

I. J. FARMER, DUSCHKE AKTIENGESELLSCHAFT WU-10514 B./WID.10.
 Technischer Prüfstand Oppau.

Kurzbericht Nr. 9.

Bestimmung der äußeren Wärmeübergangszahl eines
 Hochdruckrohres mit aufgeschobenen Rippen.

Abgeschlossen am 17. Juni 1941.

Die vorliegende Ausfertigung¹² enthält
 4 Blätter und 1 Tabelle.

Sachbearbeiter: Dr.-Ing. Gg. Kling.

Verteiler:

- 1.) Herrn Dir. Dr. Ing. Lappe
- 2.) Herrn Obering. Dr.-Ing. Schierenbeck
- 3.) Herrn Obering. Dipl. Ing. Berger
- 4.) " " " " " "
- 5.) Herrn Obering. Dr.-Ing. Raithel
- 6.) Herrn Obering. Dr.-Ing. Schmidt
- 7.) Herrn Dr.-Ing. Stauffer
- 8.) Herrn Dr.-Ing. Kautz
- 9.) Herrn Dipl. Ing. Schappert
- 10.) Herrn Dr.-Ing. Kling
- 11.) Technischer Prüfstand Oppau.

Benützung der äußeren Anlegebohrung eines Hochdruckrohres mit aufgeschobenen Rippen.

1.) Einleitung.

In den Spitzenvorwärmer der Hydrier- bzw. Dehydrieranlagen werden Hochdruckrohre mit aufgeschweißten Rippen verwendet. Verschiedene Nachteile der Schweißung, z. B. hohe Herstellungskosten, verminderte Festigkeit des hochwertigen Rohrmaterials in der Schweißnaht, gaben Veranlassung dazu, andere Arten der Rippenaufbringung zu suchen.

2.) Versuchsrohr.

Das vorliegende Versuchsrohr von 89/125 mm ϕ aus S2-Material besitzt aufgeschobene Rippenbleche. Die einzelnen Bleche von 240 mm" und 4 mm Stärke werden gelocht, aufgebördelt und der Bördelrand in der Form der Rundung des nächstanliegenden Bleches abgedreht. Dann werden die Bleche durch Einsügen geschlitzt, sodass sich die umgebördelten Bleche federnd auf das geschälte Hochdruckrohr aufpressen. Das Versuchsrohr ist 750 mm lang und ist auf 467 mm Länge mit 30 Rippen versehen (siehe Blatt 1). Die Rohrenden sind innen auf 101,5 mm ϕ ausgedreht zur Aufnahme eines Siebes und eines Porzellanringes 80/100 mm ϕ . Das Rohrinne zwischen beiden Sieben ist mit Stahlkugeln von 11,9 mm ϕ gefüllt.

3.) Versuchsanordnung.

Die Messungen wurden in der Versuchsanlage durchgeführt, die speziell für die betriebsmäßige Untersuchung an Rippenrohren im Technischen Prüfstand erstellt wurde (näheres siehe

liegt bei einer Testrohrlänge von 40 cm. Die normale
 Rinnenbreite der Anlage von 710 mm wurde durch seitliche
 Bleche auf 200 mm verengt, sodass der Abstand der Rippe von
 der Wand 20 mm betrug. Der Aufbau des Versuchsrohres ist in
 Blatt 2 aufgezeichnet. Die Gasse wird in der Pfeilrichtung,
 von links Verbrennungsgasen durchströmt, deren Temperatur
 durch die Umluft in einem Verbrennungsofen und deren Ge-
 schwindigkeit durch die Drehzahl eines Umluftgebläses regu-
 liert werden kann. Innen wird das Rohr von kalter Luft durch-
 strömt. An der Rohrinnenwand waren einige Thermoelemente
 auf Kupferplättchen durch diagonal verstreute Stahldrähte
 angedrückt, die eine Messung der mittleren Rohrinnen-
 temperatur ermöglichten. Gemessen wurden weiterhin die die
 Gasse durchströmende Gasmenge sowie deren Druck und Tempera-
 tur vor dem Rippenrohr. Luftseitig wurden die Menge sowie
 Eintritts- und Austrittstemperatur gemessen. Durch die Ringe-
 füllung wurden innerhalb des Rohres Wärmeübergangszahlen von
 etwa $2000 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \text{h}^\circ \text{C}}$ erzielt.

