

Untersuchung der Wärmeübergangsbedingungen

in der Schmierölsynthese

(Schmierölsynthese bei 20 °C)

Zusammenfassung:

Die Wärmeübergangsbedingungen wurden experimentell untersucht und für das Öl wurde gefunden:

$$\alpha_b = \sim 700 \text{ kcal/m}^2, \text{h,}^\circ\text{C}$$

Auf Grund graphischer Methoden und vereinfachender Hilfstabellen konnte eine Näherungsberechnung für die Ermittlung der notwendigen Kühlflächen und Kühlmitteltemperaturen gefunden werden.

Für die bei der Polymerisation im grossen bei 20.°C abzuführende Wärmemenge

$$Q = 500.000 \text{ kcal/h}$$

konnte nachgewiesen werden, dass eine Wasserkühlung nicht mehr ausreicht und das folgende Betriebsbedingungen zum Ziele führen:

Bei einer Soletemperatur von 30° sind
 3-Rohrschlangen unterzubringen:

Schlange 1 70/76 Rohr, Windungsdurchmesser 1200 mm
 Schlange 2 70/76 Rohr, Windungsdurchmesser 1020 mm
 Schlange 3 70/76 Rohr, Windungsdurchmesser 840 mm
 Die gesammte Kühlfläche beträgt dann 88 m²

Nähere Angaben über ähnliche Lösungsbedingungen siehe Text und Zahlentafel 5 und 6 in Anlage 11 und 12

Schwarz

Inhalt:

A. Textteil

- 1) Aufgabestellung
- 2) Versuchsdurchführung
- 3) Versuchsauswertung
- 4) Folgerungen
- 5) Berechnung der notwendigen Kühlflächen

B. Zahlentafeln im Textteil

- Zahlentafel 2 Bilanz der Wärmemengen
- 3 Nutzbare Temperaturgefälle

C. Anlagen

- Anlage 1. Zusammenstellung der verwendeten Formeln
2. Erklärung der verwendeten Zeichen
3. Zusammenstellung der Materialkonstanten
4. Berechnungsbeispiel für α_w , α_b und K . (Versuch I)
5. Schnitt durch Schlierols-Anthrose 7
6. Füllung der Synthese und Ölschwindigkeit
7. Zusammenstellung der Versuchsergebnisse
8. Temperaturverlauf an den Kühlflächen
9. Kurven $\alpha = f(t)$, $\alpha = f(w)$, $K = f(t)$
und $Q = f(\alpha)$ für die Versuchsergebnisse
10. Beaufschlagung der Kühlflächen
11. Kühlung mit Wasser. Technische Daten
12. Kühlung mit Sole. Technische Daten

1. Aufgabstellung:

Für die Herstellung einer bestimmten Schmierölqualität ist es erforderlich, die Temperaturen der Synthese, die heute abschnittsweise bei 40... 80 °C gefahren werden, auf 20°C zu senken. Es ist klar, dass dann erheblich grössere Wärmemengen abgeführt werden müssen.

Es war zu prüfen, wie gross diese Wärmemengen sind und wie gross die erforderlichen Kühlflächen bei dieser Arbeitsweise auszulegen sind.

Zu diesem Zwecke ist es notwendig, den Verlauf der Wärmeübergangskonstanten für das Öl geklärt zu kennen, um dem Konstrukteur die Berechnung der Kühlflächen mit genügender Sicherheit zu ermöglichen und das besonders deshalb, weil die schwierige Aufgabe besteht diese wahrscheinlich erheblichen Kühlflächen in einem bereits festbelegten Raume einzubauen, sodass grössere Reserven ohnehin nicht unterzubringen sind.

2. Versuchsdurchführung:

Die Versuche wurden sowohl im Laboratoriumsmassstab wie auch im praktischen Grossbetrieb durchgeführt. Die Laborversuche, die bei 20 °C durchgeführt wurden, ermöglichten die Kenntnis der anzuwendenden Wärmemengen sowie die Untersuchung der Wärmeübergangsverhältnisse im Allgemeinen. Unbekannt blieb dabei die Ölgeschwindigkeit. Im Grossbetrieb musste bei den dort bedingten höheren Temperaturen gearbeitet werden, hingegen war die Ölunwälvung aus der Führwerksleistung bekannt.

Apparativ lagen folgende Verhältnisse vor:

Versuch I: Laborversuch, Kühlschlange aus Glasrohr 8/10 mm,
 — Radius der Schlange $r = 25$ mm.

Versuch II-IV: Laborversuch, Kühlschlange aus Eisenrohr 2/4 mm

R = 35 mm.

Versuch V-VIII: Grossversuch an Synthese 7, Kühlschlange aus
Eisenrohr 70/76 mm, R = 600 mm.

Es wurden gemessen die Wassermengen und die zugehörigen Wasseranfangs- und Wasserendtemperaturen sowie die Öltemperatur in der Synthese.

Die Versuchsergebnisse sind in der Zahlentafel 1 Anlage 7 zusammengefasst und das wesentlichste in der Anlage 9 graphisch wiedergegeben.

