

4-15
(4)

h B

Bericht Nr. 463

Untersuchungen an Rippenrohren

1. Teil:

**Vergleichende Messung des Wärmeüberganges
an Hochdruckrohren mit geschweißten und
mit aufgestemmtten Rippen**

8309



Bericht des Technischen Prüfstandes Oppau

Nr. 463

Untersuchungen an Rippenrohren

1. Teil: Vergleichende Messung des Wärmeüberganges an Hochdruckrohren mit geschweissten und mit aufgestemten Rippen.

Übersicht: Es wurde eine Versuchsanlage gebaut, in der berippte Hochdruckrohre, kurze Probestücke aus den "Hornradeln" der Spitzenvorheizer in Hydrieranlagen, hinsichtlich ihres besseren Wärmeüberganges untersucht werden können. Die Versuchsbedingungen sind dabei die gleichen wie im Betriebszustand in den Gassen der Röhre ständigen.

Aus dem umfangreichen Versuchsprogramm sind im vorliegenden ersten Bericht Vergleichsmessungen an Rohren mit aufgeschweissten und mit aufgestemten Rippenblechen bearbeitet. Die Versuchsergebnisse zeigen den schädlichen Einfluss der Luftspalte am Stemmring, durch die Wärmeübergangszahl der gestemten Rohre unter normalen Betriebsbedingungen nur 75, derjenigen der geschweissten Rohre erreichen. Die Werte der gestemten Rohre werden umso schlechter, je höher die Rippentemperatur gegenüber der Rohrtemperatur ist, je breiter also infolge der ungleichen Ausdehnung der Spalt wird. Bei innen geheizten und aussen gekühlten Rohren wird der Spalt verengt, sodass die gestemten Rohre in diesem Fall annähernd gleichgrosse Werte wie die geschweissten Rohre erreichen. Schliesslich wurde noch das Temperaturfeld auf den Rippen gemessen, das eine Bestätigung der Messungen zeigt, zugleich aber auch wichtige Rückschlüsse auf die Wirkung des Vordrängers gestattet.

Abgeschlossen am: 14. Juli 1941

Bearbeiter: Dr.-Ing. G. Kling

Die vorliegende Ausfertigung 4 enthält

16 Textblätter

8 Bildblätter

3 Tabellen

Verteiler

Nr.	am	Empfänger	Nr.	am	Empfänger
1		Herrn Dir. Dr. Sauer, Leuna,	10		Herrn D. I. Schuppert, Lu,
2		Herrn Dir. Josenhans, Leuna,	11		Herrn Dr.-Ing. Kautz, Lu,
3		Herrn Dir. Dr. Eymann, Lu,	12		Herrn Dr.-Ing. Wille, Op,
4	22.7.41	Herrn Dir. Dr. Lappe, Op,	13		Herrn Dr.-Ing. Kling, Op,
5	23.7.41	Herrn Ob. Ing. Dr. Schiörenbeck, Op,	14		Techn. Prüfstand
6		Herrn Ob. Ing. Raithel, Lu,	15		
7		Herrn Ob. Ing. Dr. Schmidt, Lu,	16		
8		Herrn Ob. Ing. Berger, Lu,			
9		Herrn D. I. Jöhner, Lu,			

8310

Untersuchungen an Rippenrohren

1. Teil: Vergleichende Messung des Wärmeüberganges an Hochdruckrohren mit geschweissten und mit aufgestemten Rippen.

A. Zweck der Versuche.

In den Spitzenvorheizern der Hydrieranlagen sind die Haarnadelrohre aussen mit aufgeschweissten Rippen versehen, um den schlechten Wärmeübergang der Gasseite durch eine vergrösserte Oberfläche auszugleichen. Über die zweckmässigste Form und die günstigste Abmessung der Rippen, über die Temperaturverteilung auf der Rippe und am Rippenfuss fehlen bisher eingehende Untersuchungen. Die komplizierte Gestaltung solch eines Rippenrohres und die unklaren Verhältnisse des Strömungsfeldes um das Rohr und zwischen den Rippen erschweren ausserordentlich die Anwendung von Ähnlichkeitsgesetzen und die Möglichkeit von Modellversuchen. Daher ist es erforderlich, auch im Versuch den Einbau der Rohre in der Gasse, den eventuellen Einbau von Verdrängern, die Druck- und Temperaturverhältnisse sowie Strömung der Rauchgase usw. zu berücksichtigen. Nach einer kürzeren Versuchsreihe wurde daher beschlossen, eine Grossversuchsanlage zu bauen, in der die Verhältnisse des Betriebes weitgehendst nachgemacht werden können.

Die Bearbeitung des zur Zeit vorliegenden umfangreichen Versuchsprogrammes wird in einer Reihe von Berichten herausgegeben. Der vorliegende erste Bericht enthält die Beschreibung der Versuchsanlage und die Ergebnisse einer vergleichenden Messung an Rohren mit aufgeschweissten und mit aufgestemten Rippenblechen.

B. Aufbau der Anlage zur Untersuchung von Rippenblechen.

Die Anlage zur Untersuchung von Hochdruckrippenrohren ist in Blatt 1 dargestellt.

In einem Muffelofen (a) wird Öl verbrannt zur Erzeugung der heissen Rauchgase. Die Verbrennungsluft, deren Menge in einer Blende (V)

gemessen wird, konnte in einem elektrischen Heizer (s) vorgewärmt werden. Der Verbrennungsraum ist nach hinten verlängert zu dem Saugraum (b) einer grossen Düse, die in dem Gaskreislauf eingeschaltet ist. Beim Anfahren der Anlage werden Saugraum und Verbrennungsraum durch einen Schieber (c) getrennt, sodass die Verbrennungsgase durch den Kamin (d) ins Freie strömen. Sobald der Ofen warm ist, wird der Schieber (c) hochgezogen und die Kaminklappe (e) geschlossen. - Der vom Motor (f) angetriebene Ventilator (g) wird in Betrieb gesetzt und wälzt die in der Anlage befindlichen Gasmassen in der Pfeilrichtung um. Der in der Düse (b) entstehende Unterdruck saugt die heissen Verbrennungsgase an, sodass sich die anfangs kalten Umlaufgase erwärmen. Nach der Düse durchströmen die Rauchgase die eigentliche Versuchsstrecke von 710 mm Breite und 500 mm Höhe die aus einzelnen Blechkästen der Beruhigungsstrecke (h) von 2 m Länge, der Einbaustrecke (k) von 1 m Länge und den Zwischenstücken (i) und (l) von je 1 m Länge besteht. Der Ventilator (g) kann durch Widerstandsregulierung des Gleichstrommotors (f) in dem Drehzahlbereich von etwa 300 bis 3000 Umr/min reguliert werden. Die umgewälzte Gasmenge (max 10000 m³ bei 400°C) wird in einer geraden Rohrstrecke (m) von 500 mm ϕ und 8 m Länge mittels der Blende (n) gemessen. Der Gaskreislauf wird dann mit einem Krümmer zur Ofendüse geschlossen. Eine Abgasleitung (o) führt die überschüssigen Rauchgase in den Kamin. Das ganze Rohrsystem ist auf rollbaren Böcken gelagert, während Ofen und Ventilator fest montiert sind. Die beträchtliche Wärmeausdehnung wird in zwei kurzen Bohrstücken (.), vor der Düse und nach dem Zwischenstück (l), kompensiert. Die ganze Anlage ist aussen mit Diatomitsteinen bzw. mit Asbestmatten sorgfältig isoliert. - Die höchste Betriebstemperatur ist durch den Ventilator begrenzt, der bis zu 400°C erwärmt werden darf. Die Rauchgastemperatur vor den Rippenrohren kann daher höchstens 450°C betragen. Die Anheizzeit vom kalten Zustand der Anlage bis zur Höchsttemperatur sind etwa 2 Std. bei der grössten Heizölmenge, d.h. etwa 12-1/h.

Zur Überwachung der Anlage wie auch insbesondere zur Messung des Wärmeüberganges sind verschiedene Messgeräte eingebaut. Am Ofen wird die Brennstoffmenge am Standglas des Ölbehalters abgelesen. Die Verbren-

nungsluft ist durch eine Blendenmessung zu ermitteln, ebenso ihre Temperatur vor dem Brenner mit einem Thermometer. Die Temperatur im Ofen wird an einen Chromnickel B - Thermometer - Thermoelement überwacht. - Im Rauchgaskreislauf sind Thermometer vor dem Ofen, vor und nach den Rippenrohren, nach der Blende und ein Fe-Konst.-Thermoelement nach der Ofendüse eingebaut. Die Genauigkeit der Thermometeranzeige vor den Rippenrohren war nochmals durch ein genau geeichtes Fe-Konst.-Thermoelement kontrolliert worden. - Druckmessungen mittels wassergefüllter U-Rohrmanometer wurden zamin, vor und nach den Rippenrohren, vor dem Ventilator, vor der Blende und vor dem Ofen vorgenommen. Die Druckdifferenz an der Blende wurde mit einem Fuess-Schräghohrmanometer genau bestimmt. Die Messblende hatte ein Innendurchmesser von 400 mm und war nach den Massbestimmungen der VDI-Regeln DIN 1952 hergestellt worden. Der Durchflussbeiwert K_v der Blende wurde aus Abb. IV der genannten VDI-Regeln unter Berücksichtigung der Reynolds'schen Zahl der Blende entnommen. - Die Blendenmessung erfordert die Bestimmung der Rauchgaszusammensetzung. Daher wurde nach den Ventilen ein Entnahmerutzen (u) angebracht, an den ein wassergekühltes Messingrohr angeschlossen war. In diesem, sowie in einem nachgeschalteten Schlangenkühler, kondensierte der Wasserdampf und schied sich in einem Messzylinder ab. Der so getrocknete Gasstrom wurde in einer Gasuhr gemessen, womit die H_2O pro l^3 trockenes Rauchgas bestimmt werden konnten. Vor der Gasuhr wurden die Proben zur Orsatanalyse auf CO_2 , O_2 und CO entnommen. Die Wasserdampfättigung wurde für die Temperatur des Orsatapparates eingesetzt, der Fehler gegenüber der Temperatur des Kühlwassers ist belanglos.

In der Versuchsanlage können die verschiedensten Rippenrohrprofile unter Betriebsbedingungen hinsichtlich ihres äußeren Wärmeüberganges untersucht werden. Abweichend ist nur die Gestaltung des inneren Wärmeüberganges im Rohr, als Wärmeaufnehmendes Medium wurde Luft gewählt. Zur Verbesserung des inneren Wärmeüberganges werden die Versuchsröhre innen auf 480 mm Länge mit Stahlkugeln von 11,8 mm ϕ gefüllt. Dadurch wird eine genügende Erwärmung erzielt, die die exakte Messung der die Rippenoberfläche von aussen nach innen durchfließenden Wärmemenge ermöglicht.

