

963 C. 101

Betr. Koksgasspaltanlage Rheinpreussen.

Berechnung zur Aufstellung des Wärmeflussbildes nach Betriebsangaben.

A. Analysenbesicht

siehe Bericht Koppers

B. Errechnung der Kohlenstoffverluste bei der Spaltung.

1. Theoretische Verbrennung Koksgas

siehe Bericht Koppers

2. Theoretische Verbrennung Spaltgas

siehe Bericht Koppers

3. C-Bilanz

siehe auch unter C. 1.) a)

Die C-Verluste betragen:

$$100 - \frac{(4,7 + 14,5 + 2,1) \cdot 1,7 \cdot 100}{3,2 + 3,8 + 6,2 + 24,5 + 0,6} = 5,5\%$$

C-Defizit auf die von 100 Ltr. Koksgas entstandene Spaltgasmenge

C-Verlust = 5,5% oder 2,1 Ltr. C₁-Gas oder 1,125 gr. C

Im Spaltgas als Ruß wiedergefunden:

6 gr / Nm³ oder 1,9 Ltr. C₁-Gas oder 1,020 gr C

Demnach werden 90,5% des verloren gegangenen Kohlenstoffes im Ruß des Spaltgases wiedergefunden. Über den Verbleib des fehlenden Kohlenstoffes gibt die Stoffbilanz unter D) Aufschluss.

⁶²⁹
c. Menge und Zusammensetzung des Spaltgases bei theoretischer Spaltung

1. Errechnung des Expansionsfaktors:

a) Aus der CO- (C-) Bilanz

Aus der Gleichung

$$\text{CO} + 2 \text{C}_2\text{H}_4 + 6 \text{C}_6\text{H}_6 + \text{CH}_4 - \text{CH}_4' \cdot x - \text{C}' \cdot \frac{22,4}{12} \cdot x - \text{CO}_2' \cdot x + \text{CO}_2 = \text{CO}' \cdot x$$

ergibt sich der Expansionsfaktor zu

$$x = \frac{\text{CO} + 2 \text{C}_2\text{H}_4 + 6 \text{C}_6\text{H}_6 + \text{CH}_4 + \text{CO}_2}{\text{CO}' + \text{CH}_4' + \text{C}' \cdot \frac{22,4}{12} + \text{CO}_2'}$$

darin sind

CO	=	CO-Gehalt im Koksgas in	Ltr. / m ³
H ₂	=	H ₂ -Gehalt " " " "	/ "
C ₂ H ₄	=	C ₂ H ₄ -Gehalt " " " "	/ "
C ₆ H ₆	=	C ₆ H ₆ -Gehalt " " " "	/ "
CH ₄	=	CH ₄ -Gehalt " " " "	/ "
CO ₂	=	CO ₂ -Gehalt " " " "	/ "
CO'	=	CO-Gehalt " Spaltgas " " "	/ "
H ₂ '	=	H ₂ -Gehalt " " " "	/ "
CH ₄ '	=	CH ₄ -Gehalt " " " "	/ "
CO ₂ '	=	CO ₂ -Gehalt " " " "	/ "
C'	=	Rußgehalt " " " gr	/ "

hierin ist

$$x = \frac{62 + 38 + 6 + 245 + 32}{145 + 21 + 6 \cdot \frac{22,4}{12} + 47}$$

x = Expansionsfaktor aus der d. Lösung errechnet
h = für die Wärmeverbrauche
Wärmemenge in m³/kg

$$= 1,71$$

b) Aus der H_2 -Bilanz

Der Expansionsfaktor errechnet sich aus folgender Gleichung

$$H_2 + 4 C_2H_4 + 9 C_6H_6 + (CH_4 - CH_4' \cdot X - CO_2' \cdot X + CO_2 - C' \cdot \frac{22,4}{12} \cdot X) \cdot 3 + (CO_2' \cdot X - CO_2) \cdot 4 + 2 \cdot C' \cdot \frac{22,4}{12} \cdot X = H_2' \cdot X + R$$

zu $R =$

$$R = \frac{H_2 + 4 C_2H_4 + 9 C_6H_6 + 3 CH_4 - CO_2 - X(4H_2' + 30H_4' + 6 \cdot \frac{22,4}{12} \cdot CO_2')}{H_2' + 3 CH_4' - CO_2' + C' \cdot \frac{22,4}{12}}$$

$$\frac{514 + 76 + 9 + 735 - 32}{703 + 63 + 6 \cdot \frac{22,4}{12} - 47}$$

$$= 1,785$$

$$y = x + R = 1,71 + 0,074 = 1,784$$

Die Differenz zwischen den Expansionsfaktoren kann nur dadurch zustande kommen, dass auch in unseren Anlagen ein Teil des Wasserstoffes zur Reduktion des Eisens im Stein verbraucht wird. Diese Wasserstoffmenge ergibt sich zu

