

gewerblichen Rechtsschutz“ erfolgen könnte, der dem Vorstande unseres Vereins in allen Fragen auf diesem Gebiete beratend zur Seite stehen sollte. Nach Satz 2c unserer neuen Satzungen bezweckt der Verein die Förderung der Chemie und ihrer Vertreter u. a. durch Ausschüsse zur Bearbeitung wichtiger Fragen. Die Fragen, die ich eben gestreift habe, sind meines Erachtens wichtig genug, um eine Bearbeitung durch einen besonderen Ausschuß zu rechtfertigen. Diesen Ausschuß denke ich mir zusammengesetzt aus älteren Fachgenossen, die die Bedürfnisse der Industrie und der in ihr tätigen Chemiker kennen und die Patentgesetzgebung nebst Motiven usw. beherrschen. Derartig vorgebildete Fachgenossen haben sich im vorigen Jahre zu der Fachgruppe für gewerblichen Rechtsschutz zusammengeschlossen, die an sich dem von mir angeregten Ausschusse ja nicht vollständig entspricht. Zweifellos wird aber diese Fachgruppe am besten in der Lage sein, geeignete Vorschläge für die Einrichtung des Ausschusses für gewerblichen Rechtsschutz zu machen. Vielleicht läßt sich meiner Anregung in der Weise entsprechen, daß der Vorstand der Fachgruppe für gewerblichen Rechtsschutz (falls erwünscht, unter Zuwahl anderer Fachgenossen) den erwähnten Ausschuß bildet und so im engeren Kreise die Bearbeitung der oben berührten Fragen vom Standpunkte der chemischen Industrie einleitet.

Zum Schluß möchte ich nicht verfehlen, darauf hinzuweisen, daß andere Vereine (Verein zur Wahrung der Interessen der chemischen Industrie Deutschlands, Verein deutscher Ingenieure, Verein deutscher Maschinenbauanstalten usw.) für die Frage des gewerblichen Rechtsschutzes schon besondere Ausschüsse eingesetzt haben, deren Tätigkeit die besten Früchte gezeitigt hat. Möge es auch dem Verein deutscher Chemiker vergönnt sein, durch planmäßiges Arbeiten auf diesem wichtigen Gebiete die Interessen unserer chemischen Industrie und damit der in ihr tätigen Chemiker zu fördern.

Essen, 27. März 1909.

## Über den Einfluß des Wasserdampfes und des Wärmeverlustes der Vergasungszone auf die Vergasung fester Brennstoffe im Gaserzeuger.

Von JUL. VOIGT.

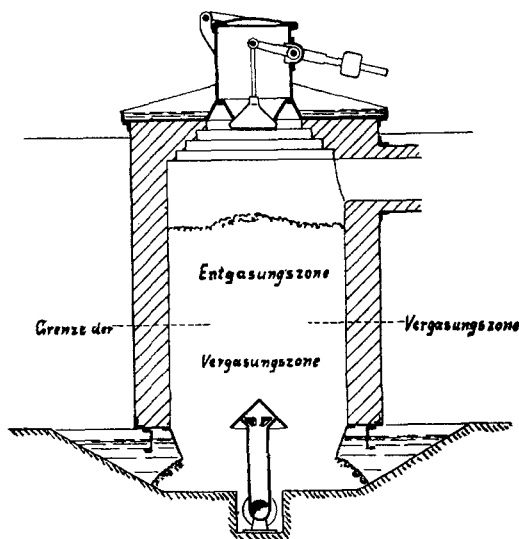
Die Erörterungen in dieser Abhandlung beziehen sich auf Gaserzeuger, deren allgemeiner Aufbau der nebenstehenden Abbildung entspricht. An die Stelle der gezeichneten Vorrichtungen zur Beschickung des Gaserzeugers, zur Einführung der Luft und zur Brennstofflagerung sowie der skizzierten Bauart des unteren Mantelstückes können irgendwelche andere Konstruktionen treten.

Über die Abhängigkeit des Wirkungsgrades der Vergasung von der Dampfzufuhr und von dem Wärmeverlust der Vergasungszone sind Berechnungen, welche sich auf die Ergebnisse sorgfältig durchgeführter Versuche stützen, noch nicht an-

gestellt. Joh. Körtling<sup>1)</sup> und Dr. Ferd. Fischer<sup>2)</sup> beschränken sich auf die Mitteilung einiger allgemeinen Angaben über das zulässige Maß der Dampfeinführung. Kutzbach<sup>3)</sup> hat 1905 ein zeichnerisches Verfahren zur Ermittlung der Zusammensetzung des Gasgemisches in Abhängigkeit von der Dampfzufuhr veröffentlicht; aber die Ergebnisse jenes Verfahrens lassen weder den Einfluß des Wasserdampfes, noch die Einwirkung des Wärmeverlustes der Vergasungszone auf die Ausnutzung des vergasteten Brennstoffs erkennen. In dem vorliegenden Aufsätze, bei dessen Entwurf der Verf. durch eine Arbeit von Dr. ing. Wendt<sup>4)</sup> in wertvoller Weise unterstützt wurde, ist unter Ausschluß der Entgasung lediglich die Vergasung der Brennstoffe behandelt; die bearbeiteten Aufgaben sind durch folgende Fragen gekennzeichnet:

1. Wie ändert sich die Zusammensetzung des Gasgemisches, wenn der Vergasungszone in steigendem Maße bis zu einer später festgesetzten Grenze Wasserdampf zugeführt wird? Wie ändert sich dabei der Heizwert der erzeugten Gasgemische, wie ändert sich die erreichbare Temperatur bei Verbrennung der dargestellten Gase, und in welcher Weise ändern sich die Wirkungsgrade der Vergasung? Wie ändert sich schließlich die Menge der notwendigen Vergasungsluft, und wie groß ist die jeweilige Gasausbeute bei Vergasung von 1 kg des festen Kohlenstoffs?

2. Wie ist die Dampfzufuhr einzustellen, um den höchstmöglichen Wirkungsgrad der Vergasung und die höchste Verbrennungstemperatur des auf 0° abgekühlten Gases zu erreichen?



3. Wie groß ist der Einfluß der Wärmeausstrahlung und -Ableitung der Vergasungszone

<sup>1)</sup> Stahl u. Eisen 1907, 688 (Über Gaserzeuger).

<sup>2)</sup> F. Fischer, Technologie der Brennstoffe 2, 271; derselbe, Jahresbericht über die chemische Technologie 1, 80 (1905).

<sup>3)</sup> Z. d. J. 1905, 233.

<sup>4)</sup> Dr. ing. Wendt, Untersuchungen am Gaserzeuger in den Mitt. über Forschungsarbeiten, herausgeg. v. V. d. I. Heft 31.

auf die Wirkungsgrade der Vergasung und in welchem Maße ist die Dampfzusuhr zu ändern, um bei gegebenem Wärmeverlust der Vergasungszone den höchstmöglichen Wirkungsgrad der Vergasung und die höchste Verbrennungstemperatur des auf 0° abgekühlten Gases zu erreichen?

Alle folgenden Berechnungen sind auf die Volumina der Gase und auf die Gewichte des Kohlenstoffs und des Wasserdampfes bezogen.

Das Molekularvolumen aller Gase bei 0° und 760 mm Hg ist mit 22,4 eingesetzt.

Der Heizwert von 1 kg Kohlenstoff ist mit 8100 WE. eingesetzt.

Der Heizwert von 1 cbm Kohlenoxyd ist mit 3050 WE eingesetzt.

Der Heizwert von 1 cbm Wasserstoff, bezogen auf Wasserdampf von 0°, ist mit 2580 WE. eingesetzt; auf Dampf von 100° bezogen beträgt er 2544 WE.

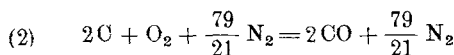
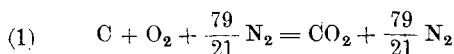
Die von der Temperatur abhängigen Werte der mittleren spezifischen Wärme der Gase, bezogen auf 1 cbm und den konstanten Druck 760 mm Hg., sind nach den bekannten Formeln von Dr. Arn. Langen berechnet.

Von dem gesamten Kohlenstoff in der gegebenen Beschickung kommt für alle Berechnungen nur der feste Kohlenstoff in Betracht, welcher sich durch die Verkokungsprobe des Brennstoffs ergibt.

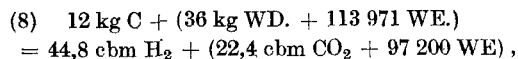
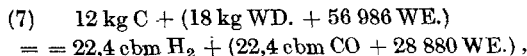
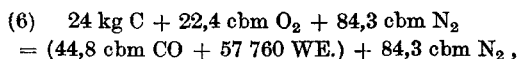
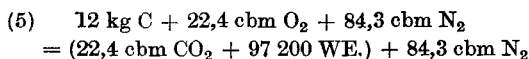
Die von der Temperatur abhängige spezifische Wärme des festen Kohlenstoffs, bezogen auf 1 kg, ist nach der Formel von Kunze<sup>5)</sup> bestimmt; diese lautet:

$$C_o^t = 0,2143 + 0,1436 \frac{1}{10^3} t - 0,1975 \frac{1}{10^8} t^2$$

Folgende Gleichungen stellen die Vergasung des Kohlenstoffs durch Luft oder Wasserdampf dar:



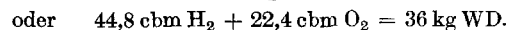
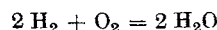
Bekanntlich verlaufen die Vergasungsvorgänge in (1) bis (4) unter Wärmeerzeugung und Wärmeverbrauch. Nach Einsetzung dieser Wärmemengen sowie der Molekulargewichte und -volumina (bezogen auf kg) ergeben sich die nachstehenden Umwandlungen der Gl. (1) bis (4). Die Vergasungstoffe, welche zu ihrer Vergasung Wärme benötigen, sind mit den verbrauchten Wärmemengen in Klammern zusammengefaßt; dasselbe ist mit den dargestellten Gasen und den erzeugten Wärmemengen geschehen. Mit WD. ist der Wasserdampf bezeichnet.