Versuchsauswertung:

Die für die Auswertung benutzte Gleichung

$$\alpha = 1755 \cdot (1 - 0,015 \cdot t) \cdot \frac{w \cdot 0,27}{d \cdot 0,13} \left(1 + 1,77 \frac{d}{R} \right)$$

lässt erkennen, dass offenbar die Bedingung $\alpha = 0$ nur erfüllt ist für $0,015 \cdot t = -1$ d.h. wenn $t = -66,7^\circ\text{C}$ erreicht. Für alle Geschwindigkeiten und alle Durchmesser müsst sich also die Linien im Punkte $\alpha = 0$; $t = -66,7^\circ\text{C}$ schneiden. Dies ist nicht einzusehen, da ja die Molekularbewegung erst beim absoluten Nullpunkt zum Stillstand kommt und oberhalb dieses bei jeder auftretenden Temperaturdifferenz α einen endlichen Wert ergeben muss.

Die Gleichung gilt also offenbar nicht für extrem tiefe Temperaturen und sagt damit weiter aus, dass der α -Wert sich stark asymptotisch dem Wert 0 nähert, während er oberhalb ca. -66° linear ansteigt mit dem gleichbaren Schnittpunkt bei $-66,7^\circ\text{C}$. Für die Abhängigkeit des α -wertes von der Geschwindigkeit gilt allerdings die Bedingung $\alpha = 0$ für $w = 0$, da ja bei $w = 0$ ein Wärmetransport nicht mehr auftritt und der Wärmeübergang zum Stillstand kommt, wenn das K hlmitel die Temperatur des Wärmeträgers erreicht hat. Aus gleichen Betrachtungen folgt auch, dass ebenfalls die dar re-

stellten Funktionen $k = f(\Delta t)$ und $Q = f(\alpha)$ nach Q verlaufen müssen.

Folgerungen:

In der Laborsynthese wurden 850 g Benzin-Kontaktölgemisch vorgelegt, es ergibt sich also unter Berücksichtigung, dass in einer Grosssynthese ähnlich Synthese 7 21 000 kg Füllung eingebracht werden, folgendes Bild:

Zahlentafel II
Bilanz der Wärmemengen

nach Versuch-Nr.	Zeitabschnitt min	Freilwerdende Wärme kcal/kg, h	Im praktischen Betrieb abzuführende Wärmemenge kcal/h
<u>I</u>	0...20	40	800 000
<u>II</u>	20...40	25	500 000
<u>III</u>	40...60	1,5	250 000
gesamt	0...60	25	500 000

Da im Anfang übrigens eine kurze Temperatursteigerung über 20°C hinaus zulässig erscheint, soll mit einer abzuführenden Wärmemenge von

$$Q = 500\,000 \text{ kcal/h}$$

weitergerechnet werden.

Aus der Kurve $\alpha_b = f(t_b)$, d.h. Wärmeübergangszahl für das Öl in Abhängigkeit von der Öltemperatur, ergibt sich, dass sich bei etwa 20°C an einer Rohrschlange $70/76$ 600 der Wert

$$\alpha_b = \text{rd. } 700 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C}$$

einstellen muss. Es ergibt sich ferner aus oben angeschriebener Grundgleichung, dass dieser Wert mit steigendem Rohrdurchmesser ansteigt. Dass er ebenfalls mit steigender Ölgeschwindigkeit sich steigern lässt; ist für unseren Fall ohne Belang da der Wert w_b mit $0,57 \text{ m/s}$ festliegt. (siehe Zusammenstellung Anlage 6).

5. Berechnung der notwendigen Kühlfläche:

Aus der Eigenart der Wärmeübertragungsbedingungen ergibt sich ein bestimmtes Verhältnis der für den Wärmetransport sich einstellenden Temperaturbedingungen von dem gesamten Temperaturgefälle zwischen Wärmeträger (Hier Öltemperatur t_b) und der Kühlmittelanfangstemperatur (t_{wa}).

Die Werte der folgenden Tabelle wurden aus den Versuchswerten ermittelt.

Zahlentafel III
Nutzbares Temperaturgefälle.

Gesamt- Temperaturgefälle $t_b - t_{wa}$	Nutzbares Temperaturgefälle des Kühlmittels $t_{wc} - t_{wa}$			
	bei $w = 1 \text{ m/s}$			
	0,5	1,0	1,5	2,0
0	0	0	0	0
2	1,9	1,1	0,7	0,5
3	2,3	1,6	1,0	0,8
4	2,8	2,2	1,4	1,0
5	4,7	3,7	1,8	1,5
10	9,0	5,5	3,5	2,5
15	14,0	8,0	5,5	4,0
20	19,0	10,5	7,5	5,5
25	24,0	13,5	9,5	7,0
30	28,0	16,0	11,5	8,5
35	31,0	19,0	13,5	10,0
40	36,0	22,0	15,5	11,0
45	40,5	24,0	17,5	12,5
50	45,0	27,0	19,5	14,0
55	50,0	29,5	21,5	15,5
60	54,5	32,5	23,5	17,0

Mit Hilfe dieser Tabelle ergibt sich die Möglichkeit einer verhältnismässig einfachen Bestimmung der Kühlfläche nach folgende Berechnungsschema:

