

Migaj, V.K.  
(Kand.d.techn.Wiss.)  
Zentrales Kessel- und Turbinen-Institut

## **Untersuchung berippter Diffusoren**

Aus: Teploenergetika. Moskva, 9 (1962), Nr 10, S. 55 - 59.

Russ.: Исследование ребренных диффузоров  
Issledovanie orebrennych diffuzorov

Es werden die Ergebnisse einer experimentellen Untersuchung über den Einfluß verschiedener geometrischer Kennwerte auf den Wirkungsgrad berippter Diffusoren angegeben.

In den Arbeiten [1, 2] wurde ein neues Verfahren zur Steigerung des Wirkungsgrades von Diffusoren mit großen Öffnungswinkeln vorgestellt, indem an ihren Wänden eine spezielle Querberippung angebracht wurde. Der starke Makroabriß der Strömung wird in diesem Fall durch ein System von Feinabrissen ersetzt, was - wie zahlreiche Versuche zeigten - zu einer gewaltigen Steigerung des Wirkungsgrads der Anlage führt. Deshalb ist es zweifellos von praktischem Interesse zu untersuchen, welchen Einfluß Öffnungswinkel, Kennwerte des Rippensystems, die Form des Diffusors und insbesondere die ringförmigen Diffusoren in Verbindung mit ihrem möglichen Einsatz in Turbomaschinen haben. Die Untersuchungen wurden an einer Kaltluftanlage durchgeführt (Abb. 1). Alle Diffusoren besaßen die gleiche Länge  $l = 195$  mm und gleichen Eintrittsdurchmesser  $d_1 = 100$  mm. Der Feldkoeffizient beim Eintritt in die Diffusoren ist  $w_{mitt}/w_{max} \approx 0,95$ . Der statische Druck beim Diffusoreintritt wurde nach dem Querschnitt bestimmt, der dem Minimum des statischen Drucks über die Länge des zylindrischen Abschnitts (gleich  $2d_1$ ) entspricht. Als Gegendruck wurde Luftdruck angenommen. Untersucht wurden Rund- und Ringdiffusoren mit einem Gesamtöffnungswinkel des Konus  $\beta = 22, 31, 40, 60^\circ$ , jeweils glatt und berippt. Die Ringdiffusoren wurden mittels zylindrischer runder Einsätze mit  $d = 40,60$  mm gebildet, die über Ringe mit dreifach umströmten, in  $120^\circ$  zueinander angeordneten Radialrippen zentriert wurden. Die Diffusoren bestanden aus Silumin. Die Tiefe der Rillen betrug  $a = 7$  mm, ihre Breite  $b = 3$  mm, die Rippendicke  $t = 1,5$  mm. Der erste Rippenzwischenraum wurde in 3 mm Abstand von der Eintrittskante angelegt. Jeder Rippendiffusor besaß 11 Rillen. Die Leistung der Diffusoren wurde nach dem Wirkungsgrad

$$\eta = \frac{p_{w,2} - p_{w,1}}{r / 2(w_1^2 - w_2^2)}$$

bestimmt, der Druckverlustziffer

$$\varphi = (1 - \eta) \frac{n + 1}{n - 1}$$

( $n$  Ausdehnungsgrad des Diffusors) und dem Widerstandskoeffizienten

$$\xi = \frac{p_2 - p_1}{r \frac{w_1^2}{2}}$$

Die Abhängigkeit der Größe  $h$  von der Re-Zahl bzw. von der Diffusoreintrittsgeschwindigkeit  $w_1$  bei berippten Diffusoren mit  $\beta = 22, 31, 40, 60^\circ$  war dieselbe wie bei glatten Diffusoren, ausgenommen  $\beta = 31^\circ$  (Abb. 2). Bei all den genannten Diffusoren stellt man für  $h$  bei  $w_1$  50 - 60 m/sek ein Minimum fest. Hinzugefügt sei, daß die Größe  $\eta_{min}/\eta \leq 0,09$ , d.h. ein Abfall von  $\eta$  gering ist. Das Minimum kann man damit erklären, daß bei derartigen Geschwindigkeiten Periodizitäten

(akustische Strahlungen der Rippenzwischenräume) auftreten, die - wie gesondert nachgewiesen - den gewünschten Effekt vermindern.

