

Kern von A. S. D. O. T. H. I.

Beiz. Bericht über die Berechnung des Wärmeverhältnisses der Kontaktflächen.

Die Übertragung der Wärme aus dem Kontaktraum auf die Kühlfläche geschieht durch die drei Komponenten: Wärmeleitung, Wärmeübergang und Wärmestrahlung.

1.) Wärmeleitung.

a) Annahme:

Gleichmäßig im Kontaktraum verteilte Wärmequellen (Reaktionswärme).

Wärmezufuhr ist gleich Wärmeableitung. Für das Volumenelement gilt also:

$$1) \underline{q + \lambda \nabla^2 \theta = 0}$$

unter der Annahme, dass die Wärme nur in parallelen Strahl zur Wand übergeht, wird hieraus

$$2) \underline{q + \lambda \frac{d^2 \theta}{dx^2} = 0}$$

hieraus

$$3) \underline{\Delta \theta = \frac{q \cdot x^2}{2 \lambda_n}}$$

$\theta - \theta_0$

= Temperaturdifferenz ( $^{\circ}C$ )

$q$

= in Volumenelement erzeugte Wärmemenge (kcal/ $m^3 \cdot s$ )

$\lambda_n$

= Wärmeleitfähigkeit des Kontaktes (kcal/ $m \cdot s \cdot ^{\circ}C$ )

$x$

= max. Distanz von der Mitte des Kontaktraumes bis zur Wand ( $m$ ).

Die durch die Kontaktfläche abgewandte Wärmemenge ist

$$4) \underline{Q_x = q \cdot a = 1,9 \cdot 10^4 \text{ kcal/h}}$$

b) Annahme:

Gleichmäßige Gastemperatur im Kontaktraum.

Die Annahme gleichmäßiger Wärmequellen unter a) hat zur Folge, eine gleichmäßige Gastemperatur über den Kontakt, also einen gleichförmigen Temperaturverlauf des Gases von der Kontaktfläche

Wie zur Verd. Infolge der Konvektion des Gases ist die Gaskon-  
zentration aber weitgehend konstant, sodass in der Kontaktstrom-  
mitte infolge geringer Gasoberflächentemperatur weniger Wärme an den  
Kontakt abgegeben wird, als in den Randzonen. Also:  $q = q(x)$

Demnach

$$5) q(x) = \alpha_k \cdot F_k \cdot (T_g - \theta) = \alpha_k \cdot F_k \cdot \Delta \theta$$

aus 2) und 5):

$$6) \frac{d^2 \Delta \theta}{dx^2} - \frac{\alpha_k \cdot F_k}{\lambda_k} \cdot \Delta \theta + \frac{\alpha_k \cdot F_k}{\lambda_k} \cdot T_g = 0$$

hieraus 7) 
$$\Delta \theta = \frac{q_0}{2 \cdot \alpha_k \cdot F_k} \cdot (e^{+x} \cdot C + e^{-x} \cdot C)$$

$$8) C = \sqrt{\frac{\alpha_k \cdot F_k}{\lambda_k}}$$

Es ist  
9)

$$q = \frac{\int_0^x q_x \cdot dx}{S}$$

Die Werte für  $q_x$  aus 5) und für  $\Delta \theta$  aus 7) eingesetzt erge-  
ben

$$10) q_0 = \frac{2 \cdot \alpha_k \cdot F_k \cdot \sqrt{\frac{\alpha_k \cdot F_k}{\lambda_k}}}{(e^{+x} \cdot C - e^{-x} \cdot C)}$$

Dieser Wert für  $q_0$  in Gleichung 7) eingesetzt ergibt

$$11) \Delta \theta = \frac{q_0}{2 \cdot \alpha_k \cdot F_k} \cdot \frac{e^{+x} \cdot C + e^{-x} \cdot C}{e^{+x} \cdot C - e^{-x} \cdot C}$$

Für die Abmessung unserer Ofen ist bei Wertens  $\delta \gg 3 \text{ mm}$   
 $\delta \cdot C \ll e^{+x} \cdot C + e^{-x} \cdot C$  - Damit wird angenähert; Gleichung 11) zu

$$12) \Delta \theta = \frac{q_0}{\alpha_k \cdot F_k}$$

Die für gleiche Wärmemengen für die Ofen I - VII der Zeichnung z.B. 027 nach Gleichung 3) errechneten Werte  $d_n$  sind etwa 3 mal so gross wie die sich nach Gleichung 12) ergebenen. Dies erklärt sich daraus, dass die Wärme zum grossen Teil nicht vom Kontakt geleitet zu werden braucht, sondern durch Konvektion im Gas wandert und durch Übertragung in der Randzone von Gas an den Kontakt abgegeben wird. Im Nachfolgenden ist trotzdem mit 3) bzw. 4) gerechnet, weil zwar der Vorgang der Wärmeab-  
leitung durch 12) physikalisch erfasst ist, nicht aber der der Wärmeentstehung. Da der Kontakt in der Mittelschicht wärmer ist als am Rande, entsteht hier infolge schnellerer Reaktion mehr Wärme als in der Randzone. Die Reaktionsgeschwindigkeit ist im allgemeinen ~~257~~

