

1928A-9

STICKSTOFF-ABTEILUNG
Hb/Op. 462.

Oppau, den 9. Januar 1941/Lo.

900000053

Kokereigasspaltung K-Anlage.

Zu verarbeiten sind 7 000 m³/h Kokereigas in 1 System.

Analysenschema:

	Eingangs-Analyse Teile	CH-Reaktion	H-Reaktion		Wassergas-Reaktion	Ausgangs-analyse Teile	%	
CO ₂	0,036	+0,1585 O ₂	0,036	+0,0098	0,036	+ 0,029	0,065	4,0
CO	0,066		0,383		0,383	- 0,029	0,354	21,8
H ₂	0,542		1,128		1,118	+ 0,029	1,147	70,3
CH ₄	0,272		0,003		0,003		0,003	0,2
C ₂ H ₄	0,024		-		-		-	
N ₂	0,060		0,060		0,060		0,060	3,7
Trocken-gas	1,000						1,629	
m ³ H ₂ O	0,340		0,340		0,360	- 0,029	0,331	
g H ₂ O	250						243	

$K = 1,57$
theoret.
bei 975°

I. Berechnung des CH₄-Konverters.

a) Sauerstoffbedarf = 0,1585 + 0,0098 = 0,1683 m³/m³ Kokereigas.

b) Wärmebilanz des Konverters.

Wärmeerzeugung:



Wärmetönung: bei 0°: +8,42 WE/Mol = 344 WE/m³;

bei 700°: 275 WE/m³

0,269 · 275 =

74,0



Wärmetönung : bei 0°: +64,94 WE/Mol = 2650 WE/m³;

bei 700°: 2450 WE/m³

0,024 · 2450 =

58,8

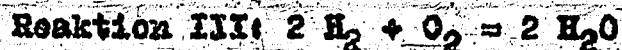
132,8

Ausgang des O₂-Verbrauch

0,9 m³ O₂ / 1000 m³ Feingas

./.

Übertrag: 152,8



Wärmetönung: bei 0° : $+115,72 \text{ WE/Mol} = 4720 \text{ WE/m}^3$;
 bei 700° : 4895 WE/m^3

$$0,0098 \cdot 4895 = 47,9$$


Wärmetönung: bei 0° : $+9,76 \text{ WE/Mol} = 399 \text{ WE/m}^3$;
 bei 700° : 331 WE/m^3 ;
 bei 360° : 372 WE/m^3

$$0,029 \cdot 331 = 9,6$$

Durch Reaktion erzeugte Wärme (WE/m^3 Kokereigas) 190,3

Wärmeverbrauch:

Anheizung des Spaltgases von $700 \longrightarrow 975^\circ$

$$\Delta T \cdot c_p = 275 \cdot 0,643 = 176,9$$

Spez. Wärme d. Spaltgases bei 900°

$$\text{CO}_2: 0,065 \cdot 0,573 = 0,037$$

$$\text{CH}_4: 0,003 \cdot 1,150 = 0,003$$

$$\text{H}_2\text{O}: 0,331 \cdot 0,430 = 0,142$$

$$\text{zweistomig: } 1,561 \cdot 0,333 = 0,520$$

$$0,702 \cdot 0,917 = 0,643$$

Wärmeverluste: $\frac{700 \cdot F}{7000} = \frac{700 \cdot 137}{7000} = 13,7$

Berechnung der ableitenden Fläche F:

Die Oberfläche des Ofens bis zum Kontaktende ist 100 m^2

Die Leitung für Kokereigas vom Wärmetauscher bis zum Ofeneingang hat eine Fläche von: 29 m^2

Die Leitung für Sauerstoff vom Wärmetauscher bis zum Ofeneingang hat eine Fläche von: 8 m^2

Ableitende Fläche F: 137 m^2

Gesamtwärmeverbrauch (WE/m^3 Kokereigas) = 190,6

II. Abkühlung des Spaltgases.

a) Wärmeinhalt des Spaltgases am Ausgang des Kontaktofens.

