

I.G.PARDEWINDUSTRIE AKTIENGESELLSCHAFT LUDWIGSHAFEN/ROHR.  
Technischer Prüfstand Oppau.

K u r s b e r i c h t N r . 16.

Messung des äußeren Wärmeflusses von Hochdruckrohren  
mit Dehnungsrippen.

Abgeschlossen am 15. Dezember 1941.

Die vorliegende Ausfertigung enthält

5 Blätter, 1 Schaublatt  
1 Diagrammblatt  
1 Zahlentafel.

Sachbearbeiter: Dr.-Ing. Gg. Kling.

Verteiler:

- 1.) Herrn Direktor Dr. Lappe
- 2.) Herrn Obering. Dr. Schierenbeck
- 3.) Herrn Dr.-Ing. Kling
- 4.) Techn. Prüfstand Oppau
- 5.) " " " "

Messung des Querschnittsüberganges von Hochdruckrohren  
mit Schlangenrippen.

1.) Inhalt.

Die Verrippung von Hochdruckrohren unter Vermeidung einer Schweißung hat den Nachteil der schädlichen Warmwiderstände infolge von Luftspalten zwischen Rippenfuß und Rohroberfläche<sup>\*)</sup>. Insbesondere bei Betriebsnahme von aufgeschrunpften oder aufgeprelten Rippen lockern sich diese infolge der größeren thermischen Ausdehnung der warmen Rippen gegenüber dem kälteren Rohr. Dies soll die folgende Konstruktion vermeiden: Zwei Hochdruckrohre werden außerhalb der Gasse mit Schellen verbunden. Innerhalb der Gasse sind Rippenbleche zwischen den Rohren derart eingeklemmt, daß sich halbkreisförmige Einschnitte an die einer- und gegenüberliegenden inneren Rohrhälften anpressen. Die Rippenblechlänge ist gleich dem Abstand der Rohrmitteln. Die kreisförmigen Blecheinschnitte sind umgebördelt, um eine breite Auflage am Rippenfuß zu gewährleisten und um den Abstand zwischen zwei Rippen festzulegen. Beim Einbau werden die Rippen durch den Zug der Schellen gegen die Rohre gepreßt. Bei Erwärmung dehnen sich die Rippen aus (da ja die Schellen kalt bleiben) und verstärken den Preßdruck.

2.) Versuche.

Die Versuche wurden in der Versuchsgasse von 710 mm Breite und 500 mm Höhe durchgeführt, den Einbau zeigt die Abb. 1. Die Hochdruckrohre hatten die Durchmesser 88/127 mm; das innere

x) siehe Bericht Nr. 463 vom 14.7.41 und Kurzbericht Nr. 9 vom 17.6. von Dr. Kling, Technischer Prüfstand Op 471.

Das mit Wasser gefüllte Rohr durch die Versuchsgänge strömten durch die Kugelfüllung innen strömte kalte Luft von  $20^{\circ}\text{C}$ .

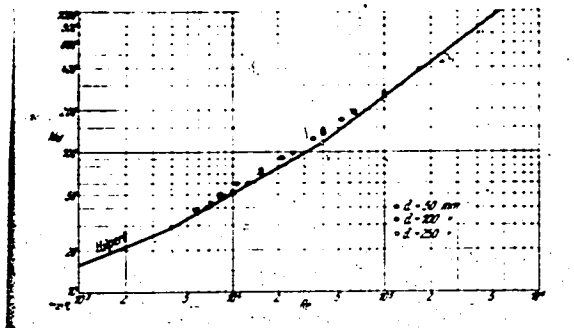
Es wurden zuerst die Rohre mit den Dämmungsrippen untersucht und der Wärmeübergang gemessen. Dann wurden die Rohre ohne Dämmungsrippen zum Vergleich gemessen.

Die Versuchswerte sind in der Tabelle 1 zusammengefasst. Die Einzelheiten der Auswertung und die Bedeutung der Bezeichnungen sind aus dem oben erwähnten Bericht Nr. 463 zu entnehmen. Die äußere Oberfläche  $F_a$  wurde die Hälfte der Dämmungsbleche mitgezählt.