2.) Versuchsdurchführung und Auswertung.

Es wurden mehrere Versuche mit verschiedenen Rauchgas-
 temperaturen durchgeführt, wobei jeweils die Rauchgas-
 geschwindigkeit in einem weiten Bereich verändert wurde.
 Die Messergebnisse sind in der Tabelle 1 zusammengestellt.
 Darin bedeuten:

I. Luftseite:

- G = Gewicht der das Rohr durchströmenden Luft $\frac{\text{kg}}{\text{h}}$
- t_1 = Eintrittstemperatur) $^\circ \text{C}$
- t_2 = Austrittstemperatur) der Luft $^\circ \text{C}$
- Q = Wärmeaufnahme der Luft: $\frac{\text{kcal}}{\text{h}}$
- $Q = G \cdot c_p \cdot (t_2 - t_1)$
- t_w = mittlere Temperatur der Rohrinnenwand $^\circ \text{C}$

q_1 = Heizflächenbelastung, bezogen auf die innere Rohroberfläche:

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

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

F_1 = innere Rohroberfläche = 0,1313

$$\text{m}^2$$

II. Rauchgasseite.

V_R = ungewalztes Rauchgasvolumen im Zustande vor dem Rippenrohr

$$\text{m}^3/\text{h}$$

ρ_R = spezifisches Gewicht der Rauchgase im Zustande vor dem Rippenrohr

$$\text{kg}/\text{m}^3$$

t_R = Temperatur der Rauchgase vor dem Rippenrohr

$$\text{°C}$$

P_R = Druck der Rauchgase vor dem Rippenrohr

$$\text{mm. wS.}$$

w_R = Rippen-Geschwindigkeit der Rauchgase im engsten Querschnitt zwischen den Rippen:

$$\text{m}/\text{sec.}$$

$$w_R \text{ Rippen} = \frac{V_R}{F_a}$$

α_a = Wärmeübergangszahl von der Rohrwand an die Rauchgase:

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

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

q_a = Heizflächenbelastung, bezogen auf die äußere Rohroberfläche:

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

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

f_a = freier Störungsquerschnitt zwischen den Rippen = 0,0633

$$\text{m}^2$$

F_a = äußere Rohroberfläche = 2,895

$$\text{m}^2$$

5.) Nebenergebnisse.

Die Ergebnisse der Messungen sind im Blatt 3 graphisch dargestellt, wobei die äußere Wärmeübergangszahl α_a abhängig von w_R Rippen aufgetragen ist. Es zeigt sich dabei, daß die Wärmeübergangszahlen bei verschiedenen hohen Gastemperaturen

praktisch dieselben sind. Dies kann als Beweis dafür angesehen werden, daß der federnde Bördelrand alle Temperaturschwankungen und damit verschiedene Ausdehnungen aufnimmt, wobei stets eine gleichbleibende Anpressung gegeben ist. Andererseits ist die Schädlichkeit des Luftspaltes trotz der breiten Auflagefläche des Bördelrandes beträchtlich. Er bewirkt die außerordentlich niederen Wärmeübergangszahlen von nur etwa 4 bis 6 $\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}}$, während bei geschweißten Rippen gleicher Abmessungen etwa 8 bis 12 $\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}}$ zu erwarten wäre.

G. Klein

Tabelle 1.

