

A 2/0
5

B

Bericht Nr. 469

Untersuchungen an Rippenrohren

2. Teil:

Messung des Wärmeüberganges
an Hochdruckrohren mit spiralförmig
aufgewickelten geschweißten Rippen

8249



Bericht des Technischen Prüfstandes Oppau

Nr. 469.

Untersuchungen an Rippenrohren2. Teil: Messung des Wärmeüberganges an Hochdruckrohren mit
spiralförmig aufgewickelten geschweiften Rippen.

Übersicht: Spiralrippenrohre mit verschiedener Steigung und verschiedenen Durchmesser der Rippen wurden geprüft. Zum Vergleich wurde der Wärmeübergang eines normalen Rippenrohres mit rechteckigen Rippen gemessen. — Die Wärmeübergangszahlen α_a fallen mit zunehmender Rohroberfläche F_a vom α_a -Wert des ungerippten Rohres aus hyperbolisch ab und streben einen Grenzwert $\alpha_a = 9 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h}^\circ \text{C}$ ($w_{\text{Rippen}} = 20 \text{ m/sec}$) zu. Die übertragbaren Wärmemengen dagegen sind (da proportional $\alpha_a \cdot F_a$) beim ungerippten Rohr am kleinsten, um dann mit F_a nahezu linear anzusteigen. Bemerkenswert ist, daß sich die Ergebnisse aller Rohre, unabhängig von Rippenform und Rippenteilung in die $\alpha_a \cdot F_a$ - bzw. $Q \cdot F_a$ -Kurven einreihen. Verglichen mit dem Normalrohr Nr. 4 ergeben sich prozentual folgende übertragbare Wärmemengen:

Rohr Nr. 4 Rechteckrippe	230x250 mm $\varnothing$	Teilg. 15,6 mm,	$\frac{Q}{Q_{\text{Nr. 4}}} = 100 \%$
" " 8 Spiralrippe	125/227 mm $\varnothing$	" 19,8 "	" = 73 %
" " 9 " "	126/246 " "	" 19,8 "	" = 79 %
" " 10 " "	126/246 " "	" 16,1 "	" = 91 %
" " 11 " "	126/246 " "	" 12,1 "	" = 104 %

Die Ergebnisse zeigen, daß eine weitere Oberflächenvergrößerung (größerer Spiraldurchmesser) auch den Wärmeaustausch noch beträchtlich vermehren würde.

Abgeschlossen am: 1. August 1941.

Bearbeiter:

Dr.-Ing. O. Kling

Cs. Kling

Die vorliegende Ausfertigung enthält

11 Textblätter

6 Bildblätter

1 Tabelle

Verteiler

Nr.	am	Empfänger	Nr.	am	Empfänger
1		Herrn Dir. Dr. Sauer, Leuna	11		Herrn Dr.-Ing. Kauts, Lu
2		Herrn Dir. Jönschans, Leuna	12		Herrn Dipl.-Ing. Schappert, Lu
3		Herrn Dir. Dr. Rymann, Lu	13		Herrn Dr.-Ing. Wilds, Op
4		Herrn Dir. Dr. Lappe, Op	14		Herrn Dr.-Ing. Kling, Op
5		Herrn Obering. Dr. Schierenbeck, Op	15		Techn. Prüfstand Op
6		Herrn Obering. Raithel, Lu	16		
7		Herrn Obering. Dr. Schmidt, Lu	17		
8		Herrn Obering. Berger, Lu	18		
9		Herrn Obering. Richter, Leuna	19		
10		Herrn Dr.-Ing. Wöhner, Lu	20		

8250

Untersuchungen an Rippenrohren

2. Teil.

Messung des Wärmeüberganges an Hochdruckrohren mit spiralförmig aufgewickelten geschweißten Rippen.

1.) Allgemeines.

Die Haarnadeln der Spitzenvorheiser sind zur Erhöhung des äußeren Wärmeüberganges mit Rippen versehen. Diese Rippen werden als rechteckige, innen gelochte Bleche aus Tafeln von 4 mm Stärke ausgestanzt, dann auf das Hochdruckrohr aufgeschoben und mit diesem verschweißt. Die einzelnen Arbeitsgänge, vor allem das Nacharbeiten der Bleche, Nachschleifen des Loches, Aufbringen auf das Rohr und Distanzhalten beim Schweißvorgang, sind außerordentlich zeitraubend. Auch die Schweißung selbst wird vielfach durch die Unrundung der Rohre oder durch ein zu großes Loch im Blech erschwert.

In dem Bestreben, den unterbrochenen Arbeitsgang durch einen kontinuierlichen Herstellungsprozess zu ersetzen, wurde folgendes Verfahren entwickelt: Das Hochdruckrohr wird auf die Drehbank gespannt und ein mit winkligen seitlichen Einschnitten versehenes Flachblech von 4 mm Stärke hochkant auf das Rohr gewickelt und dabei seitlich aufgeschweißt. Die Führung des Bandes ist am Support befestigt, dessen Vorschub die Steigung der Rippenspirale bestimmt. Dieses in der Schweißwerk-

stätte Lu ausgearbeitete Verfahren erfordert nur etwa $\frac{1}{3}$ der für die bisherigen Rippenrohre benötigten Arbeitszeit. Nachdem somit schweißtechnisch eine bedeutende Verbilligung der Haarnadeln zu erzielen wäre, soll durch die in diesem Bericht wiedergegebenen Messungen das wärmetechnische Verhalten dieser neuen "Spiralrippenrohre" geprüft werden.

2.) Beschreibung der Versuchsrohre und ihr Einbau in der Versuchsgasse.

Für die weitere Entwicklung der Spiralrippenrohre war es vor allem von Interesse, den Einfluß der Spiralensteigung und der Rippenhöhe auf den Wärmeübergang zu untersuchen. Es wurden daher vier verschiedene Versuchsrohre (Nr.8 bis 11) angefertigt. Das Rohr Nr.8 hatte 50 mm Rippenhöhe bei 2, mm Spiralensteigung. Die Rohre Nr.9, 10 u.11 hatten 60 mm Rippenhöhe bei 20, 16 und 12 mm Spiralensteigung. Bei allen Versuchsrohren war die Spirale auf ein Hochdruckrohr von 90/126 mm ϕ aus NSV-Material aufgewickelt. Die ganze Länge der Rohre beträgt 750 mm, die berippte Rohrlänge $\sim$ 460 mm. Die innere Bearbeitung ist bei allen Versuchsrohren die gleiche und im Blatt 1 links am Beispiel des Rohres Nr.9 im Schnitt dargestellt. Die Rohre tragen innen zwei Siebe in $\sim$ 470 mm Abstand, zwischen denen Stahlkugeln von 11,9 mm ϕ eingefüllt werden. Die Siebe werden durch Porzellanrohrstücke und diese wieder durch die beiderseits eingeschraubten Rohrenden gehalten. Für die Temperaturbestimmung der Rohrinnenwand wurden sechs Thermoelemente eingebaut, deren Lage in der Schnittzeichnung des Blattes 1 angegeben ist. Für die drei vorderen Elemente sind die Abstände vom unteren Sieb 50, 200 und 350 mm, für die drei hinteren Elemente betragen sie 100, 300 und 400 mm. Die Elementendrähte werden an der Rohrinnenwand entlang nach oben hinausgeführt.