- a) Ermittlung der notwendigen Kühlmittelmenge aus Wärmemenge und Temperaturgefälle $t_{w_e} - t_{w_a}$. Wenn t_b und t_{w_a} gegeben sind, ist $t_{w_e} - t_{w_a}$ aus Tabelle abzulesen, wenn v_w festgelegt wird.
- b) Ermittlung des notwendigen Rohrquerschnittes für die nach a) errechnete Kühlmittelmenge und die angenommene Geschwindigkeit v_w .
- c) Aus dieser (Querschnittsfläche nach b) ergibt sich unter Berücksichtigung der festliegenden Konstruktionsmasse, ob der notwendige Rohrquerschnitt überhaupt untergebracht werden kann. Aus der Tatsache, dass für die Kühlschlangen ein Ringraum zur Verfügung steht von $D_a = 1400$ mm (L. W. des Deckelflansches) und $D_i = 800$ mm (begrenzt wegen des Rührers) und $H = 3600$ mm (begrenzt durch die Füllhöhe bei 2000 kg-Füllung) sowie dass bei einer Steigung der Schlange von $1,3 d_a$ eine Windungszahl $n = \frac{3600}{1,3 d_a}$ untergebracht werden kann, ergibt sich die Einbaumöglichkeit von Kühlflächen, wie in Zahlentafel 4 (Anlage 10) zusammengestellt.

Für Wasserkühlung mit einer Anfangstemp. von 18°C und Synthesetemperaturen von $20 \dots 30 \dots 40^\circ\text{C}$ sind die Daten in Zahlentafel 5 (Anlage 11) zusammengefasst.

Es wird deutlich, dass die gestellte Aufgabe mit normaler Wasserkühlung überhaupt nicht lösbar ist, da schon für eine vergleichsweise hohe Synthesetemperatur von 40°C praktisch die dreifache Kühlfläche benötigt wird, als heute. Das muss ja auch stimmen, da Q doppelt so gross ist und Δt auf 70% abfällt.

Für Solekühlung, die also für die Lösung der Aufgabe unbedingt notwendig ist, sind die Daten in Zahlentafel 6 (Anlage 12) wiedergegeben. Auch hier ist die dreifache Kühlfläche notwendig, wenn die Temperatur auf 20°C gehalten werden soll. Höhere Werte können dann erreicht wer-

- den
- a) durch Abnehmen von Kühlfläche
 - b) durch Heraufsetzen der Soletemperatur
 - c) durch Änderung der Solegeschwindigkeit

Anschließend an eine solche Näherungsweise Festlegung der Werte hat eine Überprüfung der Rechnung stattzufinden, die folgendes Bild ergibt:

Kontrollrechnung.

1. Wasserkühlung Fall C2 in Zahlentafel 5, Anlage 11

$$\text{Wassergeschwindigkeit effektiv } \frac{w_w}{F_1} = \frac{G_w}{F_1} = \frac{60}{3000 \cdot 0,0115} = \underline{1,44 \text{ m/s}}$$

$$\text{hierfür gilt bei } t_{w_e} - t_{w_a} = 22 \text{ }^\circ\text{C: } \underline{t_{w_e} - t_{w_a} = 8,4 \text{ }^\circ\text{C}}$$

$$t_{w_e} = 18 + 8,4 = 26,4 \text{ }^\circ\text{C}; \quad t_{w_m} = 22,2 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\underline{\alpha_w} \approx 1755 \left(1 + 0,015 \cdot 22,2 \right) \frac{1,44^{0,87}}{0,07^{0,13}} \left(1 + 1,77 \cdot \frac{0,07}{0,50} \right)$$

$$\approx 1755 \cdot 1,335 \cdot 1,373 \cdot 1,41 \cdot 1,245 \approx \underline{5620}$$

$$\underline{\alpha_b} \approx 544 \cdot \left(1 + 0,015 \cdot 40 \right) \frac{0,57^{0,87}}{0,076^{0,13}} \left(1 + 1,77 \cdot \frac{0,076}{0,50} \right)$$

$$\approx 544 \cdot 1,060 \cdot 0,612 \cdot 1,40 \cdot 1,209 \approx \underline{945}$$

$$\underline{K} \approx \frac{1}{\frac{1}{5620} + \frac{1}{945} + \frac{0,003}{53}} = \frac{1}{0,001295} \approx \underline{772}$$

$$\underline{t_i} = t_{w_m} + \frac{500000}{5620 \cdot 33} = 22,2 + 1,0 = \underline{23,2 \text{ }^\circ\text{C}}$$

$$\underline{t_a} = t_b - \frac{500000}{945 \cdot 33} = 40,0 - 0,0 = \underline{34,0 \text{ }^\circ\text{C}}$$

$$\underline{\Delta t = 10 + 6,0}$$

$$= \underline{7,0 \text{ }^\circ\text{C}}$$

$$\underline{Q} = k \cdot F_a \cdot \Delta t = 772 \cdot 68 \cdot 7,0 = \underline{476000 \text{ kcal/h}}$$

$$= - 4,8\%$$

2. Solekühlung Fall α_b in Zahlentafel 8, Anlage 12.

Solegeschwindigkeit effektiv $v_s = G_s \cdot \frac{0,7}{11} = \frac{500 \cdot 0,01155}{11} = \underline{1,01 \text{ m/s}}$

hierfür gilt bei $t_b - t_{s_a} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$: $t_{s_e} - t_{s_a} = 7,1 \text{ }^\circ\text{C}$

$t_{s_e} = 7,1 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{s_m} = 7,1 \text{ }^\circ\text{C}$.

