

Betrifft: Vergasung von Kohlenstoff unter erhöhtem Druck mittels eines Luft-Wasserdampf-gemisches.

**L.W.—A.K.**

Eingang

Nr.

Exemplar für:

Anwesend:

*Friedrich*

Kopien an: **Dr. Oe** | **Dr. Ru** | **Dr. Dan** | **Br/Kp** | **Frd**

Im folgenden sind die Ergebnisse der rechnerischen Untersuchung einer Vergasung von Kohlenstoff unter erhöhtem Druck mittels eines Luft-Wasserdampf-gemisches niedergelegt.

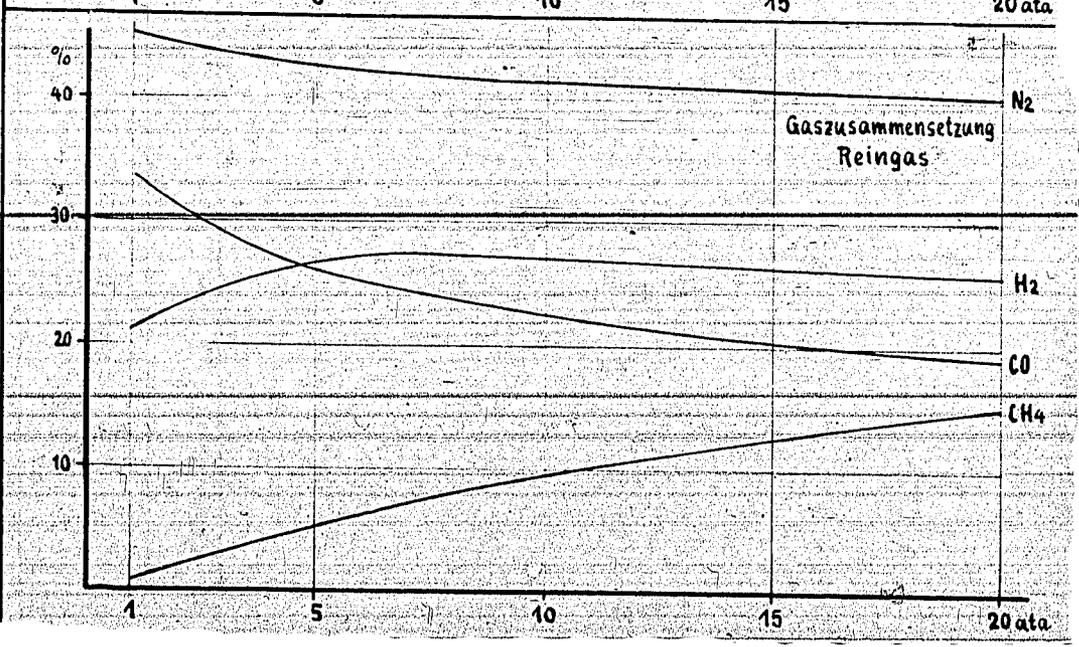
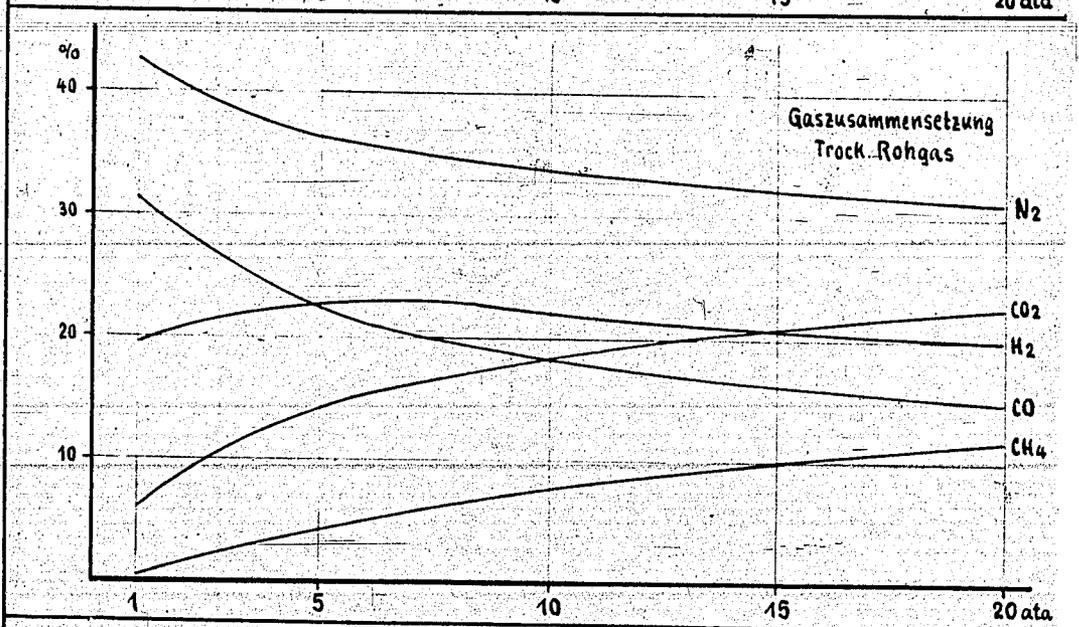
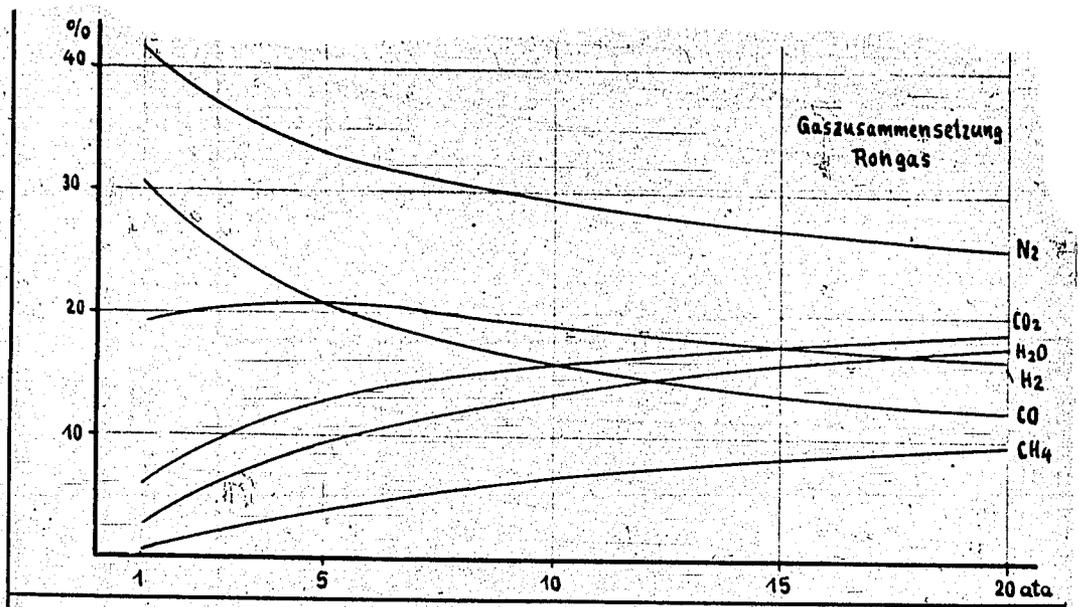
Die Gleichgewichtstemperatur ist angenommen zu  $1000^{\circ}\text{K} = 727^{\circ}\text{C}$ , das Vergasungsmittel (Luft-Wasserdampf-gemisch) wird dem Gaserzeuger mit einer Temperatur von  $500^{\circ}\text{C}$  zugeführt. Der Vergasungsdruck ist veränderlich, und zwar in den Grenzen von 1 - 20 ata. Aus der Tabelle ist ersichtlich, dass bei der Anwendung von höheren Drücken der Stickstoffgehalt am Reingas nur noch unwesentlich sinkt und die Methanbildung auf Kosten des CO- und  $\text{H}_2$ -Gehaltes zunimmt.

Eine weitere Heizwertsteigerung dürfte sich durch eine Absenkung der Vergasungstemperatur erzielen lassen.

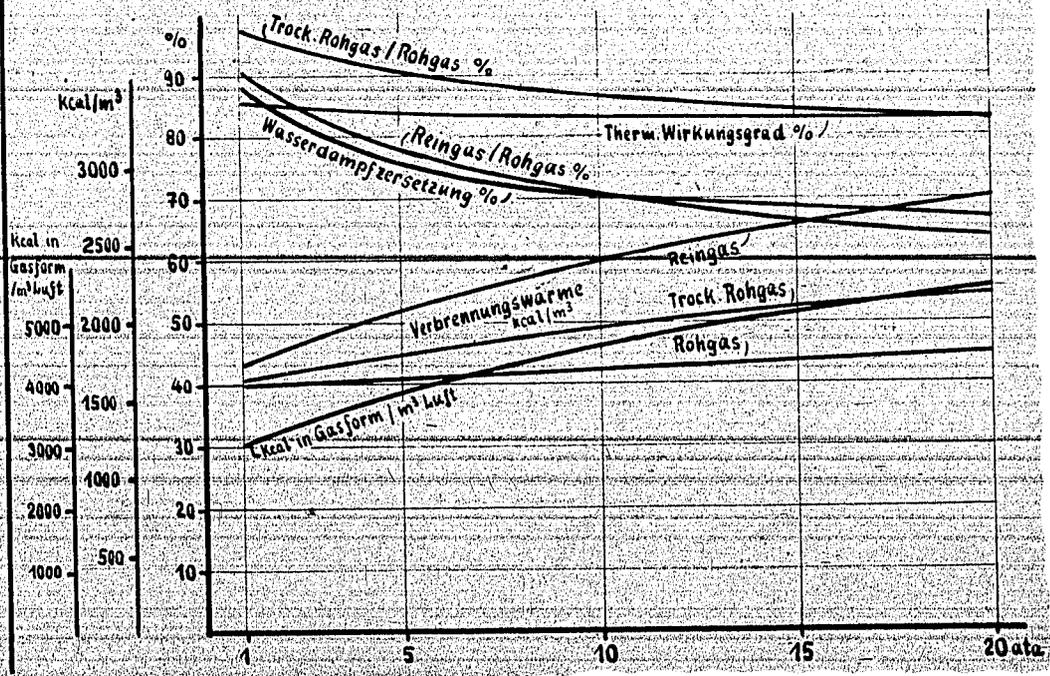
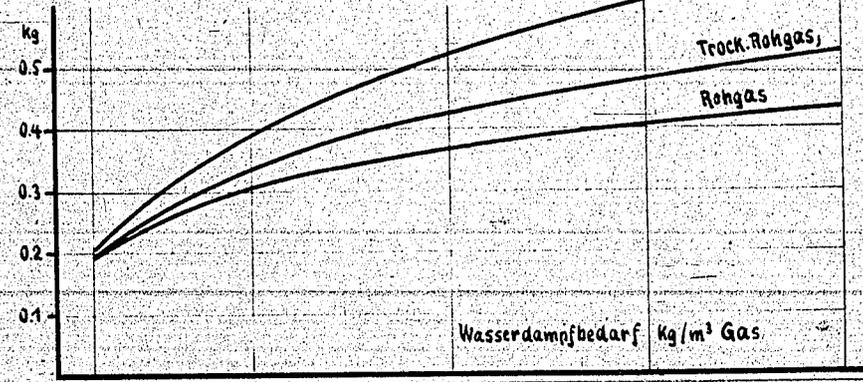
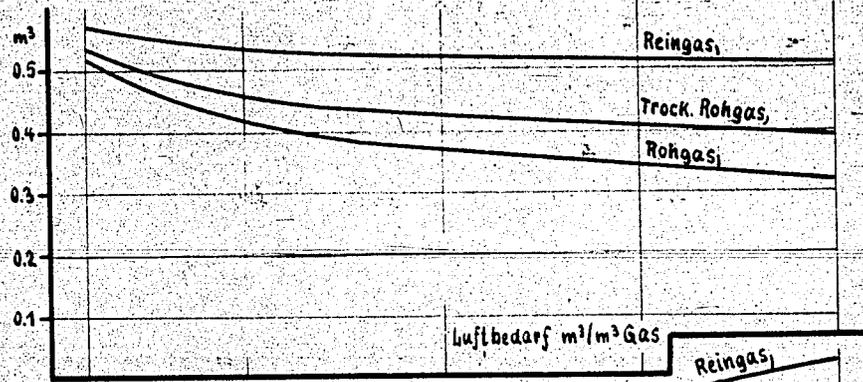
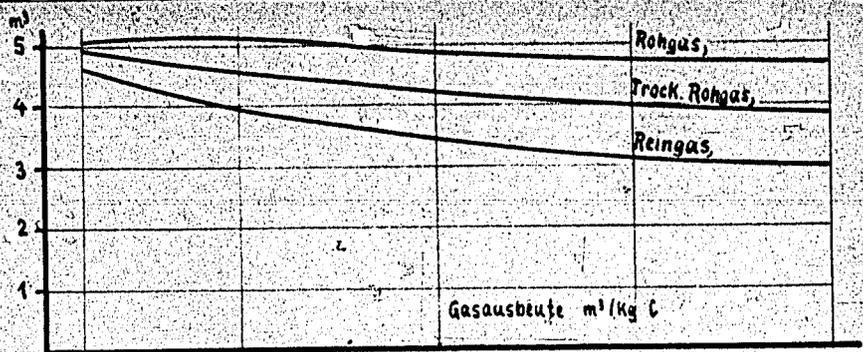
gen. Friedrich