Die Rohre wurden jeweils einzeln in die Mitte der Gasse K der Anlage zur Untersuchung von Rippenrohren eingebaut. Diese Anlage ist

bereits eingehend im 1.Bericht über "Untersuchungen an Rippenrohren" (Bericht Dr.Kling, Techn.Prüfstand Nr.463) beschrieben und dort im Blatt 1 dargestellt worden. Die Breite der Versuchsgasse beträgt normalerweise 710 mm; sie wurde für die Einzelrohre durch seitliche Bleche soweit vorenzt, daß der Abstand von Rippe zur Gassenwand stets 20 mm beträgt. Der Einbau der Spiralrippenrohre in die Gasse ist im Blatt 2 links dargestellt, wobei auch die genauen Einbaumaße am Beispiel des Versuchsrohres Nr.9 angegeben sind.

Zur Beurteilung der neuen Spiralrippenrohre wurde als Vergleich noch eine Messung an einem Rohr mit rechteckigen Rippen durchgeführt. Hierzu wurde das Rippenrohr Nr.4 gewählt. (Dieses Rohr wurde bereits im 1.Bericht Nr.463 innerhalb einer Gruppe von 4 Rohren mit Verdränger untersucht). Das Rohr, das im Blatt 1 rechts, im Schnitt dargestellt ist, hat 90/128 mm ϕ und besteht aus NSV-Material. Die Rippen haben die Abmessung 230 x 250 x 4 mm. Der Gasseneinbau ist im Blatt 2, rechts, dargestellt. Auch hier beträgt der Abstand von Rippe zu Gassenwand 20 mm. Infolge der ungleichen Rippenhöhe ist die Mittellinie der Gasse etwas gegen die Rohrmitte verschoben.

Die wichtigsten Abmessungen und Einbaumaße der Spiralrippenrohre Nr.8 bis 11 sowie des Vergleichsrohres Nr.4 sind in der folgenden Tabelle 1 zusammengestellt:

Tabelle 1: Angaben über die Versuchsrohre.

Versuchsrohr Nr.		4	8	9	10	11
Rippenform		Rechteck		Spirale		
Innendurchmesser	mm	89,6	88,8	89,5	90,0	89,5
Außendurchmesser	mm	128	125	126	126	126
Anzahl der Rippen (Spiralen)		30	24	24 $\frac{1}{4}$	29	38 $\frac{1}{2}$
Rippenabmessungen	mm	230x250	125/227 ϕ	126/246 ϕ	126/246 ϕ	126/246 ϕ
berippte Rohrlänge	mm	458	470	470	460	460
Rippenstärke	mm	4	4	4	4	4
Rippenteilung b	mm	15,6	19,8	19,8	16,1	12,1
Gassenbreite	mm	270	267	286	286	286
Gassenquerschnitt f_g (ohne Rohr)	m ²	0,135	0,1335	0,143	0,143	0,143
Innerer freier Rohrquerschnitt f_i	m ²	0,006305	0,006193	0,00629	0,006362	0,00629
Innere Rohroberfläche zwischen den Sieben F_i	m ²	0,1322	0,1340	0,1328	0,1329	0,1340
Äußere Rohroberfläche, vom Rauchgas umspült, F_a	m ²	2,891	1,547	1,905	2,245	2,967
Äußerer freier Strömungsquerschnitt der Rauchgase f_a	m ²	0,05746	0,0594	0,0643	0,0601	0,0593

1. Versuchsdurchführung und Anweisung.

Die Versuchsgase wird von heißen Rauchgasen durchströmt, die von einem Ventilator im Kreislauf umgewälzt werden. Durch eine Düse werden die Rauchgase aus einem ölgefeuerten Verbrennungs-ofen ständig nach-gesaugt, wobei durch Regulierung des Brenners die Wälgastemperatur vor den Rippenrohren auf $\sim 415^{\circ}\text{C}$ konstant gehalten wird. Die Geschwindigkeit der Wälgasströmung zwischen den Rippen kann durch die Drehzahlregulierung des Ventilators von 4 bis 40 m/sec verändert werden.

Im Innern der Rohre strömte kalte Luft, die mit etwa $t_1 = 10$ bis 30°C von unten in das Rohr einströmte. Die Luftmenge G betrug bei den Versuchen etwa 400 bis 700 kg/h, wobei infolge der Kugelfüllung im Rohr-innern Wärmeübergangszahlen α_1 von etwa 1000 bis 4000 $\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2\text{h}^{\circ}\text{C}}$ vorhanden waren.

Eine Zusammenstellung der Versuchswerte ist in der Tabelle 2 gegeben. Die dort verwendeten Bezeichnungen sind folgende:

- G = Gewicht der das Rohr innen durchströmenden Luft $\frac{\text{kg}}{\text{h}}$
- t_1 = Eintrittstemperatur
 t_2 = Austrittstemperatur $\left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\}$ der Luft $^{\circ}\text{C}$
- Q = Wärmeaufnahme der Luft $\frac{\text{kcal}}{\text{h}}$
- $Q = G \cdot c_p \cdot (t_2 - t_1)$
- t_w = mittlere Temperatur der Rohrinnenwand $^{\circ}\text{C}$

q_1 - Heizflächenbelastung, bezogen auf innere Rohroberfläche zwischen den Sieben F_1 $\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}}$

$$q_1 = \frac{Q}{F_1}$$

α_a - Äußere Wärmeübergangszahl von den Rauchgasen an die Rohrrinnenwand $\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}^\circ \text{C}}$

$$\alpha_a = \frac{Q}{F_a \cdot (t_g - t_w)}$$

q_a - Heizflächenbelastung, bezogen auf die äußere Rohroberfläche F_a $\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}}$

$$q_a = \frac{Q}{F_a}$$

t_g - Temperatur der Rauchgase vor dem Versuchsrohr $^\circ \text{C}$

ρ_g - Spezifisches Gewicht der Rauchgase im Zustande vor dem Rippenrohr $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

V_{Rg} - Menge der die Versuchsgasse durchströmenden Rauchgase, bezogen auf den Zustand vor den Rippenrohren m^3/h

v_{Rg} - Geschwindigkeit der Rauchgase in der Gasse

$$v_{Rg} = \frac{V_{Rg}}{3600 \cdot f_g} \quad \frac{\text{m}}{\text{sec}}$$

$v_{Rg \text{ Rippen}}$ - Geschwindigkeit der Rauchgase zwischen den Rippen

$$v_{Rg \text{ Rippen}} = \frac{V_{Rg}}{3600 \cdot f_a} \quad \frac{\text{m}}{\text{sec}}$$

4.) Besprechung der Versuchsergebnisse.