Die Wärmeerzeugung in Gl. (5) ist das Ergebnis der Verbrennung von 12 kg Kohlenstoff zu Kohlensäure. In Gl. (6) folgt die Wärmeerzeugung als Unterschied der Wärmeenergie des vergasteten Kohlenstoffs und des Heizwerts des erzeugten Kohlenoxyds

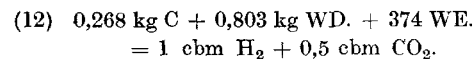
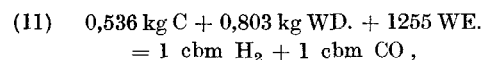
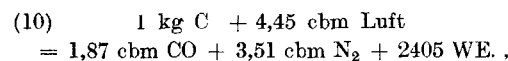
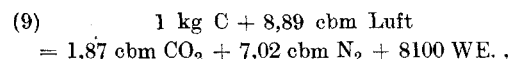
$$24 \cdot 8100 - 44,8 \cdot 3050 = 57 \text{ 760 WE.}$$

Die Zersetzungswärme des Wasserdampfes in Gl. (7) ergibt sich durch die Überlegung, daß die Wärmemenge, welche bei Bildung des Wasserdampfes aus seinen Bestandteilen frei wird, umgekehrt auch aufzuwenden ist zur Zerlegung des Dampfes in dieselben Bestandteile. Die Bildungs-gleichung des Wasserdampfes lautet bekanntlich:



Bei der Verbrennung von 44,8 cbm Wasserstoff von 0° mit Sauerstoff von 0° zu Wasserdampf von 100° werden 44,8 · 2544 = 113 971 WE. erzeugt, und diese Wärmemenge ist zur Zerlegung von 36 kg Wasserdampf von 100° in Wasserstoff und Sauerstoff von 0° wieder aufzuwenden. 18 kg Wasserdampf (Gl. 7) erfordern demnach 56 986 WE. zu ihrer Zerlegung. Die Wärmeerzeugung bei der Bildung von 22,4 cbm Kohlenoxyd in Gl. (7) beträgt die Hälfte der erzeugten Wärme in Gl. (6). Ohne weitere Erklärung ist der Ursprung der Wärmemengen in Gl. (8) zu erkennen.

Der bequemeren Handhabung wegen sind die Gl. (5) bis (8) unter Zusammenfassung der Wärmemengen umgerechnet in



Gl. (1) und deren Ableitung Gl. (9) haben (weil nach ihnen ausschließlich nicht brennbare Gase erzeugt werden) für diesen Aufsatz nur mittelbare Bedeutung; sie bleiben deswegen in den weiteren Erörterungen unberücksichtigt.

Bedingung für die Gültigkeit der Gl. (10) ist der Eintritt des Kohlenstoffs und der Luft in die Vergasung mit 0° und die Einführung des Dampfes mit 100°. Man beachte weiterhin, daß die erzeugte Wärme in Gl. (10) entwickelt wird bei Abkühlung der dargestellten Gase auf 0°, und daß der Wärmeverbrauch nach Gl. (11) und (12) die Zerlegung des Wasserdampfes bei 0° zur Voraussetzung hat. Bekanntlich erfordert aber die Dampfzersetzung durch Kohlenstoff eine erheblich höhere Reaktionstemperatur. Weiterhin ist bekannt, daß die Vergasung des Kohlenstoffs durch Luft zu Kohlenoxyd nicht un-

<sup>5)</sup> Ann. d. Physik, [4], 14.

mittelbar vor sich geht, sondern daß im Gaserzeuger durch Einführung der Luft zuerst Kohlensäure entsteht, die alsdann zu Kohlenoxyd reduziert wird nach der Gleichung  $\text{CO}_2 + \text{C} = 2 \text{CO}$ . Diese Reduktion erfordert ebenfalls eine weit über  $0^\circ$  liegende Reduktionstemperatur.

Dr. ing. W e n d t hat während seiner Untersuchungen den Mantel des Gaserzeugers in regelmäßigen Abständen vom Lufteintritt an mit feinen wagerechten Kanälen zur Gasentnahme versehen und die Gasgemische aus den verschiedenen Höhen der Brennstoffsäule analysiert, sowie die jeweiligen Gastemperaturen gemessen. Der Verf. der vorliegenden Abhandlung schließt aus den Ergebnissen jener und der übrigen Untersuchungen Dr. W e n d t s, daß die Reduktion der Kohlensäure und die Zersetzung des Wasserdampfes durch Kohlenstoff unterhalb der Temperatur  $-925^\circ$  — in nennenswertem Maße nicht mehr vor sich geht, und daß die Grenze der Vergasungszone im Gaserzeuger bei dieser Temperatur erreicht ist.

Die erzeugten Gasgemische verlassen die Vergasungszone mit  $925^\circ$  und ihre Eigenwärme, entsprechend dem Temperaturbereich  $925$  bis  $0^\circ$ , geht für die Vergasung des Kohlenstoffs verloren bis auf die Wärmemenge, welche der Kohlenstoff bei seiner Vorwärmung auf  $925^\circ$  aufnimmt. Während der vorgewärmte Kohlenstoff seine Eigenwärme in die Vergasungszone einführt, verliert er durch Wärmeabstrahlung und ableitung eine gewisse Wärmemenge. Für die nächstfolgenden Berechnungen ist vorausgesetzt, daß Eigenwärme des Kohlenstoffs und Wärmeverlust der Vergasungszone sich gegenseitig ausgleichen. Dann wird die Größe der Wärmemengen in Gl. (10) bis (12) durch die über  $0^\circ$  liegende Temperatur des Kohlenstoffs nicht geändert. Die Temperaturen der Vergasungsluft und des Wasserdampfes behalten für alle Berechnungen in diesem Aufsatz die Werte, welche sie bei Aufstellung der Gl. (10) bis (12) besaßen. Da also die Temperaturen des Vergasungsstoffs entweder unverändert bleiben, oder trotz ihrer Änderung keine sichtbare Wirkung auf die Vergasung des Kohlenstoffs ausüben, hat man die Gl. (10) bis (12) lediglich mit Rücksicht auf die veränderte Reaktionstemperatur umzuwandeln.

In dem Temperaturbereich  $925$  bis  $0^\circ$  beträgt die mittlere spezifische Wärme des aus zweiatomigen Gasen bestehenden Gasgemisches nach Gl. (10)

$$C_p^{0,25} = 0,316 \text{ WE.}$$

Mit Hilfe dieses Wertes ergibt sich die Eigenwärme des erzeugten Gasgemisches beim Verlassen der Vergasungszone zu

$$(1,87 + 3,51) \cdot 925 \cdot 0,316 = 1570 \text{ WE.}$$

Von der Wärmeerzeugung nach Gl. (10) bleiben zur Ausnutzung in der Vergasungszone verfügbar

$$2405 - 1570 = 835 \text{ WE.}$$

Da die Zersetzung des Wasserdampfes nicht (wie in Gl. (11) und (12) angenommen) bei  $0^\circ$ , sondern nur bis  $925^\circ$  vor sich geht, so entweichen die erzeugten Gase aus der Vergasungszone mit einer Eigenwärme, welche dem Temperaturbereich  $925$  bis  $0^\circ$  entspricht. Diese Wärmemenge wird der Vergasungszone entzogen, und man hat sie den Zersetzungs Wärmen in Gl. (11) und (12) hinzuzufügen, um den tatsächlich notwendigen Wärmearaufwand bei der Zersetzung des Wasserdampfes durch Kohlenstoff festzustellen.

