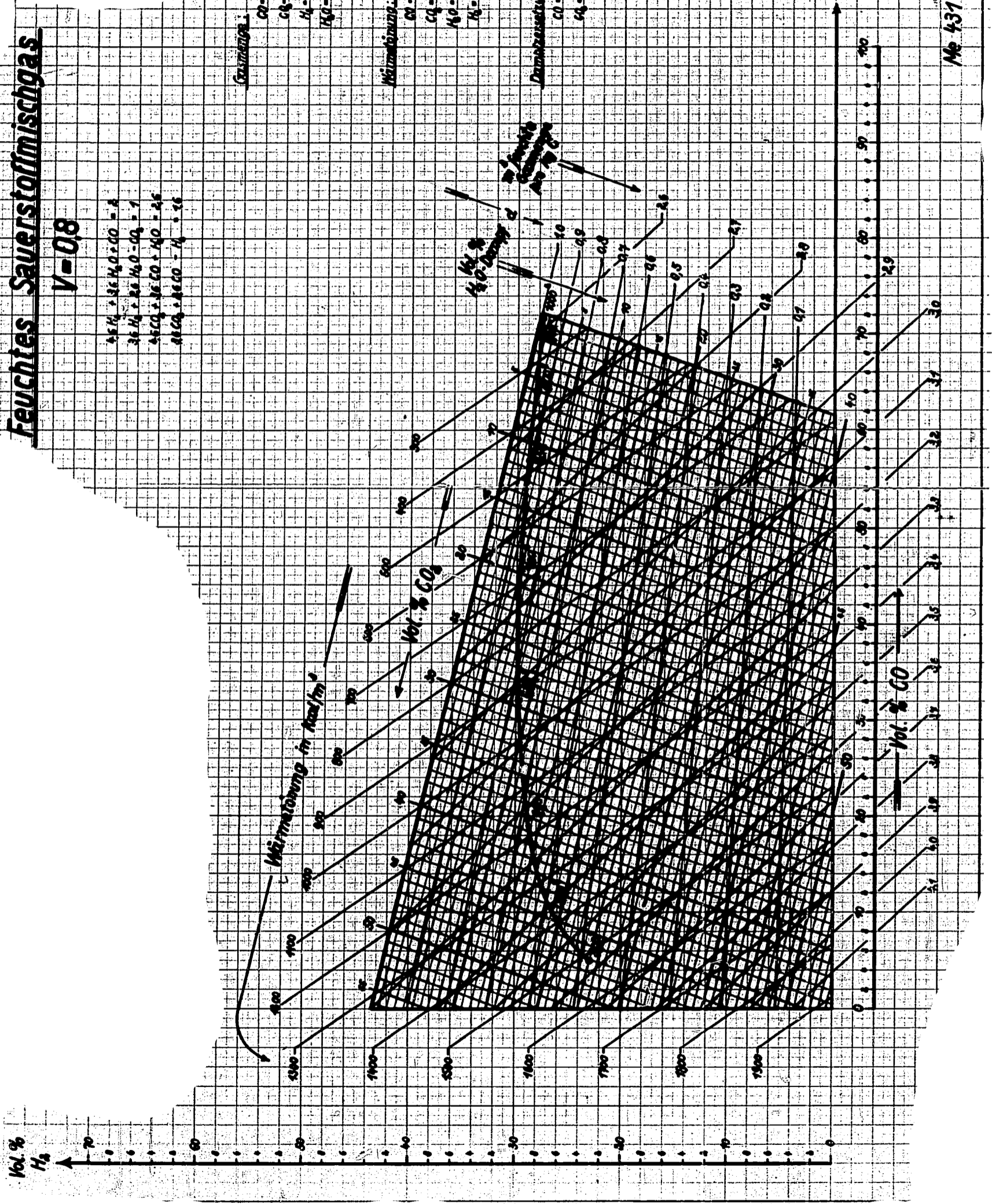
V=0,8

$$\begin{aligned}
 & 4,5 H_2 + 3,6 H_2O + CO = 8 \\
 & 3,6 H_2 + 2,8 H_2O - CO = 1 \\
 & 4,5 CO + 3,6 CO + H_2O = 8,1 \\
 & 8,1 CO + 8,1 CO - H_2 = 16,2
 \end{aligned}$$