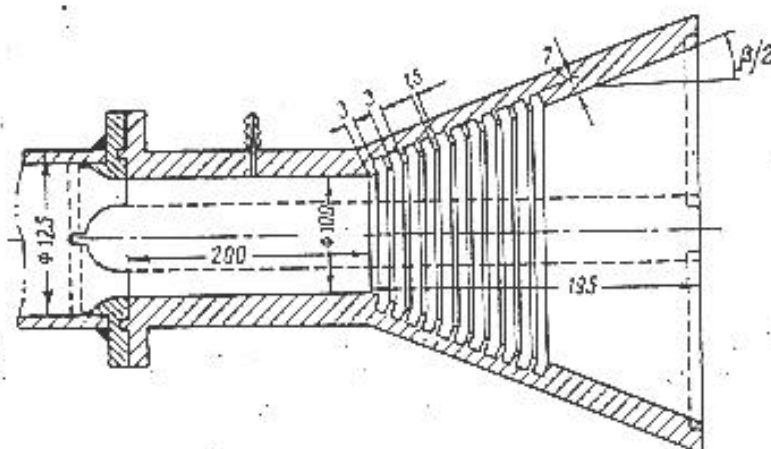


Abb 1. Schematische Darstellung der Versuchsanlage

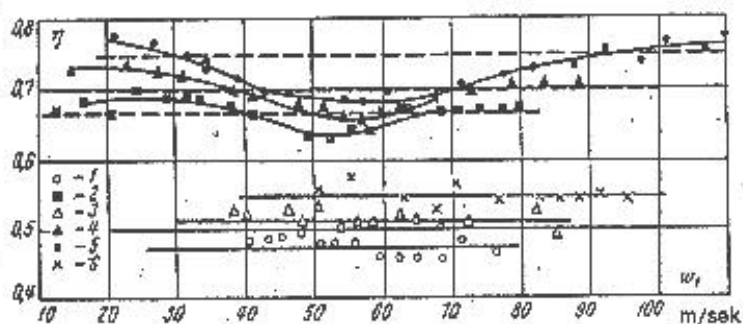


Abb. 2. Wirkungsgrad der Diffusoren mit  $\beta = 31^\circ$

1) glatter Runddiffusor  $n = F_2/F_1 = 4$ ;  $j = 0,875$ ;  $x = 0,44$ ; 2) berippter Runddiffusor  $n = 4$ ;  $j = 0,558$ ;  $x = 0,616$ ; 3) glatter Ringdiffusor  $n = 4,57$ ;  $j = 0,765$ ;  $d_2/d_1 = 40/100$ ;  $x = 0,485$ ; 4) berippter Ringdiffusor  $n = 4,57$ ;  $j = 0,468$ ;  $d_2/d_1 = 40/100$ ;  $x = 0,666$ ; 5) berippter Ringdiffusor  $n = 5,7$ ;  $j = 0,356$ ;  $d_2/d_1 = 0,6$ ;  $x = 0,73$ ; 6) glatter Ringdiffusor  $n = 5,7$ ;  $j = 0,65$ ;  $d_2/d_1 = 0,6$ ;  $x = 0,528$

Die festgestellte akustische Strahlung tritt infolge Resonanz auf, wenn die Abreißfrequenz der Wirbel von den Rippenenden und die Eigenfrequenz der Schwingungen der Luft in den Rippenzwischenräumen übereinstimmen. Je nach geometrischer Gestaltung der Rillen kann man diese Wirkung unterbinden. Allerdings müßte diese Frage gesondert untersucht werden.