Die Luftmenge wird mittels Blenden (r) von 32/52 mm ϕ mit ausreichend langen geraden Rohrstrecken genau ermittelt. Der Durchflussbeiwert α der Blende war nach einer Eichung in der Betriebskontrolle genau bekannt. Der Differenzdruck wird mit Quecksilbermanometern bestimmt. Die Eintrittstemperatur t_1 der Luft wird an unteren Krümmern gemessen, die Austrittstemperatur t_2 nach Durchwirbelung in einem T-Stück kurz über dem Versuchrohr. Die Messung des äusseren Wärmeüberganges vom Rauchgas an die Rohrrinnenwand erfordert die Kenntnis der mittleren Temperatur der Rohrrinnenwand. Diese wird mittels Fe-Konst.-Thermoelementen gemessen, die auf Cu-Plättchen von 10x10x1 mm aufgelötet sind. Das Cu-Plättchen wird dann durch einen diagonal im Rohr eingeklemmten Stahldraht an die Wand angedrückt. Die Thermoelementendrähte werden an der inneren Rohrwand entlang der Längsachse nach oben hinausgeführt.

Der Einbau von Versuchsrippenrohren kann in dem Kasten (k) in jeder beliebigen Anordnung vorgenommen werden. Durch seitliche Bleche ist auch eine Verengung der Gasse, z.B. für die Untersuchung eines einzelnen Rohres, möglich. Weiterhin ist auch der Einbau von Verdrängern oder von vorgesetzten Rippenrohren im Kasten (i) möglich.

C. Messungen an Rippenrohren mit aufgeschweissten und mit aufgesteckten Rippenblechen.

1.) Allgemeines.

Bei der Herstellung der Rippenrohren ist das Einpassen, Aufbringen und Verschweissen der zahlreichen Rippenbleche, so wie es jetzt geschieht ein langwieriger und kostspieliger Arbeitsprozess. Auch bestanden Bedenken gegen die Schweissung der hochwertigen legierten Hochdruckrohre hinsichtlich ihrer Festigkeitseigenschaften. Die Bestrebungen waren deshalb darauf gerichtet, billigere und einfachere Verfahren der Rippenaufbringung unter Vermeidung des Schweissens zu finden. Im Rahmen der verschiedensten Bemühungen in dieser Richtung, wurde der folgende Vorschlag gemacht (siehe auch nebenfigur in Blatt 2):

Die Rippenbleche werden mit einem grösseren Loch versehen als dem Rohrdurchmesser entspricht. Auf das Rohr wird ein geschlitzter Ring

geschoben, der sich federnd dem praktisch ungleichen Rohrdurchmesser anpassen kann. Auf den Ring ist aussen ein Absatz eingebracht, in den das Rippenblech eingelegt wird. Durch seitliches Verstärken des Ringes wird dieser gegen Rohr und Rippenblech auseinandergetrieben und soll damit den Blechen einen festen Halt auf den Rohren geben. Herstellungsmässig bedeutet dieses Verfahren eine beträchtliche Arbeitszeitverlängerung und damit Verbilligung der Heiznadeln. Wärmetechnisch jedoch bestehen Bedenken wegen der nicht metallischen Verbindung des Rippenfusses, die eine Verminderung des Wärmefflusses bewirken könnte. In den vorliegenden Versuchen sollen daher vergleichsweise Hochdruckrohre mit aufgeschweissten und mit aufgesteckten Rippen untersucht werden.

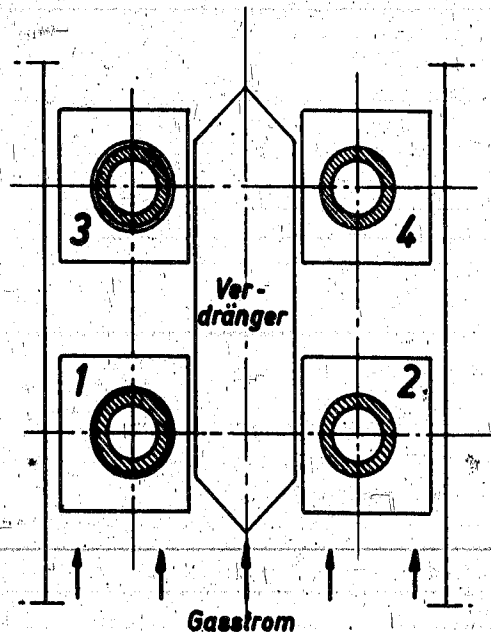
2.) Beschreibung der Versuchsrohre und ihr Aufbau in der G. 320.

Für die Versuche standen je zwei Versuchsrohre mit aufgesteckten und mit aufgeschweissten Rippenblechen zur Verfügung. Die Rohre, die in Blatt 2 dargestellt sind, haben einen Innendurchmesser von 90 mm und einen Aussendurchmesser von 128 mm. Die Rippenbleche haben die Abmessung 250 x 230 mm bei 4 mm Blechstärke. Die ganze Rohrlänge beträgt bei allen vier Rohren 750 mm, die aussen berührte Länge ~ 460 mm, die Rippenabteilung ~ 15 mm. Innen sind alle vier Rohre auf 470 mm Länge mit 11,9 mm $\varnothing$ Stahlkugeln gefüllt. Die Stiele werden von Porzellanringen und diese wieder gegen die an dem Rohrende eingeschraubten 4-Leitungsanschlüsse gehalten. Die Porzellanringe geben zugleich eine Wärmeisolierung gegenüber den noch heissen Rohrenenden, sodass die wirkliche Erwärmung der Luft nur in der gefüllten Rohrstrecke stattfindet. Die weiter aussen liegenden Rohrleitungen sind nicht mehr sehr heiss, und auch die Wärmeübergangszahlen im leeren Rohr sind so klein gegenüber der Füllung, dass ein Fehler durch die Endeneinflüsse nicht zu befürchten ist. - Das Material der Rohre ist H. E. V., die Rippen sind gewöhnliches Schweißblech. - Die genauen Abmessungen der vier Rohre sind in folgender Tabelle 1 wiedergegeben:

Tabelle 1 Angaben über die Versuchsröhre

		Rohr Nr.			
		1	2	3	4
Innendurchmesser	mm	90	89,5	90	89,6
Aussendurchmesser	mm	128	128	128	128
Anzahl der Rippen		31	31	30	30
berippte Rohrlänge	mm	445	465	458	458
Rippenteilung	mm	14,7	15,4	15,6	15,6
Innere freier Rohrquerschnitt f_1	m ²	0,00635	0,00529	0,00636	0,006305
Innere Rohroberfläche zwischen den Sieben F_1	m ²	0,1329	0,1321	0,1329	0,1322
Aussere Rohroberfläche vom Rauchgas unspült F_a	m ²	2,711	2,985	2,633	2,891
Ausserer freier Strömungsquerschnitt der Rauchgase f_a	m ²	0,04805	0,05555	0,04830	0,05860

Den Einbau der vier Rohre in der Versuchsgasse zeigt folgende Skizze:



Die Rohre Nr. 1 und 3 haben aufgestemte Rippen, die Rohre Nr. 2 und 4 aufgeschweisste Rippen. Der Abstand der Rohrachsen beträgt wie üblich 400 mm. Zwischen den Rohren wurde ein Verdünger von 180 mm Breite angeordnet. Der Abstand der Rippen vom Verdünger beträgt 10 mm, von der Gassenwandung 25 mm. Die oberste und unterste Rippe an jedem Rohr trägt je einen Distanzring gegen Deckel bzw. Boden der Gasse. Die genauen Einbaumasse sind in Blatt 3 angegeben.

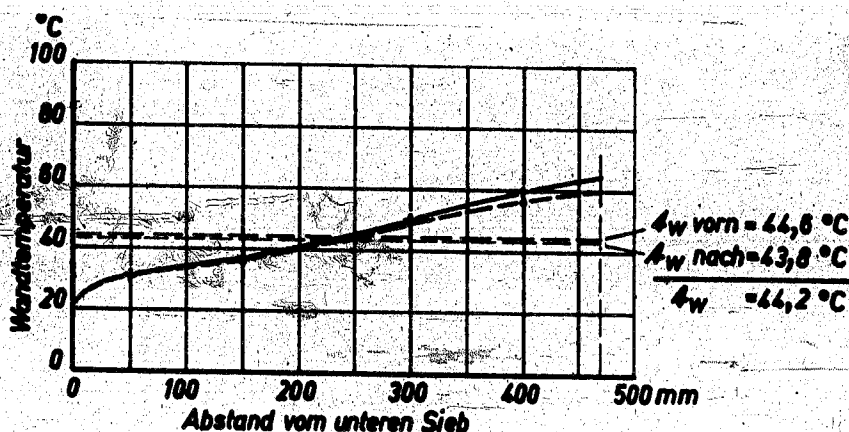
Zur Temperaturbestimmung der Rohrinnenwand waren im Rohr 1 und 2 je 8 Thermoelemente angebracht, von denen jeweils 4 in Windschatten und 4 auf der Windseite der Rauchgasströmung eingebaut wurden. Die Thermoelemente waren 50, 150, 300 und 400 mm vom unteren Sieb entfernt angebracht.

3.) Versuchsdurchführung und Auswertung:

Zur genauen Bestimmung des Wärmeüberganges von Rauchgas an die Rippenrohre wurde eine grössere Anzahl von Versuchen, insgesamt 35, durchgeführt. Die das Rohrinne durchströmende Luftmenge lag dabei zwischen 400 und 700 kg/h, die Luft Eintrittstemperatur lag zwischen 5 und 20°C. Der innere Wärmeübergang blieb also bei allen Messungen ungefähr gleich ($\lambda : \approx 1100 \text{ bis } 2500 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^\circ\text{C}$). Dagegen wurde rauchgasseitig sowohl die umgewälzte Gasmenge wie auch die Temperatur der Rauchgase in weiten Grenzen verändert, da sich im Laufe der Versuche herausstellte, dass beide Faktoren wesentlichen Anteil am äusseren Wärmeübergang haben. Eine Zusammenstellung der zahlreichen Versuchswerte ist in Tabelle 2 gegeben. Die Erklärung der Bezeichnungen sind folgende:

G =	Gewicht der das Rohr innen durchströmenden Luft	$\frac{\text{kg}}{\text{h}}$
$t_1 =$	Eintrittstemperatur der Luft	$^\circ\text{C}$
$t_2 =$	Austrittstemperatur der Luft	$^\circ\text{C}$
Q =	Wärmeaufnahme der Luft	$\frac{\text{kcal}}{\text{h}}$
	$Q = G \cdot c_p \cdot (t_2 - t_1)$	
$c_p =$	spezifische Wärme der Luft bei der mittleren Temperatur $\frac{t_1 + t_2}{2}$	$\frac{\text{kcal}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$
t_w	Oberflächentemperatur an der Rohrinnenwand	$^\circ\text{C}$

Die vier auf der Rohrinnenwand gemessenen Temperaturen auf der Innenseite der Rauchgase werden über der Rohrlänge, vom unteren Sieb aus gerechnet, aufgetragen; in gleicher Weise die vier Temperaturen in Lindschatten. Durch Planimetriren beider Kurven erhält man die mittleren Oberflächen-temperaturen t_{wv} auf der der Rauchgasströmung zugekehrten Seite der Rohrinnenwand und t_{wm} der anderen Seite. Das arithmetische Mittel $\frac{t_{wm} + t_{wv}}{2}$ ist dann t_w . Am Beispiel des Versuches Nr. 3 ist der Verlauf der Wandober-temperaturen über der Rohrlänge für Rohr 1 in folgender Figur gezeigt:



- $\alpha_1 =$ innere Wärmeübergangszahl von der Rohrwandung an die Luft $\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}}$
- $$\alpha_1 = \frac{q}{F_1 \cdot \left(t_w - \frac{t_1 + t_2}{2} \right)}$$
- $F_1 =$ innere Rohroberfläche zwischen den Sieben m^2
- $q_1 =$ Heizflächenbelastung, bezogen auf F_1 $\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \text{ h}}$
- $$q_1 = \frac{Q}{F_1}$$
- $t_R =$ Temperatur der Rauchgase vor den Rippenrohren $^\circ\text{C}$
- (für die beiden hinteren Rohre wird das Mittel der beiden vor und nach den Rippenrohren gemessenen Temperaturen eingesetzt)

K	Wärmedurchgangszahl von den Rauchgasen an die im Rohr strömende Luft, bezogen auf F_a	$\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}$
	$K = \frac{Q}{F_a \cdot (t_R - \frac{t_1 + t_2}{2})}$	
F_a	äußere Rohroberfläche (Rohr + Rippen)	m^2
α_a	äußere Wärmeübergangszahl von den Rauchgasen an die Rohrinnenwandung	$\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}$
	$\alpha_a = \frac{Q}{F_a \cdot (t_R - t_w)}$	
q_a	Heizflächenleistung, bezogen auf F_a	$\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}}$
	$q_a = \frac{Q}{F_a}$	
$t_R - t_w$	Unterschied zwischen Rauchgas- und Wassertemperatur	$^\circ\text{C}$
Δp	Druckverlust der Rauchgase über den Rippenrohren	$\text{mm H}_2\text{O}$
γ_R	spezifisches Gewicht der Rauchgase im Zustand vor den Rippenrohren	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
	$\gamma_R = \frac{p_R \cdot M_R}{948 \cdot (273,2 + t_R)}$	
p_R	Druck der Rauchgase vor den Rippenrohren	mm Hg
M_R	scheinbares Molekulargewicht der Rauchgase aus der Orsatanalyse und dem abgeschiedenen Wasser werden die Raumteile $v'(i)$ der i-Komponenten des feuchten Rauchgases errechnet. Die Summe der Molekulargewichte M_i der i-Komponenten, multipliziert mit den jeweiligen Raumteilen $v'(i)$, ergibt $M_R = \sum v'(i) \cdot M_i$.	
V_{RG}	Menge der die Versuchsgasse durchströmenden Rauchgase, bezogen auf F_R und t_R	m^3/h
w_{RG}	Geschwindigkeit der Rauchgase in der Gasse (d.h. also vor den Rippenrohren)	m/sec
	$w_{RG} = \frac{V_{RG}}{3600 \cdot F_R}$	
f_G	Querschnitt der Gasse (ohne Rohre) = 0,355	m^2

"R Rippen" Geschwindigkeit des Rauchgases zwischen den Rippen

m/sec

$$v_{R \text{ Rippen}} = \frac{V_{Rg}}{3600 \cdot f_a}$$

Der Index 1 + 2 bedeutet die Geschwindigkeit bezogen auf die Querschnitte f_a der beiden ersten Rohre zusammen; der Index 3 + 4 entsprechend.

4.) Messungen an innen mit Dampf geheizten Rippenrohren.

Zur Ergänzung der Versuche wurden noch einige Messungen durchgeführt, bei denen aussen kalte Luft vorbeiströmte und innen mit Dampf geheizt wurde. Der Gaseinbau ist der gleiche wie unter Abschnitt 2). Beschrieben worden ist; geändert wurden nur die Verhältnisse im Rohrinnen. Die Kugelfüllung, die Siebe und die Thermoelemente wurden entfernt, ebenso die Anschlüsse der Luftleitung. Statt dessen wurden die Rohre oben über Regulierventile und über einen Wasserabscheider an das Niederdruckdampfnetz angeschlossen. Durch ein T-Stück wurden von oben Fe-Konst.-Thermoelemente bis in die Mitte der Rohre eingeführt. Unter den Rohren wurde ein mit geeichter Skala versehenes Kondensatmessgefäß aufgestellt. Der Dampfdruck in den Rohren wurde auf etwa 50 bis 100 mm i.S. über Atmosphärendruck gehalten. Alle Dampfleitungen wurden mit Asbestwolle isoliert. Zur Berücksichtigung der noch verbleibenden Wärmeverluste wurde vor und nach den Versuchen die Kondensatmenge ohne Gasströmung in der Gasse gemessen und diese dann von den Kondensatmengen der Versuche abgezogen. Diese Kondensatmengen der Verluste K_v kg/h ergaben bei

Rohr Nr.	1	2	3	4
K kg/h	0,988	0,835	0,809	0,622

Rauchgasseitig wurde Luft umgewälzt. Die Erwärmung durch die Rippenrohre wurde mit kalter (Verbrennungs-)Luft aus dem ungeheizten Ofen ausgeglichen. In der Tabelle 3 sind die Messergebnisse eingetragen. Es bedeuten dabei:

C = abgeschiedene Kondensatmenge, abzüglich der Verluste K_v kg/h

- Q - vom Dampf abgegebene Wärmemenge, errechnet mit der bei allen Versuchen gleichbleibenden Verdampfungswärme - 540 kcal/kg $\frac{\text{kcal}}{\text{h}}$
- t_D - Dampftemperatur in Rohrräumen $^{\circ}\text{C}$
- t_W - Temperatur der Rohrrinnenwand, errechnet unter der Annahme reiner Filmkondensation. Dabei wurde zur Wärmemenge Q noch die halbe Verlustwärme (herrührend von den Wärmeverlusten oberhalb des Rohres) addiert, da ja deren Kondensat auch als Film an der Rohrrinnenwand herabfließt. $^{\circ}\text{C}$
- α_i - Wärmeübergangszahl auf der Rohrrinnenwand, ermittelt nach Wärmeatlas II, Blatt 5. Diese beträgt bei den Versuchen etwa 8000 - 14000 kcal/m²h⁰C. $\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \text{h}^{\circ}\text{C}}$
- q_i - Heizflächenbelastung, bezogen auf die innere Rohroberfläche F_i (für alle Rohre $F_i = 0,1325 \text{ m}^2$) $\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \text{h}}$

Die übrigen Bezeichnungen sind die gleichen wie in Tabelle 2, deren Beschreibung in Abschnitt 3 angegeben ist. Dabei entfällt nur die Berechnung des Molekulargewichtes der Rauchgasmischung, da für Wert $M = 28,96$ zu setzen ist.

5.) Besprechung der Versuchsergebnisse.

Als wichtigste Versuchsergebnisse sind die Vergleiche zwischen den Rohren mit geschweissten und gestemten Rippen zu betrachten. In Blatt 4 ist in dreidimensionaler Darstellung die äussere Wärmeübergangszahl α_a in Abhängigkeit von der Rauchgasgeschwindigkeit zwischen den Rippen w_R Rippen und in Abhängigkeit von dem Temperaturgefälle zwischen Rauchgas und Rohrrinnenwand $t_R - t_w$ aufgetragen. Es entstehen dabei zwei Flächen, von denen die obere die Werte des geschweissten Rohres Nr. 2, die untere die Werte des gestemten Rohres Nr. 1 darstellen.

Die Flächen des Blattes 4 sind durch interpolieren der zahlreichen Versuche gewonnen worden. Die Abweichung der gemessenen Werte von den Ebenen in Blatt 4 ist in der überwiegenden Zahl der Messpunkte 5% bei einigen Punkten 5-10%, bei zwei Punkten 30%. - Eine Unstimmigkeit

wäre noch darin zu sehen, dass die Messpunkte bei negativem t_{R-t_w} für Luft gelten; während das Diagramm sonst für Rauchgase gilt. Daher wäre noch eine Umrechnung erforderlich, die jedoch nur eine etwa 2%ige Änderung von α bedingt. Da dies innerhalb der Versuchsgenauigkeit liegt, wurde auf die Korrektur verzichtet. In gleicher Größenordnung liegt auch die Änderung der Geschwindigkeit, die ebenfalls unberücksichtigt blieb.

Aus Blatt 4 ist zunächst zu ersehen, dass bei Wärmeabgabe der Rippenrohre, d.h. bei negativem t_{R-t_w} , beide Flächen eng beieinander liegen. Gestemmt und geschweisste Rippenrohre haben hier annähernd gleiche Wärmeübergangszahlen.^{*)} Der Einfluss der Rauchgeschwindigkeit ist beträchtlich, sodass bei geheizten Rippenrohren durch Steigerung der Geschwindigkeit immer eine wesentliche Verbesserung des Wärmeübergangs zu erwarten ist.

Die Verhältnisse werden jedoch wesentlich anders bei Wärmeaufnahme der Rippenrohre, da die Flächen mit steigenden positiven t_{R-t_w} immer weiter auseinanderstreben. So betragen z.B. bei $t_{R-t_w} = 150^\circ\text{C}$ die Wärmeübergangszahlen des gestemten Rohres nur noch 50-55 % derjenigen des geschweissten Rohres. Diese Verschlechterung im Wärmeübergang des gestemten Rohres ist auf den Einfluss der Luftspalte zwischen Rippe und Ring sowie zwischen Ring und Rohr zurückzuführen. Dadurch entsteht ein zusätzlicher Wärmeisolationszustand, der wegen der starken Einschnürung der Armstreifen im Rippenrings schon bei geringsten Luftspalten sehr wirksam ist. Je höher nun die Rauchgastemperatur gegenüber der Lufttemperatur im Rohr ist, je weiter sich also die Rippe gegenüber dem Rohr ausdehnt, desto brutaler werden die Schalte und desto wirksamer deren schädlicher Wärmeisolationseffekt. Bei negativem t_{R-t_w} ist der Effekt gerade umgekehrt, die gekühlte Rippe wird eng auf das sich ausdehnende Rauchrohr gepresst. In der Darstellung von Blatt 4 ist dieses Verhalten sehr eindrucksvoll in den abgeleiteten Kurven der unteren Fläche nach rechts hin zu erkennen. - Dazu sei auch die Fläche des geschweissten Rohres Nr. 2 etwas nach rechts verschoben, dürfte vor allem auf die Vergrößerung des Wärmeleitvermögens im Rippenrings mit steigender

^{*)} Das gleiche Ergebnis war bei früheren Versuchen (s. Bericht Nr. 427 des Techn. Prüfstandes Oppau) gefunden worden, bei denen innen mit Dampf geheizt wurde, während aussen Wasser vorströmte.

