

N Anlage ohne CO Konverter

1928 A - 13

STICKSTOFF-ABTEILUNG
EB/Op. 462

1300000,9

3. Juni 1941. O.

Kokereigasspaltung N - Anlage Heydsbreck.

Zu verarbeiten sind 7 000 m³/h Kokereigas pro System.

Analysenschema: Tabelle 1.

I. Berechnung des CH₄-Konverters.

a) Luft- und Sauerstoffbedarf im CH₄-Konverter.

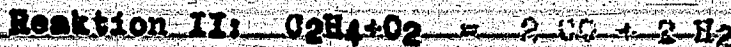
Zur Einführung von 0,42 m³ H₂ können 0,538 m³ Luft eingebracht werden. Diese bringen 0,1125 m³ O₂ mit. Als Reinsauerstoff sind somit noch 0,0631 m³/m³ Eingangsgas einzuführen.

b) Wärmebilanz des CH₄-Konverters.

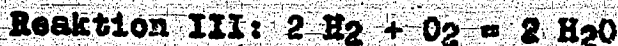
Wärmeerzeugung:



Wärmetönung: bei 0°: + 8,42 WE/Mol = 344 WE/m³;
bei 700°: 275 WE/m³.
0,269 · 275 = 74,0



Wärmetönung: bei 0°: + 64,9 WE/Mol = 2650 WE/m³;
bei 700°: 2450 WE/m³.
0,024 · 2450 = 58,8



Wärmetönung: bei 0°: + 115,72 WE/Mol = 4720 WE/m³;
bei 700°: 4895 WE/m³.
0,0171 · 4895 = 83,6



Wärmetönung: bei 0°: + 9,76 WE/Mol = 399 WE/m³;
bei 700°: 331 WE/m³;
bei 360°: 372 WE/m³.
0,032 · 331 = 10,6

Durch Reaktion erzeugte Wärme (WE/m³ Kokereigas) + 227,0

130000030

Tabelle 1

	Eingangs- analyse Teile	O-H- Reak- tion		H - Reak- tion		Wasser- gas-Re- aktion	Spaltgas Teile	%
CO ₂	0,036		0,036		0,036	+0,032	0,068	3,4
CO	0,066	+0,1585 O ₂	0,383	+0,0171 O ₂	0,383	-0,032	0,351	17,3
H ₂	0,542		1,128		1,092	+0,032	1,124	55,5
CH ₄	0,272		0,003		0,003		0,003	0,15
C ₂ H ₄	0,024		-		-		-	-
N ₂	0,060		0,060	+0,420 N ₂	0,480		0,480	23,7
Trockengas	1,000						2,026	
m ³ H ₂ O	0,340		0,340		0,374	-0,032	0,342	
g H ₂ O	250						251	

K = 1,57
theoret. bei 975°

Wärmeverbrauch:

Aufheizung des Spaltgases von 700 → 975°

$$\Delta T \cdot c_p = 275 \cdot 0,770 = 211,8$$

Spez. Wärme des Spaltgases bei 900° ;

CO ₂ :	0,068	·	0,573	=	0,039
CH ₄ :	0,003	·	1,150	=	0,003
H ₂ O :	0,342	·	0,430	=	0,147
zweiatomig :	1,955	·	0,333	=	0,651
				=	0,840 · 0,917 = 0,770

Wärmeverluste:

Die Oberfläche des Ofens beträgt bis zum Kontaktende 100 m²

Die Leitungen für das Kokereigas vom Ende des Wärmeaustauschers bis zum Eingang in den Ofen haben eine Oberfläche von 29 m²

Die Leitungen für die Luft und den Sauerstoff vom Ende des Wärmeaustauschers bis zum Ofen-Eingang haben eine Oberfläche von 16 m²

Ableitende Oberfläche ~ 145 m²

Pro m² Oberfläche werden 700 WE/h abgeleitet

$$\text{Wärmeableitung/m}^3 \text{ Kokereigas} = \frac{145 \cdot 700}{1000} = 14,5$$

$$\text{Gesamtwärmeverbrauch (WE/m}^3 \text{ Kokereigas)} = 226,3$$

II. Abkühlung des Spaltgases auf den Taupunkt.

a) **Wärmeinhalt des Spaltgases am Ausgang des Kontaktofens:**

$$\text{Fühlbare Wärme : } T \cdot c_p = 975 \cdot 0,732 = 713$$

Mittl. spez. Wärme des Spaltgases von 0 bis 1000° ;