I. Luftseite

II. Rauchgasseite.

| Versuch Nr. | G | t ₁ | t ₂ | Q | t _w | q ₁ | M _R | 1/δ _R | t _R | P _R | h Rippen | λ _a | q _m |
|-------------|-------|----------------|----------------|--------|----------------|-----------------------|-------------------|-------------------|----------------|----------------|----------|-------------------------|-----------------------|
| Dim. | kg/h | °C | °C | kcal/h | °C | kcal/m ² h | m ³ /h | kg/m ³ | °C | mm WS | m/sec. | kcal/m ² h°C | kcal/m ² h |
| 15.4.41 | 466,7 | 20,2 | 54,0 | 3786 | 51,60 | 28830 | 5802 | 0,5938 | 303 | 10020 | 25,49 | 5,200 | 1308 |
| | 415,7 | 22,0 | 60,0 | 3775 | 58,3 | 28760 | 6100 | 0,5820 | 320 | 10020 | 26,79 | 4,985 | 1304 |
| | 465,2 | 25,1 | 63,0 | 4231 | 59,1 | 32240 | 8341 | 0,5682 | 321 | 10026 | 36,64 | 5,585 | 1462 |
| | 454,3 | 25,1 | 63,0 | 4132 | 61,2 | 31470 | 8240 | 0,5739 | 316 | 10026 | 36,20 | 5,60 | 1427 |
| | 448,1 | 26,5 | 62,0 | 3819 | 59,6 | 29070 | 3835 | 0,5777 | 309 | 10030 | 16,84 | 5,290 | 1319 |
| | 448,9 | 26,0 | 62,5 | 3930 | 58,9 | 29950 | 3672 | 0,6067 | 304,5 | 10028 | 16,30 | 5,530 | 1357 |
| | 451,5 | 25,3 | 59,0 | 3651 | 56,2 | 27810 | 3070 | 0,5899 | 321 | 10007 | 13,48 | 4,760 | 1262 |
| | 457,0 | 24,5 | 57,0 | 3564 | 54,30 | 27140 | 6945 | 0,6020 | 322 | 10008 | 3,051 | 4,600 | 1232 |
| 19.5.41 | 455,8 | 16,0 | 29,0 | 1423 | 28,0 | 10830 | 5362 | 0,884 | 114 | 10026 | 23,57 | 5,720 | 491,5 |
| | 428,2 | 15,1 | 29,0 | 1429 | 27,45 | 10880 | 5352 | 0,892 | 110,5 | 10026 | 23,51 | 5,942 | 493,5 |
| | 456,2 | 17,5 | 31,5 | 1532 | 29,75 | 11670 | 9035 | 0,8879 | 114 | 10068 | 39,69 | 6,285 | 529 |
| | 467,1 | 19,3 | 30,5 | 1255 | 26,38 | 9560 | 4089 | 0,9052 | 104,5 | 10014 | 17,96 | 4,920 | 432,5 |
| | 460,8 | 22,0 | 33,5 | 1271 | 31,40 | 9680 | 3100 | 0,882 | 114 | 10008 | 13,61 | 5,315 | 439 |
| | 458,5 | 23,1 | 31,1 | 880 | 29,80 | 6705 | 1662 | 0,910 | 102 | 10002 | 7,305 | 4,210 | 304 |
| | 455,2 | 23,1 | 29,0 | 644,4 | 27,90 | 4905 | 4352 | 0,9347 | 92 | 10001 | 1,912 | 3,473 | 222,5 |
| 20.5.41 | 461 | 12 | 23,5 | 1272 | 22,87 | 9690 | 4597 | 0,9055 | 104,5 | 10014 | 20,19 | 5,850 | 439,5 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|----------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|--------|