13)  $v \sim \frac{d_n^2}{10}$

Es schaukelt sich also die Temperatur in der Mitte auf und die Temperaturverteilung nähert sich infolgedessen näher den Bildern gemäss Annahme a)

2.) Wärmeübergang.

$$14) q_H = \alpha_R \cdot d_R$$

$\alpha_R$  = Wärmeübergangszahl von Gas an die Kühlrohre ( kcal/m<sup>2</sup> h°)

3.) Wärmestrahlung.

$$15) q_{st} = \left[ \left( \frac{T_w + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_u}{100} \right)^4 \right] \cdot C_{1,2}$$

- $T_w$  = absolute Wandtemperatur der Rohre (°K)
- $\Delta \cdot \alpha$  = 0,717 geschätzt =
- $C_{1,2}$  =  $\epsilon_1 \cdot \epsilon_2 \cdot C$  = Strahlungszahl des Kontaktes gegen die Rohrwände.
- $\epsilon_1$  = Absorptionsverhältnis des Kontaktes
- $\epsilon_2$  = Absorptionsverhältnis der Rohrwände.

Da die Wandtemperatur der Ofen einheitlich etwa  $170^\circ$  beträgt und im Bereich zwischen  $10$  und  $40^\circ\text{C}$  liegt, lässt sich der Klammerausdruck der Gleichung 15) durch das Produkt von  $\Delta T$  mit einer Konstanten ausdrücken. Für diesen Temperaturbereich ergibt sich

$$16) \quad Q_{\text{st}} = \frac{390}{1,25} \cdot C_{1,2} \cdot \Delta T \cdot 0,7$$

4.) Zusammenfassung.

Der gesamte Wärmedurchgang durch die Kühlfläche ergibt sich aus Zusammenfassung von Gleichung 4), 12) und 16) zu

$$17) \quad Q_F = \Delta T \cdot \left( \alpha_r + \frac{2}{\delta} \lambda_k + \frac{390}{1,25} \cdot C_{1,2} \cdot 0,7 \right)$$

Hierin ist:

- $Q_F$  = Kühlflächenbelastung ( kcal/m<sup>2</sup> h )
- $\alpha_k$  =  $k_1 \cdot 0,040 \cdot (w \cdot d_k / a_1 \cdot p)^{0,75} \cdot \eta_3 / d_k$   
(Hütte I Seite 498)
- $\alpha_r$  =  $2,0$  ( kcal/m<sup>2</sup>h<sup>0</sup> ) für den Druckofen  
=  $14,4$  " " " für Normaldruckofen
- $\lambda_k$  =  $0,065$  ( kcal/m h<sup>0</sup> ) = Wärmeleitzahl des Kontaktes
- $\delta$  =  $3,7$  bis  $7,15 \cdot 10^{-3}$  ( m ) je nach Ofen (Zehng. TB C)
- $C_1$  =  $0,70$  für Eisen
- $C_2$  =  $0,95$  für Kontakt }  $C_{1,2} = 3,22$

5.) Rückwirkung beim Kreislaufverfahren.

Niederdruckofen.

Annahme: 50% Restgas werden zu 100% Frischgas im Kreislauf zugesetzt. Es ändert sich:  $Q_F = 16,4$  ( kcal/m<sup>2</sup> h<sup>0</sup> ). Damit ist  $Q_m$  um ca. 15% grösser als beim Arbeiten ohne Kreislauf. Die sich einstellende Gastemperatur ist in TB 027 grün eingetragen.

201125

1200

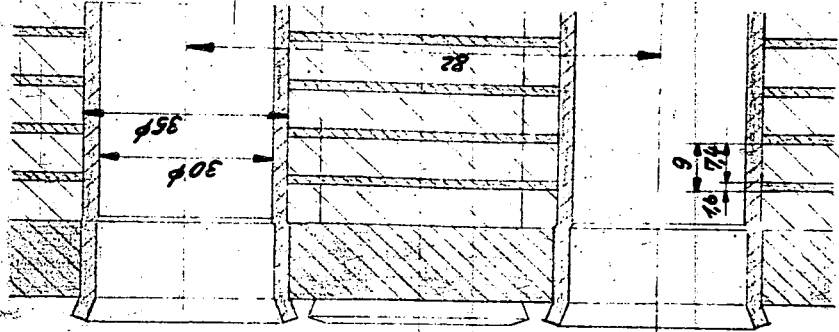
Druckofen.

