

Bericht *Wärmeleitfähigkeit von Mehlagewichten.*

Technischer Prüfstand Op.

Nr. *373.*

Verfasser *In.-Ing. Kling*

Tag *20. Februar* 19*29.*

I - 96

Gesehen von der Direktion

Zur Kenntnis an:

Empfänger	Ein- gang	Weiter	Unterschrift
29076			

B e r i c h t

über die

Wärmeleitfähigkeit von Mehrschichtrohren.

Zusammenfassung

Es wurde die Wärmeleitfähigkeit eines aus mehreren Blechschichten gewickelten Rohres gemessen. Der ermittelte Wert $\lambda = 23,6 \text{ kcal/m}^{\circ}\text{C}$ ist nur etwa halb so groß wie der λ -Wert von massivem Eisen ($\lambda = 44,7$). An Hand früherer Messungen von geschichteten Blechen wird gezeigt, daß der Widerstand der Zwischenschicht aus Luft und Oxyd ausschlaggebend ist für die Gesamtwärmeleitfähigkeit der Schichtung. Rechnerisch wird die Temperaturabhängigkeit von λ ermittelt.

Versuchsordnung

Das Rohr wurde außen mit einem Blechmantel umgeben (siehe Blatt 1). Unten strömte an 4 Stellen Kühlwasser mit der Temperatur t_0 ($^{\circ}\text{C}$) ein, oben floß das erwärmte Wasser mit der Temperatur t_2 ($^{\circ}\text{C}$) ab. Die Wassermenge G_w (kg/h) wurde in einem Meßgefäß abgestoppt.

In das Rohrinnere wurde Dampf geleitet, der an den Wänden kondensierte. Unter dem Rohr stand ein Meßgefäß, in dem das Kondensat abgestoppt wurde (G_k (kg/h)). Es wurde also sowohl die vom Dampf abgegebene als die vom Wasser aufgenommene Wärme gemessen.

Mit Thermoelementen wurden die Dampftemperatur I und an 3 Stellen die äußeren Wandtemperaturen II, III und IV gemessen.

Die gesamte Apparatur wurde außen mit einer starken Isolierschicht umgeben.

Versuchsdurchführung:

Vor den eigentlichen Messungen wurde jeweils die Kondensatmenge bestimmt die sich bei nichtgekühltem Rohr ansammelt, und die annähernd die Wärmeverluste an den beiden Zylinderstirnseiten angibt. Diese Menge wurde von den Kondensatmengen der Hauptversuche abgezogen. Die Messungen der Vor- und Hauptversuche wurden nach Erreichen des Beharrungszustandes ausgeführt, der nach mehreren Stunden eintrat.

Meßergebnisse:

Die Meßergebnisse sind in den Tabellen Nr. 1, 2 und 3 wiedergegeben. Im allgemeinen zeigte sich eine befriedigende Übereinstimmung zwischen der vom Dampf abgegebenen (Q_x) und der vom Wasser aufgenommenen (Q_w) Wärmemengen. Der Mittelwert $Q = (Q_x + Q_w) / 2$ wurde der Ausrechnung zu Grunde gelegt. Die Unterschiede betrug ^{an} im Mittel 2,4 %.

Der Temperaturabfall vom Dampf zur inneren Rohroberfläche ($t_{\text{Dampf}} - \vartheta_1$) wurde rechnerisch bestimmt unter der Annahme reiner Filmkondensation. Er betrug $4,5 - 5^\circ\text{C}$.

Der Verlauf der äußeren Wandtemperaturen ist in Blatt 2 eingezeichnet. Die Länge der wärmeübertragenden zylindrischen Schicht wurde zu $l = 0,4 \text{ m}$ angenommen. Aus den Kurven wurde die mittlere äußere Wandtemperatur ($\bar{\vartheta}_2$) ausplanimetriert. Die drei Wandtemperaturen blieben während einer Versuchsreihe konstant.

