

KERNFORSCHUNGSZENTRUM

KARLSRUHE

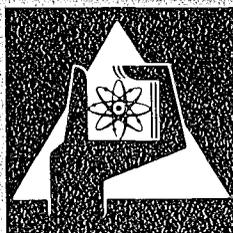
April 1977

KFK 2441

Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik
Projekt Schneller Brüter

**Experimentelle Untersuchungen der turbulenten
Strömung in einem Wandkanal eines Stabhündels**

K. Rehme



**GESELLSCHAFT
FÜR
KERNFORSCHUNG M.B.H.**

KARLSRUHE

Als Manuskript vervielfältigt

Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.
KARLSRUHE

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

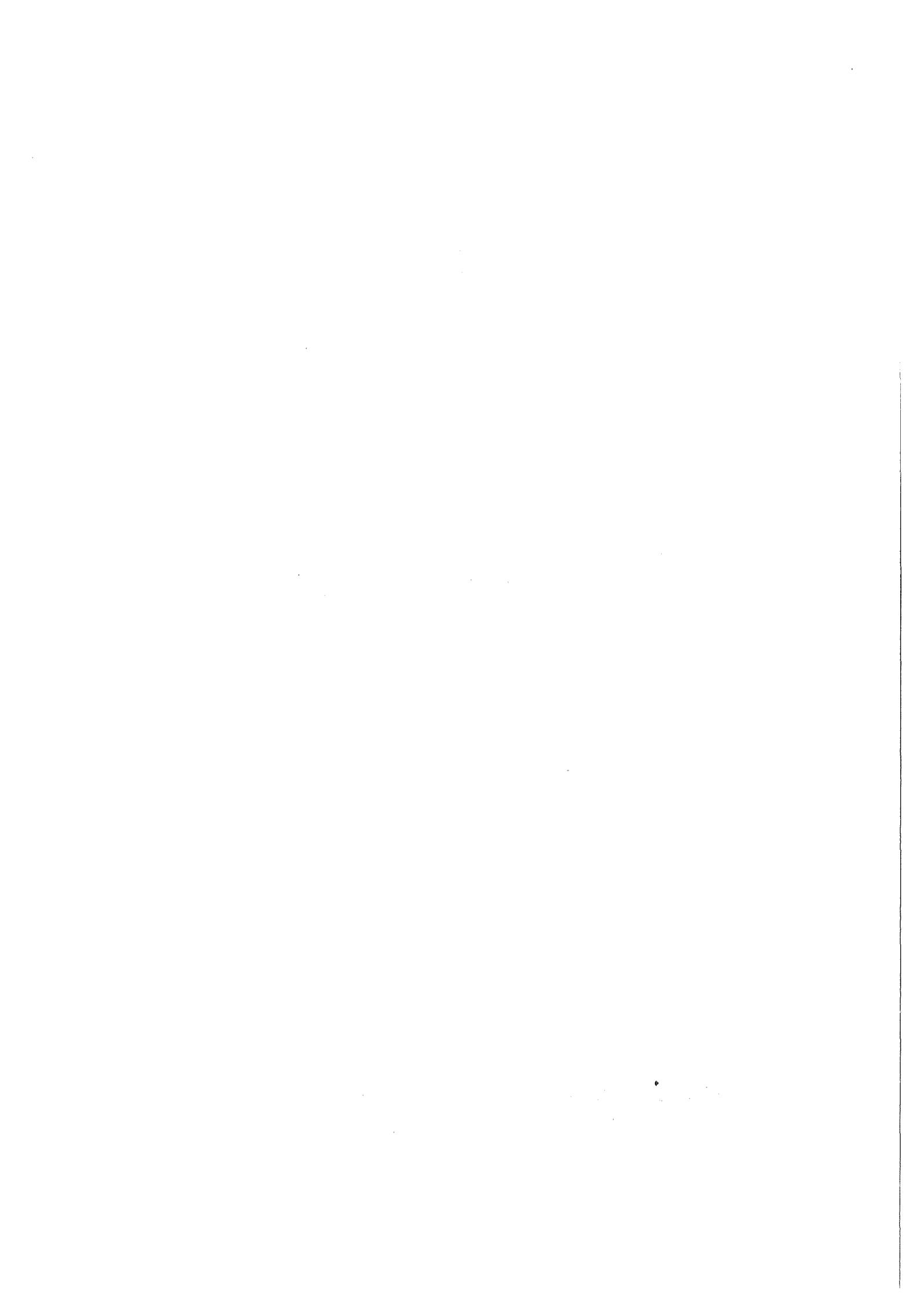
KFK 2441

Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik
Projekt Schneller Brüter

Experimentelle Untersuchungen der turbulenten Strömung
in einem Wandkanal eines Stabbündels

K. Rehme

Gesellschaft für Kernforschung mbH., Karlsruhe



Experimentelle Untersuchungen der turbulenten Strömung in einem Wandkanal eines Stabbündels

Zusammenfassung

Um Informationen über die Transporteigenschaften turbulenter Strömungen durch Unterkanäle von Stabbündeln zu erhalten, wurde eine experimentelle Untersuchung durchgeführt. Detaillierte Meßwerte über die Verteilungen der mittleren Strömungsgeschwindigkeit, der Turbulenzintensitäten in allen Richtungen und damit der kinetischen Energie der Turbulenz, sowie der Schubspannungen in Richtung senkrecht und parallel zu den Wänden und der Wandschubspannungen wurden für einen Wandkanal eines Stabbündels aus vier parallelen Stäben gewonnen. Das Stababstandsverhältnis war gleich dem Wandabstandsverhältnis, es betrug 1.07, die Reynolds-Zahl bei der Untersuchung war $Re = 8.7 \times 10^4$. Aus den Meßwerten wurden die Wirbelviskositäten in Richtung senkrecht und parallel zu den Wänden berechnet. Damit wurden erstmals detaillierte Meßwerte für die Wirbelviskosität parallel zur Wand in Stabbündeln erhalten.

Die Meßergebnisse werden mit VELASCO-Rechenergebnissen verglichen. Hinsichtlich der Geschwindigkeits- und Wandschubspannungsverteilungen ergeben sich erhebliche Unterschiede. Eine Justierung des VELASCO-Codes an die neuen Meßwerte verlief nicht erfolgreich; die Ursachen der Diskrepanzen zwischen Rechnung und Messung werden diskutiert.

Experimental investigation of the turbulent flow through a wall
subchannel of a rod bundle

Abstract

An experimental investigation was performed to establish reliable information on the transport properties of turbulent flow through subchannels of rod bundles. Detailed data were measured of the distributions of the time-mean velocity, the turbulence intensities in all directions and, thus, the kinetic energy of turbulence, of the shear stresses in the directions normal and parallel to the walls, and of the wall shear stresses for a wall subchannel of a rod bundle of four rods in parallel. The pitch-to-diameter ratio of the rods equal to the wall-to-diameter ratio was 1.07, the Reynolds number of this investigation was $Re = 8.7 \times 10^4$.

On the basis of the data measured the eddy viscosities in the directions normal and parallel to the walls were calculated. Thus, detailed data of the eddy viscosities in direction parallel to the walls in rod bundles were obtained for the first time.

The experimental results were compared with predictions by the VELASCO-code. There are considerable differences between calculated and measured data of the time-mean velocity and the wall shear stresses. Attempts to adjust the VELASCO-code against the measurements were not successful.

The reasons of the discrepancies are discussed.

1. Problemstellung

Zur theoretischen Vorausberechnung von turbulenten Strömungen in Stabbündeln ist man bislang darauf angewiesen, experimentelle Erfahrungen, die an einfachen Geometrien gewonnen wurden, auf Stabbündel zu übertragen. So werden vorwiegend Kenntnisse aus Strömungen durch Kreisrohre und konzentrische Ringspalte für die Berechnung von Strömungen durch Stabbündel verwendet. Die Rechenmethoden, die praktische Bedeutung haben und am weitesten entwickelt sind, benutzen zur Beschreibung der turbulenten Bewegungsvorgänge und ihrer Wirkungen, anisotrope Wirbelviskositäten (eddy diffusivities). Die Anisotropie des Impulsaustausches wird durch unterschiedliche Wirbelviskositäten in zur Wand senkrechter Richtung ϵ_r

$$\epsilon_r = \frac{-\overline{u'v'}}{\partial \bar{u} / \partial r} \quad (1)$$

und zur Wand paralleler Richtung ϵ_ϕ

$$\epsilon_\phi = \frac{-\overline{u'w'}}{\frac{1}{r} \frac{\partial \bar{u}}{\partial \phi}} \quad (2)$$

beschrieben.

Während für radiale Wirbelviskositäten einige experimentelle Daten insbesondere aus Messungen an Kreisrohren, parallelen Platten und Ringspalten bekannt sind, fehlen solche Informationen für azimutale Wirbelviskositäten fast völlig. Dies liegt vor allem daran, daß azimutale Wirbelviskositäten in Strömungen durch diese Kanäle nicht gemessen werden können, weil aus Symmetriegründen kein Geschwindigkeitsgradient in Umfangsrichtung auftritt.

Andererseits ist die Kenntnis des Verhältnisses von azimutaler zu radialer Wirbelviskosität $\epsilon_\phi / \epsilon_r = n$, des Anisotropiefaktors, für die Berechnung von turbulenten Strömungen in nichtkreisförmigen Kanälen von großer Bedeutung, wie Berechnungen von Eifler und Nijsing /1/ für unendlich ausgedehnte Stabbündel zeigen. Die Änderung der Wandschubspannung, sowie die Variation der mittleren Strömungsgeschwindigkeit und damit die Änderung der Wandtempera-

Zum Druck eingereicht am 12.4.1977

tur am Umfang eines Stabes wird ganz erheblich durch die Größe des Anisotropiefaktors beeinflusst. Die Tabelle 1 zeigt als Beispiel für einen Zentralkanal mit dem Stababstandsverhältnis $P/D = 1.1$ diese Änderungen nach den Berechnungen von Eifler und Nijsing für eine Reynoldszahl $Re = 3 \cdot 10^4$.

n	1	10	30
τ_{wmax}	1.86	1.18	1.06
τ_{wmin}			
$\frac{\bar{U}_{m\phi max}}{\bar{U}_{m\phi min}}$	1.65	1.26	1.18

Tab. 1 Einfluß des Anisotropiefaktors der Wirbelviskosität n auf die Variation der Wandschubspannung und der mittleren Geschwindigkeit am Stabumfang. /nach Eifler und Nijsing/

Über die tatsächliche Größe des Anisotropiefaktors ist fast nichts bekannt; darüberhinaus ist völlig offen, ob der Anisotropiefaktor n unabhängig vom Ort in der Strömung ist. Die einzigen bekannten Messungen von n an Stab-bündeln wurden von Kjellström /2/ durchgeführt. Die Streubreite der wenigen Ergebnisse ist jedoch beträchtlich und Schlußfolgerungen über die Abhängigkeit des Anisotropiefaktors von der Geometrie aufgrund dieser Ergebnisse sind nicht möglich. Für die radiale Wirbelviskosität gibt es außer den Kjellström'schen Ergebnissen einige Meßergebnisse für Stabbündel in der Dissertation von Trupp /3/.

Um schlüssige Angaben über den Anisotropiefaktor und dessen Ortsabhängigkeit machen zu können, sind detaillierte Messungen daher unerlässlich.

2. Meßaufbau

Da zur Bestimmung der Wirbelviskositäten die Schubspannungsverteilung in der Strömung gemessen werden muß, kommen nur anemometrische Verfahren in Betracht; es wurde deshalb die Hitzdraht-Meßtechnik als Meßverfahren ausgewählt.

Außerdem wurde entschieden, Messungen in Wand- und Eckkanälen von Stabbündeln durchzuführen. Hierfür waren im wesentlichen drei Gründe ausschlaggebend:

- 1) die Temperaturgradienten sind an der Kanalwand besonders groß, daher ist die genaue Kenntnis der Transportkoeffizienten hier besonders wichtig,
- 2) Messungen an Zentralkanälen sind nur schwer durchzuführen, weil die Strömung in den Zentralkanälen stets durch notwendigerweise vorhandene Kanalwände beeinflusst wird, wie viele Beispiele zeigen /2,3,4,5/,
- 3) Messungen an "quasi"-Zentralkanälen waren von Kjellström /2/ begonnen worden. Diese Untersuchungen wurden inzwischen abgebrochen.

Damit bei der Länge eines Hitzdrahtes ($L_H = 1.0 - 1.2 \text{ mm}$) die Gradienten der Schubspannungen genügend genau bestimmt werden können, muß diese Länge klein gegenüber den Kanalabmessungen sein. Daher wurde für die Untersuchungen eine Vergrößerung der Stabbündelgeometrie von etwa 25:1 gewählt, der Durchmesser der verwendeten Stäbe beträgt $D = 157.5 \text{ mm}$. Die Stäbe sind aus Aluminiumrohren hergestellt. Die Oberfläche der Rohre wurde bearbeitet. Die gemessene mittlere Rauhtiefe beträgt nach der Bearbeitung $0.6 \text{ }\mu\text{m}$.

Als Kanal wurde ein Plexiglaskanal von rechteckigem Querschnitt ausgewählt. Dieser Kanal ist so konstruiert, daß eine kurze Seite des Rechtecks verstellbar ist. Dadurch ist es möglich, unterschiedliche Anordnungen mit dem gleichen Kanal zu untersuchen. Der Kanal ist ebenso wie die Stäbe aus 4 Teilen von je $L_{Ki} = 1750 \text{ mm}$ zu einer Gesamtlänge von $L_K = 7000 \text{ mm}$ zusammengesetzt. Die Kanalabmessungen betragen für die feste Breite $b = 180.2 \text{ mm}$, die Länge des Rechteckquerschnittes ist verstellbar zwischen $a = 600$ und 900 mm (Abb. 1). Vier parallele Stäbe werden in den Kanal eingesetzt; diese Zahl wurde gewählt, damit der Wandkanal, in dem die Messungen durchgeführt werden, Wandkanälen benachbart ist, so daß Beeinflussungen der Strömungsverteilung durch den Eckkanal klein sind.

Das Abstandsverhältnis der Stäbe wurde zu $P/D = 1.07$ festgelegt. Dieses kleine Abstandsverhältnis wurde für den ersten Versuch gewählt, damit deutlich meßbare Variationen der Wandschubspannungsverteilung sowie eindeutig meßbare Gradienten von Geschwindigkeits- und Schubspannungsverteilung vor allem in Umfangsrichtung auftreten. Der Wandabstand wurde gleich dem Stababstand gewählt, so daß $W/D = P/D$ ist.

Abb. 2 zeigt eine Ansicht der Gesamtanlage. Die Gesamtlänge des Kanals von $L_K = 7$ m ergibt folgende Verhältnisse von Länge zu Durchmesser:

$$L_K/D_{\text{Stab}} \approx 45$$

$$L_K/D_{\text{hWand}} \approx 143.$$

Die Messungen selbst werden im offenen Austritt des Kanals durchgeführt und zwar etwa 30 mm vom Austritt entfernt im Kanalinneren. Dadurch ist der gesamte Meßaufbau leicht zugänglich und die Kontrolle der Justierung von Meßsonde zum Kanalquerschnitt ist einfach. Wegen des offenen Austritts werden die Versuche mit Luft durchgeführt. Über einen Schalldämpfer und ein Luftfilter (1μ Partikelgröße) wird die Luft mit Hilfe eines Radiallüfters ($\dot{m} = 4.2$ Kg/s; $\Delta p = 0.1$ bar) durch die Teststrecke gedrückt. Dabei ist am Eintritt in die Teststrecke ein Wabengitter (Aeroweb, Fa. Ciba) angebracht, um eine möglichst gleichmäßige und drallfreie Eintrittsströmung zu erhalten. Die Stäbe sind in zwei zueinander senkrechten Richtungen verschiebbar, so daß auch unterschiedliche Kanalkonfigurationen eingestellt werden können.

3. Meß- und Auswerteverfahren

Meßgrößen dieser Untersuchung sind:

- a) der zeitliche Mittelwert der Strömungsgeschwindigkeit nach Ort und Richtung,
- b) die turbulenten Schubspannungen in radialer und azimuthaler Richtung (vom Rohr aus gemessen), sowie senkrecht und parallel zur Wand (von der Kanalwand aus gemessen), als Korrelation der entsprechenden Schwankungsgeschwindigkeiten,
- c) die Verteilung der Turbulenzintensitäten in den drei Richtungen und
- d) die Verteilung der Wandschubspannungen.

Damit alle Größen und ihre Gradienten hinreichend genau bestimmt werden können, wurde ein Netz von Meßpunkten über den betrachteten Querschnitt gelegt.

Abb. 3 zeigt die gewählte Verteilung der Meßpunkte. Gemessen wird am Rohrfumfang je 5 grd und längs der Kanalwand im Abstand von 5 mm, wobei senkrecht zur Wand die Zahl der Meßpunkte variabel ist. Je nach der Breite des Strömungsquerschnittes wird jeweils an 10 - 20 Meßpunkten gemessen; die Abstände zwischen den einzelnen Meßpunkten sind in Wandnähe kleiner als weiter entfernt von der Wand. Die Gesamtzahl der Punkte beträgt etwa 500.

Die Messungen werden in folgender Reihenfolge durchgeführt: Zunächst wird mit einem Pitotrohr der zeitliche Mittelwert der Strömungsgeschwindigkeit in einer Traverse senkrecht zur Wand bestimmt. Die Pitotrohre werden aus Injektionsnadeln ($d_p = 0.6$ mm Außendurchmesser) hergestellt. Dazu werden die Pitotrohre sehr sorgfältig bearbeitet, damit die Anströmfläche des Pitotrohres möglichst genau senkrecht zur Rohrachse ist und keine Grate vorhanden sind, die die Meßgenauigkeit beeinflussen. Am Schluß dieser Pitotrohr- Traverse wird das Pitotrohr gegen die Kanal- bzw. Rohrwand gefahren und die Wandschubspannung bestimmt (Preston-Rohr /6/).

Daran anschließend erfolgt die Messung der Turbulenzverteilung mit Hitzdrähten (DISA Miniatur-Hitzdrahtsonden). Hierfür wird in den Ebenen senkrecht zur Wand und parallel zur Wand nacheinander jeweils eine Traverse mit einem graden Hitzdraht (Typ 55P11) sowie mit einem schrägen Hitzdraht (Typ 55P12) in zwei verschiedenen Anströmrichtungen gemessen.

Abb. 4 zeigt die vorhandene Meßwertkette. Alle Meßwerte werden über eine Datenerfassungsanlage registriert. Die Spannungen, die dem zeitlichen Mittelwert der Strömungsgeschwindigkeit und dem RMS-Wert der Schwankungsgeschwindigkeit entsprechen werden auf Kontrollgeräten beobachtet. Die Meßwertfassung wird nach Erreichen des Beharrungszustandes manuell gestartet. Gleichzeitig wird die Staudruckanzeige eines feststehenden Pitotrohres, das in einem Eckkanal eingebaut ist, registriert, nachdem der Druck mittels eines Druckumformers in eine entsprechende Spannung umgesetzt wurde.

Die Anzeige dieses fest eingebauten Pitotrohres wird benutzt, um eine Mengenregelung vorzunehmen. Die Messung aller Werte (Pitotrohr, 6 Hitzdrahtpositionen) in den ca. 500 Meßpunkten, rd. 3500 Einzelmessungen, nimmt etwa 3 Monate in Anspruch. Man muß dabei bedenken, daß die Meßsonden nach jeder Traverse stets wieder neu justiert werden müssen. In dieser langen Zeit von

3 Monaten gibt es erhebliche Änderungen der Dichte der Luft am Austritt aus der Teststrecke, die wetterbedingt sind. Diese Dichteänderungen werden mit Hilfe des drehzahlregelbaren Antriebsmotors für den Radiallüfter ausgeregelt. Dies geschieht durch eine Einstellung der Gebläsedrehzahl auf eine stets gleiche Austrittsgeschwindigkeit am fest installierten Pitotrohr unter Berücksichtigung von Austrittstemperatur und Barometerstand.

Die Meßwerte werden auf einen Lochstreifen gestanzt und es wird ein Kontrollschrieb hergestellt. Zur Auswertung werden die Daten auf Lochkarten übertragen, damit evtl. nötige Korrekturen vorgenommen werden können.

Die Auswertung der Geschwindigkeitsmessungen erfolgt unter Berücksichtigung der Luftfeuchtigkeit. Außerdem wurden die Meßwerte nach McMillan /7/ bezüglich des Meßortes, sowie nach Eifler /8/ bezüglich des Einflusses der Turbulenzintensität korrigiert, wie in /9/ beschrieben.

Die Preston-Rohr-Messungen wurden mit den Beziehungen nach Patel /10/ ausgewertet.

Die Ermittlung der Turbulenzverteilung wird mit einem Rechenprogramm vorgenommen. Hierfür wird das von Kjellström /2/ vorgeschlagene Verfahren verwendet. Aufgrund der sechs Hitzdrahtmessungen mit verschiedenen Anström winkeln des Hitzdrahtes kann im Prinzip der komplette Reynoldsche Spannungstensor bestimmt werden. Man erhält ein lineares Gleichungssystem mit den sechs unbekanntem Spannungen:

$$\frac{2 \bar{E}}{\bar{E}^2 - E_0^2} \overline{E'^2} = \frac{c^2}{U_p^2} \left[k_{11} \overline{u'^2} + K_{12} \overline{u'v'} + K_{13} \overline{u'w'} + K_{22} \overline{v'^2} + K_{23} \overline{v'w'} + K_{33} \overline{w'^2} \right] \quad (3)$$

Hierin sind \bar{E} der zeitliche Mittelwert der Spannung am Hitzdraht, E_0 die Spannung bei Strömungsgeschwindigkeit Null und $\overline{E'^2}$ der Effektivwert der Spannungsschwankungen. U_p ist die Gesamtgeschwindigkeit, die mit dem Pitotrohr gemessen wird und c ist der Eichkurvenexponent des Hitzdrahtes. Die Koeffizienten K_{ij} sind Funktionen der Komponenten der Gesamtgeschwindigkeit \bar{u} , \bar{v} , \bar{w} , sowie des Anström winkels des Hitzdrahtes ψ und des Winkels α , den der Hitzdraht mit der Hauptströmungsrichtung bildet (schematisch dargestellt in Abb. 5). Außerdem wird die Anströmrichtungsempfindlichkeit k des Hitzdrahtes nach Messungen von Kjellström und Hedberg /11/ an DISA-Hitzdrähten berücksichtigt. Es ist also

$$K_{ij} = g(\bar{u}, \bar{v}, \bar{w}, \psi, \alpha, k). \quad (4)$$

Bei der Lösung des Gleichungssystems ergibt sich allerdings die Schwierigkeit, daß die Koeffizienten der Schubspannung $\overline{v'w'}$ sehr viel kleiner sind als die übrigen Koeffizienten. Dadurch wirken sich Meßunsicherheiten bei der Bestimmung der Komponenten der Gesamtgeschwindigkeit sehr stark aus. Diese Schwierigkeit, die bereits von Kjellström festgestellt wurde, wird dadurch umgangen, daß die Schubspannung $\overline{v'w'}$ vernachlässigt wird.

Mit einem weiteren Programm wird der Mittelwert der Strömungsgeschwindigkeit über den Strömungsquerschnitt durch Integration bestimmt. Diese sog. Durchsatzgeschwindigkeit muß durch Integration bestimmt werden, weil in der Anlage kein Durchflußmeßgerät vorhanden ist. Schließlich werden aus den ermittelten Schubspannungen und Strömungsgeschwindigkeiten die Geschwindigkeitsgradienten und Wirbelviskositäten in radialer und azimuthaler Richtung ermittelt.

Die Fehlermöglichkeiten bei Hitzdrahtmessungen sind zahlreich. Zunächst einmal ist es wichtig, die Meßsonden möglichst genau zu positionieren. Hierzu wird folgendermaßen vorgegangen /12/: Die Rohr- bzw. Kanalwand werden gegenüber einer demontierbaren festen Fläche mittels Meßuhren (Genauigkeit 10 µm) ausgemessen. Danach wird ein Meßmikroskop derart gegen die Meßfläche gefahren, daß die Oberfläche innerhalb der Tiefenschärfe des Mikroskops liegt. In dieser Position wird das Mikroskop justiert und die Meßfläche demontiert (Abb. 6). Dann wird die Meßsonde (Pitotrohr bzw. Hitzdraht) vor das Mikroskop gefahren. Da die Tiefenschärfe des Meßmikroskops nur 5 µm beträgt, wird die Position von Sonde und Kanal auf besser als 20 µm festgelegt. Das Verfahren wird in zwei zueinander senkrechten Richtungen durchgeführt. Dabei wird gleichzeitig der Winkel α gemessen, den der Hitzdraht mit der Hauptströmungsrichtung (Rohrachse) bildet. Mit der Winkelmeßvorrichtung des Mikroskops ist eine Genauigkeit von $\pm 0.2^\circ$ möglich. Bei der Einstellung der Sonden wird die Dicke der Sonde berücksichtigt, außerdem kann unter dem Meßmikroskop auch die genaue senkrechte bzw. parallele Lage des Hitzdrahtes zur Wand durch Drehen der Sonde eingestellt werden.

Das Verfahren der Sonden geschieht mit einem Kreuzsupport in x/y-Richtung und mit Meßtischen in r/φ-Richtung. Diese Meßtische sind dabei auf dem Rohr angebracht (Abb. 7). Die thermische Ausdehnung des Meßkanals wird mit Meßuhren überwacht und Abweichungen werden korrigiert.

Zur Wandschubspannungsmessung mittels Preston-Rohres wird das Pitotrohr gegen die Wand gefahren und dabei visuell eingestellt. Diese Einstellung gegen einen Lichtspalt ist auf besser als 20 μm möglich. Durch die visuelle Einstellung werden Toleranzen des Rohrdurchmessers ausgeglichen und auf diese Weise das Pitotrohr sicher zum Kontakt mit der Wand gebracht.

Abgesehen von den Gerätefehlern der verwendeten Meßinstrumente - hier ist besonders das Effektivwert-Voltmeter hervorzuheben - hat der Eichkurvenexponent c einen starken Einfluß auf die Meßergebnisse. Der Eichkurvenexponent wird in situ bestimmt anhand der Pitotrohr-Geschwindigkeitsmessungen.

Aus den zahlreichen Meßergebnissen für die verwendeten Hitzdrahtsonden wurden zur Auswertung der Ergebnisse Gleichungen für den Eichkurvenexponenten entwickelt. Dabei wird die Abhängigkeit des Eichkurvenexponenten von dem vorliegenden zeitlichen Mittelwert der Strömungsgeschwindigkeit durch einen Exponentialansatz berücksichtigt zu:

$$C = C_{av} \left[\frac{\rho u}{\rho u_{REF}} \right]^{-0.048} \quad (5)$$

Als Testwert C_{av} werden die Eichkurvenexponenten für den Zustand am fest eingebauten Pitotrohr, das zur Regelung der Versuchsanlage dient, gewählt, nämlich $u_{REF} = 27.74$ m/s.

Es ergeben sich

$$\begin{aligned} C_{av} &= 0.48 \quad \text{für die geraden Hitzdrähte und} \\ C_{av} &= 0.495 \quad \text{für die schrägen Hitzdrähte.} \end{aligned}$$

Die Abhängigkeit des Eichkurvenexponenten von der Strömungsgeschwindigkeit nach Gl. (5) stimmt recht gut mit neueren Ergebnissen von Bruun /13/ in dem hier verwendeten Bereich zwischen 16 - 25 m/s überein, die Absolutwerte liegen jedoch etwa 3 - 4 % höher als die Bruun'schen Meßwerte.

Die starke Drift der Eichkurve bei neuen Hitzdrähten wird dadurch umgangen, daß die Hitzdrähte künstlich gealtert werden, bevor sie zur Messung eingesetzt werden. Die vorgenommene Filterung der Luft wirkt sich auf die Verschmutzung der Hitzdrähte natürlich positiv aus. Zusätzlich werden die Hitzdrähte häufiger in Azeton gereinigt, damit sich die Empfindlichkeit während der Aufnahme eines Versuchs nicht allzu stark ändert. Die Standzeit der Hitzdrähte ist sehr groß. Für einen Versuch (3 Monate) werden maximal 2-3 Hitzdrähte verbraucht.

Eine weitere Fehlerquelle, durch die die Genauigkeit der Meßergebnisse beeinflußt wird, sind die Abstandshalter zur Abstützung der Rohre untereinander und gegen die Kanalwand. In der ursprünglichen Version waren zwei der vier Rohre mit ringförmigen Abstandshaltern versehen worden (Abb. 8), da geplant war, die Rohre insgesamt zu drehen. Die durch dieses Konzept verursachte Asymmetrie der Strömung ließ sich deutlich an den Meßergebnissen erkennen. Deshalb wurde die Anlage umgebaut und es wurden als Abstandshalter nur noch dünne Stifte (3 mm \emptyset) verwendet. Der starke Einfluß von Abstandshaltern besonders auf die Turbulenzverteilung hatte sich bereits bei den vorangegangenen Untersuchungen an konzentrischen Ringspalten gezeigt /14,15/. Außerdem erwies sich als wichtig für die Strömungsverteilung, daß sowohl die Kanäle wie die Rohre genau senkrecht ausgerichtet wurden. Bei den durchgeführten Untersuchungen war eine Ausrichtung auf eine Genauigkeit von 0,2 mm/1 m Länge möglich.