Annahme: 200 Teile Restgassatz zu 100 Teilen Frischgas bei 60% CO-Umsatz. Hier wird  $\alpha_R = 1,3$  (kcal/m<sup>2</sup> h<sup>0</sup>). Gleichzeitig wird  $\lambda_R = 0,08$  (kcal/m h<sup>0</sup>) gegenüber 0,13 (kcal/m h<sup>0</sup>) dem beim Arbeiten ohne Kreislauf. Da der Anteil der durch Wärmeübergang übertragenen Wärme bei den Drucköfen noch viel geringer ist als beim Normaldruckofen, wirkt sich die Vergrößerung von  $\alpha_R$  bei der sich einstellenden Gas-temperatur gar nicht aus. Die Wärmeentwicklung ist im Druckofen unter diesen gegebenen Verhältnissen ebenso gross wie beim Arbeiten ohne Kreislauf, bei 90% CO-Umsatz. Im Niederdruckofen ist sie ca. 6% grösser.

*Schmitt*

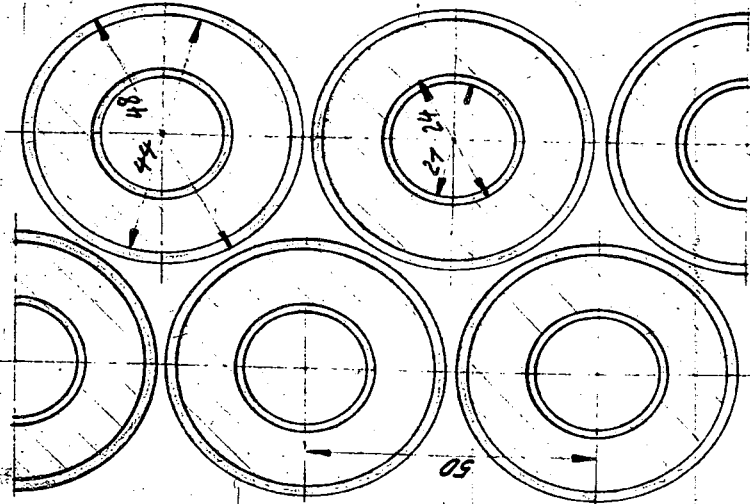
**I Normaldruck-Ofen**

Kühlflächenabstand: 7,4 mm



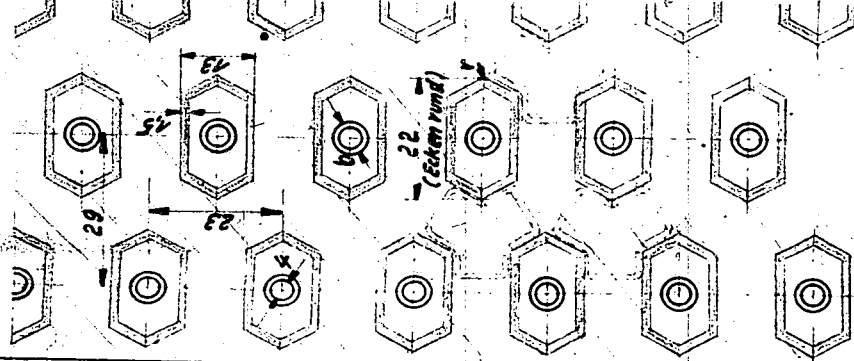
**II Druckofen**

Kühlflächenabstand: 10 mm



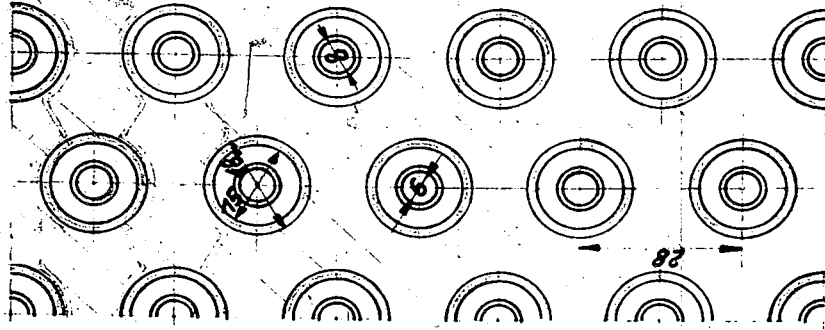
**III Formrohr-Druckofen**

Kühlflächenabstand: 10 mm



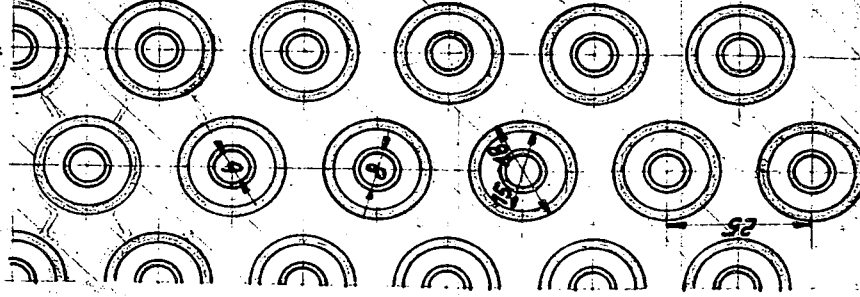
**IV Vorschlag A**

Kühlflächenabstand: 10 mm



**V Vorschlag B**

Kühlflächenabstand: wie II



5000 × 1525 × 2500 hoch

V	= 19,0 m <sup>3</sup>
V <sub>K</sub>	= 13,0 m <sup>3</sup>
V <sub>W</sub>	= 2,28 m <sup>3</sup>
V <sub>E</sub>	= 3,72 m <sup>3</sup>
F	= 3020 m <sup>2</sup>
Z	=
V <sub>K</sub> /V	= 0,688
V <sub>W</sub> /V	= 0,6
F/V <sub>K</sub>	= 293 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
S	= 37 mm
S <sub>1</sub>	= 37 mm
S <sub>2</sub>	= 37 mm
Fl <sub>max</sub>	= 293 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>