### 3.3. Messergebnisse.

Die äußeren Wärmeübergangszahlen  $\alpha_a$  sind für die Anordnung mit Dämmungsrippen in Abhängigkeit von der Rauchgasgeschwindigkeit im Kanal vor den Rohren  $w_{RG}$  in der Abb. 2 dargestellt. Die  $\alpha_a$ -Werte liegen zwischen 2,2 und 32  $\text{kcal/m}^2\text{h}^{\circ}\text{C}$ . Im Vergleich mit geschweiften Rippenblechen wären  $\alpha_a$ -Werte von ca. 2-3  $\text{kcal/m}^2\text{h}^{\circ}\text{C}$  zu erwarten gewesen. Die umgebündelten Pressflächen der Dämmungsrippen waren werkstattmäßig recht gut angepasst an die Rohre gearbeitet. Nach dem Versuch konnten an der Rußablagung und an der Färbung der Rohroberflächen festgestellt werden, welche Bleche gut getragen hatten, und welche Bleche noch Spalte offen ließen. Danach waren die Anpressungen unregelmäßig, bedingt durch geringe Unterschiede in der Länge oder Unrundungen von Bördelrand oder vom Rohr selbst. Das Ergebnis zeigt also wieder den Einfluß auch kleinster Luftspalte am Rippenfuß, da sich dort der Wärme flux der ganzen Rippenoberfläche konzentriert und außerdem die Wärmeleitfähigkeit der Rauchgase nur  $\frac{1}{1000}$  derjenigen von Stahl ist. (Über den Einfluß ganz enger Luftschichten auf den Wärmeübergang siehe auch den Bericht Techn. Prüfstand Nr. 391, Dr. Kling "Messung der Wärmeleitfähigkeiten von zwei Wickelbehältern, Rohr Nr. 1 und Nr. 108b", vom 26.6.39).

Die Messungen an den unbeschrifteten Rohren sind in der Abb. 3 zusammengestellt. Die  $\alpha_a$ -Werte liegen entsprechend den kleinen  $Re$ -Werten wesentlich höher in einem Bereich von  $\alpha_a = 37$  bis  $50 \text{ kcal/m}^2 \text{h}^\circ \text{C}$ . Daraus ist wiederum ein beträchtlicher Strahlungsanteil beteiligt. Nach neueren Messungen von E. Schilde an Rohren von 100 und 250 mm  $\phi$  ist der Wärmeübergang aus dem obigen Diagramm zu errechnen:



Für Rauchgase von  $415^\circ \text{C}$  mit  $w_{Bg} = 8 \text{ m/sec}$  wird  $Re = 15200$  und aus dem Diagramm  $Nu = 70$  und entsprechend umgerechnet auf die Definition unseres  $\alpha_a$  wird eine rein konvektive Wärmeübergangszahl  $\alpha_{a \text{ konv.}} = 15$  erhalten. Addiert man hierzu die Wärmeübergangszahl durch Strahlung (siehe Bericht Nr. 481, Seite 7) von  $\alpha_{a \text{ Strahl.}} = 33$ , so ergibt sich mit  $\alpha_a = \alpha_{a \text{ konv.}} + \alpha_{a \text{ Strahl.}} = 15 + 33 = 48 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \text{h}^\circ \text{C}}$  eine sehr gute Übereinstimmung mit vorliegenden Versuchen.

Der Wärmeübergang durch Strahlung scheint überhaupt bei unbeschrifteten Rohren wesentlich günstiger zu sein, da die Wärme dabei direkt auf das Hochdruckrohr übertragen wird. Demgegenüber muß die auf eine große Rippenoberfläche aufgestrahlte Wärme immer

xx) E. Schmidt u. K. Wenner: „Wärmeabgabe eines geheizten Zylinders“ Forschung 12, 1941, Heft 2, S. 72.

erst nach dem Anpressen der Rippenflur durchströmen, während die wesentliche Konvektionsfläche von den Rippen weitgehend verdeckt bzw. abgeschirmt ist.

Schließlich sei noch ein Vergleich der übertragbaren Leistungen beider Anordnungen gegeben, die in der Gassenhöhe (710 mm Breite, 400 mm Gassenweg und 500 mm Gassenhöhe) und bei einem Temperaturgefälle von 100°C zwischen Rauchgasen und Luftinsolenzung auf je 2 Hochdruckrohre zu übertragen ist.

