

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM
KARLSRUHE**

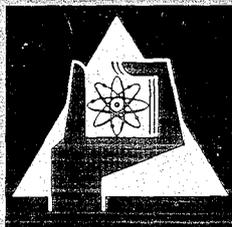
April 1970

KFK 1205

Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik

Widerstandsbeiwerte von Gitterabstandshaltern für Reaktorbrennelemente

K. Rehme



GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.

KARLSRUHE

Widerstandsbeiwerte von Gitterabstandshaltern für Reaktorbrennelemente

Von K. Rehme, Karlsruhe Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik, Kernforschungszentrum Karlsruhe

Zusammenfassung

Es werden die Ergebnisse von Druckverlustmessungen an fünf verschiedenen Abstandshaltergittern in Stabbündeln mitgeteilt. Die Stabbündel waren aus 37 (169) Stäben in hexagonaler Anordnung in einem Sechskantströmungskanal zusammengesetzt. Durch die Einführung eines modifizierten Widerstandsbeiwertes gelingt es, für Auslegungsrechnungen von Reaktorkernen für verschiedenartige Gitter einen Näherungswert des Druckverlustes in Abhängigkeit von der Versperrung des Strömungsquerschnittes durch den Abstandshalter anzugeben.

Abstract

Drag coefficients for fuel element spacer grids

The results of pressure drop measurements with five different spacer grids in rod bundles are reported. The rod bundles consisted of 37 (169) rods arranged in a hexagonal array and contained in a prismatic hexagonal channel. The experimental results are correlated by introducing a modified drag coefficient. For preliminary core design calculations it is possible by means of this coefficient and of the flow restriction due to the spacer to predict the pressure loss across various spacer grids with good approximation.

EURATOM KEYWORDS

DRAG COEFFICIENT	REACTOR LATTICES	FUEL ELEMENT
FUEL ELEMENTS	PRESSURE	CLUSTERS
SPACERS	MEASUREMENT	WIRES

1. Einleitung

Als Abstandshalter für zylindrische Reaktorbrennelemente kommen zwei prinzipiell verschiedene Typen in Betracht:

- Mit den Brennelementen verbundene und über die gesamte Länge der Brennelemente reichende Abstandshalter, wie z. B. Spirallrippen oder Spiraldrähte,
- Abstandshaltergitter, die in bestimmten Ebenen längs der Brennelemente die Abstände der Brennelemente untereinander und gegen die Kastenwand festlegen.

Während der erste Typ besonders interessant ist bei kleinen Brennelementeabständen (Kühlmitteldurchmischung, Herstellungsvorteile), hat bei größeren Abständen der zweite Typ aus verschiedenen Gründen (z. B. Neutronenökonomie, Druckverlust) größere Bedeutung.

Für die Kernausslegung von Reaktoren müssen die Druckverlustkenngrößen der Abstandshalter bekannt sein. Bei Abstandshaltern, die mit dem Brennelement verbunden sind, gelingt es, durch systematische Messungen des Druckverlustes unter Variation der Geometrieparameter allgemein gültige Druckverlustbeziehungen zu schaffen (Spiraldrähte [1]). Bei Gitterabstandshaltern ist das nicht möglich, weil sehr verschiedene konstruktive Lösungen denkbar sind, die keine geometrische Ähnlichkeit aufweisen. Man wird für genauere Rechnungen immer auf Druckverlustmessungen des vorgesehenen Gitters angewiesen sein. Trotzdem ist es für Auslegungsrechnungen wichtig, gute Näherungswerte für den Druckverlust am Abstandshalter zu kennen, bevor die Konstruktion des Gitters festliegt.

Deshalb wurden für verschiedene Gitter Druckverlustmessungen durchgeführt, und zwar für Stabbündel mit hexagonal angeordneten Stäben in einem Sechskantströmungskanal.