Zur Beurteilung der vorliegenden Versuchsröhre soll zuerst das Verhalten der äußeren Wärmeübergangszahl α_a in Abhängigkeit von der Rauchgasgeschwindigkeit zwischen den Rippen α_{aR} betrachtet werden. In den drei Diagrammen auf Blatt 3 sind die α_a -Werte der Versuchsröhre 9, 10 und 11 dargestellt. Diese drei Spiralrippenrohre haben gleichen Spiraleindurchmesser von 126/246 mm bei verschiedener Steigung β . Es ist nun festzustellen, daß das Rohr Nr. 9 mit größter Steigung und damit kleinster Rippenzahl (24) die höchsten α_a -Werte von 9 bis 10 (10 m/sec) bis 14 (30 m/sec) kcal/m²h°C erreicht; nur wenig verschieden davon sind die Werte von Rohr Nr. 10, während das Rohr Nr. 11 mit kleinster Steigung und größter Rippenzahl (39) die niedersten α_a -Werte von 9 bis 11 kcal/m²h°C erreicht. - Der Kurvenanstieg, d.h. die Verbesserung des Wärmeüberganges mit zunehmender Rauchgasgeschwindigkeit ist beim Rohr Nr. 9 am größten, beim Rohr Nr. 11 am geringsten. Dieses ist wieder aus dem additiven Charakter des gesamten Wärmewiderstandes $1/\alpha_a$ zu erklären, der sich ja aus Wärmewiderstand im Rohr, im Rippenfuß, in der Rippe und aus Wärmeübergang vom Gas an die Rippenoberfläche zusammensetzt (siehe auch Bericht Nr. 463, Seite 14). Da bei vorliegenden 3 Rohren infolge gleicher Temperaturen von Rauchgas und Luft die Wärmewiderstände im Eisen gleich bleiben, ist das absolut höhere α_a des Rohres Nr. 9 allein auf den besseren Wärmeübergang α vom Rauchgas an die Oberflächen zurückzuführen. Damit ist auch der prozentuale Anteil $1/\alpha$ an dem gesamten Widerstand $1/\alpha_a$ vergrößert, was sich in der stärkeren Beeinflussung des α_a durch die Rauchgasgeschwindigkeit ausdrücken muß.

Den Einfluß des Rippendurchmessers auf den Wärmeübergang α_a zeigt ein Vergleich der Rohre Nr. 8 u. 9. Bei gleicher Steigung von 2° mm hat Rohr Nr. 8 etwas kleinere Rippen von 126/226 mm β . Die im oberen Diagramm von Blatt 4 dargestellten α_a -Werte liegen zwischen 11 (10 m/sec)

und 15 (ca. 10) $\text{cal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ und sind wesentlich höher als beim Rohr Nr.9. Die Kurvenneigung ist die gleiche wie beim Rohr Nr.9. Scheinbar hat sich der Wärmewiderstand der Rippe infolge kleinerer Steghöhe in gleicher Weise verbessert wie der Wärmeübergangswiderstand $1/\alpha$, so daß der prozentuale Anteil von $1/\alpha$ an $1/\alpha_a$ gleich bleibt.

Die Wärmeübergangszahlen des Vergleichsrohres Nr.4 mit rechteckigen Rippen von $230 \times 250 \text{ mm}^2$ sind im unteren Diagramm von Blatt 4 dargestellt. Die α_a -Werte bei dem hier durchgemessenen Einzeleinbau in der Gasse liegen ein wenig über den früheren Werten der gruppenweisen Untersuchung des gleichen Rohres mit Verdränger (siehe Bericht Nr.463). Der im 1.Bericht geschilderte ungünstige Einfluß der keilförmigen, vorgezogenen Verdrängerspitze auf die Gasströmung (Bildung von Strömungsschatten) findet hier also seine Bestätigung.

Schließlich sei noch ein Vergleich der äußeren Wärmeübergangszahlen für alle Rippenrohre $90/126 \text{ mm } \phi$ unter Berücksichtigung der äußeren Rohroberflächen durchgeführt. Aus den Kurven von Blatt 3 u.4 werden die α_a -Werte für bestimmte Geschwindigkeiten, z.B. 10, 20 u.30 $\frac{\text{m}}{\text{sec}}$, entnommen und im Blatt 5 über der jeweiligen Rohroberfläche F_a aufgetragen. Dabei ordnen sich sämtliche Versuchsrohre in eine hyperbelartige Kurve ein, gleichgültig ob die vergrößerte Oberfläche durch Änderung der Rippenhöhe, Rippenform oder Rippenteilung hervorgerufen ist. Der Grenzfall kleinster Oberfläche ist das ungerippte Rohr von $126 \text{ mm } \phi$, dessen Wärmeübergangszahlen nach Wärmetlas I,4 für Rauchgase von 415°C berechnet wurden. Für weitere Vergrößerung der Rohroberfläche über 3 m^2 hinaus scheinen die Kurven einem niedersten Grenzwert zuzustreben, der je nach der Geschwindigkeit zwischen $\alpha_a = 8$ bis 11 $\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}}$ zu liegen scheint.

Für die wärmetechnische Beurteilung der Spiralrippenrohre wäre es nun aber falsch, allein die Wärmeübergangszahlen α_a miteinander

zu vergleichen. Maßgebend ist vielmehr die von den Rohren insgesamt aufgenommene Wärmemenge:

$$Q = \alpha_R \cdot F_R \cdot (t_R - t_w).$$

Der Unterschied zwischen Rauchgastemperatur t_R und innerer Rohrwandtemperatur t_w sei für alle Rohre konstant zu 100°C angenommen. Dann lassen sich wiederum für die drei Rauchgasgeschwindigkeiten von 10, 20 und 30 m/sec die in den Rippenrohren übertragenen Wärmemengen in Abhängigkeit von F_R darstellen (Blatt 6). Das Rohr ohne Rippen ist jetzt natürlich am ungünstigsten mit nur 600 bis 1100 $\frac{\text{kcal}}{\text{h}}$, während die Rohre 4 und 11 mit der größten Oberfläche 2600 bis 3300 $\frac{\text{kcal}}{\text{h}}$ zu übertragen gestatten. Beachtenswert ist aber vor allem der Kurvenverlauf, der jetzt nicht mehr, wie die α_R - F_R -Kurven, einem Grenzwert zustrebt, sondern weiterhin stark ansteigt. Es kann hieraus die wichtige Folgerung gezogen werden, daß eine weitere Vergrößerung der Rippenoberfläche noch eine wesentliche Steigerung der übertragbaren Wärmemenge Q bewirken kann. Für die Spiralrippenrohre ist das nur durch einen höheren Rippensteg zu ermöglichen, da eine engere Spiralensteigung schweißtechnisch zu schwierig wird und wohl auch strömungstechnisch durch eine starke Erhöhung des Druckabfalles ungünstiger wird. Für die Rechteckrippe ist noch durch die sogenannte Füllrippe eine wesentliche Erhöhung von F_R möglich, d.i. eine Rippe, die bei gegebener Gassenbreite und Rohrabstand allen in der Gasse zur Verfügung stehenden Raum ausfüllen soll. Versuche hierüber sollen programmgemäß an Hochdruckrohren 120/171 mm ϕ durchgeführt werden. Wenn auch nach den vorliegenden Versuchen das Spiralrippenrohr 11 wärmetechnisch gleichwertig ist mit dem Vergleichsrohr Nr.4 der normalen Rechteckberippung, so soll trotzdem in Erkennung der weiteren Entwicklungsmöglichkeiten von Spiralrippe und Rechteckrippe noch kein abschließendes Urteil gefällt werden.

