

Bericht *Messung der Wärmeleit-
zahlen von zwei Nickelbehältern
Rohr Nr. 105 und Nr. 108b
Bestimmung der Wärmeleitzahl des Zunderstoffs*

Technischer Prüfstand Op.

Nr. 391

Verfasser *Dr. G. Kling*

I-110

Tag *26. Juni* 19*39*

Gesehen von der Direktion

Zur Kenntnis an:

Empfänger	Ein- gang	Weiter	Unterschrift
29309			

I.G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft
Ludwigshafen/Rhein
Techn. Prüfstand Op. 471
Bericht Nr. 391

B e r i c h t
über
Messung der Wärmeleitahlen von zwei Wickelbehältern,
Beur. Nr. 105 und Nr. 108b.

Bestimmung der Wärmeleitahl des Bundeisens.

B e r i c h t
 über

Messung der Wärmeleitfähigkeit von zwei Nickelbehältern,
 Rohr Nr. 105 und Nr. 108b.

Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit des Sandeisens.

1.) Messung der Wärmeleitfähigkeit der Nickelbehälter.

Es wurde die radiale Wärmeleitfähigkeit λ der Wandung von den beiden Nickelbehältern, Rohr Nr. 105 und Rohr Nr. 108b, gemessen. Eine Skizze der beiden Rohre ist auf Blatt 1 beigegeben, ebenso das Profil des Nickelbundes. Das Rohr Nr. 105 war bereits mit 1300 at bis über die Streckgrenze beansprucht worden.

Die Messung der Wärmeleitfähigkeit erfolgte nach einem Verfahren, das bereits früher eingehend beschrieben wurde (siehe Bericht Techn. Prüfstand, Dr. Ling, Nr. 373: "Wärmeleitfähigkeit von Mehrlagenrohren"). Um den Behälter wird ein Kühlmantel gelegt und die Wärmeaufnahme des Kühlwassers (\dot{Q}_1) gemessen. Ins Innere des Behälters wird Dampf geleitet und aus der Kondensatormessung dessen Wärmeabgabe (\dot{Q}_2) bestimmt. Das Mittel beider Wärmestromen (\dot{Q}) wird als die Wärme angesehen, die die Rohrwand durchfließt. Aus den mittels Thermoelementen bestimmten Wandtemperaturen auf der Wasser- (ϑ_w) und Dampf- (ϑ_d)seite, sowie den Abmessungen des Behälters lässt sich die Wärmeleitfähigkeit des Mehrlagenrohres errechnen zu:

$$\lambda = \frac{\dot{Q} \cdot \ln\left(\frac{d_a}{d_i}\right)}{2 \cdot l \cdot (\vartheta_d - \vartheta_w)}$$

Für die beiden Rohre sind folgende Werte einzusetzen:

Rohr Nr.	105	108b
l = Länge der mit Wasser gespülten Wand	1,97	1,545 (m)
d _a = Rohraussendurchmesser	0,3975	0,399 (m)
d _i = Rohrinwenddurchmesser	0,279	0,281 (m)

Die Wandtemperatur $\bar{\lambda}_n$ ergibt sich als planimetrischer Mittelwert aus 5 Wandtemperaturmessungen, die Wandtemperatur λ_1 aus der Formel:

$$\lambda_1 = t_p - Q/\alpha \cdot F_1, \text{ wobei } t_p \text{ die Dampftemperatur (}^\circ\text{C),}$$

$\alpha = 10\,000 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ und F_1 die wärmeübertragende Koarinnfläche (m^2) sind (Kohr Nr.105 $F_1 = 1,728 \text{ m}^2$; Nr.108b $F_1 = 1,363 \text{ m}^2$; t_p ist nur etwa $2,5^\circ\text{C}$ höher als λ_1).