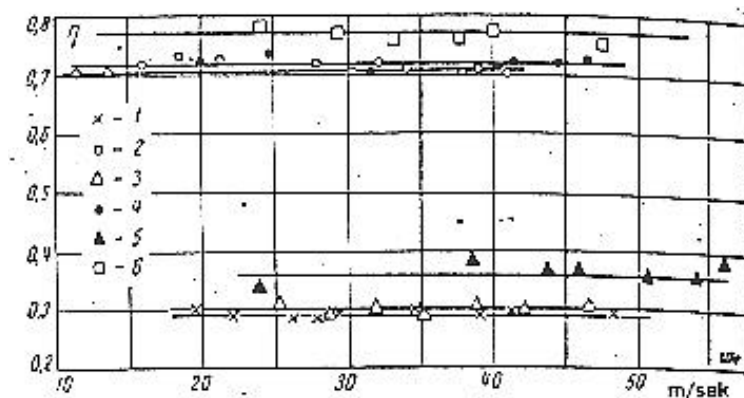


Abb. 3. Wirkungsgrad der Diffusoren mit  $\beta = 40^\circ$

1) glatter Runddiffusor  $n = 5,85$ ;  $j = 1$ ;  $x = 0,26$ ; 2) berippter Runddiffusor  $n = 5,85$ ;  $j = 0,424$ ;  $x = 0,67$ ; 3) glatter Ringdiffusor  $n = 6,85$ ;  $j = 0,94$ ;  $d_2/d_1 = 0,4$ ;  $x = 0,294$ ; 4) berippter Ringdiffusor  $n = 6,85$ ;  $j = 0,382$ ;  $d_2/d_1 = 0,4$ ;  $x = 0,7$ ; 5) glatter Ringdiffusor  $n = 8,68$ ;  $j = 0,814$ ;  $d_2/d_1 = 0,6$ ;  $x = 0,35$ ; 6) berippter Ringdiffusor  $n = 8,68$ ;  $j = 0,296$ ;  $d_2/d_1 = 0,6$ ;  $x = 0,755$

In Abb. 3 sind die Angaben für den Fall  $\beta = 40^\circ$  dargestellt, in Abb. 4 die Abhängigkeit des Wirkungsgrades berippter Diffusoren je nach dem Winkel  $\beta$  bezogen auf den Wirkungsgrad glatter Diffusoren. Wie daraus hervorgeht, liegt das Maximum der Größe  $\eta_{\text{berippt}}/\eta_{\text{glatt}}$  bei  $\beta \approx 40 - 45^\circ$ . In diesem Fall liegt  $\eta_{\text{berippt}}$  um das 2,2 - 2,4fach höher als beim glatten Diffusor. Bei  $\beta > 40 - 45^\circ$  nimmt  $\eta_{\text{berippt}}/\eta_{\text{glatt}}$  ab. Wie in der Arbeit [2] gezeigt wurde, ist notwendige Voraussetzung für eine positive Wirkung der Querberippung, daß die erste Rille im abreißfreien Bereich liegt. Bei großen Öffnungswinkeln ( $\beta \approx 60^\circ$ ) reißt die Strömung an der Diffusoreintrittskante ab und die Rippen werden nicht aktiv umströmt.

Bei  $\beta = 60^\circ$  wurden spezielle Untersuchungen über die Profilgebung der Diffusoreintrittskante angestellt. Die Eintrittskante bekam unterschiedlich große Krümmungsradien, die Lage des ersten Rippenzwischenraums variierte bis unmittelbar neben der Eintrittskante. All diese Maßnahmen zeigten jedoch keine Wirkung: der Wirkungsgrad eines berippten Diffusors war in allen Fällen gleich

dem eines glatten Diffusors. Somit ist es nicht zweckmäßig, bei  $\beta \geq 55 - 60^\circ$  berippte Diffusoren zu verwenden. Die besagte Wirkung erstreckt sich nur auf Diffusoren bei Überdruck, bei welchen sich die Obergrenze für  $\beta$  in Richtung größerer  $\beta$  verschiebt. Im Bereich  $60^\circ > \beta > 40^\circ$  wurden keine Versuchswerte ermittelt. Man darf annehmen, daß in einem Teil dieses Bereiches ( $\beta < 60^\circ$ ) die Strömung im berippten Diffusor instabil ist.