Nach vorliegenden Versuchen sind die übertragbaren Wärmemengen

im Vergleich zum Normalrippenrohr Nr. 4 mit Rechteckrippen 230 x 230 mm
für eine Rauchgasgeschwindigkeit $w_{\text{Rippen}} = 20 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ folgende:

Versuchsrohr	Nr. 4:	230x250 mm ϕ	b = 15,6 mm	:	100%
"	" 8:	125/227 mm ϕ	b = 19,8 mm	:	73%
"	" 9:	126/246 mm ϕ	b = 19,3 mm	:	79%
"	" 10:	126/246 mm ϕ	b = 16,2 mm	:	91%
"	" 11:	126/246 mm ϕ	b = 12,2 mm	:	104%

Dieser abschließende Vergleich bezieht sich nur auf das Hochdruck-
rohr 90/126 mm ϕ im Einzelaufbau.

Ch. Kling

Tabelle 2: Messungen an Spiralschlepprohren.

Versuch		θ	t_1	t_2	Q	t_w	q_1	α	q_0	t_2	λ	V_{Rg}	d_{Rg}	d_{Rippen}
Br.	von	$\frac{kg}{h}$	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$	$\frac{kcal}{h}$	$^{\circ}C$	$\frac{kcal}{m^2h}$	$\frac{kcal}{m^2h}$	$\frac{kcal}{m^2h}$	$^{\circ}C$	$\frac{kg}{m^2}$	$\frac{m^3}{h}$	$\frac{m}{sec}$	$\frac{m}{sec}$
Versuchsreihe Nr. 8														
1	5.6.41	445,0	30,5	91,5	6525	82,9	48710	13,08	4215	405	0,498	3200	6,66	14,97
2		625,5	31,0	79,0	7212	72,8	35800	13,86	4660	409	0,496	3271	6,81	15,30
3		616,0	29,6	73,5	5500	67,2	48500	12,55	4200	402	0,486	2298	4,78	10,75
4		455,0	26,5	80,5	5905	73,4	44070	11,95	3817	393	0,479	2173	4,53	10,17
5		449,0	24,0	69,0	4552	66,5	36230	9,21	3138	407	0,448	835	1,74	3,91
6		656,5	22,0	54,0	5040	48,9	37610	9,25	3259	401	0,503	962	2,00	4,50
7		634,2	20,5	66,5	5790	60,6	43200	10,93	3742	403	0,496	1555	3,24	7,28
8		490,0	30,0	78,0	5190	71,2	38720	10,14	3353	402	0,501	1545	3,22	7,23
9		453,7	28,2	90,2	6757	85,3	50400	13,66	4368	405	0,498	4310	8,97	20,17
10		653,5	27,0	71,5	6981	70,6	52090	13,70	4513	400	0,502	6785	14,13	31,78
11		627,2	28,5	80,0	7760	74,6	57920	15,46	5018	399	0,512	6664	13,87	31,20
12	12.6.41	456,1	16,0	50,0	3721	46,9	27780	12,92	2405	233	0,664	3321	6,92	15,55
13		656,1	16,2	41,5	3981	38,8	29720	13,46	2573	230	0,676	3261	6,79	15,25
14		643,5	16,9	40,0	3567	36,2	26610	11,65	2304	234	0,646	2025	4,22	9,48
15		627,8	19,2	38,0	2851	35,1	21130	9,44	1830	229	0,703	1526	3,18	7,14
16		451,8	17,0	44,0	2928	40,0	21830	10,00	1892	229	0,692	1537	3,20	7,20
17		631,5	16,0	46,0	4545	42,2	33910	15,47	2938	232	0,650	5575	12,60	26,08
18		658,0	16,0	46,5	4818	43,2	36000	16,68	3115	230	0,656	6750	14,05	31,60
19		461,0	15,5	55,5	4425	52,1	33030	16,09	2861	230	0,546	7500	15,60	35,10
20	13.6.41	467,0	11,5	74,5	7060	62,8	52650	13,13	4562	410	0,502	3626	7,55	16,96
21		649,0	14,5	56,0	6461	47,7	48130	11,65	4177	406	0,497	2150	4,48	10,07
22		455,5	16,0	70,5	5519	62,8	44450	11,15	3850	408	0,500	2141	4,46	10,02
23		644,1	18,5	51,5	5100	48,5	38100	9,20	3298	407	0,504	1721	3,58	8,06
24		655,5	22,0	68,5	7315	59,8	54580	13,41	4725	412	0,498	3911	8,14	18,30
25		652,2	21,0	70,5	7748	60,1	57820	14,37	5007	409	0,489	4799	9,99	22,45
26		658,5	25,0	78,0	8375	67,3	62500	15,84	5412	409	0,489	6922	14,41	32,40
27		451,8	27,0	98,5	7755	87,8	57800	15,50	5010	411	0,502	7205	15,00	33,71
28		369,4	24,5	104,5	7281	89,4	54350	14,58	4709	412	0,486	7300	15,19	34,17
29		774,8	22,0	71,0	9120	57,3	68030	16,67	5895	411	0,471	7525	15,67	35,22
Versuchsreihe Nr. 9														
30	29.6.41	714,3	22,0	76,5	9350	73,0	70410	14,69	4910	407	0,488	7337	14,25	31,69
31		682,7	25,5	78,5	9021	75,1	67950	14,05	4737	414	0,480	7344	14,27	31,75
32		702,5	32,5	84,5	8780	82,7	66050	13,65	4605	420	0,491	5580	10,84	24,11
33		696,5	34,0	86,0	8705	81,5	65600	13,46	4571	421	0,482	5722	11,12	24,72

Versuchsreihe Nr. 9.

30	29.6.41	714,3	22,0	76,5	9350	75,0	70410	14,69	4910	407	0,488	7337	14,25	31,69
31		682,7	23,5	78,5	9021	75,1	67950	14,05	4757	414	0,480	7344	14,27	31,73
32		702,5	32,5	84,5	8780	82,7	66050	13,65	4605	420	0,491	5580	10,84	24,11
33		696,5	34,0	86,0	8705	81,5	65600	13,46	4571	421	0,482	5722	11,12	24,72
34		707,0	17,0	70,0	9002	65,7	67800	13,22	4727	421	0,492	5192	10,08	22,42
35		696,5	17,5	70,5	8839	65,2	66560	13,05	4639	419	0,489	5240	10,18	22,63
36	1.7.41	675,6	26,2	76,5	8160	72,2	61450	12,50	4285	415	0,496	5700	11,07	24,62
37		706,3	28,0	77,0	8317	72,8	62620	12,68	4365	417	0,498	5760	11,19	24,88
38		708,1	35,5	81,5	7825	77,7	58950	12,06	4109	418	0,475	5425	10,54	23,44
39		678,5	36,0	82,6	7690	79,4	57270	11,65	3993	416	0,500	5220	10,13	22,56
40		702,0	36,0	79,5	7339	74,5	55240	11,18	3850	419	0,486	5007	7,78	17,31
41		685,7	36,0	80,5	7305	76,0	53050	11,12	3835	421	0,489	3990	7,75	17,24
42		706,0	35,5	75,0	5700	72,2	50420	10,19	3517	417	0,495	2598	5,05	11,21
43		700,0	36,0	75,2	5590	71,5	49640	9,95	3460	419	0,494	2555	4,97	11,03

Versuchsreihe Nr. 10.