Die Wärmeleitzahl der Rohrwand konnte nach der Formel berechnet werden:

$$\lambda = \frac{Q \cdot \ln\left(\frac{d_2}{d_1}\right)}{2 \cdot \pi \cdot l \cdot (\bar{\vartheta}_1 - \bar{\vartheta}_2)}$$

oder auch mit $l = 0,4 \text{ m}$, $d_2 = 0,353 \text{ m}$, $d_1 = 0,252 \text{ m}$ zu

$$\lambda = 0,1337 \cdot \frac{Q}{\bar{\vartheta}_1 - \bar{\vartheta}_2}$$

Es ergaben sich die Werte:

Versuch 1	vom 20.1.39	$\lambda = 24,3$ kcal/mh°C	bei $t_m = 73,2^\circ\text{C}$
" 2	" 26.1.39	$\lambda = 24,0$	" " $t_m = 73,2^\circ\text{C}$
" 3	" 27.1.39	$\lambda = 22,5$	" " $t_m = 75,1^\circ\text{C}$
Mittelwert d. Wärmeleitzahl		$\lambda = 23,6$	" " $t_m = 73,0^\circ\text{C}$

Vergleich mit früheren Messungen:

Für eine vergleichende Betrachtung ist es erforderlich, die einzelnen Wärmerwiderstände der Schichtungen des Rohres zu bestimmen. Diese erhält man aus der Beziehung:

$$\frac{d}{\lambda} = \frac{d_1}{\lambda_1} + a \cdot \frac{d_2}{\lambda_2} + b \cdot \frac{d_3}{\lambda_3},$$

wobei bedeuten:

- d - Wandstärke des Rohres (m)
- d₁ - " " Futterrohres (m)
- d₂ - " der Eisenschichten (m)
- d₃ - " " Luft-Oxyd-Schichten (m)
- λ - Wärmeleitzahl des Rohres (kcal/mh°C)
- λ₁ - " " Futterrohres (")
- λ₂ - " der Eisenschichten (")
- λ₃ - " " Luft-Oxyd-Schicht (")
- a - Anzahl der Eisenschichten
- b - " " Luft-Oxyd-Schichten.

Die Wärmeleitahlen von Eisen mit 0,1 % C-Gehalt, von Eisenoxyd und Luft sind in der Abb.3 dargestellt.

Der maßgebende Wärmerwiderstand ist nun immer derjenige der Luft-Oxyd-Schicht $\frac{d_3}{\lambda_3}$ zwischen den Blechen. Für das vorliegende Rohr ist a = 4, b = 4, d = 0,056 (m), d₁ = 0,02 (m), d₂ = 0,009 (m), λ = 23,63 kcal/mh°C, und λ₁ = λ₂ = 44,7 kcal/mh°C bei t_m = 73,0°C. Damit wird

$$\frac{d_3}{\lambda_3} = 0,000279 \text{ m}^2 \text{ h}^\circ\text{C} / \text{kcal.}$$

In einer früheren Untersuchung (siehe Schreiben vom 15.2.38, TA/TPr Op 200, an Herrn Dipl.-Ing. Berger, Lu 10) lagen folgende Daten vor: $a = 13$, $b = 13$, $d = 0,054$ (m), $d_1 = 0,007$ (m), $d_2 = 0,0018$ (m), $\lambda = 14,9$ (kcal/mh°C), $\lambda_1 = \lambda_2 = 44,7$ (kcal/mh°C) bei $t_m = 73,6$ °C. Damit wurde:

$$\frac{d_2}{\lambda_2} = 0,000095 \text{ m}^2 \text{ h}^\circ \text{C/kcal.}$$

(Der in damaligen Schreiben erwähnte Wert 0,000087 errechnete sich für ein Eisen mit 0,3 % C).