2. Versuchsanlage

Die Untersuchungen wurden an einem im Kreislauf arbeitenden Wasserversuchsstand durchgeführt. Aus einem Vorratsbehälter wird das Kreislaufwasser von einer Kreiselpumpe

(Nenndurchsatz $Q = 360 \text{ m}^3/\text{h}$ bei einer spezifischen Pumpleistung von 120 kpm/kg) über einen Kühler, in dem die in der Pumpe zugeführte Wärmemenge abgeführt wird, durch die horizontale Teststrecke gedrückt. Die Regelung der Wassermenge, die die Teststrecke durchläuft, wird zum Teil über eine Umföhrung, zum Teil durch Drosselung durchgeführt. Die Teststrecke hat eine Länge von $L = 1500 \text{ mm}$. Die Stäbe aus Edelstahl mit $D = 12 \text{ mm}$ Durchmesser und einer Länge von $L = 940 \text{ mm}$ wurden eingesetzt in Sechskantkanäle, die außer beim Wabengitter mit Kunstharz in Rohre um einen Sechskantkern gegossen waren. Durch die geschliffene Oberfläche der Kerne wurde eine einwandfreie glatte Kanaloberfläche erzielt. Für das Wabengitter stand ein aus Edelstahl gefertigter Sechskantkanal zur Verfügung. Der Durchsatz durch die Teststrecke wird mit einem induktiven Durchflößmesser, die Druckdifferenzen bis etwa 18 m WS mit U-Rohr-Manometern gemessen. Als Sperrflößigkeiten werden Dichloräthan, Bromform und Quecksilber gegen Wasser verwendet. Höhere Differenzdröcke werden durch Einzelmessung der statischen Dröcke mit entlöfteten Rohrfedermanometern (Kl. 0,1) bestimmt. Die Wassertemperatur wird mit zwei Quecksilberfederthermometern gemessen.

3. Auswertungsverfahren

Der statische Druckabfall $\Delta p = p_2 - p_1$ für inkompressible, isotherme Ströpfung wird über eine Länge ΔL bei eingestelltem Durchsatz Q gemessen. Innerhalb der Meßlänge sind n Abstandshaltergitter angeordnet. Dann setzt sich der gemessene Druckverlust Δp zusammen aus dem Reibungsdruckverlust im Stabbündel Δp_B und dem Druckabfall am Abstandshaltergitter Δp_A zu:

$$\Delta p = \Delta p_B + n \Delta p_A \quad (1)$$

Der Reibungsdruckverlust im Stabbündel ist mit der Dichte des Ströpfungsmittels ρ , der Ströpfungsgeschwindigkeit im Stabbündel w_B und dem hydraulischen Durchmesser D_h definiert zu

$$\frac{\Delta p_B}{\Delta L} = \lambda_B \frac{\rho}{2D_h} w_B^2 \quad (2)$$

mit λ_B als dem Druckverlustbeiwert des Stabbündels. Der hydraulische Durchmesser ergibt sich aus dem Ströpfungsquerschnitt F_S und dem benetzten Umfang (einschließend der Kanalwand) U_S zu $D_h = 4 F_S / U_S$. Der Druckabfall am Abstandshaltergitter wird auf die Ströpfungsgeschwindigkeit im Stabbündel w_B bezogen. Es ist

$$\Delta p_A = C_B \frac{\rho}{2} w_B^2 \quad (3)$$

mit C_B als dem Widerstandsbeiwert des Abstandshaltergitters.

Aus (1) ergibt sich mit (2) und (3)

$$\frac{\Delta p}{\Delta L} = \lambda_B \frac{\rho}{2D_h} w_B^2 + \frac{n}{\Delta L} C_B \frac{\rho}{2} w_B^2$$

bzw.

$$\frac{\Delta p}{\Delta L} = \frac{\rho}{2} w_B^2 \left[\frac{\lambda_B}{D_h} + \frac{n}{\Delta L} C_B \right] = \frac{\rho}{2} w_B^2 \frac{\lambda_{\text{äqui}}}{D_h} \quad (4)$$

mit dem äquivalenten Druckverlustbeiwert

$$\lambda_{\text{äqui}} = \lambda_B + \frac{n}{\Delta L} C_B D_h \quad (5)$$

Mit den Meßgrößen und der Dichte des Strömungsmittels ρ , die über eine Temperaturmessung bestimmt wird, ergibt sich der äquivalente Druckverlustbeiwert nach (4) wegen $w_B = Q/F_s$ zu

$$\lambda_{\text{äqui}} = \frac{\Delta p / \Delta L}{\frac{\rho}{2} D_h \left(\frac{Q}{F_s} \right)^2} \quad (6)$$