CO ₂ :	0,068	·	0,514	=	0,035
CH ₄ :	0,003	·	0,811	=	0,002
H ₂ O :	0,342	·	0,396	=	0,135
zweiatomig :	1,955	·	0,321	=	0,626
				=	0,798 · 0,917 = 0,732

$$\text{Kondensationswärme des Wassers : } 0,251 \cdot 595 = 149,5$$

$$\text{Wärmeinhalt am Ausgang des Kontaktofens (WE/m}^3 \text{ Kokereigas)} = 862,5$$

b) Abkühlung auf 875°.

Bis zum Eintritt in die Wärmetauscher soll das Spaltgas durch eine indirekte Wasserkühlung auf 875° abgekühlt werden. Die fühlbare Wärme wird an das Kühlwasser abgegeben.

Wärmeinhalt bei 875° :

Fühlbare Wärme : $T \cdot c_p = 875 \cdot 0,730 = 639 \text{ WE}$

Mittl. spez. Wärme des Spaltgases von 0° - 900°

CO₂ : $0,068 \cdot 0,507 = 0,034$
 CH₄ : $0,003 \cdot 0,768 = 0,002$
 H₂O : $0,342 \cdot 0,392 = 0,134$
 zweiatomig : $1,955 \cdot 0,321 = 0,626$

$0,796 \cdot 0,917 = 0,730$

Kondensationswärme des Wassers (siehe a) = 149,5 WE

Wärmeinhalt bei 875° (WE/m³ Kokereigas) = 788,5 WE

An das Kühlwasser sind also $862,5 - 788,5 = 74 \text{ WE/m}^3$ Kokereigas abzugeben.

c) Wärmetauscher.

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

Der Wärmeinhalt der Eingangsgase bei 700° beträgt $700 \cdot c_p + W \cdot L_0$

Fühlbare Wärme = $700 \cdot 0,690 = 483$

Mittl. spez. Wärme der Eingangsgase von 0° - 700°:

CO₂ : $0,036 \cdot 0,491 = 0,018$
 CH₄ : $0,272 \cdot 0,683 = 0,186$
 C₂H₄ : $0,024 \cdot 0,638 = 0,015$
 zweiatomig : $1,269 \cdot 0,317 = 0,402$

H₂O : $0,250 \cdot 0,478 = 0,120$

$0,621 \cdot 0,917 = 0,570$

= 0,120

0,690

Kondensationswärme des Wassers = $0,250 \cdot 595 = 148,9$

Wärmeinhalt der Eingangsgase bei 700° (WE/m³ Kokereigas) = 631,9

Das Kokereigas wird im Sättiger auf 70,8° erwärmt und mit 250 gr H₂O beladen.

Der Wärmeinhalt des Kokereigases beträgt am Ausgang des Sättigers 179,3 WE (vergl. Abschnitt III).

Das Luft-Sauerstoffgemisch wird mit 15° und praktisch trocken in den Wärmetauscher gefahren. Sein Wärmeinhalt bei 15° beträgt :

$$15 \cdot 0,285 \cdot 0,483 = 2,07 \text{ WE/m}^3 \text{ Kokereigas.}$$

Der Wärmeinhalt der Eingangsgase beträgt also am Eintritt in die Wärmetauscher $179,3 + 2,1 = 181,4 \text{ WE/m}^3 \text{ Kokereigas.}$

In den Wärmetauschern werden aufgenommen $632,9 - 181,4 = 451,5 \text{ WE/m}^3 \text{ Kokereigas.}$

Das Spaltgas verliert außerdem durch Ableitung

$$\frac{F \cdot 500}{7000} = \frac{175 \cdot 500}{7000} = 12,5 \text{ WE/m}^3 \text{ Kokereigas.}$$

Der Wärmetauscher für Kokereigas hat eine Fläche von 115 m^2

Der Wärmetauscher für $\text{O}_2 + \text{Luft}$ hat eine Fläche von 60 m^2

Gesamtfläche der Wärmetauscher = 175 m^2

Das Spaltgas verliert in den Wärmetauschern $451,5 + 12,5 = 464 \text{ WE}$.