Fühlbare Wärme: $T \cdot c_p = 975 \cdot 0,613 = 598$

Mittl. spez. Wärme d. Spaltgases von 0° bis 1000° .

$$\text{CO}_2: 0,065 \cdot 0,514 = 0,033$$

$$\text{CH}_4: 0,003 \cdot 0,811 = 0,002$$

$$\text{H}_2\text{O}: 0,331 \cdot 0,396 = 0,131$$

$$\text{zweistomig: } 1,561 \cdot 0,321 = 0,502$$

$$0,668 \cdot 0,917 = 0,613$$

598

-/-

	Übertrag: 598
Kondensationswärme des Wassers 0,243.595 =	144,5
Wärmeinhalt am Ausgang des Kontaktofens (WE/m ³ Kokereigas) =	742,5

b) Abkühlung auf 875°.

Bis zum Eintritt in den Wärmetauscher soll das Spaltgas durch eine Kühlschlange auf 875° abgekühlt werden. Die fühlbare Wärme soll an das Kühlwasser abgegeben werden.

Fühlbare Wärme bei 875°: $T \cdot \bar{c}_p = 875 \cdot 0,607 = 531$

Mittl. spez. Wärme des Spaltgases von 0 bis 900°:

CO ₂ :	0,065.0,507 = 0,033
CH ₄ :	0,005.0,768 = 0,002
H ₂ O:	0,331.0,392 = 0,130
zweiatomig:	1,561.0,319 = 0,498
	0,663.0,917 = 0,607

Kondensationswärme des Wassers (siehe a)	= 144,5
Wärmeinhalt am Eingang des Wärmetauschers	675,5 WE
Abzugebende Wärme: 742,5 - 675,5 = 67 WE/m ³ Kokereigas	
Davon gehen durch Ableitung verloren $\frac{700 \cdot F}{7000} = \frac{700 \cdot 100}{7000} = 10$ WE	

Berechnung der ableitenden Fläche F:

Fläche des Ofens unterhalb des Kontaktes: 25 m²
Leitungen bis zum Eingang des Wärmetauschers $\frac{75 \cdot m^2}{100} = 0,75 m^2$

Das Kühlwasser hat aufzunehmen 67-10 = 57 WE/m³ Kokereigas.

c) Wärmetauscher.

Wärmeabgabe an die Eingangsgase.

In den Wärmetauschern sollen die Eingangsgase auf 700° erwärmt werden.

Wärmeinhalt der Eingangsgase bei 700° = $700 \cdot c_p + W_{L_0} = 700 \cdot 0,555 + 0,250 \cdot 595 = 537,5$ WE/m³ Kokereigas.

Mittlere spez. Wärme der Eingangsgase von 0° bis 700°.

CO ₂ :	0,036.0,491 = 0,018
CH ₄ :	0,272.0,683 = 0,186
C ₂ H ₄ :	0,024.0,638 = 0,015
H ₂ O:	0,250.0,478 = 0,120
zweiatomig:	0,836.0,317 = 0,266
	0,605.0,917 = 0,555

Im Sättiger wird das Kokereigas mit 250 g H₂O beladen und auf 70,8° erwärmt. (Vergl. Abschn. III. 1)
 Wärmeinhalt des Kokereigases am Ausgang des Sättigers = 179,3 WE/m³ Kokereigas. Der Sauerstoff wird mit 15° und praktisch trocken in den Wärmetauscher gefahren. Sein Wärmeinhalt bei 15° beträgt: 15.0,283.0,1683 = 0,7 WE.
 Im Wärmetauscher gibt das Spaltgas an die Eingangsgase ab:
 537,5 - (179,3 + 0,7) = 357,5 WE.

Wärmeverlust durch Ableitung.

Durch Ableitung verliert das Spaltgas im Wärmetauscher
 $\frac{500 \cdot 2}{7000} = \frac{500 \cdot 145}{7000} = 10,4$ WE.

Das Spaltgas hat also am Ausgang der Wärmetauscher einen Wärmeinhalt von 675,5 - (357,5 + 10,4) = 675,5 - 367,9 = 307,6 WE/m³ Kokereigas.