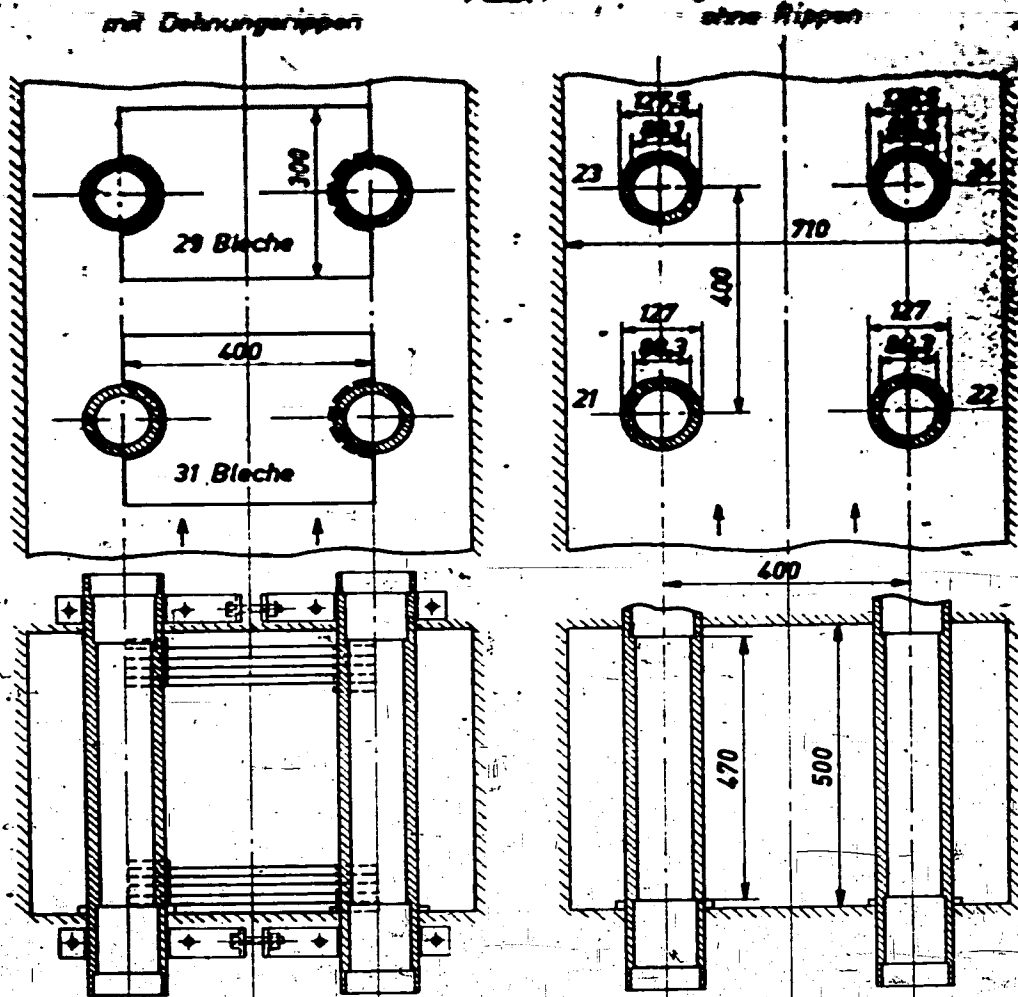
Bezeichnung.	2 Rohre 89/127 mm $\phi$		Dimen- sion
	ohne Rippen	mit Dehnungs- rippen.	
Oberfläche 2 x $A_a$	0,388	6,82	$m^2$
$\lambda_a$ (bei $w_{lg} = 8 m/sec$ )	47	2,8	$\frac{kcal}{m^2h^{\circ}C}$
Übertragene Wärme	1825	1910	$\frac{kcal}{h}$

Die Dehnungsrippen hätten demnach gegenüber blanken Rohren nur eine geringfügige Verbesserung der Wärmeleistung ergeben, sodass der erhöhte Material- und Arbeitsaufwand dieser Anordnung nicht lohnend ist.