Temperatur zurückzuführen sein. Während die Temperaturabhängigkeit des legierten Stahles vom Hochdruckrohr weit geringer ist. Anders ausgedrückt bedeutet dies ein Anwachsen des Wärme Widerstandes im Rippenblech, dessen Anteil am Gesamt Widerstand $1/\lambda_a$ damit massgebender wird. Die anderen Teile, der Wärme Widerstand im Hochdruckrohr, sowie derjenige im Wärmeübergang vom Rauchgas an die Rippenoberfläche werden demgegenüber prozentual kleiner. Der geringere Anteil des Wärmeübergangswiderstandes am Gesamt widerstand ist in Blatt 4 sehr schön an der allmählichen Verflachung der $\lambda_a - W_R$ Rippen Kurven zu erkennen mit zunehmendem $t_R - t_w$. Im gestemmtten Rohr tritt hierzu noch der sehr bedeutende Wärmewiderstand der Spalte, der am Gesamt widerstand im Rippenrohr einen derart massgebenden Anteil bekommt, dass demgegenüber der äussere Wärmeübergangswiderstand vernachlässigbar klein ist. Ein Einfluss der Rauchgasströmung ist deshalb kaum noch zu erkennen und die $\lambda_a - W_R$ Rippen Kurve verläuft fast horizontal. Dieses Ergebnis zeigt auch ganz allgemein, dass jede strömungstechnische Verbesserung an Rippenrohren nur dann wirksam werden kann, wenn auch innerhalb des Rippenrohres eine gute Wärmeübertragung vorhanden ist.

Im praktischen Betrieb der Spitzenvorheizser ist im allgemeinen eine Rauchgasgeschwindigkeit W_R Rippen = 20 m/sec. Für ein Temperaturgefälle von $t_R - t_w = 100^\circ\text{C}$ ist für das geschweisste Rohr 2 hierfür aus Blatt 4 $\lambda_a = 10 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ abzulesen. Für das gestemmte Rohr 1 ist $\lambda_a = 7,6 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}}$ d.h. also, dass das gestemmte Rohr um 24% schlechter ist als das geschweisste Rohr.

Für die beiden hinteren Rohre 3 und 4 konnten keine λ_a -Werte errechnet werden, da die Wandtemperaturen nicht gemessen worden waren. Doch besteht eine Vergleichsmöglichkeit an den Wärmedurchgangszahlen K der Rohre die ja infolge der guten inneren Wärmeübergangszahlen α_1 von etwa 1000 bis 3000 annähernd gleich den Wärmeübergangszahlen α_a sind. In Blatt 5 sind die K -Werte der geschweissten Rohre 2 und 4 abhängig von W_R Rippen dargestellt, und zwar im oberen Bild bei hoher Rauchgastemperatur, im unteren Bild bei niedriger Rauchgastemperatur. Die gleiche Darstellung ist in

Blatt 6 für die gestemmen Rohre 1 und 3 gegeben. In allen vier Bildern ist festzustellen, dass die hinteren Rohre etwas höhere K-Werte liefern als die vorderen Rohre. Das Ergebnis war vorauszusehen, da ja die vorgeschalteten Rohre die Turbulenz der Rauchgasströmung erhöhen.

Schliesslich ist noch der Strömungswiderstand Δp der beiden Rippenrohrpaare in Blatt 7 in Abhängigkeit von der Rauchgasgeschwindigkeit in der Versuchsgasse w_{RG} dargestellt. Das obere Bild zeigt den Einfluss der Gasdichte, indem zwei Kurven mit den mittleren spezifischen Gewichten der Rauchgase $\gamma_R = 1,0$ (entsprechend etwa $t_R = 70^\circ\text{C}$) und $\gamma_R = 0,5 \text{ kg/m}^3$ entsprechend etwa $t_R = 400^\circ\text{C}$) eingezeichnet sind. Die Messungen lassen sich allgemein auf alle spezifischen Gewichte und damit auf alle Rauchgastemperaturen anwenden, wenn man den Quotienten $\Delta p / \gamma_R$ in Abhängigkeit von w_{RG} darstellt. Im unteren Bild von Blatt 7 ergibt diese Funktion nur eine Kurve für alle spezifischen Gewichte, aus der dann natürlich auch umgekehrt für jedes beliebige γ_R der Druckverlust zu errechnen ist.

6.) Messung der Oberflächentemperaturen auf den Rippen.

An der Versuchsgasse wurde beiderseits ein schmaler Schlitz angebracht, sodass ein Thermoelement eingeführt werden konnte. Dieses war so stabil gebaut, dass es von aussen fest an die Rippenoberfläche gepresst werden konnte. Der Schlitz wurde dann wieder durch ein Blech abgedichtet. Das Fe-Konst.-Thermoelement war auf ein rundes Kupferplättchen von 6 mm ϕ gelötet, kurz über der Lötstelle um 90° abgebogen und dann innerhalb eines Stahlrohres isoliert nach aussen geführt. Das Stahlrohr war mit einem Messstab versehen, aus dem die Messstelle zu ersehen war. Die seitliche Verschiebung war durch Markierungen am Schlitz festgelegt. Die genaue Lage des Messplättchens ergab sich nach Anlage an einen rechten Winkel.

Die Temperaturmessungen sind in Blatt 8 bildlich dargestellt. Die Messstellen auf der Rippe sind durch Punkte markiert, auf denen die Temperatur als senkrechte Linie aufgetragen ist. Zur Verkleinerung des Massstabes wurden die Temperaturen von 200°C ab aufgetragen. Die Messungen

Tabelle 2.

Messungen bei innerer Kühlung der Rippenrohre mit Luft.

Versuch	θ	t_1	t_2	Q	t_w	α_1	q_1	X	α_a	q_a	$t_2 - t_1$	θ	
Nr.	von	$\frac{kcal}{m^2h}$	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$	$\frac{kcal}{m^2h}$	$^{\circ}C$	$\frac{kcal}{m^2h}$	$\frac{kcal}{m^2h}$	$\frac{kcal}{m^2h}$	$\frac{kcal}{m^2h}$	$^{\circ}C$	$\frac{kcal}{m^2h}$	
Reihe Nr. 1.													
1	8.3.41	450,0	15,0	55,0	4100	56,5	1384	30870	5,55	6,067	1520	249,7	41
2		443,0	18,0	58,0	4160	57,3	1623	31310	5,63	6,06	1534	253,2	41
3	11.3.41	626,7	17,5	46,5	4365	44,2	2700	32850	5,62	5,88	1610	274,5	61
4		638,7	16,0	45,0	4450	42,4	2814	33490	5,83	6,08	1642	269,6	63
5		469,2	15,0	63,0	5410	58,5	2110	40700	5,31	5,61	1996	356,2	47
6		637,5	14,5	50,5	5675	46,2	3112	42710	5,44	5,65	2093	370,8	65
7		661,0	14,5	49,5	5350	46,5	2882	41790	5,32	5,53	2047	370,5	65
8		645,0	14,8	50,0	5450	47,5	2712	41010	5,12	5,33	2010	377,5	64
9		668,0	14,8	48,0	5315	43,6	3202	40000	5,07	5,25	1961	374,5	66
10	12.3.41	420,0	12,0	50,5	1862	31,0	1440	14010	6,82	7,55	687	91,0	41
11		424,5	12,5	51,0	1882	31,7	1425	14160	6,99	7,75	695	89,5	42
12		436,0	16,5	36,5	2090	35,2	1817	14790	8,18	9,05	782	85,5	43
13		667,0	16,0	30,0	2236	29,7	2520	16810	8,43	9,03	825	91,5	66
14		663,0	16,0	30,0	2230	29,4	2530	16790	8,37	8,22	8225	92,1	66
15		660,0	16,0	28,0	1900	29,3	1975	14300	7,20	7,77	702	90,5	66
16		676,0	16,0	28,5	2030	28,9	2293	15870	7,66	8,22	749	91,1	67
17	20.3.41	545,0	9,0	45,0	4715	44,7	2006	35500	4,38	4,58	1745	379,5	54
18		515,0	9,5	48,5	4570	44,0	2293	34400	4,43	4,62	1687	365,0	54
19		534,5	11,0	49,0	4875	46,1	2280	36700	4,73	4,95	1800	365,9	53
20		542,5	11,0	50,0	5070	46,9	2334	38170	4,82	5,03	1872	372,7	53
21		544,0	10,5	47,5	4890	45,4	2530	36340	4,72	4,91	1784	363,7	53
22		563,0	10,0	45,5	7660	42,6	3563	35100	4,55	4,67	1720	368,4	53
23	29.3.41	464,7	10,5	20,5	1115	18,6	2708	8590	7,91	8,41	411	48,9	41
24		466,6	8,5	20,2	1310	19,5	1929	9895	8,68	9,56	483	50,5	41
25		466,6	8,0	16,5	952	15,9	1962	7160	6,47	6,94	351	50,6	41
26	31.3.41	476,9	5,5	45,5	4598	39,9	2398	34605	4,40	4,57	1696	371,1	41
27		478,8	6,5	45,2	4447	39,9	2359	33470	4,23	4,38	1640	374,1	41
28		472,8	8,5	48,0	4500	42,9	2511	33870	4,29	4,46	1660	372,1	41
29		492,0	7,5	46,0	4565	40,2	2555	34580	4,31	4,46	1685	377,8	41
30		476,3	7,5	48,0	4649	41,6	2526	34990	4,41	4,57	1714	375,4	41
31		470,7	7,0	50,0	4879	44,7	2267	36710	4,61	4,81	1800	374,5	41
32	1.4.41	478,0	7,0	16,2	1065	15,5	2150	8020	6,61	7,86	595	55,7	41
33		467,0	8,0	15,1	795	15,5	3050	5980	5,02	5,19	293	56,5	41
34		467,0	7,5	17,6	1150	16,7	2050	8510	7,32	7,89	417	52,8	41
35		466,0	12,0	24,0	1345	23,1	2220	10120	8,82	9,83	495	50,4	41