3 Anlagen





17.06.40  
S  
VVO



17.06.40  
(m)

*S. Moß*

Betrifft: <b>Vergasung von Kohlenstoff unter erhöhtem Druck mittels eines Sauerstoff-Kohlensäuregemisches.</b> =====	<b>L.W.-A.K.</b>				
	Eingang				
	Nr.				
Anwesend:	—Exemplar für:				
	<i>Dr. Kuv.</i>				
Kopien an:	<b>Dr. Os.</b>	<b>Dr. Ku.</b>	<b>Dr. Dan.</b>	<b>Brigg.</b>	<b>Frä.</b>

Im Folgenden sind die Ergebnisse der rechnerischen Untersuchung einer Vergasung von Kohlenstoff unter erhöhtem Druck mittels eines Sauerstoff-Kohlensäuregemisches niedergelegt.

Der Vergasungsdruck ist angenommen zu 21 ata, während die Gleichgewichtstemperatur veränderlich ist, und zwar in den Grenzen von 727 - 1200 °C.

Innerhalb der genannten Grenzen steigt der Kohlenoxyd-gehalt im gebildeten Gas von 23,7 auf 97,9 %.

Da die Gleichgewichtstemperaturen, bei denen eine wirtschaftliche Gewinnung von Kohlenoxyd gewährleistet erscheint, sehr hoch liegen, wurde der Versuch unternommen, die Temperatur bei Eintritt des Vergasungsmittels in das Brennstoffbett zu bestimmen. Es wurde dabei, um die Grenzwerte festzulegen, so vorgegangen, dass angenommen wurde, der zugeführte Sauerstoff im Vergasungsmittel verbrenne vollständig, und zwar einmal zu Kohlenäure und einmal im Sinne der Primärtheorie zu Kohlenoxyd.

Während hierfür bei dem bisherigen Verfahren der Vergasung von Kohlenstoff mittels Sauerstoff und Wasserdampf Temperaturen von 1450 °C, bzw. 1050 °C errechnet wurden, ergeben sich bei der Vergasung von Kohlenstoff mittels Sauerstoff und Kohlenäure Temperaturen von etwa 2220 °C bzw. 1600 °C. Diese aber liegen weit über dem Schmelzpunkt der Asche und machen durch Schlackenbildung einen Dauerbetrieb unmöglich.

ges. Friedrich.

1 Anlage

Vergasung von Kohlenstoff unter erhöhtem Druck  
mittels eines Sauerstoff-Kohlensäuregemisches.

Vergasungsdruck 21 ata  
 Temperatur des zugeführten Sauerstoffs 20° C  
 " " der " " Kohlensäure 500° C  
 Gleichgewichtstemperatur veränderlich

Gleichgewichtstemperatur	°C	727	900	1000	1100	1200
Zusammensetzung des Rohgases im Gleichgewichtszustand	Vol.-% CO	23.7	68.3	86.7	94.9	97.9
	Vol.-% CO <sub>2</sub>	76.3	31.7	13.3	5.1	2.1
Verbrennungswärme d. Rohgases	Kcal/Nm <sup>3</sup>	718	2062	2618	2866	2958
Kohlenstoffbedarf je Nm <sup>3</sup> CO	Kg/Nm <sup>3</sup>	0.449	0.419	0.418	0.416	0.419
Sauerstoffbedarf je Nm <sup>3</sup> CO	Nm <sup>3</sup> /Nm <sup>3</sup>	0.338	0.284	0.281	0.277	0.275
Kohlensäurebedarf je Nm <sup>3</sup> CO	Nm <sup>3</sup> /Nm <sup>3</sup>	3.381	0.684	0.379	0.276	0.237
Thermischer Wirkungsgrad (bezogen auf kaltes Gas)	%	83.6	89.7	90.1	90.4	90.4

H. H. H.

## Vergasung von Kohlenstoff mittels eines Luft-Wasserdampfgemischs.

Die Vergasungsreaktionen von Kohlenstoff mit einem Luft-Wasserdampfgemisch sind von folgenden Faktoren abhängig:

- 1.) Mengenverhältnis Luft : Dampf, also Sättigungsgrad des Vergasungsmittels
- 2.) bei der Vergasung auftretenden Wärmeverlusten
- 3.) Verlauf der Reaktionen, also der mehr oder minder weitgehenden Einstellung der Gleichgewichte.

Um den Einfluss der vorstehenden Faktoren im einzelnen kennen zu lernen, wurden Rechnungen durchgeführt, wobei die einzelnen Faktoren variiert wurden. Hierbei wurde das ganze Gebiet näher untersucht, welches normal für die Vergasung in Betracht kommt.

### 1.) Mengenverhältnis Luft : Dampf.

Hierfür wurden die Annahmen eines Sättigungsgrades von 52, 56 und 60° gemacht. Diesen Sättigungsgraden entsprechen die üblichen Gehalte des Vergasungsmittels an Wasserdampf und gelten für alle Fälle. Ein Sättigungsgrad von 52° wird normal gewählt, falls der Brennstoff sehr gutartig ist, während auf 60° gegangen werden muss, wenn Verschlackungsschwierigkeiten zu erwarten sind. Vorerst wurden die Fälle ohne Beimischung von Wasserdampf, wie es im Abstichgenerator üblich ist, und andererseits bei höheren Sättigungsgraden, wie es gegebenenfalls für spezielle chemische Prozesse erforderlich ist, nicht näher geprüft.

### 2.) Wärmeverluste bei der Vergasung.

Die speziell bei der Durchführung der Vergasungsreaktionen auftretenden Wärmeverluste beeinflussen den Ablauf der Vergasung. Hierbei zählen nur die Verluste, die in der Vergasungszone selbst auftreten, und nicht z.B. die Verluste in der fühlbaren Wärme des abziehenden Gases. Üblicherweise liegen die Wärmeverluste unter 10 % der eingebrachten Kohlenstoffwärme. Demgemäß wurden 3 Fälle herausgestellt, und zwar wurden die Rechnungen durchgeführt für Wärmeverluste von 0 %, 5 % und 10 % der Kohlenstoffwärme. Hierbei wurde weiterhin angenommen, dass das Vergasungsmittel mit einer Temperatur von 100° zugeführt wird, wobei der Wasserdampf trocken gesättigt ist. Weiterhin wurde festgesetzt, dass der Kohlenstoff auf die Vergasungsendtemperatur durch das abziehende Gas vorgewärmt wird. Wird das Vergasungsmittel mit einer anderen Temperatur oder teilweise feucht zugeführt, oder wird der Kohlenstoff nicht so hoch vorgewärmt in die Vergasungszone gebracht, so wird dies als geringerer oder stärkerer Wärmeverlust gewertet. So entspricht z.B. eine Vorwärmung des Kohlenstoffs auf eine Temperatur von 100° unterhalb der Vergasungsendtemperatur einem Wärmeverlust von rd. 0,6 %, oder wird z.B. das Vergasungsmittel statt mit 100° mit 200° zugeführt, so verringert sich hierdurch der Wärmeverlust um 2,8 - 3,8 %, oder enthält das Vergasungsmittel feuchten

Dampf und muss die Feuchtigkeit in der Vergasungszone verdampfen, so vergrössert eine Dampffuchte von 10° dem Wärmeverlust

bei einem Sättigungsgrad von	52°	um rd.	0,6 %
" " " " " "	56°	" " "	0,7 %
" " " " " "	60°	" " "	0,9 %

### 3.) Verlauf der Reaktionen.

Die Reaktionen sind abhängig von der Geschwindigkeit der Umsetzung des Kohlenstoffs. Hierbei spielen die Reaktionsfähigkeit, Körnung und Schütthöhe des Brennstoffs, die Temperaturlage und die Gasgeschwindigkeit neben der Zusammensetzung des Vergasungsmittels eine ausschlaggebende Rolle. Die Reaktionen streben stets den Gleichgewichtszustand an, können ihn jedoch nur theoretisch erreichen. Wie weit dieser Gleichgewichtspunkt erreicht wird, hängt von den vorstehend aufgeführten Faktoren ab. Es kann ausgesagt werden, dass die Reaktionen oberhalb 1100° sehr schnell in kürzester Schichthöhe vor sich gehen, sodass stets zumindest ein Vergasungsendpunkt von 1100° angenommen werden kann. Bis zu diesem Punkt verläuft die Vergasung derart, dass der freie Sauerstoff des Vergasungsmittels am glühenden Koks verbraucht wird zur Bildung von Kohlensäure und Kohlenoxyd und anschliessend Wasserdampf und Kohlensäure reduziert werden am glühenden Koks unter Bildung von Kohlenoxyd und Wasserstoff. Diese letzteren Prozesse verlaufen endotherm, sodass durch Verbrauch von Wärme die Temperatur stets abfällt. Bei diesen Reaktionen wird, nachdem der Sauerstoff restlos aufgebraucht ist, das Wassergasgleichgewicht stets angenähert mit der vorherrschenden Temperatur eingehalten, da es ausschliesslich in der Gasphase verläuft. Anfangs liegen Überschüsse von CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>O vor, sodass die sich hieraus errechnende Gleichgewichtskonstante für wesentlich niedrigere Temperaturen gilt.

$$K_{P_w} = \frac{K_{P_g}}{K_{P_w}}$$

muss stets die H<sub>2</sub>O-Spaltung der CO<sub>2</sub>-Spaltung nachhinken. Das Wassergasgleichgewicht wird mit der Temperatur nicht genau eingehalten. Es kann aus praktischen Versuchen nachgewiesen werden, dass bei niedrigeren Sättigungsgraden ein stärkeres Vorseilen von K<sub>w</sub> eintritt, wodurch eine höhere Lage des Wassergasgleichgewichts P<sub>g</sub> sich ergibt.