Daraus ist zu ersehen, daß die Luft-Oxyd-Schichten beim vorliegenden Rohr einen 5 mal höheren Wärmewiderstand aufweisen als beim früheren Rohr. Dies ist folgendermaßen zu erklären:

Beim früheren Rohr bestand die Schicht d_2 aus der inneren Eisenoxydschicht einer Blechlage mit $\lambda = 0,5$ und dem Luftspalt mit $\lambda = 0,025$. Das Eisenoxyd mit dem 20fachen Wärmeleitvermögen wurde in die Hohlräume gut eingepreßt, so daß der schädliche Luftanteil vermindert wurde. Auch das Verschweißen der Blechstreifen während des Aufwickelns bewirkte eine sehr gute Schrumpfung und Verringerung der Schicht d_2 .

Das vorliegende Rohr hat stärkere Eisenstreifen, die sich weniger gut anlegen, auch die Schrumpfung ist bei Erwärmung auf 100°C weniger wirkungsvoll. Weiterhin fehlt die weiche, gut leitende Oxydschicht, so daß die Schicht d_2 allein von Luft ausgefüllt ist. Daß beim vorliegenden Rohr noch eine erhebliche Vergrößerung der Wärmeleitfähigkeit möglich ist, zeigt die Rechnung. Es ergibt sich nämlich unter Benutzung des Wärmewiderstandes von altem Rohr ein $\lambda = 34,5$, das gegenüber $\lambda = 23,6$ eine 46 %ige Verbesserung bedeutet. Eine solche Steigerung dürfte sicher zu erreichen sein durch die Zwischenlage einer nur wenige Zehntel Millimeter starken Blechlage aus weichem Metall, z.B. Al, Cu oder Ähnlichem. Unsere Versuche an Blechpaketen zeigten, daß eine 0,5 mm starke Al-Blechschicht den Wärmewiderstand der Luftschicht auf den zehnten Teil verringerte.

Der Temperatureinfluß:

Unsere Messungen konnten nur bei einer bestimmten Temperatur von im Mittel $73,8^{\circ}\text{C}$ durchgeführt werden. Die λ -Werte können jedoch ziemlich genau auch auf höhere Temperaturen umgerechnet werden. Aus der Annahme, daß die Zwischenschicht allein aus Luft besteht, und aus der Kenntnis der Temperaturabhängigkeit von Eisen und Luft wurde berechnet:

t =	73,8	100	200	300	$^{\circ}\text{C}$
λ =	23,6	24,2	25,6	26,3	kcal/mh $^{\circ}\text{C}$.

Der Temperatureinfluß ist also nur geringfügig. Die Werte wurden in Abb. 4 graphisch dargestellt.

Anlagen: 3 Blätter
3 Tabellen

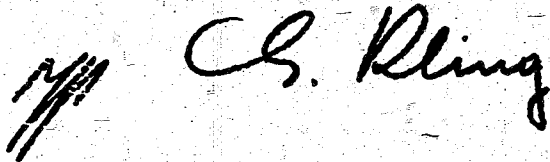
 C. Kling

Tabelle 1:

Zeit: Min.	δ °C	II mV	III mV	IV mV	t_e °C	t_a °C	G kg/h	Q ₁ kcal/h	Q ₂ kg/h	Q ₃ kcal/h	Q ₄ kcal/h	Δt °C	λ kcal/mh°C
15,45	96,85	2,35	3,075	3,29	7,3	29,9	335,3	7575	12,67	6850	7212,5	39,05	24,68
15,53	97,17	2,34	3,098	3,27	7,3	30,0	324,3	7360	12,64	5845	7102,5	39,37	24,13
15,59	97,29	2,338	3,10	3,30	7,4	30,7	306,7	7150	12,73	6897	7023,5	39,49	23,75
16,04	97,20	2,34	3,10	3,30	7,4	30,9	309,3	7260	11,88	6418	6939,0	39,40	23,19
16,10	98,55	2,35	3,17	3,36	7,4	32,1	292,4	7230	15,38	8362	7796,0	40,55	25,62
16,15	97,47	2,35	3,148	3,35	7,3	32,6	296,0	7490	15,92	7545	7517,5	39,67	25,32
16,21	98,09	2,34	3,143	3,363	7,4	32,6	281,4	7090	13,14	7105	7097,5	40,29	23,50