Schließlich soll noch erwähnt werden, daß sich kleine Änderungen des Austrittszustandes ebenfalls auf die Ergebnisse auswirken. Wird z.B. in der Versuchshalle, in der die beschriebene Anlage aufgebaut ist, eine Tür geöffnet, dann ändert sich der Druck so stark, daß die Ergebnisse korrigiert werden müssen. Durch die Beobachtung der Geschwindigkeit am fest eingebauten Pitotrohr kann man solche Störungen leicht erkennen. Ist die Meßwertfassung bereits gestartet worden, wenn ein derartiges Ereignis eintritt, so wird die Messung sofort wiederholt und im Protokoll (Schrieb) vermerkt. Die entsprechende Lochkarte kann später leicht entfernt werden; deswegen wurde der Lochstreifen in Lochkarten umgesetzt. Es versteht sich von selbst, daß bei starkem Wind die Druckschwankungen im Halleninnern durch die Elastizität der Hallenverglasung so stark werden, daß die Messungen eingestellt werden müssen.

4. Ergebnisse

4.1 Zeitlicher Mittelwert der Strömungsgeschwindigkeit und Wandschubspannung

Die mit Pitotrohren gemessenen zeitlichen Mittelwerte der Strömungsgeschwindigkeit sind als Funktion des Wandabstandes y in Abb. 9 für den Teil des Strömungskanals, der dem Stab benachbart ist (r/ϕ) und in Abb. 10 für den der Kanalwand benachbarten Teil (x/y) dargestellt. Als Bezugswert wurde die konstant gehaltene Strömungsgeschwindigkeit am fest eingebauten Pitotrohr verwendet. Die gemessenen Geschwindigkeitsverteilungen zeigen, daß das Minimum der Strömungsgeschwindigkeit jeweils im engsten Spalt zwischen den Stäben ($\phi = 0 \text{ deg}$) bzw. zwischen Stab und Kanalwand ($\phi = 0 \text{ deg}$ bzw. $x = 0 \text{ mm}$) auftritt, wie es zu erwarten ist. Verglichen mit früheren experimentellen Untersuchungen in Stabbündelunterkanälen /2,3,16/ tritt damit keine Asymmetrie der Geschwindigkeitsverteilung auf. Allerdings wurden die früheren Untersuchungen in Zentralkanälen von Stabbündeln durchgeführt, wobei durch die notwendigerweise vorhandenen Kanalbegrenzungen Asymmetrien der Geschwindigkeitsverteilung praktisch unvermeidbar sind. Die höchsten Geschwindigkeiten wurden in dem der Stabwand benachbarten Teil des Wandkanals bei $\phi = 40 \text{ deg}$ gemessen, das ist der Ort, von dem aus benachbarte Kanal- bzw. Stabwände am weitesten entfernt sind. Für den Teil, der der Kanalwand benachbart ist, liegen die Maximalgeschwindigkeiten auf der Symmetrielinie (Abb. 10).

Ein Isotachenbild der gemessenen Geschwindigkeitsverteilung, bezogen auf den Wert am fest eingebauten Pitotrohr, zeigt Abb. 11. Einflüsse von Sekundärströmungen, die bei den Messungen mit dem ursprünglichen Abstandhalter zu beobachten waren /17/, sind nicht zu bemerken.

Mit einem Rechenprogramm wurde aus den Meßwerten die mittlere Strömungsgeschwindigkeit im Wandkanal durch Integration ermittelt.

Diese Geschwindigkeit ergab sich zu

$$U_m = 25.64 \text{ m/s},$$

während am fest eingebauten Pitotrohr eine Geschwindigkeit von

$$u_{REF} = 27.74 \text{ m/s}$$

während der Messungen konstant gehalten wurde.

Mit dem hydraulischen Durchmesser des Wandkanals von

$$D_h = 52.547 \text{ mm}$$

ergibt sich die mittlere Reynoldszahl der Untersuchungen zu

$$Re_m = 8.725 \cdot 10^4.$$

Die aus der Integration der Pitotrohr-Traversen ermittelte lokale mittlere Geschwindigkeit ist in Abb. 12 dargestellt für beide Teile des Kanals, der an der Position der Maximalgeschwindigkeit getrennt wurde. Der Verlauf des Ortes der Maximalgeschwindigkeit im Wandkanal ist im Isotachenbild (Abb. 11) gestrichelt eingetragen.

Es zeigt sich, daß sich die lokale mittlere Geschwindigkeit stark mit der Position an den beiden Wänden ändert. Auffällig ist, daß die maximale lokale mittlere Geschwindigkeit für den der Kanalwand benachbarten Teil des Kanals ($x = 84.4 \text{ mm}$) und für den dem Stab benachbarten Teil ($\phi \approx 40 \text{ deg}$) etwa den gleichen Wert hat. Das gleiche gilt auch für die beiden minimalen Werte der lokalen mittleren Geschwindigkeit im engsten Spalt zwischen dem Stab und der Kanalwand ($x = 0 \text{ mm}$ bzw. $\phi = 90 \text{ deg}$). Einen ähnlichen Verlauf wie die lokale mittlere Geschwindigkeit zeigt der Wandschubspannungsverlauf. Die in Abb. 13 gezeigten mit Prestonrohren gemessenen Wandschubspannungen wurden direkt nacheinander gemessen. Die Übereinstimmung dieser Meßwerte mit den Ergebnissen der Wandschubspannungsmessungen, die während der Versuche zur Geschwindigkeit- und Turbulenzverteilung erhalten wurden, ist gut. Diese Daten sind in den Tabellen aller Meßwerte im Anhang enthalten. Die letzten Werte streuen naturgemäß etwas stärker, da sie während der Meßdauer über 3 Monate gewonnen wurden.

Da keine Druckverlustmessungen längs des Kanals und keine Gesamtmengenmessung durchgeführt wurden, kann der Reibungsbeiwert des Gesamtkanals nicht auf die übliche Weise bestimmt werden. Aus der gemessenen Wandschubspannungsverteilung ist es jedoch möglich, die mittlere Wandschubspannung im Wandkanal zu berechnen und mit der durch Integration der Geschwindigkeitsverteilung gewonnenen mittleren Geschwindigkeit den Reibungsbeiwert des Wandkanals zu ermitteln.

Der Mittelwert der Wandschubspannung ergibt sich für die Stabwand zu

$$\tau_m(r/\phi) = 1.748 \text{ N/m}^2$$

und für die Kanalwand zu

$$\tau_m(x/y) = 1.746 \text{ N/m}^2.$$

Daraus berechnet sich die mittlere Wandschubspannung des Wandkanals zu

$$\tau_m = 1.75 \text{ N/m}^2.$$

Aus der Definition des Reibungsbeiwertes

$$\frac{\Delta P}{\Delta L} = \lambda \frac{1}{D_h} \frac{\rho}{2} U_m^2 \quad (6)$$

und der Kräftebilanz

$$\frac{\Delta P}{\Delta L} \cdot F = \tau_m \cdot U \quad (7)$$

ergibt sich

$$\lambda = \frac{8 \tau_m}{\rho U_m^2}. \quad (8)$$

Mit der mittleren Dichte von $\rho = 1.171 \text{ Kg/m}^3$ erhält man für den Reibungsbeiwert des Wandkanals

$$\lambda = \underline{0.01816}$$

bei der bereits angegebenen Reynoldszahl $Re = 8.725 \cdot 10^4$.

Für das Kreisrohr ergibt sich für diese Reynoldszahl nach der Beziehung von Maubach /18/:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2.035 \lg Re \sqrt{\lambda} - 0.989 \quad (9)$$

der Reibungsbeiwert zu: $\lambda = 0.01873$.

Der im Wandkanal gemessene Reibungsbeiwert liegt also 3.1 % niedriger als der Kreisrohrwert.

Den gemessenen Wert kann man mit dem theoretischen Wert vergleichen, der sich nach der Laminarmethode /19/ ergibt. Dazu wird für den Wandkanal der Geometrieparameter der Laminarströmung für $P/D = 1.071$ und $W/D = 1.072$ nach /20/ zu:

$$K = 58.3$$

bestimmt. Für die Geometrieparameter bei turbulenter Strömung ergibt sich nach /19/

$$A = 1.02$$

$$G^* = 5.64$$

Das Reibungsgesetz für den Wandkanal lautet damit:

$$\sqrt{\frac{8}{\lambda}} = 1.02 \left[2.5 \ln \operatorname{Re} \sqrt{\frac{\lambda}{8}} + 5.5 \right] - 5.64. \quad (10)$$

Man erhält für $\operatorname{Re} = 8.725 \cdot 10^4$ einen Reibungsbeiwert von $\lambda = 0.01781$, der nur um 2 % von dem gemessenen Wert abweicht und damit eine gute Bestätigung der theoretischen Methode für einen Wandkanal liefert. Eine entsprechende gute Übereinstimmung zwischen Meßwert und theoretischem Wert nach der Laminarmethode wurde von Kjellström /2/ bereits für einen Zentralkanal angegeben.

Die gemessenen Geschwindigkeitsprofile sind in dimensionsloser Darstellung in Abb. 14 für die dem Stab benachbarte Strömungszone und in Abb. 15 für die der Kanalwand benachbarte Strömungszone aufgetragen. Die Geschwindigkeit U wurde mit der örtlichen Wandschubspannungsgeschwindigkeit

$$u^* = \sqrt{\frac{\tau_w}{\rho}} \quad (11)$$

zu

$$u^+ = \frac{u}{u^*} \quad (12)$$

und der Wandabstand y zu

$$y^+ = \frac{y \cdot u^*}{\nu} \quad (13)$$

dimensionslos gemacht.

Zum Vergleich ist das bekannte Wandgesetz der Geschwindigkeitsverteilung in Kreisrohren von Nikuradse /21/

$$u^+ = 2.5 \ln y^+ + 5.5 \quad (14)$$

als durchgezogene Linie in die Abbildungen eingetragen.

Die Meßwerte liegen stets niedriger als die Vergleichskurve für das Kreisrohr. Das gleiche Verhalten ergab sich bei den Messungen von Trupp /3/ im Zentralkanal, jedoch zeigen die Ergebnisse im Wandkanal, daß die Steigung der Profile durchweg gleich der Steigung der Nikuradeschen Profile im Kreisrohr ist, während bei den Messungen von Trupp diese Steigung stark variierte und sich im allgemeinen niedriger als für Kreisrohre ergab. Kjellström erhielt bei seinen Messungen im Zentralkanal das gleiche Ergebnis wie bei den neuen Messungen (gleiche Steigung, aber niedrige Werte als beim Kreisrohr), jedoch lagen seine Ergebnisse für die kleinste Reynoldszahl ($Re = 1.49 \cdot 10^5$) höher als dem Kreisrohr-Wandgesetz entspricht. Generell läßt sich sagen, daß sich die Geschwindigkeitsprofile sehr gut durch ein Wandgesetz beschreiben lassen. Die Anpassung an die Meßergebnisse erfordert eine Änderung der Konstanten auf 5.0 statt 5.5; so daß sich ergibt:

$$u^+ = 2.5 \ln y^+ + 5.0. \quad (15)$$

4.2 Turbulenzintensitäten und kinetische Energie der Turbulenz

Die Meßergebnisse der Turbulenzintensitäten in den drei Strömungsrichtungen, sowie der kinetischen Energie der turbulenten Bewegung sind auf zweifache Weise dargestellt. Zunächst werden die Daten für die Bereiche zwischen Wand und Maximalgeschwindigkeit von beiden Wänden aus gesehen ($r/\phi \hat{=} \text{Stabwand}$; $x/y \hat{=} \text{Kanalwand}$) gezeigt. Dabei werden die Intensitäten auf die lokale Wand-

schubspannungsgeschwindigkeit bezogen. In einer weiteren Darstellung werden die Linien gleicher Intensität (Höhenlinien) dargestellt. Diese Bilder wurden mit Hilfe eines Rechenprogramms /21/ auf einem Zeichengerät erzeugt. Wegen der komplizierten Geometrie (r/ϕ und x/y) wurden aus den Meßdaten je zwei Bilder erzeugt, die anschließend an der Linie der Maximalgeschwindigkeit zusammen gesetzt wurden. Daher und auch wegen der z.T. unterschiedlichen Richtungen bei der Messung der Daten an der Trennlinie ergeben sich nicht immer glatte Verläufe der Höhenlinien, sondern es treten Sprünge auf. Dies ist besonders deutlich bei den in der Zeichenebene liegenden Komponenten w und v zu sehen. Bei der Erzeugung der Höhenlinienbilder wurden alle Daten auf einen Referenz-Wert der Wandschubspannungsgeschwindigkeit normiert. Als Normierungsgröße wurde die Wandschubspannung bei $\phi = 5 \text{ grd}$ (r/ϕ) gewählt.

4.2.1 Axiale Turbulenzintensität $\sqrt{u'^2}$

Die gemessenen Verläufe der axialen Turbulenzintensität sind in Abb. 16 für den Bereich nahe der Stabwand und in Abb. 17 für den Bereich nahe der Kanalwand dargestellt. Die Ergebnisse zeigen, daß die axiale Turbulenzintensität - wie erwartet - in Wandnähe am größten ist. Dabei ergeben sich die auf die lokale Wandschubspannungsgeschwindigkeit bezogenen Werte des Maximums zu etwa

$$\frac{\sqrt{u'^2}}{u^*} = 2.0 - 2.4.$$

Diese Werte sind etwa gleich hoch wie die Ergebnisse von Messungen an Kreisrohren /22, 23, 12/ oder etwas höher. Auffallend ist, daß die Werte in Richtung auf die Maximalgeschwindigkeit ($y/L = 1$) wesentlich schwächer abfallen als beim Kreisrohr, für das sich in Rohrmitte ein Wert von ca. 0.8 ergibt. Auch zeigt sich, daß der Abfall stark von der Position an der Stab- bzw. Kanalwand abhängt. So ist z.B. für $\phi = 55 - 70 \text{ deg}$ (Abb. 16) bzw. $x = 30 - 45 \text{ mm}$ (Abb. 17) die axiale Turbulenzintensität praktisch konstant über den Querschnitt, ja sie steigt in einigen Fällen mit der Entfernung von der Wand leicht an. Eine Erklärung für diese Tatsache kann wohl nur in der Wirkung der Sekundärströmung gefunden werden. Dies zeigt sich auch in der Höhenliniendarstellung der axialen Turbulenzintensität (Abb. 18).

Derartige Verläufe waren bei früheren Messungen durch Kjellström /2/ und Trupp /3/ nicht beobachtet worden. Die Ergebnisse von Rowe /24/ zeigen jedoch für einige Fälle die gleiche Tendenz.

4.2.2 Radiale Turbulenzintensität $\sqrt{v'^2}$

Die Turbulenzintensitäten in radialer Richtung (Abb. 19 und 20) liegen im Vergleich zu Kreisrohrmessungen eher etwas niedriger. Generell ergibt sich mit wachsendem Wandabstand ein leichter Abfall der Werte. Es fällt auf, daß einige Meßreihen stärkere Abweichungen von dem generellen Verhalten zeigen (z.B. $\phi = 75$ grad - offensichtlich zu niedrig - oder $\phi = 35$ grad - offensichtlich zu hoch). Eine Erklärung hierfür kann nur in Meßfehlern gefunden werden. Die Meßreihe für $\phi = 75$ grad scheint besonders fehlerhaft zu sein, wie auch weitere Ergebnisse zeigen werden. Es war nicht möglich, Nachmessungen vorzunehmen, da die Versuchsanlage bereits abgebaut war, als die Auswertung der Daten diese Unstimmigkeiten ergab. Aufgrund der geringen Spanne, in der die Meßdaten für die radiale Turbulenzintensität liegen (0.6 - 1.1), und der relativ großen Meßunsicherheit, ergibt die Höhenliniendarstellung (Abb. 21) ein etwas uneinheitliches Bild.

4.2.3 Azimutale Turbulenzintensität $\sqrt{w'^2}$

Die Daten für die azimutale Turbulenzintensität (Abb. 22 und 23) zeigen mit wachsendem Wandabstand im allgemeinen einen leichten Abfall, wobei die Werte in Wandnähe von gleicher Größe sind wie bei Kreisrohren. Auffällig ist, daß im Spalt zwischen Stab und Kanalwand ($\phi = 80 - 90$ grad bzw. $x = 0 - 20$ mm) die Turbulenzintensität mit wachsendem Wandabstand ansteigt. Bei $\phi = 75$ grad zeigt sich deutlich, daß diese Meßreihe fehlerhaft ist; diese Tatsache ist auch im Höhenlinienbild (Abb. 24) für $\phi = 75$ grad zu erkennen. Für $\phi = 40$ grad zeigt das Höhenlinienbild einen Einfluß der Sekundärströmung, da hier offenbar höhere Turbulenzintensität von der Wand in Richtung Kanalmitte transportiert wird.

4.2.4 Kinetische Energie der Turbulenz $\overline{k'}$

Die gemessene kinetische Energie der Turbulenz

$$\overline{k'} = \frac{1}{2} \left[\sqrt{u'^2} + \sqrt{v'^2} + \sqrt{w'^2} \right]$$

fällt mit wachsendem Wandabstand im allgemeinen mehr oder weniger stark ab (Abb. 25 und 26). Die Werte in Wandnähe liegen für einige Meßreihen in Stabnähe deutlich höher als beim Kreisrohr. Der Abfall der kinetischen Energie der Turbulenz zur Linie der Maximalgeschwindigkeit ist wesentlich schwächer als beim Kreisrohr und ist dort am stärksten ausgeprägt, wo der Kanalquerschnitt die größte Ausdehnung hat ($x = 84,4$ mm bzw. $\phi = 40$ grad). Insgesamt gesehen ist die kinetische Energie im wandfernen Bereich wesentlich höher als beim Kreisrohr. Das Höhenlinienbild (Abb. 27) zeigt ebenfalls den Einfluß von Sekundärströmung (etwa bei $\phi = 40$ grad).

4.3 Schubspannungen und Korrelationskoeffizienten

4.3.1 Radiale Schubspannung $-\overline{u'v'}$

Die gemessenen turbulenten Schubspannungen senkrecht zu den Wänden sind in Abb. 28 und 29 dargestellt. In Wandnähe folgen die Werte recht gut einer linearen Schubspannungsverteilung. Da der Strömungsquerschnitt senkrecht zur Stabwand mit wachsendem Wandabstand leicht anwächst, sollten die Profile in Abb. 28 leicht nach unten gekrümmt sein. Dieser Verlauf ist nicht vorhanden, vor allem deswegen, weil durch die gewählten Koordinaten (r/ϕ im Bereich der Stabwand und entsprechend für Abb. 28 x/y im Bereich der Kanalwand) mit wachsendem Wandabstand ein wachsender Teil der azimuthalen turbulenten Schubspannung mitgemessen wird. In den engsten Querschnitten ist dieser Effekt am ehesten vernachlässigbar. Tatsächlich verlaufen die Ergebnisse der radialen Schubspannung für $\phi = 5, 85$ und 90 grad bzw. $x = 0$ und 5 mm nahezu linear. Die größten Abweichungen ergeben sich dort, wo die Koordinaten im wandfernen Bereich am stärksten von Orthogonalen zur Geschwindigkeitsver-

teilung abweichen ($\phi \approx 30 - 65$ grd bzw. $x = 30 - 65$ mm). Die sehr niedrigen Werte für $\phi = 75$ grd und die sehr hohen Werte für $x = 30$ mm in Wandnähe sind auf Meßfehler zurückzuführen. Das zeigt besonders deutlich der Korrelationskoeffizient für uv bei $\phi = 75$ grd (s. 4.3.3).

4.3.2 Azimutale Schubspannung $-\overline{u'w'}$

Die gemessene azimutale Schubspannung zeigt in Wandnähe Werte, die gegen Null gehen. Im wandfernen Bereich steigt die azimutale Schubspannung mehr oder weniger stark an (Abb. 30 und 31). Es ergibt sich in vernünftiger Weise, daß das Vorzeichen der azimutalen Schubspannung wechselt an der Position, wo der Gradient der mittleren axialen Geschwindigkeit verschwindet ($\phi \approx 40$ grd, Abb. 30). Weiterhin zeigt sich anhand der Meßdaten, daß im Spalt zwischen Stab und Kanalwand ($\phi = 90$ grd bzw. $x = 0$ mm) die azimutale Schubspannung ebenso verschwindet, wie auf der Symmetrielinie des Wandkanals nahe der Kanalwand ($x = 84.4$ mm). Das beweist, daß die Strömung im ausgemessenen Teil des Wandkanals praktisch unbeeinflusst von den Nachbarkanälen war. Die Höhenliniendarstellung der azimutalen Schubspannung (Abb. 32) verdeutlicht die Meßwerte. Sie zeigt einen schwachen Einfluß der Sekundärströmung in Wandnähe der Stabwand (in der Umgebung von $\phi = 40$ grd). Außerdem ergeben sich die Maximalwerte der azimutalen Schubspannung in den Gebieten des maximalen Gradienten der Strömungsgeschwindigkeit in Umfangsrichtung, wie zu erwarten war. Die Meßwerte im wandfernen Bereich scheinen allerdings etwas zu hoch zu sein, wie aus den ermittelten Korrelationskoeffizienten R_{uw} (s. 4.3.4) deutlich wird. Dies wird vor allem auf zwei Ursachen zurückgeführt: einerseits spielt die schon erwähnte nicht orthogonale Richtung der Koordinaten in diesem Bereich sicherlich eine Rolle, andererseits wird sich hier vermutlich die Vernachlässigung der Korrelation $\overline{v'w'}$ bei der Lösung des Gleichungssystems auswirken. Versuche, durch Messungen mit weiteren Anstellwinkeln des Hitzdrahtes gegen die Strömung eine Lösung des Gleichungssystems zu ermöglichen, scheiterten.

4.3.3 Korrelationskoeffizient R_{uv}

Die gemessenen Korrelationskoeffizienten der Schubspannung in radialer Richtung (Abb. 33 und 34)

$$R_{uv} = \frac{\overline{-u'v'}}{\sqrt{u'^2} \cdot \sqrt{v'^2}}$$

zeigen einen ähnlichen Verlauf wie bei Kreisrohren. Über einen großen Bereich des Strömungsquerschnitts liegt dieser Korrelationskoeffizient zwischen 0.4 und 0.5. Im wandfernen Bereich liegen die Korrelationskoeffizienten z.T. höher als beim Kreisrohr, was auf die gewählten Koordinaten zurückgeführt werden muß, wodurch die gemessene Position der Nullschubspannung relativ weit vom Ort der Maximalgeschwindigkeit entfernt liegt.

4.3.4 Korrelationskoeffizient R_{uw}

Die ermittelten Korrelationskoeffizienten der Schubspannung parallel zu den Wänden (Abb. 35 und 36)

$$R_{uw} = \frac{\overline{-u'w'}}{\sqrt{u'^2} \sqrt{w'^2}}$$

steigen im wandfernen Bereich sehr stark an. Dieses Verhalten wurde bereits unter 4.3.2 diskutiert.

4.4 Wirbelviskositäten

Aus den Daten für die turbulenten Schubspannungen und aus der Verteilung des zeitlichen Mittelwerts der Strömungsgeschwindigkeit in axialer Richtung wurden die Wirbelviskositäten in radialer (ϵ_r bzw. ϵ_y) und azimuthaler (ϵ_ϕ bzw. ϵ_x) Richtung gemäß den Definitionsgleichungen (1) und (2) ermittelt. Dazu wurde ein Rechenprogramm EPSI /25/ erstellt, in dem die zur Berechnung erforderlichen Geschwindigkeitsgradienten berechnet werden. Es wird durch

jeweils drei Meßwerte für die mittlere Geschwindigkeit eine Parabel 2. Ordnung gelegt und die Ableitung am betrachteten Ort ermittelt.

4.4.1 Radiale Wirbelviskosität ϵ_r

Nach Gl. (1) ergibt sich die radiale Wirbelviskosität in dimensionsloser Form zu /26/:

$$\epsilon_r^+ = \frac{\epsilon_r}{L \cdot u^*} = \frac{-\overline{\rho u'v'}/\tau_w}{\frac{\partial(u/u_{REF})}{\partial(r/L)}} \frac{u^*}{u_{REF}} \quad (16)$$

Hierin ist $u^* = \sqrt{\tau_w/\rho}$ die Wandschubspannungsgeschwindigkeit an der betrachteten Umfangsposition und L ist die Länge des Geschwindigkeitsprofils zwischen der Wand und dem Ort der Maximalgeschwindigkeit.

Die ermittelten Wirbelviskositäten sind in Abb. 37 und 38 dargestellt. Zum Vergleich wurde der Verlauf der Wirbelviskosität im Kreisrohr nach REICHARDT /27/ miteingetragen. Die gemessenen Wirbelviskositäten sind im wandfernen Bereich durchweg höher als beim Kreisrohr. Hier wirken sich die wegen der gewählten Koordinaten relativ zu hoch gemessenen Schubspannungen aus. Die größere Streuung wird natürlich auch durch die sehr kleinen Geschwindigkeitsgradienten bewirkt. In Wandnähe stimmen die ermittelten radialen Wirbelviskositäten sehr gut mit den Kreisrohrwerten überein.

Meßergebnisse der Wirbelviskositäten in radialer Richtung in Stabbündeln wurden von Kjellström /2/ und Trupp /3/ mitgeteilt. Die neuen Daten stimmen mit den früheren Ergebnissen sowohl qualitativ als auch quantitativ gut überein.

4.4.2 Azimutale Wirbelviskosität ϵ_ϕ

Nach Gl. (2) ergibt sich die azimutale Wirbelviskosität in dimensionsloser Form zu:

$$\epsilon_\phi^+ = \frac{\epsilon_\phi}{L \cdot u^*} = \frac{-\overline{\rho u'w'}/\tau_w}{\frac{r}{L} \frac{\partial(u/u_{REF})}{\partial\phi}} \frac{u^*}{u_{REF}} \quad (17)$$

Die Ergebnisse für die azimuthale Wirbelviskosität unterscheiden sich ganz erheblich von denen für die radiale Wirbelviskosität. Die ermittelten Werte sind in Abb. 39 und 40 dargestellt. Die azimuthalen Wirbelviskositäten sind sehr stark ortsabhängig und zwar sowohl in zur Wand senkrechter Richtung als auch in Umfangsrichtung. So ergeben sich die Maximalwerte der azimuthalen Wirbelviskosität jeweils in den engsten Querschnitten ($\phi = 5, 10, 80$ grad bzw. $x = 10, 15, 20$ mm). Die Ergebnisse für $\phi = 5$ und 90 grad bzw. $x = 0$ und 5 mm sind unsicher, weil der Geschwindigkeitsgradient in Umfangsrichtung nur relativ ungenau bestimmt werden konnte.

Betrachtet man den Verlauf der azimuthalen Wirbelviskosität im Strömungsbereich um den Stab (Abb. 39), so erkennt man, daß die Wirbelviskositäten zunächst vom Höchstwert stark abfallen (etwa um den Faktor 100) bis $\phi = 40$ grad: die Position, an der der Geschwindigkeitsgradient in Umfangsrichtung verschwindet. Anschließend steigen die Wirbelviskositäten wieder stark an zu einem Höchstwert im Spalt zwischen Stab und Wand. Entsprechend ergibt sich für den Strömungsbereich nahe der Kanalwand (Abb. 40) ein stetiger Abfall vom Höchstwert im Spalt auf den Minimalwert für $x = 84.4$ mm, wo der Gradient der Geschwindigkeit in Umfangsrichtung ebenfalls verschwindet. Insbesondere die Meßwerte für diesen Strömungsbereich ergeben ein sehr einheitliches Bild.

Zum Verlauf in radialer Richtung läßt sich generell sagen, daß die Wirbelviskositäten mit größerer Entfernung von der Wand zunächst ansteigen (etwa um den Faktor 2-3), dann jedoch wieder leicht abfallen, nachdem ein Maximalwert durchlaufen wird. Das relative Maximum liegt etwa zwischen 50 und 70 % des Abstandes von der Wand zur Maximalgeschwindigkeit.

Ein Vergleich der gemessenen Daten mit Ergebnissen aus Stabbündelmessungen anderer Autoren ist nur sehr bedingt möglich, da kaum Daten vorliegen. Kjellström /2/ teilt einige Ergebnisse an einem Stabbündel mit $P/D = 1.22$ mit. Eine Ortsabhängigkeit ist bei seinen Ergebnissen nicht deutlich zu erkennen. Kjellström bildet deshalb aus seinen Resultaten Mittelwerte für den gesamten Strömungsquerschnitt. Trotz der großen Streuung der Meßwerte kann er seine Ergebnisse durch die Beziehung

$$\epsilon_{\phi} = 0.51 - 0.42 Y/L \quad (18)$$

darstellen.

Die neuen Ergebnisse zeigen neben der starken Ortsabhängigkeit von ϵ_{ϕ}^+ auch, daß das Maximum nicht in Wandnähe liegt, wie es sich aus Gl. (18) ergibt. Trupp /3/ teilt aufgrund seiner Messungen nur mit, daß für ϵ_{ϕ}^+ etwa 0.3 als typischer Wert gefunden wurde.

Für die Berechnung der Geschwindigkeitsverteilung in Stabbündeln wurde von Rapier und Redman /28/

$$\epsilon_{\phi}^+ = 0.1 \cdot (\epsilon_r^+)_{\max} \quad (19)$$

angenommen, was auf einen Vorschlag von Corcoran et al. /29/ zurückgeht. Eifler und Nijssing /1/ verwenden für den VELASCO-Code einen Wert von

$$\epsilon_{\phi}^+ = 0.154. \quad (20)$$

Die Ergebnisse, die theoretisch mit dem Turbulenzmodell von Ramm /30/ berechnet wurden, liegen in der Größenordnung der Gl. (19) und (20). Durch die neuen Daten wurden erstmals gesicherte Meßergebnisse für den turbulenten Impulstransport in Umfangsrichtung in Stabbündeln gewonnen, die von den bislang verwendeten Beziehungen hinsichtlich der Größe von ϵ_{ϕ}^+ und der Ortsabhängigkeit drastisch abweichen.