Unterhalb einer Temperatur von 1100° verlaufen die Vergasungsreaktionen der CO<sub>2</sub>- und H<sub>2</sub>O-Spaltung am glühenden Koks langsamer. Durch den Wärmeverbrauch bei der Spaltung treten ein stetes Absinken der Temperaturen im Vergasungssystem und ein stetiges Ansteigen der zu den Gleichgewichtskonstanten zugehörigen Temperaturen ein. Die Vergasung durch Spaltung von CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>O verläuft so lange, bis die Reaktionsgeschwindigkeit mit der absinkenden Temperatur zu gering wird und der Gasweg durch die Koksschüttung beendet ist. Wieweit sich die Vergasungsendtemperatur und die zu den Gleichgewichtskonstanten zugehörigen Temperaturen einander nähern, hängt von den verschiedenen eingangs beschriebenen Faktoren ab. Um einen Überblick über das gesamte Gebiet zu bekommen, wurden die Rechnungen für die verschiedenen Annahmen unter 1) und 2) durchgeführt, wobei die Ver-

gasungsendtemperatur variabel mit  $1100^{\circ}$ , um jeweils  $100^{\circ}$  fallend bis zum Gleichgewichtspunkt, gewählt wurde. Hierbei wurde weiterhin angenommen, dass das homogene Wassergasgleichgewicht stets mit der Temperatur des glühenden Kokes zusammenfällt, was annähernd als richtig angesehen werden kann.

Für einen Fall wurden die Rechnungen durchgeführt unter der Annahme, dass  $K_p$  einmal um  $200^{\circ}$  höher und im anderen Falle um  $200^{\circ}$  tiefer als  $K_p$  die Koks-temperatur liegt.

Bei den vorstehenden Rechnungen wurde die Bildung von  $CH_4$  nicht berücksichtigt. Tastrrechnungen ergaben, dass bei höherer Vergasungsendtemperatur sich nur sehr niedrige Werte von  $CH_4$  einstellen und dass auch bei Vergasungstemperaturen von  $700 - 800$  Grad die Reaktionsgeschwindigkeit der  $CH_4$ -Bildung so klein angenommen werden muss, dass kaum messbare Werte des  $CH_4$ -Gehalts auftreten können, welche die Rechnungen praktisch nicht beeinflussen.

Der Gang der verhältnismässig umständlichen Rechnungen interessiert in diesem Zusammenhang nicht. Hier sollen lediglich die Ergebnisse der Rechnungen und ihre Beurteilung für die Vergasungsaufgaben herausgestellt werden. Die Ergebnisse der Rechnungen sind in den Zahlentafeln No. 1-3 zusammengefasst, und zwar gilt

Zahlentafel 1 für den Sättigungsgrad von  $52^{\circ}$   
 " " 2 " " " "  $56^{\circ}$   
 " " 3 " " " "  $60^{\circ}$

Um eine bessere Anschaulichkeit zu bekommen, wurden einzelne Größen kurvenmässig in den Schaubildern 1-6 in Abhängigkeit von der Vergasungsendtemperatur dargestellt, wobei jeweilig der Sättigungsgrad und die Wärmeverluste als Parameter dienten. Es wurden somit Kurvenscharen gewonnen, die einen guten Überblick über das ganze in Betracht kommende Vergasungsgebiet gewähren. Aus den Ergebnissen lassen sich folgende allgemeine Erkenntnisse ableiten:

1.) Es besteht durchweg eine erhebliche Abhängigkeit aller Faktoren von der Vergasungsendtemperatur, den Wärmeverlusten und dem Sättigungsgrad des Vergasungsmittels. Hierbei gilt grundsätzlich, dass alle vorteilhaften Faktoren, wie hoher  $CO_2$ - und  $H_2$ -Gehalt, hoher Heizwert des Gases und günstige Vergasungswirkungsgrade und Zersetzungsgrade des Wasserdampfes ebenso wie geringe Verbräuche an Kohlenstoff und Wasserverluste, zusammenfallen. Demgemäss ist das Augenmerk möglichst auf weitgehende Durchführung der Vergasung zu richten, welches durch gute Reaktionsfähigkeit und ausreichende Schütthöhe des Brennstoffs und günstige Strömungsverhältnisse in der Vergasungszone gegeben ist. Weiterhin sollen die Wärmeverluste durch weitgehende Vermeidung von Abstrahlung und Kühlflächen innerhalb der Vergasungszone gering gehalten werden.

2.) Die Gehalte des Vergasungsgases an  $CO_2$  und  $CO$  sind erheblich von den Faktoren Wärmeverlust und Vergasungsendtemperatur abhängig, wobei  $CO_2$  sinkt, wenn  $CO$  steigt und umgekehrt. Demgemäss kann bei Vorliegen des  $CO_2$ - und  $CO$ -Gehalts und des Sättigungsgrades bereits anhand des Schaubildes 2 der Schluss über den Wärmeverlust und die Endtemperatur der Vergasung gezogen werden, wobei sich alle übrigen Werte aus den weiteren Schaubildern ergeben.

3.) Bemerkenswert ist die geringe Abhängigkeit des Vergasungswirkungsgrades vom Sättigungsgrad und die grosse Abhängigkeit vom Wärmeverlust. Bekanntlich ist mit steigendem Sättigungsgrad das Temperatur-Niveau im Generator niedriger und damit auch die Wärmeverluste geringer, sodass angesagt werden kann, dass der Vergasungswirkungsgrad praktisch unabhängig vom Sättigungsgrad ist oder sogar noch mit dem Sättigungsgrad etwas ansteigt.

4.) Es ist aufschlussreich, dass der Kohlenstoffverbrauch in kg je 1000 Kalorien Vergasungsgas nur sehr wenig vom Sättigungsgrad abhängt und bei Berücksichtigung niedrigerer Vergasungsendtemperaturen bei steigendem Sättigungsgrad praktisch unabhängig ist.

5.) Der Dampfverbrauch dagegen zeigt eine erhebliche Abhängigkeit ausser von den Wärmeverlusten auch vom Taupunkt. Demgemäss sind stets niedrige Sättigungsgrade anzustreben, falls nicht Faktoren wie niedriger Ascheschmelzpunkt oder besondere Anforderungen an die Gaszusammensetzung höhere Sättigungsgrade bedingen. Gerade bei hohem Sättigungsgrad sind niedrige Wärmeverluste wesentlich, da der Dampfverbrauch sonst erheblich ansteigt.

6.) Aus dem Schaubild 6 geht hervor, dass  $K_{p_w}$  stets  $K_{p_g}$  nacheilt und bei fortschreitender Vergasung und dem Absinken der Vergasungsendtemperatur  $K_{p_g}$  allmählich einholt und im Gleichgewicht erreicht. Im Gleichgewichtspunkt weisen  $K_{p_g}$  und  $K_{p_w}$  gleiche Temperaturen auf.

Die vorstehenden Rechnungen wurden in der Annahme durchgeführt, dass  $K_{p_w}$  stets mit der Kokstemperatur übereinstimmt. Je nach den vorliegenden Spaltbedingungen kann jedoch die  $CO_2$ - oder  $H_2O$ -Spaltung voraussetzungen, wodurch  $K_{p_w}$  höher oder niedriger als die Kokstemperatur zu liegen kommt. Um  $p_w$  die Schwankungsbreite hierfür kennen zu lernen, wurden für einen bestimmten Punkt Rechnungen durchgeführt, dass  $K_{p_w}$  einmal  $200^\circ$  über und zum anderen  $200^\circ$  unter der Kokstemperatur  $p_w$  liegt. Diese Grenzen sollten einigermaßen die maximalen Abweichungen darstellen. Als Punkt wurde folgender festgelegt:

Sättigungsgrad	$56^\circ$
Wärmeverluste	$5\%$
Vergasungsendtemp.	$1000$ .

Die Rechnungsgrössen sind in der Zahlentafel 2 mitaufgenommen. Ausser einer gewissen Verschiebung in der Gaszusammensetzung, des  $H_2/CO$ -Verhältnisses, des Zersetzungsgrades bleiben die übrigen Werte praktisch unverändert.

Im Anschluss wurden neue Rechnungen über die Vergasung von Kohlenstoff durch ein Luft/Wasserdampf-Gemisch angestellt, wobei angenommen wurde, dass die Vergasungsreaktionen bis zum Gleichgewicht verlaufen. Hierbei wurden für Sättigungsgrade von  $52$ ,  $56$  und  $60^\circ$  die Werte im Bereich von Gleichgewichtstemperaturen zwischen  $1200$  und  $700^\circ$  ermittelt. Beim Vorliegen des Sättigungsgrades und der Gleichgewichtstemperatur muss die Wärmebilanz des Systems offenbleiben, sodass sich jeweilig am Schluss der Rechnung ergab, wieviel Wärme zu- oder abgeführt werden muss, um die Gleichgewichtszustände bei einer bestimmten Temperatur zu erreichen. Auch bei diesen Rechnungen wurde unterstellt, dass das Vergasungsmittel trocken gesättigt mit  $100^\circ$  zugeführt und der Kohlenstoff bis zur Gleichgewichtstemperatur vorgewärmt wird.

Der verhältnismässig umständliche Rechengang soll hier nicht dargestellt werden. Lediglich werden die Ergebnisse in der Zahlentafel 4 und in den Schaubildern 7-9 zusammenfassend vorgelegt. In den Schaubildern wurden die einzelnen Grössen in Abhängigkeit von der Gleichgewichtstemperatur kurvenmässig dargestellt, wobei der Sättigungsgrad als Parameter diente.

Die Auswertung ergibt folgende Erkenntnisse:

- 1.) Oberhalb einer Gleichgewichtstemperatur von 900° zeigen die Gassusammensetzung und damit der Heizwert, ebenfalls der Kohlenstoff- und Dampfverbrauch und der Vergasungsgrad fast konstante Werte. Hiermit erscheint es zwecklos, der Vergasung mehr Wärme zuzuführen, als zum Erreichen einer Gleichgewichtstemperatur von 900° erforderlich ist. Bei niedriger Gleichgewichtstemperatur fallen alle günstigen Werte, während die ungünstigen Werte ansteigen. Es ist demgemäss stark erwünscht, zunächst Gleichgewichte von 900° zu erreichen, um die günstigsten Bedingungen zu bekommen.
- 2.) Der Gehalt an Kohlenoxyd und Kohlensäure, der Kohlenstoffverbrauch und der Zersetzungsgrad des Wasserdampfes zeigen nur eine sehr geringe Änderung mit wechselndem Sättigungsgrad.
- 3.) Der Gehalt an Wasserstoff, der Heizwert, der Dampfverbrauch und der Vergasungsgrad steigen mit wachsendem Sättigungsgrad.
- 4.) Das Verhältnis H<sub>2</sub>/CO verschiebt sich zugunsten H<sub>2</sub> mit fallender Gleichgewichtstemperatur und wachsendem Sättigungsgrad.
- 5.) Der Nullpunkt der Wärmezu- bzw. -abfuhr liegt beim Sättigungsgrad von 52° bei 975°  
 " 56° " 860°  
 " 60° " 810°

Bei höherer Gleichgewichtstemperatur ist Wärme dem System zuzuführen, bei niedrigerer entsprechend abzuführen. Grundsätzlich muss bei höherem Sättigungsgrad mehr Wärme zugeführt werden, um eine bestimmte Gleichgewichtstemperatur zu erreichen.