Das Spaltgas kühlt sich in den Wärmetauschern um $\sim \frac{367,9}{0,643} = 572$ ° ab. Es verlässt also die Wärmetauscher mit $\sim 875 - 572 = 313$ °.

III. Das Kühler-Verdunstersystem.

a) Wärmebilanz des Wasserkreislaufes.

Die Wärmebilanz des Wassers im Kühler-Verdunsterkreislauf lautet:

Im Verdunster an das Kokereigas abgegebene Wärme = Wärmeinhalt des Frischkondensats + im Kühler vom Spaltgas aufgenommene Wärme + in der Kühlschlange aufgenommene Wärme.

1) Im Verdunster an das Kokereigas abgegebene Wärme.

Wärmeinhalt des mit Dampf gesättigten Kokereigases = $c_p \cdot T + W \cdot h$
 bei P = 1,3 ata = 956 mm Hg ist der Wassergehalt W = $\frac{p}{956-p}$

$\frac{18}{24,3} = 0,735 \cdot \frac{p}{956-p}$ kg/m³ Kokereigas.

Spez. Wärme der Eingase: (Mittlere von 0°-100°)

CO₂: 0,036.0,409 = 0,015
 CH₄: 0,272.0,429 = 0,117
 O₂H₄: 0,024.0,471 = 0,012
 zweiatomig: 0,668.0,311 = 0,208
 0,352.0,917 = 0,322

15°	p = 12,8 mm Hg	W = 0,0100	W.L. _p = 6,01
			c _p · T = 4,82
		Wärmeinhalt	= 10,84
30°	p = 31,8 mm Hg	W = 0,0257	W.L. _p = 15,4
			c _p · T = 9,7
		Wärmeinhalt	= 25,1
45°	p = 71,9 mm Hg	W = 0,0598	W.L. _p = 36,8
			c _p · T = 14,2
		Wärmeinhalt	= 51,2
60°	p = 149,4 mm Hg	W = 0,136	W.L. _p = 84,9
			c _p · T = 19,3
		Wärmeinhalt	= 104,8
65°	p = 171,4 mm Hg	W = 0,161	W.L. _p = 100,0
			c _p · T = 20,2
		Wärmeinhalt	= 120,3
70°	p = 255,7 mm Hg	W = 0,239	W.L. _p = 150,0
			c _p · T = 22,2
		Wärmeinhalt	= 172,5
70,8°	p = 242 mm Hg	W = 0,250	W.L. _p = 156,5
			c _p · T = 22,8
		Wärmeinhalt	= 179,3

Der Wärmeinhalt des 70,8° warmen, mit 250 g H₂O beladenen Kokereigases beträgt am Ausgang des Verdunsters 179,3 WE

Wärmeinhalt des 15° warmen, trockenen Kokereigases am Eingang des Verdunsters 4,8 WE

Im Verdunster werden an das Kokereigas übertragen 174,5 WE/m³ Kokereigas

2.) Wärmeinhalt des Frischkondensats.

Das Frischkondensat wird mit 15° eingebracht. Seine Menge hängt davon ab, wieviel Wasser im Kühler auskondensiert bzw. noch gebraucht wird, hängt also von der im Kühler dem Spaltgas entzogenen Wärmemenge ab. Da der Wärmeinhalt des Frischkondensats gering ist, folgt der Kondensatbedarf aus einer Näherungsrechnung, bei der man die von Frischkondensat ein-

gebrachte Wärme grössenordnungsmässig ansetzt. Die zweite Durchrechnung der Wärmebilanz liefert dann den genauen Kondensatbedarf.

Die Eingase nehmen im Verdunster auf:	250 g H ₂ O
Das Spaltgas nimmt im Kühler auf 267-243 =	24 g H ₂ O
Bedarf an Frischkondensat	274 g H ₂ O/m ³ Kokereigas.

Wärmeinhalt des Frischkondensats = 0,274 · 15 = 4,1 WE/m³ Kokereigas.

3) In der Kühlschlange nimmt das Wasser 57 WE/m³ Kokereigas auf (vergl. Abschnitt II b).