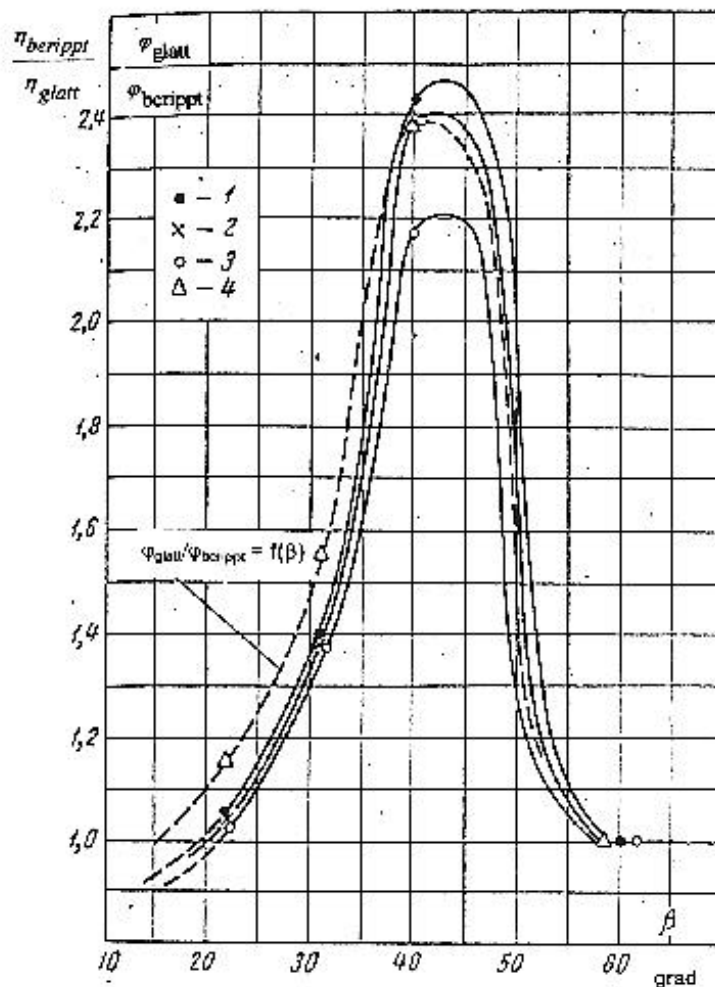


Abb. 4. Abhängigkeit der Diffusorwirkung vom Öffnungswinkel  $\beta$ .  
 1) Runddiffusor; 2) Ringdiffusor;  $d_2/d_1 = 0,4$ ; 3) Ringdiffusor;  $d_2/d_1 = 0,6$ ; 4) Runddiffusor;  $\varphi_{\text{glatt}}/\varphi_{\text{berippt}} = f(\beta)$ .

Eine Querberippung ist nur dann wirkungsvoll, wenn eine starke Strömungsablösung und Rückströme vorkommen, wobei die Wirkung eines berippten Diffusors um so wirkungsvoller ist, je stärker diese Erscheinungen sind (bis zu dem oben

genannten Grenzwert). Bei Umströmung eines berippten Systems stellt man in den Rippenzwischenräumen regelmäßige Wirbel fest, für deren Bildung eine gewisse Energie der Hauptströmung aufgewendet werden muß. Bei  $\beta \leq 40 - 50^\circ$  ist diese Energie in ein und derselben Größenordnung. Mit abnehmendem  $\beta$  ( $\beta < 40 - 50^\circ$ ) nimmt die Ablösungsstärke im glatten Diffusor relativ ab und folglich verringert sich auch die positive Wirkung der Querberippung auf die Bildung regelmäßiger Wirbel und Mikroablösungen, die eine Makroablösung der Strömung verhindert und zusätzliche Energieverluste erzeugt. Damit läßt sich die Abnahme des Wertes  $\eta_{\text{berippt}}/\eta_{\text{glatt}}$  bei  $\beta$  ( $\beta < 40 - 50^\circ$ ) erklären.

Bei  $\beta \approx 20^\circ$  werden auch bei Umströmung der Berippung die mit der Makroablösung zusammenhängenden Verluste annähernd gleich, und somit ist eine Berippung in diesem Fall hinsichtlich des Wirkungsgrades praktisch wirkungslos. Die gestrichelte Kurve in Abb. 4 gibt die Werte für berippte Runddiffusoren an, die nach der Druckverlustziffer  $\varphi$  berechnet wurden. Bekanntlich hängt die Größe  $\varphi$  nur wenig vom Ausdehnungsgrad  $n$  ab (insbesondere bei geringen  $n$ ). Diese Kurve kann als Universalkurve für Runddiffusoren angesehen werden.