Kontakttraummaße: 2700 φ, 4550 hoch

Gesamt volumen	V = 26,0 m <sup>3</sup>
Kontaktvolumen	V <sub>K</sub> = 9,85 m <sup>3</sup>
Wasservolumen	V <sub>W</sub> = 12,5 m <sup>3</sup>
Eisenvolumen	V <sub>E</sub> = 3,65 m <sup>3</sup>
Kühlfläche	F = 1980 m <sup>2</sup>
Anzahl der Reihenelemente	Z = 2094
Raumausfüllung	V <sub>K</sub> /V = 0,38
Eisenverhältnis	V <sub>W</sub> /V = 2,70
Kühlflächenverhältnis	F/V <sub>K</sub> = 204 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
Hitze-Wärmeweg	S = 5 mm
Maximaler Nüchtemweg	S <sub>1</sub> = 5 mm
Max. Kühlflächenverhältnis	Fl <sub>max</sub> = 180 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>

2720 φ, 4550 hoch

V	= 16,0 m <sup>3</sup>
V <sub>K</sub>	= 10,0 m <sup>3</sup>
V <sub>W</sub>	= 3,77 m <sup>3</sup>
V <sub>E</sub>	= 2,23 m <sup>3</sup>
F	= 1900 m <sup>2</sup>
Z	= 5200
V <sub>K</sub> /V	= 0,625
V <sub>W</sub> /V	= 4,5
F/V <sub>K</sub>	= 140 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
S	= 53 mm
S <sub>1</sub>	= 67 mm
S <sub>2</sub>	= 70 mm
Fl <sub>max</sub>	= 70 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>

2125 φ, 4550 hoch

V	= 16,1 m <sup>3</sup>
V <sub>K</sub>	= 10,0 m <sup>3</sup>
V <sub>W</sub>	= 3,7 m <sup>3</sup>
V <sub>E</sub>	= 2,4 m <sup>3</sup>
F	= 1350 m <sup>2</sup>
Z	= 5240
V <sub>K</sub> /V	= 0,625
V <sub>W</sub> /V	= 4,2
F/V <sub>K</sub>	= 135 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
S	= 54 mm
S <sub>1</sub>	= 915 mm
S <sub>2</sub>	= 105 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>