4) Im Kühler sind also dem Spaltgas 174,5 - 4,1 - 57 = 113,4 WE/m³ Kokereigas zu entziehen.

Wärmeinhalt des mit Wasser gesättigten Spaltgases = $c_p \cdot T + W \cdot L_v$

bei einem Druck von 800 mm Hg ist der Wassergehalt $W = \frac{p}{800-p} \cdot 1,629 \cdot \frac{15}{24,5} = 1,195 \cdot \frac{p}{800-p}$ kg/m³ Kokereigas.

Mittl. spez. Wärme des Spaltgases von 0°-100°.

CO ₂ :	0,065 · 0,409 =	0,027
CH ₄ :	0,005 · 0,429 =	0,001
zweiatomig:	1,561 · 0,311 =	0,486
	0,514 · 0,917 =	0,471.

15°	p = 12,8 mm Hg	W = 0,0194	W · L _v = 11,65
			$c_p \cdot T = 7,05$
		Wärmeinhalt	= 18,7

59°	p = 142,6 mm Hg	W = 0,259	W · L _v = 161,0
			$c_p \cdot T = 27,8$
		Wärmeinhalt	= 188,8

60°	p = 149,4 mm Hg	W = 0,274	W · L _v = 170,5
			$c_p \cdot T = 28,2$
		Wärmeinhalt	198,7

66°	p = 214,2 mm Hg	W = 0,437 kg	W · L _v = 274,0
			$c_p \cdot T = 32,0$
		Wärmeinhalt	= 306,0

$$69^{\circ} \quad p = 225,7 \text{ mm Hg} \quad W = 0,465 \text{ kg} \quad W.L_p = 290,0$$

$$\quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad c_p \cdot T = 22,5$$

$$\quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \text{Wärmeinhalt} = 322,5.$$

Das Spaltgas tritt mit einem Wärmeinhalt von $307,6 \text{ WE/m}^3$ Kokereigas in den Kühler ein (vergl. Abschnitt IIc). Einen Wärmeinhalt von diesem Betrag entspricht ein Ausgleichspunkt von $68,1^{\circ}$. In Kühler kann das Kühlwasser durch das Spaltgas auf $\sim 65,5^{\circ}$ aufgeheizt werden.

Im Kühler muss das Spaltgas an das Wasser $113,4 \text{ WE/m}^3$ Kokereigas übertragen. Am Ausgang des Kühlers hat das Spaltgas also einen Wärmeinhalt von $307,6 - 113,4 = 194,2 \text{ WE/m}^3$ Kokereigas. Der Taupunkt liegt bei $59,5^{\circ}$. Sein Wassergehalt beträgt $267 \text{ g H}_2\text{O/m}^3$ Kokereigas. Im Kühler nimmt das Spaltgas also noch $267 - 243 = 24 \text{ g H}_2\text{O}$ auf.

b) Bestimmung der Wassermenge.

Die Wassermenge im Kühler-Verdunsterkreislauf ist durch die Forderung festgelegt, dass das Kokereigas am Ausgang des Verdunsters den gewünschten Wassergehalt von 250 g besitzen. Der Taupunkt bei diesem Wassergehalt ist $70,8^{\circ}$. Das Wasser muss also in den Verdunster mit $\sim 75^{\circ}$ eingefahren werden. Im Kühler wird das Wasser auf $65,5^{\circ}$ erwärmt. Die Wassermenge ist also so zu wählen, dass die in der Kühlschlange übertragenen 57 WE das Wasser von $65,5^{\circ}$ auf 75° erwärmen. $W = \frac{57}{7,6} = 7,6 \text{ kg H}_2\text{O/m}^3$ Kokereigas in der Kühlschlange. Am Ausgang der Kühlschlange stehen also $7,6 \text{ kg H}_2\text{O}$ von 75° , d.h. mit einem Wärmeinhalt von 555 WE zur Verfügung. Im Verdunster werden $250 \text{ g H}_2\text{O}$ und $174,5 \text{ WE}$ abgegeben. Den Verdunster verlassen also $7,35 \text{ kg H}_2\text{O}$ mit einem Wärmeinhalt von $380,5 \text{ WE}$ d.h. mit einer Temperatur von $51,8^{\circ}$. Die Zugabe des Frischkondensats erhöht die Wassermenge auf $7,624 \text{ kg}$, den Wärmeinhalt auf $384,6 \text{ WE}$. Das Wasser tritt also in den Kühler mit $50,5^{\circ}$ ein. Im Kühler werden $24 \text{ g H}_2\text{O}$ abgegeben und $113,4 \text{ WE}$ aufgenommen. Den Kühler verlassen $7,6 \text{ kg H}_2\text{O}$ mit einem Wärmeinhalt von 498 WE und einer Temperatur von $65,5^{\circ}$. In der Kühlschlange nehmen die $7,6 \text{ kg}$