$\alpha_w \approx 1755 \cdot (1 + 0,015 \cdot 20) \cdot \frac{1,61 \cdot 0,87}{0,07 \cdot 0,13} \cdot (1 + 1,77 \cdot \frac{0,07}{0,20})$
 $\approx 1755 \cdot 1,054 \cdot 1,515 \cdot 1,41 \cdot 1,045 \approx \underline{4910}$

$\alpha_b \approx 544 \cdot (1 + 0,015 \cdot 20) \cdot \frac{0,57 \cdot 0,47}{0,076 \cdot 0,13} \cdot (1 + 1,77 \cdot \frac{0,078}{0,50})$
 $\approx 544 \cdot 1,054 \cdot 0,812 \cdot 1,40 \cdot 1,039 \approx \underline{770}$

$K \approx \frac{1}{\frac{1}{4910} + \frac{1}{770} + \frac{0,003}{55}} = \frac{1}{0,00150} \approx \underline{640}$

$\Delta t = t_{s_m} + \frac{500 \cdot 0,00}{4910 \cdot 88} = 7,1 + 1,10 = \underline{8,20 \text{ }^\circ\text{C}}$

$\Delta t = 1,16 + 7,48$

$t_a = t_b - \frac{500 \cdot 0,00}{770 \cdot 88} = 20,0 - 7,48 = \underline{12,52 \text{ }^\circ\text{C}}$

$= 8,64 \text{ }^\circ\text{C}$

$\underline{Q} = k \cdot F_a \cdot \Delta t \approx 640 \cdot 88 \cdot 8,64 = \underline{497 \cdot 000 \text{ kcal/h}}$

$\approx 2,8\%$

Schwarz

Zusammenstellung der verwendeten Formeln

(1) Allgemeine Wärme Gleichung:

$$Q = \alpha \cdot F \cdot (t_1 - t_2) \text{ Kcal/h}$$

(2) Wärmeübergangszahl für Wasser

bei turbulenter Strömung in geraden Röhren.

$$\alpha_w = 1755 (1 + 0,015 t) \frac{W}{m^2 \cdot h \cdot ^\circ C}$$

(3) Wärmeübergangszahl für Öl

bei turbulenter Strömung ausserhalb gerader Röhren.

$$\alpha_b = 544 (1 + 0,015 t) \frac{W}{m^2 \cdot h \cdot ^\circ C}$$

(4) Krümmungsbeiwert für Strömung innerhalb gekrümmter Röhre (Spiralen)

a) Strömung innerhalb $B_i = (1 + 1,77 \frac{d_i}{R})$

b) Strömung ausserhalb $B_a = (1 + 1,77 \frac{d_a}{R})$

(5) Wärmedurchgangszahl

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_w} + \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_b}} \text{ Kcal/m}^2 \cdot h \cdot ^\circ C$$

(6) Mittlere Temperatur t

In Gleichung (2) und (3) bedeutet

a) Strömung innerhalb: $t = 0,9 t_{wm} + 0,1 t_i$

b) Strömung ausserhalb: $t = 0,9 t_b + 0,1 t_a$

(7) Kontrolle von K

In abgewandelter Form zu Gleichung (1)

kann geschrieben werden:

$$K = \frac{Q}{F_m [(t_b - t_a) \cdot (t_i - t_{wm})]} \text{ Kcal/m}^2 \cdot h \cdot ^\circ C$$

Anmerkung zu Gleichung (3)

Die Werte für Kohlenwasserstoffe liegen bei rd. 30% derjenigen für Wasser.

$$0,31 \cdot 1755 = 544$$

Erklärung der verwendeten Zeichen

Nr.	Zeichen	Erklärung	Dim.
1	d_i	Rohrinnendurchmesser	m
2	d_a	Rohraussendurchmesser	m
3	s	Rohrwandstärke	m
4	R	Radius der Rohrspirale	m
5	f_i	innerer Rohrquerschnitt	m^2
6	Z	Zahl der Windungen der Spirale	-
7	L	gestreckte Länge der Spirale	m
8	F_i	innere Rohrwandfläche	m^2
9	F_a	äussere Rohrwandfläche	m^2
10	t_{wa}	Wassertemperatur am Anfang	$^{\circ}C$
11	t_{we}	Wassertemperatur am Ende	$^{\circ}C$
12	t_{wm}	mittlere Wassertemperatur = $\frac{t_{we} + t_{wa}}{2}$	$^{\circ}C$
13	t_i	innere Rohrwandtemperatur	$^{\circ}C$
14	t_a	äussere Rohrwandtemperatur	$^{\circ}C$
15	t_b	Öltemperatur	$^{\circ}C$
16	t	mittlere Temperatur a) im Rohr $t = 0.9 t_{wm} + 0.1 t_i$ b) am Rohr $t = 0.9 t_b + 0.1 t_a$	$^{\circ}C$ $^{\circ}C$
17	G_w	Wassermenge	kg/h
18	Q	Wärmemenge	kcal/h
19	q	spezifische Flächenbelastung = Q / F_a	$kcal/m^2, h$
20	w_w	Wassergeschwindigkeit	m/S
21	w_b	Ölgeschwindigkeit	m/S
22	λ	Wärmeleitfähigkeit des Rohrmaterials	$kcal/m^2, h, ^{\circ}C$
23	α_w	Wärmeübergangszahl für Wasser	$kcal/m^2, h, ^{\circ}C$
24	α_b	Wärmeübergangszahl für Öl	$kcal/m^2, h, ^{\circ}C$
25	K	Wärmedurchgangszahl	$kcal/m^2, h, ^{\circ}C$
26	B_i	innerer Krümmungsbeiwert = (1. 1.77)	-
27	B_a	äusserer Krümmungsbeiwert = (1. 1.77)	-