Sein Wärmeinhalt am Ausgang der Wärmetauscher beträgt also

$$788,5 - 464 = 324,5 \text{ WE/m}^3 \text{ Kokereigas.}$$

Das Spaltgas kühlt sich in den Wärmetauschern um $\sim \frac{464}{0,72} = 603^{\circ}$ ab.

Es verläßt also die Wärmetauscher mit $\sim 875 - 603 = 273^{\circ}$.

Im Wärmetauscher für das Kokereigas wird die gleiche Gasmenge auf die gleiche Temperatur aufgeheizt wie bei der K-Anlage. Ebenso tritt das Spaltgas mit der gleichen Temperatur in den Wärmetauscher ein. Es soll deshalb auch die gleiche Spaltgasmenge durch den Wärmetauscher fließen, d.h. der gleiche Wärmetauscher verwendet werden wie bei der K-Anlage. Der Rest des Spaltgases ($\sim 30\%$) werden zur Aufheizung des Luft-Sauerstoffgemisches verwendet.

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 = $c_p \cdot T + W \cdot L_T$

bei $P = 1,3 \text{ ata} = 956 \text{ mm Hg}$ ist der Wassergehalt

$$W = \frac{P}{956 - P} \cdot \frac{18}{24,5} = 0,735 \cdot \frac{P}{956 - P} \text{ kg/m}^3 \text{ Kokereigas.}$$

Spez. Wärme des Kokereigases: (Mittlere von $0^\circ - 100^\circ$)

CO ₂ :	0,036	·	0,409	=	0,015
CH ₄ :	0,272	·	0,429	=	0,117
C ₂ H ₄ :	0,024	·	0,471	=	0,012
zweiatomig:	0,668	·	0,311	=	0,208
					0,352
					·
					0,917
					=
					0,322

15° $p = 12,8 \text{ mm Hg}$ $W = 0,0100$ $W \cdot L_T = 6,01$
 $c_p \cdot T = 4,83$
 Wärmeinhalt = 10,84

30° $p = 31,8 \text{ mm Hg}$ $W = 0,0253$ $W \cdot L_T = 15,4$
 $c_p \cdot T = 9,7$
 Wärmeinhalt = 25,1

45° $p = 71,9 \text{ mm Hg}$ $W = 0,0598$ $W \cdot L_T = 36,8$
 $c_p \cdot T = 14,5$
 Wärmeinhalt = 51,2

60° $p = 149,4 \text{ mm Hg}$ $W = 0,136$ $W \cdot L_T = 84,5$
 $c_p \cdot T = 19,3$
 Wärmeinhalt = 103,8

70,8° $p = 42 \text{ mm Hg}$ $W = 0,250$ $W \cdot L_T = 156,5$
 $c_p \cdot T = 22,8$
 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 WW

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

2) Wärmeinhalt des Frischkondensats.

Das Frischkondensat werde 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 vom Frischkondensat eingebrachte Wärme größenordnungsmässig ansetzt. Die zweite Durchrechnung der Wärmebilanz liefert dann den genauen Kondensatbedarf.

Das Kokereigas nimmt im Verdunster auf	250 g H ₂ O
Das Spaltgas nimmt im Kühler auf 313-251 =	<u>62 g H₂O</u>
Gesamtbedarf an Frischkondensat	312 g H ₂ O

Der Wärmeinhalt des Frischkondensats beträgt $0,312 \cdot 15 = 4,7$ WE m³ Kokereigas.

3) In der Kühlschlange nimmt das Wasser 74 WE auf (vergl. Abschnitt II b).

4) Im Kühler sind also dem Spaltgas $174,5 - 4,7 - 74 = 95,8$ WE/m³ Kokereigas zu entziehen.

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

Bei einem Druck von 800 mm Hg ist der Wassergehalt

$$W = \frac{p}{800-p} \cdot 2,026 \cdot \frac{18}{24,5} = 1,485 \cdot \frac{p}{800-p} \text{ kg/m}^3 \text{ Kokereigas}$$

Mittlere spez. Wärme von 0° - 100° des Spaltgases:

CO ₂ :	0,068 · 0,409 =	0,028
OH ₄ :	0,003 · 0,429 =	0,001
zweiatomig:	1,955 · 0,311 =	<u>0,607</u>
	0,636 · 0,917 =	0,584

15°	p = 12,8 mm Hg	W = 0,0241	W · L _T =	14,5
			$c_p \cdot T$ =	<u>8,8</u>
			Wärmeinhalt =	23,3