Die Eigenwärme der nach Gl. (11) dargestellten

zweiatomigen Gase beim Verlassen der Vergasungszone beträgt . . . . .  $2.925 \cdot 0,316 = 585 \text{ WE.}$ , und der Wärmeverbrauch zur Dampfzersetzung nach Gl. (11) steigt auf  $1255 + 585 = 1840 \text{ WE.}$  Bei der Dampfzerlegung nach Gl. (12) wird außer dem zweiatomigen Wasserstoff auch Kohlensäure erzeugt. Die mittlere spezifische Wärme des letztgenannten Gases in dem Temperaturbereich  $925$  bis  $0^\circ$  beträgt . . . . .  $C_p^{0,25} = 0,442 \text{ WE.}$ , und die Eigenwärme des Gasgemisches beim Verlassen der Vergasungszone ergibt sich zu

$$1.925 \cdot 0,316 + 0,5 \cdot 925 \cdot 0,442 = 496 \text{ WE.}$$

Damit steigt die Zersetzungswärme in Gl. (12) auf

$$374 + 496 = 870 \text{ WE.}$$

Beträgt die Temperatur der Vergasungsluft  $0^\circ$ , die Temperatur des Wasserdampfes  $100^\circ$ , die Temperatur der erzeugten Gase beim Verlassen der Vergasungszone  $925^\circ$ , und heben sich Vorwärmung des Kohlenstoffs und Wärmeverlust der Vergasungszone gegenseitig auf, so treten an die Stelle der Gl. (10) bis (12) durch Einsetzung der eben berechneten Werte die folgenden Gleichungen, in welchen die Volumina der erzeugten Gase auf  $0^\circ$  und  $760 \text{ mm Hg}$  bezogen sind:

$$(13) \quad 1 \text{ kg C} + 4,45 \text{ cbm Luft} \\ = 1,87 \text{ cbm CO} + 3,51 \text{ cbm N}_2 + 835 \text{ WE.},$$

d. h., bei vollständiger Vergasung von  $1 \text{ kg}$  Kohlenstoff durch Luft zu Kohlenoxyd und Stickstoff werden  $835 \text{ WE.}$  frei, welche zur Zersetzung von Wasserdampf ausgenutzt werden können.

$$(14) \quad 0,536 \text{ kg C} + 0,803 \text{ kg WD.} + 1840 \text{ WE.} \\ = 1 \text{ cbm H}_2 + 1 \text{ cbm CO},$$

d. h., die Bildung von  $1 \text{ cbm}$  Wasserstoff aus Wasserdampf, welcher durch Kohlenstoff zersetzt wird, erfordert  $1840 \text{ WE.}$ , wenn das erzeugte Gasgemisch aus Wasserstoff und Kohlenoxyd bestehen soll.

$$(15) \quad 0,268 \text{ kg C} + 0,803 \text{ kg WD.} + 870 \text{ WE.} \\ = 1 \text{ cbm H}_2 + 0,5 \text{ cbm CO}_2,$$

d. h., die Bildung von  $1 \text{ cbm}$  Wasserstoff aus Wasserdampf, welcher durch Kohlenstoff zersetzt wird, erfordert  $870 \text{ WE.}$ , wenn das erzeugte Gasgemisch aus Wasserstoff und Kohlensäure bestehen soll.

Unter Benutzung der Gl. (13) bis (15) ist die Zahlentafel 1 berechnet. (Siehe folgende Seite.)

Die Wirkungsgrade  $\eta_1$  sind unter der Annahme bestimmt, daß der zersetzte Wasserdampf durch die Eigenwärme des abziehenden Brenngases hergestellt wird, oder daß die Erzeugungswärme des Wasserdampfes ganz unberücksichtigt bleibt. Bei der Berechnung des Wirkungsgrades  $\eta_2$  ist die Darstellung des Wasserdampfes durch Dampfkessel mit eigener Feuerung vorausgesetzt; der angenommene Wirkungsgrad dieser Kessel- und Feuerungsanlage einschließlich des Kondensationsverlustes bis zum Eintritt des Wasserdampfes in die Vergasung beträgt  $60\%$ . Für die Bestimmung der Verbrennungstemperaturen wurde angenommen, daß das Gas mit dem 1,5fachen der theoretisch notwendigen Luftmenge verbrannt; die Temperatur der Verbrennungsluft ist ebenfalls mit  $0^\circ$  eingesetzt. Der Heizwertberechnung wurde die Verbrennung des Wasserstoffs zu Dampf von  $0^\circ$  zugrunde gelegt.

Die Zahlenreihe I der Tafel ergibt sich, wenn

Zahlentafel I.

| Zahlenreihe | WD auf<br>1 kg C | Zusammensetzung<br>des Gases<br>in v. H. seines Volumens |      |                |                | Heizwert<br>von 1 cbm Gas<br>WE | Verbrennungs-<br>Temperaturen<br>Grad | WD auf 1 cbm<br>Luft<br>g | Wirkungs-<br>grade der<br>Vergasung |          | Luftverbrauch<br>auf 1 kg C<br>cbm | Gasausbeute<br>aus 1 kg C<br>cbm |
|-------------|------------------|----------------------------------------------------------|------|----------------|----------------|---------------------------------|---------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|----------|------------------------------------|----------------------------------|
|             |                  | CO <sub>2</sub>                                          | CO   | H <sub>2</sub> | N <sub>2</sub> |                                 |                                       |                           | $\eta_1$                            | $\eta_2$ |                                    |                                  |
| I           | —                | —                                                        | 34,7 | —              | 65,3           | 1058                            | 1472                                  | —                         | 0,702                               | 0,702    | 4,45                               | 5,38                             |
| II          | 0,100            | —                                                        | 35,5 | 2,4            | 62,1           | 1145                            | 1515                                  | 24                        | 0,746                               | 0,736    | 4,15                               | 5,27                             |
| III         | 0,200            | —                                                        | 36,3 | 4,8            | 58,9           | 1231                            | 1550                                  | 52                        | 0,783                               | 0,761    | 3,85                               | 5,16                             |
| IV          | 0,294            | —                                                        | 37,0 | 7,2            | 55,8           | 1314                            | 1584                                  | 82                        | 0,820                               | 0,789    | 3,57                               | 5,05                             |
| V           | 0,400            | 2,5                                                      | 33,6 | 9,6            | 54,3           | 1272                            | 1551                                  | 112                       | 0,813                               | 0,772    | 3,56                               | 5,17                             |
| VI          | 0,508            | 4,9                                                      | 30,4 | 11,9           | 52,8           | 1233                            | 1522                                  | 143                       | 0,808                               | 0,756    | 3,55                               | 5,30                             |
| VII         | 0,612            | 7,0                                                      | 27,4 | 14,1           | 51,5           | 1199                            | 1495                                  | 173                       | 0,805                               | 0,745    | 3,54                               | 5,43                             |

die Vergasung des Kohlenstoffs nach Gl. (13) ohne Dampfeinführung erfolgt. Die Zahlenreihe IV ist in der nachstehenden Weise unter der Voraussetzung berechnet, daß die gesamte freie Wärme nach Gl. (13) zur Dampfzersetzung nach Gl. (14) ausgenutzt wird.

Es entstehen

$$\frac{835}{1840} \cdot 1 = 0,454 \text{ cbm H}_2 \text{ und } 0,454 \text{ cbm CO aus}$$

$$\frac{835}{1840} \cdot 0,536 = 0,244 \text{ kg C und } \frac{835}{1840} \cdot 0,803 = 0,365 \text{ kg WD.}$$

Hergestellt werden aus 1 kg C + 4,45 cbm Luft nach Gl. (13) . . . 1,87 cbm CO + 3,51 cbm N<sub>2</sub> und aus 0,244 kg C + 0,365 kg WD. nach Gl. (14) 0,454 cbm CO + 0,454 cbm H<sub>2</sub>

Insgesamt aus 1,244 kg C + 4,45 cbm Luft + 0,365 kg WD.

$$2,324 \text{ cbm CO} + 0,454 \text{ cbm H}_2 + 3,51 \text{ cbm N}_2 = 6,288 \text{ cbm Gasgemisch.}$$

Die Berechnung der Zahlenreihe IV aus der vorstehenden Beziehung bedarf keiner Erläuterung.

Bleibt die Dampfzufuhr unter dem Wert in Reihe IV, so wird die freie Wärme nach Gl. (13) nur teilweise ausgenutzt. Zur Berechnung der zweiten Reihe ist angenommen, daß 0,10 kg Wasserdampf auf 1 kg Kohlenstoff in die Vergasung eingeführt und nach Gl. (14) zersetzt werden.

Es entstehen

$$\frac{0,10}{0,803} \cdot 1 = 0,125 \text{ cbm H}_2 \text{ und } 0,125 \text{ cbm CO aus}$$

$$\frac{0,10}{0,803} \cdot 0,536 = 0,067 \text{ kg C}$$

und es bleiben 1,00 — 0,067 = 0,933 kg C zur Vergasung nach Gl. (13) verfügbar.

Hergestellt werden aus 0,933 kg C + 4,15 cbm Luft nach Gl. (13) 1,745 cbm CO + 3,278 cbm N<sub>2</sub> und aus 0,067 kg C + 0,10 kg WD. nach Gl. (14) 0,125 cbm CO + 0,125 cbm H<sub>2</sub>.

Insgesamt aus 1,00 kg C + 4,15 cbm Luft + 0,10 kg WD.

$$1,87 \text{ cbm CO} + 0,125 \text{ cbm H}_2 + 3,278 \text{ cbm N}_2 = 5,273 \text{ cbm Gasgemisch.}$$

Mit Hilfe dieser Beziehung ist die Zahlenreihe II leicht zu berechnen.

Zur Berechnung der Reihe III, welche ebenso wie diejenige der zweiten Reihe verläuft, ist die Zersetzung von 0,20 kg Wasserdampf auf 1 kg vergasten Kohlenstoff vorausgesetzt.

Steigert man die Dampfzufuhr über das Maß in Reihe IV, so beginnt neben der Zerlegung des Wasserdampfes nach Gl. (14) die Zersetzung nach Gl. (15) aufzutreten.

Für die Berechnung der Zahlenreihe V ist angenommen, daß  $\frac{2}{3}$  der verfügbaren Wärme = 557 WE. zur Dampfzersetzung nach Gl. (14) und  $\frac{1}{3}$  der freien Wärme = 278 WE. zur Zersetzung nach Gl. (15) ausgenutzt werden.