| | 467,1 | 19,3 | 30,5 | 1255 | 36,38 | 2550 | 4089 | 0,9052 | 104,5 | 10014 | 17,96 | 4,920 | 432,5 |
| | 460,8 | 22,0 | 33,5 | 1271 | 31,40 | 9680 | 3100 | 0,842 | 114 | 10008 | 13,61 | 5,315 | 439 |
| | 458,5 | 23,1 | 31,1 | 880 | 29,80 | 6705 | 1662 | 0,910 | 102 | 10002 | 7,305 | 4,210 | 304 |
| | 455,2 | 23,1 | 29,0 | 644,3 | 27,90 | 4905 | 4352 | 0,9347 | 92 | 10001 | 1,912 | 3,473 | 222,5 |
| 20,5,41 | 461 | 12 | 23,5 | 1272 | 22,87 | 9690 | 4597 | 0,9055 | 104,5 | 10014 | 20,19 | 5,850 | 437,5 |
| | 460 | 13,2 | 24,8 | 1280 | 24,70 | 9745 | 6520 | 0,912 | 102 | 10030 | 28,65 | 5,720 | 442,0 |
| | 469 | 13,5 | 22,8 | 1047 | 22,9 | 7970 | 2440 | 0,9125 | 101 | 10005 | 10,275 | 4,630 | 361,7 |
| | 476 | 14,5 | 21,5 | 800 | 22,8 | 6092 | 302,2 | 0,9265 | 95,5 | 10001 | 1,328 | 3,800 | 276,2 |
| 20,5,41N | 456 | 15,0 | 37,0 | 2409 | 37,30 | 18340 | 2135 | 0,6898 | 231,5 | 10000 | 9,370 | 4,285 | 631,8 |
| | 447,8 | 12,2 | 37,0 | 2663 | 37,1 | 20290 | 3148 | 0,6915 | 229,5 | 10005 | 13,82 | 4,720 | 720,0 |
| | 470 | 12,8 | 39,8 | 3046 | 40,45 | 23200 | 4556 | 0,6602 | 246,0 | 10004 | 20,00 | 5,125 | 1052,0 |
| | 481,6 | 12,5 | 41,0 | 3292 | 42,80 | 25090 | 5984 | 0,6363 | 256 | 10002 | 25,29 | 5,30 | 1137,0 |
| 21,5,41 | 449 | 22 | 69,5 | 5140 | 69,2 | 39150 | 5822 | 0,5282 | 403 | 10014 | 25,59 | 5,32 | 1776 |
| | 610 | 23,3 | 57,8 | 5050 | 59,6 | 38460 | 5457 | 0,5801 | 380 | 10016 | 23,96 | 5,44 | 1744 |
| | 626 | 26,2 | 58,2 | 4810 | 60,9 | 36610 | 3863 | 0,5061 | 387 | 10008 | 16,97 | 5,09 | 1662 |
| | 448 | 28,5 | 70,5 | 4535 | 71,9 | 34550 | 4300 | 0,4673 | 397 | 10010 | 18,89 | 4,816 | 1567 |
| | 453 | 31,1 | 72,2 | 4485 | 76,4 | 34150 | 3082 | 0,4539 | 410,5 | 10010 | 13,54 | 4,635 | 1549 |
| | 645 | 29,5 | 59,0 | 4565 | 60,1 | 34760 | 2889 | 0,5447 | 410 | 10010 | 12,68 | 4,505 | 1577 |
| | 630 | 31,0 | 53,8 | 3445 | 59,1 | 26250 | 1843 | 0,4950 | 408 | 10007 | 8,10 | 3,420 | 1191 |
| | 441 | 30,2 | 70,5 | 4285 | 71,2 | 32630 | 2000 | 0,5523 | 401 | 10007 | 8,79 | 4,468 | 1461 |
| 26,5,41 | 463,2 | 19,5 | 63,0 | 4860 | 56,9 | 36980 | 4390 | 0,516 | 402 | 10022 | 19,79 | 5,010 | 1679 |
| | 455,7 | 20,4 | 65,0 | 4898 | 70,15 | 37310 | 4339 | 0,5215 | 403 | 10010 | 19,05 | 5,000 | 1691 |
| | 649,4 | 21,2 | 54,0 | 5110 | 57,35 | 38950 | 4331 | 0,5208 | 404,5 | 10010 | 19,02 | 5,025 | 1674 |