**Gaszusammensetzung:**  
 $CO = 0; H_2 = \frac{4,5}{8,1} = 55,6\%$   
 $CO_2 = 0; H_2O = \frac{3,6}{8,1} = 44,4\%$   
 $H_2 = 0; CO = \frac{4,5}{8,1} = 55,6\%$   
 $H_2O = 0; CO = \frac{4,5}{8,1} = 55,6\%$

**Wärmezusammensetzung:**  
 $CO = 0; H_2 = \frac{4,5}{8,1} = 55,6\%$   
 $CO_2 = 0; H_2O = \frac{3,6}{8,1} = 44,4\%$   
 $H_2O = 0; CO = \frac{4,5}{8,1} = 55,6\%$   
 $H_2 = 0; CO = \frac{4,5}{8,1} = 55,6\%$

**Dampfzusammensetzung:**  
 $CO = 0; H_2 = \frac{4,5}{8,1} = 55,6\%$   
 $CO_2 = 0; H_2O = \frac{3,6}{8,1} = 44,4\%$



Zeichnung Nr. 8.

**Feuchtes Sauerstoffmischgas.**

$V = 1$

- $H_2 + H_2O + CO = 2$
- $H_2 + H_2O + CO = 1$
- $CO_2 + CO + H_2O = 3$
- $CO_2 + CO + H_2 = 2$

**Gasmenge:**

$$CO_2 = 0; \quad H_2 = \frac{2}{2+1+2} = \frac{2}{5}$$

$$CO = 0; \quad H_2 = \frac{1}{1+1+2} = \frac{1}{4}$$