Es entstehen

$$\frac{557}{1840} \cdot 1 = 0,303 \text{ cbm H}_2 \text{ und } 0,303 \text{ cbm CO aus}$$

$$\frac{557}{1840} \cdot 0,536 = 0,163 \text{ kg C und } \frac{557}{1840} \cdot 0,803 = 0,243 \text{ kg WD.}$$

Ferner entstehen

$$\frac{278}{870} \cdot 1 = 0,320 \text{ cbm H}_2 \text{ und } 0,160 \text{ cbm CO}_2 \text{ aus}$$

$$\frac{278}{870} \cdot 0,268 = 0,086 \text{ kg C und } \frac{278}{870} \cdot 0,803 = 0,257 \text{ kg WD.}$$

Hergestellt werden aus 1 kg C + 4,45 cbm Luft nach Gl. (13) . . . . 1,87 cbm CO + 3,51 cbm N<sub>2</sub>

und aus 0,163 kg C + 0,243 kg WD. nach Gl. (14) 0,303 cbm CO + 0,303 cbm H<sub>2</sub>

und aus 0,086 kg C + 0,257 kg WD. nach Gl. (15) 0,160 cbm CO<sub>2</sub> + 0,320 cbm H<sub>2</sub>.

Insgesamt aus 1,249 kg C + 4,45 cbm Luft + 0,50 kg WD.

$$0,16 \text{ cbm CO}_2 + 2,173 \text{ cbm CO} + 0,623 \text{ cbm H}_2 + 3,51 \text{ cbm N}_2 = 6,466 \text{ cbm Gasgemisch.}$$

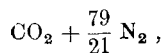
Aus dieser Beziehung sind die Einzelwerte der Zahlenreihe V berechnet.

Die Berechnung der Reihe VI gleicht der von Reihe V bis auf den Unterschied, daß  $\frac{1}{3}$  der verfügbaren Wärme = 278 WE. zur Dampfzersetzung nach Gl. (14) und  $\frac{2}{3}$  der freien Wärme = 557 WE. zur Zerlegung des Wasserdampfes nach Gl. (15) ausgenutzt werden. Schließlich ist durch Verbrauch der freien Wärme in Gl. (13) zur ausschließlichen Zersetzung des Wasserdampfes nach Gl. (15) die Zahlenreihe VII entstanden.

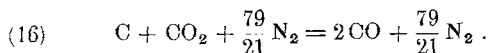
Nach Eintragung der Zahlenwerte aus Tafel I in ein Koordinatensystem und nach Verbindung der einzelnen Punkte entsteht die Kurventafel 1, welche den Einfluß des Wasserdampfes auf die Vergasung unzweideutig erkennen läßt. Man bemerkt, daß der höchste Wirkungsgrad der Vergasung und die höchstmögliche Verbrennungstemperatur des erzeugten Gases mit dem Höchstwert des Kohlenoxydgehalts im Brenngase zusammenfallen. Dieser höchste Kohlenoxydgehalt ergibt sich durch Einstellung der Dampfzufuhr nach Zahlenreihe IV.

Bekanntlich ist die Kohlenoxydbildung bei Vergasung des Kohlenstoffs durch Luft eine stufenweise, — die in erster Stufe gebildete Kohlensäure wird in zweiter Stufe durch Kohlenstoff unter Wärmeverbrauch zu Kohlenoxyd reduziert. Die Reduktionswärme geht in das erzeugte Kohlenoxyd über und bildet einen Teil des Heizwerts jenes Gases, während die erzeugte Wärme in Gl. (10) und die freie Wärme nach Gl. (13) lediglich von der Wärmeerzeugung in der ersten Vergasungsstufe herrühren. In Zahlenreihe VII der Tafel I ist der Höchstwert des zersetzbaren Wasserdampfes durch die vollständige Ausnutzung der freien Wärme nach Gl. (13) angegeben. Eine Steigerung der Dampfzersetzung über jenes Maß ist nur durch Inanspruchnahme der Reduktionswärme erreichbar. Dabei wird die vollständige Reduktion der Kohlensäure mehr und mehr verhindert und der Wirkungsgrad der Vergasung in steigendem oder fallendem Sinne beeinflusst; diese Änderung des Wirkungsgrades infolge der Überschreitung der Dampfzufuhr nach Zahlenreihe VII soll durch die nächstfolgenden Untersuchungen klaggestellt werden.

Gemäß Gl. (1) entsteht bei Vergasung des Kohlenstoffs durch Luft zu Kohlensäure das Gasgemisch



welches reduziert wird nach der Gleichung



Die Einsetzung der Molekulargewichte und -volumina, sowie der verbrauchten und erzeugten Wärmemengen ergibt Gl. (17):

$$12 \text{ kg C} + (22,4 \text{ cbm CO}_2 + 97\,200 \text{ WE.}) + 84,3 \text{ cbm N}_2 \\ = (44,8 \text{ cbm CO} + 57\,760 \text{ WE.}) + 84,3 \text{ cbm N}_2.$$

Denn nach Gl. (5) werden bei der Darstellung von 22,4 cbm Kohlensäure 97 200 WE. erzeugt, die umgekehrt zur Zerlegung desselben Kohlensäurevolumens wieder aufzuwenden sind. Weiterhin werden bei der Bildung von 44,8 cbm Kohlenoxyd nach Gl. (6) 57 760 WE. erzeugt; dieselbe Wärmemenge

ist in Gl. (7) eingesetzt. Zur Wahrung des Zusammenhangs der Gl. (17) mit Gl. (10) und (13) ist die Reduktionsgleichung unter Zusammenfassung der Wärmemengen auf 1,87 cbm erzeugtes Kohlenoxyd umgerechnet in

$$(18) \quad 0,50 \text{ kg C} + 0,935 \text{ cbm CO}_2 + 3,51 \text{ cbm N}_2 \\ + 1645 \text{ WE.} \\ = 1,87 \text{ cbm CO} + 3,51 \text{ cbm N}_2,$$

d. h., die Bildung von 1,87 cbm Kohlenoxyd durch Reduktion der Kohlensäure mit Hilfe von Kohlenstoff erfordert 1645 WE., wenn Kohlenstoff, Kohlensäure und Stickstoff mit 0° in die Reduktion eintreten, und diese selbst bei 0° vor sich geht. Bei Aufstellung der Gl. (13) bis (15) wurde vorausgesetzt, daß Eigenwärme des vorgewärmten Kohlenstoffs und Wärmeverlust der Vergasungszone sich gegenseitig ausgleichen; wegen des Zusammenhangs mit jenen Gleichungen gelte diese Voraussetzung auch für Gl. (18), so daß die Eigenwärme des reduzierenden Kohlenstoffs keine Wirkung auf den Wärmeverbrauch der Reduktion ausübt. Die Kohlensäure und der Stickstoff besitzen beim Eintritt in die Reduktion die Eigenwärme, welche von ihnen bei der Vergasung des Kohlenstoffs durch Luft aufgenommen wurde. Da nach Gl. (9) bei der Darstellung von 1,87 cbm Kohlensäure 8100 WE. entwickelt werden, so entsteht durch die Bildung von 0,935 cbm Kohlensäure die Wärmemenge 4050 WE. Gemäß Gl. (18) werden für die Reduktion von 0,935 cbm Kohlensäure 1645 WE. verbraucht. Der Unterschied der zuletzt genannten Wärmemengen, d. h. 4050 — 1645 = 2405 WE., geht als Eigenwärme in das nach Gl. (18) erzeugte Gasgemisch. Diese Wärmemenge, welche mit der Wärmeerzeugung nach Gl. (10) übereinstimmt und übereinstimmen muß, dient teilweise zur Erzeugung der Reduktionstemperatur; der Rest kann als freie Wärme zur Dampfzersetzung verwandt werden — wie bei der Aufstellung von Gl. (13) des näheren auseinandergesetzt wurde. Trotzdem Gl. (18) nur Gültigkeit hat für die tatsächlich unausführbare Reduktion bei 0°, darf in den folgenden Untersuchungen die Reduktionswärme mit 1645 WE. eingesetzt werden, weil den wirklichen Verhältnissen während der Reduktion schon Rechnung getragen wird durch die Eigenwärme der zu reduzierenden Kohlensäure und des Stickstoffs, welcher an die Kohlensäure gebunden ist.

Der Vergasungszone möge nun so viel Wasserdampf zugeführt werden, daß die Kohlensäure in Gl. (18) völlig unreduziert bleibt. Dann wird die Reduktionswärme vollständig zur Dampfzersetzung verwandt und an Stelle der Erzeugnisse in Gl. (18), die aus . . . . . 1,87 cbm CO + 3,51 cbm N<sub>2</sub> bestehen, treten außer den nicht aufgeführten Erzeugnissen der Dampfzersetzung die unveränderten, in die Reduktion eingeführten Gase

$$0,935 \text{ cbm CO}_2 + 3,51 \text{ cbm N}_2.$$

Beide Gasgemische verlassen die Vergasungszone mit 925°. Das erste Gemisch entzieht der Vergasungszone die Wärmemenge

$$(1,87 + 3,51) \cdot 925 \cdot 0,316 = 1570 \text{ WE.},$$

während das zweite mit sich führt

$$0,935 \cdot 925 \cdot 0,442 + 3,51 \cdot 925 \cdot 0,316 = 1410 \text{ WE.}$$

Bei Verhinderung der Reduktion sind also außer der

freiwerdenden Reduktionswärme noch 1570 — 1410 WE. = 160 WE. als Unterschied der Eigenwärme der jeweils entstehenden Gasgemische zur Dampferzersetzung verfügbar, so daß insgesamt 1645 + 160 = 1805 WE. zur Zerlegung von Wasserdampf durch Kohlenstoff nach Gl. (15) zu Gebote stehen.