900000060

noch 57 WE auf und erhöhen ihre Temperatur auf $73,0^{\circ}$.

c) Schlusskühler.

Das Spaltgas verlässt den Kühler I mit einem Wärmeinhalt von $194,2 \text{ WE/m}^3$ Kokereigas. Im Schlusskühler soll es auf 15° abgekühlt werden. Es sind ihm also $194,2 - 18,7 = 175,5 \text{ WE/m}^3$ Kokereigas zu entziehen. Das Kühlwasser soll sich dabei von $12,5^{\circ}$ auf 50° erwärmen.

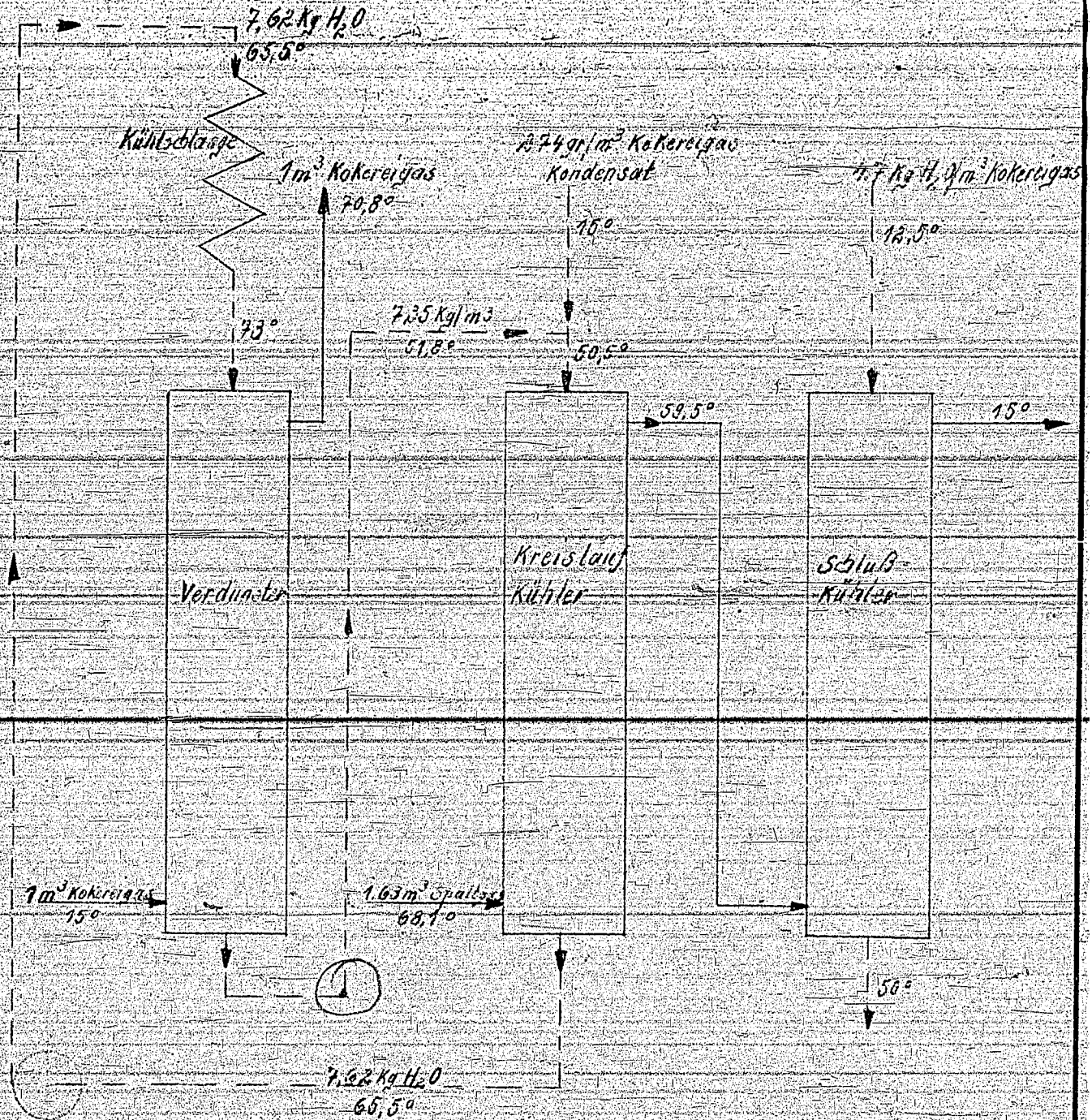
Der Kühlwasserbedarf beträgt $\frac{175,5}{37,5} = 4,7 \text{ kg/m}^3$ Kokereigas.