An jedem Kohr wurden jeweils nach einer Beharrungszeit von einigen Stunden je 2 Versuche vorgenommen, wobei wiederum je 5 Einzelmessungen mit jeweils 4 Temperatur- und Mengenbestimmungen sowie 1 Thermoelementenablesung ausgeführt wurden. Die Mittelwerte aus den Einzelmessungen sind in der Tabelle 1 zusammengestellt. Die Versuche ergaben danach für

<u>Kohr Nr.105:</u>	Versuch vom 23.5.1939	$\lambda = 23,9 \text{ kcal/ah}^\circ\text{C}$	bei $74,7^\circ\text{C}$
	Versuch vom 24.5.1939	$\lambda = 22,8$	" " $73,5^\circ\text{C}$
	Mittelwert	$\lambda = 23,4 \text{ kcal/ah}^\circ\text{C}$	bei $74,1^\circ\text{C}$
<u>Kohr Nr.108b:</u>	Versuch vom 12.6.1939	$\lambda = 19,6 \text{ kcal/ah}^\circ\text{C}$	bei $77,4^\circ\text{C}$
	Versuch vom 12.6.1939	$\lambda = 20,4$	" " $75,2^\circ\text{C}$
	Mittelwert	$\lambda = 20,0 \text{ kcal/ah}^\circ\text{C}$	bei $76,3^\circ\text{C}$

Die Genauigkeit der Messmethode könnte unternommenfalls mit 10% einbezogen werden. Es ist daher nicht mit Sicherheit zu sagen, ob die höhere Wärmeleitfähigkeit von Kohr Nr.105 durch die vorherige Messung bedingt ist. Jedenfalls ist aber der Unterschied in der Wärmeleitfähigkeit zwischen dem gepressten und ungedrungenen Kohr praktisch unbedeutend.

2.) Messung der Wärmeleitfähigkeit des Bandeisens.

Die Beurteilung der Güte der Wicklung bezüglich ihrer Wärmeleitfähigkeit kann nur erfolgen, wenn die Wärmeleitfähigkeit des Bandmaterials selbst gemessen ist. Diese wurde daher nach einem direkten Verfahren mittels der Plattenmethode gemessen.

Die Messanordnung ist in Blatt 2 dargestellt. Von dem Bandblech wurden 10 kurze Stücke von 90 mm Länge zu einem rechteckigen Block zusammengelegt. Die 10 Lagen wurden unter einer Presse mit 200 at zusammengepresst und unter Druck mit einer Silberstahlschraube verschraubt, sodass sich ein fester Eisenklotz ergab. In 70 mm Abstand wurden zwei konische Kupferbolzen von 6 mm ϕ durch alle Lagen hindurch in eine passende konische Bohrung eingeschlagen. 2 Thermolemente wurden senkrecht zum Bolzen durch eine 2 mm Bohrung bis ins Kupfer geführt und von der Stirnseite des Eisenblocks her festgeschraubt. Es ist anzunehmen, dass die Thermolemente nach diesen Annahmen eine mittlere Temperatur in der Rechteckschnittfläche des Eisenblocks anzeigen. Die Stirnflächen des Blocks wurden abgedreht und geschliffen.

Der so vorbereitete rechteckige Probekörper von 50x51x90 mm wurde unter Zwischenlage von Staniolpapier zwischen einem Kühlblock und einem Heizblock gestellt und das Ganze durch zwei übergestülpte Dewargefäße gegen seitliche Wärmeverluste geschützt. Die dem Heizblock zugeführte Stromleistung (kcal/h) ist aus der elektrischen Messung von Strom und Spannung mittels Präzisionsinstrumenten bekannt. Die Wärmeverluste V (kcal/h) sind berechenbar bzw. durch Vorversuche genau bestimmt. Der Querschnitt des Eisenblockes konnte nach verschiedenen Methoden sehr exakt zu $f = 0,002468 \text{ (m}^2\text{)}$ bestimmt werden. Der Abstand zwischen den beiden Temperaturmessstellen t_I und t_{II} ($^{\circ}\text{C}$) ist $s = 0,0705 \text{ (m)}$. Damit errechnet sich die Wärmeleitfähigkeit λ_E des Bandblechs zu:

$$\lambda_E = \frac{(Q-V) \cdot s}{f \cdot (t_I - t_{II})} = 28,54 \cdot \frac{(Q-V)}{(t_I - t_{II})}$$

Die Messung wurde mehrmals wiederholt bei verschiedenen Heizleistungen und ausgewechselten Thermolementen. Die Messergebnisse sind in der Tabelle 2 zusammengestellt, die einzelnen Werte sind:

Versuch am:	t_m ($^{\circ}\text{C}$):	$\lambda_{E, \text{m}}$ ($\text{kcal/mh}^{\circ}\text{C}$):
10.6.1939	39,0	32,30
14.5.1939	36,1	33,15
15.6.1939	34,8	35,13
16.6.1939	41,0	34,04
17.6.1939	40,9	32,53
18.6.1939	41,8	35,13

29313

Als Mittelwert ergibt sich für die Wärmeleitfähigkeit des Bandeisens:

$$\lambda_E = 33,7 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C bei } 39,1^\circ\text{C.}$$

Als Analyse des Bandeisens wurden folgende Werte angegeben: 0,31% Si, 1,48% Mn, 0,01% P, 0,06% S, 0,02% Al, 0,1% Ni, 0,42% Cu, 0,02% Mg, 97,2% Fe und 0,18% C.