Es ergeben sich

$$\frac{1805}{870} \cdot 1 = 2,074 \text{ cbm H}_2 \text{ und } 1,037 \text{ cbm CO}_2 \text{ aus}$$

$$\frac{1805}{870} \cdot 0,268 = 0,566 \text{ kg C und } \frac{1805}{870} \cdot 0,803$$

$$= 1,67 \text{ kg WD.}$$

Wird in Gl. (18), welche bekanntlich lautet

$$0,935 \text{ cbm CO}_2 + 3,51 \text{ cbm N}_2 + 0,50 \text{ kg C}$$

$$+ 1645 \text{ WE.} = 1,87 \text{ cbm CO} + 3,51 \text{ cbm N}_2,$$

die Reduktion der Kohlensäure durch Dampfeinführung vollständig verhindert, so entsteht auf Grund der vorhergegangenen Berechnung die Gl. (19) 0,935 cbm CO<sub>2</sub> + 3,51 cbm N<sub>2</sub> + 1,67 kg WD.

$$+ 0,566 \text{ kg C} + 1805 \text{ WE.}$$

$$= 2,074 \text{ cbm H}_2 + (1,037 + 0,935) \text{ cbm CO}_2 + 3,51 \text{ cbm N}_2.$$

Nach Gl. (18) werden durch den Kohlenstoff 0,50.8100 = 4050 WE. und als Reduktionswärme 1645 WE., insgesamt 5695 WE., zur Darstellung von 1,87 (genauer 1,867) cbm Kohlenoxyd aufgewandt; da der Heizwert dieses Brenngases 1,867.3050 = 5694 WE. beträgt, so folgt aus dem Vergleiche der aufgewandten mit der erzeugten Wärmemenge, daß bei vollständiger Reduktion von 0,935 cbm Kohlensäure die aufgewandte Energie ohne Verlust in das brennbare Gas übergeht. Nach Gl. (19) werden durch den Kohlenstoff 0,566.8100 = 4585 WE. und als Zersetzungswärme 1805 WE., insgesamt 6390 WE., zur Darstellung von 2,074 cbm Wasserstoff und 1,037 cbm Kohlensäure aufgewandt; da der Heizwert dieses Brenngases 2,074.2580 = 5350 WE. beträgt, so folgt aus dem Vergleiche der aufgewandten mit der erzeugten Wärmemenge, daß bei vollständiger Verhinderung der Reduktion von 0,935 cbm Kohlensäure durch Dampferzersetzung die aufgewandte Energie mit 6390 — 5350 = 1040 WE. Verlust in das brennbare Gas übergeht. Hiermit ist allerdings nur die Größe des Energieverlustes bei vollständiger Verhinderung der Reduktion festgestellt; der Verlust nimmt ab bei Verminderung der Dampffuhr, weil dann die verlustlose Reduktion der Kohlensäure in steigendem Maße vor sich gehen kann. Da aber selbst die geringste Beeinträchtigung der vollständigen Reduktion der Kohlensäure, welche in erster Stufe bei Vergasung des Kohlenstoffs durch Luft entsteht, einen Energieverlust nach sich zieht, hat jede Überschreitung der Dampffuhr in Zahlenreihe VII ein Sinken der Vergasungswirkungsgrade unter die Werte jener Zahlenreihe zur Folge.

In den bisherigen Erörterungen wurde stillschweigend die vollständige Zersetzung des eingeführten Wasserdampfes vorausgesetzt. Erfahrungsgemäß ist diese Annahme nur in sehr beschränktem Umfange zutreffend. Nach der Theorie würde die vollständige Zerlegung des Wasserdampfes erst dann beeinträchtigt, wenn die gesamte Wärme, welche bei Vergasung des Kohlenstoffs durch Luft

zu Kohlensäure entsteht, zur Dampferzersetzung nach Gl. (15) aufgebraucht ist; das erzeugte Gas (der Vergasungszone) bestände dann nur aus Kohlensäure, Wasserstoff und Stickstoff unter Beimischung des unzersetzten Dampfes. Tatsächlich hat man aber beträchtliche Mengen unzersetzten Wasserdampfes in Gasgemischen mit erheblichem Kohlenoxydgehalt festgestellt. Als Beispiel sei das Vergasungsverfahren nach Dr. Mond herangezogen. Dieser englische Chemiker führte bekanntlich große Dampfmengen in den Gaserzeuger ein, um die Temperatur der Brennstoffsäule zu erniedrigen und dadurch eine hohe Ammoniakausbeute zu erzielen. Bei einer in England<sup>6)</sup> aufgestellten Anlage wurden etwa 3,70 kg Wasserdampf auf je 1 kg festen Kohlenstoff oder 1 kg Dampf mit 1 cbm Luft in die Vergasungszone geblasen. Etwa 75% des Dampfes verließen unzersetzt den Gaserzeuger, und die Analyse des Gases ergab folgende Zusammensetzung desselben:

$$\text{CO}_2 \text{ 16\%; CO 11\%; H}_2 \text{ 29\%; CH}_4 \text{ 2\%; N}_2 \text{ 42\%.}$$

Die mangelhafte Zersetzung des Wasserdampfes tritt selbstverständlich bei allen Gaserzeugern ein, welche gleich den Mondschen Gaserzeugern mit hoher Dampffuhr betrieben werden; auch die Zusammensetzung der Gasgemische wird durch starke Dampfeinführung ähnlich wie die Beschaffenheit der Brenngase aus den genannten englischen Generatoren beeinflusst. Als Beispiel dafür sei die Analyse eines Gases angeführt, das Dr. F. Fischer<sup>7)</sup> einem Gaserzeuger anderer Bauart entnommen hat. Infolge übermäßiger Dampfeinführung, die sich durch Ausscheidung von sehr viel Wasser beim Einschmelzen der Gasproben verriet, ergab sich folgende Zusammensetzung des Gases:

$$\text{CO}_2 \text{ 15\%; CO 9\%; H}_2 \text{ 21\%; CH}_4 \text{ 1\%; N}_2 \text{ 54\%.}$$

Der starke Unterschied im Wasserstoffgehalt der beiden Gasgemische ist eine Folge der verschiedenen Zusammensetzung der vergasten Brennstoffe. Während im Mondschen Gaserzeuger Steinkohle mit etwa 6,2% Wasserstoff vergast wurde, bestand die Beschickung des von Fischer untersuchten Gaserzeugers aus Anthrazit mit 3% Wasserstoffgehalt.

Ogleich einige allgemeine Untersuchungen an Gaserzeugern mit hoher Dampffuhr vorliegen, fehlt es doch an planmäßigen Versuchen, durch welche das Maß des unzersetzten Dampfes bei Änderung der Dampffuhr und damit die Größe des jeweiligen Wärmeverlustes der Vergasungszone durch die aufgenommene Wärme des unzersetzten Wasserdampfes bestimmt werden kann. Ohne Kenntnis jener Verluste ist die exakte Berechnung des Einflusses starker Dampfeinführung auf die Vergasung undurchführbar. Deswegen wurde die Berechnung der Zahlentafel I bei der mäßigen Dampffuhr nach Zahlenreihe VII abgebrochen. Der Verf. dieses Aufsatzes errechnet allerdings aus den Wendtschen Untersuchungen<sup>8)</sup>, bei welchen etwa 0,65 kg Wasserdampf auf 1 kg Kohlenstoff in die Vergasung eingeführt wurden, noch etwa 85 g

<sup>6)</sup> Vgl. Z. d. Ver. Ing. 1901, 1597.

<sup>7)</sup> F. Fischer, Technologie der Brennstoffe 2, 261.

<sup>8)</sup> Untersuchungen am Gaserzeuger, Versuch 3.

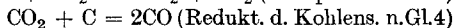
unzersetzten Dampf auf 1 kg vergasten Kohlenstoff. Dieser unzersetzte Dampf entzieht der Vergasungszone 35 WE. bei seiner Erwärmung von 100 auf 925°, wenn er in der Vergasungszone auf jene Temperatur erhitzt wird — was ziemlich unwahrscheinlich ist. Da in Zahlen- und Kurventafel 1 die Dampfeinführung nur bis 0,61 kg auf je 1 kg vergasten Kohlenstoff ansteigt, so hat der etwa auftretende Wärmeverlust durch unzersetzten Wasserdampf nur geringen Einfluß auf den Wirkungsgrad  $\eta_1$ ; etwas größer ist freilich der Abfall des Wirkungsgrades  $\eta_2$  infolge des Wärmeeaufwandes zur Darstellung des unzersetzten Dampfes.