Zusammenstellung der Materialkonstanten

Nr.	Bezeichnung	Zeichen	Dim	Grossanlage Eisen	Labor Glas'	Versuch Eisen
1.	Rohrinnendurchmesser	d _i	m	0.070	0.008	0.002
2.	Rohraussendurchmesser	d _a	m	0.076	0.010	0.004
3.	Rohrwandstärke	s	m	0.003	0.001	0.002
4.	Radius der Spirale	R	m	0.600	0.035	0.035
5.	innerer Umfang des Rohres	u _i	m	0.227	0.025	0.00628
6.	äusserer Umfang des Rohres	u _a	m	0.246	0.0314	0.0126
7.	innerer Querschnitt d. Rohres	f _i	m ²	0.00385	0.00005	0.00000314
8.	äusserer Querschnitt d. Rohres	f _a	m ²	0.00453	0.0000785	0.0000126
9.	Zahl d. Windungen d. Spirale	n	-	36	8	9.5
10.	gestreckte Länge d. Spirale	L	m	140	1.928	2.26
11.	innere Rohrwandfläche	F _i	m ²	31.8	0.0484	0.142
12.	äussere Rohrwandfläche	F _a	m ²	35.4	0.0605	0.0284
Krümmungsbeiwert:						
$B = (1 \cdot 1.77 \cdot \frac{s}{R})$						
12.	B bei Strömung innen	B _i	-	1.207	1.404	1.101
13.	B bei Strömung aussen	B _a	-	1.217	1.506	1.202
14.	Wärmeleitzahl d. Wandung	λ	kcal/m, h, °C	53	0.7	53

Berechnungsbeispiel.

Versuch V

Grossanlage: 3.-54. Minute nach Beginn der Polymerisation

1.) Messwerte:

$$G_W = 25765 \text{ kg/s}; \quad W_W = 1,86 \text{ m/s}$$

$$t_{W_a} = 15,7^\circ\text{C}; \quad t_{W_e} = 24,2^\circ\text{C}; \quad t_{W_m} = 20,0^\circ\text{C}$$

$$t_{W_e} - t_{W_a} = 8,5^\circ\text{C}; \quad t_b = 41,1^\circ\text{C}; \quad t_b - t_{W_m} = 21,1^\circ\text{C}$$

$$Q = G_W (t_{W_e} - t_{W_a}) = 25765 \cdot 8,5 = 219000 \text{ kcal/h}$$

2.) Berechnung von α_W :

a) α_W geschätzt = 6700

$$t_i = \frac{Q}{F_i \cdot \alpha_W} + t_{W_m} = \frac{219000}{31,8 \cdot 6700} + 20,0 = 1,03 + 20,0 = 21,03^\circ\text{C}$$

b) Kontrolle von α_W ; $t = 0,9 t_{W_m} + 0,1 t_i = 20,1^\circ\text{C}$

$$\alpha_W = 1755 (1 + 0,015 t) \frac{W_W^{0,87}}{d^{0,13}} \cdot B; \quad B = 1755 (1 + 0,015 \cdot 20,1) \frac{1,86^{0,87}}{0,07^{0,13}} = 1207$$

$$\alpha_W = 6700 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$$

3.) Berechnung von α_b :

a) α_b geschätzt = 920;

$$t_a = t_b - \frac{Q}{F_a \cdot \alpha_b} = 41,1 - \frac{219000}{35,4 \cdot 920} = 41,1 - 6,72 = 34,4^\circ\text{C}$$

b) Kontrolle von α_b ; $t = 0,9 t_b + 0,1 t_a = 40,4^\circ\text{C}$

$$\alpha_b = 544 (1 + 0,015 t) \frac{W_b^{0,87}}{d_a^{0,13}} \cdot B; \quad B = 544 (1 + 0,015 \cdot 40,4) \frac{0,57^{0,87}}{0,076^{0,13}} = 1211$$

$$\alpha_b = 911$$

α_b kann also zu 915 kcal/m² · h · °C angenommen werden.

4.) Berechnung von K:

$$a) \frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_W} \cdot \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_b} \cdot \frac{1}{6700} + \frac{0,003}{53} + \frac{1}{915} = 0,00015 + 0,000057 + 0,00109 = 0,0013$$

$$K = \frac{1}{0,0013} = 769$$

$$b) \text{Kontrolle von } K; \quad K = \frac{Q}{F_a [(t_b - t_a) + (t_i - t_{W_m})]} = \frac{219000}{35,4 \cdot (6,7 + 1,0)} = 804$$

K kann also zu rd. 790 kcal/m² · h · °C angenommen werden.

Rührchemie A-G.