2300 φ, 4550 hoch

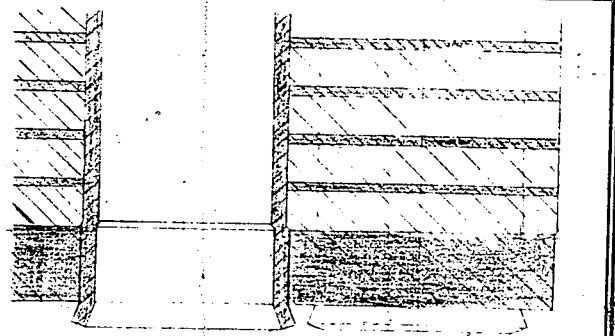
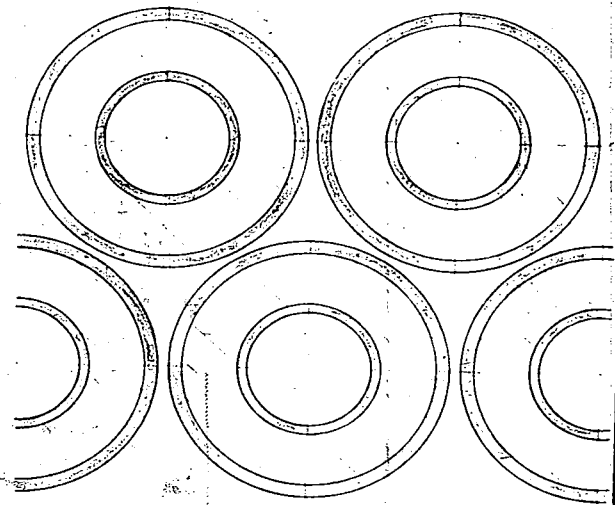
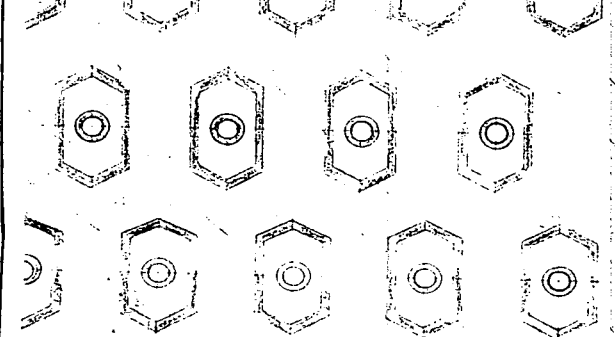
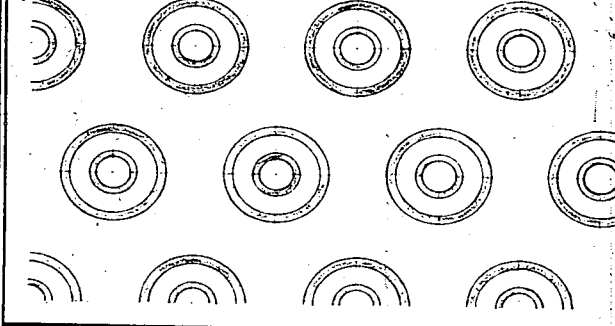
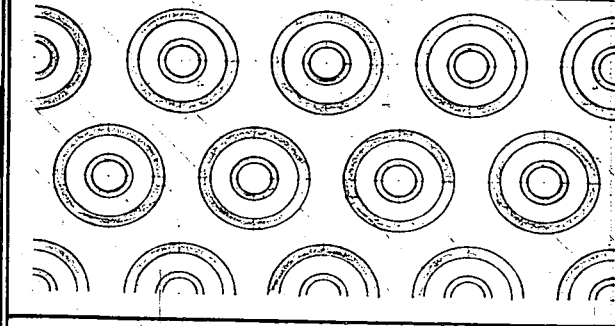
V	= 18,8 m <sup>3</sup>
V <sub>K</sub>	= 10,0 m <sup>3</sup>
V <sub>W</sub>	= 5,35 m <sup>3</sup>
V <sub>E</sub>	= 3,45 m <sup>3</sup>
F	= 1910 m <sup>2</sup>
Z	= 7650
V <sub>K</sub> /V	= 0,522
V <sub>W</sub> /V	= 2,9
F/V <sub>K</sub>	= 191 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
S	= 4 mm
S <sub>1</sub>	= 55 mm
S <sub>2</sub>	= 150 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>

**Ruhrchemie**  
Aktiengesellschaft  
Oberhausen-Holten

**Ofenvergleiche**

TB 026

Maßstab 1: 20/100 Schraube

<p><u>I Normaldruckofen</u> Kühlflächenabstand: 74mm</p> 	<p><u>II Druckofen</u> Kühlflächenabstand: 10mm</p> 	<p><u>III Formrohr - Druckofen</u> Kühlflächenabstand: 10mm</p> 	<p><u>IV Rundrohren A</u> Kühlflächenabstand: 10mm</p> 	<p><u>V Rundrohren B</u> Kühlflächenabstände wie II</p> 
--	---	--	--	--