Durch die kurz vorhergehende Berechnung wurde nachgewiesen, daß die Steigerung der Dampfzufuhr über deren Größe in Zahlenreihe VII zweifellos ein Sinken der Vergasungswirkungsgrade unter die Werte in Reihe VII hervorruft; der Abfall wird noch vergrößert durch die steigend unvollständige Zersetzung des Wasserdampfes. Unter Berücksichtigung dieser Tatsachen und auf Grund des Verlaufs der Kurven in Tafel 1 darf man über die Wärmeausnutzung der Brennstoffe im Gaserzeuger die folgenden beiden Sätze aussprechen:

1. Zur Erreichung des höchsten Wirkungsgrades der Vergasung und der höchsten Verbrennungstemperatur des erzeugten Gasgemisches muß die gesamte freie Wärme, welche entsteht bei vollständiger Vergasung des Kohlenstoffs durch Luft und Bildung eines Gemisches von Kohlenoxyd und Stickstoff, ausgenutzt werden zur Zersetzung von Wasserdampf durch Kohlenstoff unter Bildung von Wasserstoff und Kohlenoxyd.

2. Zur Erreichung der höchstmöglichen Ausnutzung des vergasten Brennstoffs ist am ausgeführten Gaserzeuger die Dampfzufuhr so einzustellen, daß der Kohlenoxydgehalt des Gases ein Maximum wird.

Zum Schluß des ersten Teils dieser Abhandlung sei auf den Zusammenhang der Gl. (3) und (4), welche die Dampfzersetzung durch Kohlenstoff darstellen, hingewiesen. Die Addition der Gleichungen



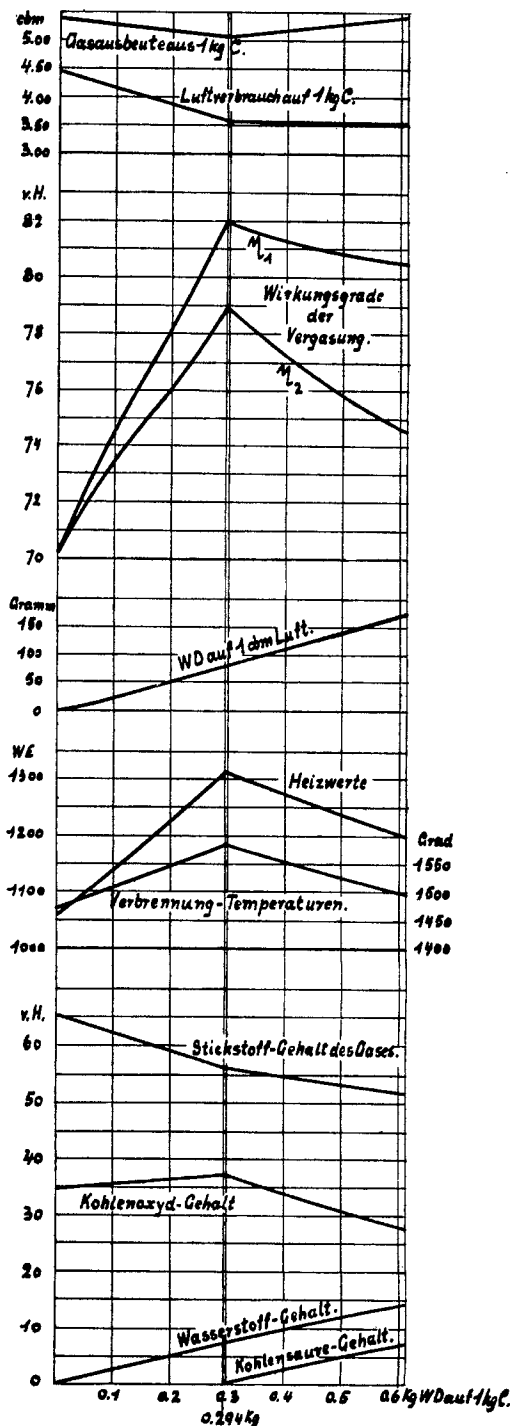
ergibt  $2C + 2H_2O = 2H_2 + 2CO$

oder  $C + H_2O = H_2 + CO \text{ (Dampfzers. n.Gl.3)}$

Das Ergebnis der Addition lehrt den Vergasungsvorgang nach Gl. (3) als zweite Stufe der zuerst eintretenden Dampfzersetzung nach Gl. (4) aufzufassen. Die in der ersten Stufe gebildete Kohlensäure wird in der zweiten Stufe durch Kohlenstoff zu Kohlenoxyd reduziert — analog der Vergasung des Kohlenstoffs durch Luft. Damit ist die scheinbare Willkür in der Aufstellung der beiden Zersetzungsgleichungen dem organischen Zusammenhang gewichen. Das Maß der Kohlensäurereduktion hängt von der verfügbaren Wärme ab, und dadurch wird auch der Verlauf der Kurven erklärt, welche in Tafel (1) die Abhängigkeit der Zusammensetzung des Gasgemisches von der Dampfeinführung darstellen. Anfangs genügt die freie Wärme nach Gl. (13) zur Zersetzung des Wasserdampfes nach Gl. (4) und zur Reduktion der dabei entstandenen Kohlensäure. Die steigende Dampfzufuhr verbraucht aber zu ihrer Zerlegung in erster Stufe so viel Wärme, daß der Rest der freien Wärme nicht

ausreicht zur vollständigen Reduktion der Kohlensäure. Daher tritt allmählich neben Wasserstoff und Kohlenoxyd auch Kohlensäure auf, bis diese schließlich ganz unreduziert bleibt (Zahlenreihe VII).

Kurventafel 1.



Der Wärmeverlust der Vergasungszone infolge Strahlung und Wärmeableitung wurde für die Berechnung der Zahlentafel (1) als aufgehoben durch die Eigenwärme des vorgewärmten Kohlenstoffs an-

gesehen. In Wirklichkeit wird das nur selten zu treffen, und deswegen möge der Einfluß des Wärmeverlustes der Vergasungszone auf die Vergasung der Brennstoffe in umfangreicherer Weise untersucht werden.

1 kg Kohlenstoff nimmt bei seiner Vorwärmung von 0 auf 925° (Temperatur beim Eintritt in die Vergasung) die Wärmemenge 320 WE. auf, wenn seine mittlere spezifische Wärme beträgt

$$C_{0.925}^{0.25} = 0,345 \text{ WE.}$$

Der Wärmeverlust der Vergasungszone durch Strahlung und Leitung werde auf 1 kg des vergasteten Kohlenstoffs bezogen. Dieser „spezifische Wärmeverlust“ betrage  $V$  WE.

Die freie Wärme in Gl. (13) wird vermehrt um die Eigenwärme von 1 kg des vorgewärmten Kohlenstoffs und vermindert um den spezifischen Wärmeverlust der Vergasungszone, so daß die verfügbare Wärme zur Dampfzersetzung bei Vergasung von 1 kg Kohlenstoff durch Luft zu Kohlenoxyd und Stickstoff sich ergibt zu  $835 + 320 - v$  WE. Da die Bildung von 1 cbm Wasserstoff durch Zersetzung des Wasserdampfes nach Gl. (14) 0,536 kg Kohlenstoff erfordert, so führt dieser in die Vergasung die Wärmemenge  $0,536 \cdot 320 = 171$  WE. ein, während der Wärmeverlust dieses Kohlenstoffgewichts in der Vergasungszone beträgt  $0,536 v$  WE. Der Wärmearaufwand in Gl. (14) wird vermindert um die Eigenwärme des vorgewärmten Kohlenstoffs und vermehrt um den Wärmeverlust des Kohlenstoffs in der Vergasungszone, so daß sich der Wärmeverbrauch zur Bildung von 1 cbm Wasserstoff bei gleichzeitiger Darstellung von 1 cbm Kohlenoxyd ergibt zu  $1840 - 171 + 0,536 v$  WE. Der Wärmearaufwand zur Bildung von 1 cbm Wasserstoff unter gleichzeitiger Darstellung von 0,5 cbm Kohlensäure (Gl. 15) ergibt sich analog der Abänderung von Gl. (14) zu  $870 - 86 + 0,268 v$  WE. Nach Einsetzung einer Reihe von Werten für  $v$  entsteht die Zahlentafel 2, welche begrenzt wird von der Zahlenreihe  $f$ ; diese ergibt sich, wenn die freie Wärme bei Vergasung des Kohlenstoffs durch Luft vollständig durch Wärmestrahlung und -leitung der Vergasungszone verloren geht, d. h. wenn

$$835 + 320 - v = 0 \text{ oder } v = 1155 \text{ WE.}$$

In Zahlenreihe  $c$  ist der spezifische Wärmeverlust der Vergasungszone gleich der Vorwärmung von 1 kg Kohlenstoff von 0 auf 925°, und die Werte in Spalte 4 bis 6 der Tafel 2 entsprechen den Wärmewerten in Gl. (13 bis 15), welche der Berechnung von Tafel 1 zugrunde liegen. Für jede andere Zahlenreihe der Tafel 2 könnte unter Anwendung der Spalten 4 bis 6 eine vollständige Zahlen- und Kurventafel nach Art der Tafel 1 entworfen werden. Der Verlauf der einzelnen Kurven würde qualitativ demjenigen in Tafel 1 entsprechen. Besondere Bedeutung für die Praxis des Gaserzeugerbaues hat aber die Ermittlung der Dampfzufuhr, welche zur Erreichung der jeweils höchstmöglichen Wärmeausnutzung des Brennstoffs bei steigendem Wärmeverlust der Vergasungszone notwendig ist.