4.4.3 Anisotropiekoeffizient n

Die Anisotropiekoeffizienten wurden nach

$$n = \frac{\epsilon_{\phi}^+}{\epsilon_r^+} \quad (21)$$

berechnet. Hierzu wurden die tatsächlich gemessenen Werte für die Wirbelviskositäten in azimuthaler und radialer Richtung verwendet. Die ermittelten Werte sind in Abb. 41 und 42 dargestellt. In Wandnähe ergibt sich ein Anisotropiekoeffizient von 10 und höher. Die Maximalwerte der Anisotropiekoeffizienten ergeben sich zu größer als 100. Diese hohen Werte treten in den engsten Querschnitten auf. Erklärt werden können diese hohen Werte durch den nahezu ungehinderten Impulstransport in Umfangsrichtung in den engen Spalten, während der radiale Impulstransport durch die Wände behindert ist.

Die Anisotropiekoeffizienten fallen mit wachsendem Wandabstand zunächst schwach, schließlich stark ab. Dieses starke Absinken wird vor allem durch die hohen gemessenen Wirbelviskositäten in radialer Richtung im wandfernen Bereich verursacht.

Im Vergleich zum offenen Kanal mit Rechteckquerschnitt, für den von Elder /31/ Meßwerte aus Diffusionsuntersuchungen vorliegen, sind die im Stabbündel gemessenen Anisotropiekoeffizienten sehr viel größer. Elder fand $n = 3-4$ bei seinen Untersuchungen.

5. Vergleich der Meßergebnisse mit VELASCO-Rechnungen

Das für Berechnungen der Geschwindigkeits- und Wandschubspannungsverteilungen in Stabbündeln konzipierte und für praktische Rechnungen fortgeschrittenste Rechenverfahren wurde von Eifler und Nijsing /32/ entwickelt (VELASCO). Mit diesem Rechenprogramm, das der GfK zur Verfügung steht, wurden Vergleichsrechnungen durchgeführt. Das Modell von VELASCO berücksichtigt anisotrope Wirbelviskositäten und Sekundärströmung.

5.1 Geschwindigkeitsverteilung

Berechnungen mit VELASCO wurden zunächst mit der Standard-Version des Codes durchgeführt; d.h. die dimensionslose Wirbelviskosität in azimuthaler Richtung wird gemäß Gl. (20) zu

$$\epsilon_{\phi}^{+} = 0.154$$

und die Sekundärströmung mit

$$v = 2 \cdot C_{\text{sek}} \frac{Pe_{\text{sek}}}{Pe} \frac{du^{*}}{dX} \cos(\pi Y) \quad (22)$$

angesetzt. In Gl. (22) ist Pe der benetzte Umfang und Pe_{sek} der Umfang entlang der Wand für einen geschlossenen Sekundärströmungs-Wirbel /32/, X ist die dimensionslose Umfangskoordinate. Die Sekundärströmungskonstante wurde von

Eifler und Nijsing durch Anpassung der Rechenergebnisse an verschiedene Meßwerte für Geschwindigkeitsverteilungen zu

$$C_{\text{sek}} = 0.573 \quad (23)$$

ermittelt.

Die berechnete Geschwindigkeitsverteilung ist in Abb. 43 dargestellt. Damit ein Vergleich mit der gemessenen Geschwindigkeitsverteilung möglich ist, wurde die berechneten Werte auf die gleiche Referenzgeschwindigkeit wie bei Abb. 11 bezogen. Der Vergleich zeigt, daß die gemessene Geschwindigkeitsverteilung viel gleichmäßiger ist als die berechnete Verteilung. So ergibt sich für das Verhältnis von Maximalgeschwindigkeit zur Maximalgeschwindigkeit im engsten Querschnitt zwischen Stab und Kanalwand aus den Rechnungen der Wert 1.58, nach den Messungen jedoch nur 1.41. Diese Tatsache wird in Abb. 44 verdeutlicht. Über dem Umfang des Stabes (r/ϕ) bzw. der Kanalwand (x/y) ist hier das Verhältnis zur mittleren Geschwindigkeit im Kanal aufgetragen. Der Vergleich zwischen Rechnung und Messung ergibt besonders große Abweichungen in den engsten Querschnitten des Kanals. Hier wirkt sich bei den Rechnungen zweifellos der Ansatz der Wirbelviskosität in Umfangsrichtung aus /33, 34, 35/.

5.2 Wandschubspannungsverteilung

Ein ähnliches Ergebnis wie für die Geschwindigkeitsverteilung ergibt sich beim Vergleich der gemessenen und berechneten Wandschubspannungsverteilungen. Abb. 45 zeigt diesen Vergleich. Die gemessene maximale Wandschubspannung ergibt sich an der Kanalwand, während sie bei den Rechnungen an der Stabwand auftritt. Das Verhältnis von maximaler zu minimaler Wandschubspannung, das dem Verhältnis von minimaler zu maximaler Wandtemperatur proportional ist, wird durch die VELASCO-Rechnungen deutlich überschätzt. Dieses Verhältnis ist für die Stabwand 1.35 (Messung) bzw. 1.74 (Rechnung) und für die Kanalwand 1.44 (Messung) bzw. 1.74 (Rechnung). Insgesamt verläuft die gemessene Wandschubspannung viel flacher.

Der Grund für diese Diskrepanz liegt in den Modellannahmen für den Impulsaustausch im VELASCO-Code. Insbesondere wirkt sich der Ansatz in VELASCO für die azimutale Wirbelviskosität aus: die dimensionslose azimutale Wirbel-

viskosität wird in radialer Richtung konstant zu $\epsilon_{\phi}^{+} = 0.154$ angenommen, das entspricht etwa dem 2-fachen Wert des Maximums der dimensionslosen radialen Wirbelviskosität nach REICHARDT /2/ für das Kreisrohr. Die Meßergebnisse zeigen jedoch, daß die azimuthalen Wirbelviskositäten stark ortsabhängig sind und sich deutlich vom in VELASCO verwendeten Wert unterscheiden (bis zum Faktor 100).

5.3 Rechenergebnisse mit veränderten Annahmen für die azimuthale Wirbelviskosität und die Sekundärströmung

Um die Ansätze in VELASCO an die Meßergebnisse anzupassen, wurde eine Reihe von Rechnungen durchgeführt. Abb. 46 zeigt zur Erläuterung der dabei erzielten Ergebnisse einige Beispiele. Zunächst wurde $\epsilon_{\phi}^{+} = 1.155$ gesetzt, d.h. gegenüber dem Standard-Wert ein Faktor 7.5. Die Unterschiede zwischen berechneten und gemessenen Werten werden dadurch zwar reduziert, jedoch wird keine Übereinstimmung im Verlauf der Wandschubspannungen gefunden.

Weiterhin wurde die azimuthale Wirbelviskosität in Abhängigkeit von der Position am Umfang des Stabes bzw. der Kanalwand variabel eingegeben. In Anlehnung an den Verlauf der Meßwerte wurde die azimuthale Wirbelviskosität in den engsten Querschnitten um den Faktor F erhöht und linear entlang der Wand bis auf den Standardwert ($\epsilon_{\phi}^{+} = 0.154$) am Ort der Maximalgeschwindigkeit ($r/\phi = 45$ grad bzw. $x/y = 84.4$ mm) reduziert. Die Anpassung an die gemessene Wandschubspannungsverteilung wurde dadurch nicht wesentlich verbessert. Eine Vernachlässigung der Sekundärströmung ($C_{\text{sek}} = 0$) bei einem Faktor $F = 25$ (Kurve 2) ergab noch die beste Übereinstimmung für die Kanalwand (x/y) und für den Bereich der Stabwand zwischen 45 und 90 grad. Die Abweichungen zwischen den Meßwerten und dem berechneten Verlauf sind jedoch im Bereich 0 bis 45 grad für die Stabwand beträchtlich.

Der Versuch, den VELASCO-Code an die Meßwerte anzupassen, verlief insgesamt gesehen nicht zufriedenstellend. Vermutlich spielt der Ansatz einer über dem Radius konstanten azimuthalen Wirbelviskosität ebenfalls eine Rolle. Die Meßergebnisse zeigten nämlich, daß die azimuthale Wirbelviskosität eine Funktion des Wandabstandes ist, und zwar steigen die Werte mit wachsendem Wandabstand zunächst etwa auf das Doppelte an und fallen nach Durchlaufen eines Maximums wieder leicht ab. Eine Änderung des VELASCO-Codes in dieser Richtung läßt sich allerdings nicht so leicht verifizieren.

6. Schlußfolgerungen

Die durchgeführte experimentelle Untersuchung der turbulenten Strömung durch einen Wandkanal eines Stabbündels erbrachte eine Reihe von Ergebnissen, die wesentlich zur Verbesserung der Rechenverfahren der turbulenten Strömung in Stabbündeln beitragen:

1. Erstmals wurden detaillierte Meßwerte für den Impulsaustausch in Umfangsrichtung gewonnen. Die gemessenen Wirbelviskositäten in Umfangsrichtung zeigten erhebliche Unterschiede zu den bislang angenommenen und aus Untersuchungen an anderen Kanälen bekannten Daten.
2. Der Impulsaustausch ist stark anisotrop. Anisotropiefaktoren bis 100 und größer wurden experimentell ermittelt. Die Anisotropiefaktoren sind stark ortsabhängig, sowohl in radialer als auch in Umfangsrichtung. Die größten Anisotropiefaktoren wurden in den engsten Querschnitten des Strömungskanals gemessen.
3. Vergleiche der Meßwerte mit theoretischen Ergebnissen zeigen, daß die Annahmen in den Rechenprogrammen erheblich verbessert werden müssen, um zu gesicherten Rechenergebnissen zu kommen.
4. Einflüsse von Sekundärströmungen auf die Verteilung der mittleren Geschwindigkeit und die Verteilung der Wandschubspannungen sind offenbar viel geringer, als bisher vermutet wurde. Hingegen zeigen die Messungen der Turbulenzintensitäten und der kinetischen Energie der Turbulenz deutliche Einflüsse von Sekundärströmungen.
5. Die detaillierten Meßdaten für die Turbulenzintensitäten und die kinetische Energie der Turbulenz können dazu beitragen, verbesserte Turbulenzmodelle für Stabbündelkanäle zu entwickeln (z.B. $\overline{k^T}$ -Modelle) und zu testen.

Die Ergebnisse wurden für einen Wandkanal eines Stabbündels mit einem kleinen Stababstandsverhältnis ($P/D = 1.07$) und einem kleinen Wandabstandsverhältnis ($W/D = 1.07$) ermittelt. Aufgrund der erheblichen Diskrepanzen zu den bisherigen Annahmen ist es erforderlich, auch für größere Stababstandsverhältnisse entsprechende Untersuchungen durchzuführen.

Der Autor dankt den Herren E. Mensinger und G. Wörner für ihre Mitarbeit bei der Vorbereitung und Durchführung der Versuche. Fr. M. Mangelmann und Fr. Ch. Hausmann dankt der Autor für die Erstellung der Rechenprogramme zur Integration der mittleren Strömungsgeschwindigkeit bzw. zur Berechnung der Wirbelviskositäten.

Nomenklatur:

A	-	Geometrieparameter
a	m	Länge des Kanals
b	m	Breite des Kanals
c	-	Eichkurvenexponent
c_{av}	-	mittlerer Eichkurvenexponent
C_{sek}	-	Konstante für Sekundärströmung
D	m	Stabdurchmesser
D_h	m	hydraulischer Durchmesser
d_p	m	Außendurchmesser des Pitotrohres
E	V	Spannung am Hitzdraht
E_o	V	Spannung am Hitzdraht bei Geschwindigkeit Null
F	m^2	Strömungsquerschnitt
G^*	-	Geometrieparameter
K	-	Geometrieparameter
K_{ij}	-	Koeffizienten
L	m	Länge des Profils zwischen Wand und Maximalgeschwindigkeit
L_H	m	Länge des Hitzdrahtes
L_K	m	Kanalhöhe
ΔL	m	Differenzlänge
\dot{m}	$Kg\ s^{-1}$	Massenstrom
n	-	Anisotropiefaktor
P	m	Stababstand
P_e	m	benetzter Umfang
$P_{e,sek}$	m	benetzter Umfang für geschlossenen Sekundärströmungs-Wirbel
Δp	Nm^{-2}	Druckdifferenz
r	m	Radius
R_{uv}	-	Korrelationskoeffizient uv
R_{uw}	-	Korrelationskoeffizient uw
Re	-	Reynolds-Zahl
U_p	ms^{-1}	Gesamtgeschwindigkeit am Pitotrohr
U_m	ms^{-1}	örtliche mittlere Geschwindigkeit entlang der Wand
\bar{u}	ms^{-1}	Geschwindigkeitskomponente in axialer Richtung
u'	ms^{-1}	Schwankungsgeschwindigkeit in axialer Richtung
u_{REF}	ms^{-1}	Referenzgeschwindigkeit

u_m	ms^{-1}	mittlere Strömungsgeschwindigkeit im Kanal
u^*	ms^{-1}	Schubspannungsgeschwindigkeit
u^+	-	dimensionslose Geschwindigkeit
\bar{v}	ms^{-1}	Geschwindigkeitskomponente senkrecht zur Wand
v'	ms^{-1}	Schwankungsgeschwindigkeit senkrecht zur Wand
\bar{w}	ms^{-1}	Geschwindigkeitskomponente parallel zur Wand
w'	ms^{-1}	Schwankungsgeschwindigkeit parallel zur Wand
W	m	Wandabstand
X	-	dimensionslose Koordinate längs der Wand
x	m	Position entlang der Kanalwand
y	m	Abstand von der Wand
y^+	-	dimensionsloser Wandabstand
α	grd	Winkel des Hitzdrahtes mit der Hauptströmungsrichtung
ϵ	$m^2 s^{-1}$	Wirbelviskosität
ϵ^+	-	dimensionslose Wirbelviskosität
λ	-	Druckverlustbeiwert
ψ	grd	Anströmwinkel des Hitzdrahtes
ϕ	grd	Umfangskoordinate
ρ	$Kg m^{-3}$	Dichte
ν	$m^2 s^{-1}$	Kinematische Viskosität
τ_w	Nm^{-2}	Wandschubspannung
τ_m	Nm^{-2}	mittlere Wandschubspannung

Indizes

r	radial
ϕ	in Umfangsrichtung

Literatur

- /1/ W. Eifler und R. Nijsing
Berechnung der turbulenten Geschwindigkeitsverteilung und der Wandreibung in unendlich ausgedehnten, parallel angeströmten Stabbündeln, Wärme- und Stoffübertragung 2, 246-256 (1969)
- /2/ B. Kjellström
Studies of Turbulent Flow Parallel to a Rod Bundle of Triangular Array Report AE-487 (1974), Studsvik, Schweden
- /3/ A.C. Trupp
The Structure of Turbulent Flow in Triangular Array Rod Bundles Ph.D.Thesis, University of Manitoba, Canada (1973)
- /4/ V.I. Subbotin, P.A. Ushakov, Yu.D. Levchenko and A.M. Alexandrov
Velocity Field of Turbulent Fluid Flow in a Longitudinal Streamline of Clusters of Rods
Report AEC-tr-7189 (1971)
- /5/ L.D. Palmer and L.L. Swanson
Measurements of Heat Transfer Coefficients, Friction Factors and Velocity Profiles for Air Flowing Parallel to Closely Spaced Rods ASME Int. Developments in Heat Transfer, Pt. III, 535-542 (1961/2)
- /6/ J.H. Preston
The determination of turbulent skin friction by means of Pitot tubes J. Aero. Soc. 58, 109-121 (1954)
- /7/ F.A. MacMillan
Experiments on Pitot-tubes in shear flow
Gt. Brit. ARC Report and Memoranda No. 3028, Ministry of Supply (AIR), London (1956)
- /8/ W. Eifler
Über die turbulente Geschwindigkeitsverteilung und Wandreibung in Strömungskanälen verschiedener Querschnitte
Diss. TH Darmstadt (1968)

- /9/ K. Rehme
Turbulente Strömung in konzentrischen Ringspalten
KFK 2099 (1975)
- /10/ V.C. Patel
Calibration of the Preston tube and limitation on its use in pressure gradients
J. Fluid Mech. 23(1), 185-208 (1965)
- /11/ B. Kjellström and S. Hedberg
Calibration experiments with a DISA hot-wire anemometer
Report AE-338 (1968), Studsvik, Schweden
- /12/ K. Rehme
Untersuchungen der Turbulenz- und Schubspannungsverteilung an einem Kreisrohr mit einem Hitzdraht-Anemometer
Report KFK 1642 (1972)
- /13/ H.H. Bruun
A note on static and dynamic calibration of constant-temperature hot-wire probes
J. Fluid Mech. 76 (1), 145-155 (1976)
- /14/ K. Rehme
Turbulent flow in smooth concentric annuli with small radius ratios
J. Fluid Mech. 64 (2), 263-287 (1974)
- /15/ K. Rehme
Turbulence measurements in smooth concentric annuli with small radius ratios
J. Fluid Mech. 72 (1), 189-206 (1975)
- /16/ V.I. Subbotin, P.A. Ushakov, Yu. D. Levchenko and A.M. Aleksandrov
Velocity fields in turbulent flow past rod bundles
Heat Transfer - Soviet Research 3 (2), 9-35 (1971)

- /17/ E. Mensinger, K. Rehme, G. Wörner
Geschwindigkeitsverteilung in Wandkanälen von Stabbündeln
KFK 1274/3, S. 127/4 - 127/10 (1974)
- /18/ K. Maubach
Reibungsgesetze turbulenter Strömungen
Chemie-Ing.-Technik 42 (15), 995-1004 (1970)
- /19/ K. Rehme
Simple method of predicting friction factors of turbulent flow in
noncircular channels
Int. J. Heat Mass Transfer 16, 933-950 (1973)
- /20/ K. Rehme
Laminarströmung in Stabbündeln
Chemie-Ing.-Technik 43 (17), 962-966 (1971)
- /21/ U. Schumann
- PLOTTHL - Ein Fortran IV Unterprogramm zur Darstellung von Funktionen
von zwei unabhängigen Variablen durch ihre Höhenlinien auf einem Plotter
KFK Bericht Nr. 1486 (1971)
- /22/ J. Laufer
The structure of turbulence in fully developed pipe flow
NACA TN 1174 (1954)
- /23/ B. Kjellström and S. Hedberg
Calibration experiments with a DISA-hot-wire anemometer
Report AE-338, AB Atomenergi, Stockholm (1968)
- /24/ D.S. Rowe
Measurement of turbulent velocity, intensity and scale in rod bundle
flow channels
Report BNWL-1736 (1973)

- /25/ Ch. Hausmann und M. Mangelmann
Eingabebeschreibung für die FORTRAN-IV-Subroutinen VØLFI und EPSI
(unveröffentlicht)
- /26/ K. Rehme
Radiale und azimutale Impulsaustauschgrößen in einem Stabbündelwand-
kanal
KFK 1275/3, S. 127/11 - 127/17 (1975)
- /27/ H. Reichardt
Vollständige Darstellung der turbulenten Geschwindigkeitsverteilung in
glatten Leitungen
Z. angew. Math. Mech. 31, 208-219 (1951)
- /28/ A.C. Rapier and J.D. Redman
The calculation of velocity distributions in rod clusters
Report TRG 838 (W) (1964)
- /29/ W.H. Corcoran, J.B. Opfell and B.H. Sage
Momentum transfer in fluids
AIChE J. 2, 251 (1956)
- /30/ H. Ramm
Theoretisches Modell zur Beschreibung des Impuls- und Energietransports
in turbulenter Kanalströmung
Report TUBIK 31 (1975)
- /31/ J.W. Elder
The dispersion of marked fluid in turbulent shear flow
J. Fluid Mech. 5, 544 (1959)
- /32/ W. Eifler and R. Nijsing
VELASCØ-Velocity field in asymmetric rod configurations
Report EUR-4950e (1973)

/33/ K. Rehme

Vergleich gemessener und berechneter Wandschubspannungsverteilungen
in einem Wandkanal eines Stabbündels
Report KFK 1275/4 (im Druck)

/34/ K. Rehme

Anisotropic eddy viscosities in the turbulent flow through a rod bundle
Symp. of Turbulent Shear Flows, University Park, Penns. (18.-20. April 1977)

/35/ K. Rehme

Geschwindigkeits-, Wandschubspannungsverteilung und Transportkoeffizienten
der turbulenten Strömung in Unterkanälen von Stabbündeln
Reaktortagung 1977, Mannheim, Tagungsbericht, S. 3-6 (1977)

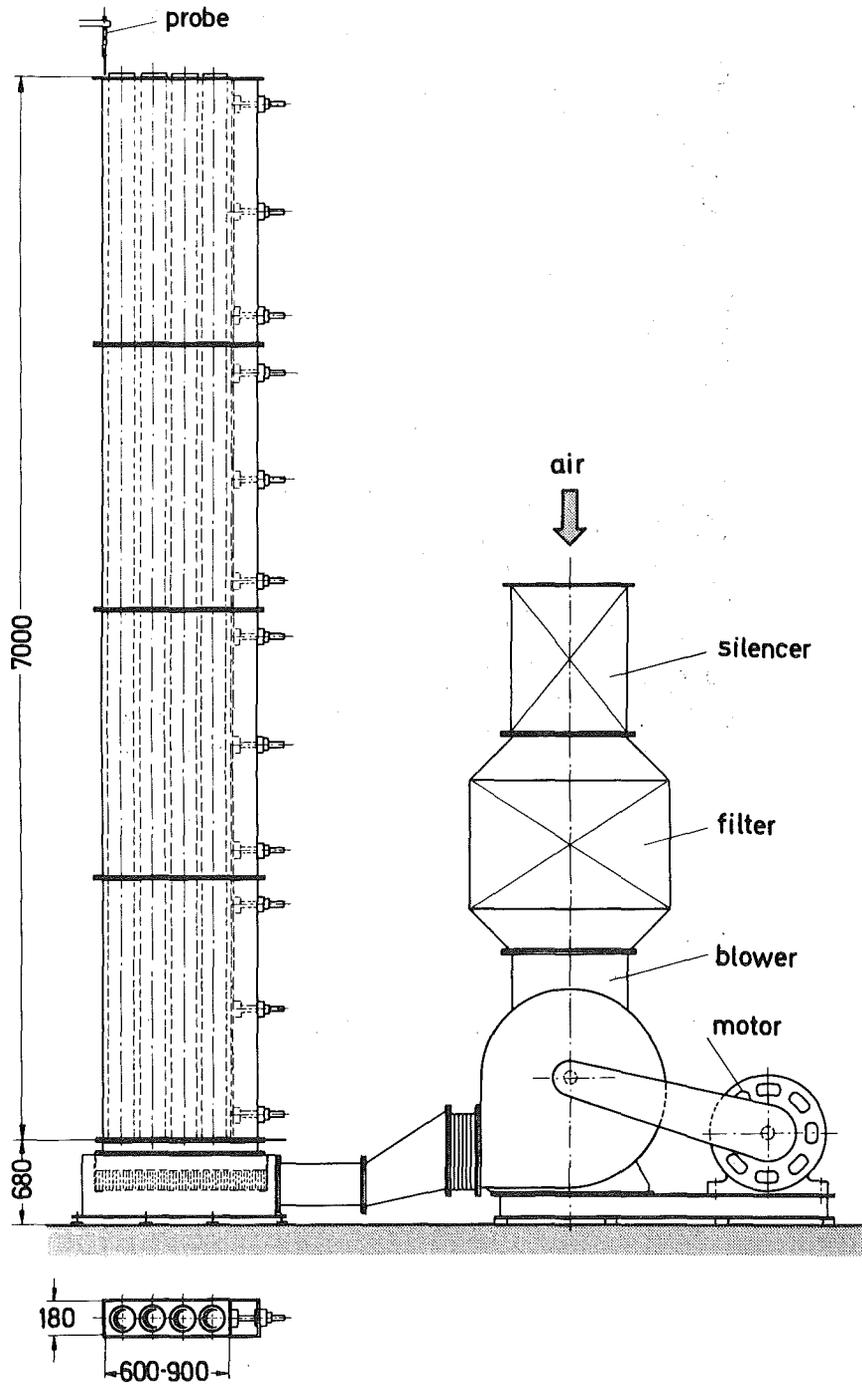


Abb. 1 Versuchsanlage (schematisch)

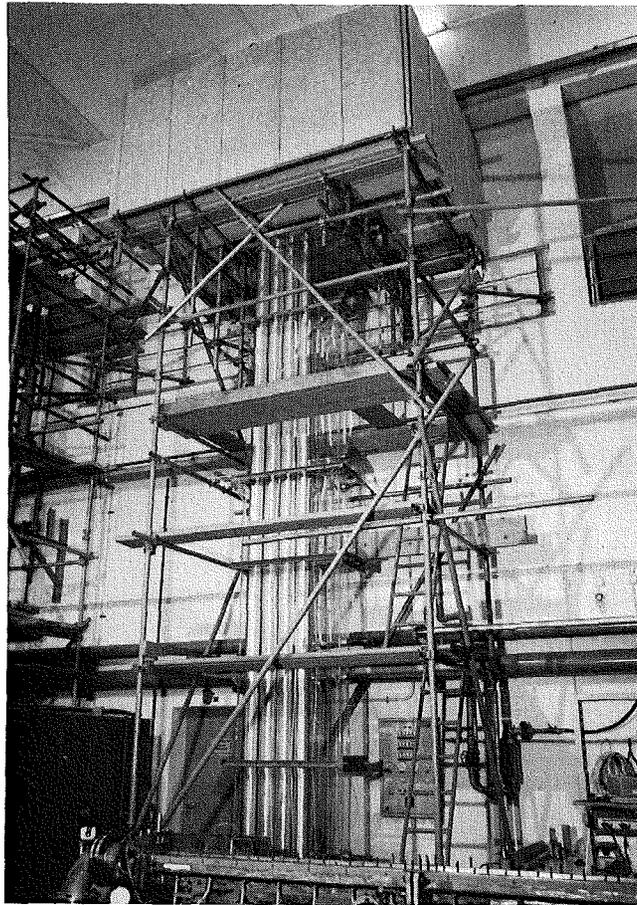


Abb. 2 Ansicht des Versuchsstandes

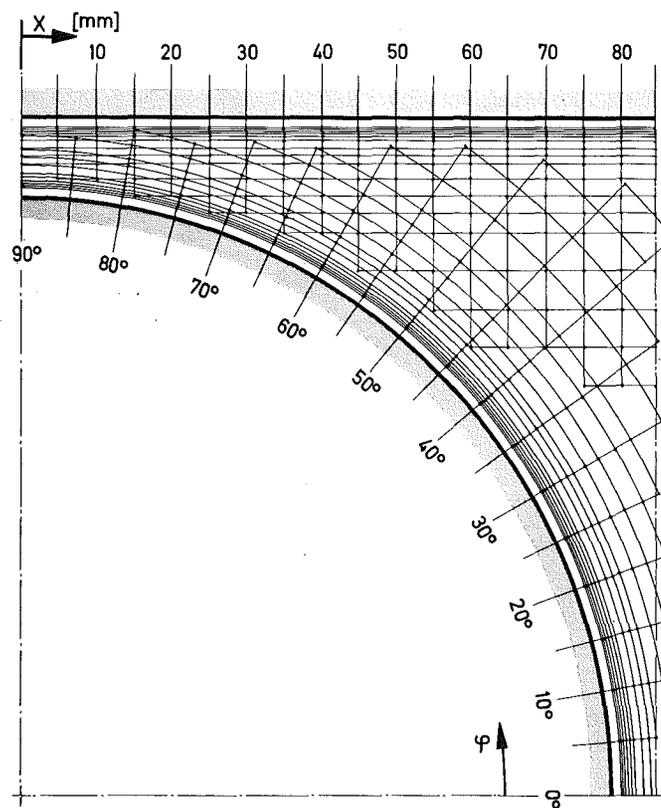


Abb. 3 Verteilung der Meßpunkte

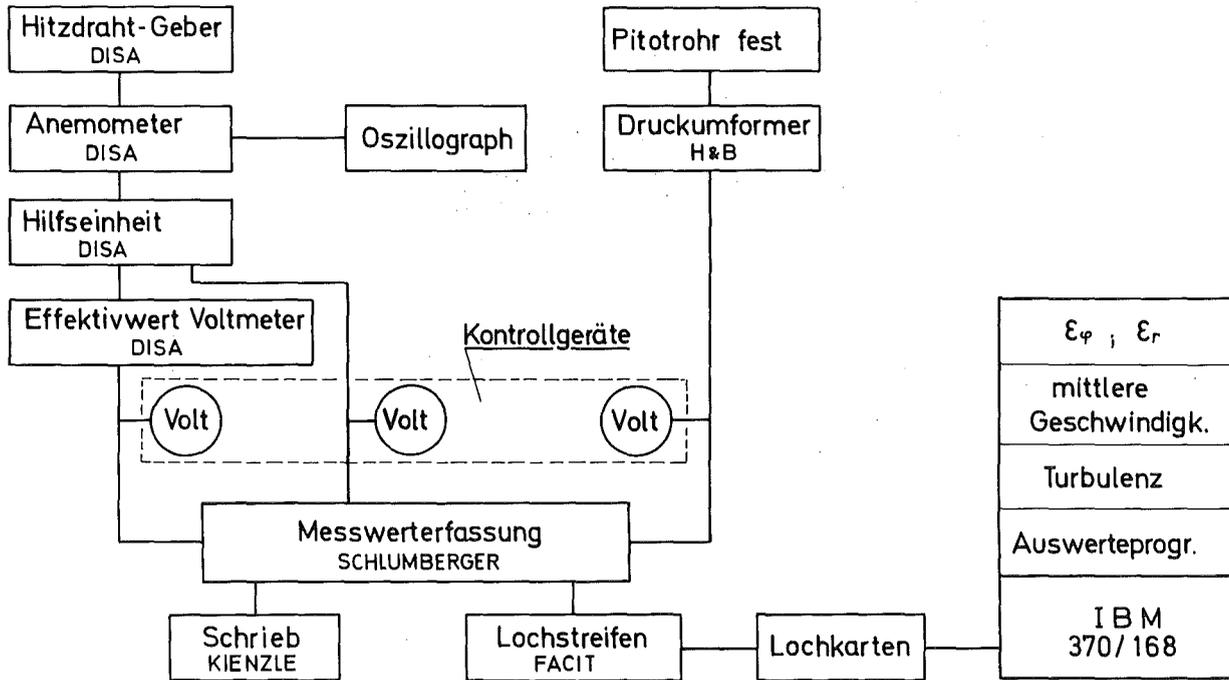


Abb. 4 Meßwertverarbeitung

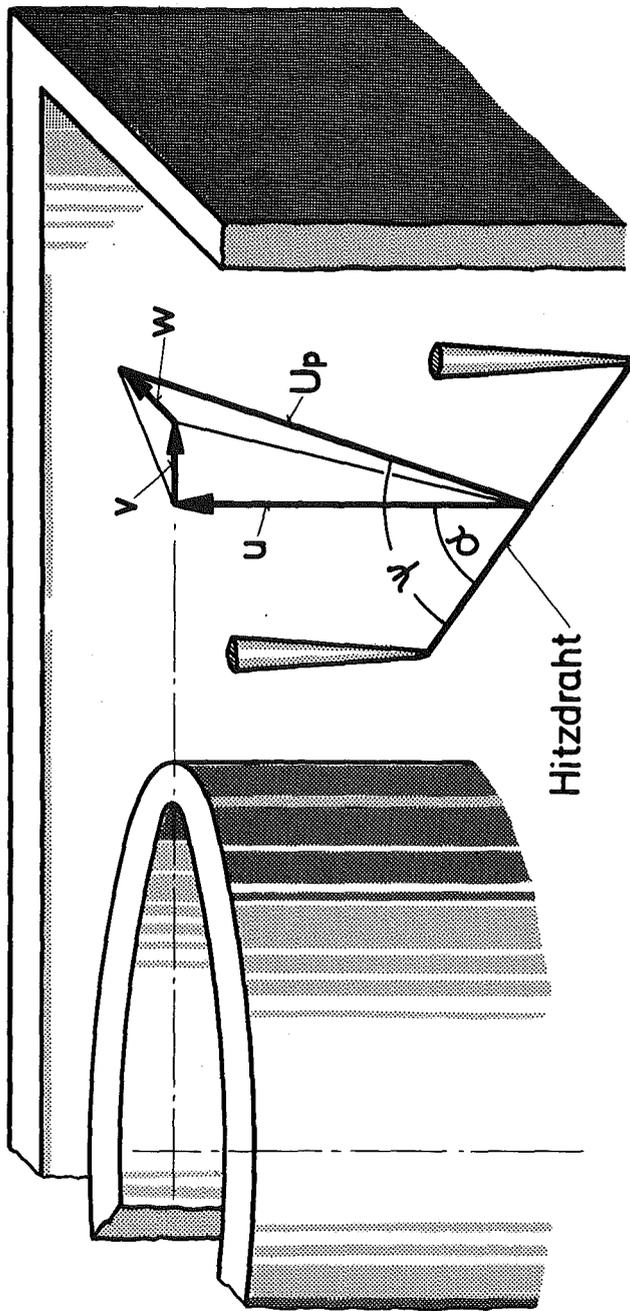


Abb. 5 Strömung am Hitzdraht (schematisch)