Die Reynoldszahl Re_B der Strömung im Stab Bündel ergibt sich mit der kinematischen Viskosität ν zu

$$Re_B = \frac{w_B D_h}{\nu} \quad (7)$$

Wird der Druckabfall Δp ohne Abstandshalter ($n = 0$) gemessen ($\Delta p = \Delta p_B$), so erhält man nach (6) den Druckverlustbeiwert des Stabbündels λ_B . Bei gleicher Reynoldszahl läßt sich dann nach (5) der Widerstandsbeiwert C_B errechnen:

$$C_B = (\lambda_{\text{äqui}} - \lambda_B) \frac{\Delta L}{n D_h} \quad (8)$$

4. Untersuchte Abstandshaltergitter und Ergebnisse

Aus Tab.1 können die Parameter der untersuchten Anordnungen entnommen werden.¹

4.1. Dreieckgitter

Das Dreieckgitter zeigt Fig. 1. Die Wanddicke der Abstandshalterelemente ist $s = 0,5$ mm. Die einzelnen Gitterebenen im Abstand von $T = 270$ mm sind untereinander durch 23 Drähte von $d_s = 2$ mm Durchmesser verbunden. Der statische Druckabfall wurde gemessen für eine Länge von $\Delta L = 550$ mm, in der $n = 2$ Abstandshalterebenen enthalten waren. Die Meßergebnisse für den Druckverlustbeiwert ohne und mit zwei Abstandshaltergittern sind in Fig. 2 über der Reynoldszahl des Stabbündels aufgetragen.

4.2. Drahtschleifen

Fig. 3 zeigt die Abstandshalterung durch Drahtschleifen. Die Drähte von $d_s = 2$ mm Durchmesser sind zu Schleifen gebogen, durch die die Stäbe eingefädelt werden. Die Abstandshalterebenen im Abstand $T = 280$ mm werden durch Anschweißen der zentralen Drahtschleife an die zugehörigen Stäbe in ihrer axialen Position gehalten. Die übrigen Drahtschleifen liegen treppenartig aufeinander, so daß ihre Lage

¹ Dabei bedeuten S den Mittelpunktabstand benachbarter Stäbe und $W = D + a$ mit dem Stabdurchmesser D und dem engsten Abstand a zwischen Kanalwand und Stab.

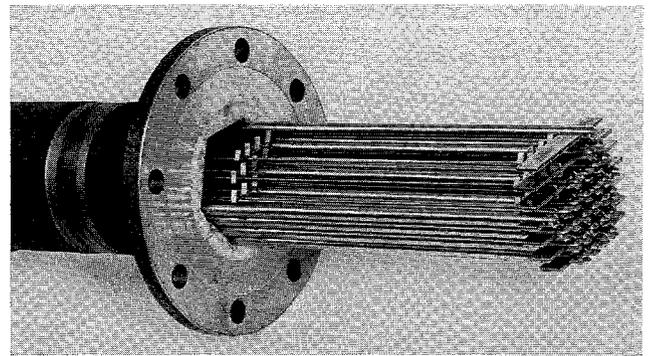


Fig. 1: Dreieckgitter Fig. 1: Triangular-type spacer

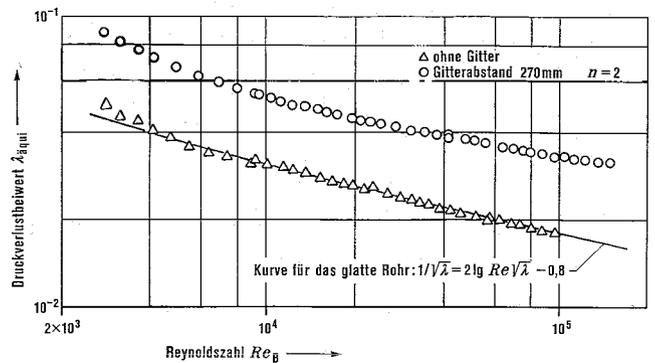


Fig. 2: Dreieckgitter. Gemessene Druckverlustbeiwerte $\lambda_{\text{äqui}}$ über der Reynoldszahl Re_B

Fig. 2: Triangular-type spacer. Experimental pressure drop coefficient $\lambda_{\text{äqui}}$ as a function of Reynolds number Re_B