8320

K	G_a	q_a	$t_a - t_w$	G	t_1	t_2	Q	t_w	Δt_1	q_1	K	G_a	K
$\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}$	$\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}$	$\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}}$	$^\circ\text{C}$	$\frac{\text{kg}}{\text{h}}$	$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}$	$\frac{\text{kcal}}{\text{h}}$	$^\circ\text{C}$	$\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}$	$\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}}$	$\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}$	$\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}$	$\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}$
R o h r N r. 2.													
5,55	6,067	1520	249,7	417,8	15,0	76,0	6130	87,5	1105	46380	7,88	9,40	2
5,63	6,06	1534	253,2	417,0	18,0	79,8	6220	89,9	1148	47080	7,96	9,45	2
5,62	5,88	1610	274,5	616,5	17,5	68,0	7475	74,2	1800	56590	9,08	10,70	2
5,83	6,08	1642	269,6	632,0	16,0	67,0	7737	72,4	1898	58580	9,58	10,81	2
5,31	5,61	1996	356,2	474,2	15,0	96,0	9280	97,0	1681	69790	8,61	9,74	3
5,44	5,65	2093	370,8	636,8	14,5	82,0	10650	82,8	2338	80610	9,68	10,68	3
5,32	5,53	2047	370,5	658,5	14,5	81,8	10650	83,5	2281	80610	9,68	10,70	3
5,12	5,33	2010	377,5	645,2	14,8	80,0	10100	85,1	2029	76450	8,96	9,96	3
5,07	5,25	1961	374,5	669,2	14,8	72,5	9265	77,4	2078	70130	8,29	9,11	3
6,82	7,55	607	91,0	419,0	12,0	36,0	2410	36,7	1437	18250	8,24	9,47	
6,99	7,75	695	89,5	425,3	12,5	36,5	2450	36,8	1510	18560	8,52	9,75	
8,18	9,05	782	85,5	432,5	16,5	42,5	2700	41,4	1713	20402	9,89	11,36	
8,43	9,03	825	91,5	669,0	16,0	34,0	2890	33,1	2710	21900	10,10	11,02	
8,37	8,22	8225	92,1	669,0	16,0	34,5	2950	35,0	2290	22320	10,28	11,44	
7,20	7,77	702	90,5	663,5	16,0	32,0	2530	31,6	2525	19180	8,88	9,65	
7,66	8,22	749	91,1	678,5	16,0	32,0	2590	32,2	2410	19620	9,04	9,89	
4,58	4,58	1743	379,5	523,0	9,5	81,0	8975	86,8	1635	67980	7,96	8,92	3
4,43	4,62	1687	365,0	507,5	9,5	84,0	9080	87,4	1695	68800	8,39	9,47	3
4,73	4,95	1800	365,9	530,0	11,5	86,0	9475	87,0	1877	71750	8,78	9,85	3
4,82	5,03	1872	372,7	535,0	11,5	90,9	10100	94,0	1727	76470	9,18	10,39	3
4,72	4,91	1784	363,7	544,0	11,0	78,0	8750	81,4	1795	66200	9,18	9,82	2
4,55	4,67	1720	368,4	550,0	10,5	75,5	8580	77,8	1867	64950	7,81	8,64	2
7,91	8,41	411	48,9	453,5	10,5	23,5	1415	22,0	2071	10710	9,38	10,43	
8,68	9,56	483	50,5	454,5	8,5	24,0	1686	23,2	1832	12760	10,51	12,08	
6,47	6,94	351	50,6	458,1	8,0	18,0	1100	17,3	1923	8327	6,89	7,49	
4,40	4,57	1696	371,1	468,8	5,5	73,2	7676	17,1	1530	57740	6,80	7,66	2
4,23	4,38	1640	374,1	473,5	6,0	71,5	6413	76,4	1289	48520	5,74	6,38	2
4,29	4,46	1660	372,1	470,0	8,0	75,5	7625	80,2	1501	57710	6,85	7,64	2
4,31	4,46	1685	377,8	482,5	7,5	66,0	6780	67,8	1653	51300	5,96	6,48	2
4,41	4,57	1714	375,4	474,5	7,5	85,0	8612	87,0	1561	65190	7,76	8,74	2
4,61	4,81	1800	374,5	468,5	7,0	89,0	9105	94,5	1514	69670	8,32	9,51	3
6,61	7,86	393	55,7	466,0	7,0	12,0	1250	18,4	1561	9320	7,05	7,83	
5,02	5,19	295	56,5	466,0	8,0	16,5	950	15,6	2130	7200	5,52	5,86	
7,32	7,89	417	52,8	468,0	7,5	20,0	1427	18,9	2175	10810	8,59	9,43	
8,82	9,83	495	50,4	459,0	12,0	26,8	1653	26,0	1875	12370	10,11	11,52	

8320

richt Nr. 463 vom 14.7.1941.

λ	α_1	κ	α_2	α_3	$\alpha_4 - \alpha_5$	α	α_1	α_2	α	α_1	κ
$\frac{\text{kmol}}{\text{m}^3}$	$\frac{\text{kmol}}{\text{m}^3}$	$\frac{\text{kmol}}{\text{m}^3}$	$\frac{\text{kmol}}{\text{m}^3}$	$\frac{\text{kmol}}{\text{m}^3}$	$^\circ$	$^\circ/\text{h}$	$^\circ$	$^\circ$	$\frac{\text{kmol}}{\text{h}}$	$\frac{\text{kmol}}{\text{h}}$	$\frac{\text{kmol}}{\text{m}^3}$
Nr. 2.						Nr. 3.					
05	46380	7,08	9,40	2054	218,5						
48	47080	7,96	9,45	2085	220,6						
00	56590	9,08	10,70	2504	244,5						
98	58580	9,58	10,81	2591	259,7						
81	69790	8,61	9,74	3098	317,5						
98	80610	9,68	10,68	3549	354,5						
81	80610	9,68	10,70	3569	355,5						
29	76450	8,96	9,96	3384	359,9						
78	70130	8,29	9,11	3105	340,6						
57	18250	8,24	9,47	808	85,5						
10	18560	8,52	9,75	822	84,2						
13	20402	9,89	11,36	904	79,6						
10	21900	10,10	11,02	968	87,9						
90	22320	10,28	11,44	989	86,5						
25	19180	8,88	9,65	848	87,9						
10	19620	9,04	9,89	868	87,9						
95	67980	7,96	8,92	3010	357,2	516,5	10,0	48	4710	35450	4,85
95	68800	8,99	9,47	3045	321,7	498,0	10,0	51	4900	36890	5,20
77	71750	8,78	9,85	3170	325,0	492,2	11,5	54	5080	37790	5,28
27	76470	9,18	10,59	3588	325,5	540,0	11,5	52	5250	39510	5,58
95	66200	9,10	9,02	2930	325,6	548,2	11,0	47,5	4801	150	5,15
67	64950	7,81	8,64	2875	333,2	558,0	10,5	46,0	3903	1400	4,17
71	10710	9,38	10,43	474	45,5	451,0	10,5	21,5	1190	8955	9,17
32	12760	10,51	12,08	565	46,8	455,0	8,5	21,5	1419	10670	10,06
23	8327	6,89	7,49	369	49,2	454,7	8,0	16,0	875	6572	7,75
90	57740	6,80	7,66	2556	333,9	470,4	5,6	47,5	4738	35670	5,14
99	48520	5,74	6,58	2149	336,6	471,2	6,3	47,0	4612	34750	5,04
81	57710	6,85	7,64	2554	334,8	464,0	8,3	49,8	4628	34830	5,05
93	51300	5,96	6,48	2272	380,2	479,0	7,6	45,0	4504	32400	4,87
51	65190	7,76	8,74	2886	350,0	470,2	7,6	52,0	6146	46270	6,42
14	69670	8,32	9,51	3084	324,5	464,1	7,1	55,0	5342	40220	4,24
11	9520	7,05	7,85	412	82,6	451,0	7,5	17,0	1028	8375	7,00
90	7200	5,52	5,86	318	54,4	465,0	8,5	15,2	744	5610	4,99
75	10810	8,59	9,45	478	50,7	465,0	8,8	19,0	1225	9225	8,68
75	12570	10,11	11,52	548	47,5	456,0	12,5	25,2	1588	10450	9,85

q_1	K	q_2	G	t_1	t_2	Q	Q_1	K	q_2	t_2
$\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$	$\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$	$\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$	$\frac{\text{kg}}{\text{h}}$	$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}$	$\frac{\text{kcal}}{\text{h}}$	$\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$	$\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$	$\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$	$^\circ\text{C}$
Ch R Nr. 3.				Ch R Nr. 4.						
										306,0
										310,5
										318,5
										312,0
										414,5
										417,0
										417,0
										423,0
										418,0
										129
										121,0
										121,0
										121,0
										121,5
										119,5
										120,0
33450	4,85	1789	521,0	11,0	79,0	8500	64500	8,53	2939	424,0
36890	5,20	1861	501,7	10,0	85,0	8788	66470	8,88	3039	409,0
37790	5,28	1906	526,0	12,0	87,0	9470	71620	9,48	3273	410,0
39510	5,38	1993	529,5	12,0	89,0	9785	74000	9,62	3384	419,5
150	5,15	1823	537,5	11,0	75,0	7995	60450	8,09	2763	407,0
1400	4,17	1482	549,5	10,5	70,0	7848	59400	7,90	2714	411,0
8955	9,17	452	464,8	10,5	23,5	1450	10970	10,59	501	67,0
10670	10,06	558	446,5	8,5	23,5	1606	12160	15,22	555	70,0
6572	7,75	332	452,0	8,0	16,5	922	6970	7,54	318	66,5
35670	5,14	1799	468,2	5,9	70,0	7220	54600	7,38	2497	411,0
34730	5,04	1752	467,5	6,5	68,5	6974	52750	7,16	2411	413,0
34830	5,03	1757	462,2	8,5	73,2	7200	54450	7,38	2490	415,0
32400	4,87	1655	472,7	8,0	57,0	5561	72090	5,84	1924	418,0
46270	6,42	2334	469,1	8,0	82,5	8422	63700	7,58	2912	417,0
40220	4,24	2030	464,9	7,5	91,0	9382	71000	9,20	3246	419,0
8575	7,00	391	463,0	7,5	17,8	1145	8680	7,15	397	71,0
5610	4,99	283	455,0	8,5	16,0	818	6200	5,25	311	70,0
9225	8,68	466	461,0	8,0	20,0	1327	18050	8,63	459	69,5
10450	9,89	528	452,0	12,5	27,5	1628	12350	10,78	563	73,5

Q_1	K	q_0	t_2	ΔP	R	V_{Rg}	W_{Rg}	V_{Rg} Rippen Rohr 1+2	V_{Rg} Rippen Rohr 3+4
$\frac{kcal}{m^2 \cdot h}$	$\frac{kcal}{m^2 \cdot ^\circ C}$	$\frac{kcal}{m^2 \cdot h}$	$^\circ C$	$\frac{mm}{h}$	kg/m^3	m^3/h	$m/sec.$	$m/sec.$	$m/sec.$
R u g a s s e									
			306,0	11	0,508	6960	5,45	18,69	18,10
			310,5	11	0,500	7015	5,49	18,85	18,23
			318,5	18	0,572	8880	6,95	23,84	23,09
			312,0	19	0,575	9019	7,06	24,21	23,45
			414,5	17	0,498	9217	7,21	24,73	23,97
			417,0	17	0,492	9325	7,30	25,03	24,26
			417,0	17	0,490	9341	7,31	25,09	24,30
			425,0	9	0,484	6894	5,39	18,5	17,92
			418 0	4	0,491	6513	5,10	17,475	16,93
			129	10	0,862	5311	4,16	14,25	13,81
			121,0	6	0,861	5321	4,17	14,29	13,84
			121,0	25	0,868	9219	6,43	22,06	21,37
			121,0	25	0,847	8312	6,51	22,31	21,61
			121,5	34	0,855	9660	5,56	23,94	23,11
			119,5	10	0,864	5280	4,13	14,17	13,73
			120,0	10	0,866	5285	4,14	14,20	13,75
64300	8,33	2939	424,0	7	0,482	6082	4,76	16,34	15,82
66470	8,88	3039	409,0	10	0,496	7211	5,44	19,56	18,75
71620	9,48	3275	410,0	20	0,489	10150	7,96	27,30	26,44
74000	9,62	3384	419,5	21	0,482	10450	8,18	28,04	27,16
60450	8,09	2763	407,0	5	0,499	5119	4,01	13,74	13,31
59400	7,90	2714	411,0	5	0,495	5166	4,04	13,87	13,43
10970	10,39	501	67,0	26	1,005	7835	6,13	21,05	20,37
12160	15,22	555	70,0	40	0,998	9695	7,59	26,02	25,20
6970	7,54	318	66,5	1	1,005	4827	3,78	12,96	12,55
54600	7,38	2497	411,0	1	0,502	2610	2,04	7,00	6,784
52750	7,16	2411	413,0	1	0,511	2499	1,96	6,70	6,492
54450	7,38	2490	415,0	2	0,510	3000	2,35	8,05	7,795
72090	5,84	1924	418,0	1	0,522	1722	1,35	4,619	4,475
63700	7,58	2912	417,0	6	0,502	5830	4,56	15,66	15,17
71000	9,20	3246	419,0	19	0,498	9718	7,60	26,09	25,27
8680	7,15	397	71,0	4	0,992	3019	2,36	8,1	7,845
6200	5,25	311	70,0	1	0,994	1445	1,13	3,876	3,755
18050	8,63	459	69,5	15	0,996	5880	4,60	15,79	15,28
12330	10,78	565	73,5	40	0,985	9765	7,64	26,21	25,39