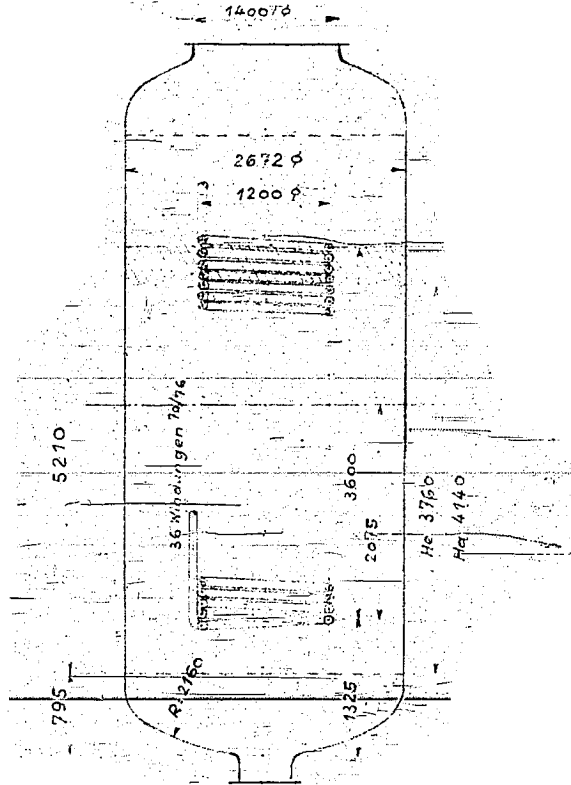
Technische - Revision ..

7.12.1943

Anlage 5

Schmierölsynthese 7

M = 1:50



TR. 015/43

Füllung der Synthese- und Ölgeschwindigkeit.

1) Füllung der Synthese 7

Füllung zu Anfang:

$$\begin{aligned}
 8 \text{ m}^3 \text{ Kontaktöl} \cdot 0,9 &= 7,20 \text{ t} \\
 19 \text{ m}^3 \text{ Benzin} \cdot 0,72 &= 13,68 \text{ t} \\
 27 \text{ m}^3 \text{ Gemisch} \cdot 0,775 &= 20,98 \text{ t}
 \end{aligned}$$

Füllung am Ende:

$$\begin{aligned}
 7,20 \text{ t Kontaktöl} : 0,9 &= 8,0 \text{ m}^3 \\
 13,68 \text{ t obere Schicht} : 0,81 &= 16,9 \text{ m}^3 \\
 20,98 \text{ t Gemisch} : 0,835 &= 24,9 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Inhalt der unteren Kugelkalotte = 3,5 m³

Inhalt je 1 m Zylinderraum = 5,6 m³

Füllhöhe im Zylinderraum Anfang: $\frac{27,0 - 3,8}{5,6} = 4,14 \text{ m}$

Füllhöhe im Zylinderraum Ende: $\frac{24,9 - 3,8}{5,6} = 3,70 \text{ m}$

} 3,95 m

Die Füllung bedeckt also in jedem Falle die KÜHLSCHLANGE.

2) Ölgeschwindigkeit in der Synthese.

Leistung des Förderwerkes 3 m³/s.

Durchströmter Querschnitt = $\frac{1}{2}$. gefüllte Zylinderfläche
 = $\frac{1}{2}$. $\pi \cdot 0,95^2 \cdot 2,672 = 5,28 \text{ m}^2$