44	3.7.41	708,5	30,5	92,5	10550	93,2	79420	14,55	4702	417	0,498	8582	16,68	39,68
45		688,5	31,5	94,0	10340	93,8	77800	14,16	4606	419	0,486	8601	16,71	39,75
46		684,5	32,0	95,0	10035	87,2	75550	13,38	4467	421	0,489	7100	13,79	32,81
47		678,2	33,0	95,5	9860	93,6	74210	13,42	4393	421	0,444	7428	14,45	34,34
48		667,7	32,5	88,5	8982	88,2	67610	12,23	4001	415	0,500	4742	9,22	21,91
49		687,7	32,0	87,5	9170	85,0	69000	12,18	4083	420	0,489	4717	9,16	21,80
50		674,2	35,5	93,5	9400	91,6	70750	13,06	4187	412	0,473	6500	12,63	30,02
51		679,3	35,5	93,8	9518	91,5	71610	12,98	4238	418	0,460	6620	12,86	30,59
52		701,9	37,0	92,6	9378	89,4	70590	12,87	4176	414	0,487	5595	10,86	25,84
53		680,0	37,0	93,0	9150	91,1	68850	12,51	4074	417	0,491	5601	10,88	25,89
54		679,5	36,5	88,5	8485	85,8	65920	11,27	3781	419	0,464	5930	7,63	18,17
55		689,4	36,5	88,7	8648	85,0	65100	11,56	3851	418	0,496	4061	7,90	18,78
56		692,4	37,0	83,0	7658	77,9	57610	10,08	3411	416	0,495	2241	4,36	10,36
57		685,5	37,0	83,0	7578	77,8	57050	10,06	3375	413	0,500	2252	4,34	10,32
58		689,5	38,2	92,0	8909	87,6	67050	12,01	3970	418	0,496	4586	8,52	20,27
59		691,9	38,5	92,0	8895	86,5	66930	11,99	3962	417	0,497	4558	8,46	20,12
60														

Versuchsreihe Nr. 11.

60	3.7.41	685,5	30,0	94,6	10640	103,2	79400	11,58	3589	413	0,502	8200	15,93	38,40
61		688,0	30,0	95,0	10746	102,7	80180	11,63	3623	414	0,502	8187	15,90	38,35
62		704,5	29,5	92,2	10610	97,6	79180	11,13	3579	419	0,498	6761	13,13	31,69
63		713,5	27,2	89,0	10595	97,4	79050	11,28	3572	414	0,502	6719	13,05	31,47
64		711,7	25,5	85,5	10220	90,7	76300	10,52	3447	418	0,493	5217	10,13	24,42
65		711,0	27,8	87,0	10110	91,2	75400	10,46	3407	417	0,499	5186	10,08	24,30
66		699,4	32,0	90,5	9820	97,3	73320	10,42	3312	415	0,504	5098	9,91	23,88
67		700,5	30,5	90,0	10010	95,7	74750	10,46	3375	418	0,493	5160	10,02	24,17
68		678,1	33,2	89,8	9220	93,5	68800	9,52	3110	420	0,491	3178	6,17	14,88
69		705,3	34,5	89,5	9321	93,6	69580	9,65	3143	420	0,485	3183	6,19	14,91
70		692,4	34,5	85,8	8202	85,2	61210	8,24	2767	421	0,493	1557	3,02	7,29
71		700,1	34,5	85,5	8245	86,9	61500	8,34	2781	420	0,494	1550	3,01	7,26
72		694,2	35,0	93,0	9677	97,9	72200	10,24	3262	416	0,489	4253	8,26	19,92

57	685,5	37,0	83,0	7378	77,8	57050	10,06	3373	413	0,500	2232	4,34	10,32
58	689,3	38,2	92,0	8909	87,6	67050	12,01	3970	418	0,496	4386	8,52	20,27
59	691,9	38,5	92,0	8895	86,5	66950	11,99	3962	417	0,497	4358	8,46	20,12
60													

Versuchsreihe Nr. 11.

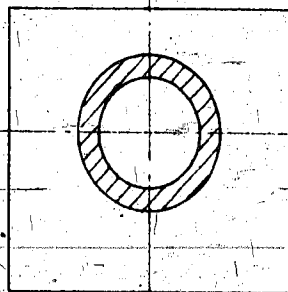
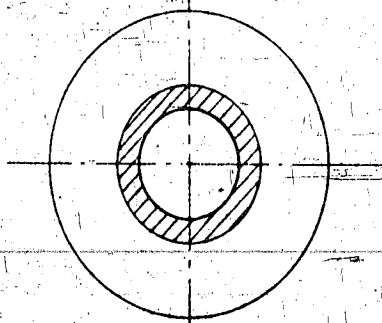
60	5.7.41	685,5	30,0	94,6	10640	103,2	79400	11,58	3589	413	0,502	8200	15,93	38,40
61		688,0	30,0	95,0	10746	102,7	80180	11,63	3623	414	0,502	8187	15,90	38,35
62		704,3	29,5	92,2	10610	97,6	79180	11,13	3579	419	0,498	6761	13,13	31,69
63		713,5	27,2	89,0	10595	97,4	79050	11,28	3572	414	0,502	6719	13,05	31,47
64		711,7	25,5	85,3	10220	90,7	76300	10,52	3447	418	0,493	5217	10,13	24,42
65		711,0	27,8	87,0	10110	91,2	75400	10,46	3407	417	0,499	5186	10,08	24,30
66		699,4	32,0	90,5	9820	97,3	73320	10,42	3312	415	0,504	5098	9,91	23,88
67		700,5	30,5	90,0	10010	95,7	74750	10,46	3375	418	0,493	5160	10,02	24,17
68		678,1	33,2	89,8	9220	93,5	68800	9,52	3110	420	0,491	5178	6,17	14,88
69		705,3	34,5	89,5	9321	93,6	69580	9,65	3143	420	0,485	5183	6,19	14,91
70		692,4	34,5	85,8	8202	85,2	61210	8,24	2767	421	0,493	1557	3,02	7,29
71		700,1	34,5	83,5	8243	86,9	61500	8,34	2781	420	0,494	1550	3,01	7,26
72		694,2	35,0	93,0	9677	97,9	72200	10,24	3262	416	0,489	4253	8,26	19,92
73		683,5	35,0	93,2	9560	97,5	71350	10,15	3222	415	0,490	4241	8,24	19,87

Versuchsreihe Nr. 4.