- 6.) Um die günstigste Gleichgewichtstemperatur von 900° zu erhalten, muss bei einem Sättigungsgrad von 52° ..... 1,4 % Wärme abgeführt und " " " " " 56° ..... 1,0 % " zugeführt und " " " " " 60° ..... 3,6 % " " " werden.

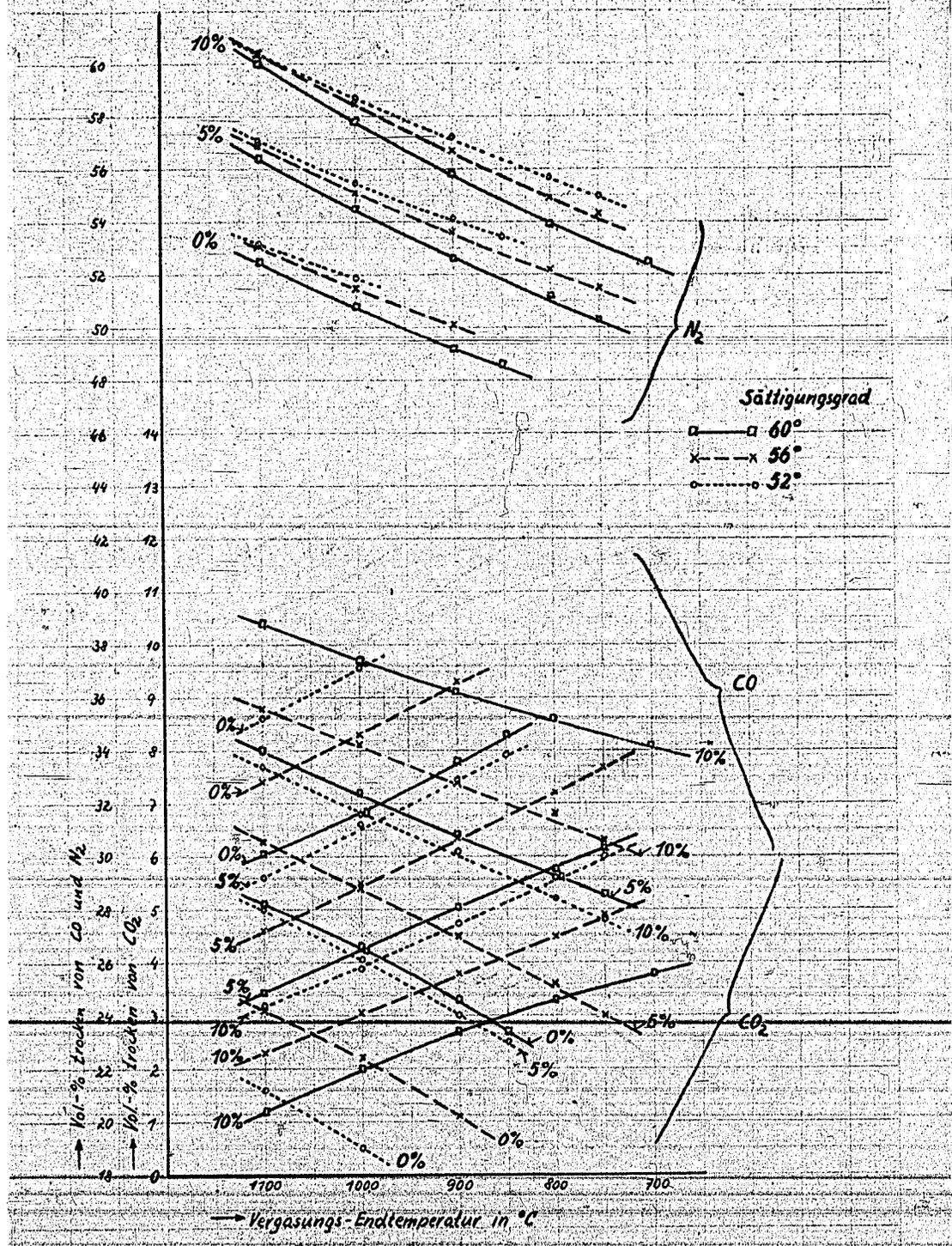
Zusammenfassung:

Die Tabellen und Schaubilder ergeben einen allgemeinen Überblick über die Vergasung von Kohlenstoff mittels Luft/Wasserdampfgemischen, wobei die Beeinflussung durch die bei der Vergasung auftretenden Wärmeverluste und das vorzeitige Aufhören der Vergasung berücksichtigt wurden. Anzustreben ist allgemein, dass die Wärmeverluste möglichst gering und die Schichthöhe ausreichend gehalten werden, um ein bestes Gas mit dem niedrigsten Verbrauch an Kohlenstoff und Dampf zu erhalten. Höhere Sättigung verlangt lediglich einen höheren Dampfbedarf und eine grössere Reaktionszeit, jedoch keineswegs höheren Verbrauch an Kohlenstoff.

19.6.45.  
Schm/V.

# Vergasung von Kohlenstoff durch ein Luft-Wasserdampf-Gemisch

## CO-, CO<sub>2</sub>- und N<sub>2</sub>-Gehalt des Vergasungsgases

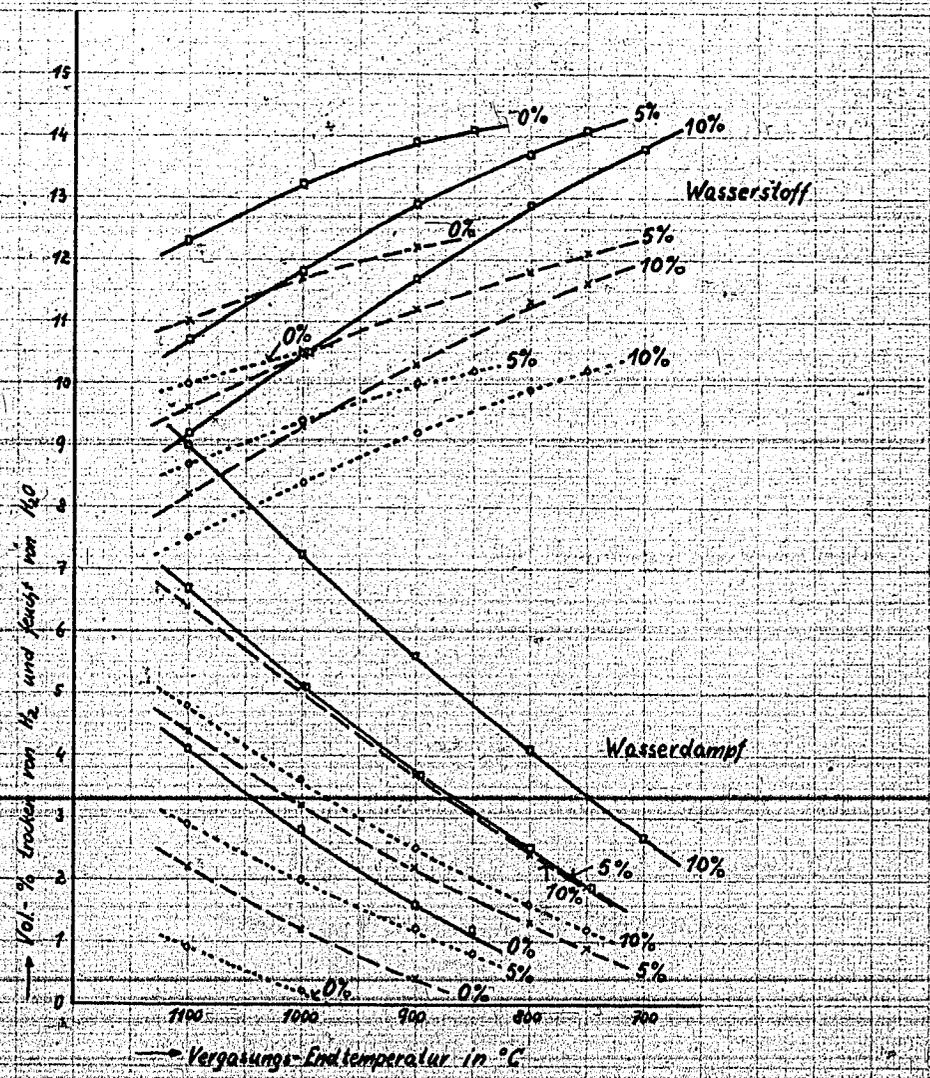


# Vergasung von Kohlenstoff durch ein Luft-Wasserdampf-Gemisch

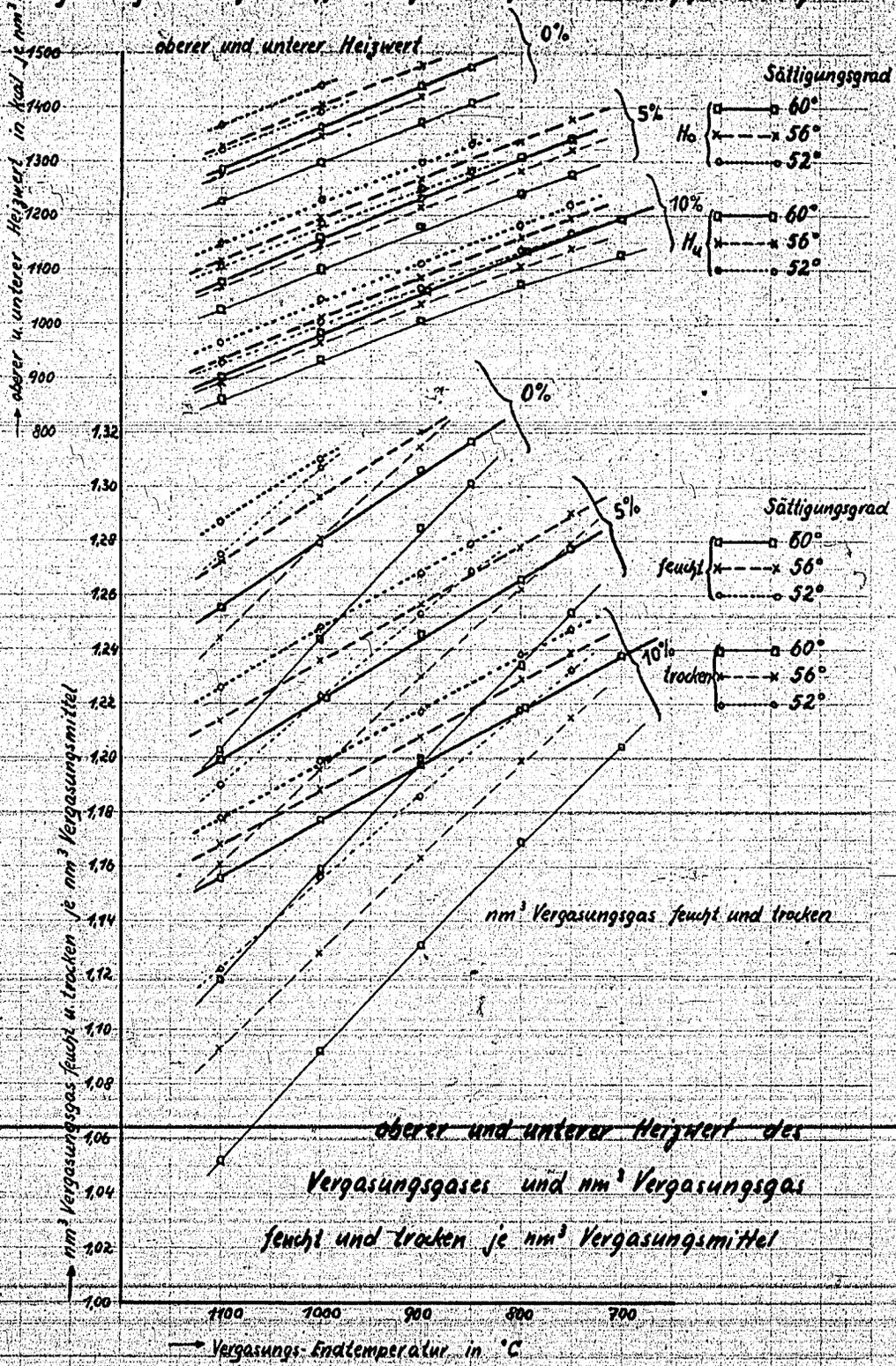
## H<sub>2</sub>- und H<sub>2</sub>O-Gehalt des Vergasungsgases