$\underline{w_b = \frac{3,0}{5,28} = 0,57 \text{ m}^3/\text{s}}$

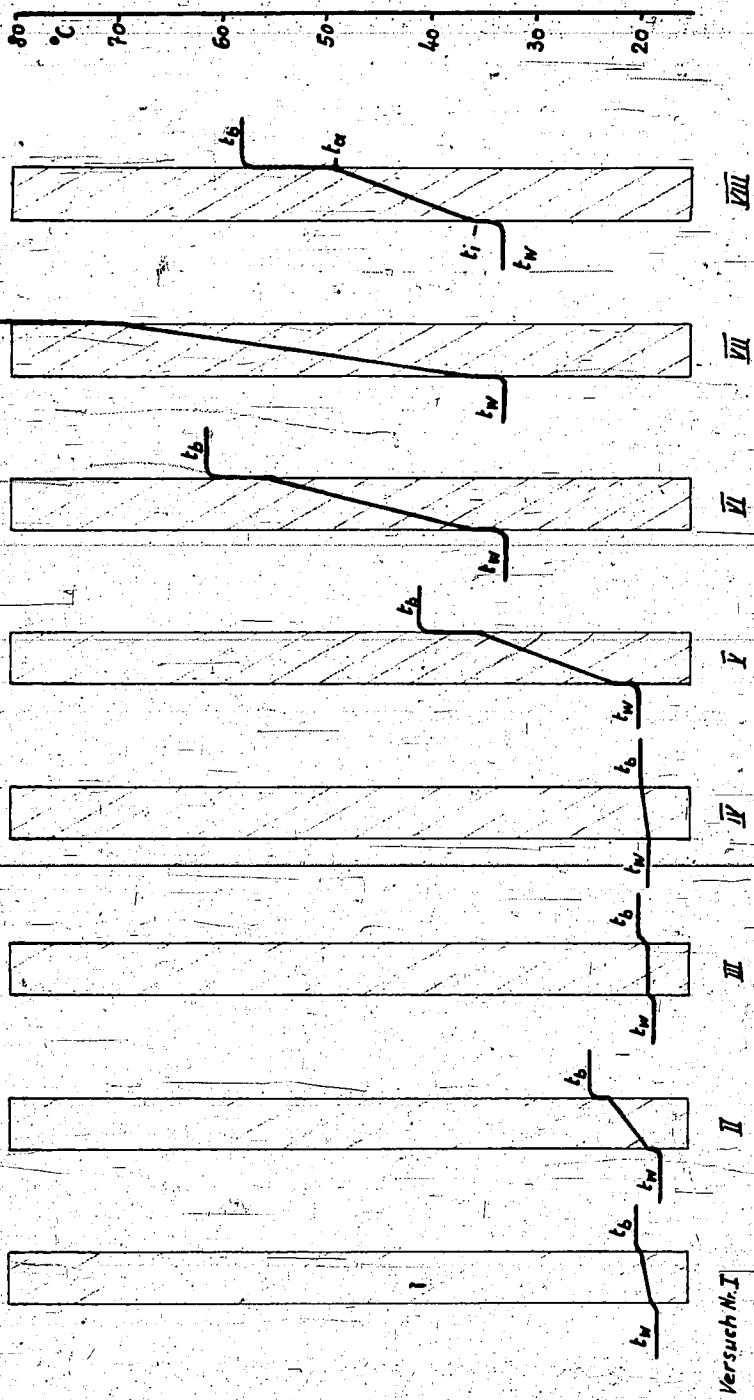
Anlage 8

Schmierölsynthese bei 20 °C

Temperaturverlauf an den Kühlflächen.

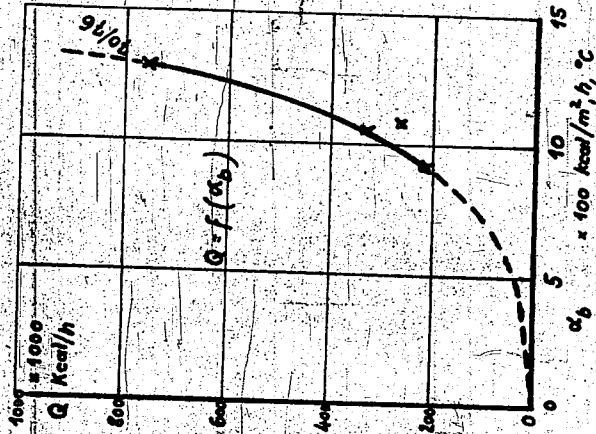
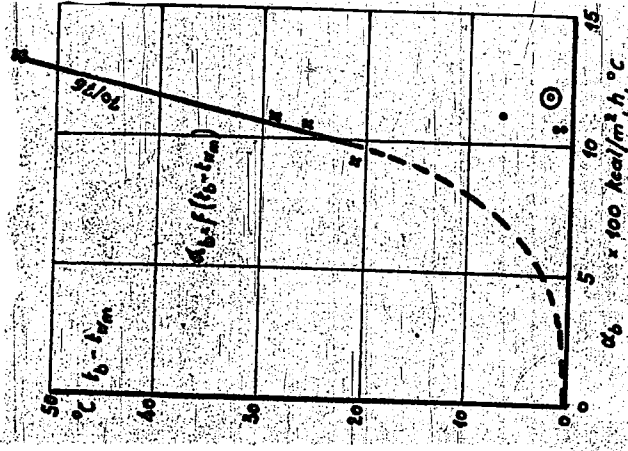
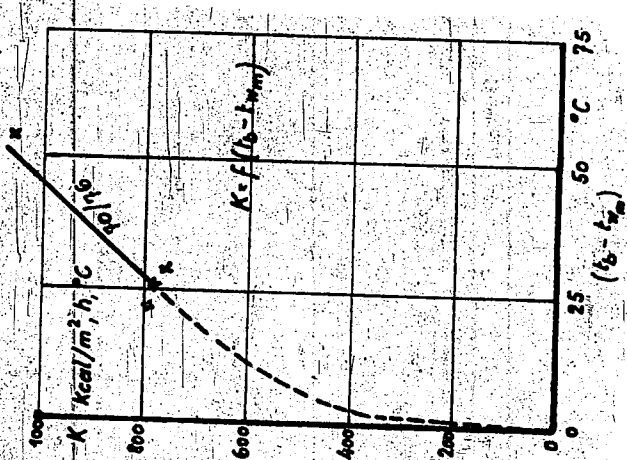
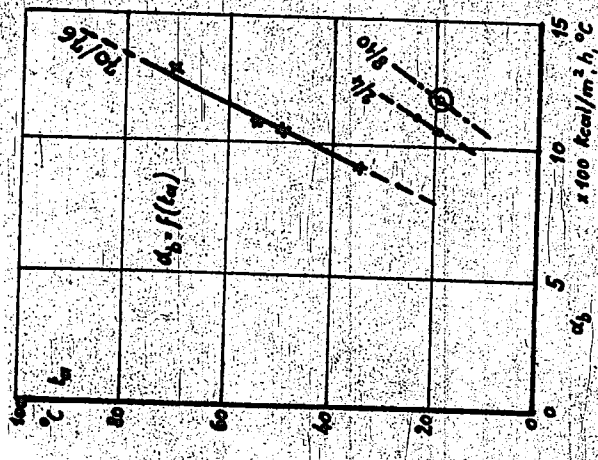
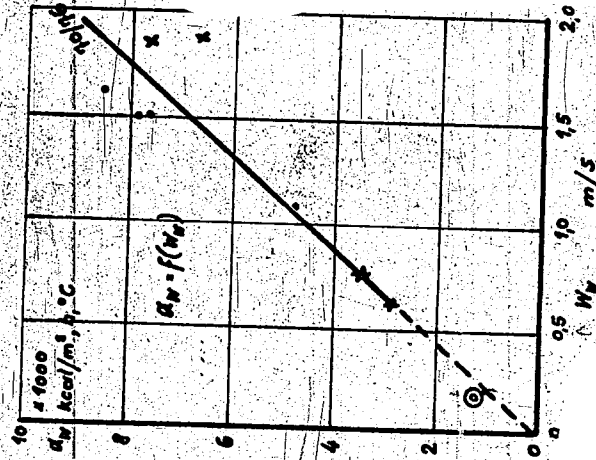
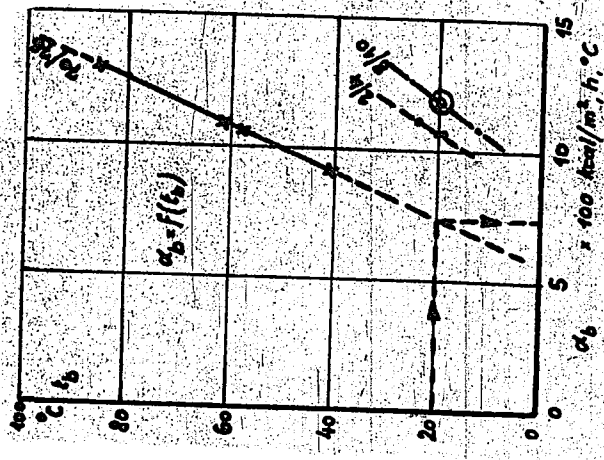
Ruhrchemie A-G
Technische Revision