74	21.7.41	680,5	24,8	84,8	9814	85,0	74200	10,24	3391	414	0,487	4697	9,67	22,69
75		695,8	26,0	85,2	9897	84,3	74850	10,22	3421	419	0,477	4752	9,78	22,96
76		695,5	29,5	90,0	10075	88,7	76200	10,57	3485	418	0,479	5915	12,17	28,57
77		690,5	28,4	89,3	10101	87,3	76410	10,72	3492	413	0,491	5815	11,96	28,09
78		645,9	29,2	92,2	9775	92,6	73900	10,44	3377	416	0,487	6360	13,08	30,72
79		696,7	28,2	91,2	10545	91,3	79770	11,30	3644	414	0,491	6357	13,03	30,60
80		718,5	31,3	95,0	11000	95,8	85200	11,87	3801	416	0,487	7759	15,96	37,48
81		702,4	32,5	96,5	10800	97,8	81700	11,73	3735	416	0,488	7780	16,00	37,58
82		682,4	31,0	87,2	9213	86,4	69690	9,73	3186	414	0,491	3250	6,68	15,70
83		698,0	34,2	88,8	9158	88,8	69250	9,76	3166	413	0,488	3291	6,77	15,90
84		696,5	34,2	90,0	9342	88,4	70650	9,86	3230	416	0,490	3646	7,50	17,61
85		698,5	30,7	87,6	9550	86,9	72210	9,99	3300	417	0,485	3647	7,51	17,62
86		705,0	27,0	81,5	9250	75,5	69800	9,49	3191	412	0,489	2770	5,70	13,38
87		694,0	30,0	85,0	8858	82,3	66800	9,18	3054	415	0,504	2726	5,62	13,16

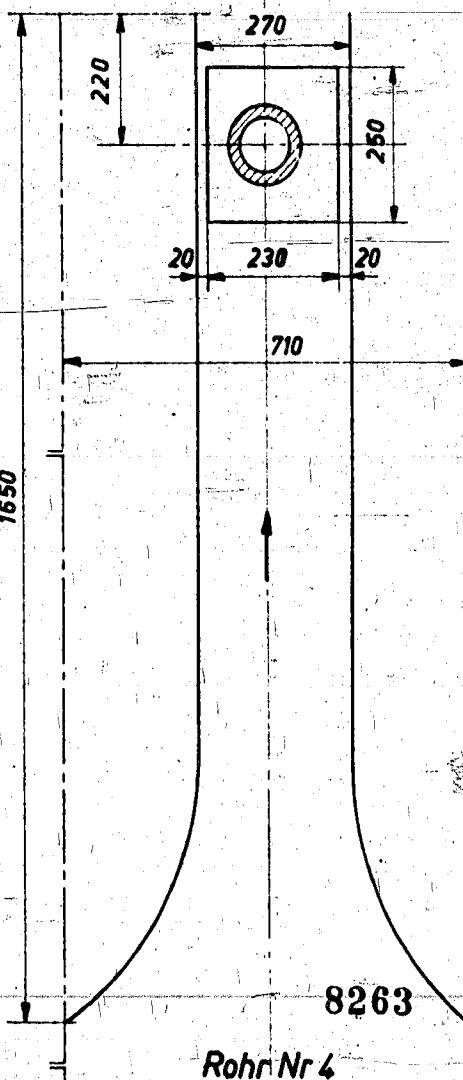
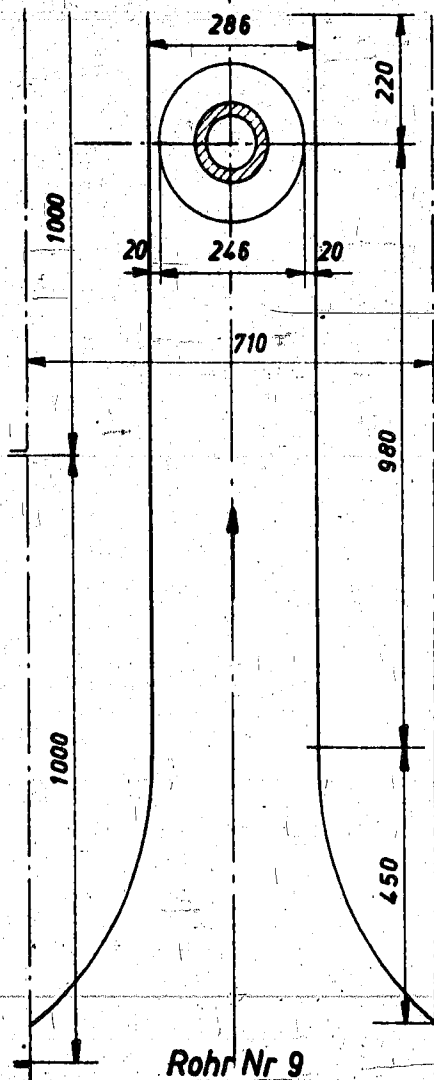
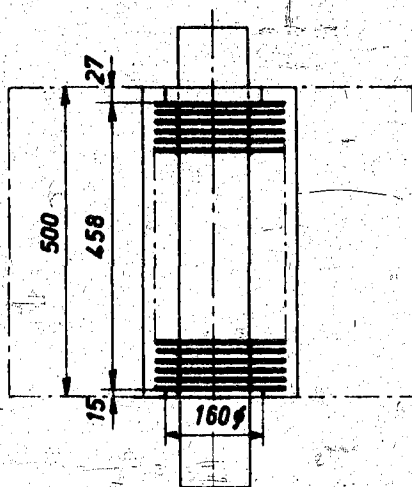
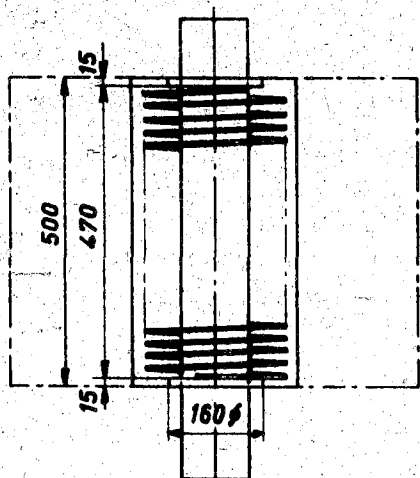
**Rohr Nr 9 mit
spiralförmigen Rippen**