$\Sigma \lambda = 24,31$

Mittlere Dampftemperatur $t_D = 97,5^\circ\text{C}$

Mittlere Wandtemperatur, außen:

Nr. II: 2,345 mV = 43,13°C

Nr. III: 3,120 mV = 58,25°C

Nr. IV: 3,318 mV = 61,84°C

Planimetrierter Mittelwert $\bar{t}_w = 53,3^\circ\text{C}$

Temperaturprung $t_D - \bar{t}_w = 4,3^\circ\text{C}$

Mittleres Temperaturgefälle

in der Rohrwand $\Delta t_w = 39,7^\circ\text{C}$

Mittlere Wandtemperatur $t_w = 73,2^\circ\text{C}$

Mittlerer Wärmefluss $Q = 7226,9 \text{ kcal/h}$

Tab. 110 21

Zeit: Dm.	t_0 °C	II mV	III mV	IV mV	t_{0g}	t_{0g}	Q_0 kg/h	Q_1 kg/h	Q_2 kg/h	Q_3 kg/h	Q_4 kg/h	Δt °C	λ kcal/mh°C
16 00	100,82	2,26	2,90	3,22	6,5	26,0	405	7900	13,72	7400	7650	44,42	23,05
16 06	100,47	2,23	2,90	3,20	6,5	26,0	408	7960	14,33	7725	7842,5	44,07	23,75
16 15	98,26	2,23	2,90	3,235	6,5	26,2	395,5	7800	14,40	7760	7780	41,86	24,85
16 22	100,29	2,21	2,90	3,24	6,5	26,7	389,0	7850	14,55	7840	7845	43,89	23,90
16 28	100,12	2,21	2,90	3,25	6,5	27,1	378,0	8170	14,80	7970	8070	43,72	24,65
													$\lambda = 24,04$

Mittlere Dampf Temperatur $t_D = 99,7^\circ\text{C}$

Mittlere Wandtemperaturen, außen:

Nr. II: 2,26 mV = 41,94°C

Nr. III: 2,90 mV = 54,27°C

Nr. IV: 3,23 mV = 60,24°C

Planimeterter Mittelwert $\lambda_g = 51,5^\circ\text{C}$

Temperaturprüfung $t_D = \lambda_1 = 5^\circ\text{C}$

Mittlere Temperaturgefälle in der Rohrwand $\lambda_1 = \lambda_2 = 43,2^\circ\text{C}$

Mittlere Wandtemperatur $t_m = 75,2^\circ\text{C}$

Mittlerer Wärmefluß $Q = 7837,5 \text{ kcal/h}$

Tabelle 3:

Zeit:	I	II	III	IV	t	t	Q_w	Q_k	Q_k	Q	t_1	λ	
Dim.	$^{\circ}C$	mV	mV	mV	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$	kg/h	kg/h	kcal/kg	kcal/kg	$^{\circ}C$	kcal/mh $^{\circ}C$	
15 ⁴⁵	102,58	2,34	2,93	3,20	5,7	19,1	60,2,5	8063	13,17	7067	7565,0	45,3	22,33
15 ⁵⁰	102,58	2,33	2,98	3,20	5,7	19,5	596,8	8248	13,91	7485	7866,5	45,3	23,21
15 ⁵⁶	102,58	2,32	2,98	3,20	5,7	19,2	595,0	8038	13,39	7195	7616,5	45,3	22,44
16 ⁰²	102,58	2,32	2,95	3,20	5,7	19,2	595,0	7963	13,50	7250	7606,5	45,3	22,0042
16 ⁰⁵	102,58	2,31	2,96	3,21	5,7	19,1	600,0	8045	11,50	6182	7113,5	45,3	21,00
16 ¹²	102,58	2,30	2,94	3,20	5,8	19,0	600,0	7918	14,35	7708	7813,0	45,3	23,09
16 ¹⁷	102,58	2,30	2,93	3,20	5,8	19,0	602,3	7950	14,10	7593	7766,5	45,3	22,92
16 ²³	102,58	2,30	2,94	3,20	5,8	19,1	600,0	7983	14,10	7593	7783,0	45,3	22,96