An anderer Stelle dieses Aufsatzes wurde dargestellt, daß zur Erreichung der höchsten Wärmeausnutzung die gesamte, bei vollständiger Vergasung des Kohlenstoffs durch Luft zu Kohlenoxyd entstehende Wärme verwandt werden muß zur Dampfzersetzung durch Kohlenstoff in Wasserstoff und

Kohlenoxyd. Unter Anwendung dieses Satzes ist das günstigste Maß der Dampfzufuhr und sind die höchsten erreichbaren Wirkungsgrade für jede Zahlenreihe der Tafel 2 berechnet, und es sind außerdem alle übrigen Spaltenwerte der Zahlentafel 1 für jene Dampfzufuhr bestimmt. Die Resultate der Berechnung ergeben nach ihrer Eintragung in ein Koordinatensystem und nach Verbindung der einzelnen Punkte die Kurventafel 2. Man beachte, daß die Steigerung der Dampfeinführung über die Werte in der Kurventafel das Auftreten von Kohlensäure im Gase und die Verminderung der Vergasungswirkungsgrade sowie den Abfall der erreichbaren Verbrennungstemperaturen zur Folge hat.

Der spezifische Wärmeverlust der Vergasungszone ist zum Teil von der Bauart des Gaserzeugers in dieser Zone abhängig. Zum andern Teil wird er durch die „spezifische Vergasung“ des Gaserzeugers beeinflusst, d. h. durch das Gewicht des festen Kohlenstoffs, welcher auf 1 qm des mittleren lichten Querschnitts der Vergasungszone in der Stunde vergast wird. Und zwar steht der spezifische Wärmeverlust im umgekehrten Verhältnis zur spezifischen Vergasung. Denn während die Größe der Vergasung je nach dem Aschgehalt des Brennstoffs und der Belastung des Gaserzeugers veränderlich ist, behält die Wärmeabstrahlung und -ableitung der konstanten wärmeabgebenden Fläche unter Voraussetzung gleichbleibender Temperatur den gleichen Wert, welcher sich auf die veränderliche Menge des vergasteten Kohlenstoffs verteilt. Für ein und denselben Gaserzeuger und gleichbleibende Dampfzufuhr (auf 1 kg Kohlenstoff, so daß die Temperatur der Vergasungszone nicht geändert wird) gilt demnach der Satz, daß mit steigender spezifischer Vergasung ein Abfall des spezifischen Wärmeverlustes der Vergasungszone eintritt und umgekehrt.

Planmäßige Versuche an den zahlreichen Gaserzeugerbauarten über deren Wärmeverluste in der Vergasungszone liegen noch nicht vor. Der Verf. dieses Aufsatzes berechnet aus den Wendtschen Versuchen<sup>9)</sup>, die an einem Gaserzeuger nach Art der Abbildung im Anfang der Abhandlung vorgenommen wurden, den spezifischen Wärmeverlust der Vergasungszone zu etwa 400 WE. Der lichte Durchmesser des Gaserzeugers betrug 1,75 m, die Dampfzufuhr 0,65 kg auf 1 kg Kohlenstoff, die spezifische Vergasung etwa 42 kg, und der Aschengehalt der vergasteten Steinkohle belief sich auf 18% ihres Gewichts. Zur Beurteilung der genannten spezifischen Vergasung sei erwähnt, daß sie nach den Ermittlungen des Verf. zwischen 23 und 80 kg schwankt bei Gaserzeugern, die dem Wendtschen Versuchsgenerator ähneln.

Zweifellos entweicht aus der Vergasungszone derartiger Gaserzeuger eine gewisse Wärmemenge in das Wasserschiff und geht dort für die Vergasung zum größten Teile verloren. Durch Anordnung eines Planrostes zur Brennstofflagerung und durch Fortlassung des Wasserschiffs ist der Wärmeverlust der Vergasungszone unter  $v = 400$  WE. herabzuziehen. Diese Verminderung dürfte aber schwerlich  $v = 200$  WE. unterschreiten, so daß man im Mittel für Gaserzeuger mit zentraler Lufteinführung oder

<sup>9)</sup> Untersuchungen am Gaserzeuger, Vers. III.



Zahlentafel II.

| 1           | 2                                                 | 3                                                                     | 4                                                                                                       | 5                                                                                                             | 6                                   |
|-------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| Zahlenreihe | Spezifischer Wärmeverlust der Vergasungszone v WE | Wärmeverlust der Vergasungszone in v. H. des vergasteten Kohlenstoffs | Freie Wärme bei Vergasung von 1 kg Kohlenstoff durch Luft zu Kohlenoxyd. Abänderung der Gleichung 18 WE | Wärmeaufwand zur Erzeugung von 1 cbm Wasserstoff unter gleichzeitiger Darstellung von Kohlenoxyd d. Gl. 14 WE | Kohlensäure Abänderung d. Gl. 15 WE |
| a           | —                                                 | —                                                                     | 1155                                                                                                    | 1669                                                                                                          | 784                                 |
| b           | 150                                               | 1,9                                                                   | 1005                                                                                                    | 1749                                                                                                          | 824                                 |
| c           | 320                                               | 4,0                                                                   | 835                                                                                                     | 1840                                                                                                          | 870                                 |
| d           | 600                                               | 7,4                                                                   | 555                                                                                                     | 1991                                                                                                          | 945                                 |
| e           | 900                                               | 11,1                                                                  | 255                                                                                                     | 2152                                                                                                          | 1025                                |
| f           | 1155                                              | 14,3                                                                  | —                                                                                                       | 2290                                                                                                          | 1094                                |

Planrost bei Fortlassung oder Anordnung des Wasserschiffs den spezifischen Wärmeverlust der Vergasungszone durch Strahlung und Leitung zu  $v = 300$  WE. annehmen darf, sofern der Generatormantel in der Vergasungszone mindestens bis zur Oberkante des Rostes oder bis zur Höhe der zentralen Lufteinführung mit feuerfestem Baustoff ausgemauert und gegen Wärmestrahlung gut geschützt ist. Die spezifische Vergasung ist dabei zu 50 kg vorausgesetzt. Für den Entwurf der Gaserzeuger sind einige notwendige Daten aus Kurventafel 2 zu entnehmen.

Gaserzeuger, deren Mantel in der Vergasungszone durch Wasserumlauf gekühlt wird, haben unzweifelhaft einen größeren Wärmeverlust durch lebhaftere Wärmeableitung aufzuweisen als die bislang angeführten Bauarten. Dasselbe trifft zu für Gaserzeuger mit Treppen-, Schräg- oder Korbrost, weil diese Roste meist außerhalb des gegen Wärmeverluste gut geschützten Mantels liegen und deswegen beträchtliche Wärmemengen durch Strahlung nach außen abgeben können. Da jegliche Angaben über die Wärmeverluste der Vergasungszone bei den zuletzt genannten Bauarten fehlen, muß die günstigste Dampfzufuhr an den einzelnen Apparaten durch Versuche festgestellt werden. Man wird zweckmäßigerweise von etwa 70 g Dampf in 1 cbm Luft ( $V = 400$  WE.) ausgehen und durch allmähliche Verringerung des Dampfzusatzes den höchsten erreichbaren Kohlenoxydgehalt des Gases bestimmen, um damit die beste Wärmeausnutzung des vergasteten Brennstoffs zu erreichen.

Alle bisherigen Berechnungen setzten die Einführung trockenen Wasserdampfes in den Gaserzeuger voraus. In der Praxis ist diese Bedingung nicht immer erfüllt. Das im Dampf enthaltene Wasser muß in der Vergasungszone verdampft werden und entzieht dieser eine gewisse Wärmemenge, um welche sich die Zersetzungswärme des Dampf-Wassergemisches gegen die Zersetzungswärme desselben Gewichts trockenen Wasserdampfes erhöht.

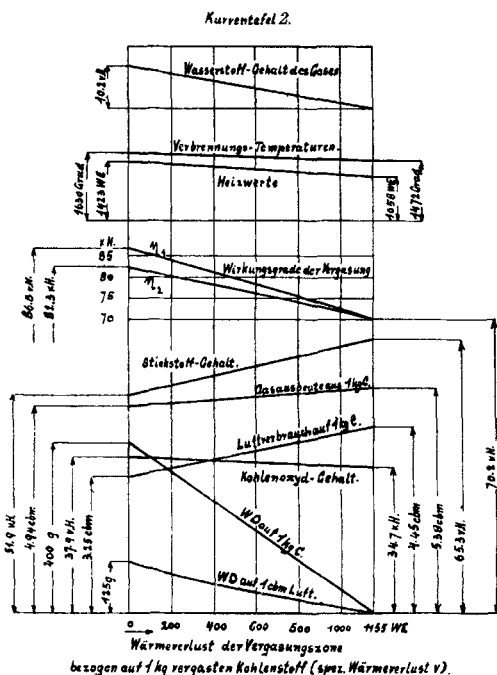
Die Darstellung von 1 cbm Wasserstoff erfordert 0,803 kg Wasserdampf. Enthält diese Dampf-

menge 10% ihres Gewichts als Wasser von 65°, das zu seiner Verdampfung  $0,08 (637 - 65) = 46$  WE. verbraucht, so steigen beispielsweise die Zersetzungswärmen in Zahlenreihe c der Tafel 2 auf

$$1840 + 46 = 1886 \text{ oder } 870 + 46 = 916 \text{ WE.}$$

Da die verfügbare Wärme zur Dampfzersetzung in Zahlenreihe c unverändert bleibt, der Wärmeaufwand zur Bildung des Wasserstoffs sich dagegen erhöht, so verringert sich die Menge des zersetzbaren Dampfes und die Wasserstoffbildung; damit sinken auch die Wirkungsgrade der Vergasung unter die Werte in Kurventafel 2.