**Rohr Nr 4 mit
rechteckigen Rippen**



8262

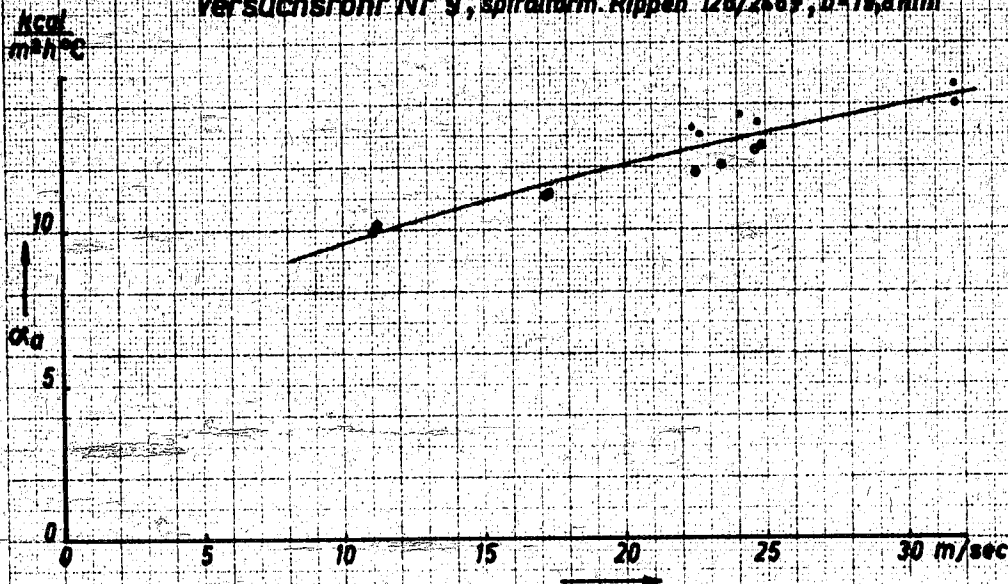
Anordnung der Rohre in der Gasse



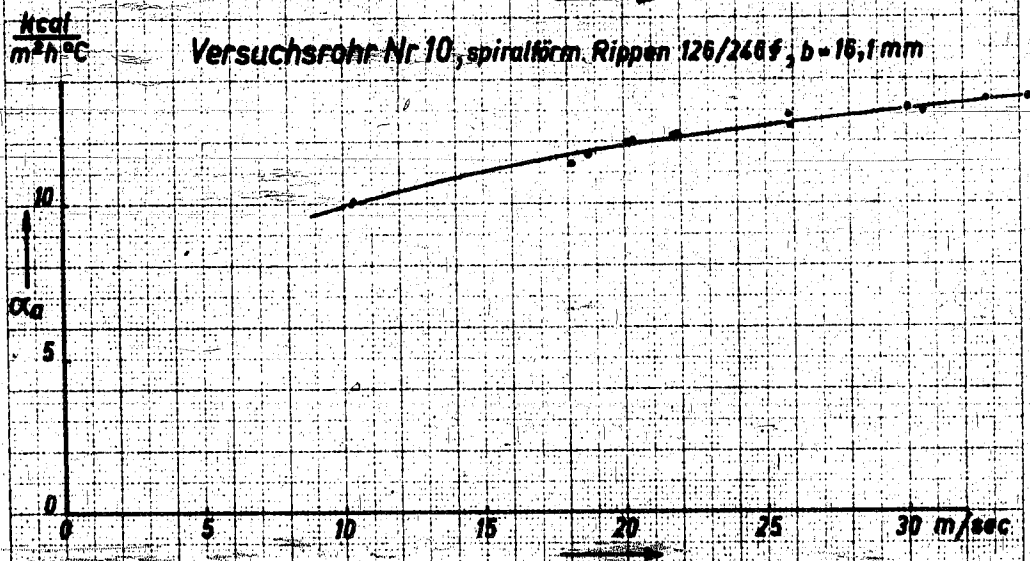
Rohr Nr 9

Rohr Nr 4

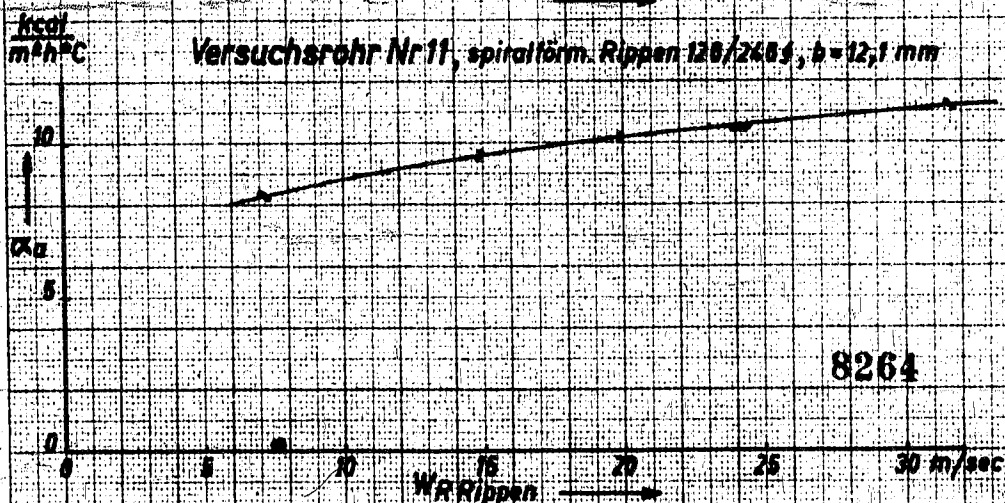
Versuchsrohr Nr 9, spiralförm. Rippen 126/246 f, b=19,8 mm