Über die Wärmeleitfähigkeit von Stählen sind in der Literatur nur verhältnismäßig wenig Angaben zu finden. Aus der ~~AMEL~~^{um} Fassenden Zusammenstellung im Werkstoff-Handbuch Stahl und Eisen 1937 ist als ähnlichstes Material ein Mangnstahl angegeben mit 0,2% C, 1,6% Mn, 0,1% Si, der ein λ von 31 kcal/mh^oC besitzt. Dieser Wert würde die vorliegenden Messungen bestätigen. Es sei noch bemerkt, dass die benutzte Apparatur bereits bei vielen anderen Messungen sehr genaue Werte geliefert hat. Die angegebene Wärmeleitfähigkeit von $\lambda_E = 33,7 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$ dürfte daher nur wenige Prozente Ungenauigkeit enthalten.

3.) ~~Wärme~~Widerstand der Zwischenschichten.

Ein Vergleich zwischen der Wärmeleitfähigkeit des Nickelblechs ($\lambda \approx 22$) und der Wärmeleitfähigkeit des Stahlbandes ($\lambda_E \approx 34$) zeigt den schädlichen Einfluss der Luft- und Oxidschichten. Rechnet man, wie bei den früheren Untersuchungen (siehe Bericht Nr. 373), den ~~Wärme~~Widerstand $\frac{d}{\lambda}$ der Zwischenschichten aus, so ~~erhält~~^{erhält} man beim Rohr Nr. 105: $(\frac{d}{\lambda})_{\text{Luft-Oxidschicht}} \approx 0,000036 \frac{\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}}{\text{kcal}}$
Nr. 103b: " $\approx 0,000135$ "

Diese Werte sind noch von gleicher Grössenordnung wie die von früheren Rohren ermittelten von 0,000279 und 0,000093 (siehe Bericht Nr. 373); sie sind aber auch von fast derselben Grössenordnung wie der ~~Wärme~~Widerstand der Nickelschichten selbst von:

$$(\frac{d}{\lambda_E})_{\text{Band Eisen}} = \frac{0,005}{33,7} = 0,000148 \frac{\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}}{\text{kcal}}$$

Der Gesamtwärme­widerstand der Landung beträgt beim

Rohr Nr.105	$\left(\frac{d}{\lambda}\right)_s = \frac{0,05925}{23,4} = 0,002532$
" Nr.108b	$\left(\frac{d}{\lambda}\right)_s = \frac{0,05900}{20,0} = 0,002950$

Damit wird das Verhältnis aller Zwischenschichtwiderstände zum Gesamtwärme­widerstand der Landung beim

Rohr 105	$\frac{9 \cdot (d/\lambda)_{L-Ox}}{(d/\lambda)_s} = 0,305$
" 108b	$\frac{9 \cdot (d/\lambda)_{L-Ox}}{(d/\lambda)_s} = 0,406$

würde man die Zwischenschicht als eine gleichmässige Luftschicht annehmen, deren Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{Luft} = 0,025 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$ beträgt, so erhielte man entsprechend den Wärme­widerständen $(d/\lambda)_{L-Ox}$ von 0,000086 und 0,000133 eine Mächtig­keit der Luftschicht $d_{Luft} = 0,00215$ bzw. 0,00333 mm, Werte, die wegen des 1500-fachen Unterschiedes der Wärmeleitfähigkeiten von Luft und Eisen wohl vorstellbar sind. In Wirklichkeit ist die Luftschicht nicht homogen, sondern von Eisenoxiden aus Eisenoxyd durchsetzt, welche letzteres aber doch nur eine Wärmeleitfähigkeit von 1/50 derjenigen des reinen Eisens besitzt.