Kühlfläche für 10m³ Kontakt

2940 m²	2010 m²	1400	1350	2020
22000 Kg	29500 Kg	19000 Kg	20400 Kg	28000 Kg

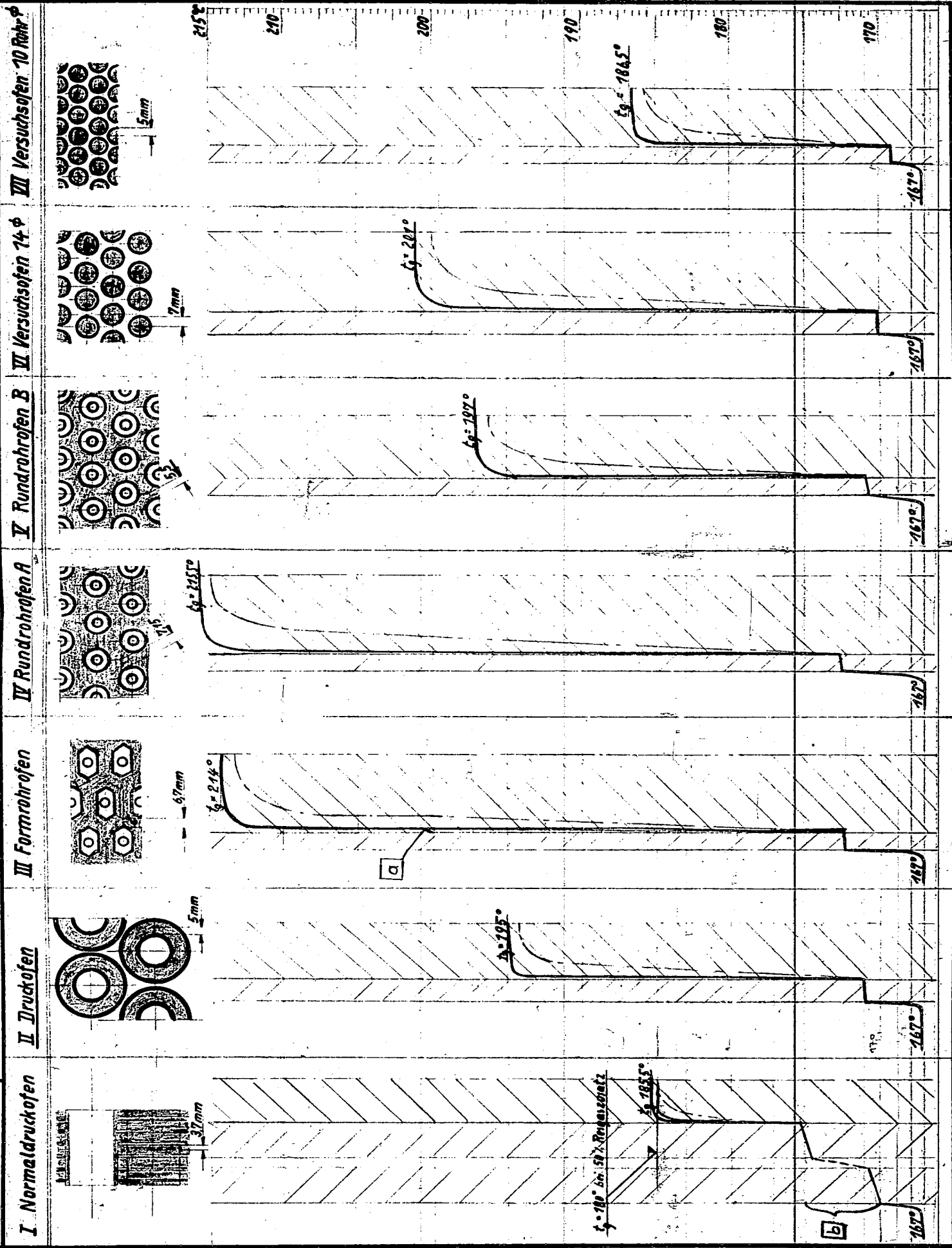
Eisengewicht der Kühlrohre für 10m³ Kontakt

Gesamtgewicht des Ofens (Eisengewicht)

32000Kg	58000Kg	41000Kg	42000Kg	55000Kg
---------	---------	---------	---------	---------

Abmessungen der Kontakträume

3850 × 1500 × 2500 hoch	2700 × 4550 hoch	2120 × 4550 hoch	2125 × 4550 hoch	2300 × 4550 hoch
-------------------------	------------------	------------------	------------------	------------------

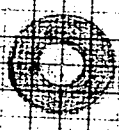




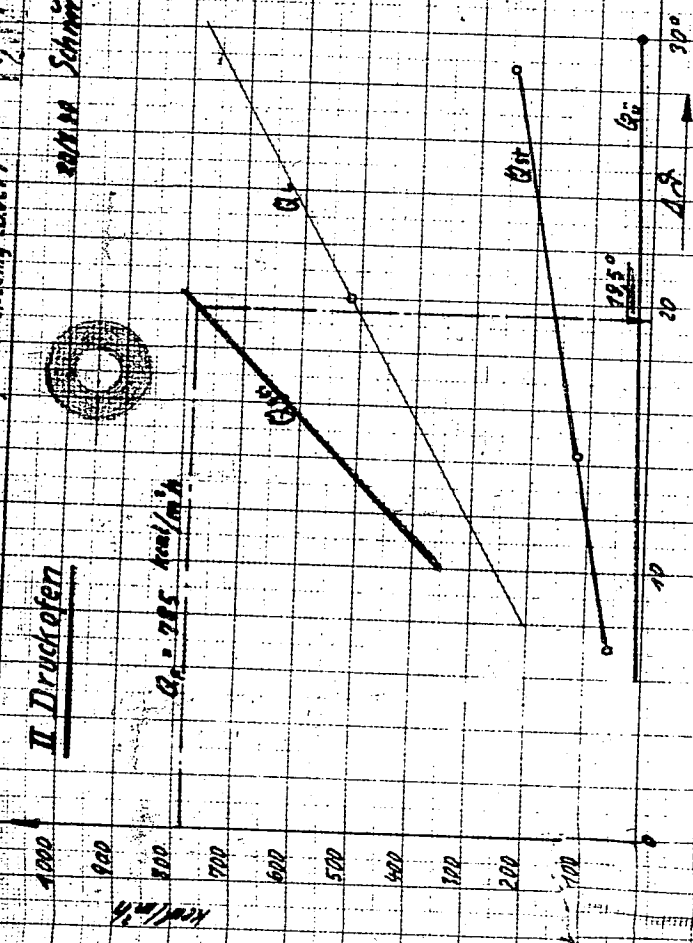
**Wärmeübertragung der verschiedenen Ofentypen**  
 (Wärmeübergang vom Konturraum auf die Kühlwände Anstellfläche 26027)