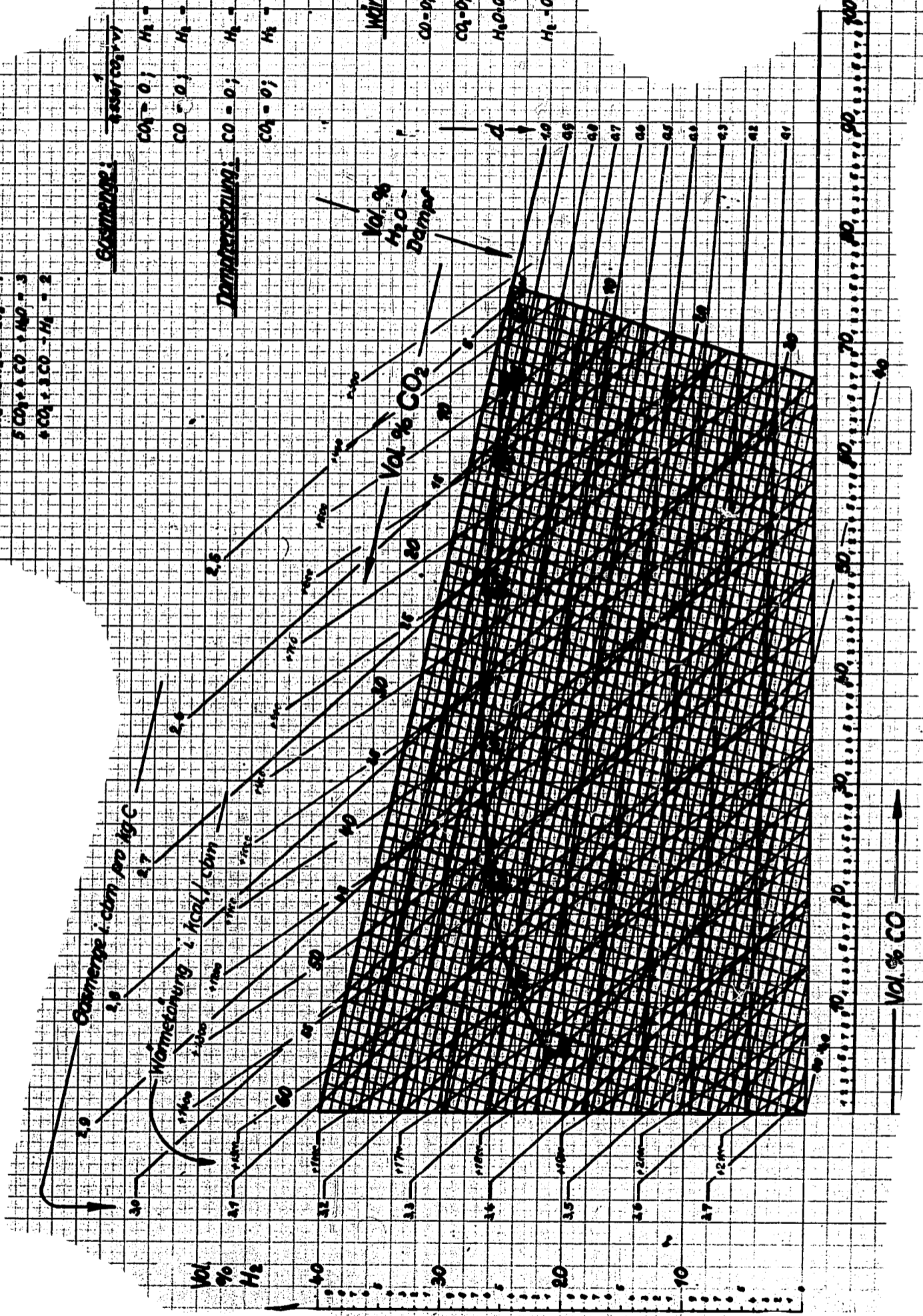
**Dampfsetzung:**

$$CO = 0; \quad H_2 = \frac{2}{3+2}$$

$$CO = 0; \quad H_2 = \frac{1}{3+1}$$

**Wärmetönung:**

$CO-O_2$	$H_2 =$	$\frac{4926-2.0}{2007}$
$CO_2-O_2$	$H_2 =$	$\frac{3399-0.0}{1127}$
$H_2O-O_2$	$CO =$	$\frac{7910-5.0}{8309}$
$H_2-O_2$	$CO =$	$\frac{6663-4.0}{7246}$



# Zeichnung Nr 8 Feuchtes Sauerstoffmischgas

$V = 1,5$

- 6 H<sub>2</sub> + 3 H<sub>2</sub>O + CO = 3
- 5 H<sub>2</sub> + 2 H<sub>2</sub>O + CO<sub>2</sub> = 1
- 6 CO + 3 CO + 1 H<sub>2</sub>O = 6
- 6 CO + 3 CO + H<sub>2</sub> = 3

### Feuchte Gasmenge:

CO<sub>2</sub> = 0 ; H<sub>2</sub> = 2,0 ; CO = 3,5 ; H<sub>2</sub>O = 0 ; O<sub>2</sub> = 0 ; N<sub>2</sub> = 0

CO = 0 ; H<sub>2</sub> = 0 ; CO<sub>2</sub> = 3,5 ; H<sub>2</sub>O = 0 ; O<sub>2</sub> = 0 ; N<sub>2</sub> = 0