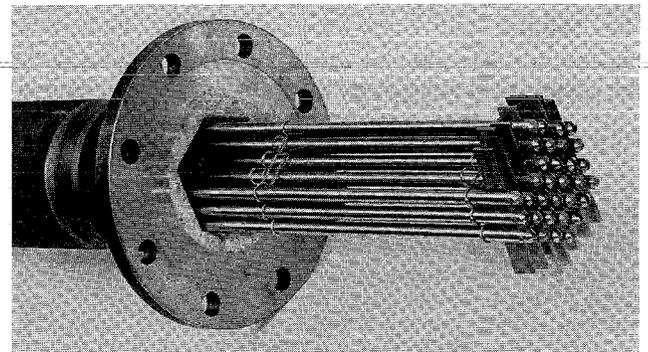


Fig. 3: Drahtschleifen-Abstandshalter Fig. 3: Spacer coils

bestimmt ist. Der Druckabfall wurde für eine Länge $\Delta L = 550$ mm mit zwei Abstandshalterebenen gemessen. In Fig. 4 sind die gemessenen Druckverlustbeiwerte über der Reynoldszahl des Stabbündels aufgetragen.

Tab. 1: Geometrieparameter der untersuchten Anordnungen Table 1: Test parameters

		Dreieckgitter	Drahtschleifen-Abstandshalter	Rhombusgitter	Ringstützgitter	Wabengitter
Stabzahl	n	37	37	37	37	169
Stabdurchmesser	D mm	12	12	12	12	6
Schlüsselweite des Sechskantkanals	SW mm	103,8	103,8	98,1	110,6	105,2
Abstandsverhältnis der Stäbe	S/D	1,392	1,392	1,275	1,417	1,317
Wandabstandsverhältnis	W/D	1,209	1,209	1,275	1,417	1,285
Strömungsquerschnitt	F_S mm ²	5170	5170	4248	6417	4806
Projizierter Gitterquerschnitt	F_V mm ²	1182,3	2771,2	1063,3	1303,8	2120,1
relative Versperrung des Strömungsquerschnitts	$\epsilon = \frac{F_V}{F_S}$	0,229	0,536	0,250	0,203	0,441
hydraul. Durchmesser	D_h mm	11,78	11,78	9,78	14,44	5,412
Gitterhöhe	H mm	5	14	10	8	8
Anzahl der Stützpunkte je Gitter und Stab		3	4	4	4	3

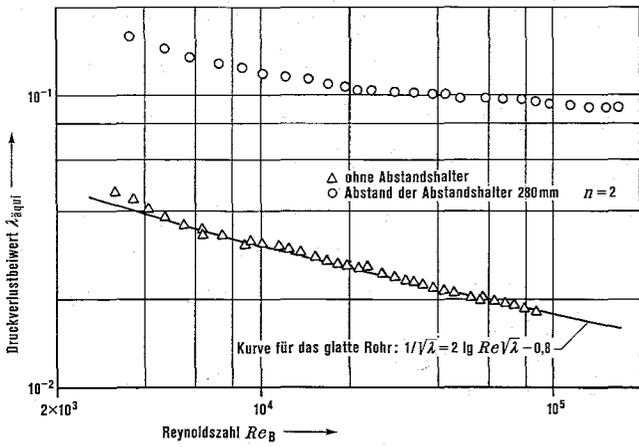


Fig. 4: Drahtschleifen-Abstandshalter. Gemessene Druckverlustbeiwerte $\lambda_{\text{äqui}}$ über der Reynoldszahl Re_B

Fig. 4: Spacer coils. Experimental pressure drop coefficient $\lambda_{\text{äqui}}$ as a function of Reynolds number Re_B

4.3. Rhombusgitter

Beim Rhombusgitter (Fig. 5) wird der Abstand zwischen den Stäben durch Niete in den Blechstreifen von $s = 0,5$ mm Stegdicke festgelegt. Die Rhombusgitter waren im Abstand $T = 450$ mm am zentralen Stab angeschweißt. Die statische Druckdifferenz wurde gemessen für eine Länge $\Delta L = 450$ mm, in der ein Rhombusgitter enthalten war. In Fig. 6 sind die gemessenen Druckverlustbeiwerte über der Reynoldszahl des Stabbündels aufgetragen.