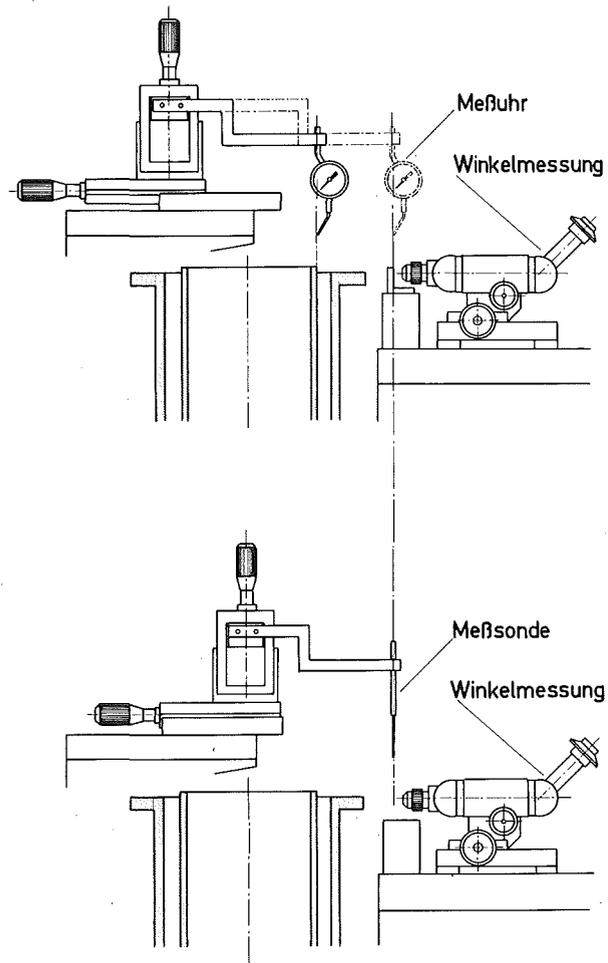


Abb. 6 Justierung der Meßsonde

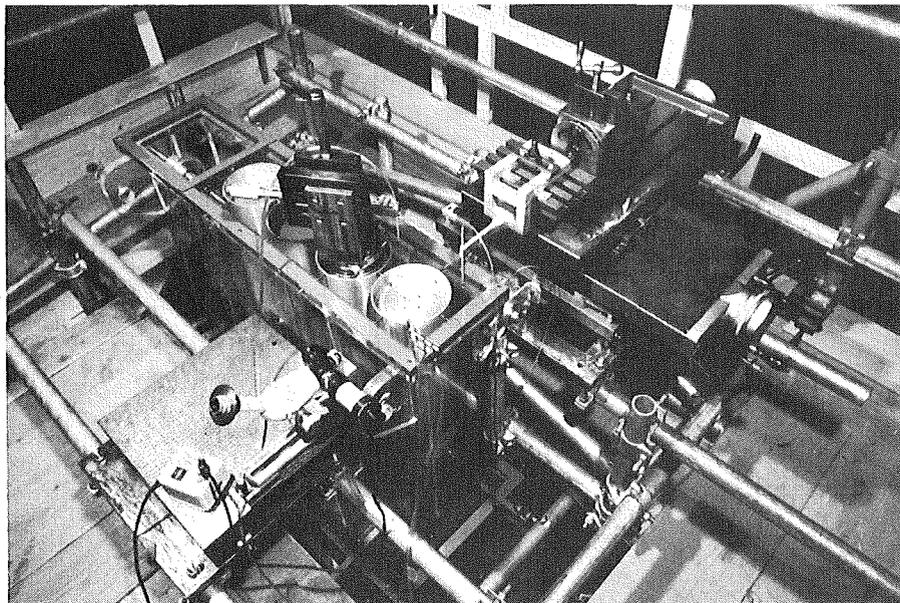
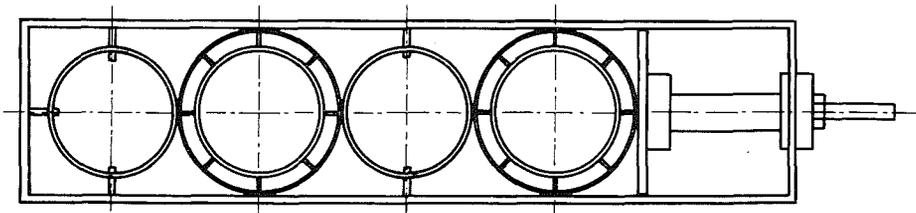
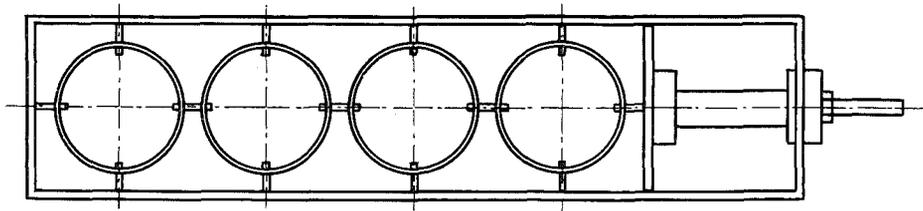


Abb. 7 Ansicht der Meßeinrichtungen



Abstandshalter
ursprüngliche Version



Abstandshalter
neue Version

Abb. 8 Ursprüngliche und geänderte Form der Abstandshalter

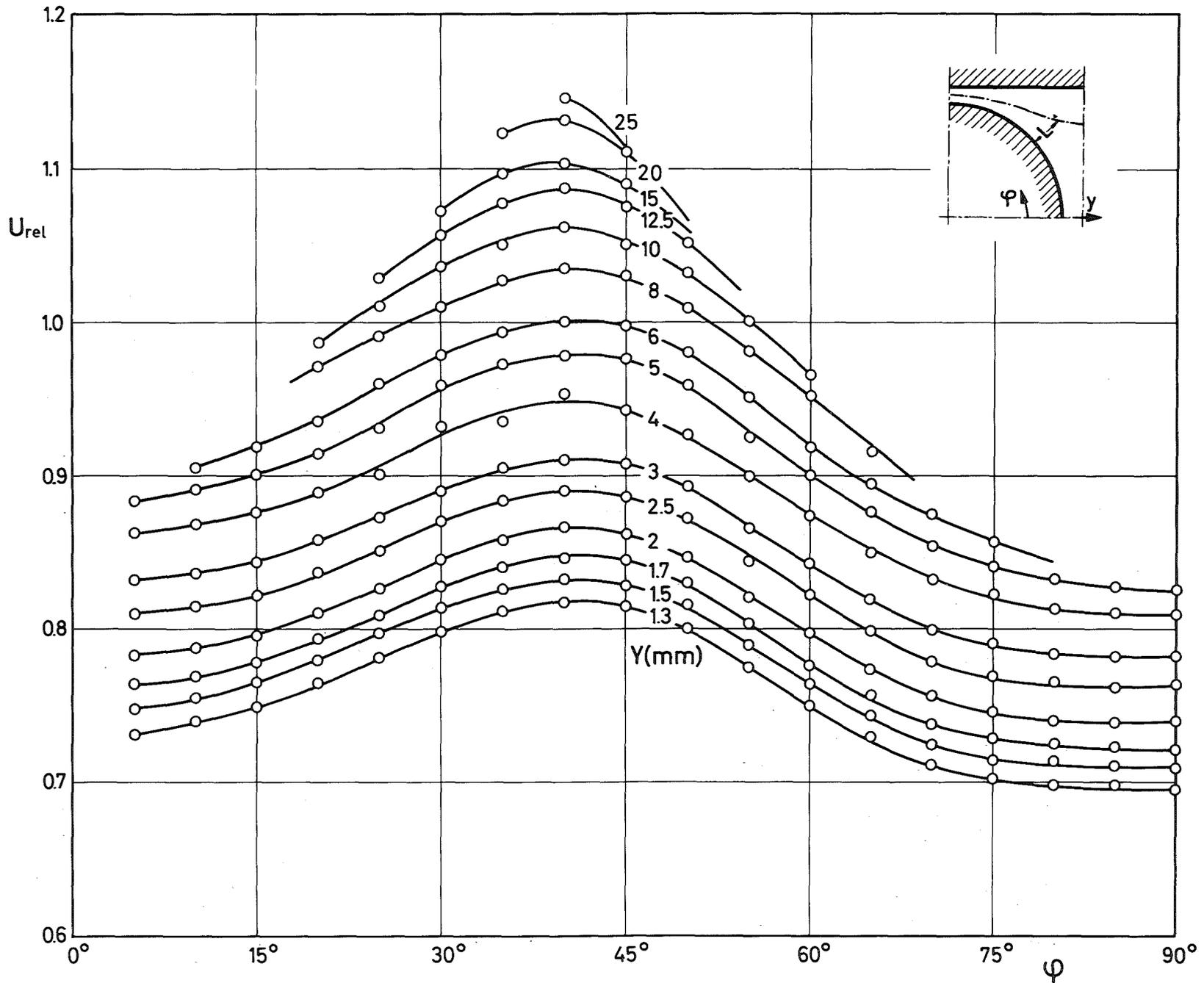


Abb. 9 Zeitlicher Mittelwert der Strömungsgeschwindigkeit (r/ϕ)

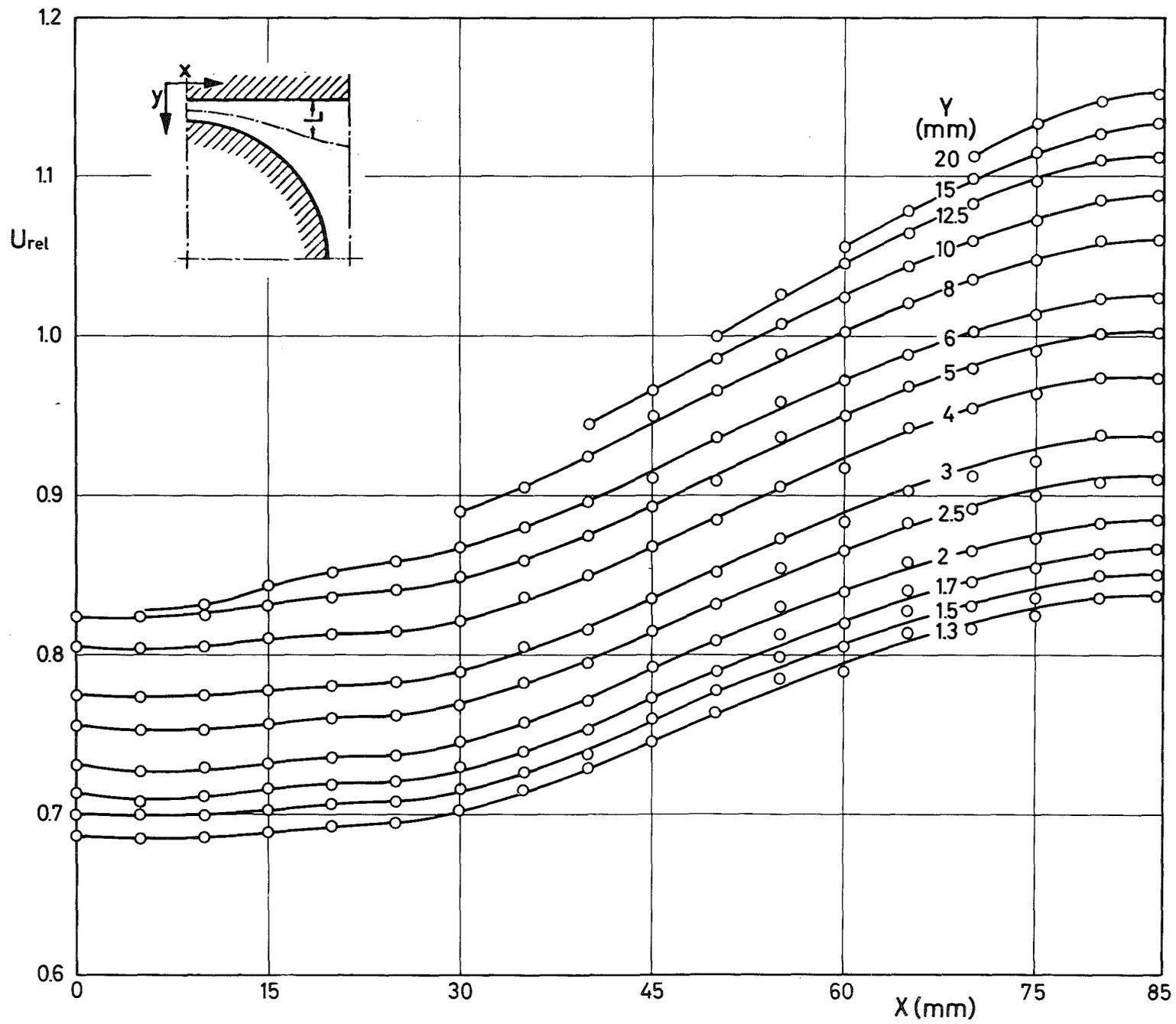
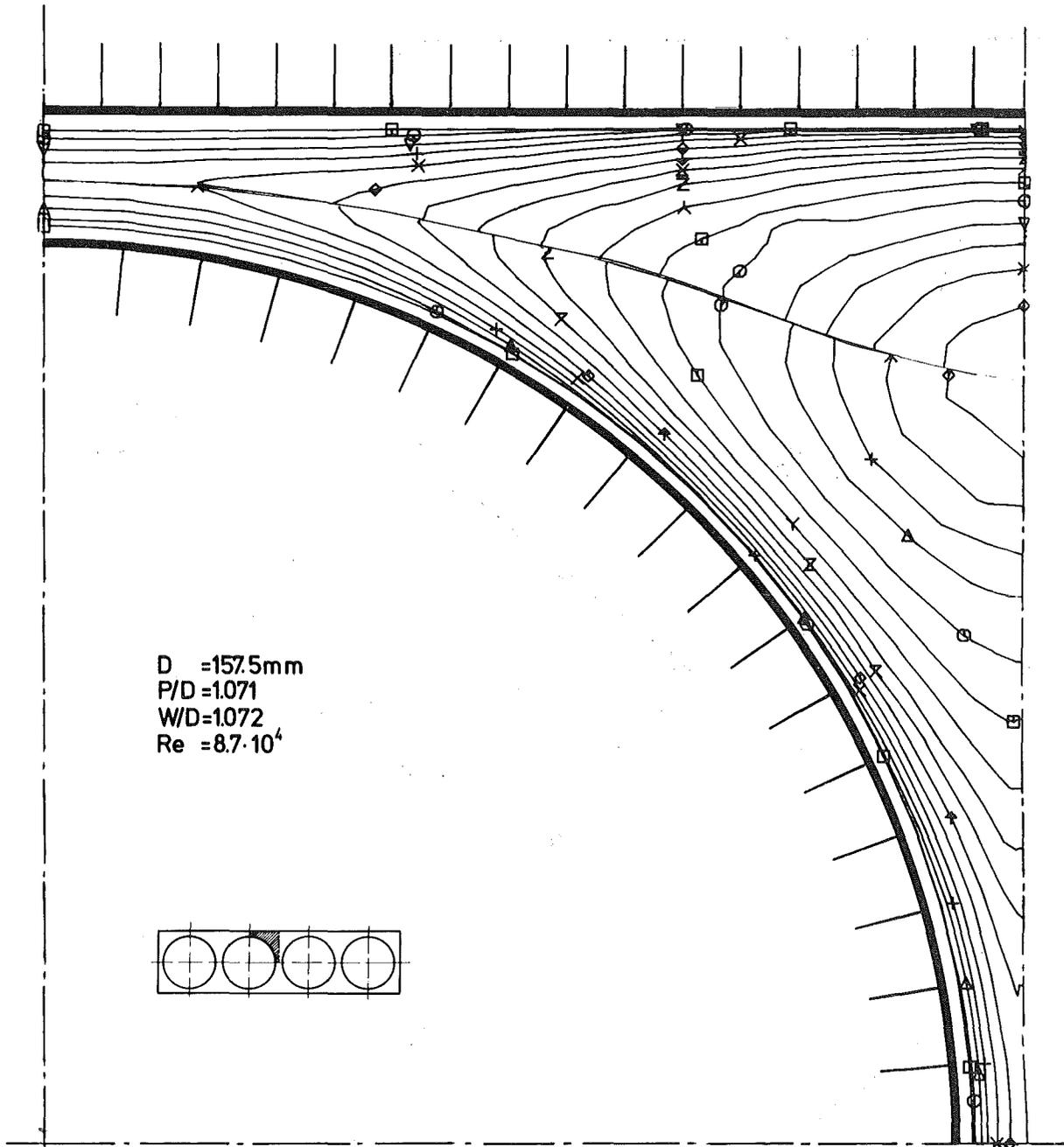


Abb. 10 Zeitlicher Mittelwert der Strömungsgeschwindigkeit (x/y)



□	0.700E 00	×	0.840E 00	z	0.960E 00	△	0.108E 01
○	0.740E 00	◇	0.870E 00	Y	0.990E 00	+	0.110E 01
△	0.780E 00	↑	0.900E 00	□	0.102E 01	×	0.112E 01
+	0.810E 00	×	0.930E 00	○	0.105E 01	◇	0.114E 01

REL. AXIAL VELOCITY

Abb. 11 Zeitlicher Mittelwert der Strömungsgeschwindigkeit (Höhenlinien)

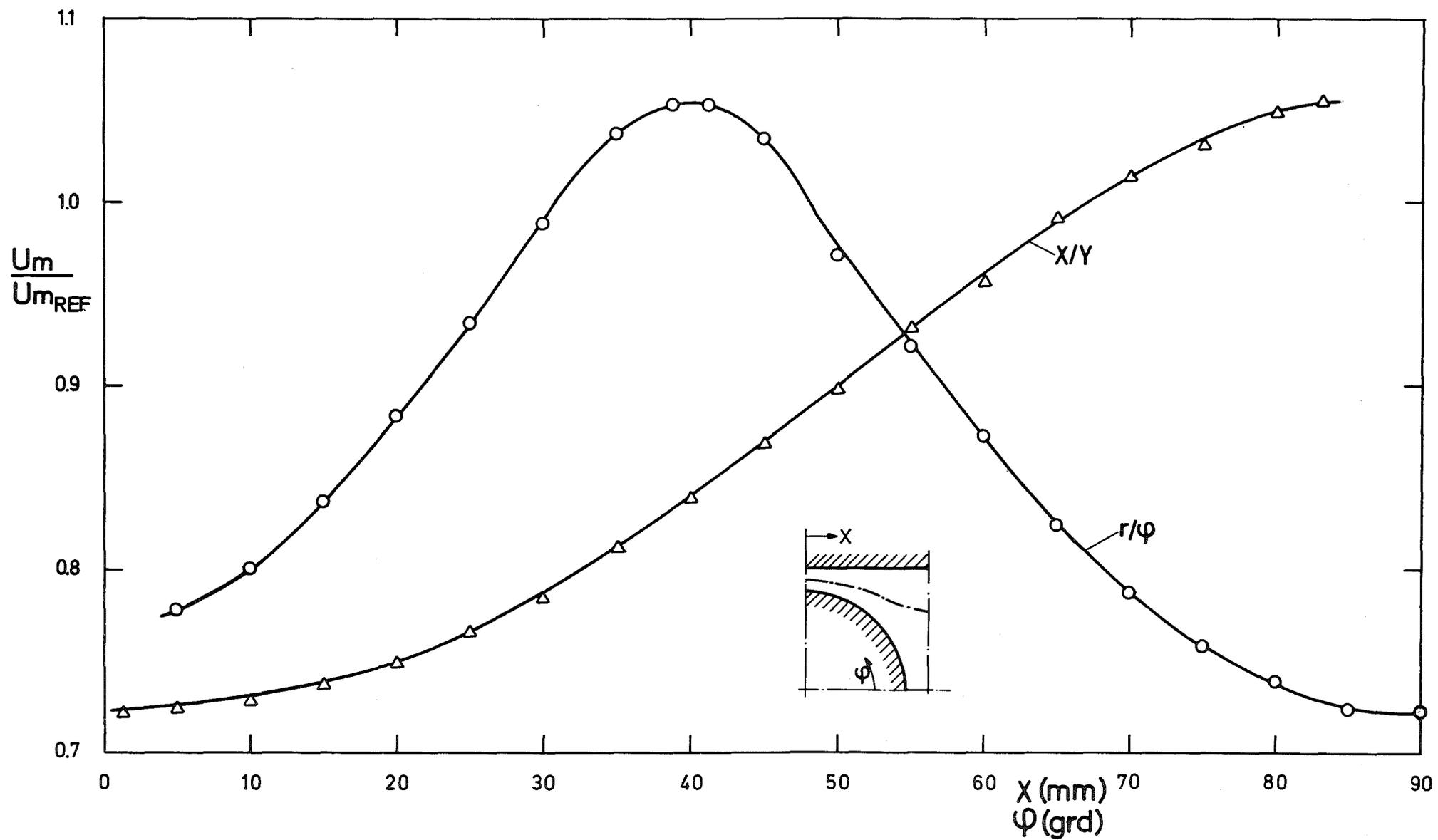


Abb. 12 Mittlere Strömungsgeschwindigkeit am Stab- und Kanalumfang

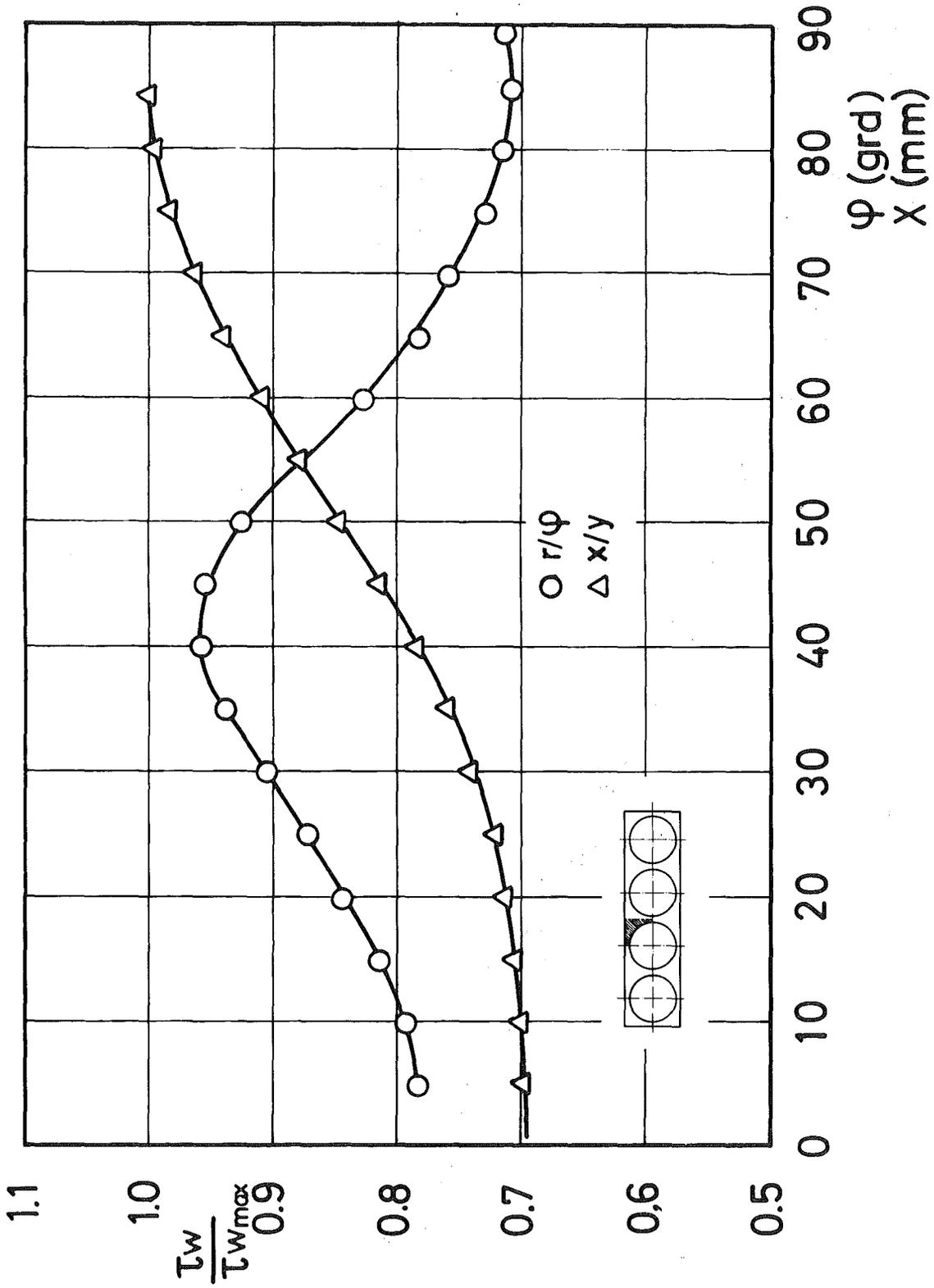


Abb. 13 Wandschubspannungsverteilung

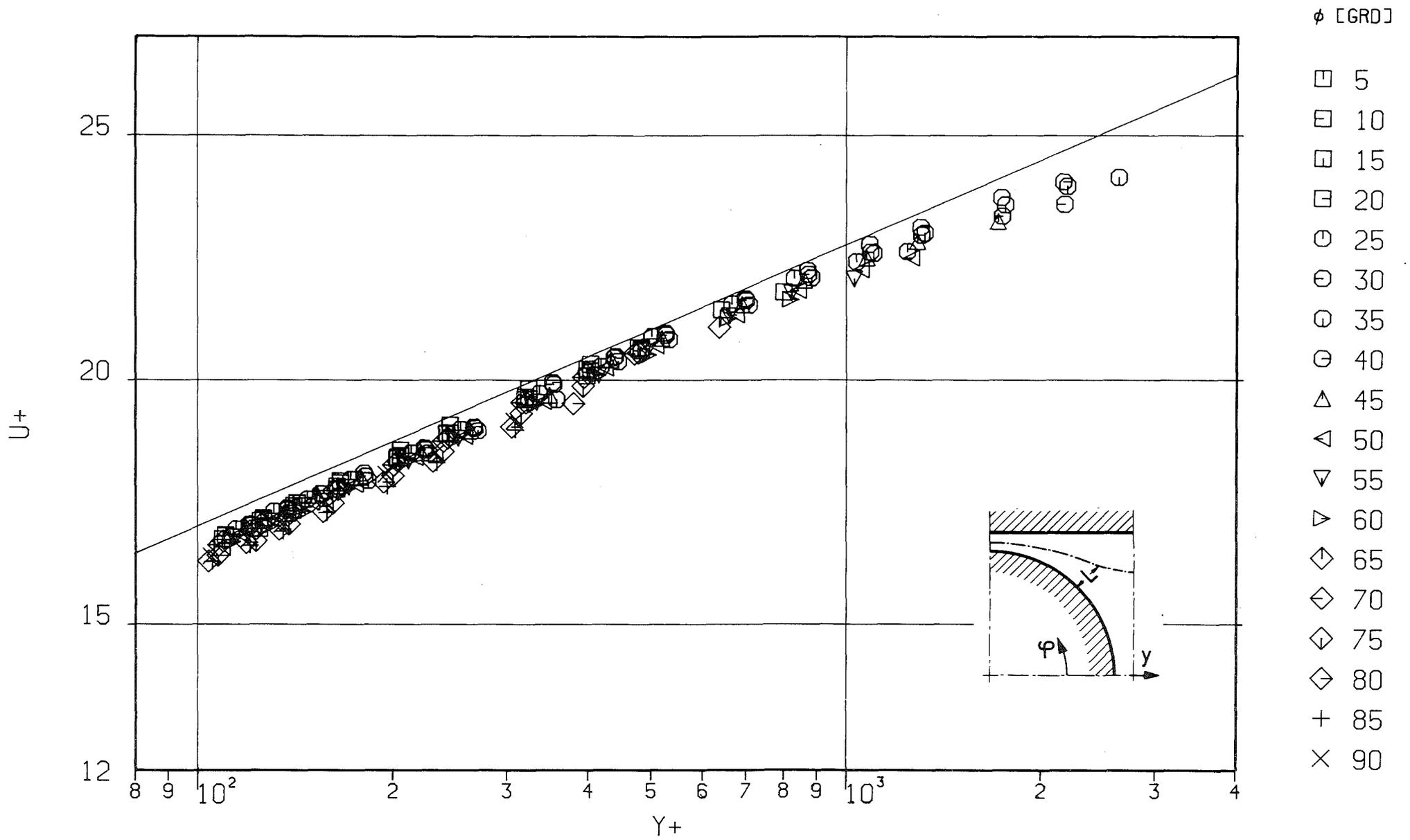


Abb. 14 Dimensionsloses Geschwindigkeitsprofil (r/ϕ)