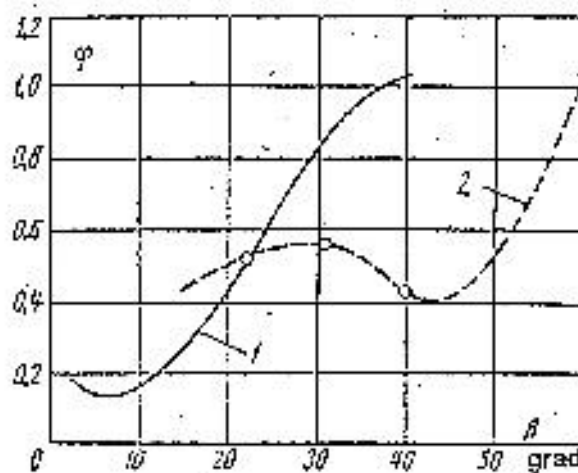


Abb. 5. Abhängigkeit der Druckverlustziffer vom Diffusoröffnungswinkel.

1) nach Gipsion [3] und Peters [4]; 2) Rippendiffusoren.

In Abb. 5 werden die für berippte Runddiffusoren ermittelten Werte mit den bekannten Versuchen von Gipsion [3] und Peters [4] für glatte Runddiffusoren verglichen. Wir stellen fest: wo bei glatten Diffusoren bei  $\beta \approx 6 - 8^\circ$  ein Minimum auf-

tritt, da verschiebt sich dieses bei berippten Diffusoren unter den oben genannten Umständen zu  $\beta \approx 40^\circ$  (der Kurvenverlauf bei  $\beta < 20^\circ$  ist nicht von praktischem Interesse). Somit setzt man berippte Diffusoren am zweckmäßigsten bei großen Öffnungswinkeln in der Größenordnung von  $40^\circ$  ein.

Wie aus Abb. 4 folgt, ergibt eine Berippung bei Ringdiffusoren annähernd die gleiche Wirkung wie bei Runddiffusoren. Eine gewisse unbedeutende Verringerung des Wertes  $\eta_{\text{berippt}}/\eta_{\text{glatt}}$  beim Ringdiffusor verglichen mit dem Runddiffusor hängt damit zusammen, daß die Einsätze die Ablösungsstärke gegenüber dem Runddiffusor etwas mindern. Infolgedessen nimmt der relative Einfluß der die Makroablösung verhindernden Berippung etwas ab.

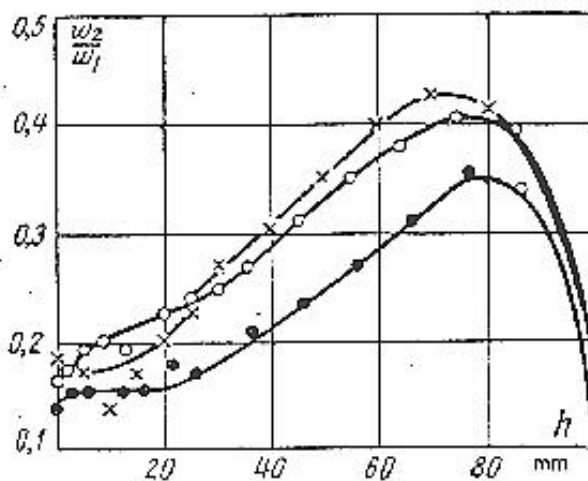


Abb. 6. Geschwindigkeitsfelder im berippten Ringdiffusor  
( $\beta = 40^\circ$ ;  $d_2/d_1 = 0,6$ ;  $w_1 = 50$  m/sec)