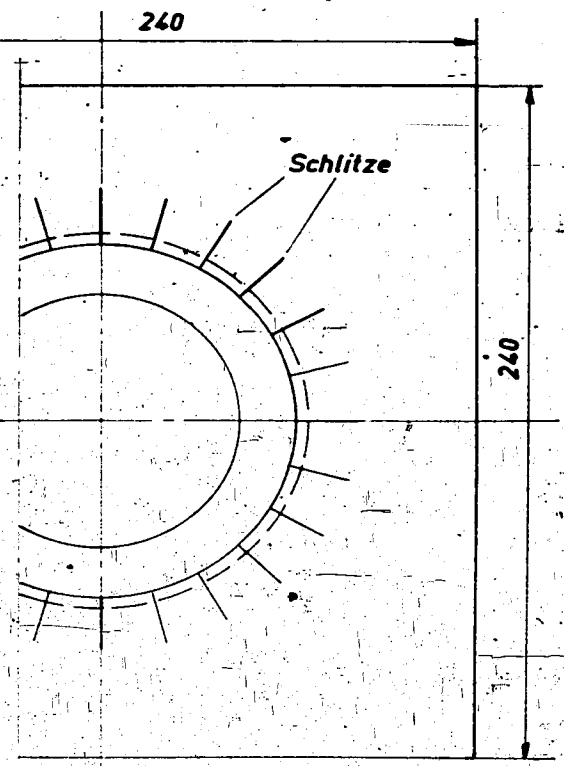
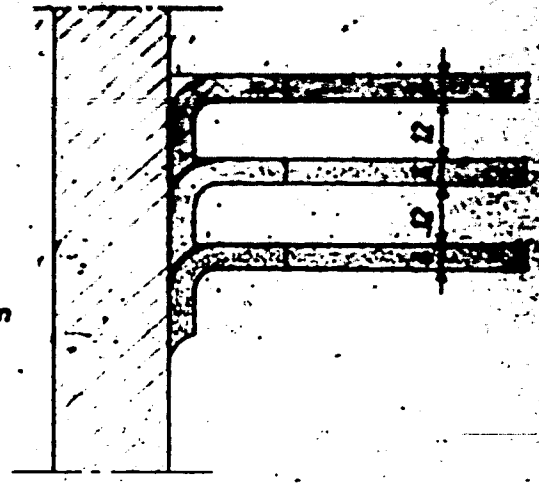
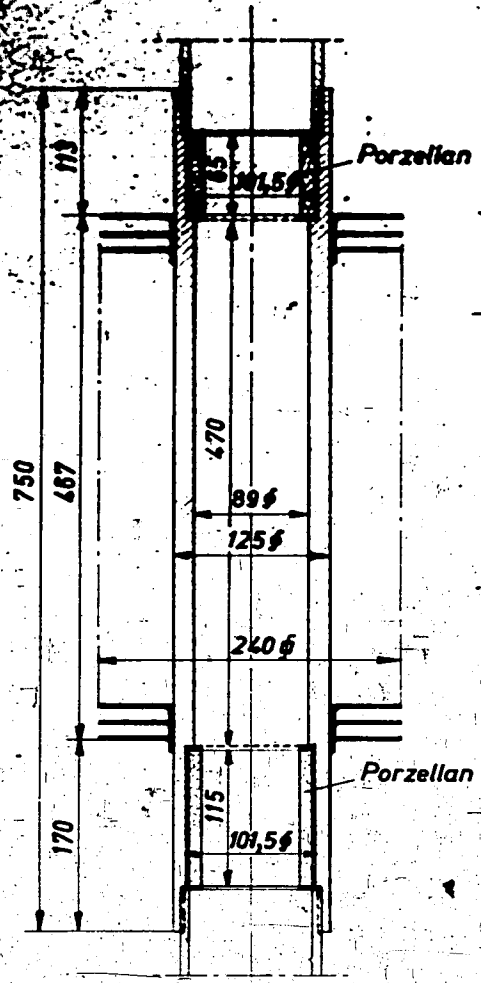
21 5 41