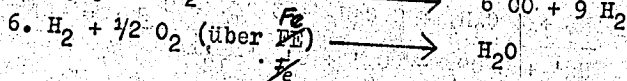
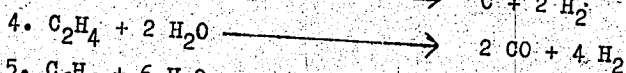
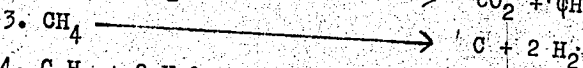
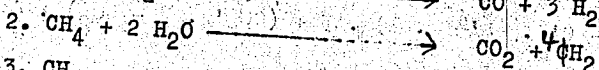
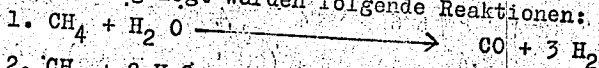
$$H_2' \cdot (1,785 - 1,71) = 703 \cdot (1,785 - 1,71) =$$

$$53 \text{ Ltr. } H_2 / m^3 \text{ Koksgas}$$

Bei der Errechnung der Expansionsfaktoren wurden der Sauerstoffgehalt im Koksgas sowie die Kohlensäure und der Sauerstoff aus dem Rauchgas unberücksichtigt gelassen.

2. Zusammensetzung des Spaltgases

Zugrunde-gelegt werden folgende Reaktionen:



Der O_2 -Gehalt im Koksgas sowie die aus dem Rauchgas stammenden Bestandteile CO , und O_2 im Spaltgas wurden wiederum nicht berücksichtigt.

	Ko. Gas aus %	Ko. G. aus in l	Rauch- gas in l	Nach- Gleich. 1 in l	Nach- Gl. 2 in l	Nach- Gl. 3 in l	Nach- Gl. 4 in l	Nach- Gl. 5 in l	Nach- Gl. 6 in l	Spaltgas errechnet l	Betriebs- analys %
CO ₂	3,2	32,0	-	-	+ 48,4	-	-	-	-	80,4	4,7
C ₂ H ₄	1,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
O ₂	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CO	6,2	62,0	-	+141,5	-	-	+38,0	+ 6,0	-	247,5	14,5
H ₂	51,4	+514,0	-	424,5	193,6	+38,4	+76,0	+ 9,0	-54,0	1204,5	70,3
CH ₄	24,5	+ 35,9	-	-	-	-	-	-	-	35,9	2,1
N ₂	12,6	+126,0	+15,8	-	-	-	-	-	-	141,8	8,3
C ₆ H ₆	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C	-	-	-	-	-	+19,2	-	-	-	-	-
W.D.	-	-	-	-	-	+10,3	-	-	-	10,3	-
100				-141,5	-96,8	-	-38,0	-6,0	+54,0	228,3	-
										1704,1	100,0

Das heisst sich

Reif liegt sich in meinem Auslage demnach nicht ab, um während der Aufheizzeit zu verbessern, denn das ist für eine weitere Reifbildung nicht mehr vorhanden.

D. Stoffbilanz

1. Koksgas und Spaltgas

	<i>l</i> Ltr. H ₂	<i>l</i> Ltr. O ₂	<i>l</i> Ltr. N ₂	<i>l</i> Ltr. C ₁ - haltige Gase
pro Nm ³ Ko.Gas	1045,0	63,0	126,0	383,0
im Spaltgas bei theor. Spaltung	1273,3	204,2	141,8	363,8
Differenz	+ 228,3	+ 141,2	+ 15,8	19,2
aus WD.	282,4	141,2		
bei gemessener Expansion	1266,4	203,1	141,0	362,0
Differenz aus theoret. u. gemessener Spaltung	- 6,9	- 1,1	- 0,8	- 1,8
Prozent, bezogen auf Ge- halt im Spaltgas	0,5%	0,5%	0,6%	0,5%

reduzierende gas
Vorder, was mich also angenommen ist, in mich nicht feststellen handelt, denn
die Zahlen liegen innerhalb des Messungsbereichs