*Ug Kling.*

# Einbau der Versuchsrohre

Abb. 1



Rohr	$f_i$	$F_i$	mit Rippen		ohne Rippen	
			$F_a$	$f_a$	$F_a$	$f_a$
21	0,006123	0,1304	3,5145	0,1976	0,1915	0,2328
22	0,006123	0,1304	3,5185		0,1954	
23	0,006096	0,1300	3,3018	0,199	0,1924	0,2324
24	0,006123	0,1304	3,3044		0,1964	

m<sup>2</sup>

11041

Tabelle 1.

Ver- such Nr.	$\sigma$	$t_1$	$t_2$	$Q$	$t_w$	$q_1$	$q_2$	$q_3$	$\eta$	$\lambda$	$\nu_{\lambda}$	$\lambda_{\lambda}$
	kg/h	°C	°C	kcal/h	°C	kcal m <sup>2</sup> h	kcal m <sup>2</sup> h	kcal m <sup>2</sup> h	°C	kg/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /h	m/1000.
<b>Rohre mit Dehnungswärmer</b>												
<b>Versuchsrohr Nr. 21.</b>												
1	322,2	9,0	47,0	3030	46,5	23240	262,0	2,54	415	0,504	4430	2,50
2	340,2	8,7	45,2	3225	47,6	24740	217,2	2,49	416	0,504	6042	4,75
3	327,2	11,2	45,5	2930	46,0	22070	255,2	2,26	415	0,502	3475	2,23
4	315,0	12,2	52,0	3035	51,7	22070	272,0	2,42	415	0,495	6322	5,10
5	327,2	11,5	52,0	3220	51,0	25000	222,0	2,55	422	0,498	7920	6,20
6	311,2	11,2	56,5	3320	54,5	25900	221,2	2,27	419	0,492	11150	8,72
7	312,2	10,2	54,0	3227	52,2	24230	221,2	2,54	415	0,497	9052	7,02
8	325,2	10,5	53,5	3324	50,5	25720	255,0	2,62	415	0,492	11200	7,97
<b>Versuchsrohr Nr. 22.</b>												
1	341,2	9,0	48,0	3127	45,1	24520	207,0	2,42				
2	351,2	8,5	49,5	3445	47,2	26430	272,0	2,62				
3	336,7	11,4	49,0	3029	45,0	23300	222,0	2,24				
4	326,2	12,0	55,2	3227	51,0	24750	217,2	2,22				
5	345,0	11,2	55,2	3226	52,2	27220	1020,0	2,22				
6	327,0	11,2	61,2	3221	52,9	30120	1117,0	2,14				
7	322,4	10,2	52,2	2770	52,2	22220	1071,0	2,20				
8	342,2	10,2	52,0	3223	52,4	30150	1115,0	2,11				
<b>Versuchsrohr Nr. 23.</b>												
1	327,2	10,0	46,2	2270	42,7	22070	222,0	2,22				
2	322,0	9,2	42,1	2022	42,2	22720	227,0	2,22				
3	322,7	12,2	47,1	2722	42,7	21220	227,0	2,22				
4	312,2	12,2	52,0	2722	49,0	22240	222,0	2,42				
5	327,4	12,0	52,2	2222	47,2	24220	222,2	2,27				
6	320,2	12,0	52,2	2420	50,2	24200	1042,0	2,22				
7	312,0	11,2	54,2	3221	49,0	25010	222,0	2,22				
8	320,4	10,2	52,2	3222	47,2	22000	1022,2	2,22				

Veranschlagt Nr. 23.

1	327,8	10,0	46,8	2370	42,7	22070	808,0	2,33
2	322,0	9,8	45,1	2092	45,8	23780	927,0	2,52
3	329,7	12,2	47,1	2722	42,7	21250	827,0	2,25
4	313,2	12,5	52,0	2922	49,0	22240	890,0	2,45
5	327,4	12,0	52,2	2222	47,9	24920	920,5	2,67
6	320,2	12,0	52,8	2420	50,6	26600	1042,0	2,88
7	315,0	11,2	54,2	2221	49,0	25010	922,0	2,69
8	330,4	10,6	53,5	2322	47,9	26050	1022,5	2,80

Veranschlagt Nr. 24.