26 5 41

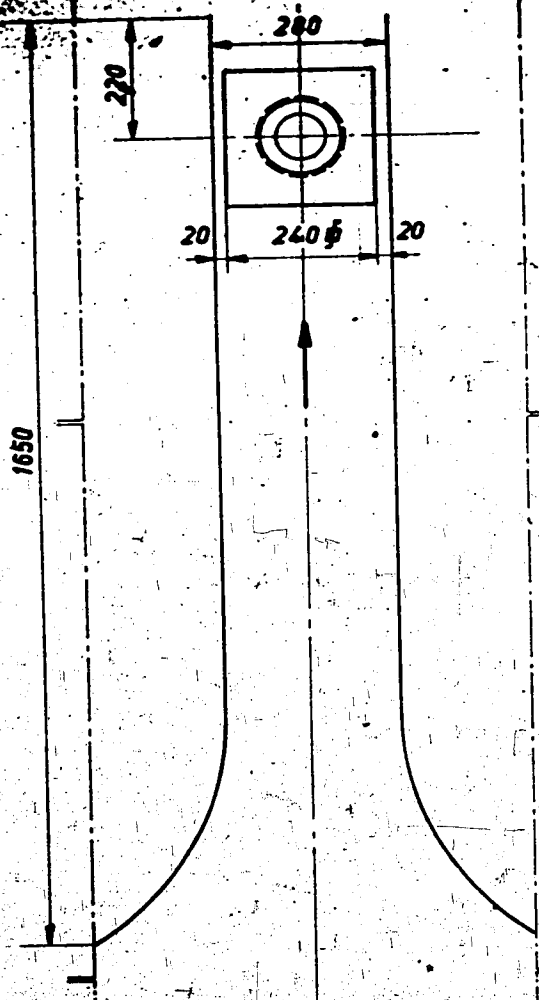
11052

| | | | | | | | | | | | | |
|-------|------|------|------|-------|-------|------|--------|-------|-------|--------|-------|--------|
| 470 | 12,8 | 39,8 | 3046 | 40,45 | 23200 | 4556 | 0,6602 | 2460 | 10004 | 20,00 | 5,125 | 1652,0 |
| 481,6 | 12,5 | 41,0 | 3292 | 42,80 | 25090 | 5984 | 0,6363 | 256 | 10002 | 25,29 | 5,30 | 1137,0 |
| 449 | 22 | 69,5 | 5140 | 69,2 | 39150 | 5822 | 0,5202 | 403 | 10014 | 25,59 | 5,32 | 1776 |
| 610 | 23,3 | 57,8 | 6050 | 59,6 | 38460 | 5457 | 0,5801 | 380 | 10016 | 23,96 | 5,41 | 1744 |
| 626 | 26,2 | 58,2 | 4810 | 60,9 | 36610 | 3863 | 0,5061 | 387 | 10008 | 16,97 | 5,09 | 1652 |
| 448 | 28,5 | 70,5 | 4535 | 71,9 | 34550 | 4300 | 0,4673 | 397 | 10010 | 18,89 | 4,816 | 1567 |
| 453 | 31,1 | 72,2 | 4485 | 76,4 | 34150 | 3082 | 0,4539 | 410,5 | 10010 | 13,54 | 4,635 | 1549 |
| 645 | 29,5 | 59,0 | 4565 | 60,1 | 34760 | 2889 | 0,5447 | 410 | 10010 | 12,68 | 4,505 | 1577 |
| 630 | 31,0 | 53,8 | 3445 | 59,1 | 26250 | 1843 | 0,4950 | 408 | 10007 | 8,10 | 3,420 | 1191 |
| 441 | 30,2 | 70,5 | 4285 | 71,2 | 32630 | 2000 | 0,5523 | 401 | 10007 | 8,79 | 4,408 | 1401 |
| 463,2 | 19,5 | 63,0 | 4860 | 56,9 | 36980 | 4390 | 0,516 | 402 | 10022 | 19,89 | 5,010 | 1679 |
| 455,7 | 20,4 | 65,0 | 4898 | 70,15 | 37310 | 4339 | 0,5215 | 403 | 10010 | 19,05 | 5,001 | 1691 |
| 649,4 | 21,2 | 54,0 | 5110 | 57,35 | 38950 | 4331 | 0,5208 | 404,5 | 10010 | 19,02 | 5,025 | 1701 |
| 462,2 | 25,0 | 67,0 | 4670 | 71,50 | 35560 | 3291 | 0,504 | 414 | 10000 | 14,46 | 4,709 | 1612 |
| 614 | 25,1 | 58,0 | 4848 | 57,20 | 36900 | 3456 | 0,499 | 414 | 10000 | 15,175 | 4,695 | 1693 |
| 628,6 | 22,5 | 55 | 4902 | 57,80 | 37350 | 2391 | 0,5005 | 417,5 | 10000 | 15,51 | 4,720 | 1693 |
| 414 | 21,5 | 64,5 | 4290 | 69,80 | 32660 | 2397 | 0,5085 | 408 | 10000 | 10,52 | 4,704 | 1482 |
| 452,2 | 20,8 | 60,5 | 4315 | 66,20 | 32850 | 1987 | 0,5077 | 413 | 10000 | 8,725 | 4,295 | 1490 |
| 652 | 19,5 | 48,5 | 4540 | 52,20 | 34580 | 2136 | 0,5005 | 408 | 10000 | 9,38 | 4,405 | 1508 |