Die Stoffbilanz zeigt, dass alle Komponenten des Spaltgases sich entsprechend ihres Volumengehaltes vermindern, also Spaltgas oder evtl. Koksgas in geringer Menge verloren geht. Die Differenz zwischen dem aus Wasserdampf entstandenen und dem sich nach der theoretischen Spaltung ergebenden Wasserstoff beträgt 54 Ltr. / m³ Koksgas und ist die zur Reduktion des Eisens verbrauchte Menge.

Die nach der C-Bilanz fehlende Menge C₁-Gas = 2,1 - 1,9 = 0,2 Ltr. / 100 Ltr. Koksgas entspricht etwa der nach der Stoffbilanz als Verlust sich ergebenden Menge, die 1,8 Ltr / m³ Koksgas beträgt.

2. Zusammensetzung und Menge des Rauchgases.

Das Heizgas ist eine Mischung aus 4950 m³ / h Restgas der Fischer-Synthese mit einem oberen Heizwert von 2246 Kcal und 50 m³ / h Koksgas mit einem oberen Heizwert von 4413 Kcal.

a) Theoretische Verbrennung

Analyse d. Mischgas.	%	RT + O ₂	RT + N ₂	RT CO ₂	RT N ₂	RT H ₂ O-D
CO ₂	36,4	-	-	= 36,4	+ -	+ -
CO	8,9	+ 4,45	+ 16,70	= 8,9	+ 16,70	+ -
C ₂ H ₄ - { C ₂ H ₄	0,1	+ 0,30	+ 1,10	= 0,2	+ 1,10	+ 0,2
{ C ₃ H ₆	0,1	+ 0,45	+ 1,70	= 0,3	+ 1,70	+ 0,3
H ₂	13,1	+ 6,55	+ 24,65	= -	+ 24,65	+ 13,1
{ CH ₄	14,5	+ 29,00	+ 109,10	= 14,5	+ 109,10	+ 29,0
CH ₄ - { C ₂ H ₆	1,1	+ 4,40	16,55	= 2,2	+ 16,55	+ 4,4
N ₂	25,8			=	+ 25,80	
Verbrauch z. Oxyd. d. Eisens	0,0	+ 5,45	+ 20,05	= -	+ 20,05	
100,0 + 50,60 + 189,85 = 64,5 + 215,65 + 47,0						

Bei der Verbrennung von 1 Nm³ Heizgas mit 0,506 Nm³ O₂ + 1,899 Nm³ N₂ = 2,405 Nm³ Luft entstehen 2,802 Nm³ trockenes Rauchgas mit 23% CO₂ und 77% N₂ und gleichzeitig 0,470 Nm³ Wasserdampf.

Die zugeführte Luftmenge pro Nm³ Heizgas beträgt

$$\frac{23200}{5000} = 4,640 \text{ Nm}^3 \text{ Luft}$$

davon sind zur
Verbrennung ver-
braucht worden

$$2,405 \text{ Nm}^3 \text{ Luft}$$

also sind über-
schüssig

$$2,235 \text{ Nm}^3 \text{ Luft}$$

b) Wirkliche Verbrennung

	Luft		Rauchgas		Rauchgas und Luft trocken		feucht	
	Nm ³		Nm ³		Nm ³	%	Nm ³	%
CO ₂	-		0,645	=	0,645	12,8	0,645	11,7
O ₂	0,469		-	=	0,469	9,3	0,469	8,5
N ₂	1,766		2,157	=	3,923	77,9	3,923	71,3
W.D.	-		0,470	=	-	-	0,470	8,5
	2,235	+	3,272	=	5,037	100,0	5,507	100,0

E. Wärmebilanz

Sämtliche Werte auf 1 Nm³ Spaltgas bezogen

1. Eingebraachte Wärme

a) Koksgas:

- 1.) Geb. Wärme: 0,588 · 4413 = 2600 Kcal = 70,1%
 2.) Fühlb. Wärme: 0,588 · 27,5 = 15 Kcal = 0,5%
 (einschl. WD)