1	322,9	10,2	46,5	2222	44,6	21970	822,0	2,34
2	327,1	9,8	48,5	2122	44,6	24050	920,0	2,54
3	322,4	12,0	47,2	2722	42,9	20970	829,0	2,22
4	312,5	12,0	52,2	2920	50,6	22250	891,0	2,44
5	324,2	12,7	52,5	2097	51,5	22750	922,0	2,52
6	314,2	12,2	57,5	2417	55,5	26210	1034,5	2,82
7	314,2	12,0	54,2	2227	53,0	24750	972,0	2,70
8	322,7	11,2	54,2	2224	53,5	25500	1006,0	2,79

Rohre ohne kippen.

Veranschlagt Nr. 21.

1	342,5	3,8	39,5	2254	38,9	21900	14900	39,5	41,6	0,497	642	6,22
2	346,5	6,0	40,5	2270	40,4	22000	14970	39,5	42,0	0,421	662	6,30
3	344,0	6,5	42,5	2971	42,8	22200	15220	41,7	41,6	0,459	642	6,22
4	327,4	8,8	42,2	2122	49,6	24450	16650	42,5	41,6	0,490	951	7,44
5	326,6	9,0	51,0	2291	51,9	22270	17200	47,2	41,6	0,421	1114	9,72
6	342,8	10,0	42,5	2000	42,2	22000	15660	42,4	41,6	0,506	790	6,24
7	340,0	11,0	42,2	2221	42,0	22100	15050	40,7	41,6	0,502	641	6,22

Veranschlagt Nr. 22.

1	329,7	3,8	41,5	2040	40,4	22320	15670	41,5
2	343,9	5,5	42,0	2092	42,3	22760	15850	42,0
3	347,0	6,5	46,0	2290	47,0	25250	16850	45,6
4	322,2	8,5	52,0	2520	52,2	27090	18070	49,7
5	322,2	9,0	55,0	2624	56,3	27210	18550	51,6



1	342,5	3,8	38,5	2854	58,9	21900	14900	39,5	41,6	0,492	640	6,22
2	346,5	6,0	40,5	2870	40,4	22000	14970	39,5	42,0	0,481	640	6,00
3	344,0	6,5	42,5	2971	48,8	22800	15520	41,7	41,6	0,469	640	5,78
4	337,4	8,8	48,2	3189	49,6	24450	16050	45,5	41,6	0,490	6814	7,44
5	326,6	9,0	51,0	3291	51,9	25270	17200	47,2	41,6	0,482	11140	9,70
6	342,8	10,0	46,5	3000	46,2	23000	15560	42,4	41,6	0,506	7900	6,24
7	340,0	11,0	46,8	2881	46,0	22100	15050	40,7	41,6	0,508	6414	6,22

Verrohrrohr Nr. 22.

1	339,7	3,8	41,5	3040	40,4	23320	15570	41,5				
2	343,9	5,5	43,0	3098	42,3	23760	15850	42,0				
3	347,0	6,5	46,0	3290	47,0	25250	16850	45,6				
4	338,2	8,5	52,0	3530	52,2	27090	18070	49,7				
5	328,5	9,0	55,0	3624	56,3	27810	18550	51,6				
6	350,4	10,0	50,5	3407	49,6	26120	17440	47,6				
7	339,5	11,0	49,8	3161	49,8	24270	16200	44,2				

Verrohrrohr Nr. 23.

1	341,0	4,2	39,5	2890	34,0	22210	15020	39,8				
2	342,0	6,5	41,0	2881	39,0	21790	14720	38,6				
3	359,7	7,0	43,5	2978	41,8	22900	15470	41,3				
4	338,5	9,0	49,0	3251	45,8	25030	16910	45,7				
5	325,5	9,8	51,8	3280	49,0	25230	17050	46,5				
6	344,0	10,5	47,3	3039	43,2	23380	15800	42,4				
7	334,1	11,5	47,1	2858	43,0	21970	14850	39,8				