Sättigungsgrad

- — 60°
- x — 56°
- — 52°

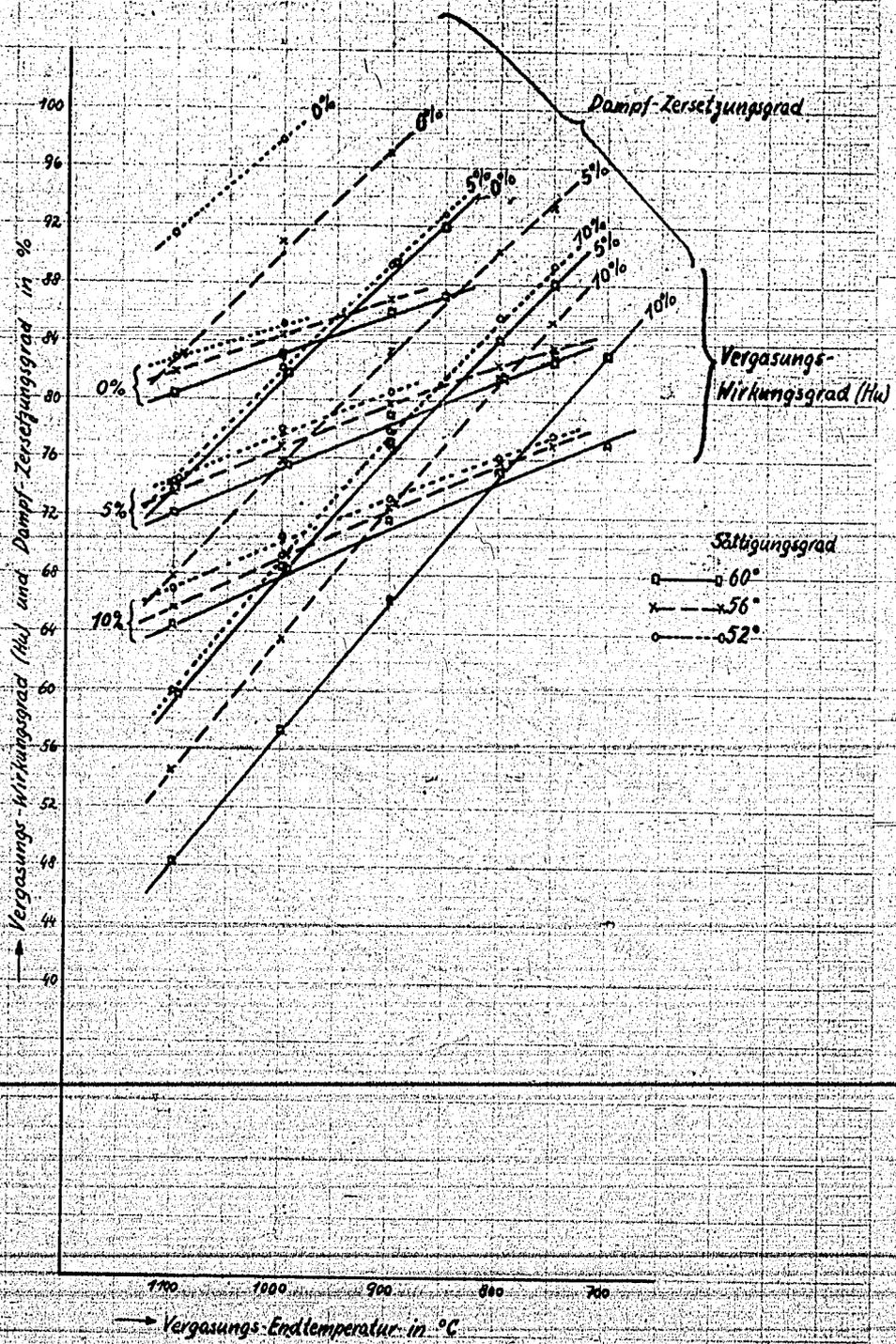


Vergasung von Kohlenstoff durch ein Luft-Wasserdampf-Gemisch



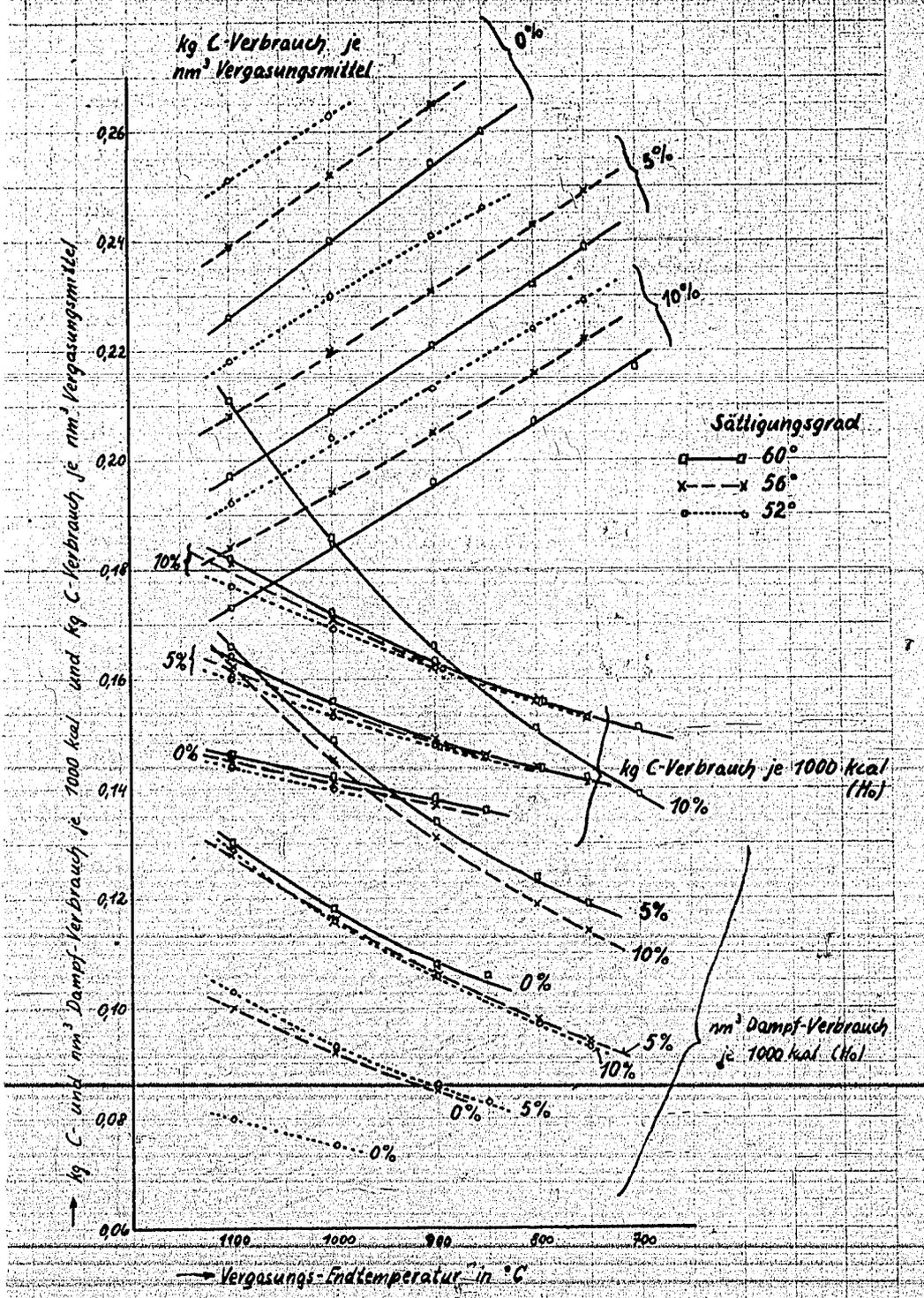
# Vergasung von Kohlenstoff durch ein Luft-Wasserdampf-Gemisch