$\lambda = 22,34$

Mittlere Dampftemperatur $t_D = 102,6^{\circ}C$

" Wandtemperaturen, außen

Nr. II: 2,315 mV = 43,57 $^{\circ}C$

Nr. III: 2,951 mV = 55,20 $^{\circ}C$

Nr. IV: 3,20 mV = 59,70 $^{\circ}C$

Planimetrierter Mittelwert $\lambda = 52,5^{\circ}$

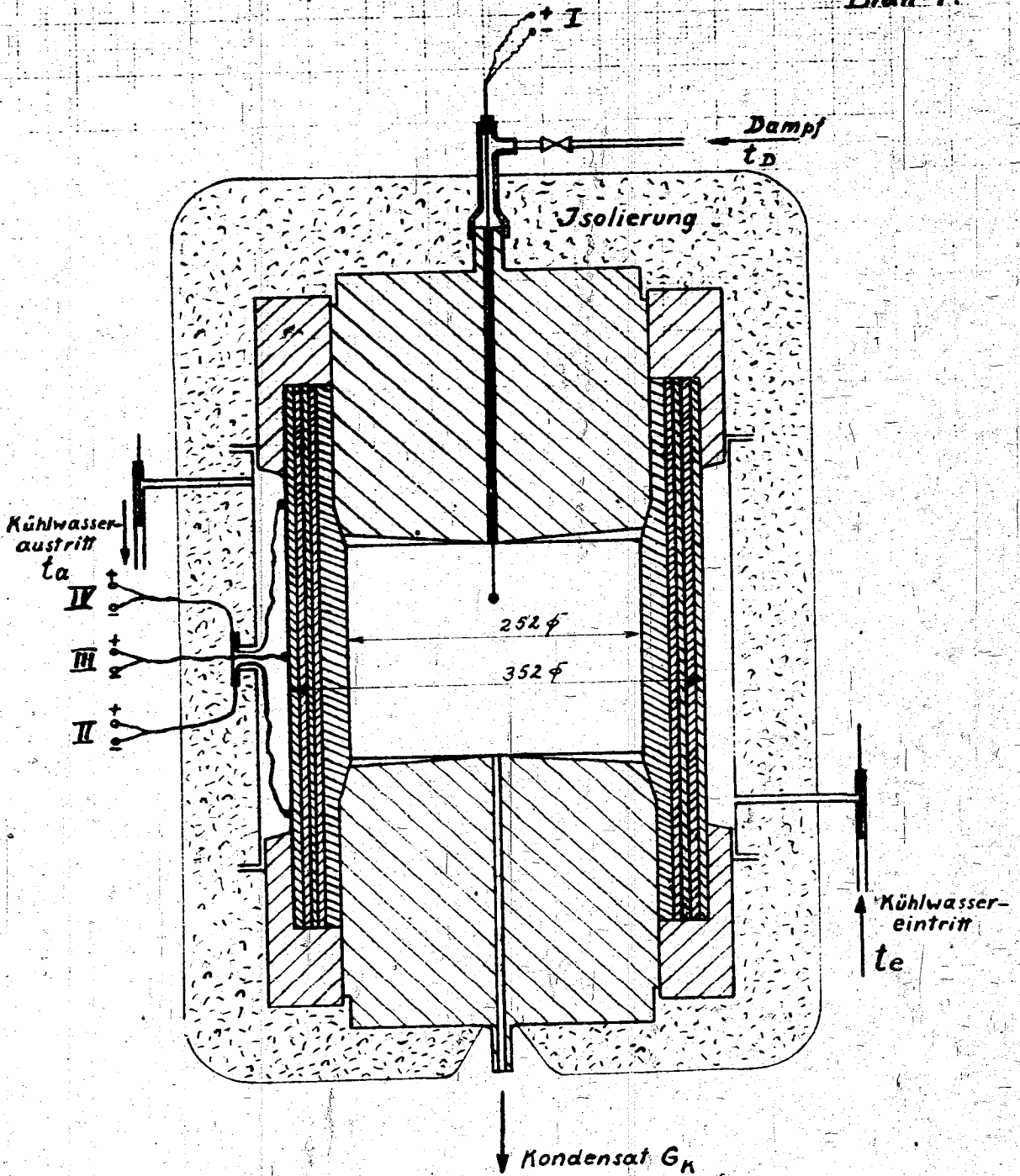
Temperaturspannung $t_D - t_1 = 4,8^{\circ}C$