### Wärmeabfuhr:

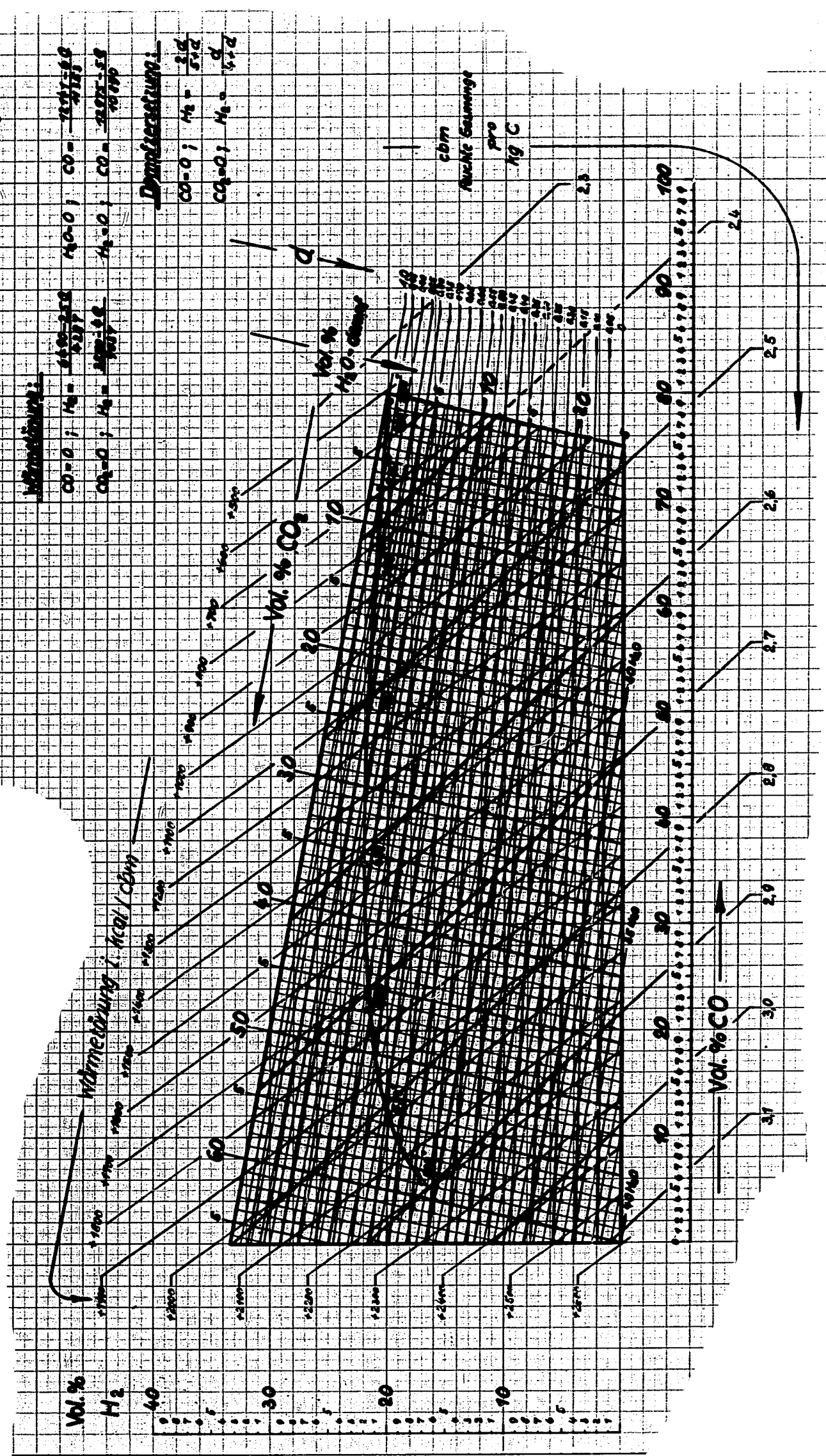
CO = 0 ; H<sub>2</sub> = 4,0 ; CO<sub>2</sub> = 3,5 ; H<sub>2</sub>O = 0 ; O<sub>2</sub> = 0 ; N<sub>2</sub> = 0

CO<sub>2</sub> = 0 ; H<sub>2</sub> = 4,0 ; CO = 3,5 ; H<sub>2</sub>O = 0 ; O<sub>2</sub> = 0 ; N<sub>2</sub> = 0

### Dampfdruck:

CO = 0 ; H<sub>2</sub> = 0

CO<sub>2</sub> = 0 ; H<sub>2</sub> = 0





**Zeichnung Nr 10**

**Feuchtes Sauerstoffmischgas**

$V = 2,0$

$7 H_2 + 14 O_2 + CO_2$

$6 H_2 + 12 H_2O + CO_2 + 7$

$7 O_2 + 14 CO_2 + H_2O + 5$

$6 H_2 + 5 CO_2 + H_2O + 6$

**Wärmehinweis:**

$CO_2: M_1 = 44$

$CO: M_1 = 28$

**Wärmehinweis:**

$CO_2: M_1 = 44$

$CO: M_1 = 28$

**Wärmehinweis:**

$CO_2: M_1 = 44$

$CO: M_1 = 28$

Wärmehinweis  
i kcal pro cbm