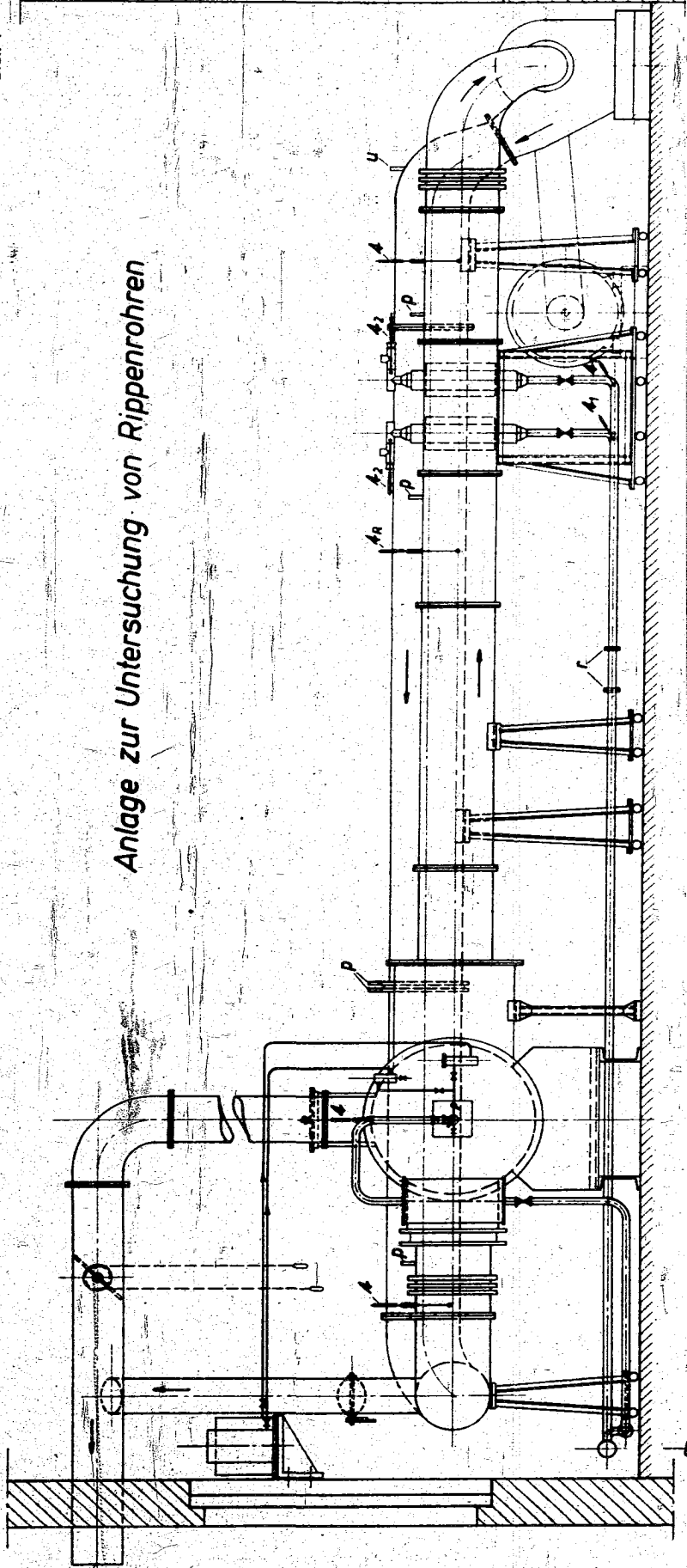
Tabelle 3.

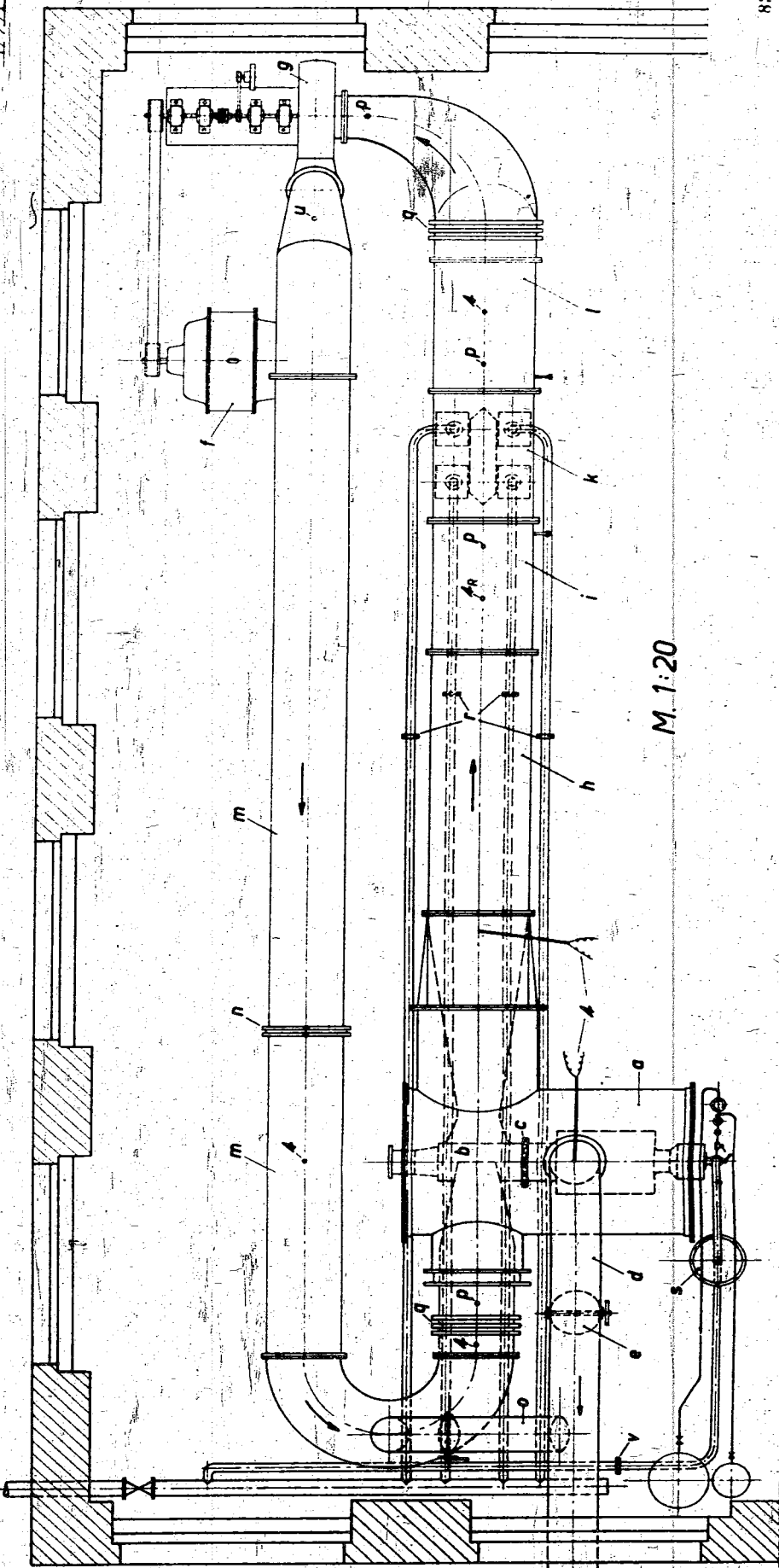
Messungen bei innerer Reibung der Röhren

Versuch Nr.	$\dot{Q}$	$\dot{Q}$	t_d	t_w	α_1	α_2	α_3	α_4	α_5	α_6	$\dot{Q}$	$\dot{Q}$	t_d	t_w	α_1
Dim.	kg/h	kcal/h	°C	°C	kcal/m ² ·C	kcal/m ² ·h	kcal/m ² ·C	kcal/m ² ·h	°C	kg/h	kcal/h	°C	°C	kcal/m ² ·C	
Reihe Nr. 1															
1	4,38	2367	97,8	95,7	8500	18880	17,25	874	50,7	4,16	2249	98,1	96,0	8100	
2	4,47	1968	97,8	95,9	8800	16800	14,40	725	50,4	3,76	2051	98,8	97,4	10500	
3	1,46	789	97,6	97,0	9900	5950	5,94	292	49,0	1,61	869	98,8	98,5	15300	
4	2,42	1906	97,3	96,5	12900	9850	9,33	482	51,5	2,57	1387	98,3	97,5	15300	
5	2,40	1296	97,3	96,5	12200	9700	9,25	470	51,5	2,60	1404	98,3	97,5	15300	
6	3,12	1686	97,3	96,1	10600	12700	12,15	622	51,1	3,34	1907	100,0	98,8	12000	
7	3,97	2141	98,5	96,5	9100	18220	16,65	791	47,5	4,25	2238	98,5	96,5	9500	
8	3,94	2126	98,5	96,5	9100	18180	15,25	785	48,5	4,24	2235	98,5	96,5	9500	
Reihe Nr. 2															
1	4,03	2178	98,2	96,2	8200	16420	17,00	827	48,7	4,83	2609	97,4	95,3	9600	
2	3,90	2203	98,8	97,5	11100	16650	17,25	839	48,5	4,08	2207	97,3	95,8	11100	
3	1,37	741	97,8	97,5	11200	5600	6,65	282	42,3	1,86	1004	97,2	96,8	18900	
4	2,44	1316	98,3	97,5	12400	9910	10,62	500	47,0	2,84	1537	98,3	97,4	12900	
5	2,44	1313	98,8	98,0	12400	9900	10,40	500	48,0	2,92	1574	98,3	97,5	14900	
6	3,41	1838	98,8	97,6	11600	13880	14,30	698	48,8	4,06	2194	98,3	97,1	13800	