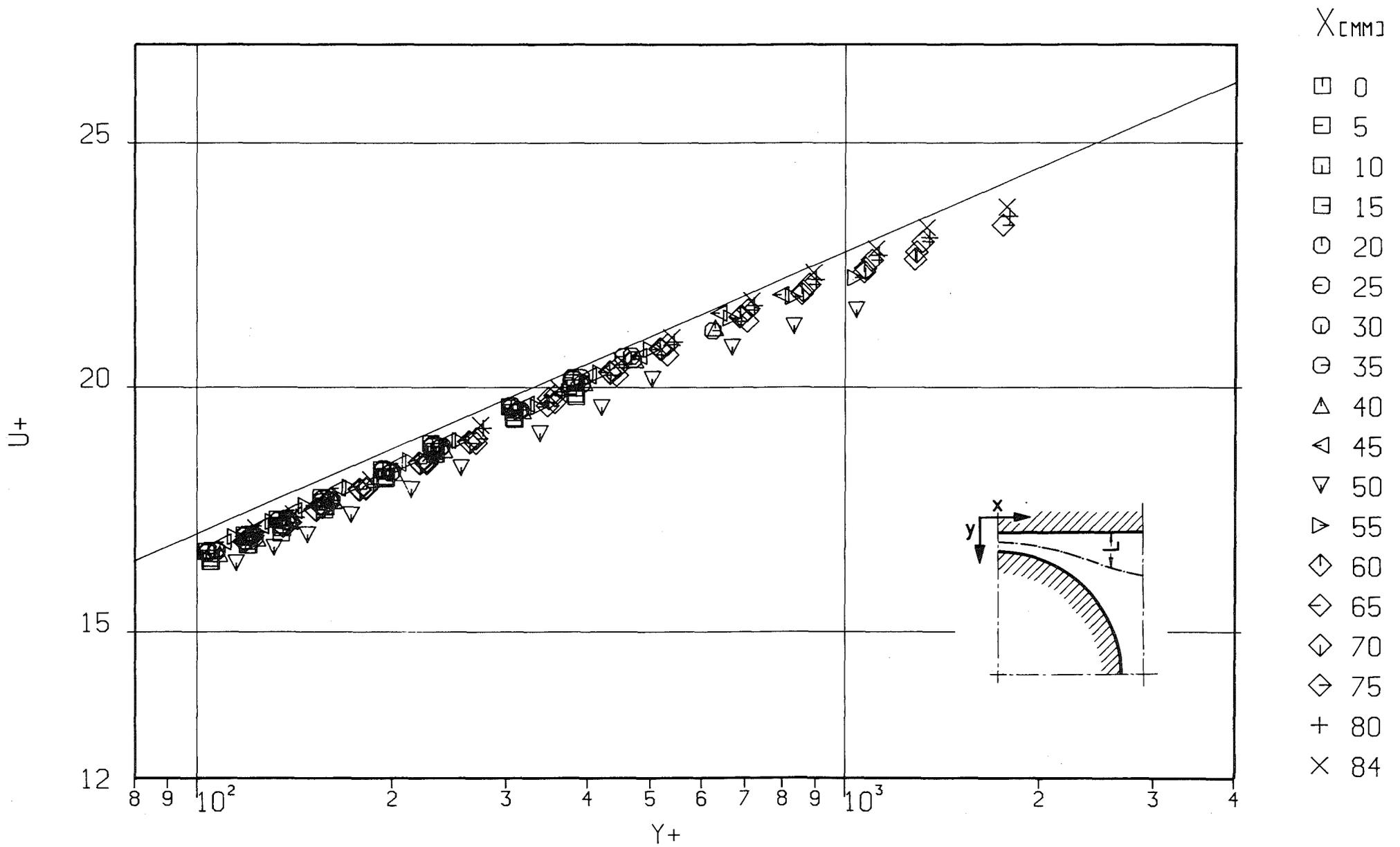


Abb. 15 Dimensionsloses Geschwindigkeitsprofil (x/y)

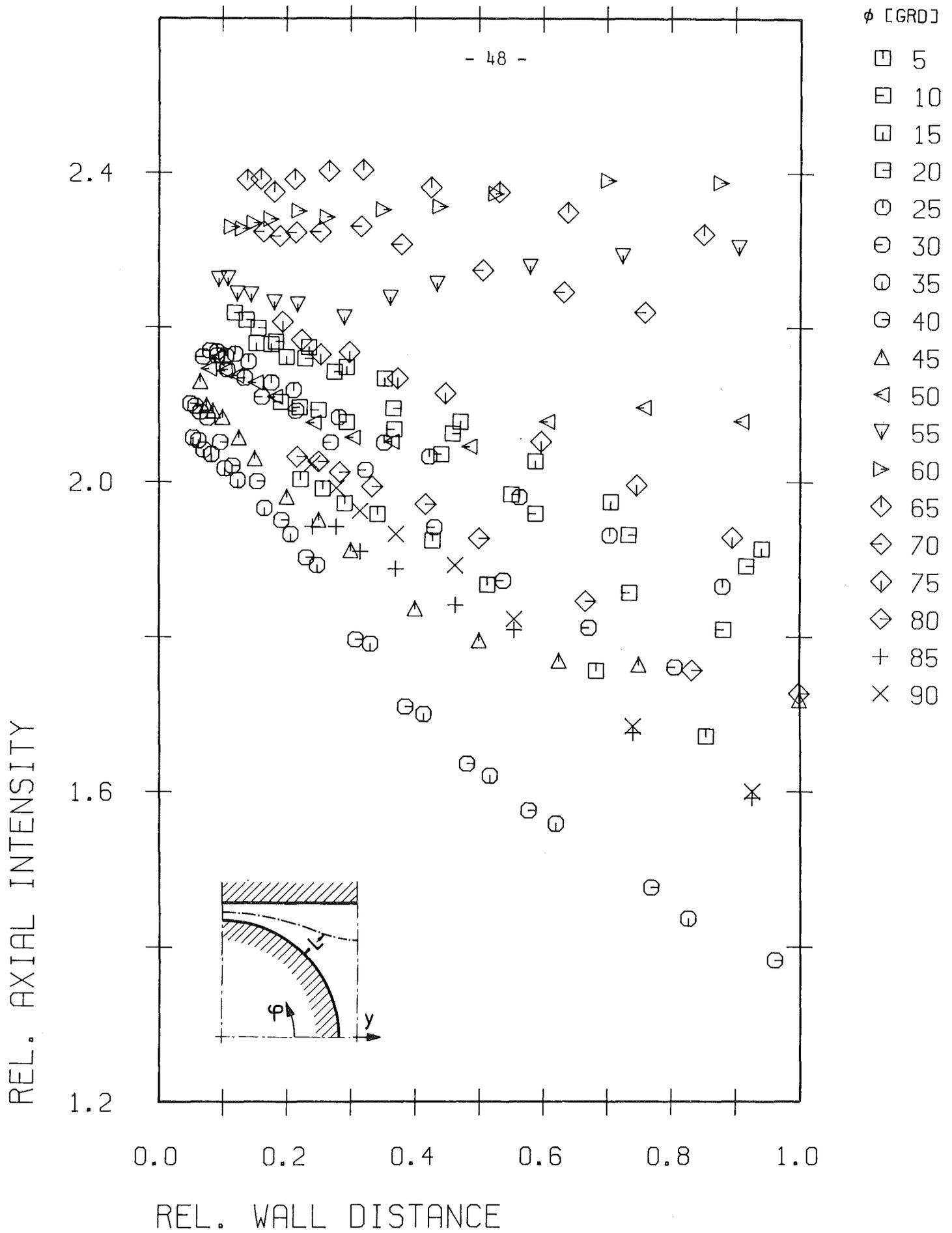


Abb. 16 Axiale Turbulenzintensität (r/ϕ)

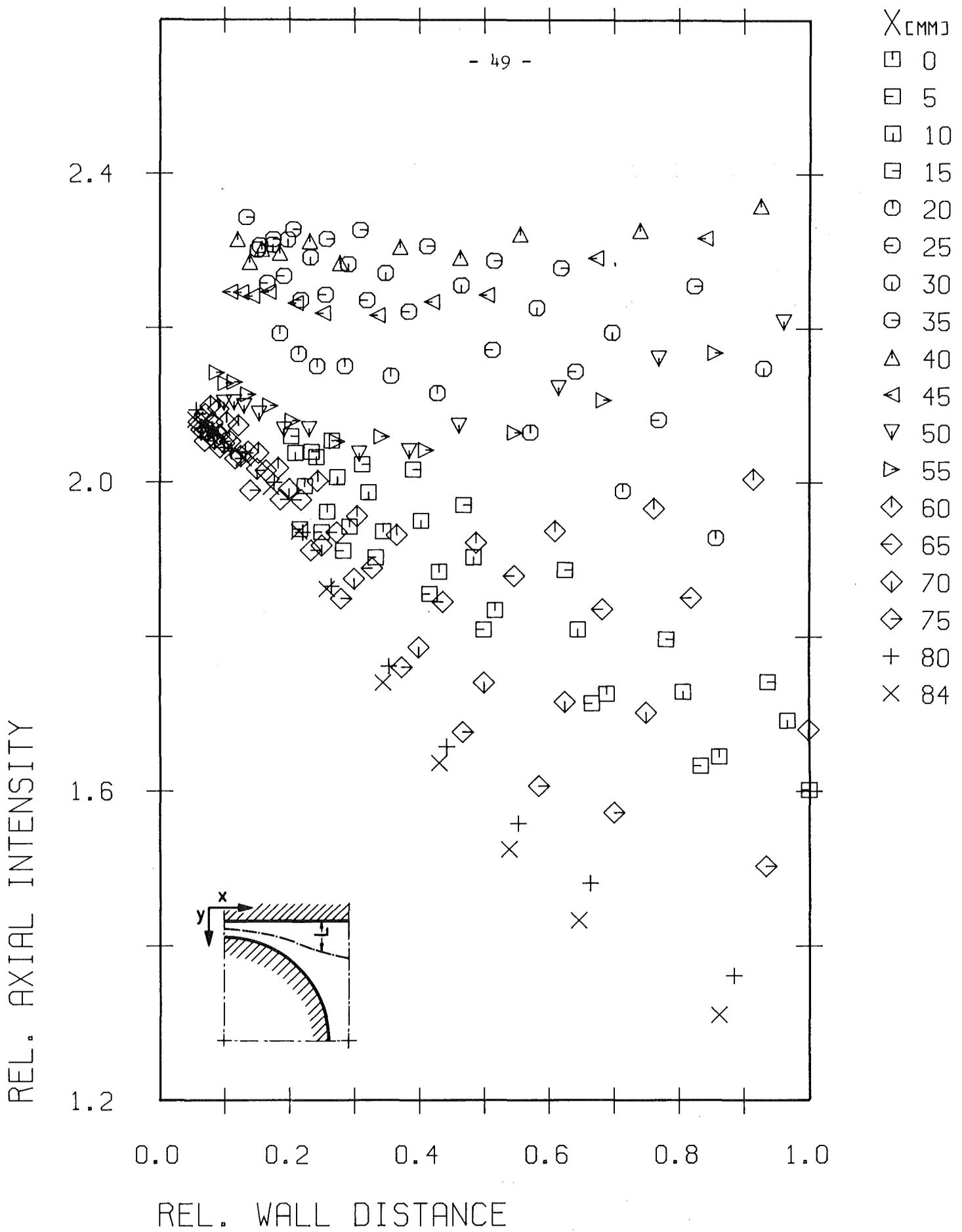
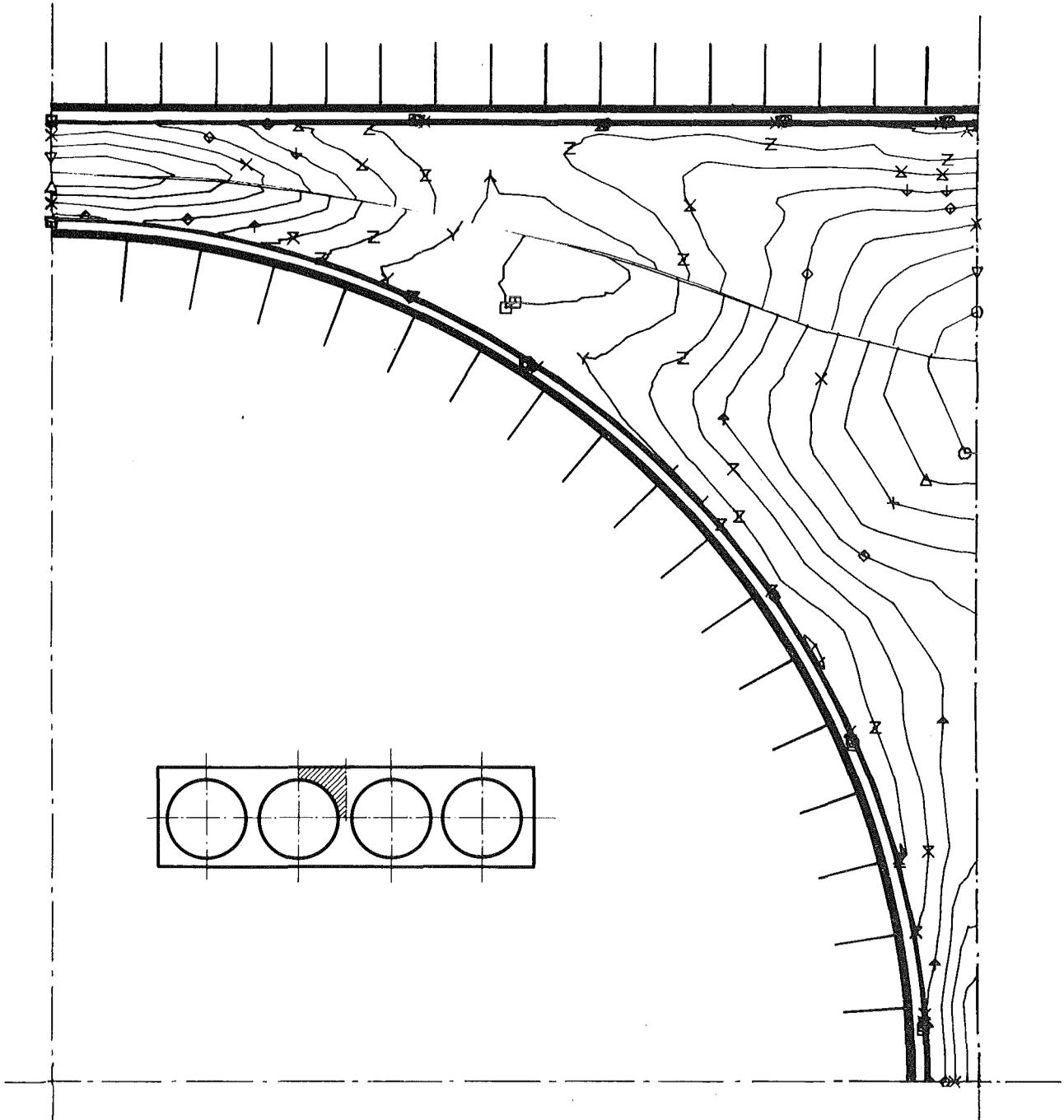


Abb. 17 Axiale Turbulenzintensität (x/y)



▣ 0.140E 01	× 0.180E 01	z 0.220E 01
⊙ 0.150E 01	◇ 0.190E 01	γ 0.230E 01
△ 0.160E 01	↑ 0.200E 01	▣ 0.240E 01
+ 0.170E 01	× 0.210E 01	

REL. AXIAL INTENSITY

Abb. 18 Axiale Turbulenzintensität (Höhenlinien)

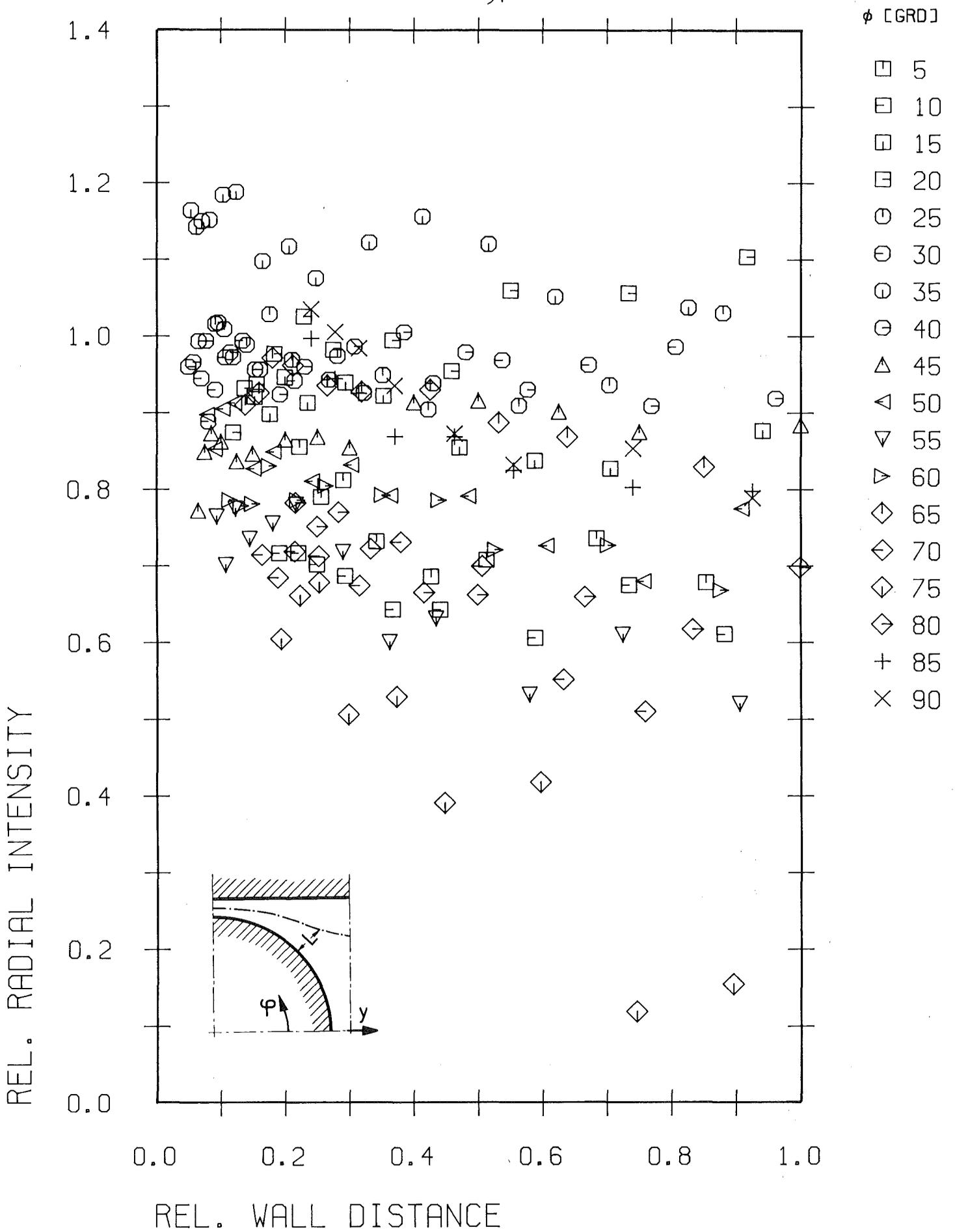


Abb. 19 Radiale Turbulenzintensität (r/ϕ)

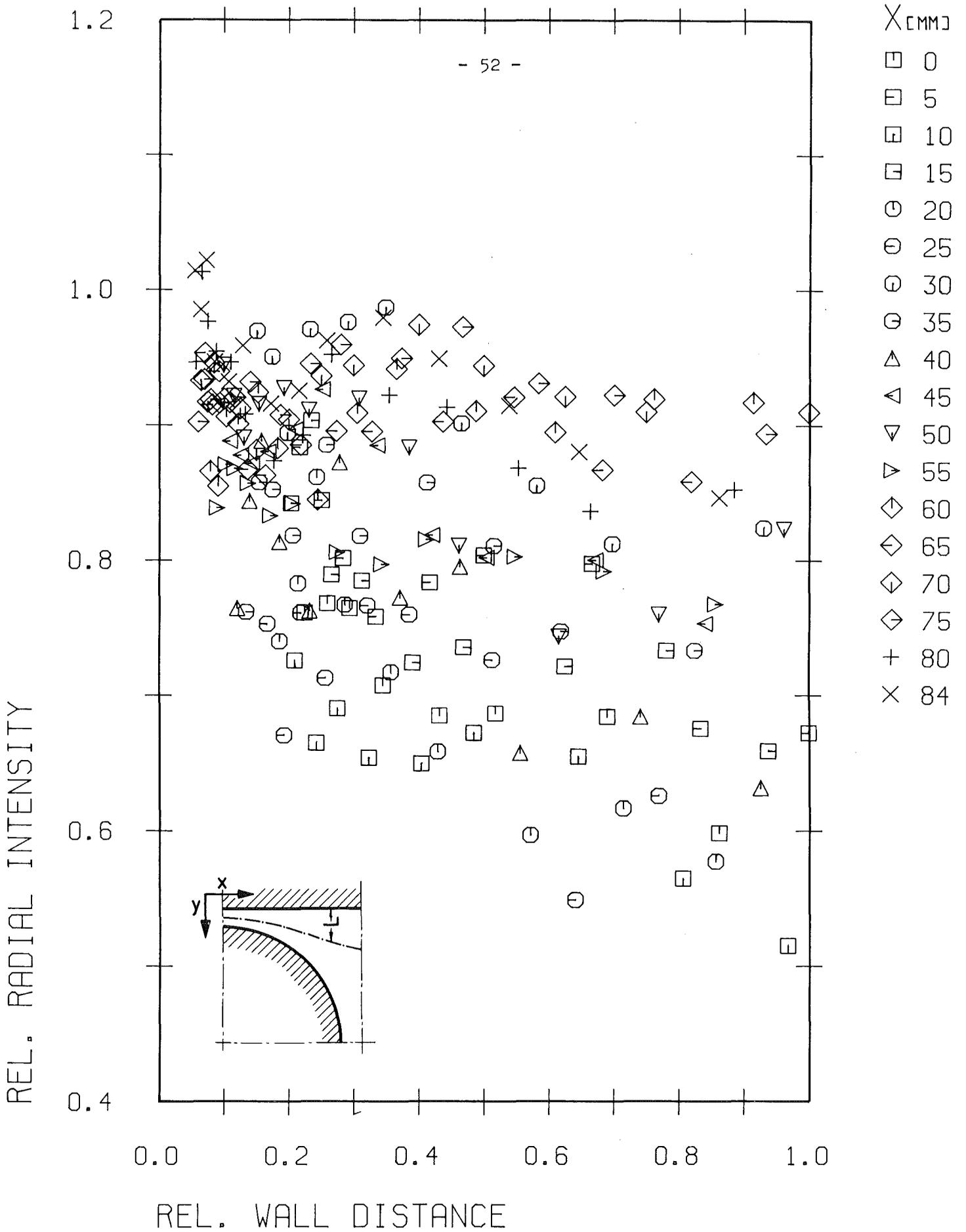


Abb. 20 Radiale Turbulenzintensität (x/y)

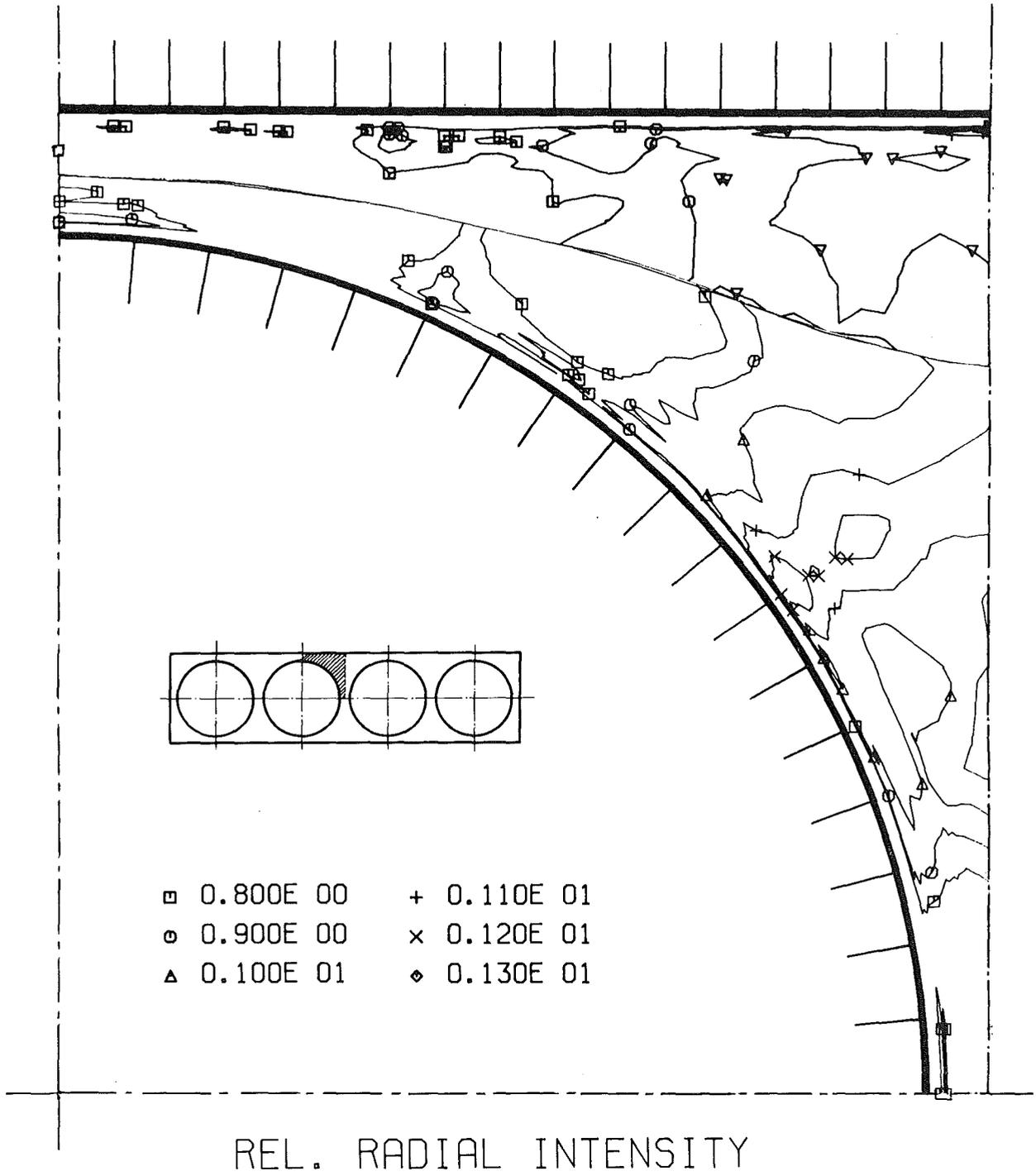


Abb. 21 Radiale Turbulenzintensität (Höhenlinien)