Bekanntlich enthält jeder natürliche Brennstoff eine gewisse, äußerlich nicht wahrnehmbare Wasser-



Temperatur der Luft beim Eintritt in die Vergasung . . . . . 0 Grad.  
Temperatur des Wasserdampfes beim Eintritt in die Vergasung . . . . . 100 Grad.  
Temperatur des vergewärmten Kohlenstoffs beim Eintritt in die Vergasung . . . . . 925 Grad.

menge, die erfahrungsgemäß im umgekehrten Verhältnis zum geologischen Alter der Kohle steht; d. h., Anthrazit hat den geringsten und Braunkohle den höchsten Wassergehalt. Das hygroskopische Wasser des Brennstoffs wird während dessen Vorwärmung durch die Eigenwärme des Gases aus der Vergasungszone verdampft. Nun steht dem steigenden Wassergehalt ein Abfall des festen Kohlenstoffs im Brennstoff gegenüber, und damit sinkt auch die verfügbare Wärme zur Wasserverdampfung. Es kann sich ereignen, daß die Eigenwärme des Gasgemisches, welches nach Kurventafel 2 in der Vergasungszone entsteht und diese mit 925° verläßt, zur vollständigen Verdampfung des Wassers der Rohkohle nicht ausreicht. Diese Frage werde zum Schluß der Abhandlung untersucht.

100 kg des Brennstoffs mögen 30 kg Wasser, 10 kg Asche und K kg festen Kohlenstoff enthalten. Das Brenngas verlasse den Gaserzeuger mit 180°. Nach Kurventafel 2 werden im Mittel 5,16 cbm Gas

aus 1 kg Kohlenstoff hergestellt, und die verfügbare Wärme zur Wasserverdampfung in dem nutzbaren Temperaturbereich 925—180° beträgt

$$W = 5,16 \text{ K.}(925 - 180) \cdot 0,318 \text{ WE.}$$

30 kg Wasser von 0° verbrauchen zu ihrer Verdampfung und zur Erwärmung des entstehenden Dampfes auf 180° die Wärmemenge

$$W_1 = 30(637 + 80 \cdot 0,48) \text{ WE.}$$

Die Vorwärmung des festen Kohlenstoffs und der Asche von 0° auf 925° beansprucht, sofern die spezifische Wärme der Asche gleich derjenigen des Kohlenstoffs gesetzt wird (was angenähert richtig ist) . . . . .  $W_2 = (K + 10) \cdot 925 \cdot 0,345 \text{ WE.}$  Etwa 10% der Eigenwärme des Gases aus der Vergasungszone werden erfahrungsgemäß verwandt zur Deckung des Strahlungsverlustes der Entgasungszone, zur Erwärmung der Entgasungserzeugnisse auf 180° und zur Deckung der unentwickelten Eigenwärme des nichtentwickelten Gases aus dem Kohlenstoff, welcher mit der Asche und Schlacke aus dem Gaserzeuger entfernt wird. Der Wärmehaufwand für diese Zwecke beträgt

$$W_3 = 0,10 \cdot 5,16 \text{ K.} \cdot 925 \cdot 0,316 \text{ WE.}$$

Aus der Wärme Gleichung  $W_1 + W_2 + W_3 = W$  ergibt sich nach Einsetzung der Zahlenwerte  $K = 31 \text{ kg.}$  Brennstoffe, deren Wassergehalt 30% beträgt, müssen demnach mindestens 31% ihres Gewichts als festen Kohlenstoff enthalten, wenn das Wasser der Kohle in der Entgasungszone vollständig verdampft, und die höchstmögliche Wärmeausnutzung durch Einführung und Zersetzung der notwendigen Dampfmenge erreicht werden soll. Für Anthrazit, Steinkohle, deren Koks und Briketts sowie Braunkohlenkoks ist diese Bedingung erfüllt, da der Wassergehalt jener Brennstoffe stets unter 30% und ihr Gehalt an festem Kohlenstoff durchweg weit über 31% liegt. Da Braunkohlenbriketts etwa 30 bis 35% ihres Gewichts als festen Kohlenstoff enthalten, und ihr Wassergehalt selten 30% erreicht oder überschreitet, so ist bei Vergasung dieses Brennstoffs die höchstmögliche Wärmeausnutzung nach Kurventafel 2 fast immer erreichbar. Dagegen übersteigt der Wassergehalt der rohen Braunkohle oft 30% ihres Gewichts, während der Gehalt an festem Kohlenstoff ebenso oft unter 31% liegt. Die Vergasung dieser Kohle erfordert gegebenenfalls Einschränkung oder bei sehr hohem Wassergehalt, der bekanntlich bis 45% hinaufgeht, völlige Einstellung der Dampfzufuhr. Denn die bei Vergasung des Kohlenstoffs durch Luft entwickelte freie Wärme, welche nicht verbraucht wird zur Dampfzersetzung, erhöht die Temperatur des erzeugten Gases über 925°, und der entsprechende Mehrbetrag an Eigenwärme im Gase dient zur Verdampfung des sonst nicht verdampfenden Wassers im rohen Brennstoff. Selbstverständlich wird dabei die Wärmeausnutzung des festen Kohlenstoffs im Gaserzeuger gegen die erreichbaren Wirkungsgrade und Verbrennungstemperaturen der Kurventafel (2) herabgesetzt. Zur Erreichung der höchstmöglichen Wärmeausnutzung muß bei Vergasung stark wasserhaltiger Brennstoffe, ebenso wie bei allen anderen Kohlenarten, auf das erreichbare Maximum im Kohlenoxyd Gehalt des erzeugten Gases hingearbeitet werden.

John K ö r t i n g bezeichnet in seinem anfangs erwähnten Vortrage die Einführung von 1 kg Dampf

auf je 1 kg festen Kohlenstoff als ein günstiges Maß der Dampfzufuhr. Ähnlicher Meinung ist Dr. F. Fischer, der unter anderem 280 g Wasserdampf in 1 cbm Vergasungsluft als zulässig und günstig ansieht. Verlangt die Betriebssicherheit Dampfmen gen in jener Höhe oder darüber und ruft ihre Verminderung irgendwelche Schwierigkeiten bei der Schlackenentfernung hervor, so muß man jenen Maßen der Dampfeinführung beistimmen. Das Verhalten der meisten Brennstoffe im Gaserzeuger erlaubt aber eine Verringerung der Dampfzufuhr unter die Angaben Fischers und K ö r t i n g s. Für diese Fälle lehrt die vorliegende Abhandlung, daß zur Erreichung der günstigsten Wärmeausnutzung der Brennstoffe im Gaserzeuger nur etwa 300 g Wasserdampf auf 1 kg festen Kohlenstoff oder etwa 80 g mit 1 cbm Luft eingeführt werden dürfen, sofern die Wärmeverluste der Vergasungszone durch die Konstruktion des Generatorunterbaues und durch den Wärmeschutz des Generatormantels niedrig gehalten werden. Das zweite Ergebnis dieses Aufsatzes ist die Feststellung des bemerkenswerten Einflusses, welchen höhere Strahlungsverluste der Vergasungszone auf die Größe der günstigsten Dampfzufuhr und auf die erreichbaren Wirkungsgrade der Vergasung ausüben.

## Trockenschrank für Netzelektroden.

Von W. BÖTTGER.

(Eingeg. 26. 5. 1903.)

Bei der elektrolytischen Bestimmung von Blei als Bleisuperoxyd ist mir des öfteren der Fall vorgekommen, daß viel zu hohe Werte erhalten wurden. Auf ungenügendes Trocknen (das Bleisuperoxyd gibt bekanntlich die letzten Reste Feuchtigkeit sehr langsam ab, so daß auf höhere Temperaturen<sup>1)</sup> erhitzt werden muß als in anderen Fällen) konnte dies keinesfalls zurückgeführt werden, da der Fehler bei fortgesetztem Erhitzen nicht abnahm und da, wie folgende Beobachtungen zeigen, das Wasser bis auf 1% oder weniger schon nach 15' langem Erhitzen auf 100—110° ausgetrieben werden kann. In drei Fällen wurden positive Abweichungen von

$$0,0047, \quad 0,0029 \quad \text{oder} \quad 0,0036 \text{ g}$$

bei einer Menge von rund 0,5 g  $\text{PbO}_2$  auf einer Netzelektrode von etwa 70 qcm Fläche erhalten, d. i. also

|             |      |      |        |
|-------------|------|------|--------|
| von 0,94%,  | 0,56 | oder | 0,70%, |
| nachdem 15' | 17'  | „    | 20'    |
| bei 107°    | 104° | „    | 108°   |

getrocknet worden war.

Die Ursache für das Vorkommnis ist offenbar darin zu suchen, daß das Leuchtgas Schwefelverbindungen enthielt. Das beim Verbrennen entstehende Schwefeldioxyd gibt alsdann, wenn die Flammengase zur Elektrode gelangen können, mit dem Superoxyd Bleisulfat. Der Unterschied in den Formelgewichten 238,9 und 330,99 ist so groß, daß

<sup>1)</sup> Ralph O. Smith, Journ. Amer. Chem. Soc. **27**, 1287 (1905).