58°	p = 136,1 mm Hg	W = 0,304	W · L _T =	189,0
			$c_p \cdot T$ =	<u>33,9</u>
			Wärmeinhalt =	222,9

59°	p = 142,6 mm Hg	W = 0,322	W · L _T =	200
			$c_p \cdot T$ =	<u>34,4</u>
			Wärmeinhalt =	234,4

65°	p = 196,1 mm Hg	W = 0,482	W · L _T =	300,8
			$c_p \cdot T$ =	<u>38,6</u>
			Wärmeinhalt =	239,4

65°	p = 187,5 mm Hg	W = 0,453	W · L _T =	283,0
			$c_p \cdot T$ =	<u>38,0</u>
			Wärmeinhalt =	321,0

-/-

Das Spaltgas tritt in den Kühler mit einem Wärmeinhalt von $324,5 \text{ WE/m}^3$ Kokereigas ein (vergl. Abschnitt II o). Einen Wärmeinhalt von einem solchen Betrag entspricht ein Gleichgewichtspunkt von $65,2^\circ$. Im Kühler kann demnach das Kühlwasser durch das Spaltgas auf $\sim 62,7^\circ$ aufgewärmt werden.

Im Kühler muß das Spaltgas an das Wasser $95,8 \text{ WE/m}^3$ Kokereigas übertragen. Am Ausgang des Kühlers hat das Spaltgas also einen Wärmeinhalt von $324,5 - 95,8 = 228,7 \text{ WE/m}^3$ Kokereigas. Der Taupunkt liegt bei $58,5^\circ$. Sein Wassergehalt beträgt $313 \text{ gr H}_2\text{O/m}^3$ Kokereigas. Im Kühler nimmt das Spaltgas also noch $313 - 251 = 62 \text{ gr H}_2\text{O}$ 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 gr besitzt. Der Taupunkt bei diesem Wassergehalt ist $70,8^\circ$. Das Wasser muß also in den Verdunster mit $\sim 73^\circ$ eingefahren werden. Im Kühler wird das Wasser $\sim 62,7^\circ$ erwärmt. Die Wassermenge ist also so zu wählen, daß die in der Kühlschlange übertragenen 74 WE das Wasser von $62,7^\circ$ auf 73° erwärmen.