0002



Versuch Nr. I

Schmierölsynthese bei 20°



Zahlentafel 5 Kühlung mit Wasser

Synthesetemp. $t_b = \text{°C}$	$Q = 50000 \text{ kcal/h}$			$t_{wa} = 18 \text{°C}$			C)
	A)	B)		30		40	
$t_b - t_{wa}$	2,0						
$W_N = \text{m}^3/\text{s}$	1) 1,0	2) 1,5	3) 2,0	1) 1,0	2) 1,5	3) 2,0	22,0
$t_{we} - t_{wa}$ °C	1,1	0,7	0,5	6,0	4,3	2,8	11,7
$Q_N = \frac{Q}{t_{we} - t_{wa}}$ m ³ /h	454	714	1000	83	116	178	43
Technische Durchführbarkeit lt. Zahlentafel 4	Wegen der hohen Wassermengen technisch nicht durchführbar.						Möglich mit je 3 Schlangen 70/76 mm

Zahlentafel 6 Kühlung mit Sole

		Q = 500 000 kcal/h														
		0°			-15°			-30°			-30°					
		A)			B)			C)			C)					
Soletemp. t_{sa}		20°			20°			20°			20°					
Synthesetemp t_b		30°			30°			30°			30°					
$t_b - t_{sa}$ °C		30			35			45			60					
Solegeschw. m/s		1,0			1,0			1,0			1,0					
$t_{se} - t_{sa}$ °C		16,0			19,0			24,0			27,0					
$G_s = \frac{Q}{t_{se} - t_{sa}}$ m ³ /h		400			26,5			50,0			18,5					
Technische		3 Schlangen 70/76			1 Schlange 100/108 × 600			1 Schlange 100/108 × 600			1 Schlange 100/108 × 600			1 Schlange 70/76 × 600		
Durchführbarkeit		= 41,1/62,1/83,1			= 28,2/42,3/56,3			= 28,2/42,3/56,3			= 28,2/42,3/56,3			= 13,8/20,7/27,7		
lt Zahlentafel 4																

untersuehung von synth. und Mineralölen. Alterung.

Alterung von normalem synth. Öl nach eigener Methode.
Verlieren der Zeitdauer.

175 g Öl, 15 l Sauerstoff/h. Öl hatte: $V_{50} = 14,10\%$, NZ = 0,02,
VZ = 0,44, Conradson = 0,07 %.

3677

Dauer Std.	l/h O ₂ -Verbrauch	Wasser cem	Öl cem	+ V ₅₀	NZ	VZ	Conradson
1) Alterung 1 bis 19 1/2 Std. bei 140°C.							
1	0,10	0,-	0,-	0 %	0,24	1,8	0,07
2	0,50	0,3	0,05	1	0,79	3,8	0,09
3	1,43	2,-	0,2	35	4,8	7,2	0,18
4	1,10	2,1	0,2	34	6,2	13,5	0,18
6	1,43	4,5	1,-	73	13,6	20,-	0,31
8	1,50	6,8	1,3	104	19,3	23,5	0,39
10	1,33	10,-	2,4	122	24,-	25,-	-
12	1,45	11,3	2,3	160	31,5	55,-	0,48
16	1,29	13,4	2,9	202	38,5	56,-	0,49
19 1/2	1,13	14,9	2,6	260	45,5	71,5	0,89
2) Alterung 1 bis 24 Std. bei 160°C.							
1	1,2	0,7	0,3	16 %	1,55	5,6	0,15
2	2,-	2,6	0,4	30	3,7	9,7	0,17
3	2,27	5,5	1,-	70	11,3	23,7	0,37
4	2,10	5,8	1,3	85	9,7	23,4	0,54
6	2,22	11,-	2,3	177	24,6	57,9	0,47
8	2,14	12,6	3,2	187	26,2	62,2	0,38
10	1,84	17,1	3,3	320	42,-	-	1,44
12	1,93	18,8	6,9	333	35,5	61,-	1,08
13 1/4	1,99	20,5	4,5	451	53,2	73,4	2,27
24	1,07	27,4	10,-	168 ?	43,3	71,8	1,54

+ Versuch abgebrochen, da Öl stark schäumte.