Versuchsrohr Nr 10, spiralförm. Rippen 126/246 f, b=16,1 mm

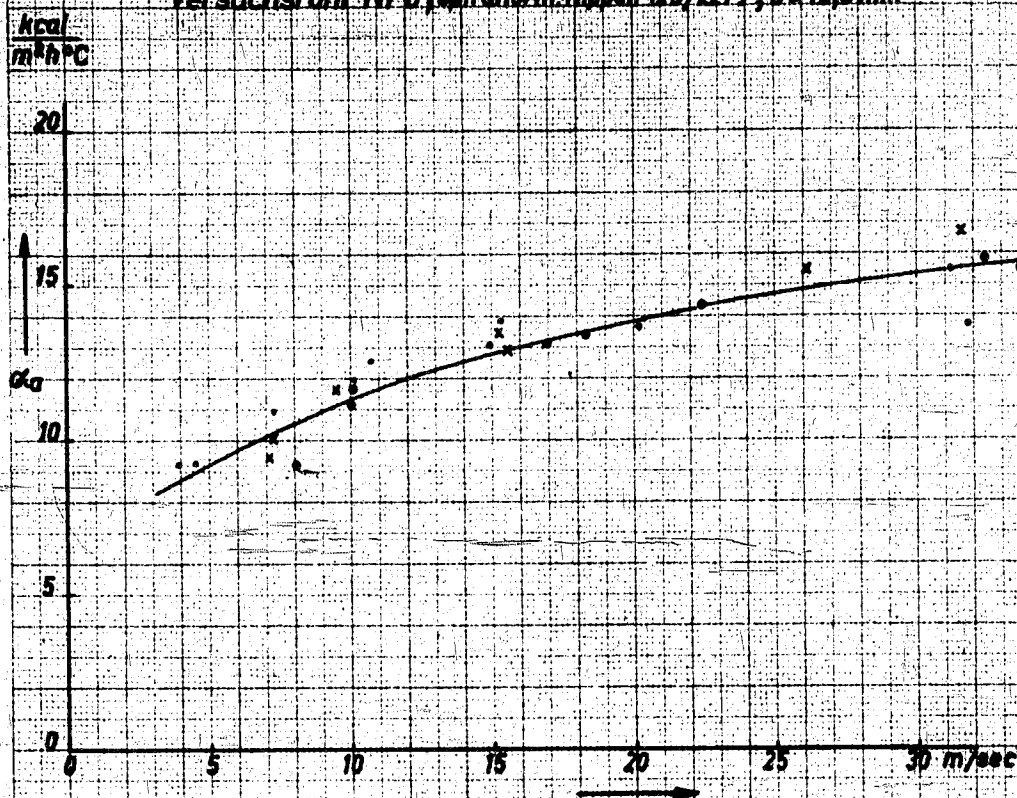


Versuchsrohr Nr 11, spiralförm. Rippen 126/246 f, b=12,1 mm

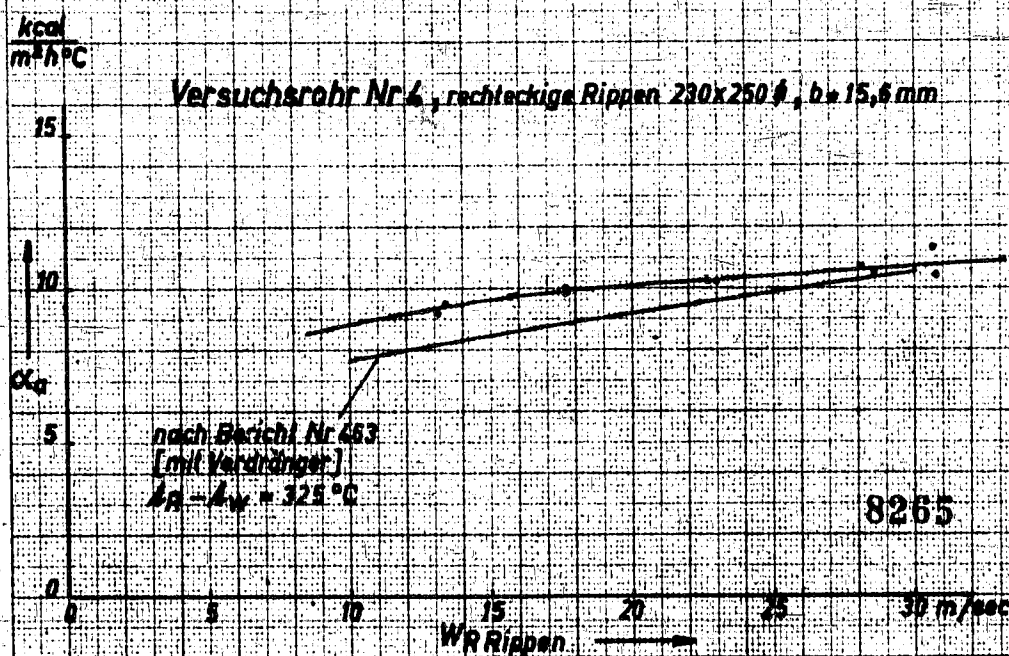


8264

Versuchsrohr Nr 8, spiralförm. Rippen 125/2274, $b = 19,8 \text{ mm}$

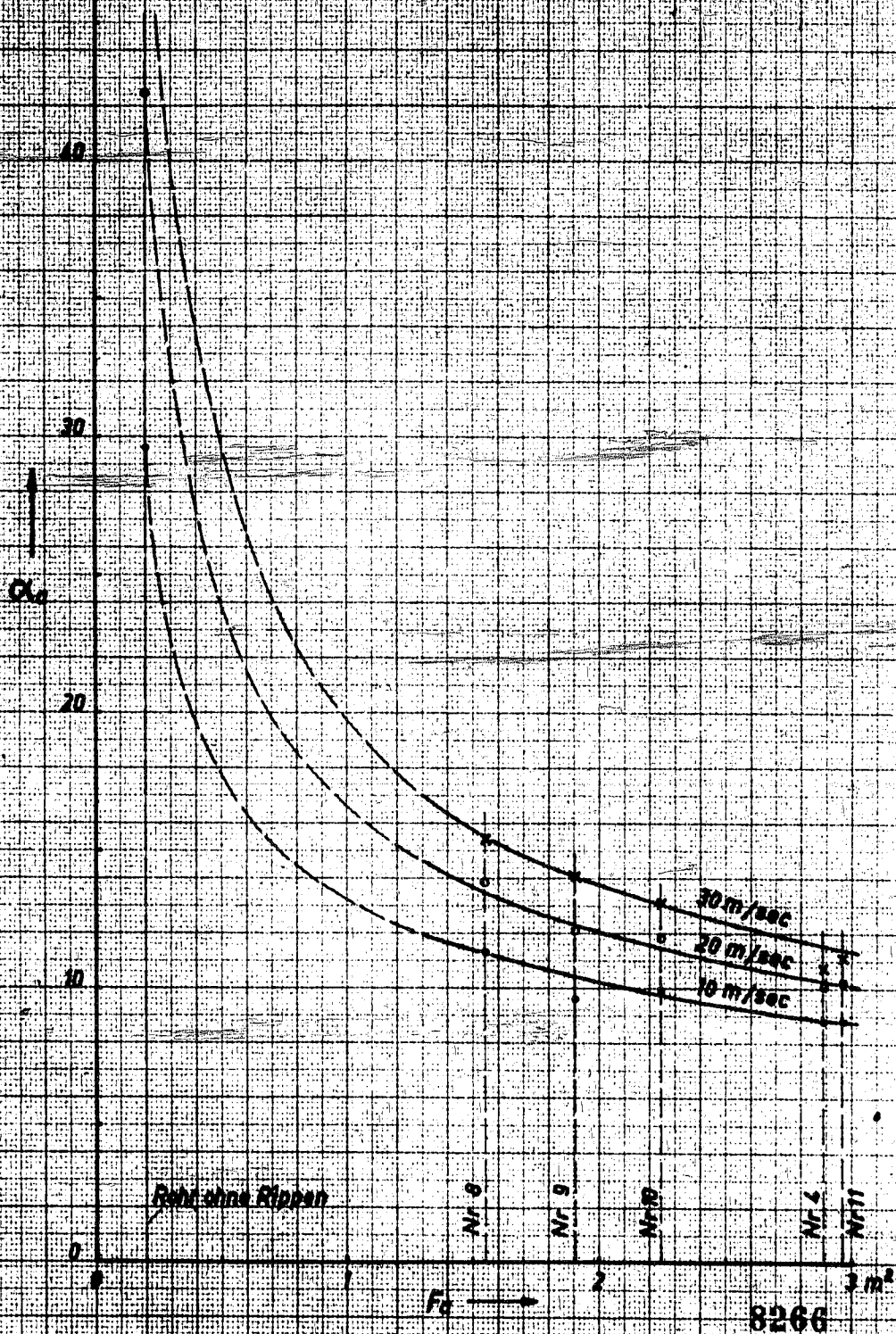


Versuchsrohr Nr 4, rechteckige Rippen 230x250, $b = 15,6 \text{ mm}$



100
m/sec

Wärmeübergangszahlen α_o von Hochdruckrohren 90/126 bei verschiedener Berippung



Wärmemenge Q von Hochdruckrohren 90/126 ϕ bei verschiedener Berippung