4.4. Ringstützgitter

Das Ringstützgitter zeigt Fig. 7. Die Ringe um die Stäbe haben eine Dicke von $s = 0,65$ mm, die Verbindungsstege zwischen den Ringen sind $s' = 0,5$ mm dick. Die einzelnen Gitter im Abstand $T = 550$ mm sind durch Anschweißen am Zentral-

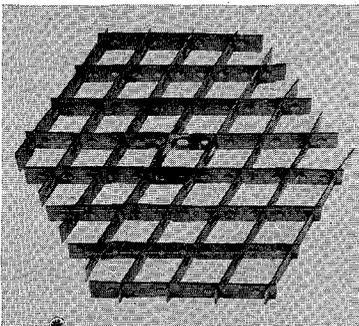


Fig. 5: Rhombusgitter
Fig. 5: Rhombus-type spacer

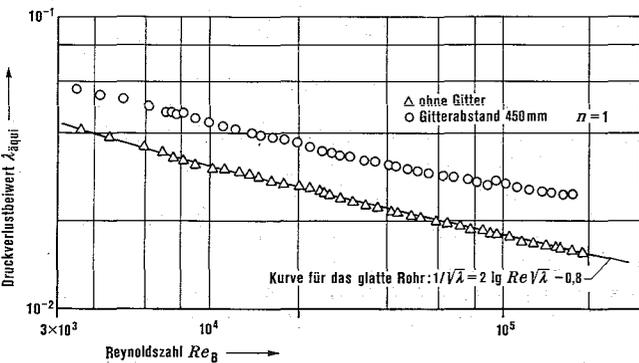


Fig. 6: Rhombusgitter. Gemessene Druckverlustbeiwerte $\lambda_{\text{äqui}}$ über der Reynoldszahl Re_B

Fig. 6: Rhombus-type spacer. Experimental pressure drop coefficient $\lambda_{\text{äqui}}$ as a function of Reynolds number Re_B

stab fixiert. Der Druckabfall würde über eine Länge $\Delta L = 497,5$ mm mit einem Ringstützgitter gemessen. Fig. 8 zeigt die Ergebnisse der Druckverlustmessung: Druckverlustbeiwerte mit und ohne Abstandshaltergitter als Funktion der Reynoldszahl des Stabbündels.

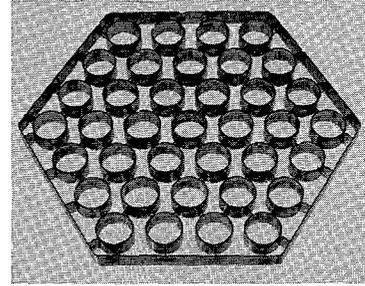


Fig. 7: Ringstützgitter
Fig. 7: Ring-type spacer

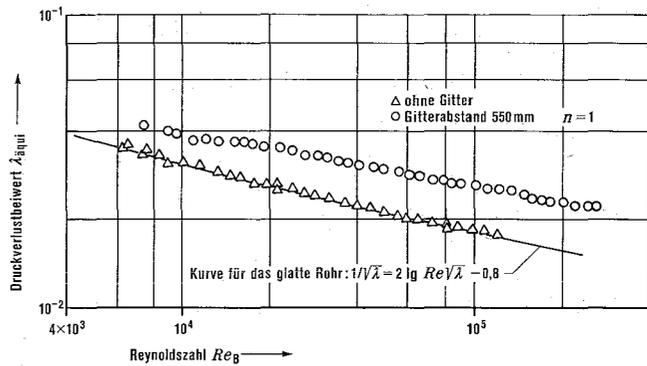


Fig. 8: Ringstützgitter. Gemessene Druckverlustbeiwerte $\lambda_{\text{äqui}}$ über der Reynoldszahl Re_B

Fig. 8: Ring-type spacer. Experimental pressure drop coefficient $\lambda_{\text{äqui}}$ as a function of Reynolds number Re_B

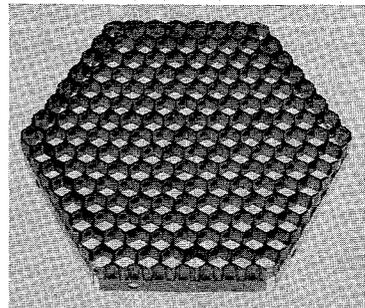


Fig. 9: Wabengitter
Fig. 9: Honey-comb-type spacer

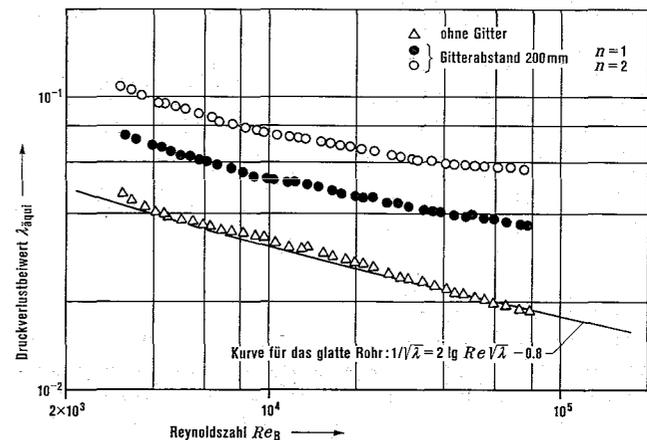


Fig. 10: Wabengitter. Gemessene Druckverlustbeiwerte $\lambda_{\text{äqui}}$ über der Reynoldszahl Re_B