Abb. 6. stellt die mit pneumatischen Meßrohren am Austritt aus dem Ringdiffusor an drei Querschnitten gemessenen Geschwindigkeitsfelder dar. Die Querschnitte standen zueinander in einem Winkel von  $120^\circ$ . Die Geschwindigkeiten wurden nach den Werten der Meßrohre mit Gesamtdruck und statischem Druck bestimmt. Vorab wurde mit Seidenfäden festgehalten, daß die Strömung am Austritt ablösungsfrei erfolgt, was durch die pneumatischen Messungen bestätigt wurde. Die Geschwindigkeitsfelder bei den glatten Diffusoren wurden wegen der Strömungsinstabilität in diesen Diffusoren (instationäre Ablösung) nicht gemessen. Somit verbessert eine Querberippung wesentlich das Geschwindigkeitsprofil am Diffusoraustritt. Dieser Umstand ist von besonderer Bedeutung. Dies gilt zum Beispiel dann, wenn man hinter einem Axialdiffusor einen Radialdiffusor anbringt.

In einem glatten Diffusor kommt es bei  $\beta = 20^\circ$  zu starken Strömungsabrissen, und das Geschwindigkeitsfeld weist am Austritt aus einem solchen Diffusor Rückströme auf. Nach dem Wirkungsgrad ist ein berippter Diffusor mit  $\beta = 40^\circ$  gleichwertig einem glatten Diffusor mit  $\beta = 20^\circ$  (Abb. 5). Das Geschwindigkeitsfeld am Austritt aus dem berippten Diffusor ist jedoch gleichmäßiger. In den Fällen, wo die Gleichmäßigkeit des Geschwindigkeitsfeldes unmittelbar am Austritt von großer Bedeutung ist, besitzt der berippte Diffusor einen zusätzlichen Vorteil gegenüber dem glatten Diffusor mit  $\beta = 20^\circ$  und wahrscheinlich auch gegenüber glatten Diffusoren mit kleineren Öffnungswinkeln. Hierbei ist zu beachten, daß eine solche Berippung nur bei ablösungsfreiem Eintritt in den Diffusoren wirkungsvoll ist. Ist dies nicht der Fall, dann muß man am Eintritt einen bestimmten Stabilisierungsabschnitt einrichten. Offen bleibt, welchen Einfluß der Eintrittsdrall auf den berippten Diffusor hat.

Im Zentralen Kessel- und Turbinen-Institut wurde eine große Anzahl berippter Diffusoren unterschiedlicher Typen untersucht. In der Arbeit [1] sind die Untersuchungsergebnisse über kleindimensionierte Diffusoren angegeben ( $d_1 = 30$  mm). In der vorliegenden Arbeit sind die Daten für Diffusoren mit  $d_1 = 100$  mm enthalten). Im einen wie im anderen Fall ließ sich die Diffusorwirkung um annähernd das Doppelte steigern. Somit darf man annehmen, daß die Dimensionierung - bei rationeller Planung der Berippung zumindest in den untersuchten Bereichen - keinen Einfluß hat auf die Wirkungsweise eines berippten Systems.

Einfluß des Parameters $a$ ( $b = 5$ mm)									
$\eta_{\text{berippt}}/\eta_{\text{glatt}}$	1	0,857	0,915	1,25	1,46	1,64	1,68	1,71	1,71
$a, \text{ mm}$	0	0,5	1	2	4	8	10	15	20
$a/b$	0	0,1	0,25	0,4	0,8	1,6	2	3	4
Einfluß des Parameters $b$ ( $a = 5$ mm)									
$\eta_{\text{berippt}}/\eta_{\text{glatt}}$	1,64		1,71		1,71		instabil		0,5
$b, \text{ mm}$	1		3		5		8		16
Einfluß der Rillenzahl $n$ ( $b = 1$ mm, $a = 20$ mm)									
$\eta_{\text{berippt}}/\eta_{\text{glatt}}$	1,06	1,14	1,29	1,4	1,54	1,57	1,63	1,64	1,64
$n$	1	3	5	7	9	11	13	15	40
Einfluß der Rillenzahl $n$ ( $b = 3$ mm, $a = 20$ mm)									
$\eta_{\text{berippt}}/\eta_{\text{glatt}}$	1,04	1,13	1,3	1,515	1,63	1,68	1,71	1,71	1,71
$n$	1	2	3	4	5	6	7	10	15
Einfluß der Rillenzahl $n$ ( $b = 5$ mm, $a = 20$ mm)									
$\eta_{\text{berippt}}/\eta_{\text{glatt}}$	0,6	0,7	0,78	1,6	1,68	1,71	1,71	1,71	1,71
$n$	1	2	3	4	5	6	6	20	20