Vermindert man die Wärmeleitfähigkeit der Nickelbleche, wirken auch die 1 mm breiten seitlichen Luftschlitze zwischen den Bündeln. Da diese aber parallel zum Wärmefluss liegen, bedeutet dies nur eine scheinbare Querschnittsverlängerung von etwa 3 %, was sich in gleichem Masse auf die Wärmeleitfähigkeit auswirkt. Engere Schlitze würden die Wärmeleitfähigkeit nur wenig verbessern.

Es sei hier nochmals auf die günstigen Ergebnisse hingewiesen, die früher durch die Zwischenlage von 0,5 mm starken Al-Blechen bei der Untersuchung von Blechpaketen erzielt wurden. Der Wärme­widerstand konnte dabei auf den zehnten Teil verringert werden (siehe Schreiben Ta/TPr. Op. 20.1 vom 15.2.1938 an Herrn Dipl.-Ing. Berger, Lu 10), da sich das weiche Metall in alle Unebenheiten zwischen den Blechen eindrückte. Dieser Vorteil wäre evtl. auch bei den Metalllagerrohren zu erreichen, wenn die Endoberfläche vor dem

Aufwickeln mit einer reinen Metallschicht überzogen wird, deren Schmelzpunkt der Schrumpftemperatur entspricht. Unter Verwendung von H_2 als Schutzgas vor Oxidation wäre es möglich, neben der mechanischen auch eine chemische Verbindung der Sandlagen durch Lösung zu bekommen. Es ist anzunehmen, daß auf diese Weise die Wärmeleiterstände der Zwischenschichten günstig verändert werden würden. Dagegen erscheint es unwahrscheinlich, durch noch stärkere Schrumpfung eine wesentliche Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit zu erreichen, da hierbei die Oxidschicht erhalten bleibt und sich auch die Grenzflächen der Längs- und Querschnittsflächen einer winzigen Luftschicht immer nur anpassen können, aber nicht ineinanderfließen.

Die Temperaturabhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit der untersuchten Siebelbehälter ist nur schätzungsweise anzunehmen, da die Wärmeleitfähigkeit des Sandes in der vorliegenden Apparatur nicht bei höheren Temperaturen gemessen werden konnte. In Analogie zu den früheren Untersuchungen (Bericht Nr. 373, Blatt 3) dürfte jedoch die Wärmeleitfähigkeit wegen der etwas dünneren Luftschichten mit zunehmender Temperatur praktisch unverändert bleiben.

Anlagen: 2 Tabellen,
2 Blatt Skizzen.

C. Kling
[Handwritten signature]

Tabelle 1.

Versuche an den Sichelbehältern Nr.105 und 108b.

Datum	Zeit	Thermoelmente Nr.					$\frac{q}{A_2}$ °C	t_D °C	β_1 °C	G_w kg/h	t_e °C	t_a °C	Q_w kcal/h
		1 °C	2 °C	3 °C	4 °C	5 °C							
<u>Rohr Nr.105</u>													
23.5.1939	14,13-15,06	40,0	47,7	49,8	51,2	56,5	49,3	102,5	100,0	1740	11,8	34,7	39840
24.5.1939	10,31-11,25	39,5	46,7	47,8	47,5	55,7	47,0	102,3	99,9	1953	11,6	32,0	40000
<u>Rohr Nr.108b</u>													
12.6.1939	10,55-11,26	28,5	50,6	53,3	53,3	55,6	50,5	106,5	104,4	1348	17,6	39,7	29800
12.6.1939	14,24-14,58	25,0	49,0	51,2	50,8	52,2	47,5	106,3	104,0	2188	17,8	32,5	32050

Zu Tabelle 1.

G_K kg/h	Q_K kcal/h	Q kcal/h	θ_{1-a} °C	t_m °C	λ kcal/hm°C
83,5	44 880	42 360	50,7	74,7	23,93
82,1	44 150	42 075	52,9	73,5	22,82
Mittelwerte:				74,1	23,38
53,55	28 620	29 210	53,9	77,4	19,61
58,0	30 995	31 523	55,7	76,2	20,42
Mittelwerte:				76,8	20,01