## Vergasungs-Wirkungsgrad ( $\eta_{H_2}$ ) und Dampf-Zeretzungsgrad

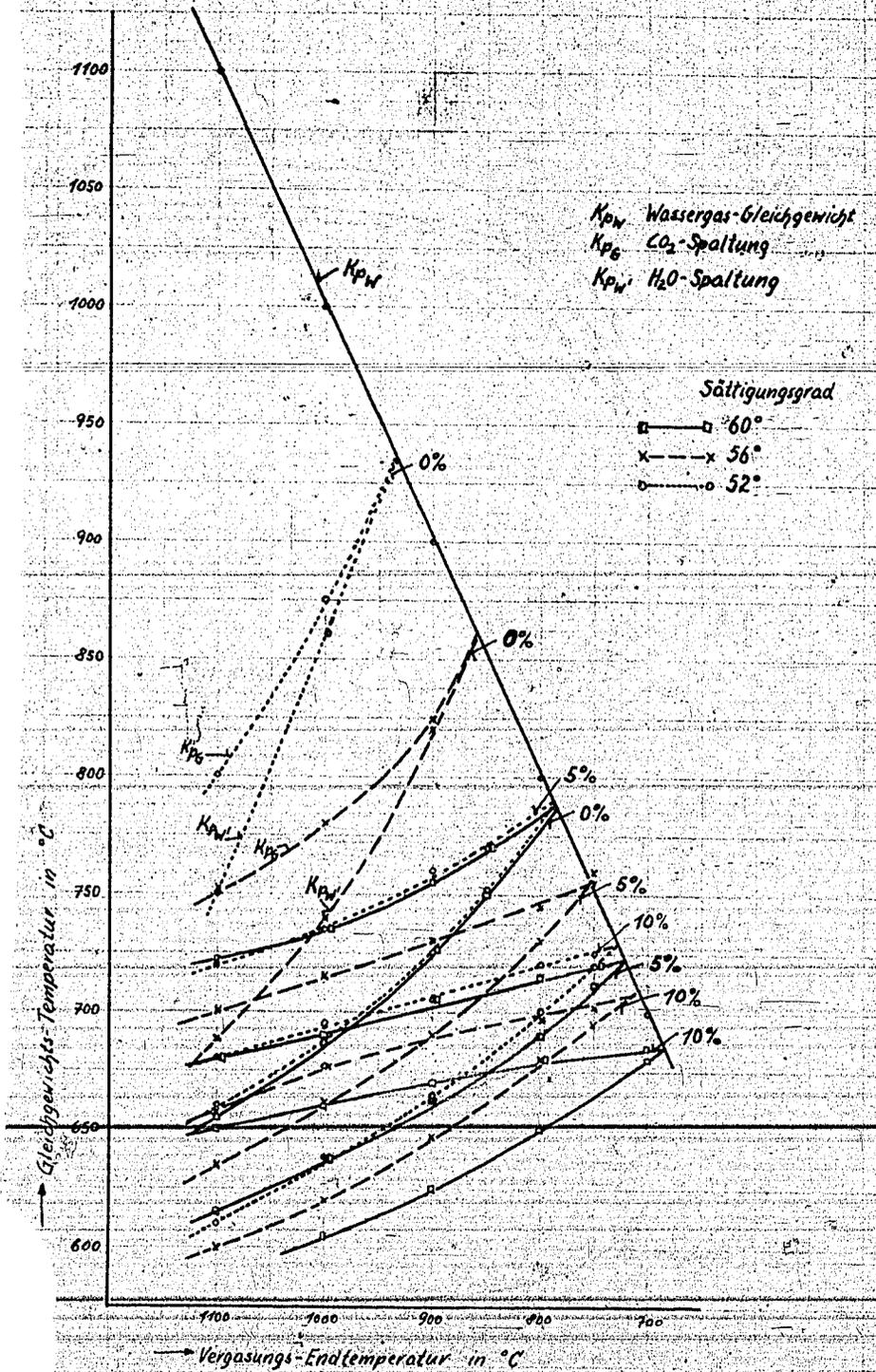


# Vergasung von Kohlenstoff durch ein Luft-Wasserdampf-Gemisch

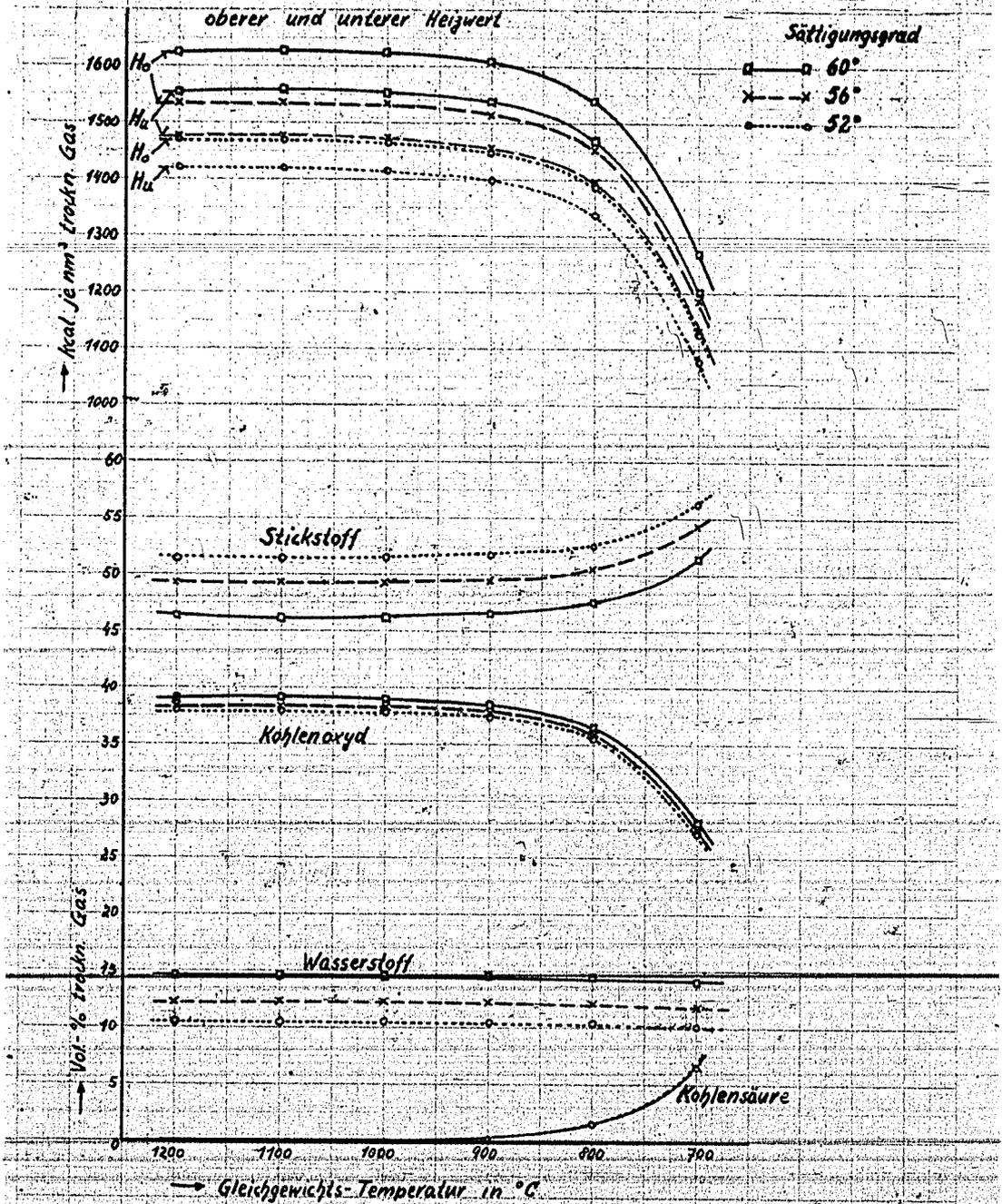
## Kohlenstoff- und Dampf-Verbrauch



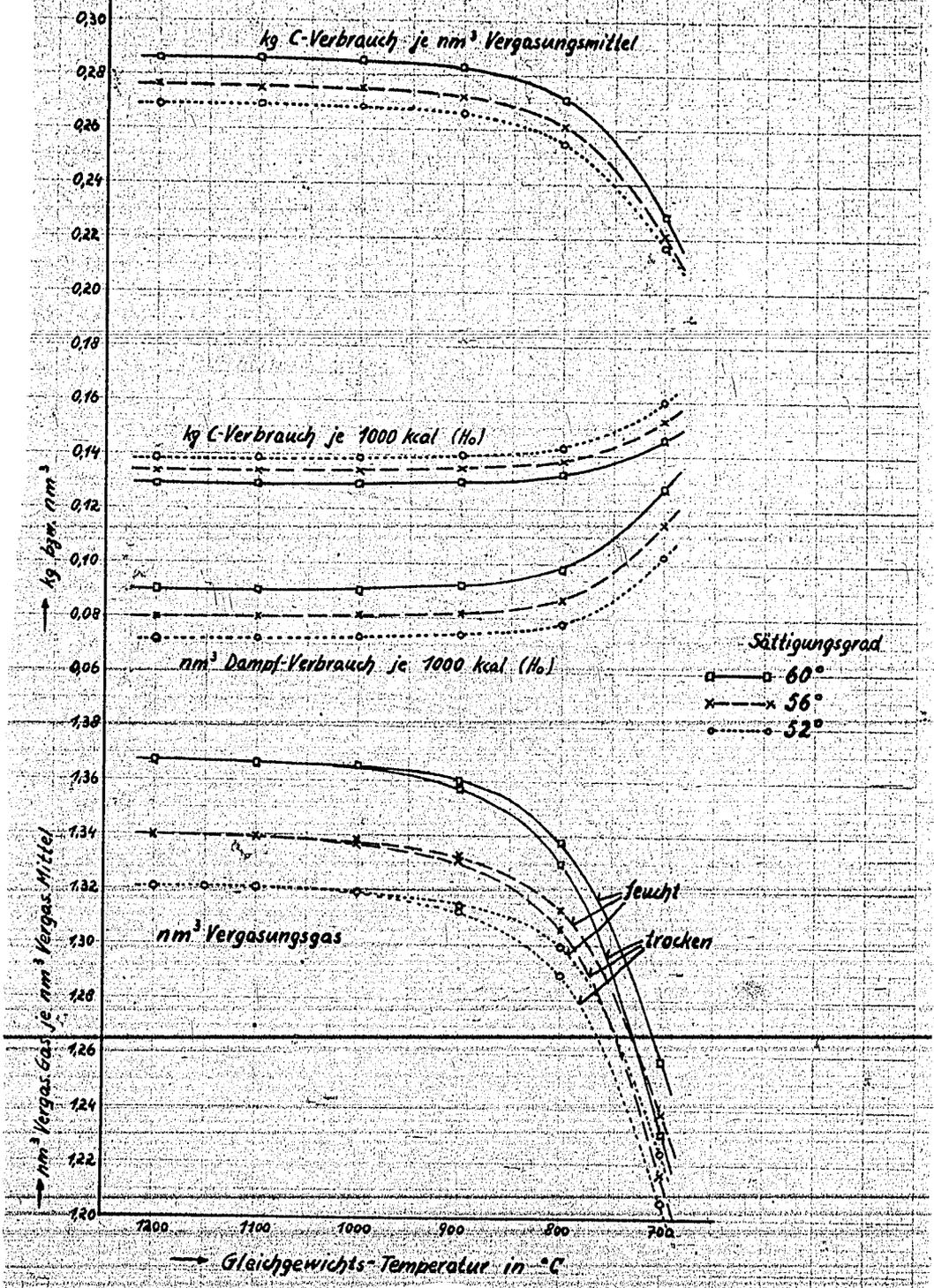
Vergasung von Kohlenstoff durch ein Luft-Wasserdampf-Gemisch  
 Zu den Gleichgewichtskonstanten zugehörige Temperaturen