REL. AZIMUTAL INTENSITY

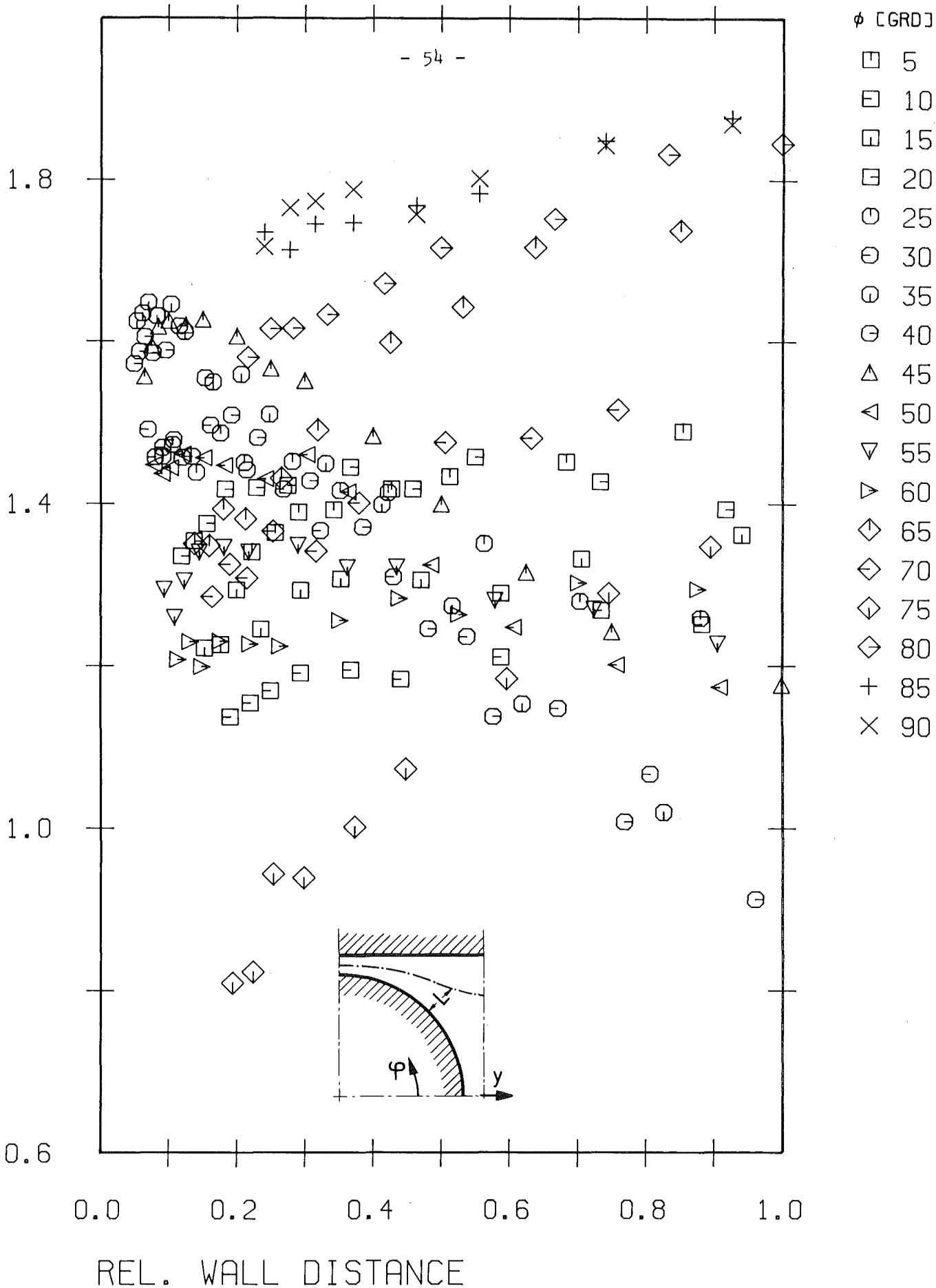


Abb. 22 Azimutale Turbulenzintensität (r/ϕ)

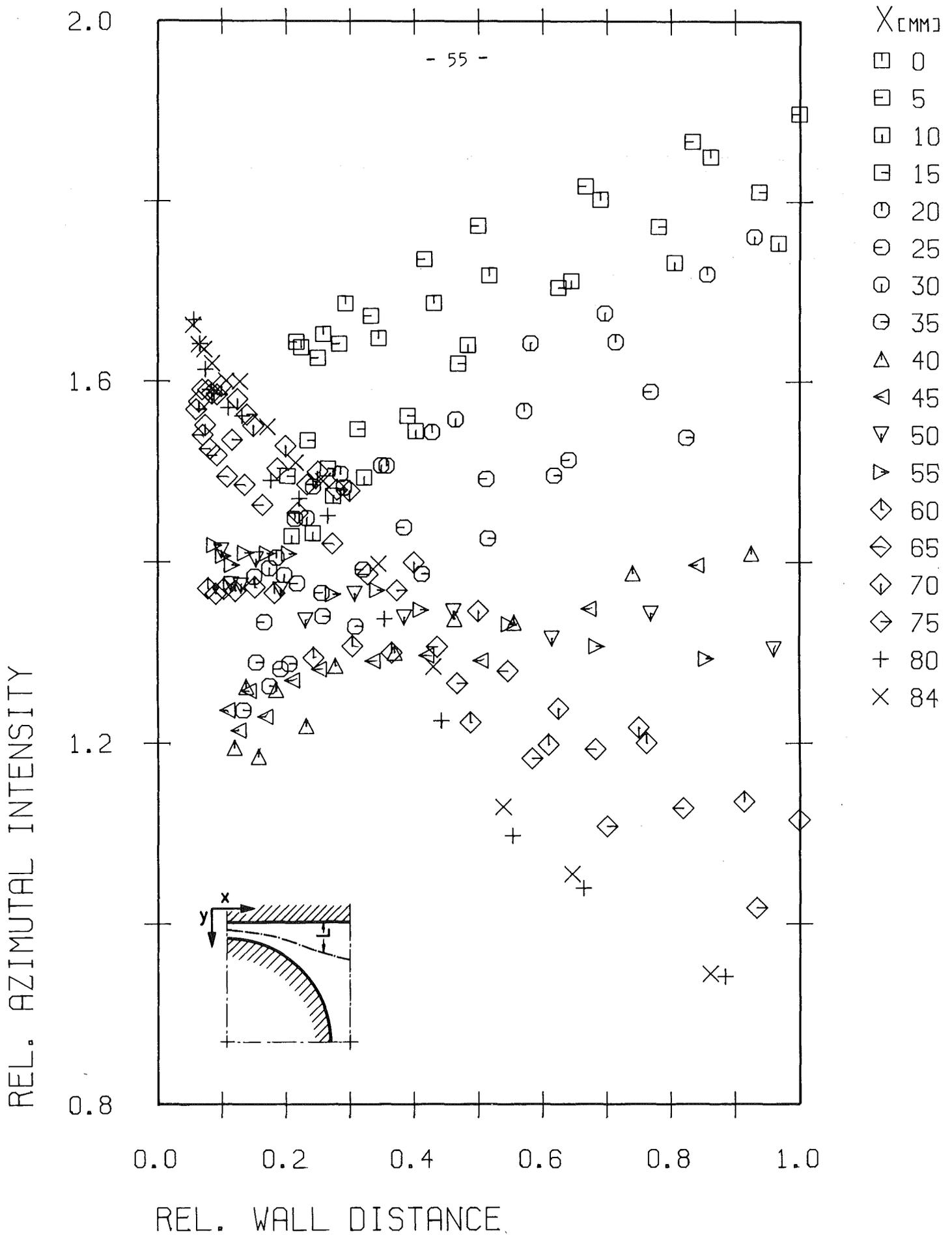
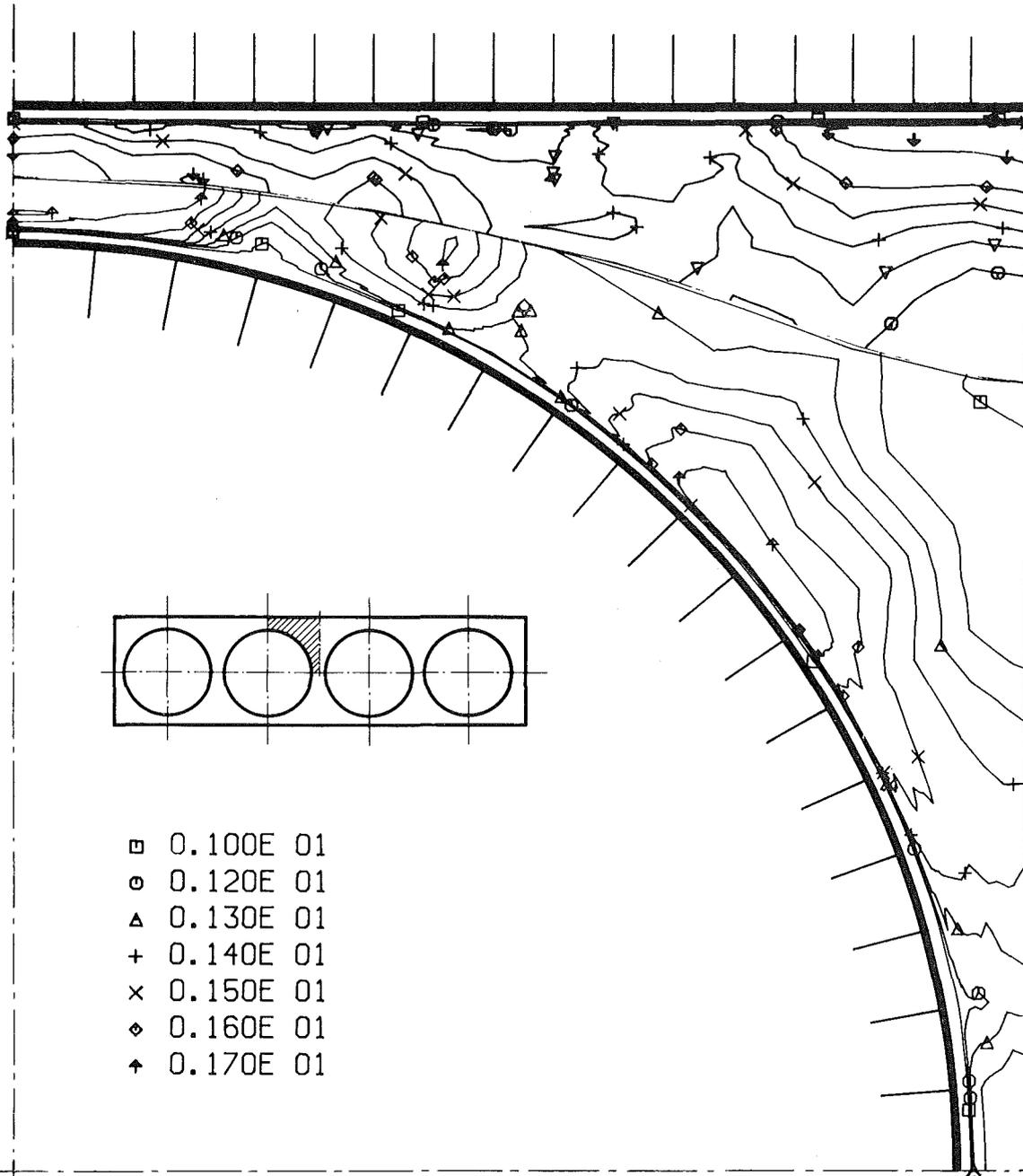


Abb. 23 Azimutale Turbulenzintensität (x/y)



REL. AZIMUTAL INTENSITY

Abb. 24 Azimutale Turbulenzintensität (Höhenlinien)

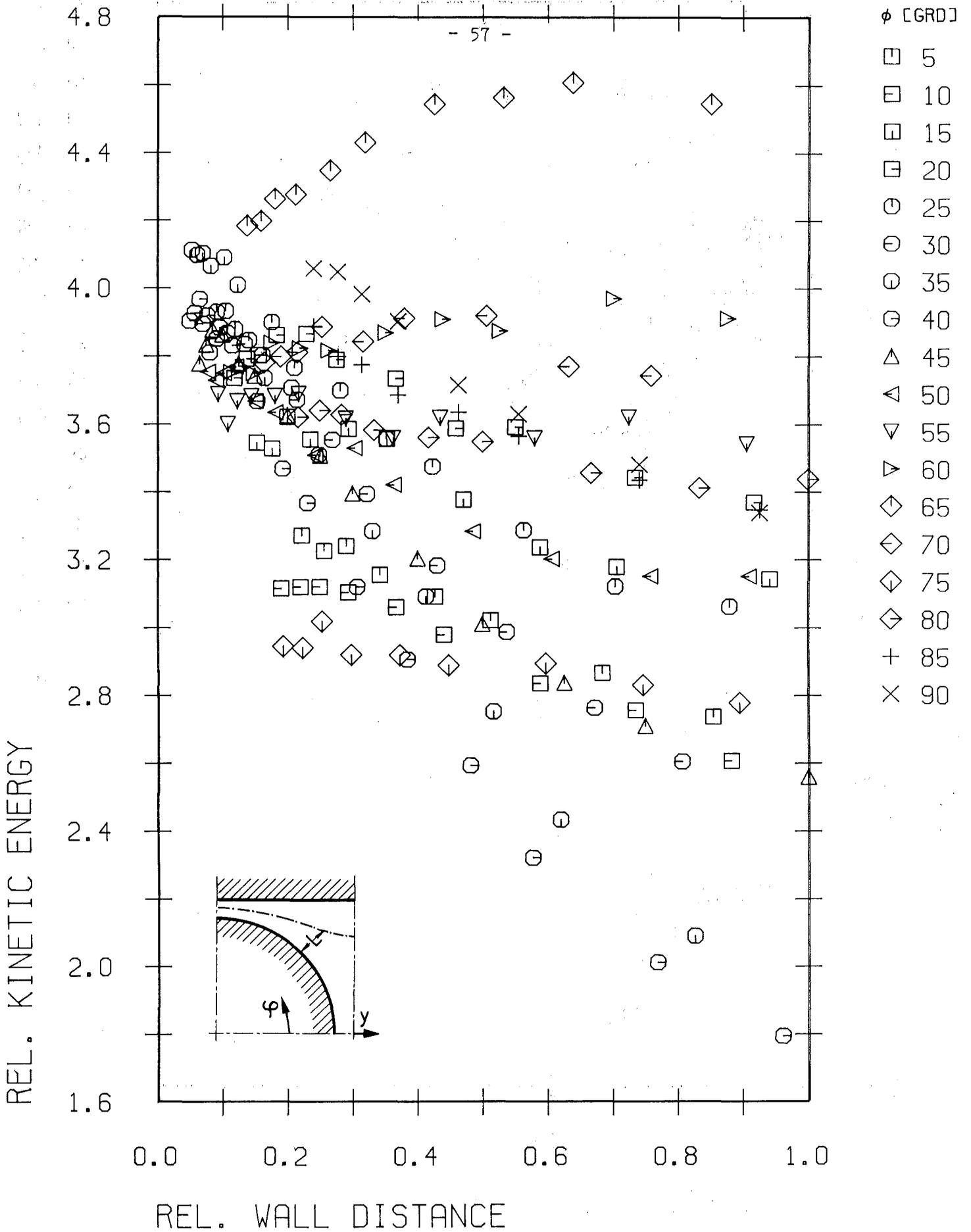


Abb. 25 Kinetische Energie der Turbulenz (r/ϕ)

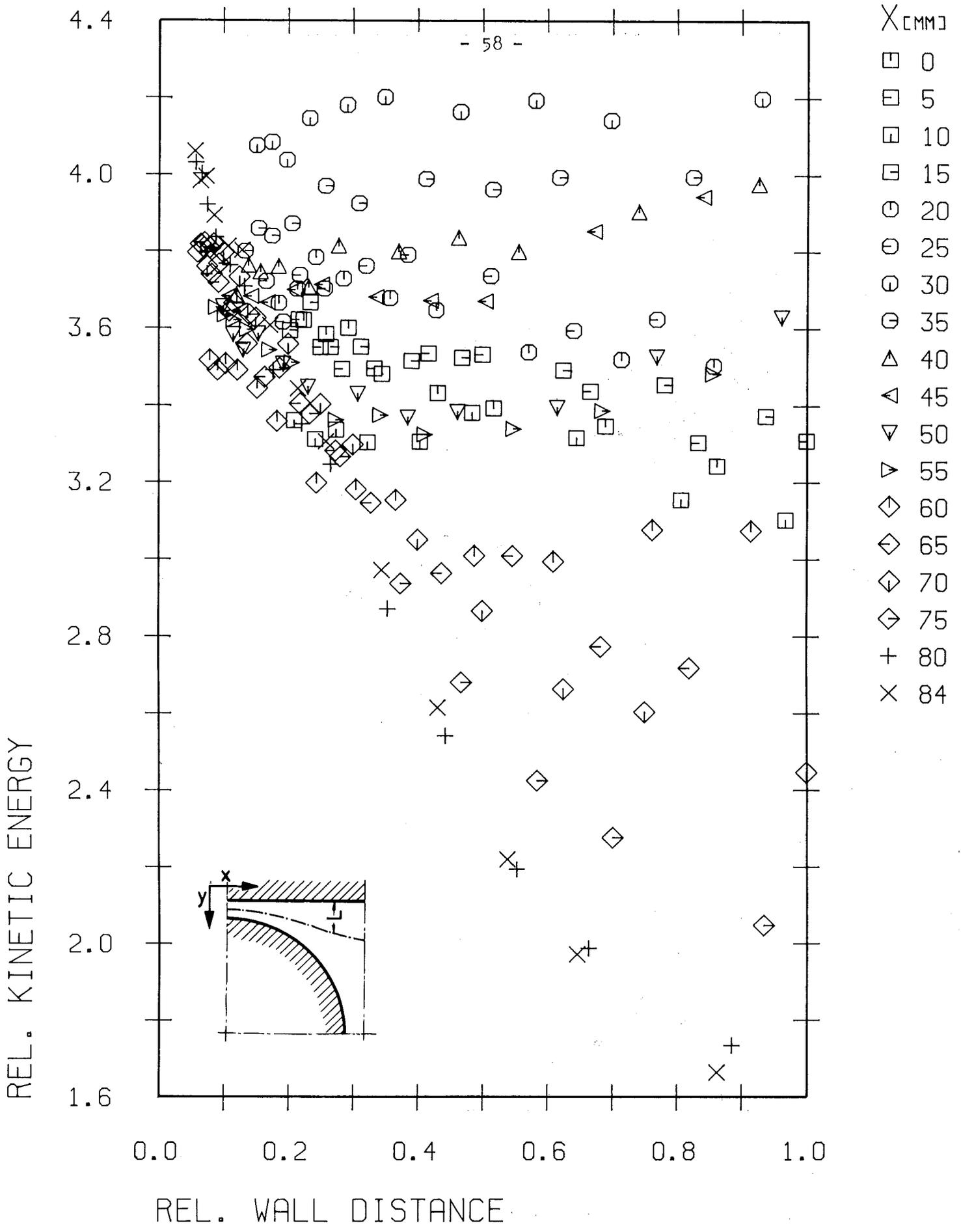


Abb. 26 Kinetische Energie der Turbulenz (x/y)

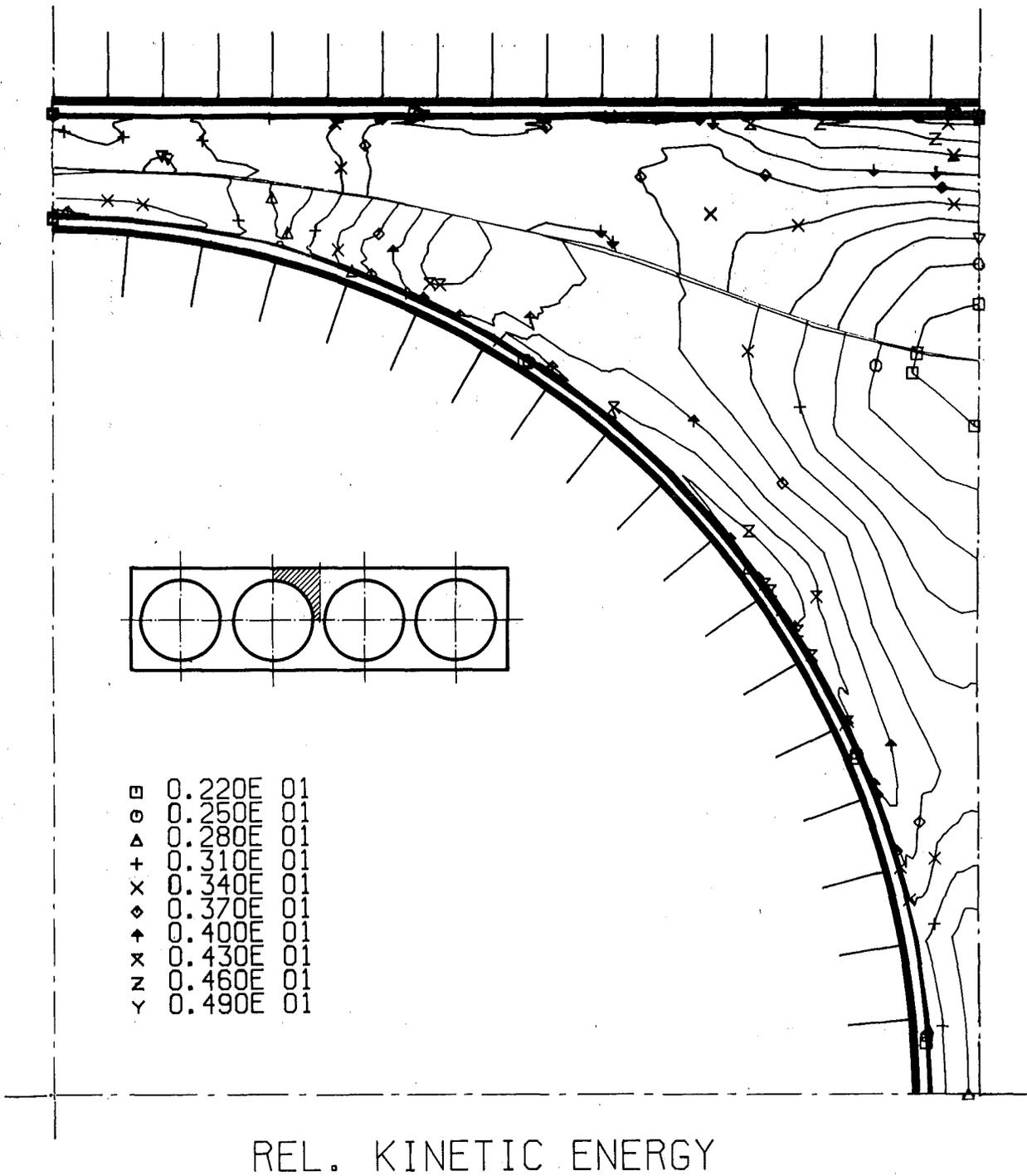


Abb. 27 Kinetische Energie der Turbulenz (Höhenlinien)

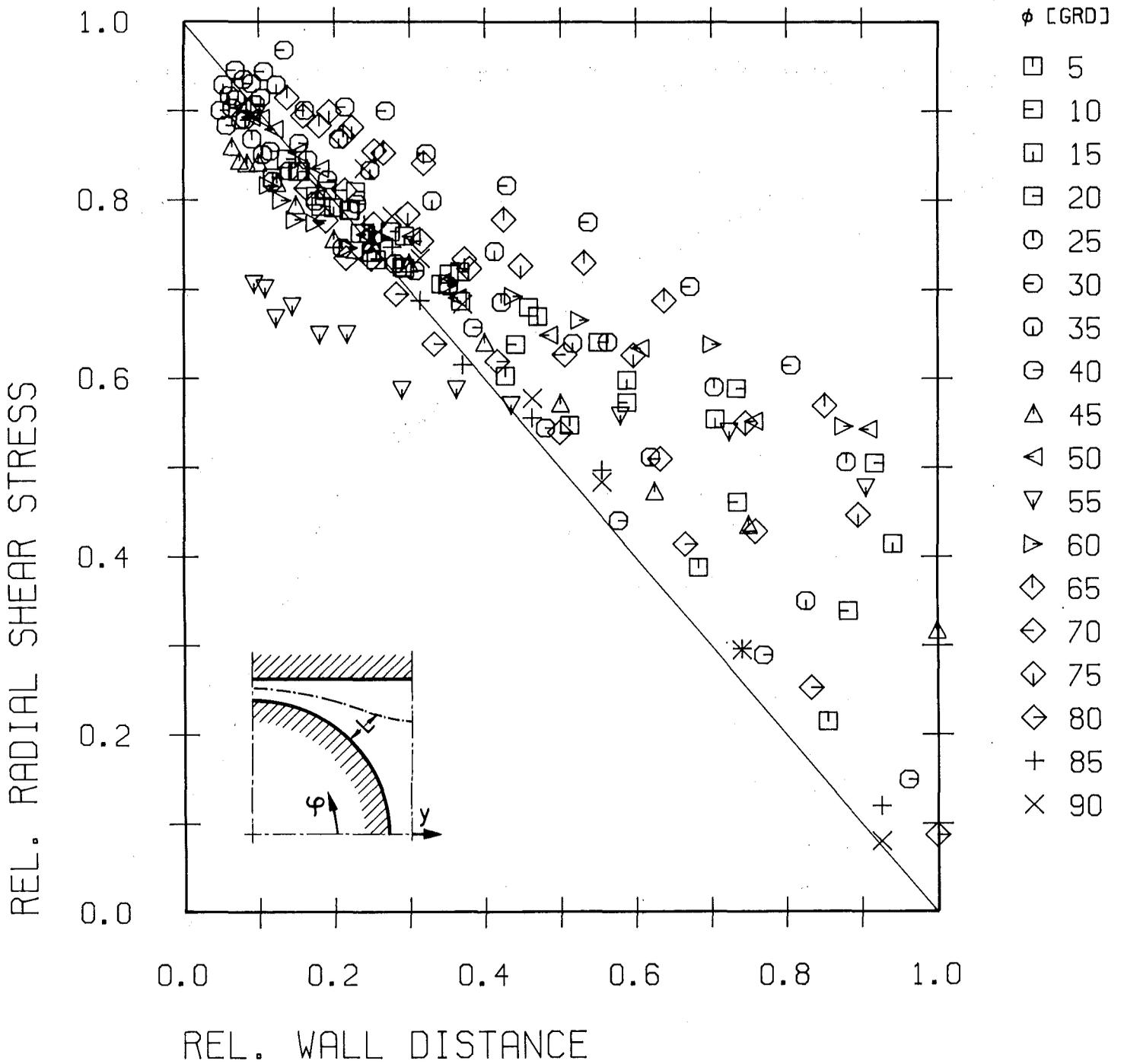


Abb. 28 Radiale Schubspannung (r/ϕ)

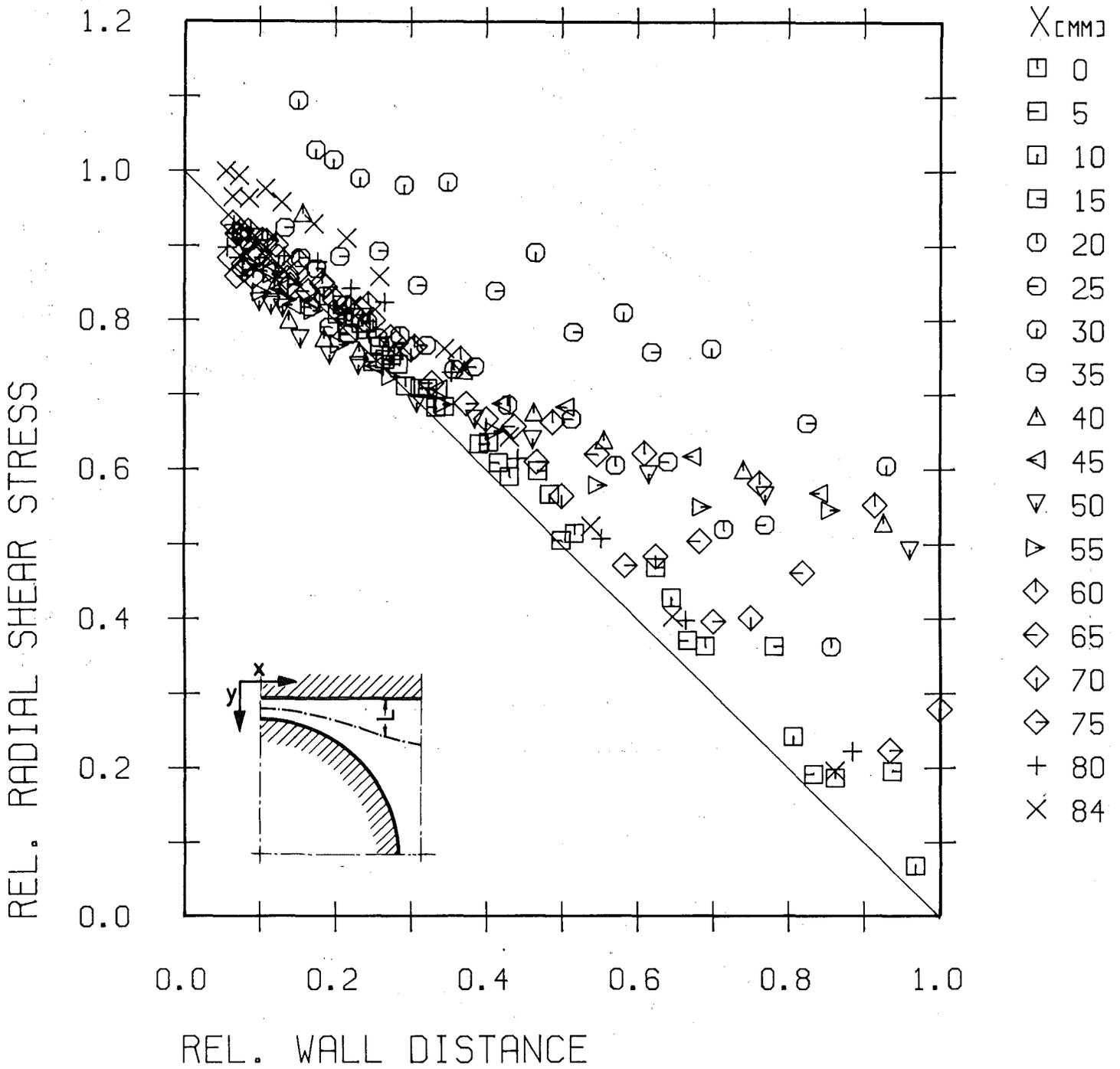


Abb. 29 Radiale Schubspannung (x/y)