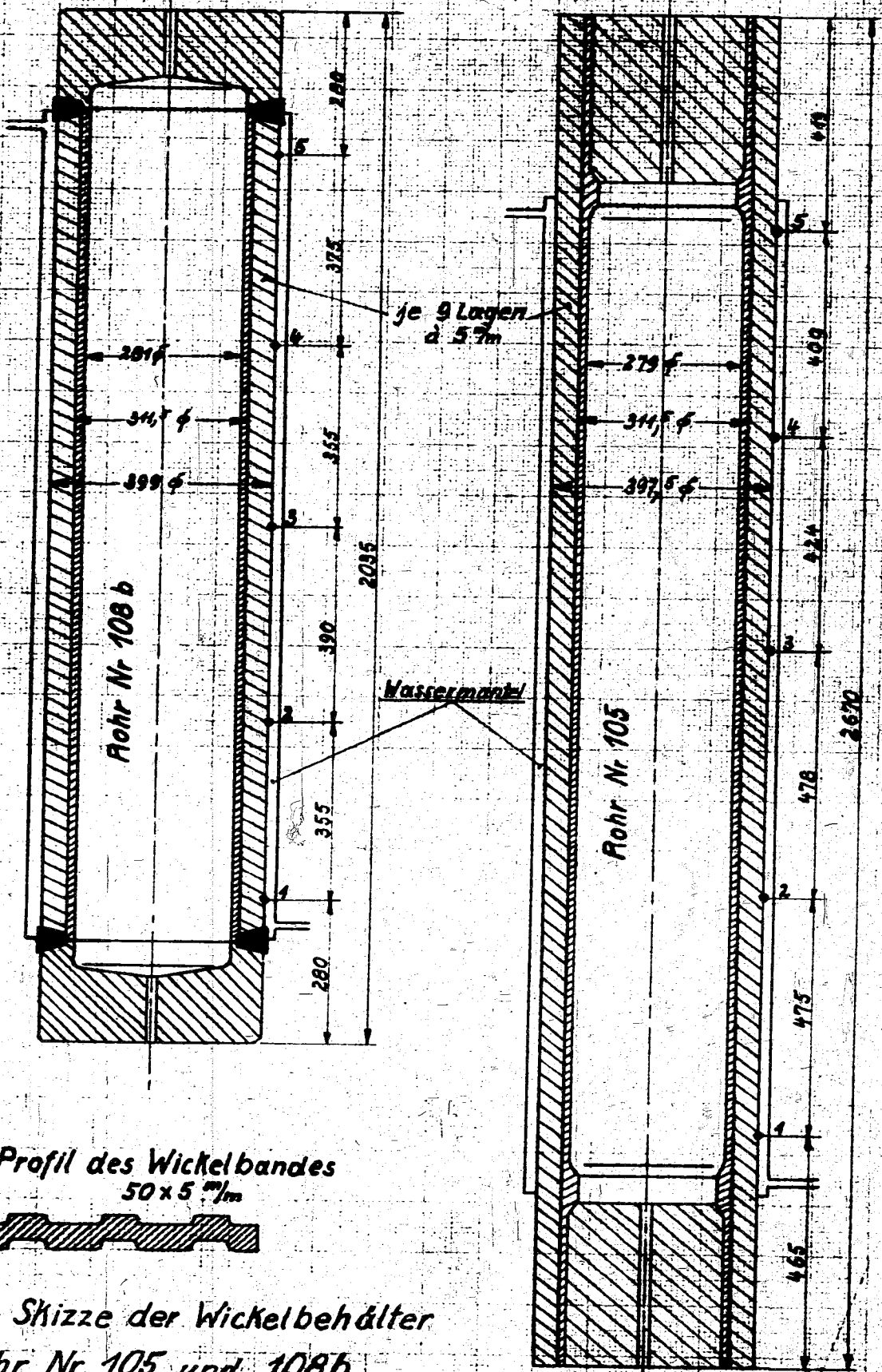
29318

Tabelle 2.

Wärmeleitzahlen des Bandeisens.