Der Einfluß der Rippenhöhe (Rillentiefe), der Rillenbreite und der Rippenzahl wurden wegen leichter Versuchsdurchführung an einem flachen Diffusormodell mit einseitiger Expansion (Eintritt 90 x 70 mm, Austritt 180 x 70 mm, Öffnungswinkel auf einer Seite 21°; zweite Wand gerade) untersucht. Die Diffusorwirkung wurde nach dem Wert  $\eta$  bewertet. Die Versuchsergebnisse sind in der Tabelle angegeben (Wiedergabe der Daten in der Relation  $\eta_{\text{berippt}}/\eta_{\text{glatt}}$ ). Der Einfluß der Rillentiefe (Rippenhöhe)  $a$  wurde bei konstanter Rillenbreite  $b = 5$  mm und bei 10 Rippen mit 1,5 mm Dicke untersucht. Der erste Rippenzwischenraum lag in 3 mm Abstand von der Eintrittskante. Der Parameter  $a$  hatte die Werte: 0,5; 1; 2; 4; 8; 10, 15 und 20 mm. Geringe Vertiefungen ( $a = 0,5$  mm, 1 mm;  $a/b = 0,1$ ; 0,25) führen zur Verschlechterung der Umströmung ( $\eta_{\text{berippt}}/\eta_{\text{glatt}} < 1$ ) und entsprechend dem verschiedenen Rauigkeitsgrad verstärken sie die Strömungsablösung. Zur Erzeugung des gewünschten Effekts ist eine dementsprechende ausreichende Rillentiefe notwendig. Bei  $a/b = 2 - 2,5$  tritt eine Stabilisierung des Wirbelsystems ein, und der Wirkungsgrad der Anlage nimmt nicht mehr zu.

Eine positive Wirkung tritt in dem Fall ein, wo sich regelmäßige Wirbel bilden, für die eine bestimmte Rillentiefe notwendig ist.

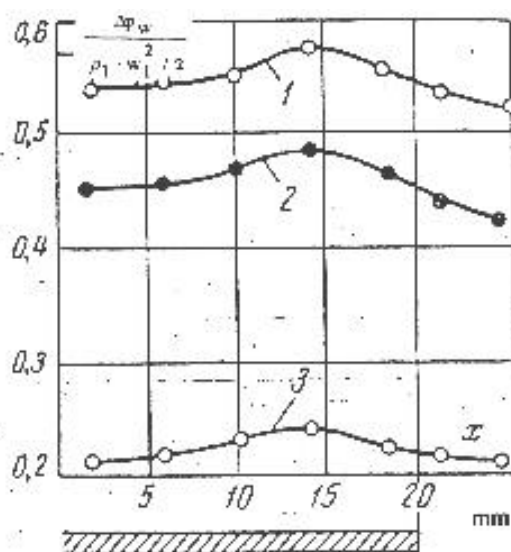


Abb. 7. Druckverteilung in den Rippenzwischenräumen:  
1) 4. Rille; 2) 6. Rille; 3) 14. Rille

Außer durch Beobachtungen [2] läßt sich durch Messungen des statischen Drucks bestätigen, daß Wirbel vorkommen. Dafür wurden an den flachen Wänden