Barthelme

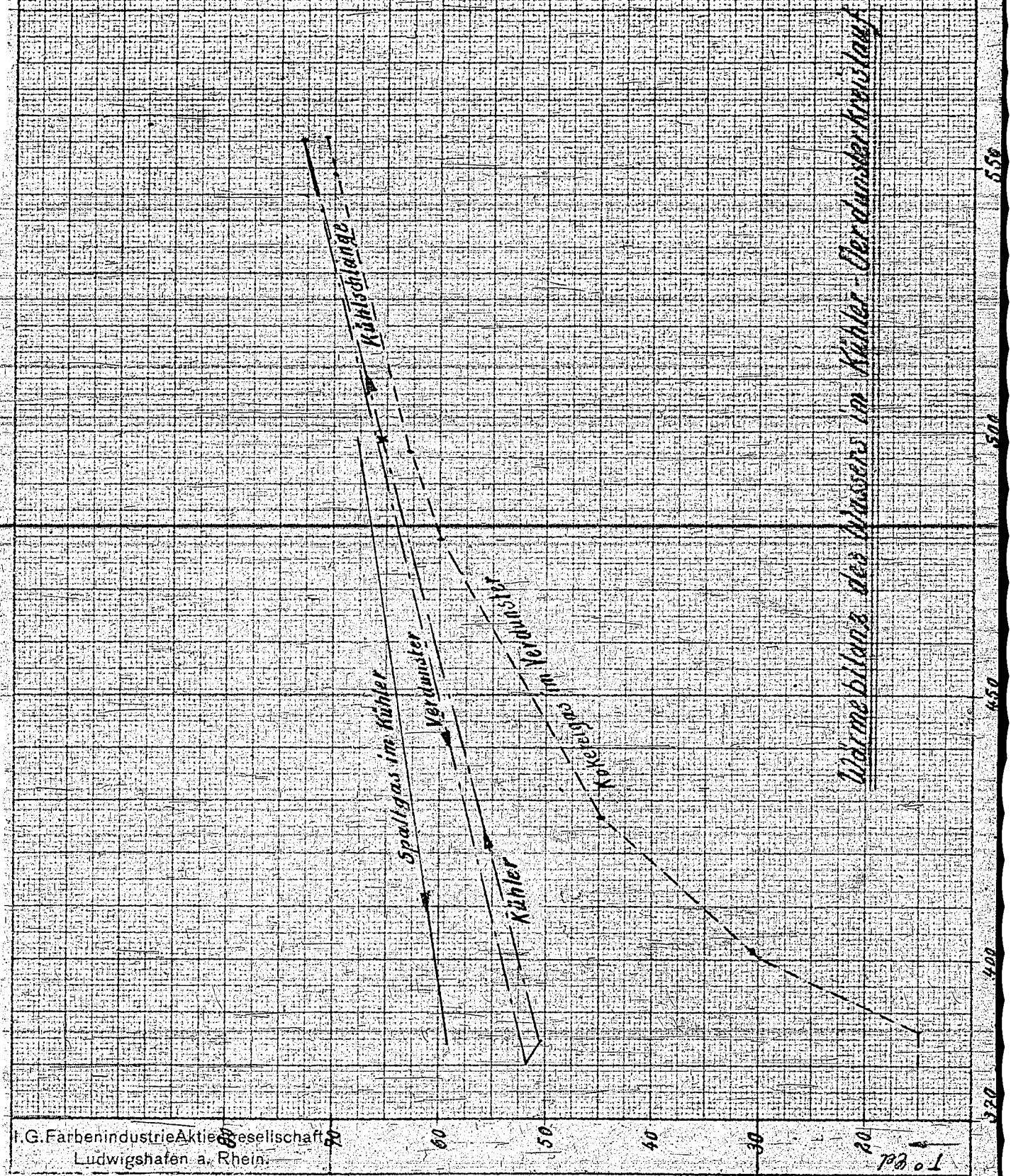
K-Anlage

Kühler-Verdunstersystem

900000061



9000000062



I.G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft
 Ludwigshafen a. Rhein.

Dr. Ing.-Förstner & Co. (210 x 292 mm)

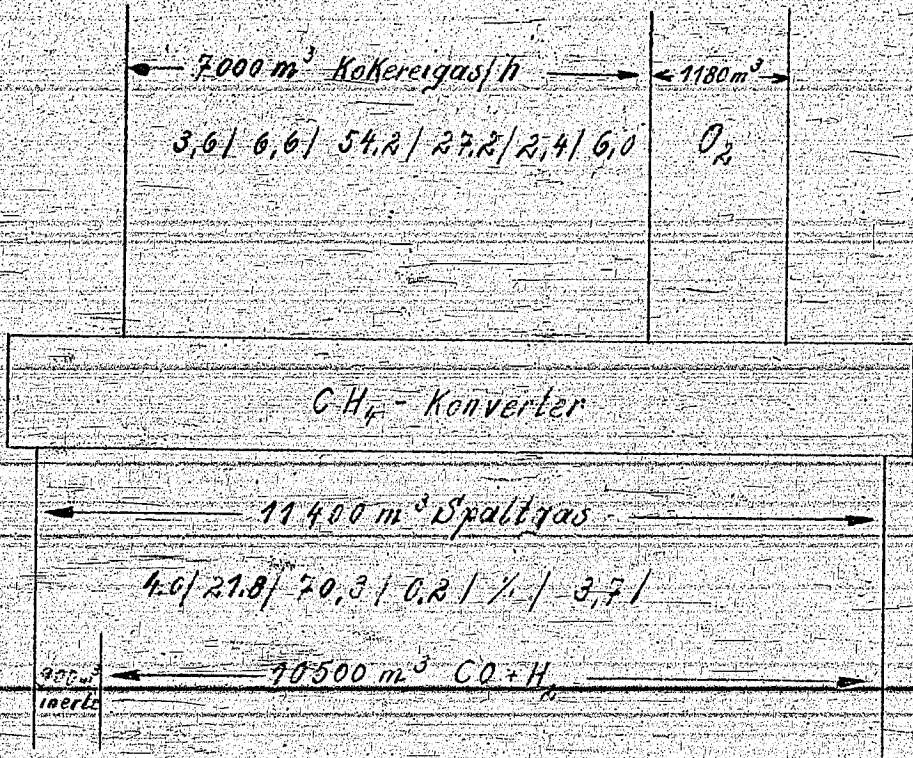
T in °C
 D in g/kg

60 50 40 30 20
 380 400 450 500 550

K-Anlage

900000063

56,2 Mill. Nm³ Kokereigas/Jahr
 = 61,3 Mill. m³ (15° 735 m) Kokereigas/Jahr
 = 7000 m³ Kokereigas/h



Reihenfolge der Analysenzahlen
 CO₂ / CO / H₂ / CH₄ / C₂H₄ / N₂ /