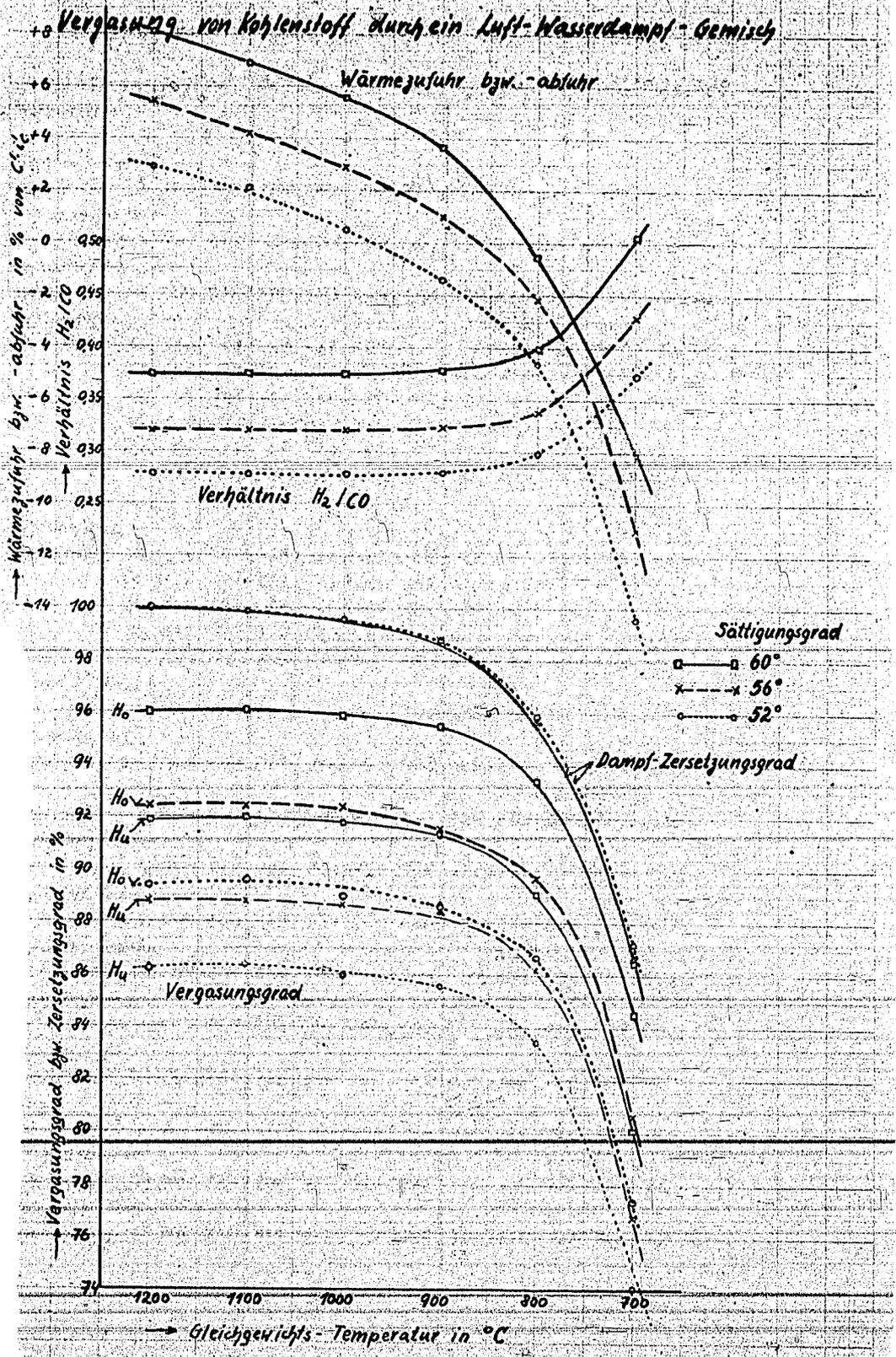


Vergasung von Kohlenstoff durch ein Luft-Wasserdampf-Gemisch  
 $CO_2$ -,  $CO$ -,  $H_2$ - und  $H_2O$ -Gehalt und  $H_o$  und  $H_u$  des Vergasungsgases



Vergasung von Kohlenäure durch ein Luft-Wasserdampf-Gemisch  
 Kohlenstoff- und Dampf-Verbrauch und  $\text{nm}^3$  Vergasungsgas feucht u. trocken





Vergasung von Kohlenstoff durch ein Luft-Wasserdampf-Gemisch

Sättigungsgrad 52°C H<sub>2</sub>O = 0,140; O<sub>2</sub> = 0,791; N<sub>2</sub> = 0,679

Wärmeverlust	%				5				10			
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Vergasungs-Endtemperatur °C	1100	1000	1100	1000	900	850	1100	1000	900	800	750	
Vergasungsgasfluß mm <sup>3</sup> je mm <sup>3</sup> Kogas m.	1,287	1,310	1,226	1,248	1,268	1,279	1,178	1,199	1,217	1,238	1,242	
Vergasungsgas trocken mm <sup>3</sup> je mm <sup>3</sup> Kogas m.	1,275	1,307	1,190	1,223	1,253	1,269	1,122	1,156	1,186	1,218	1,232	
Vergasungsgas Vol.-% feucht												
CO <sub>2</sub>	7,6	9,5	4,8	3,9	2,9	2,5	7,3	6,6	5,9	5,1	4,7	
CO	34,8	37,0	29,4	30,6	32,5	33,5	23,2	25,2	26,8	28,8	29,6	
H <sub>2</sub>	9,9	10,5	8,5	9,2	9,9	10,2	7,1	8,1	9,0	9,7	10,0	
H <sub>2</sub>	52,8	51,8	55,4	54,3	53,5	53,0	57,6	56,5	55,8	54,8	54,5	
H <sub>2</sub> O	0,9	0,2	2,9	2,0	1,2	0,8	4,8	3,6	2,5	1,6	1,2	
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	
Vergasungsgas Vol.-% trocken												
CO <sub>2</sub>	7,6	9,5	5,0	3,9	3,0	2,5	7,2	6,8	6,1	5,2	4,8	
CO	35,2	37,1	29,2	31,2	32,9	33,8	24,4	26,1	27,5	29,2	30,0	
H <sub>2</sub>	10,0	10,5	8,7	9,4	10,0	10,2	7,5	8,4	9,2	9,9	10,2	
N <sub>2</sub>	53,2	51,9	57,7	55,5	54,1	53,5	60,4	58,7	57,2	55,7	55,0	
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	
oberer Heizwert kcal je mm <sup>3</sup> tr.	1368	1440	1146	1228	1299	1331	965	1044	1111	1183	1217	
unterer Heizwert kcal je mm <sup>3</sup> tr.	1320	1390	1105	1184	1251	1282	929	1004	1066	1135	1168	
Verhältnis H <sub>2</sub> :CO	0,286	0,283	0,299	0,302	0,303	0,303	0,308	0,323	0,335	0,332	0,339	
Zersetzungsgrad des Wasserdampfes %	91,4	93,9	74,3	82,2	89,3	92,8	60,0	69,3	77,9	85,7	89,3	
Kohlenstoff-Verbrauch kg je mm <sup>3</sup> Kogas m.	0,251	0,263	0,218	0,230	0,241	0,246	0,192	0,204	0,213	0,224	0,229	
Kohlenstoff-Verbrauch kg je 1000 kcal (H <sub>2</sub> )	0,144	0,140	0,160	0,153	0,148	0,146	0,177	0,168	0,162	0,156	0,153	
Dampf-Verbrauch mm <sup>3</sup> je 1000 kcal (H <sub>2</sub> )	0,080	0,075	0,103	0,093	0,086	0,081	0,127	0,116	0,106	0,097	0,093	
Vergasungs-Wirkungsgrad (H <sub>2</sub> ) %	86,0	88,4	77,3	81,0	83,7	84,6	67,8	73,4	76,4	78,2	80,8	
desgl. auf H <sub>2</sub> bezog. %	82,9	85,2	74,5	78,0	80,6	81,6	63,0	70,6	73,2	76,7	78,6	
Gleichgewichts-Temp. d. CO <sub>2</sub> -Spaltung °C	800	875	720	735	760	770	680	695	705	720	725	
Gleichgewichts-Temp. d. H <sub>2</sub> O-Spaltung °C	750	865	660	677	725	735	670	638	665	700	720	

Zahlentafel 2

Vergasung von Kohlenstoff durch ein Luft-Wasserdampf-Gemisch

Sättigungsgrad 56°C  $H_2O$ : 0,165;  $O_2$ : 0,175;  $N_2$ : 0,660

Wärmerelut	0			5						10					
	%														
Vergasungs-Endtemperatur °C	1900	1000	900	1100	1000	1000	1000	900	800	750	1100	1000	900	800	750
Temp. d. Wassergas-Gleichgewichts °C				1200	1000	800									
Vergasungsgas, feucht															
nm <sup>3</sup> je nm <sup>3</sup> Vergasem.	1,272	1,296	1,320	1,214	1,234	1,236	1,239	1,257	1,278	1,290	1,168	1,188	1,208	1,229	1,239
Vergasungsgas, trocken															
nm <sup>3</sup> je nm <sup>3</sup> Vergasem.	1,244	1,281	1,315	1,161	1,186	1,196	1,211	1,230	1,262	1,279	1,093	1,128	1,163	1,199	1,215
Vergasungsgas, Vol-% feucht															
CO <sub>2</sub>	3,7	2,2	1,7	6,0	4,6	5,2	6,0	4,4	3,5	3,0	8,2	7,7	7,7	6,6	6,2
CO	32,7	34,2	34,5	26,1	28,5	28,7	27,4	30,0	32,0	33,7	24,2	22,9	24,6	26,3	27,2
H <sub>2</sub>	10,8	11,6	12,1	9,2	9,5	10,1	11,2	11,0	11,7	11,9	7,7	8,8	9,9	11,0	11,4
N <sub>2</sub>	51,8	50,8	49,9	54,3	53,5	53,4	53,2	52,4	51,5	51,7	54,5	55,5	54,7	53,7	53,3
H <sub>2</sub> O	2,2	1,2	0,4	4,4	3,9	3,2	2,2	2,2	1,3	0,9	6,4	5,1	3,7	2,4	1,9
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Vergasungsgas, Vol-% trocken															
CO <sub>2</sub>	3,7	2,2	1,7	4,3	4,8	5,4	6,7	4,5	3,6	3,0	8,8	8,1	7,4	6,8	6,3
CO	32,8	34,6	34,6	27,2	29,7	29,0	28,0	30,7	32,4	33,7	22,6	24,1	25,6	27,0	27,8
H <sub>2</sub>	10,0	11,7	12,2	9,6	9,9	10,5	11,4	11,2	11,8	12,1	8,2	9,3	10,3	11,3	11,6
N <sub>2</sub>	53,7	51,5	50,1	56,9	55,6	55,7	54,5	53,6	52,2	51,5	60,4	58,5	56,7	54,9	54,3
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
oberer Heizwert															
kcal je nm <sup>3</sup> G.	1325	1400	1477	1114	1198	1196	1193	1267	1337	1378	742	1010	1087	1159	1143
unterer Heizwert															
kcal je nm <sup>3</sup> G.	1272	1345	1419	1068	1150	1146	1138	1214	1281	1320	893	966	1038	1105	1138
Verhältnis H <sub>2</sub> :CO	0,336	0,339	0,333	0,353	0,332	0,360	0,407	0,366	0,365	0,362	0,364	0,384	0,424	0,418	0,418
Zersetzungsgrad d. Wasserdampfes %	83,0	80,9	97,0	67,9	70,9	75,8	83,5	83,4	90,3	93,3	54,5	63,6	72,7	81,6	85,5
Kohlenstoff-Verbrauch															
kg je nm <sup>3</sup> Vergasem.	0,239	0,252	0,265	0,208	0,219	0,220	0,221	0,231	0,243	0,249	0,184	0,194	0,205	0,216	0,222
Kohlenstoff-Verbrauch															
kg je 1000 kcal (H <sub>2</sub> )	0,145	0,141	0,137	0,161	0,154	0,154	0,153	0,149	0,144	0,144	0,181	0,171	0,162	0,156	0,153
Dampf-Verbrauch															
nm <sup>3</sup> je 1000 kcal (H <sub>2</sub> )	0,100	0,092	0,085	0,128	0,116	0,116	0,114	0,106	0,098	0,094	0,162	0,145	0,131	0,119	0,114
Vergasungs-Wirkungsgrad (Vol-%)	85,7	82,8	90,5	76,8	80,2	82,2	80,7	83,2	85,8	87,5	68,5	72,3	76,2	79,2	80,9
Acgl															
auf 114 begeg. %	81,8	84,5	87,0	73,5	77,0	76,8	77,0	79,8	82,5	83,7	65,7	69,3	72,8	75,8	77,0
Gleichgewichts-Temp. der CO <sub>2</sub> -Spaltung °C	752	780	824	700	725	715	705	730	745	760	665	677	683	695	702
Gleichgewichts-Temp. der H <sub>2</sub> O-Spaltung °C	687	740	820	635	650	662	670	690	730	760	600	620	647	680	695