t_1	t_2	c_1	c_2	α_1	α_2	$t_1 - t_2$	t_m	f_m	v_{kg}	i_{kg}	Rippen rohr 1+2	Rippen rohr 3+4
°C	°C	$\frac{kcal}{m^2 \cdot h \cdot ^\circ C}$	$\frac{kcal}{m^2 \cdot h}$	$\frac{kcal}{m^2 \cdot h \cdot ^\circ C}$	$\frac{kcal}{m^2 \cdot h}$	°C	°C	kg/m^3	m^3/h	$m/sec.$	$m/sec.$	$m/sec.$
R o h r Nr. 2.												
98,1	96,0	8100	17000	14,79	754	51,0	45,0	1,08	8830	6,92	23,75	-
98,0	97,4	10900	15310	13,12	681	51,9	45,5	1,08	8830	6,92	23,75	-
98,8	98,5	13100	6550	5,78	292	50,5	48,0	1,06	1475	1,15	3,96	-
98,5	97,5	13100	10480	9,22	465	52,5	45,0	1,08	3120	2,44	8,38	-
98,5	97,5	13200	10600	8,95	471	52,5	45,0	1,08	3120	2,44	8,38	-
100,0	98,8	12000	14390	11,90	639	53,8	45,0	1,08	6270	4,91	16,80	-
98,5	96,5	9300	18580	15,75	750	47,5	49,0	1,06	9000	7,05	24,80	-
98,5	96,5	9300	18520	14,50	749	48,5	48,0	1,06	9000	7,05	24,10	-
R o h r Nr. 4.												
97,4	95,3	9400	19700	18,85	905	47,8	45,0	1,08	8830	6,92	-	23,00
97,3	95,8	11100	16680	16,25	765	47,0	45,5	1,08	8830	6,92	-	23,00
97,2	96,8	10900	7550	8,30	348	41,8	48,0	1,06	1475	1,15	-	3,84
98,3	97,4	12900	11600	11,35	532	46,9	45,0	1,08	3120	2,44	-	8,10
98,5	97,5	14900	11900	11,45	545	47,5	45,0	1,08	3120	2,44	-	8,10
98,5	97,1	13800	16550	15,70	760	48,3	45,0	1,08	6270	4,91	-	16,30

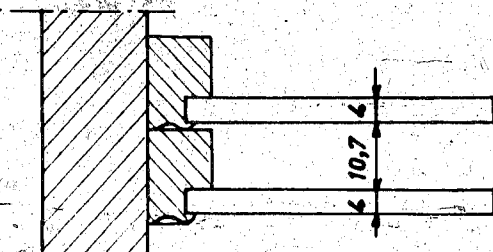
Anlage zur Untersuchung von Rippenrohren





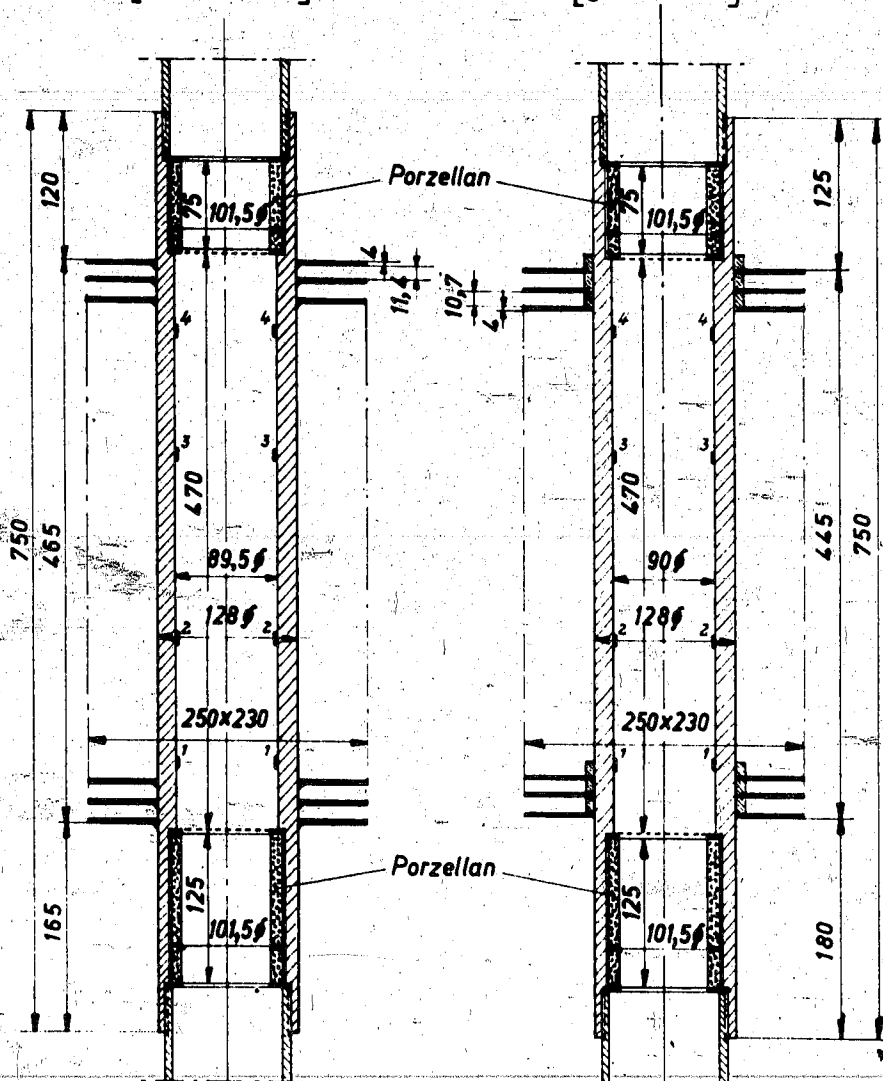
M. 1:20

Abmessungen der
Versuchsrohre 1 u. 2



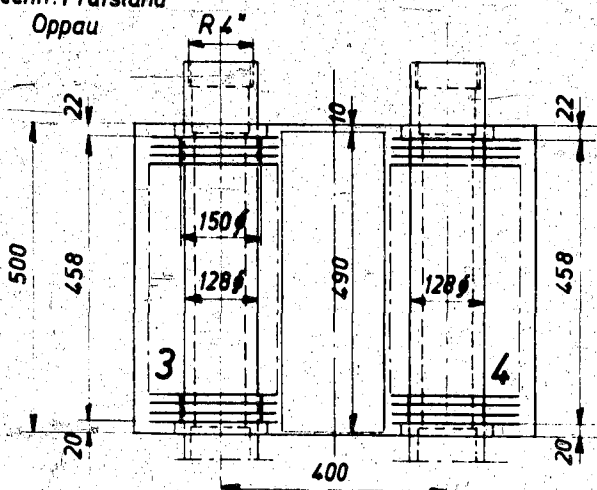
Versuchsrohr 2
[geschweißt]

Versuchsrohr 1
[gestemmt]

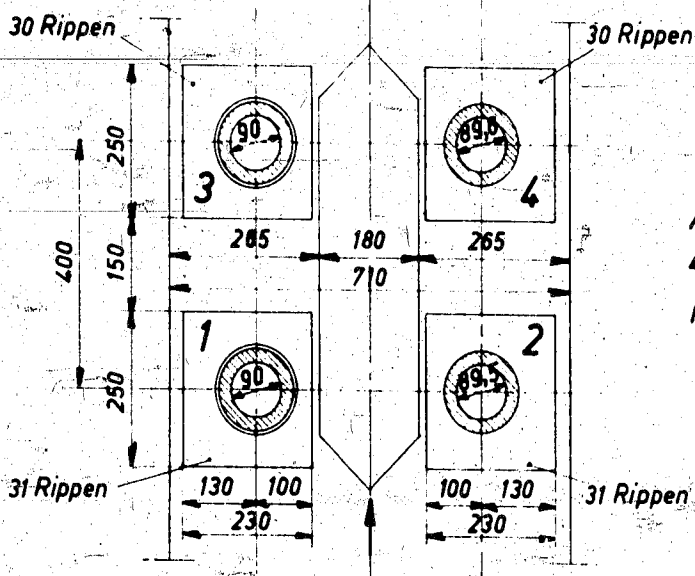


1-4 Thermoelemente

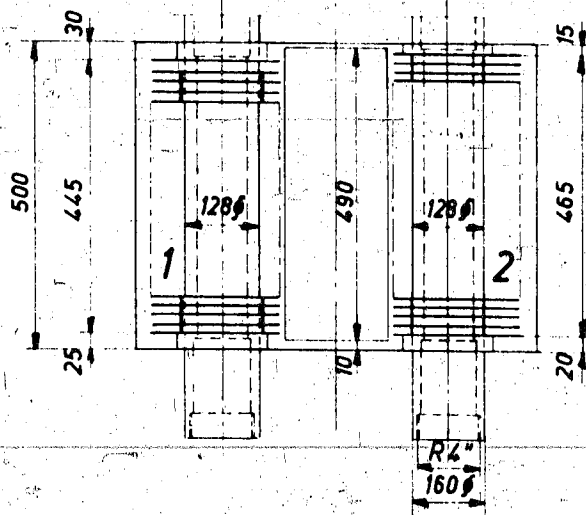
8329



Rohr 1 u. 3 haben
gestemte Rippen,
Rohr 2 u. 4 haben
geschweißte Rippen.

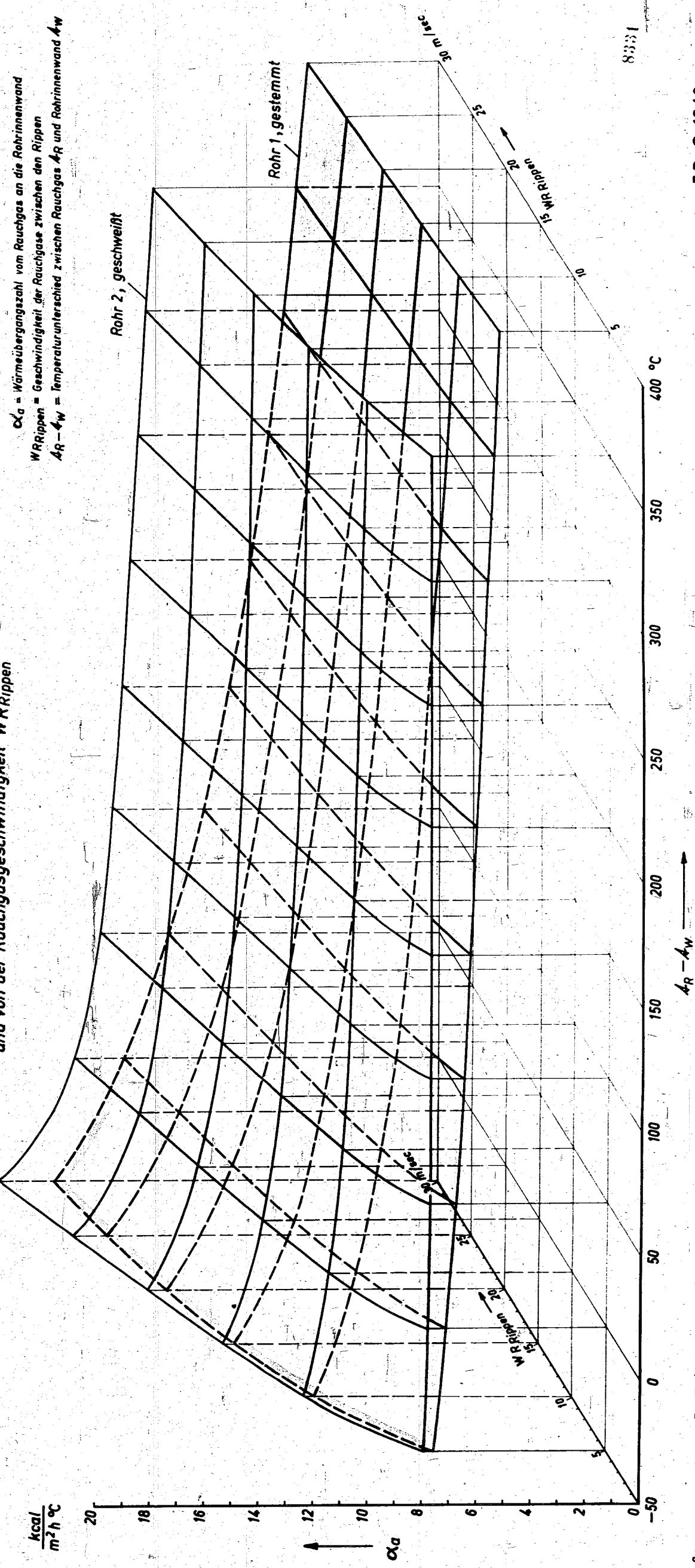


Anordnung der
4 Rippenrohre
in der Gasse



8330

Darstellung der äußeren Wärmeübergangszahlen α_a
in Abhängigkeit vom Temperaturgefälle $A_R - A_W$
und von der Rauchgasgeschwindigkeit WR_{Rippen}