- b) Reaktionsdampf: 0,451 · 651,2 = 294 Kcal = 7,9%
 (2 atü gesättigt)

c) Heizgas:

1.) Restgas

- a) Geb. Wärme: 0,283 · 2246 = 635 Kcal = 17,1%
 b) Fühlb. Wärme: 0,283 · 18,74 = 5 Kcal = 0,1%
 (20°C gesättigt)

2.) Koksgas

- a) Geb. Wärme: 0,003 · 4413 = 13 Kcal = 0,4%
 b) Die fühlbare Wärme wurde vernachlässigt

- d) Spüldampf: 0,2 · 651,2 = 131 Kcal = 3,5%
 a) Wind: 1,33 · 9,51 = 13 Kcal = 0,4%
 (10°C gesättigt)

insgesamt eingesetzt:

3706 Kcal = 100,0%

2. Ausgebrachte Wärme

a) Spaltgas:

1.) Geb. Wärme: $1 \cdot 2783$

$$= 2783 \text{ Kcal} = 75,0 \%$$

2.) Fühlb. trockene Wärme:

$$1 \cdot 400 \cdot 0,325$$

$$= 130 \text{ Kcal} = 3,5 \%$$

b) Spüldampf:

1.) Nach dem Spalten (Temp. 420°)

$$0,1 \cdot 792,9 =$$

$$79,3$$

2.) Nach dem Aufheizen (Temp. 530°)

$$0,1 \cdot 748,8 =$$

$$74,9$$

$$154,2$$

$$= 154 \text{ Kcal} = 4,2 \%$$

c) Überschüssiger Reaktionsdampf:

Überschüssige Dampfmenge =

$$0,451 + 0,018 - \frac{229,3 \cdot 18}{1,7 \cdot 22,4} =$$

$$0,361 \text{ Kg/m}^3 \text{ Spaltgas}$$

Sättigungstemperatur = $70,3^{\circ}\text{C}$

1.) Wärmeinhalt d. gesätt. Dampf. = $230,0 \text{ Kcal}$.

2.) Überhitzungswärme:

$$0,361 \cdot (400 \cdot 0,463 -$$

$$70,3 \cdot 0,445) =$$

$$55,7$$

$$285,7$$

$$286 \text{ Kcal} = 7,7 \%$$

d) Rauchgas:

1.) Rauchgas trocken, $T_{\text{Rauch}} = \frac{110 + 316}{2} = 213^{\circ}\text{C}$

Rauchgasmenge =

$$5000 \cdot 5,037 = 25180 \text{ m}^3/\text{h}$$

oder

$$\frac{25180}{17500} = 1,438 \text{ m}^3/\text{m}^3 \text{ Spaltg.}$$

dann ist der Wärmeinhalt des Rauchgases

$$1,438 \cdot 213 \cdot 0,33 =$$

$$102 \text{ Kcal}$$

$$185 \text{ Kcal} = 5,0 \%$$

Übertrag:

$$3538 \text{ Kcal} = 95,4 \%$$

$$102 \text{ Kcal} \quad 3538 \text{ Kcal} = 95,4 \%$$

2.) Wasserdampf im Rauchgas

In 1 m^3 Rauchgas befindet sich

$$\left[\frac{470}{5037} \cdot \frac{18}{22,4} \right] + \frac{470 \cdot 18 : 22,4}{5,037} + \frac{9,8 \cdot 23200}{25180} = 75 + 9 =$$

84 gr / m^3 RauchgasDie Sättigungstemperatur = 45°

Wärmeinhalt des Dampfes:

$$\text{a) Sattedampf: } \frac{25180}{1,438} \cdot 52 = 74 \text{ Kcal}$$

b) Überhitzter Dampf:

$$0,084 \cdot 1,438 \cdot (215 - 0,452 - 45 \cdot 0,44) = 9 \text{ Kcal}$$

$$185 \text{ Kcal}$$

e) Russ im Spaltgas

$$47 \text{ Kcal} = 1,3 \%$$

$$1.) \text{ Geb. Wärme: } 0,006 \cdot 7886 = 47,0 \text{ Kcal}$$

2.) Fühlb. Wärme:

$$0,006 \cdot 215 \cdot 0,290 = 0,4 \text{ Kcal}$$

$$47,4 \text{ Kcal}$$

f) Verluste durch Strahlung,
Leitung usw.:

$$121 \text{ Kcal} = 3,3 \%$$

$$3706 \text{ Kcal} = 100,0 \%$$

$$\left[\frac{470}{5037} \cdot \frac{18}{22,4} \right] + \frac{470 \cdot 23200}{25180} = 75 + 9 = 84 \text{ g/m}^3 \text{ Rauchgas}$$