Versuchsrohr



11033

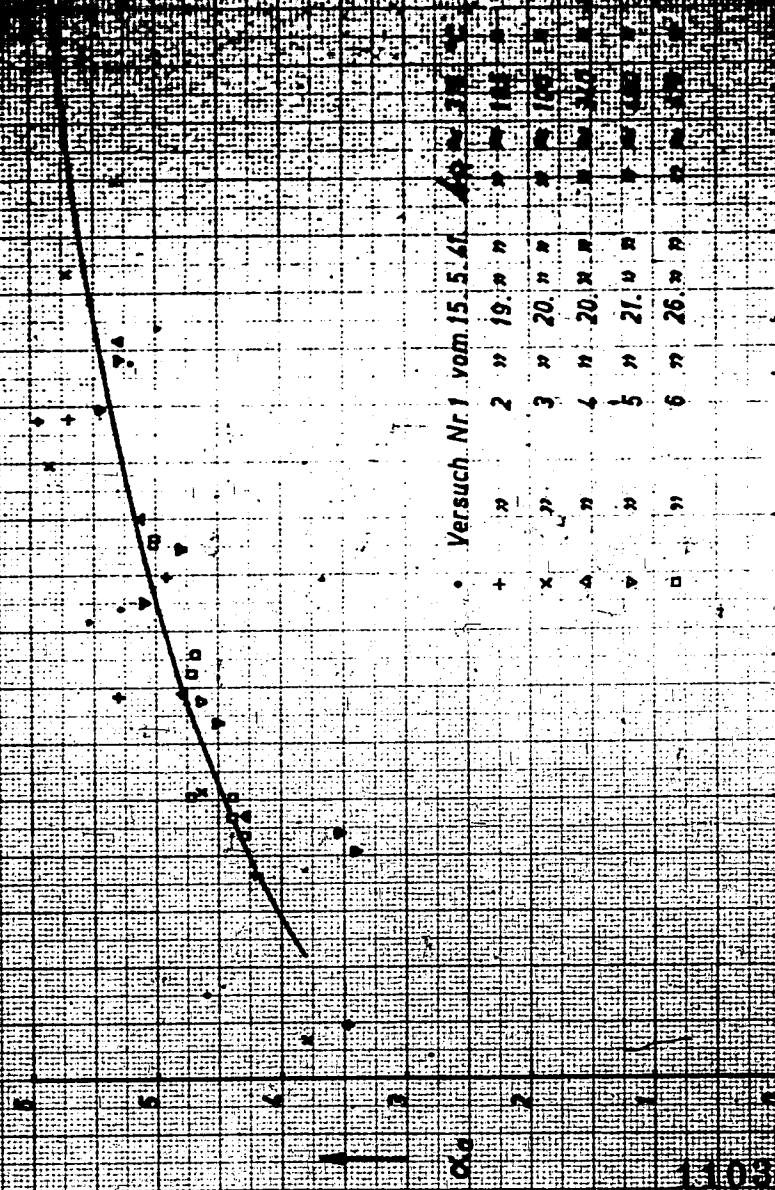


Anordnung des Rohres
in der Gasse

11034

Zahlen-Wärmeübergangszahlen eines Rib-Rippen
mit aufgeschweißten Rippen

$$\frac{k_{\text{Rib}}}{m \cdot T \cdot C}$$



| Symbol | Versuch | Nr. | vom | 15.5.41 | Ap | 28 |
|--------|---------|-----|-----|---------|----|-----|
| + | " | 2 | " | " | " | 100 |
| x | " | 3 | " | " | " | 100 |
| △ | " | 4 | " | " | " | 100 |
| ▽ | " | 5 | " | " | " | 100 |
| □ | " | 6 | " | " | " | 100 |

20
WR Rippen

11095