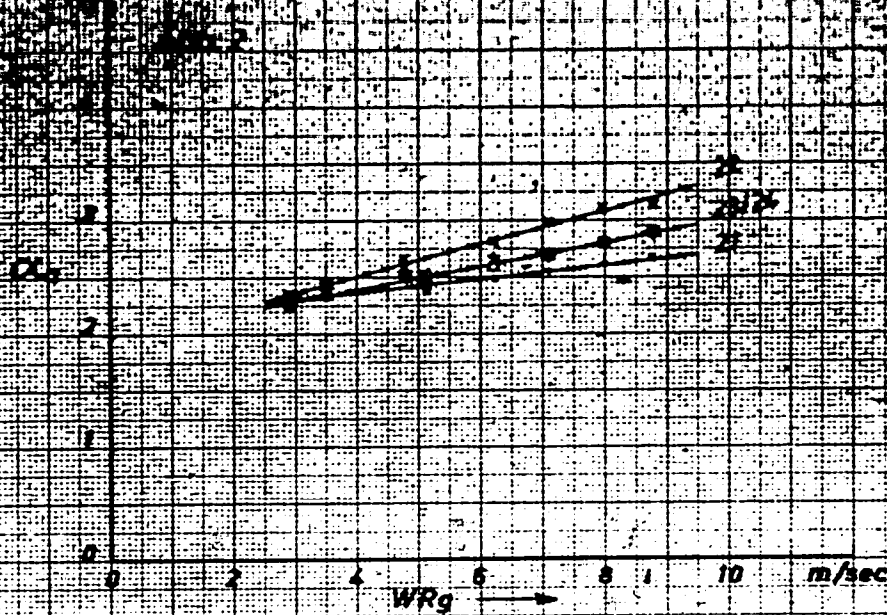
Verrohrrohr Nr. 24.

1	354,0	5,0	39,5	2765	37,1	21200	14070	37,2				
2	335,5	7,0	41,8	2801	40,0	21500	14275	37,6				
3	334,4	7,5	44,5	2970	43,2	22800	15150	40,6				
4	333,2	9,5	50,0	3240	47,8	24350	16500	44,8				
5	317,9	10,0	55,0	3280	50,5	25150	16700	45,7				
6	334,8	10,5	48,1	3022	45,0	23190	15380	41,5				
7	326,9	11,5	47,8	2822	45,0	21650	14380	38,7				

11042

# Äußere Wärmeübergangszahl $\alpha_{\text{a}}$

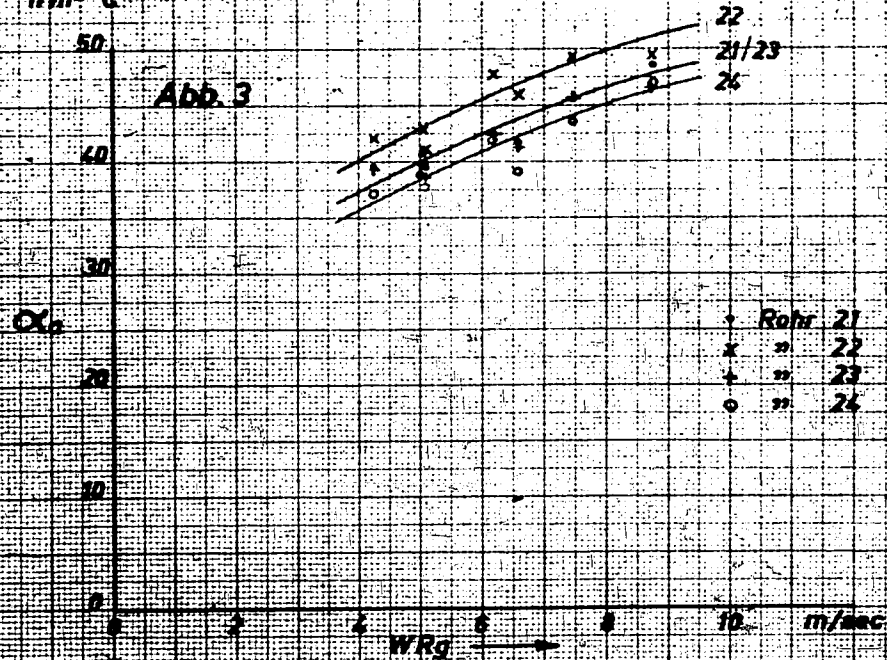
Äußere Wärmeübergangszahl



$\alpha_{\text{a}}$   
 $\text{kcal}/\text{m}^2\text{°C}$

Rohre ohne Rippen

Abb. 3



1002/1