Fig. 10: Honey-comb-type spacer. Experimental pressure drop coefficient $\lambda_{\text{äqui}}$ as a function of Reynolds number Re_B

4.5. Wabengitter

Das Wabengitter (Fig. 9) ist ein Modell des Abstandshaltergitters nach [2]. Untersucht wurde ein Modell in Originalgröße mit 169 Stäben. Die Stegdicke der Gitterbleche beträgt $s = 0,2$ mm. Jeder Stab wird durch 3 aus dem Blech gedrückte Buckel abgestützt. Die einzelnen Gitter im Abstand $T = 200$ mm waren an der Kanalwand befestigt. Der Druckverlust wurde über eine Länge $\Delta L = 400$ mm gemessen; dabei waren ein, zwei bzw. kein Abstandshaltergitter in der Meßlänge enthalten. Die Druckverlustbeiwerte für die Anordnungen mit und ohne Abstandshaltergitter sind in Fig. 10 als Funktion der Reynoldszahl dargestellt.

Zum Vergleich der gemessenen Druckverlustbeiwerte für Stab-bündel mit dem Widerstandsgesetz für glatte Rohre nach Prandtl und Kármán,

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2,0 \log Re \sqrt{\lambda} - 0,8,$$

wurde diese Kurve in die Diagramme eingetragen. Es zeigt sich, daß die Druckverlustbeiwerte für alle untersuchten Stab-bündel mit $S/D = 1,275 - 1,417$ sehr gut mit dem Gesetz für glatte Rohre übereinstimmen.

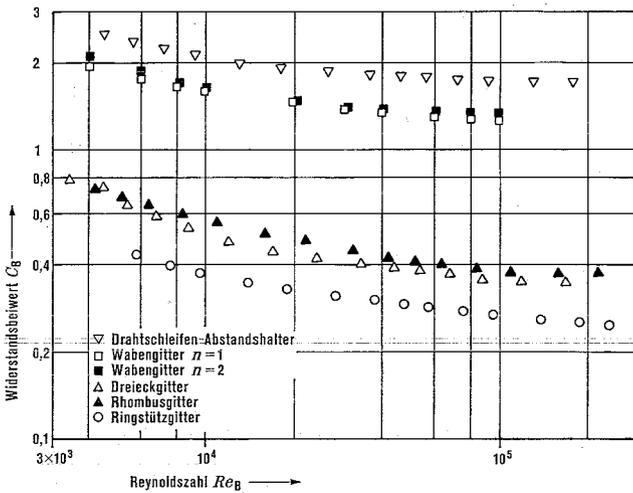


Fig. 11: Widerstandsbeiwert C_D über der Reynoldszahl Re_B
 Fig. 11: Drag coefficient C_D as a function of Reynolds number Re_B

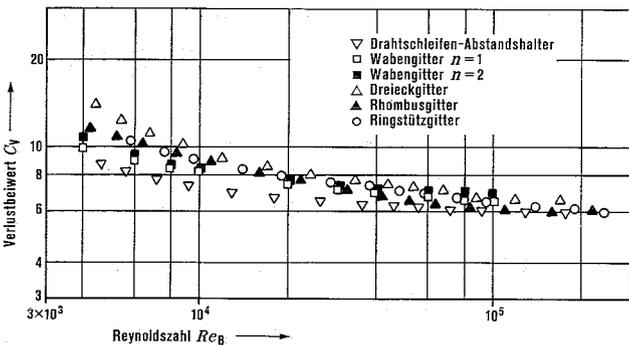


Fig. 12: Modifizierter Verlustbeiwert C_V über der Reynoldszahl Re_B
 Fig. 12: Modified drag coefficient C_V as a function of Reynolds number Re_B