2000 M Schmelz

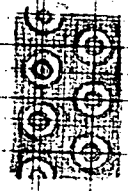
**II Druckofen**



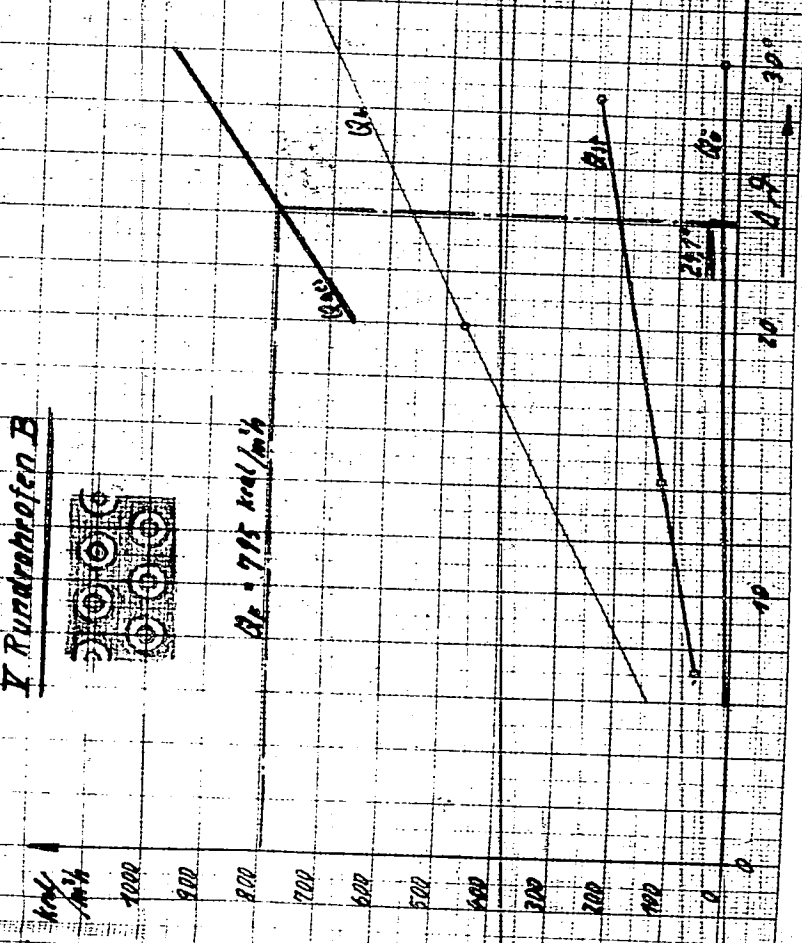
$Q_2 = 785 \text{ kcal/m}^2\text{h}$



**I Rundrohrofen B**



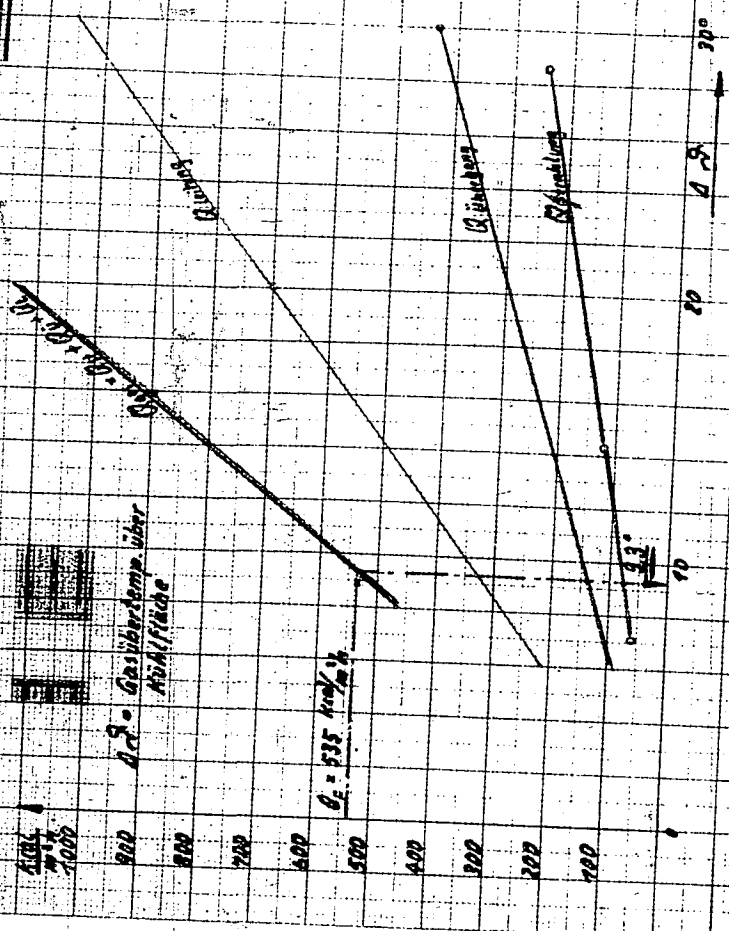
$Q_2 = 795 \text{ kcal/m}^2\text{h}$



**I Normaldruckofen**



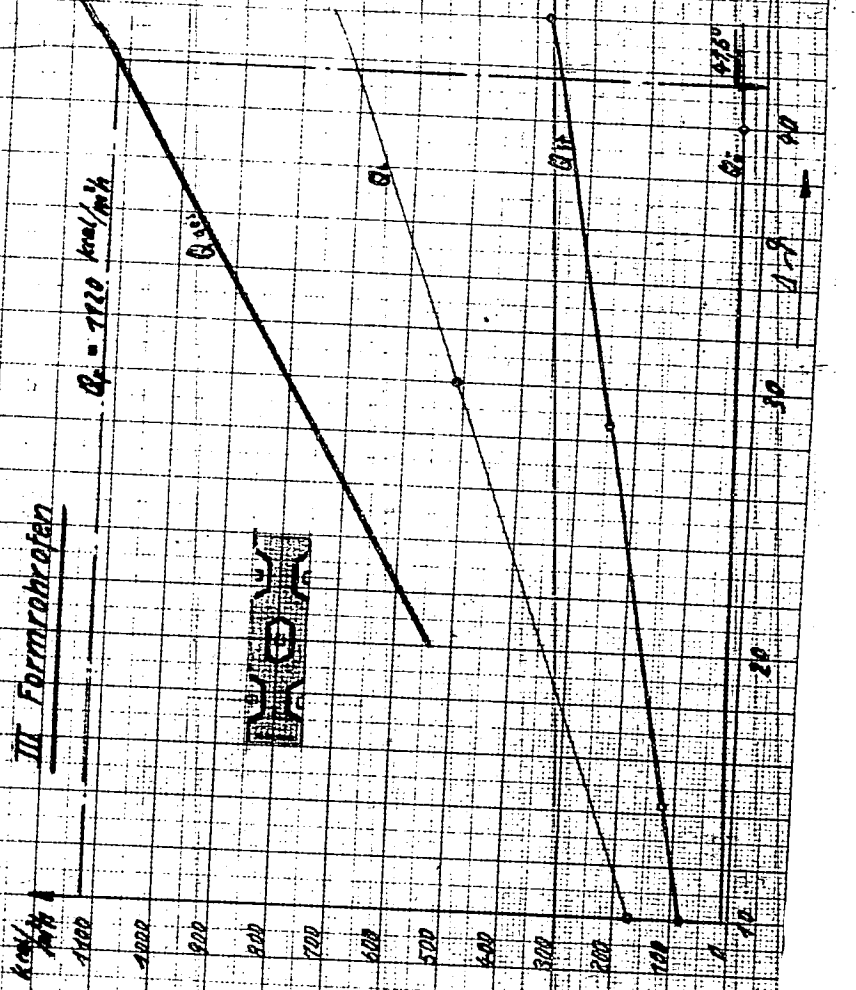
$Q_2 = 535 \text{ kcal/m}^2\text{h}$   
 $Q_1 = 700 \text{ kcal/m}^2\text{h}$



**III Formrohrrofen**



$Q_2 = 720 \text{ kcal/m}^2\text{h}$



**Bemerkung:**

140 150 160 170 180 190 200 210 220 °C

Dampf-Wasser-Raum

Kaltwasser-raum

Kontakt  
Kaltwasser

Dampf-Wasser

Wassertemp. nach Änderung

Wandtemp. nach Änderung

Wassertemp. jetzt

Wandtemp. jetzt

Gastemp. des  
Versuchsofens

Gastemp. des  
Versuchsofens  
nach Änderung

Gastemp. des  
Druckofens

4550 mm

3.9.40 / 1121.