(Wärmetemperatur = 45°)

F. Nachrechnung der Wärmetönung beim Spaltprozess

I. Bei einer Temperatur von 20°

1.)	$\frac{0,1415 \cdot 49,18}{0,0224}$	=	310,7 Kcal
2.)	$\frac{0,0484 \cdot 39,07}{0,0224}$	=	84,2 Kcal
3.)	$\frac{0,0192 \cdot 18,19}{0,0224}$	=	15,6 Kcal
4.)	$\frac{0,019 \cdot 47,27}{0,0224}$	=	40,1 Kcal
5.)	$\frac{0,001 \cdot 173,8}{0,0224}$	=	7,8 Kcal
			458,4 Kcal
6.)	$0,053 \cdot 2570$		136,3 Kcal
			322,1 Kcal
			=====

a) Wärmetönung der einzelnen Gasreaktionen

Aus den Heizwerten bzw. Bildungswärmen ^{angegeben} ergeben sich die einzelnen Wärmetönungen wie folgt:

- 1.) Für die Reaktion $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{CO} + 3 \text{H}_2$ zu -49,18 Kcal/ Mol.
- 2.) Für die Reaktion $\text{CH}_4 + 2 \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{CO}_2 + 4 \text{H}_2$ zu 39,07 Kcal/ Mol.
- 3.) Für die Reaktion $\text{CH}_4 \longrightarrow \text{C} + 2 \text{H}_2$ zu 18,19 Kcal/ Mol.
- 4.) Für die Reaktion $\text{C}_2\text{H}_4 + 2 \text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2 \text{CO} + 4 \text{H}_2$ zu 47,27 Kcal/ Mol.
- 5.) Für die Reaktion $\text{C}_6\text{H}_6 + 6 \text{H}_2\text{O} \longrightarrow 6 \text{CO} + 9 \text{H}_2$ zu 173,8 Kcal/ Mol.
- 6.) Für die Reaktion $\text{H}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2 \longrightarrow \text{H}_2\text{O}$ zu 57,59 Kcal/ Mol.
(u. Eisen)

b) Gesamtwärmetönung

Die Angaben beziehen sich auf 1 m³ Koks gas

$$1.) \frac{0,1415 \cdot 49,18}{0,0224} = 310,7 \text{ Kcal}$$

$$2.) \frac{0,0484 \cdot 39,07}{0,0224} = 84,2 \text{ Kcal}$$

$$3.) \frac{0,0192 \cdot 18,19}{0,0224} = 15,6 \text{ Kcal}$$

$$4.) \frac{0,019 \cdot 47,27}{0,0224} = 40,1 \text{ Kcal}$$

$$5.) \frac{0,001 \cdot 173,8}{0,0224} = 7,8 \text{ Kcal}$$

$$- 458,4 \text{ Kcal}$$

$$6.) 0,053 \cdot 2570$$

$$+ 136,5 \text{ Kcal} \quad 138,8$$

$$\underline{\underline{322,1 \text{ Kcal} \quad 319,6}}$$

(Gehirntene Wärme d.)

$$\text{Heizwert des Spaltgases: } 2424 \cdot 1,71 = 4146 \text{ Kcal/m}^3 \text{ Ko.Gas}$$

$$\text{Heizwert des Russes: } 0,006 \cdot 1,71 \cdot 7886 = 81 \text{ Kcal/m}^3 \text{ Ko.Gas}$$

$$\text{Gesamte latente Wärme d. Spaltgases} = 4227 \text{ Kcal/m}^3 \text{ Ko.Gas}$$

$$\text{Heizwert des Koks gases} = 3908 \text{ Kcal/m}^3 \text{ Ko.Gas}$$

Nachgewiesen im Spaltgas

Zugeführt wurden

Die Differenz beträgt dann

$$319 \text{ Kcal/m}^3 \text{ Ko.Gas}$$

$$319,63221 \text{ Kcal/m}^3 \text{ Ko.Gas}$$

$$58,96 \text{ Kcal/m}^3 \text{ Ko.Gas}$$

$$= \text{ca. } 17,9\%$$

II. Bei einer Temperatur von 400° (Spaltgasaustrittstemperatur)

a) Umrechnung der Reaktionswärmen und der Heizwerte von 20° auf 400° .