$$W = \frac{74}{10,3} = 7,18 \text{ kg H}_2\text{O/m}^3 \text{ Kokereigas.}$$

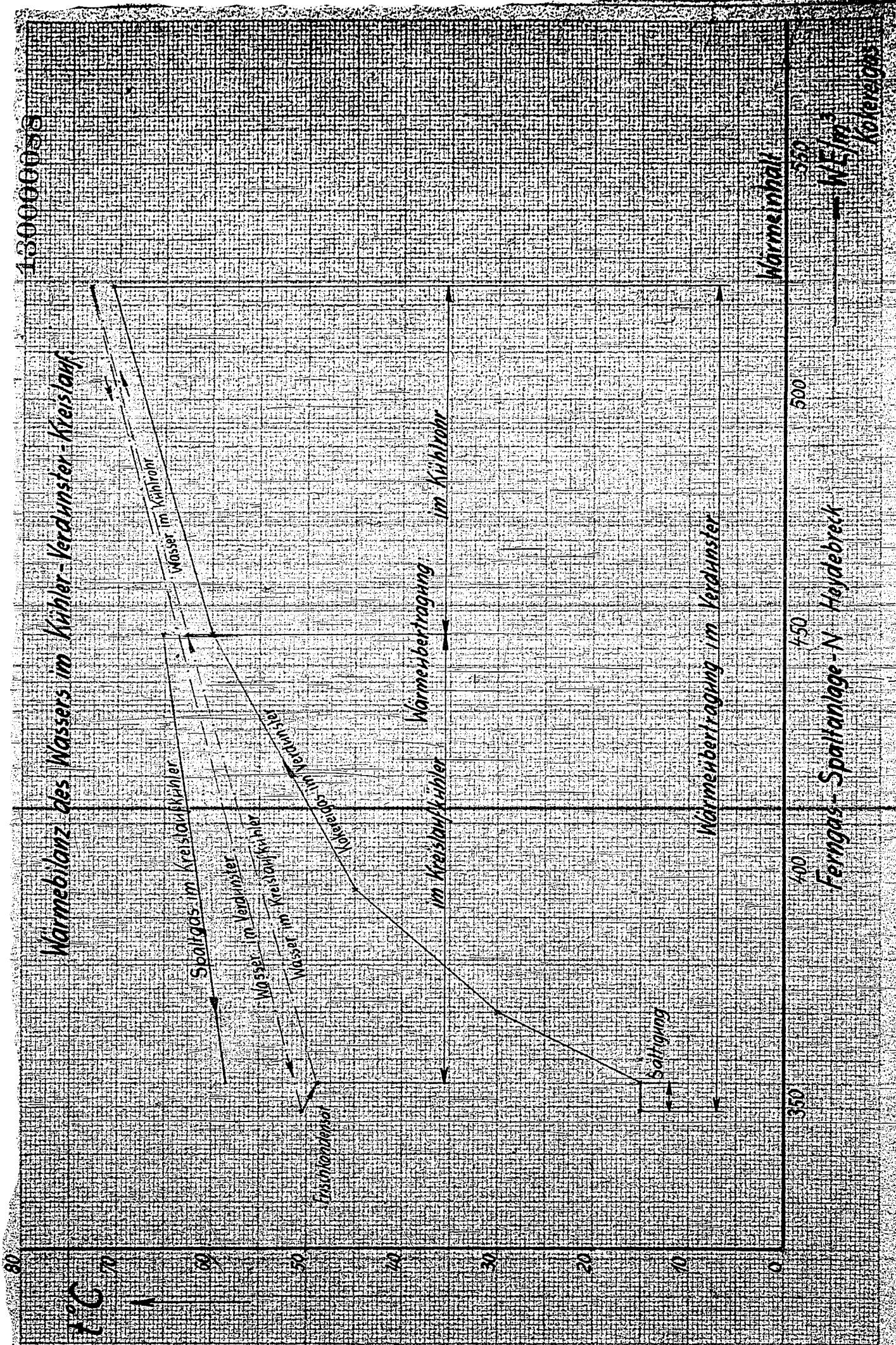
Am Ausgang der Kühlschlange stehen also $7,18 \text{ kg H}_2\text{O}$ von 73° , d.h. mit einem Wärmeinhalt von 524 WE zur Verfügung. Im Verdunster werden $250 \text{ gr H}_2\text{O}$ und $174,5 \text{ WE}$ abgegeben. Den Verdunster verlassen also $6,93 \text{ kg H}_2\text{O}$ mit einem Wärmeinhalt von $349,5 \text{ WE}$, d.h. mit einer Temperatur von $50,4^\circ$. Die Zugabe des Frischkondensats erhöht die Wassermenge auf $7,24 \text{ kg}$, den Wärmeinhalt auf $354,2 \text{ WE}$. Das Wasser tritt also in den Kühler mit $49,0^\circ$ ein. Im Kühler werden $62 \text{ gr H}_2\text{O}$ abgegeben und $95,8 \text{ WE}$ aufgenommen. Den Kühler verlassen also $7,18 \text{ kg H}_2\text{O}$ mit einem Wärmeinhalt von 450 WE und einer Temperatur von $62,7^\circ$. In der Kühlschlange nehmen die $7,18 \text{ kg H}_2\text{O}$ noch 74 WE auf und erhöhen ihre Temperatur auf $73,0^\circ$.

c) Schlußkühler.

Das Spaltgas verläßt den Kreislaufkühler mit einem Wärmeinhalt von $228,7 \text{ WE/m}^3$ Kokereigas. Im Schlußkühler soll es auf 15° abgekühlt werden. Es sind ihm also $228,7 - 23,3 = 205,4 \text{ WE/m}^3$ Kokereigas zu entziehen. Das Kühlwasser soll sich dabei von $12,5^\circ$ auf 50° erwärmen.

Der Kühlwasserbedarf beträgt also $\frac{205,4}{37,5} = 5,5 \text{ kg/m}^3$ Kokereigas

Bartowski



130000058

Wärmebilanz des Wassers im Kühler-Verdunst-Kreislauf

80

t °C

70

60

50

40

30

20

10

0

350

400

450

500

550

Wärmeinhalt

Ferngas - Spaltanlage - N. Heydebreck

W/E/10³

Kältegrad

Ferngas-Spaltanlage-N Heydebreck

Kühler-Verdünstersystem

130000089