8331

Wärmedurchgangszahlen K der geschweißten Röhre 2 u. 4

$\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}$

10

8

6

4

2

0

$\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}$

10

8

6

4

2

0

$\Delta R = 435^\circ\text{C}$

• Rohr 2	Versuch	Nr 17-22	G = 531 kg/h
•	"	" 26-31	" 473 "
• Rohr 4	"	" 17-22	" 528 "
•	"	" 26-31	" 462 "

WRippen →

m/sec

Rohr 4

Rohr 2

Rohr 4

Rohr 2

$\Delta R = 70^\circ\text{C}$

• Rohr 2	Versuch	Nr 23-25	G = 454 kg/h
•	"	" 32-35	" 448 "
• Rohr 4	"	" 23-25	" 455 "
•	"	" 32-35	" 455 "

WRippen →

m/sec

8332

Wärmedurchgangszahlen K der
gestemten Rohre 1 u. 3

$\frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2 \text{h}^\circ \text{C}}$

$\Delta R = 115^\circ \text{C}$

10

• Rohr 1 Versuch Nr 17-22 $G = 541 \text{ kg/h}$

• " " 25-31 " $G = 470$ "

+ Rohr 3 " " 17-22 " $G = 525$ "

x " " 25-31 " $G = 470$ "

8

6

K

2

0

10 WRRippen

20

m/sec

30

Rohr 3

Rohr 1

$\frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2 \text{h}^\circ \text{C}}$

10

8

6

K

4

2

0

$\Delta R = 70^\circ \text{C}$

• Rohr 1 Versuch Nr 23-25 $G = 485 \text{ kg/h}$

• " " 32-35 " $G = 470$ "

+ Rohr 3 " " 23-25 " $G = 483$ "

x " " 32-35 " $G = 485$ "

Rohr 3

Rohr 1

10 WRRippen

20

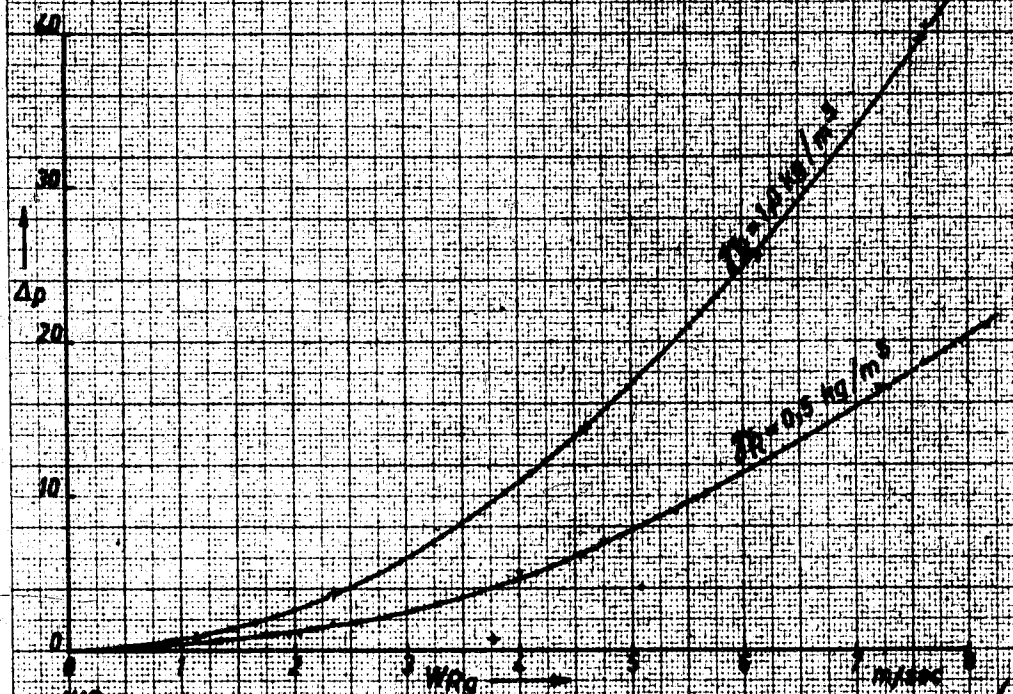
m/sec

30

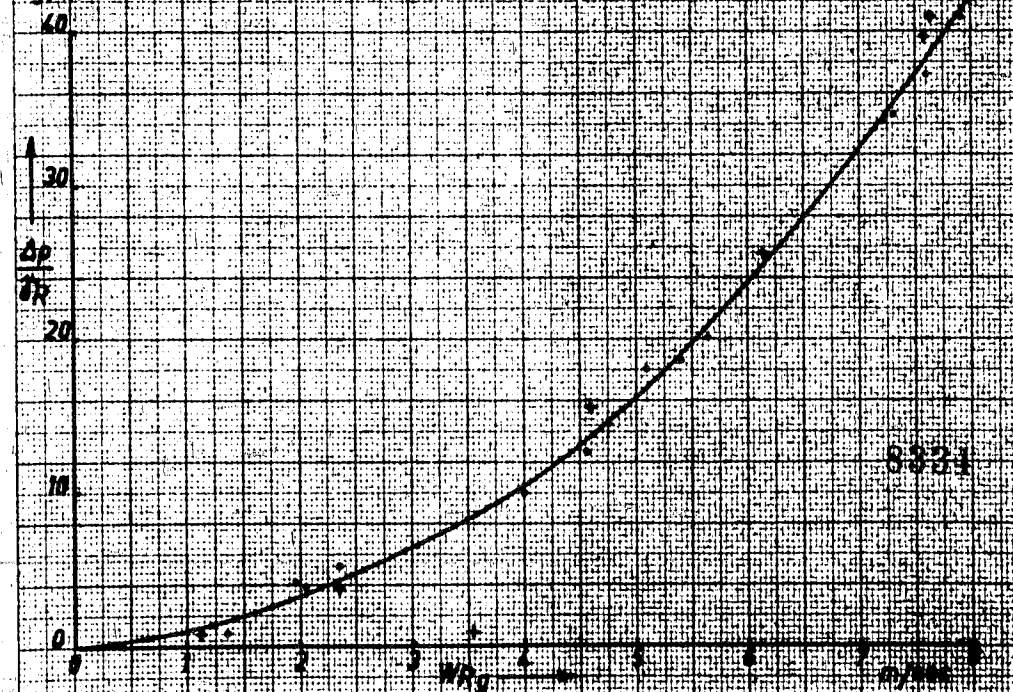
Druckverlust der 4 Rippenrohre

- $\lambda_R \approx 0,5$ Versuch Nr 5-8, 17-21, 28-31
- $\lambda_R \approx 1,0$ " " 22-26, 32-36

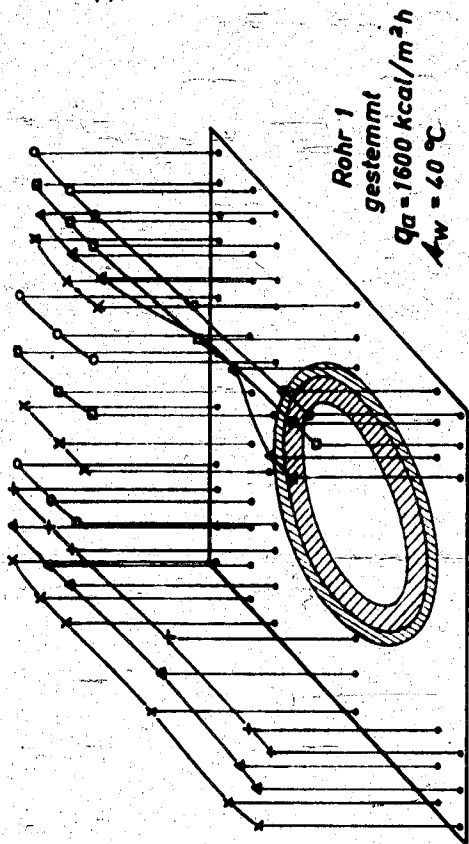
mm WS



mm WS
kg/m²

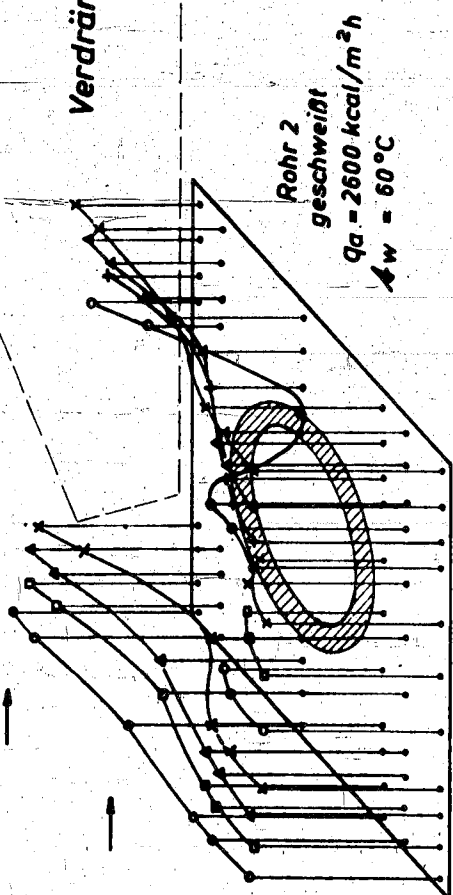


8324



Gasstrom
 $A_R \approx 330^\circ\text{C}$
WR Rippen $\approx 19 \text{ m/sec}$

Verdränger



8335