Mittleres Temperaturgefälle

in der Bohrwand $\lambda_1 - \lambda_2 = 45,3^{\circ}C$

Mittlere Wandtemperatur $t_m = 75,1^{\circ}C$

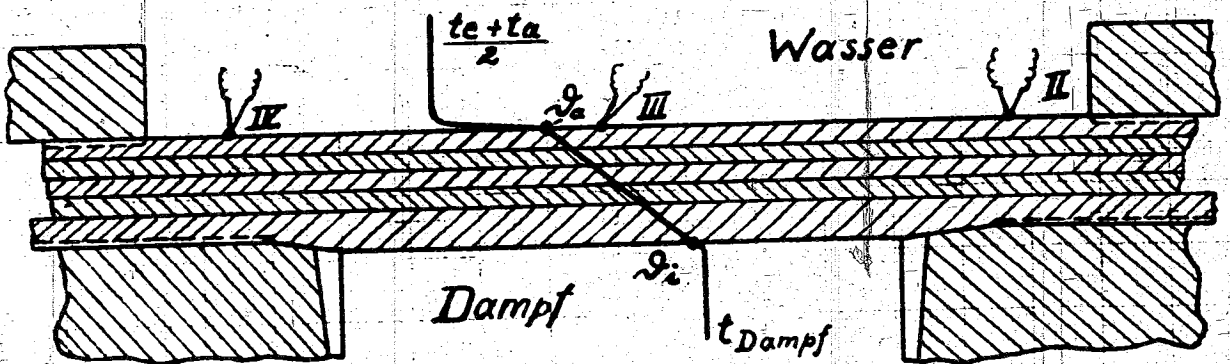
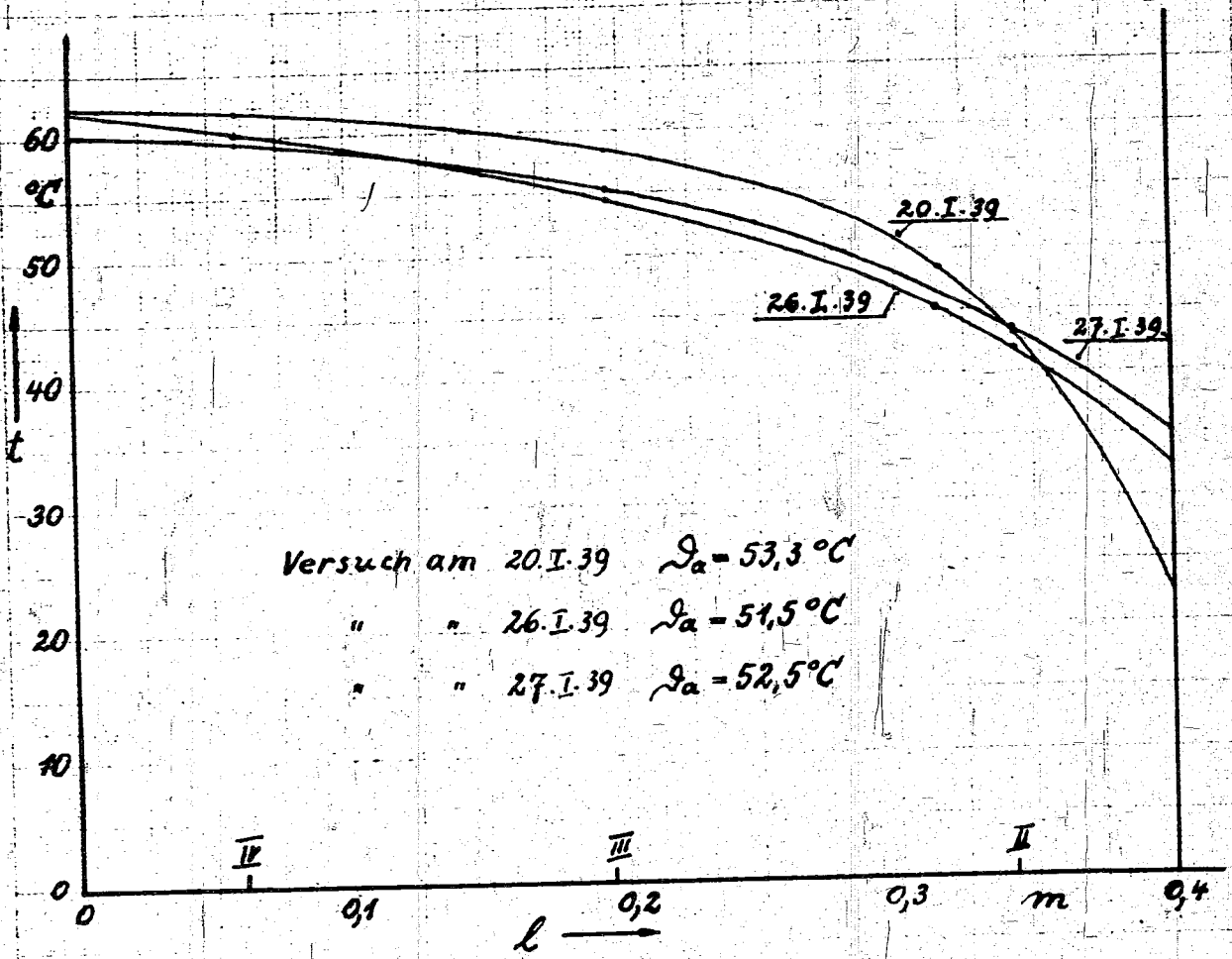
Mittlerer Wärmefluss $q = 7641,3$ kcal/h