Vergasung von Kohlenstoff durch ein Luft-Wasserdampf-Gemisch

Sättigungsgrad 60°C H<sub>2</sub>O = 0,200; O<sub>2</sub> = 0,168; N<sub>2</sub> = 0,632

Wärmeverlust		0					5					10				
Vergasungs-Endtemperatur	°C	1100	1000	900	850	1100	1000	900	850	750	1100	1000	900	850	750	700
Vergasungsgas feucht	nm <sup>3</sup> je nm <sup>3</sup> Vergas.m.	1,255	1,280	1,306	1,317	1,199	1,220	1,245	1,266	1,278	1,155	1,177	1,198	1,219	1,229	1,238
Vergasungsgas trocken	nm <sup>3</sup> je nm <sup>3</sup> Vergas.m.	1,203	1,244	1,285	1,307	1,119	1,159	1,200	1,234	1,254	1,052	1,092	1,131	1,169	1,188	1,204
Vergasungsgas																
Vol-% feucht																
CO <sub>2</sub>		4,9	4,1	3,2	2,7	3,4	4,8	6,2	5,5	5,2	9,5	9,0	8,6	8,2	8,0	7,8
CO		28,8	30,8	33,1	34,2	23,2	25,2	27,0	27,7	28,7	18,5	20,4	22,0	23,5	24,4	25,0
H <sub>2</sub>		11,8	12,8	13,7	14,0	10,0	11,2	12,4	13,3	13,8	8,4	9,8	11,1	12,3	12,9	13,5
N <sub>2</sub>		50,4	49,5	48,4	47,9	52,7	51,7	50,7	50,0	49,4	54,6	53,8	52,7	51,9	51,4	51,0
H <sub>2</sub> O		4,1	2,8	1,6	1,2	4,7	5,1	3,7	2,5	1,9	4,0	3,3	5,6	4,1	3,3	2,7
		100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Vergasungsgas																
Vol-% trocken																
CO <sub>2</sub>		5,1	4,3	3,3	2,7	8,0	7,2	6,4	5,6	5,3	10,4	9,7	9,1	8,6	8,2	8,1
CO		30,1	31,7	33,6	34,6	24,9	26,5	28,1	29,5	30,3	20,4	22,0	23,7	24,6	25,2	25,6
H <sub>2</sub>		12,3	13,2	13,9	14,1	10,7	11,8	12,9	13,2	14,1	9,2	10,5	11,7	12,9	13,4	13,8
N <sub>2</sub>		52,5	50,8	49,2	48,6	56,4	54,5	52,6	51,2	50,3	60,0	57,8	55,8	53,9	53,2	52,5
		100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
oberer Heizwert	Kcal je nm <sup>3</sup> tr.	1284	1361	1439	1475	1078	1160	1242	1306	1343	903	985	1063	1136	1189	1194
unterer Heizwert	Kcal je nm <sup>3</sup> tr.	1225	1297	1372	1407	1027	1103	1179	1240	1275	858	935	1007	1075	1105	1127
Verhältnis H <sub>2</sub> :CO		0,410	0,445	0,445	0,410	0,430	0,448	0,458	0,463	0,464	0,450	0,478	0,502	0,525	0,532	0,539
Zersetzungsgrad α																
Wasserdampfes	%	74,0	81,0	89,5	92,0	89,9	88,6	77,2	84,2	88,0	68,3	57,4	64,3	75,2	79,5	83,2
Kohlenstoff-Verbrauch	Kg je nm <sup>3</sup> Vergas.m.	0,226	0,240	0,254	0,260	0,197	0,209	0,221	0,232	0,239	0,173	0,185	0,196	0,207	0,213	0,217
Kohlenstoff-Verbrauch	Kg je 1000 Kcal (H <sub>2</sub> )	0,146	0,142	0,138	0,136	0,164	0,156	0,148	0,144	0,142	0,182	0,172	0,163	0,156	0,154	0,151
Dampf-Verbrauch	nm <sup>3</sup> je 1000 Kcal (H <sub>2</sub> )	0,130	0,118	0,108	0,104	0,166	0,149	0,134	0,124	0,119	0,211	0,186	0,166	0,151	0,144	0,139
Vergasungs-Wirkungsgrad (H <sub>2</sub> )	%	84,3	87,3	90,0	91,5	75,9	79,7	83,4	85,2	87,4	67,8	71,9	75,8	79,7	80,7	81,8
degl.																
auf H <sub>2</sub> bezogen	%	80,4	83,1	86,0	88,2	72,2	75,6	79,0	81,7	82,7	64,5	68,4	71,8	75,0	76,4	77,7
Gleichgewicht-Temp.																
d. CO <sub>2</sub> -Spaltung	°C	722	735	755	770	680	690	705	715	720	650	660	670	680	680	685
Gleichgewicht-Temp.																
d. H <sub>2</sub> O-Spaltung	°C	655	687	728	750	615	638	663	690	712	560	605	625	650	665	680

# Vergärung von Kohlenstoff durch ein Luft-Wasserdampf-Gemisch bis zum Gleichgewicht

Zapientafel 4  
zum

Sättigungsgrad	52						56						60					
°C																		
Zusammensetzung																		
a. Kogat. mittels	H <sub>2</sub> O = 0,140 O <sub>2</sub> = 0,181 N <sub>2</sub> = 0,679						H <sub>2</sub> O = 0,165 O <sub>2</sub> = 0,175 N <sub>2</sub> = 0,660						H <sub>2</sub> O = 0,200 O <sub>2</sub> = 0,168 N <sub>2</sub> = 0,632					
Vergärungs-Endtemperatur	1200	1100	1000	900	800	700	1200	1100	1000	900	800	700	1200	1100	1000	900	800	700
Vergärungsgas feucht																		
mm <sup>3</sup> je mm <sup>3</sup> Kogat. m.	1,321	1,321	1,319	1,314	1,295	1,221	1,340	1,339	1,338	1,333	1,313	1,238	1,367	1,366	1,365	1,360	1,338	1,258
Vergärungsgas trockn.																		
mm <sup>3</sup> je mm <sup>3</sup> Kogat. m.	1,321	1,320	1,318	1,313	1,289	1,206	1,340	1,339	1,338	1,331	1,306	1,216	1,367	1,366	1,365	1,358	1,330	1,231
Vergärungsgas																		
Vol-% feucht																		
CO <sub>2</sub>	0,01	0,03	0,09	0,35	1,5	6,4	0,01	0,03	0,1	0,4	1,5	6,5	0,01	0,03	0,1	0,4	1,6	6,7
CO	38,0	38,0	37,9	37,4	35,3	26,7	38,4	38,4	38,3	37,8	35,7	26,9	39,1	39,1	39,0	38,5	36,2	27,2
H <sub>2</sub>	10,6	10,6	10,5	10,5	10,4	10,0	12,3	12,3	12,3	12,2	12,0	11,6	14,6	14,6	14,6	14,5	14,3	13,8
N <sub>2</sub>	51,4	51,4	51,5	51,6	52,4	55,4	49,3	49,3	49,3	49,4	50,3	53,2	46,3	46,3	46,3	46,4	47,3	50,2
H <sub>2</sub> O	0,01	0,02	0,05	0,13	0,4	1,5	0,009	0,02	0,05	0,2	0,5	1,8	0,01	0,02	0,06	0,18	0,6	2,1
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Vergärungsgas																		
Vol-% trocken																		
CO <sub>2</sub>	0,01	0,03	0,1	0,4	1,6	6,5	0,0	0,0	0,1	0,4	1,5	6,6	0,0	0,0	0,1	0,4	1,6	6,8
CO	38,0	38,0	37,9	37,4	35,3	27,1	38,4	38,4	38,3	37,8	35,9	27,9	39,1	39,2	39,0	38,5	36,4	27,8
H <sub>2</sub>	10,6	10,6	10,5	10,5	10,4	10,1	12,3	12,3	12,3	12,2	12,1	11,8	14,6	14,6	14,6	14,6	14,4	14,1
N <sub>2</sub>	51,4	51,4	51,5	51,7	52,3	54,3	49,3	49,3	49,3	49,6	50,5	54,2	46,3	46,2	46,3	46,5	47,5	51,3
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
oberer Heizwert																		
kcal je mm <sup>3</sup> K.	1471	1471	1464	1449	1388	1126	1535	1535	1536	1513	1452	1187	1625	1628	1623	1607	1538	1269
unterer Heizwert																		
kcal je mm <sup>3</sup> K.	1420	1420	1414	1399	1338	1078	1476	1476	1473	1455	1394	1130	1558	1558	1553	1537	1469	1201
Verhältnis H <sub>2</sub> :CO	0,279	0,279	0,279	0,281	0,294	0,373	0,320	0,320	0,321	0,324	0,338	0,429	0,374	0,374	0,374	0,378	0,396	0,506
Zersetzungsgrad d.																		
Wasserdampf %	99,93	99,86	99,57	98,8	95,8	87,2	99,91	99,81	99,58	98,8	95,75	86,7	99,96	99,83	99,57	98,15	95,8	86,5
Kohlenstoff-Verbrauch																		
kg je mm <sup>3</sup> Kogat. m.	0,269	0,269	0,268	0,266	0,255	0,217	0,226	0,225	0,225	0,222	0,217	0,221	0,226	0,226	0,225	0,223	0,221	0,218
Kohlenstoff-Verbrauch																		
kg je 1000 kcal (bei 0,139	0,139	0,139	0,139	0,140	0,143	0,160	0,134	0,134	0,134	0,135	0,138	0,153	0,129	0,129	0,129	0,130	0,133	0,146
Dampf-Verbrauch																		
mm <sup>3</sup> je 1000 kcal (bei 0,072	0,072	0,072	0,073	0,074	0,078	0,103	0,080	0,080	0,081	0,082	0,087	0,115	0,090	0,090	0,090	0,092	0,098	0,128
Vergärungs-Wir-																		
Koeffizient (bei 70	89,4	89,6	89,0	88,6	86,7	77,4	92,4	92,4	92,4	91,6	89,7	80,6	96,0	96,1	95,9	95,5	93,4	81,5
desgl.																		
auf Ha. bei	90,2	86,4	86,0	85,6	83,5	74,1	88,8	88,8	88,7	88,0	86,2	76,8	91,9	92,0	91,8	91,4	89,1	80,7
Wärmezunahme																		
-abnahme in %	+2,9	+2,7	+0,5	-1,4	-4,6	-14,4	+5,4	+4,2	+2,9	+1,0	-2,2	-11,0	+8,1	+6,9	+5,6	+3,7	-0,5	-8,1
der Kohlenstoffwärme																		

19645 km