5. Widerstandsbeiwerte

Die Widerstandsbeiwerte C_B der verschiedenen Gitter, die aus den dargestellten Meßergebnissen nach (8) berechnet wurden, sind in Fig. 11 über der Reynoldszahl des Stab-bündels dargestellt. Mit steigender Reynoldszahl fallen die Widerstandsbeiwerte ab; für Reynoldszahlen $Re > 10^5$ werden sie nahezu unabhängig von der Reynoldszahl. Die Widerstandsbeiwerte der einzelnen Gitterabstandshalter sind untereinander sehr unterschiedlich in ihrer Größe. Für die Rey-

noldszahl $Re_B = 10^5$ ergibt sich $C_B = 0,226$ für das Ringstützgitter als kleinster und $C_B = 1,75$ für den Abstandshalter aus Drahtschleifen als größter Wert. Mit dem Widerstandsbeiwert C_B ist der Druckverlust am Abstandshaltergitter gleich dem C_B -fachen Staudruck der Anströmgeschwindigkeit des Gitters.

Die Größe des Druckverlustes am Abstandshaltergitter wird im wesentlichen durch drei Faktoren bestimmt:

1. Durch die Größe der Versperrung des Strömungsquerschnitts und damit
2. durch den Grad der Strömungseinschnürung in der Abstandshalterebene und
3. durch die Lage der Abstandshalterstruktur innerhalb des Strömungsquerschnitts.

Es wird angenommen, daß die relative Versperrung $\varepsilon = F_V / F_S$, mit F_V als dem projizierten Gitterquerschnitt und F_S als dem ungestörten Strömungsquerschnitt, die Haupteinflußgröße für den Druckverlust ist.

Deshalb wird angesetzt:

$$C_B = C_V \varepsilon^2 \tag{9}$$

mit C_V als dem modifizierten Verlustbeiwert.

Fig. 12 zeigt die modifizierten Verlustbeiwerte C_V für alle untersuchten Abstandshalter, aufgetragen über der Reynoldszahl des Stab-bündels. Man sieht, daß alle Ergebnisse relativ gut übereinstimmen, wenn man bedenkt, daß keinerlei geometrische Ähnlichkeit der einzelnen Gitter untereinander besteht.

Die Verlustbeiwerte C_V des Dreieckgitters sind für alle Reynoldszahlen am größten. Die Erklärung dafür ist, daß die Reibungsverluste an den Stützdrähten, die die einzelnen Gitterelemente in Strömungsrichtung untereinander verbinden, zu den Druckverlusten unmittelbar am Gitter hinzugechnet wurden.

Die niedrigsten C_V -Werte ergeben sich für die Drahtschleifen als Abstandshalter. Bei diesem Abstandshalter erhält man durch die ständige Querschnittsänderung bei den Übergängen von Drahtschleife zu Drahtschleife praktisch einen reinen Staudruckverlust.

6. Schlußfolgerungen

Durch Einführen eines modifizierten Druckverlustbeiwertes gelingt es, die Druckverlust-Meßergebnisse der untersuchten Gitterabstandshalter für Stab-bündel in hexagonaler Anordnung in befriedigender Weise zusammengefaßt darzustellen. Geht man davon aus, daß sich andere Gitterkonstruktionen im Hinblick auf den Druckverlust ähnlich verhalten, kann man bei Auslegungsrechnungen von Reaktorkernen für den Druckverlust am Abstandshaltergitter näherungsweise setzen:

$$\Delta P_A = C_V \varepsilon^2 \frac{\rho}{2} w_B^2$$

mit

$$\varepsilon = \frac{F_V}{F_B}$$

als der relativen Versperrung des Strömungsquerschnitts durch den Abstandshalter und

$$C_V = 6-7$$

für Reynoldszahlen im Stab-bündel $Re_B > 5 \cdot 10^4$.

Für die Bereitstellung der Teststrecken danke ich den Herren G. Gering und K. Kleefeld (Institut für Reaktorentwicklung), sowie Herrn G. Wörner für die Durchführung der Messungen.

(Eingegangen am 24. 7. 1969)

Literatur

[1] Rehme, K.: Druckverlust in Stab-bündeln mit Spiraldraht-Abstandshaltern. Forsch. Ing.-Wes. **35** (1969) Nr. 4
 [2] Gast, K., E. G. Schlechtendahl: Schneller natriumgekühlter Reaktor Na-2. Bericht KFK 600 (EUR 3706.d) der Gesellschaft für Kernforschung mbH., Karlsruhe (Oktober 1967)