Datum	Zeit	Q kcal/h	V kcal/h	t_I °C	t_{II} °C	λ_g kcal/mh°C
10.6.1939	8,00-11,10	12,49	0,715	45,1	34,7	32,30
14.6.1939	8,25-11,30	10,93	0,603	40,6	31,7	33,15
15.6.1939	13,50-16,15	10,53	0,555	38,8	30,7	35,13
16.6.1939	8,00-11,30	13,89	0,782	46,5	35,5	34,04
17.6.1939	8,00-12,30	12,29	0,712	45,9	35,8	32,53
18.6.1939	8,00-16,00	12,28	0,688	46,5	37,1	35,18

Mittelwert $\lambda = 33,72$ kcal/mh°C



Profil des Wickelbandes
50 x 5 mm

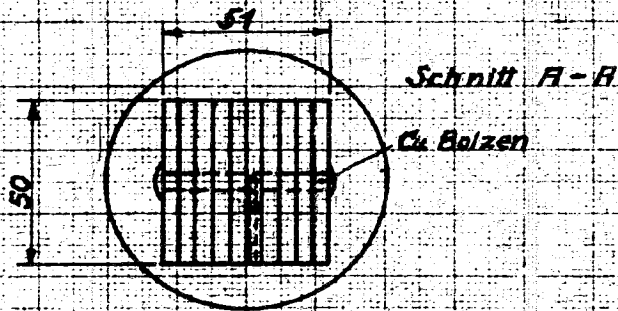
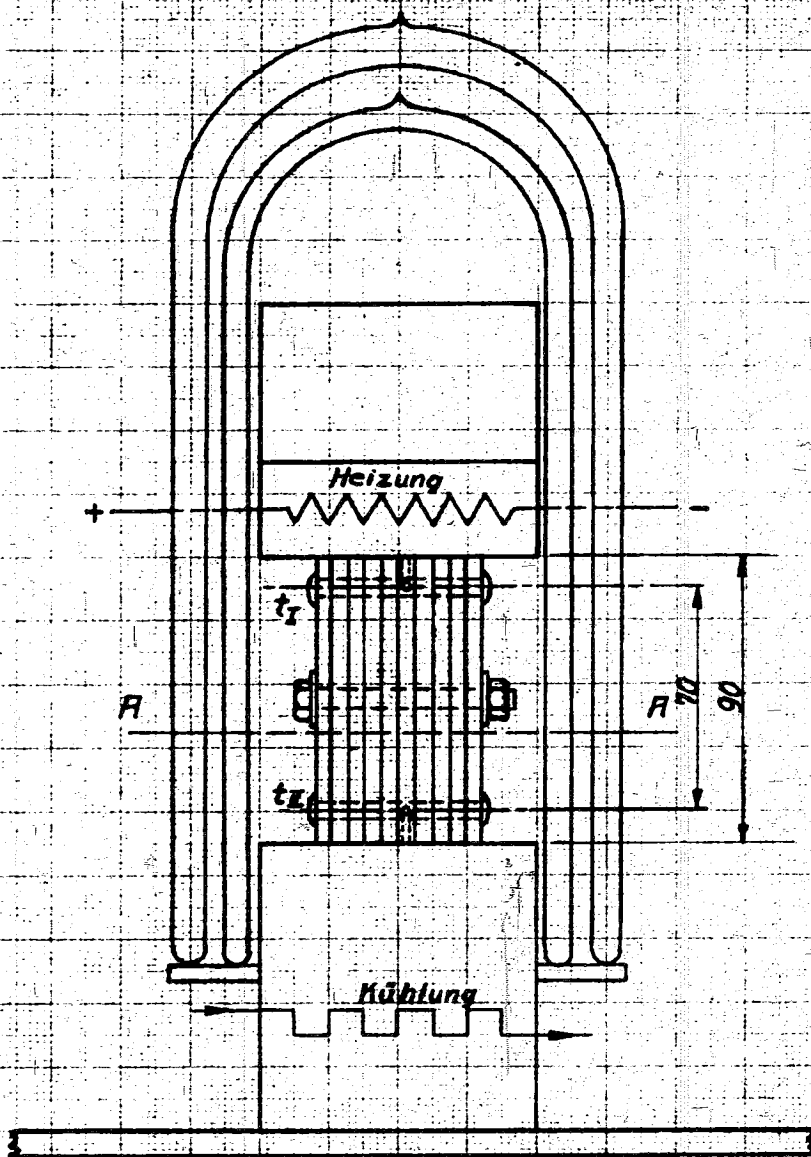


Blatt 1: Skizze der Wickelbehälter
Rohr Nr 105 und 108b

T.Pr.S 461 d

z. Bericht Nr 391 v. 26. 6. 39.

29320



29321

Blatt 2: Skizze der Versuchsanordnung zur Messung der Wärmeleitfähigkeit des Bandeisens.

T.Pr.S. 462