des Diffusors, dort wo die entsprechenden Rippenzwischenräume sind, über ihre Höhe Drainagen angebracht. In Abb. 7 sind die Druckfiguren dargestellt, die nach den Daten dieser Drainagen ermittelt wurden. Wie daraus ersichtlich, stellt man in den untersuchten Rillen Druckminima fest, wobei am Rillenboden ein Druck bis zur Größe des Strömungsdrucks entsteht. Diese Druckminima beweisen, daß in den Rippenzwischenräumen eine intensive Wirbelbildung auftritt. Dies wiederum beweist, daß in einer gewöhnlichen Ablaufbohrung der Druck über die Höhe nicht konstant ist, wie allgemein angenommen wurde. Wie Beobachtungen zeigten [5], werden auch in den Drainagen Wirbel festgestellt. Diese Wirbel verzerren die Drainage-Daten jedoch nicht, da der Druck am Boden der Bohrung oder nach dem Wirbel in der Vertiefung nach unten bis zu Strömungsdruck erzeugt wird. Der Einfluß der Rillenbreite  $b$  wurde bei größter Tiefe  $a = 20$  mm untersucht, um nach Möglichkeit jeglichen Einfluß der Größe  $a$  auszuschließen. Der Parameter  $b$  hat die Werte 1; 3; 5; 8; 16 mm. In den Versuchen wurde für jeden Einzelfall sichergestellt, daß eine ausreichend große Rippenzahl vorhanden ist, damit eine weitere Vergrößerung der Rippenzahl die Ergebnisse nicht verändere (siehe Tabelle). Eine praktisch bedeutende Differenz bei  $b = 1; 3; 5$  gibt es für den Wirkungsgrad des Diffusors nicht und man sollte die Größe  $b$  in diesem Bereich nach technischen Gesichtspunkten wählen. Bei  $b > 5$  nimmt die Wirkung anscheinend deshalb ab, weil der Widerstand bei der Umströmung eines solchen Rippenystems anscheinend zunimmt.

In der Tabelle ist auch der Einfluß der Rippenzahl auf den Wirkungsgrad berippter Diffusoren angegeben. Um die gewünschte Wirkung zu erzielen, muß man eine große Anzahl Rillen anlegen. So braucht man bei  $b = 1$  mm 13 Rippen, bei  $b = 3$  mm sieben und bei  $b = 5$  mm sechs Rippen. Noch mehr Rippen steigern den Wirkungsgrad des Diffusors nicht.

## Literatur

1. Мига́й В.К.: Диффузор с поперечными ребрами. - Энергомашиностроение. 1960, № 4.  
 Migaj, V.K.: Diffuzor s poperečnymi rebrami. In: Énergomašinstroenie. Moskva, 6 (1960), Nr 4, S. 31.  
 Deutsche Vollübersetzung aus dem Russischen: Der Diffusor mit Querberippung. - Übersetzungsstelle der Universitätsbibliothek Stuttgart, Nr Ü/427 (in process).

2. Мига́й В.К.: Повышение эффективности диффузоров путем установки поперечного ребрения. - Теплоэнергетика. 1961, № 4.

Migaj, V.K.: Povyšenie éffektivnosti diffuzorov putem ustanovki poperečnogo orebrenija. In: Teploénergetika. Moskva, 8 (1961), Nr 4, S. 41 - 43.

Deutsche Vollübersetzung aus dem Russischen: Die Erhöhung des Wirkungsgrads von Diffusoren durch den Einbau einer Querberippung. - Übersetzungsstelle der Universitätsbibliothek und TIB Hannover, TIB/Ü-46/788, 11 Seiten.

3. Гипсон А.: Гидравлика и ее приложение. ОНТИ, Госэнергоиздат, 1934.

Gipson, A.: Gidravlika i ee prilozhenie. Moksva: Verlag "Gosudarstvennoe naučno-techničeskoe énergetičeskoe izdatel'stvo, 1934.

Übersetzung aus dem Englischen - Verfasser: Gibson, Arnold Hartley - Titel nicht ermittelt: Hydraulik und ihre Anwendung; russ.

4. Peters, H.: Energieumsetzung in Querschnittserweiterungen bei verschiedenen Zulaufbedingungen. In: Ingenieur-Archiv. Berlin, 2 (1931), Nr 1, S. 92 - 107.

5. Ray, A.K.: Einfluß der Bohrlochgröße auf die Anzeige des statischen Druckes bei verschiedenen Reynoldszahlen. In: Ingenieur-Archiv. Berlin, 24 (1956), Nr 3, S. 171 - 181.

Stuttgart, den 6. Februar 1995

übersetzt von

(Ottmar Pertschi)  
Dipl.-Übersetzer