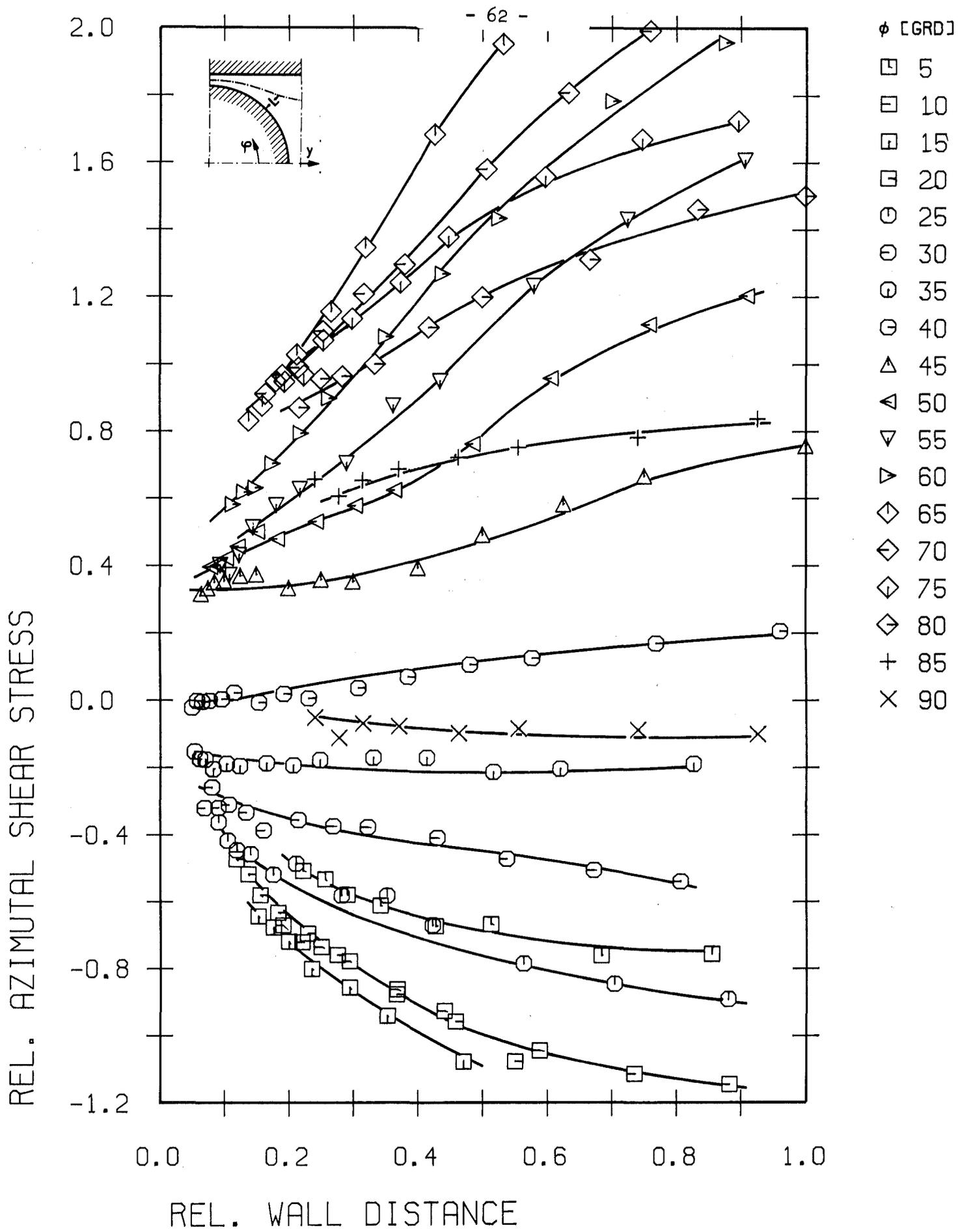


Abb. 30 Azimutale Schubspannung (r/ϕ)

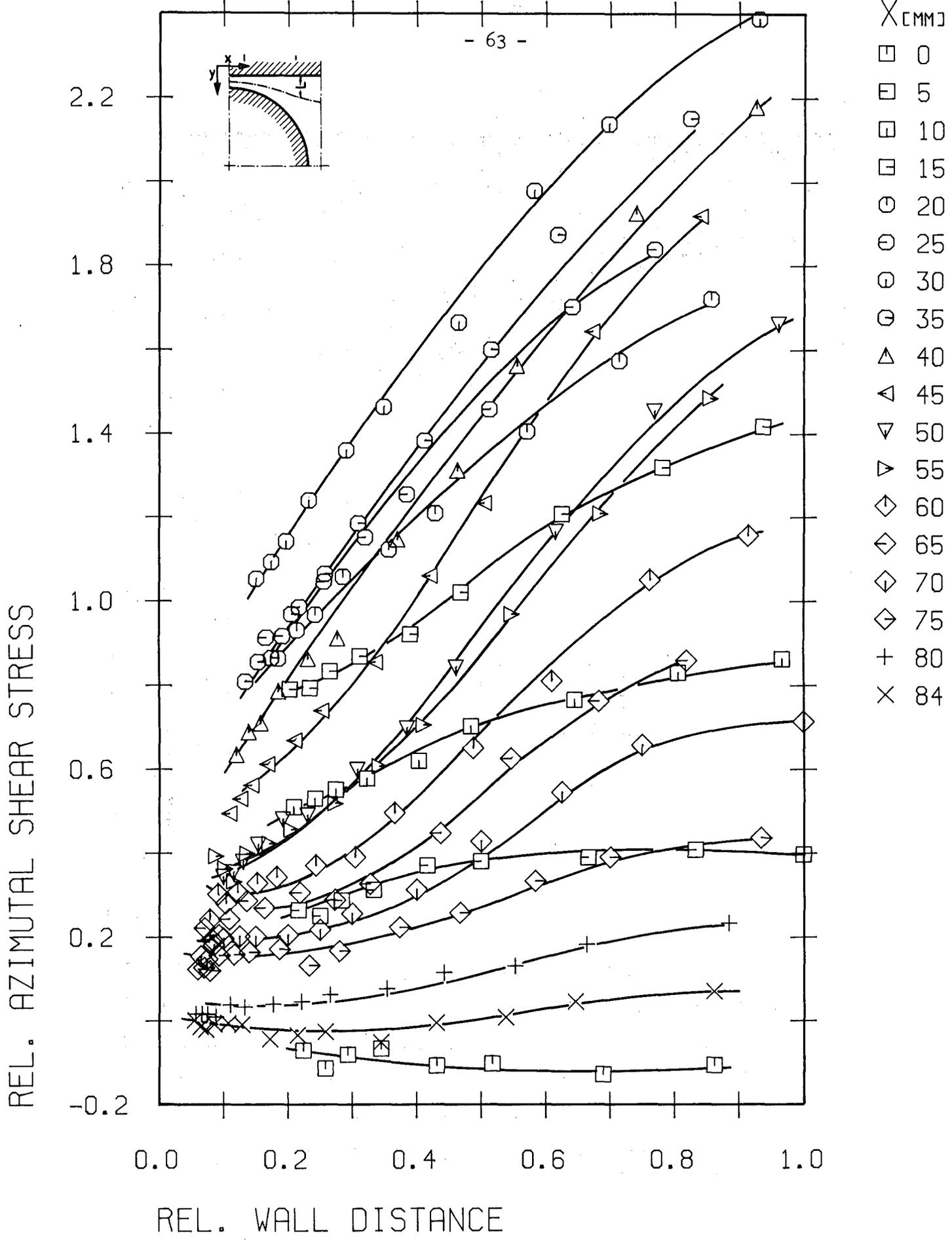
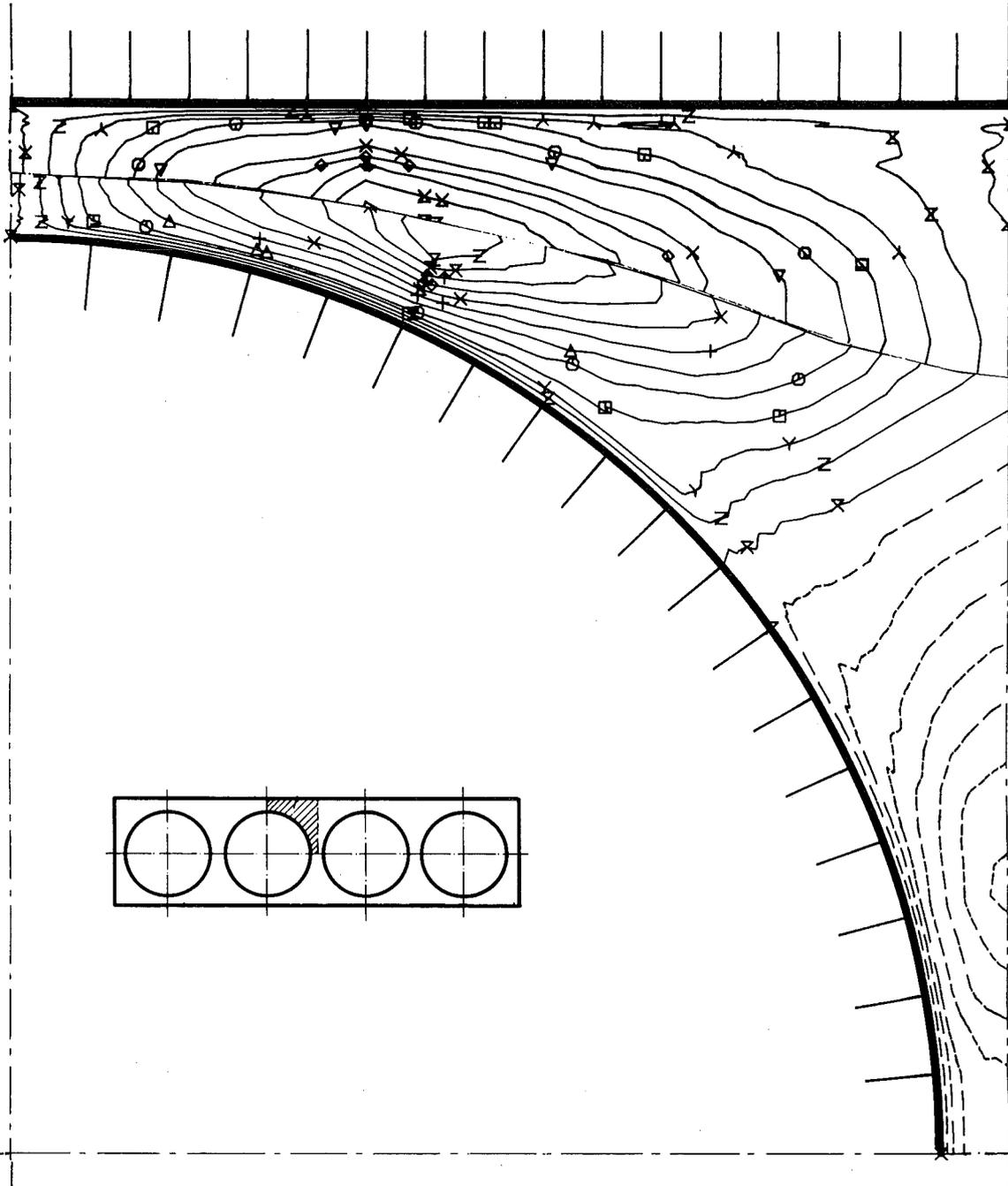


Abb. 31 Azimutale Schubspannung (x/y)



▣ -0.140E 01	◇ -0.400E 00	▣ 0.600E 00	◇ 0.160E 01
○ -0.120E 01	⊕ -0.200E 00	○ 0.800E 00	⊕ 0.180E 01
△ -0.100E 01	× 0.0	△ 0.100E 01	× 0.200E 01
+ -0.800E 00	z 0.200E 00	+ 0.120E 01	z 0.220E 01
x -0.600E 00	y 0.400E 00	x 0.140E 01	

REL. AZIMUTAL SHEAR STRESS

Abb. 32 Azimutale Schubspannung (Höhenlinien)

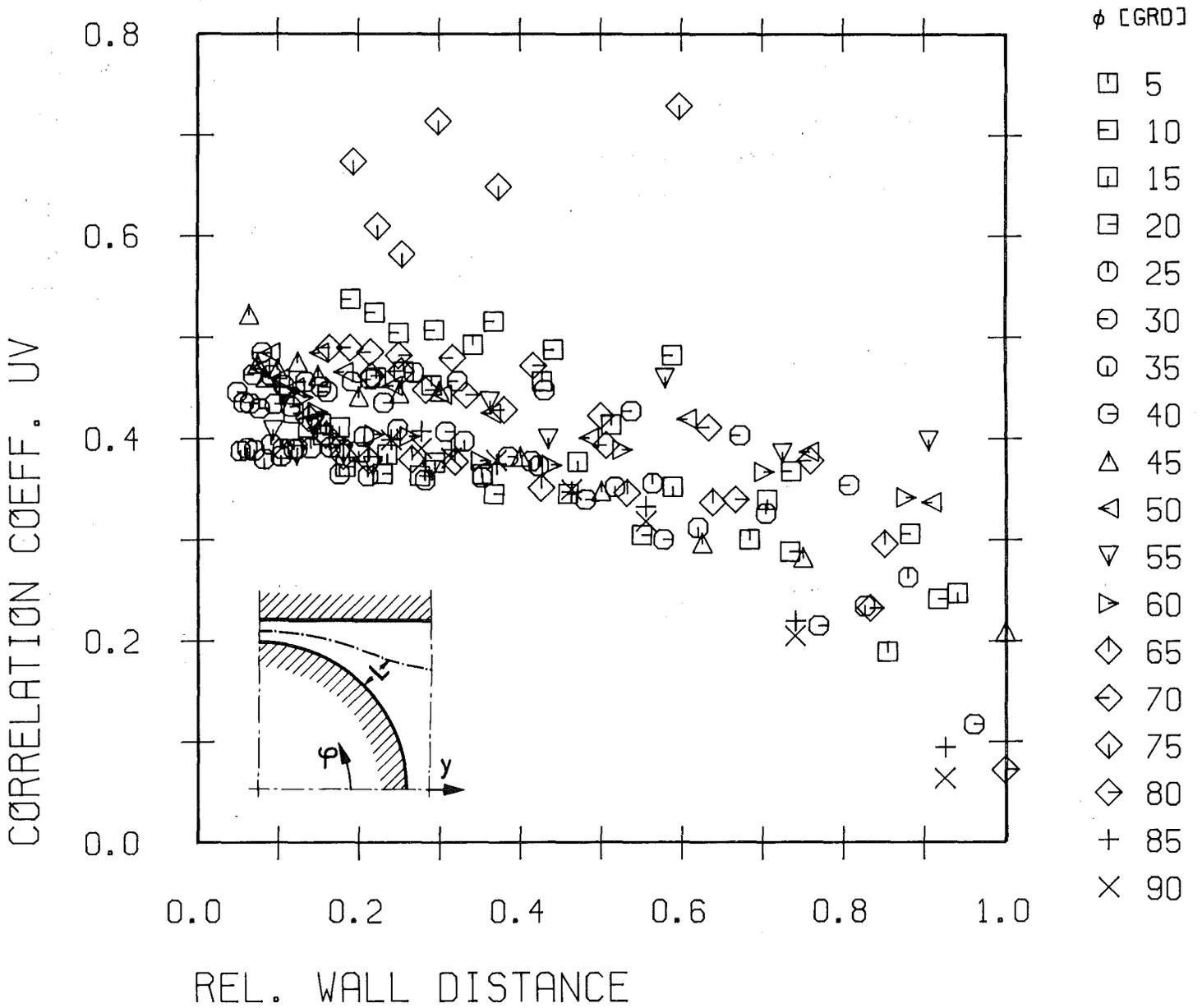


Abb. 33 Korrelationskoeffizient R_{uv} (r/ϕ)

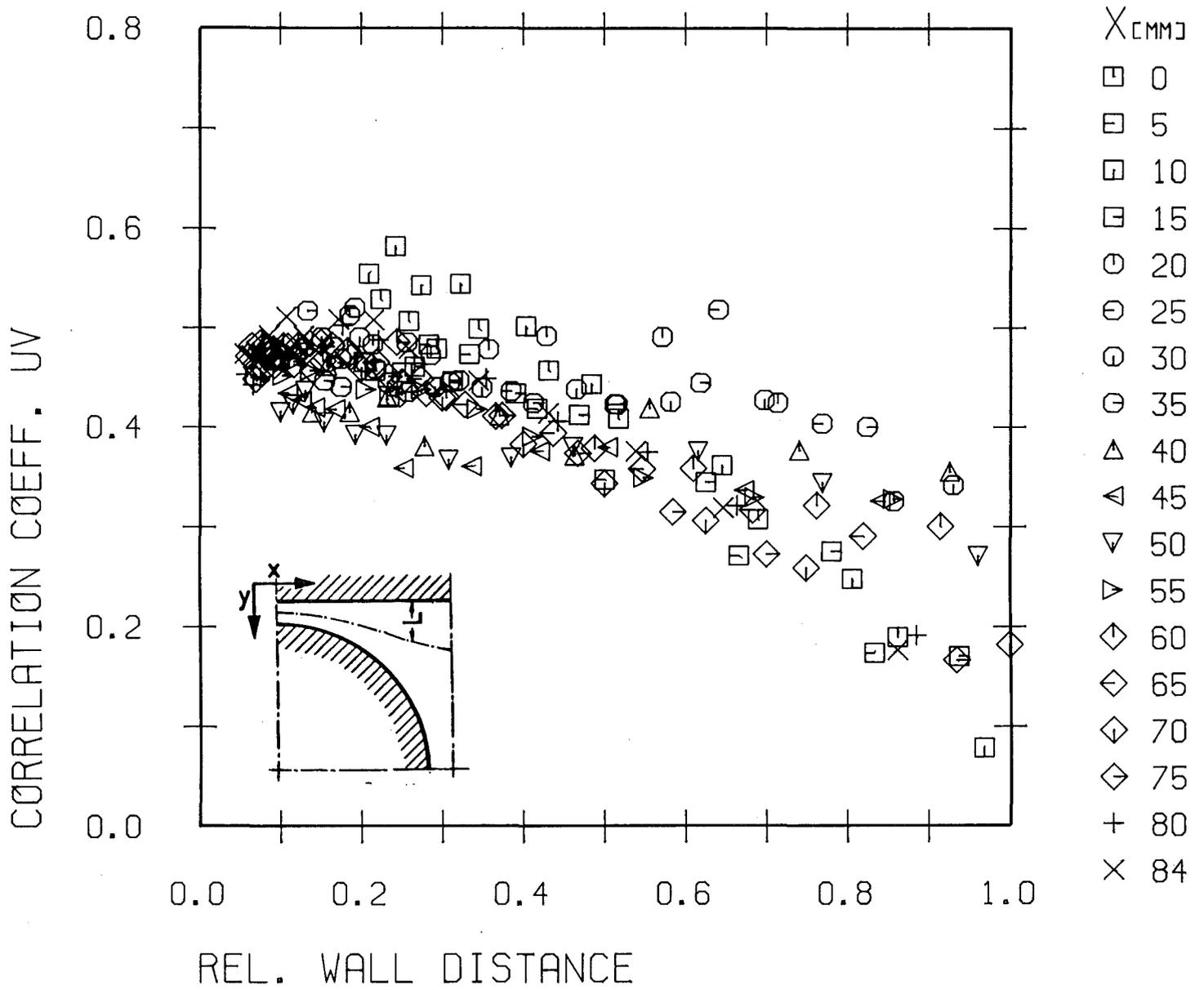


Abb. 34 Korrelationskoeffizient R_{uv} (x/y)

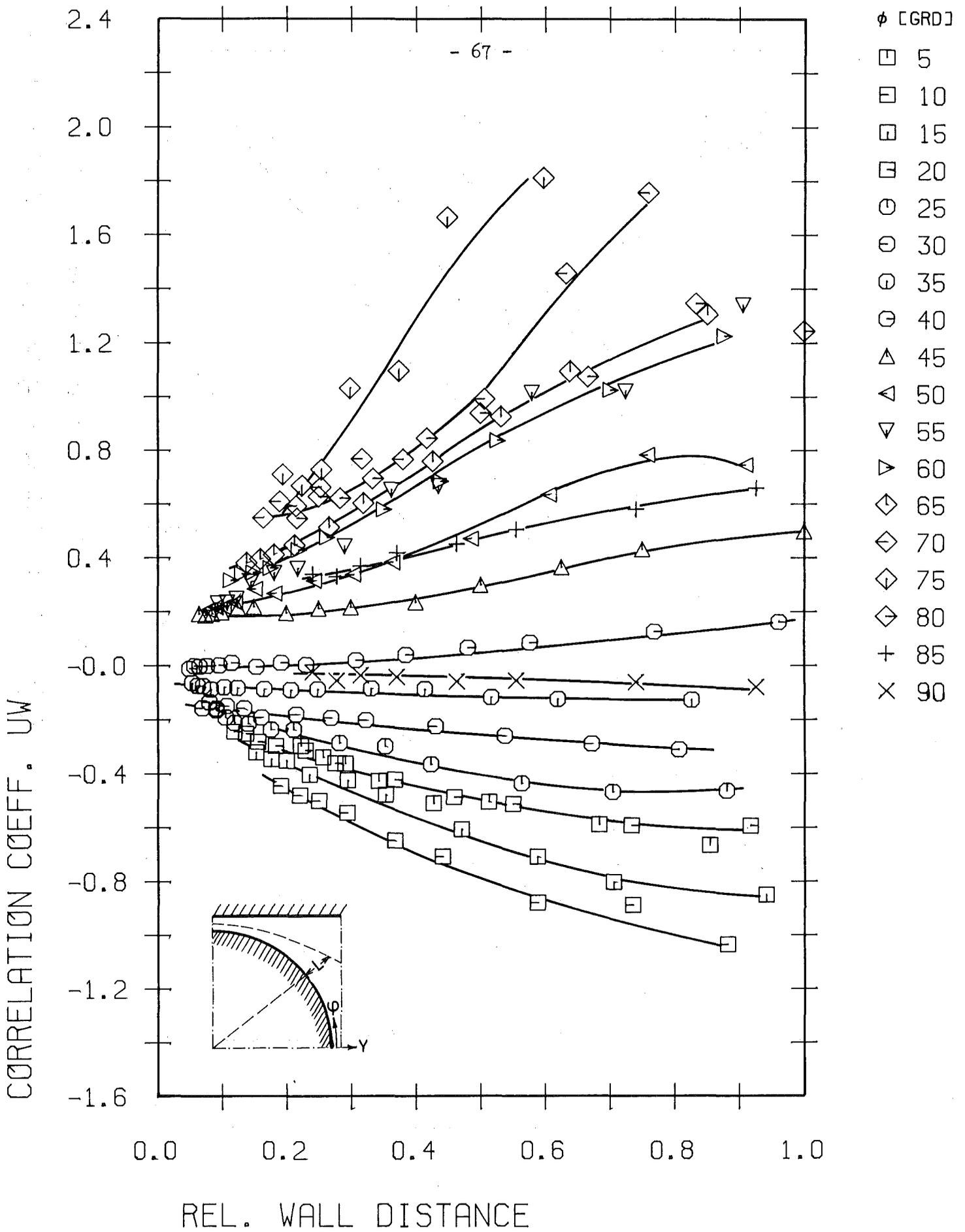


Abb. 35 Korrelationskoeffizient R_{uw} (r/ϕ)

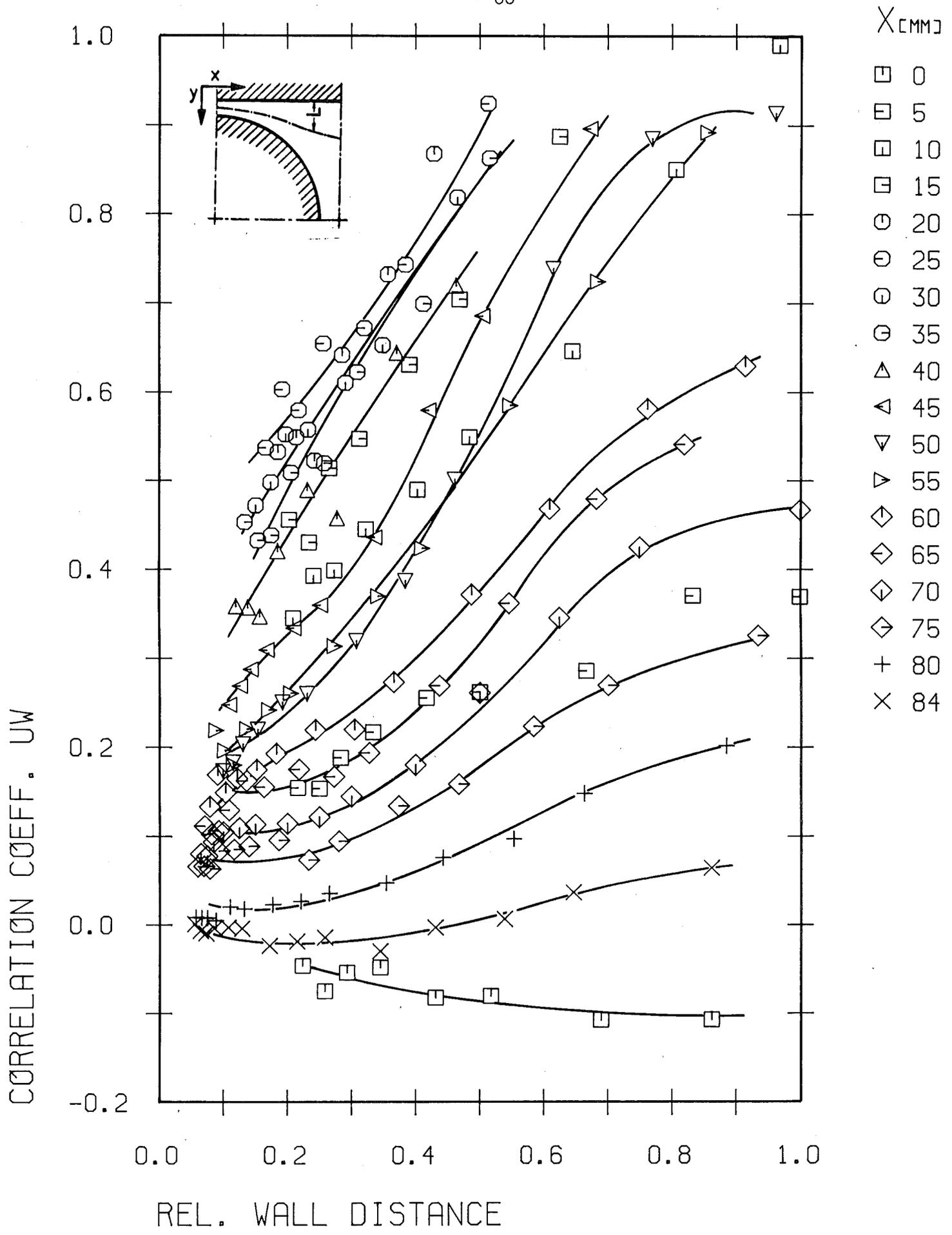


Abb. 36 Korrelationskoeffizient $R_{uw}(x/y)$

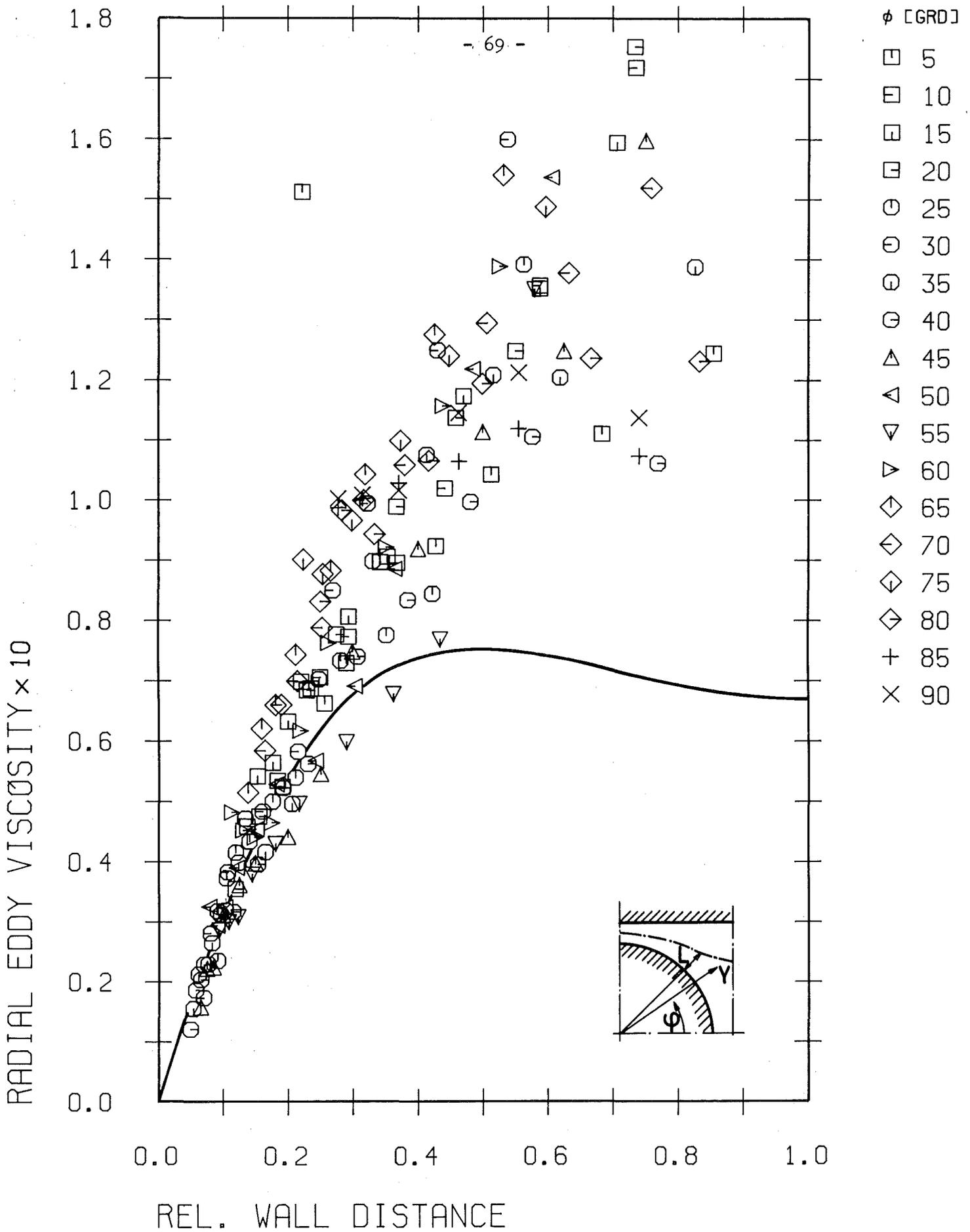


Abb. 37 Radiale Wirbelviskosität (r/ϕ)