TPrS 357

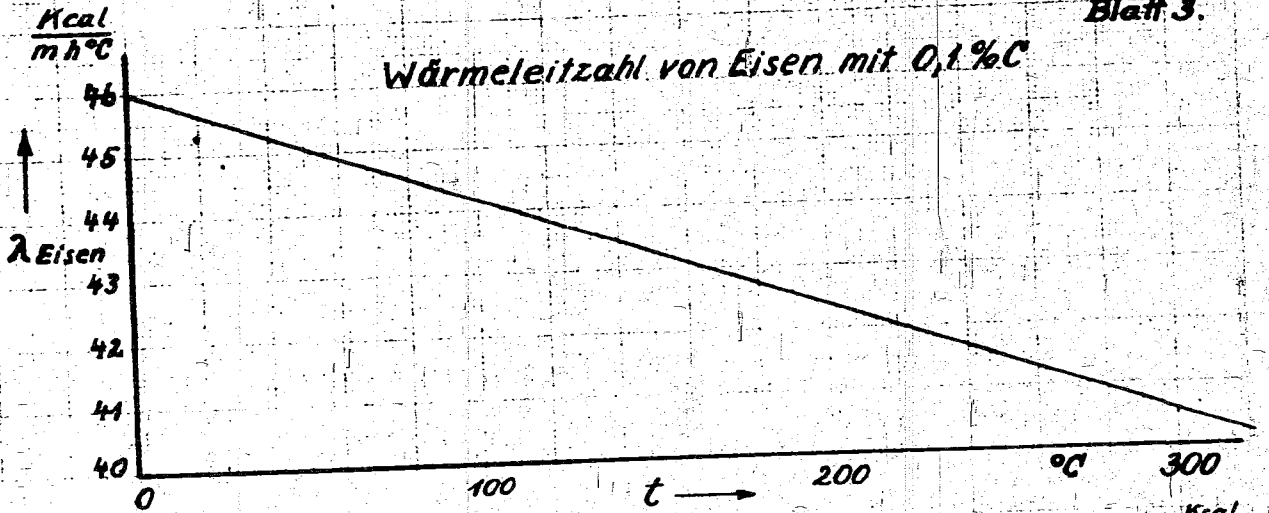
zum Bericht Nr 373 vom 20. II. 39

29085

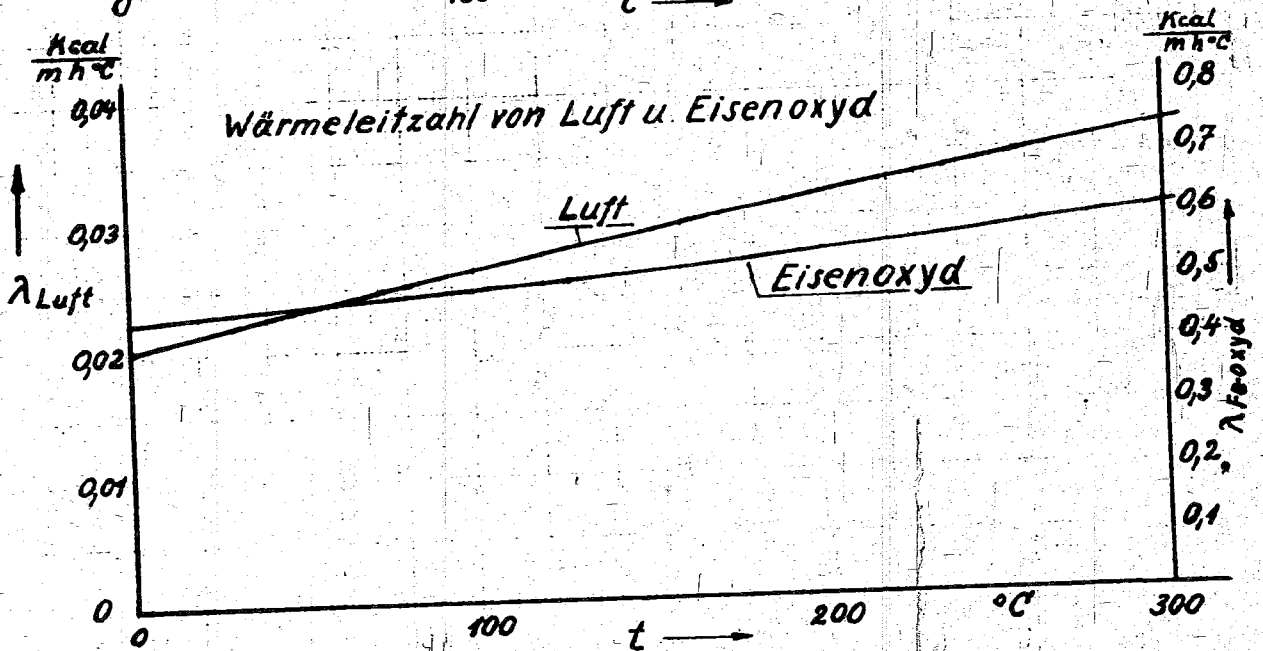


TPS 358.

Wärmeleitfähigkeit von Eisen mit 0,1% C



Wärmeleitfähigkeit von Luft u. Eisenoxyd



Wärmeleitfähigkeit des Mehrlagenrohres