Für die Reaktion $\text{CH}_4 + \text{H}_2 \longrightarrow \text{CO} + 3 \text{H}_2$ war die Wärmetönung bei 20° 49,18 Kcal, also ergibt sich für 400° :

$$\begin{aligned}
 & -49,18 + \text{CH}_4 \cdot (t_2 \cdot c_{p\text{CH}_4} - t_1 \cdot c_{p\text{CH}_4}) + \text{H}_2 \cdot (t_2 \cdot c_{p\text{H}_2} - t_1 \cdot c_{p\text{H}_2}) - \text{CO} \cdot (t_2 \cdot c_{p\text{CO}} - t_1 \cdot c_{p\text{CO}}) - 3 \cdot \text{H}_2 \cdot (t_2 \cdot c_{p\text{H}_2} - t_1 \cdot c_{p\text{H}_2}) = \\
 & -49,18 + 0,0224 \cdot (400 \cdot 0,482 - 20 \cdot 0,370) + \\
 & 0,0224 \cdot (400 \cdot 0,372 - 20 \cdot 0,358 \cdot 80,9) - 0,0224 \cdot (400 \cdot 0,318 - 20 \cdot 0,311) - 3 \cdot 0,0224 \cdot (400 \cdot 0,311 - 20 \cdot 0,306) \\
 & = -53,0 \text{ Kcal}
 \end{aligned}$$

Für die übrigen Reaktionen und Heizwerte werden die Wärmetönungen entsprechend umgerechnet.

Sie ^{errechnen} sich für die

Reaktion 2	zu	44,39 Kcal / Mol.
"	3	zu 20,75 Kcal / Mol.
"	4	zu 52,42 Kcal / Mol.
"	5	zu 186,21 Kcal / Mol.
"	6	zu 58,90 Kcal / Mol.

Für den Heizwert des Spaltgases

zu 2473 Kcal / m^3

Und den

Der Koks gasheizwert

zu 3968 Kcal / m^3

b) Gesamtwärmetönung

$$1.) \frac{0,1415 \cdot 53,0}{0,0224}$$

$$= 335,0 \text{ Kcal}$$

$$2.) \frac{0,0484 \cdot 44,39}{0,0224}$$

$$= 96,8 \text{ Kcal}$$

$$3.) \frac{0,0192 \cdot 20,75}{0,0224}$$

$$= 17,8 \text{ Kcal}$$

$$4.) \frac{0,019 \cdot 52,42}{0,0224}$$

$$= 44,4 \text{ Kcal}$$

$$5.) \frac{0,001 \cdot 186,21}{0,0224}$$

$$= 8,3 \text{ Kcal}$$

$$6.) \frac{0,054 \cdot 58,90}{0,0224}$$

$$= 502,3 \text{ Kcal}$$

$$= 139,5 \text{ Kcal} \quad 142$$

$$362,8 \text{ Kcal}$$

$$365,3$$

*Gehinderte/
Wärme des*

Heizwert des Spaltgases: 2473 · 1,71

$$= 4229 \text{ Kcal/m}^3 \text{ Ko.G.}$$

Heizwert des Russes:

$$= 81 \text{ Kcal/m}^3 \text{ Ko.G.}$$

Gesamte latente Wärme im Spaltgas

$$4310 \text{ Kcal/m}^3 \text{ Ko.G.}$$

Heizwert des Koksgases

$$3968 \text{ Kcal/m}^3 \text{ Ko.G.}$$

Nachgewiesen im Spaltgas

$$342 \text{ Kcal/m}^3 \text{ Ko.G.}$$

Zugeführt wurden

$$365,3 \text{ Kcal/m}^3 \text{ Ko.G.}$$

Die Differenz beträgt also

$$13,3 \text{ Kcal/m}^3 \text{ Ko.G.}$$

$$= 5,7\%$$

*Als solchen Grunde die Differenz für eine Temp. von 400 °C
sowies mit als für 20 °C, bedarf noch der Klärung*