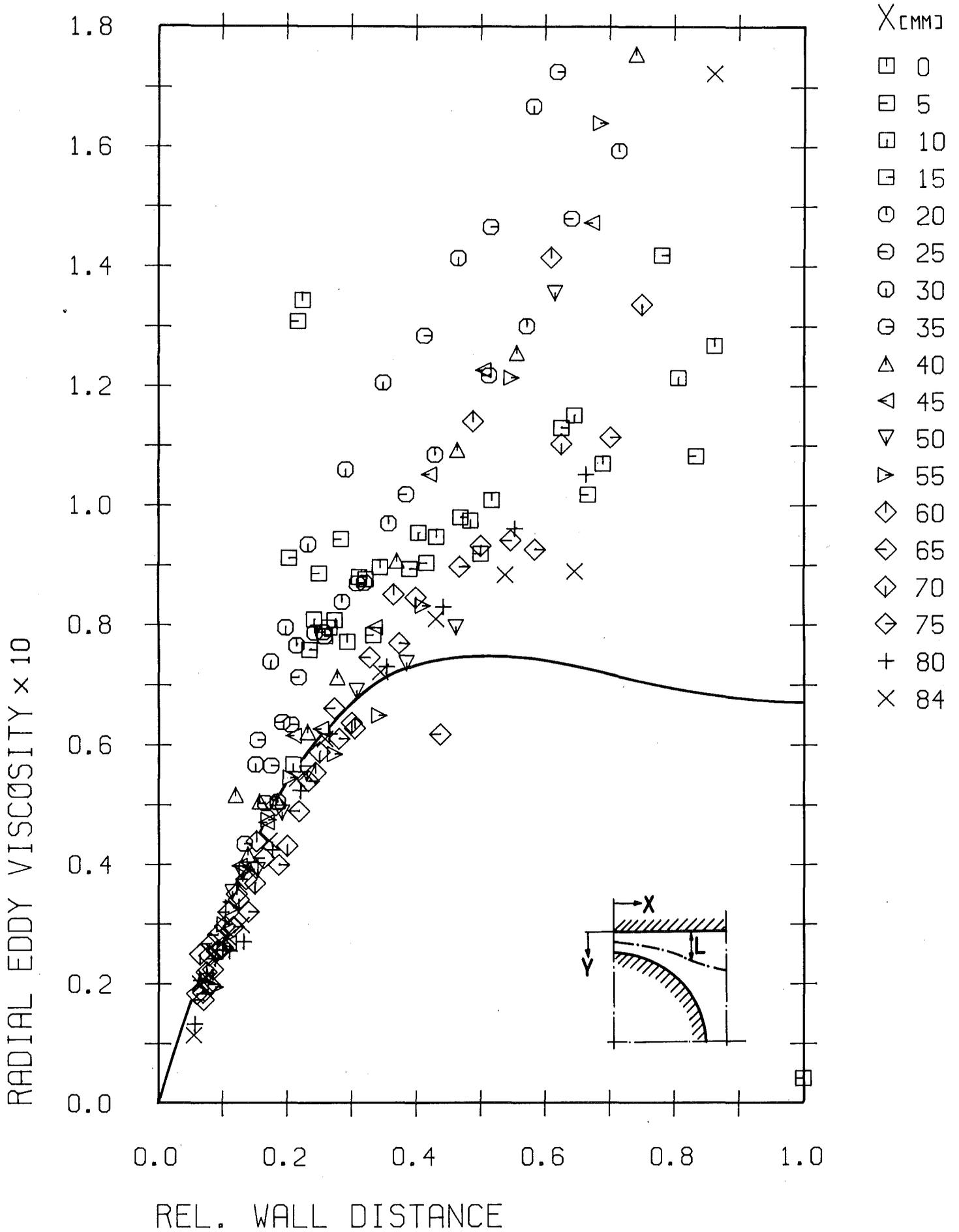


Abb. 38 Radiale Wirbelviskosität (x/y)

AZIMUTAL EDDY VISCOSITY

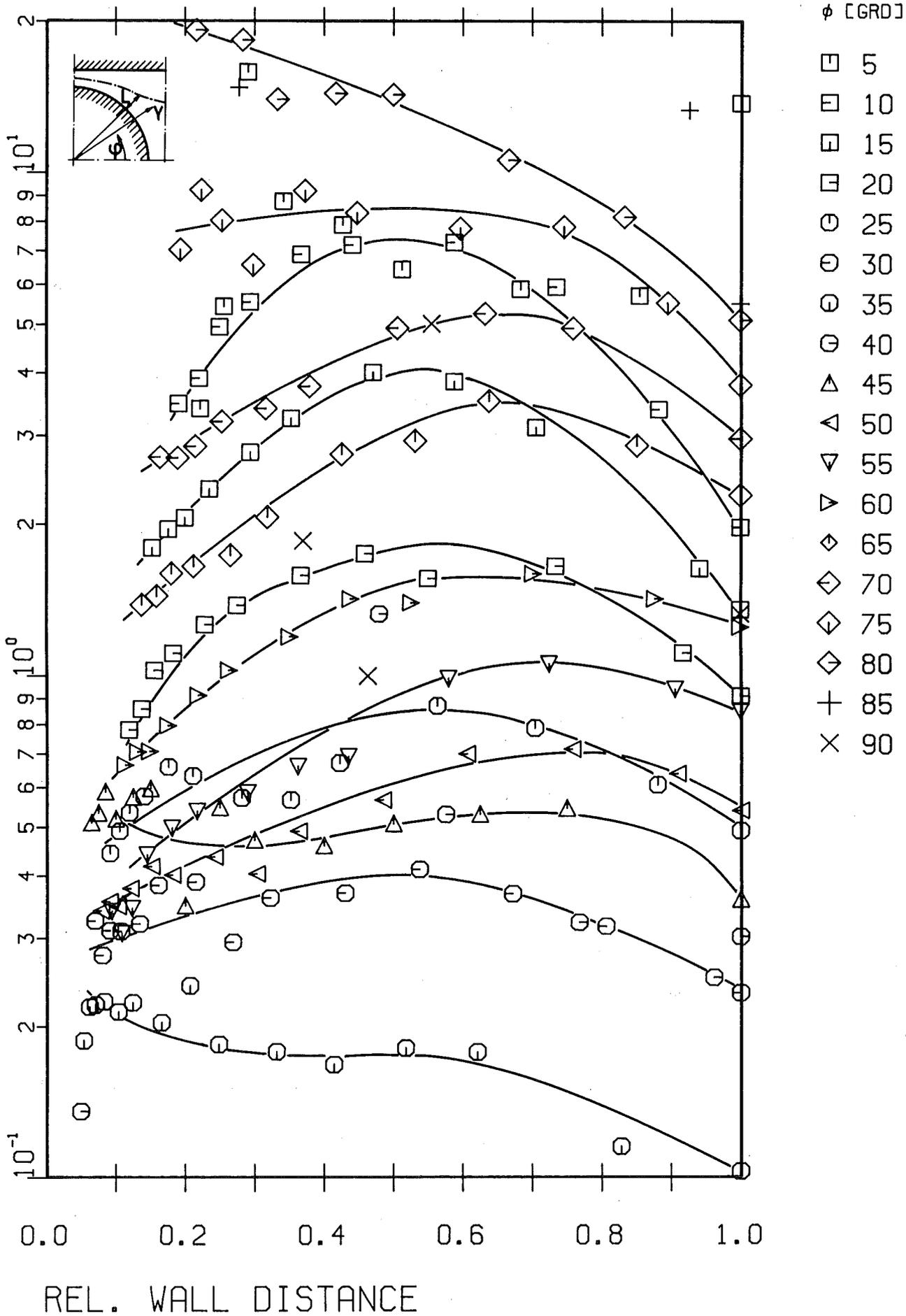


Abb. 39 Azimutale Wirbelviskosität (r/ϕ)

AZIMUTAL EDDY VISCOSITY

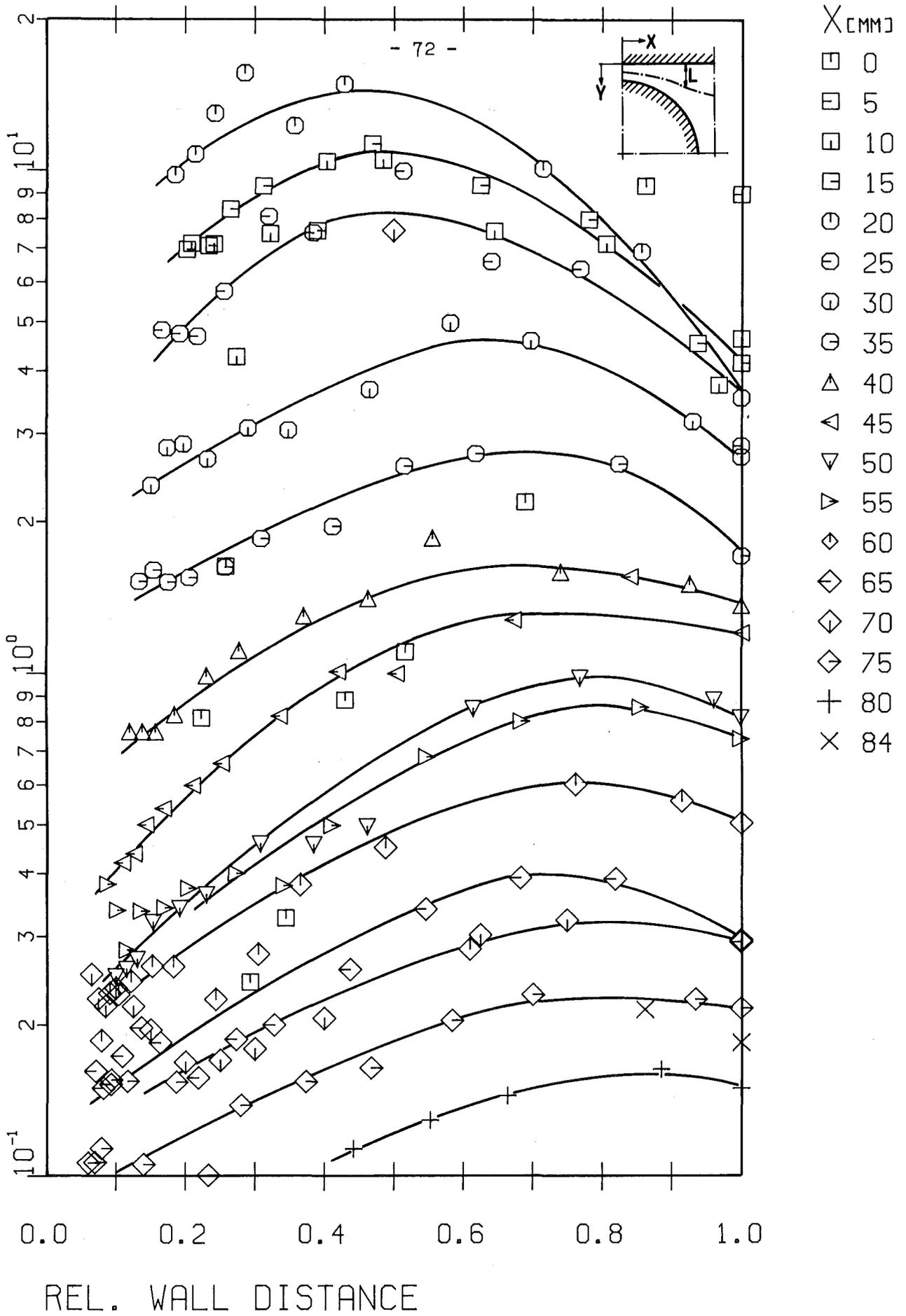


Abb. 4o Azimutale Wirbelviskosität (x/y)

ANISOTROPY FACTOR

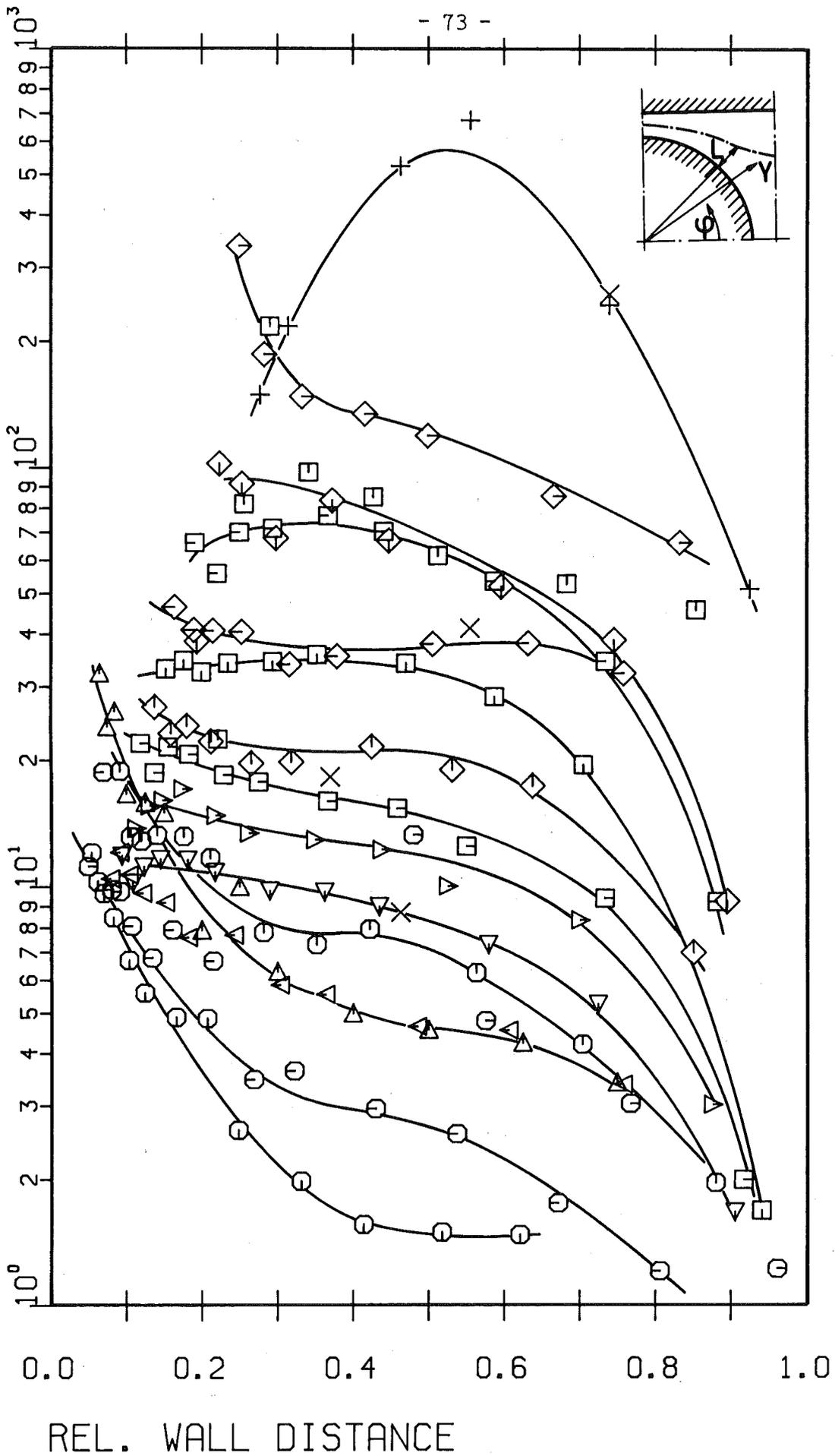


Abb. 41 Anisotropiekoeffizient (r/ϕ)

ANISOTROPY FACTOR

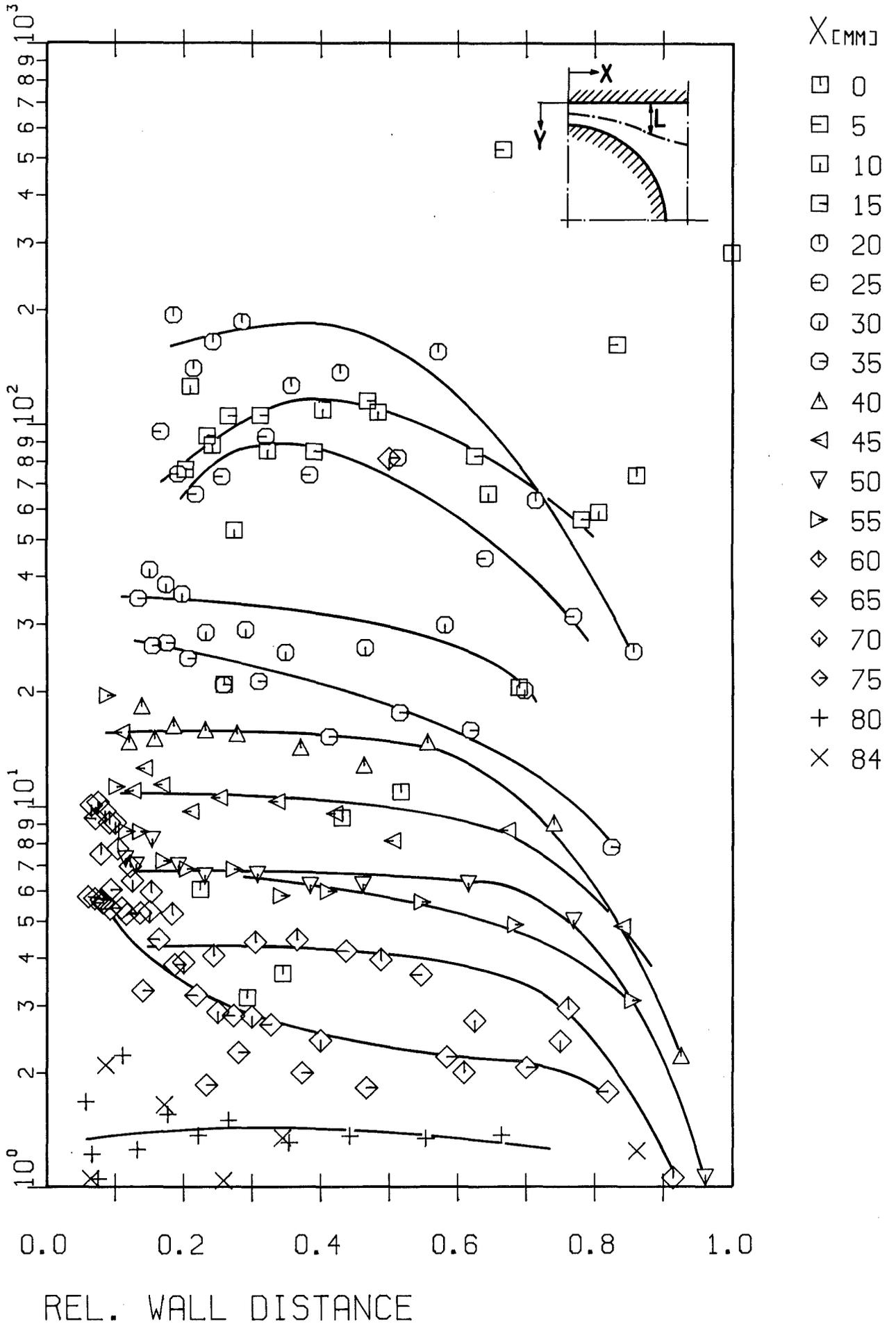


Abb. 42 Anisotropiekoeffizient (x/y)

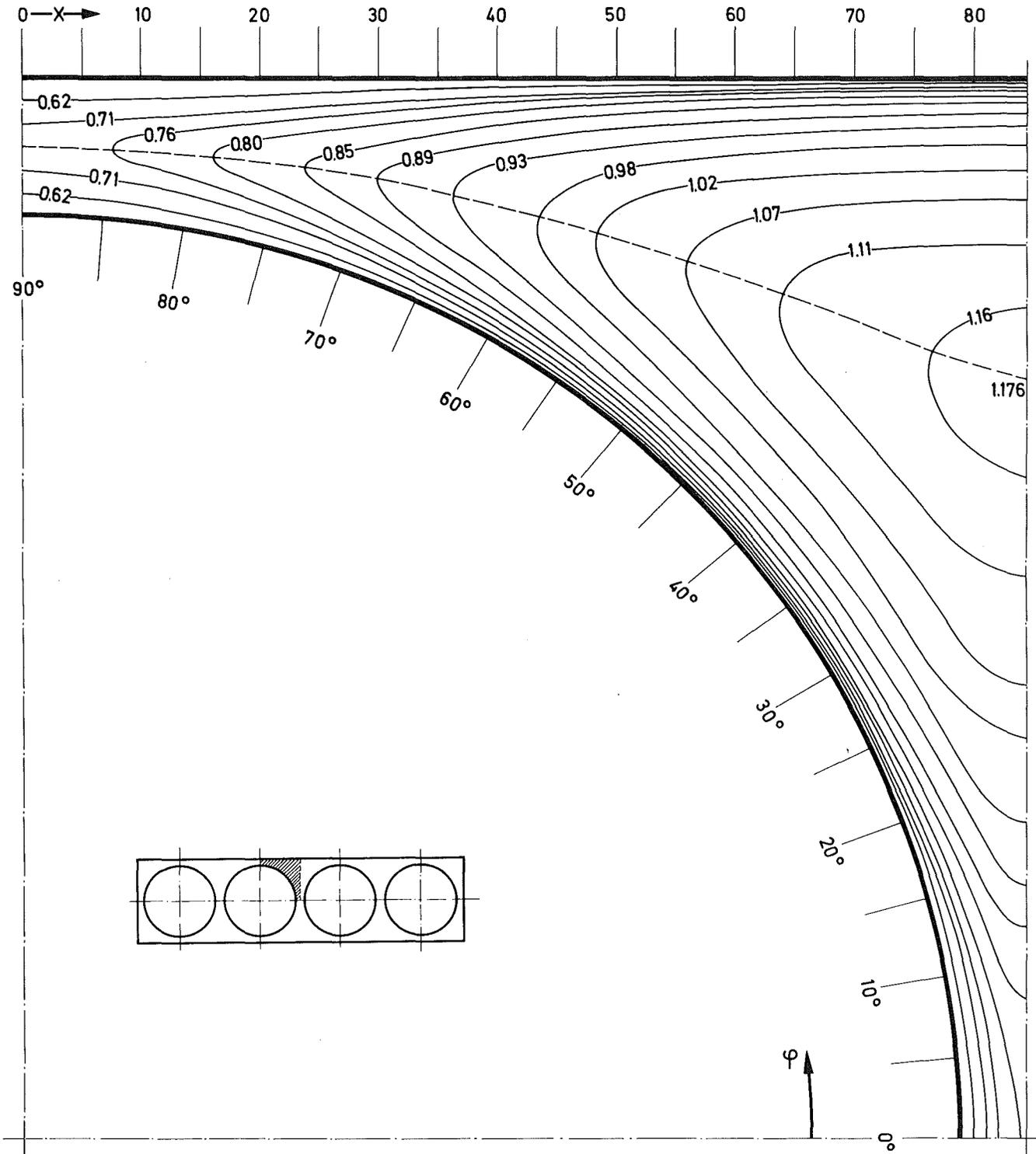


Abb. 43 VELASCO-Rechnung: Zeitlicher Mittelwert der Strömungsgeschwindigkeit (Höhenlinien)

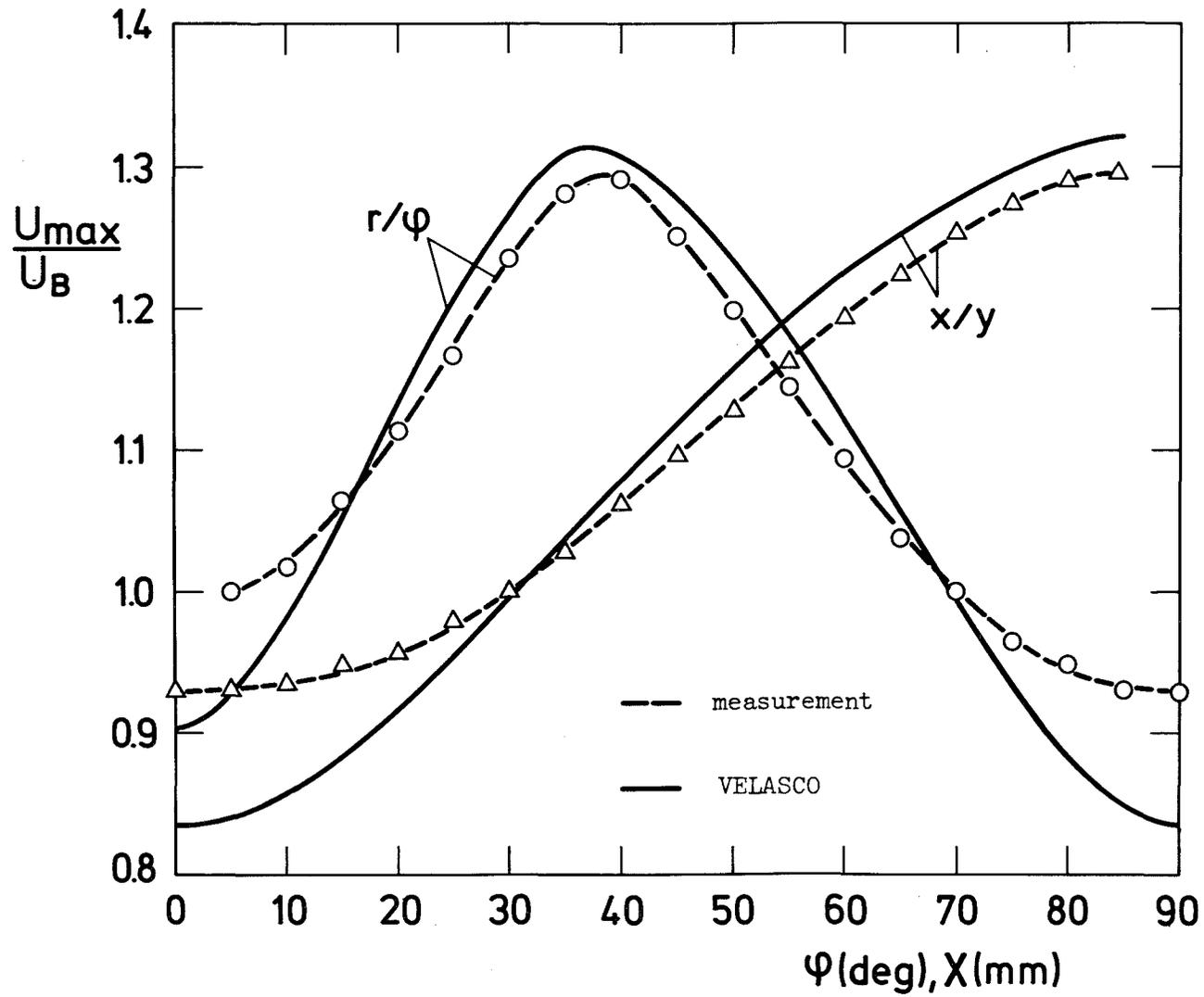


Abb. 44 Vergleich der gemessenen mittleren Strömungsgeschwindigkeit am Umfang mit VELASCO-Ergebnissen

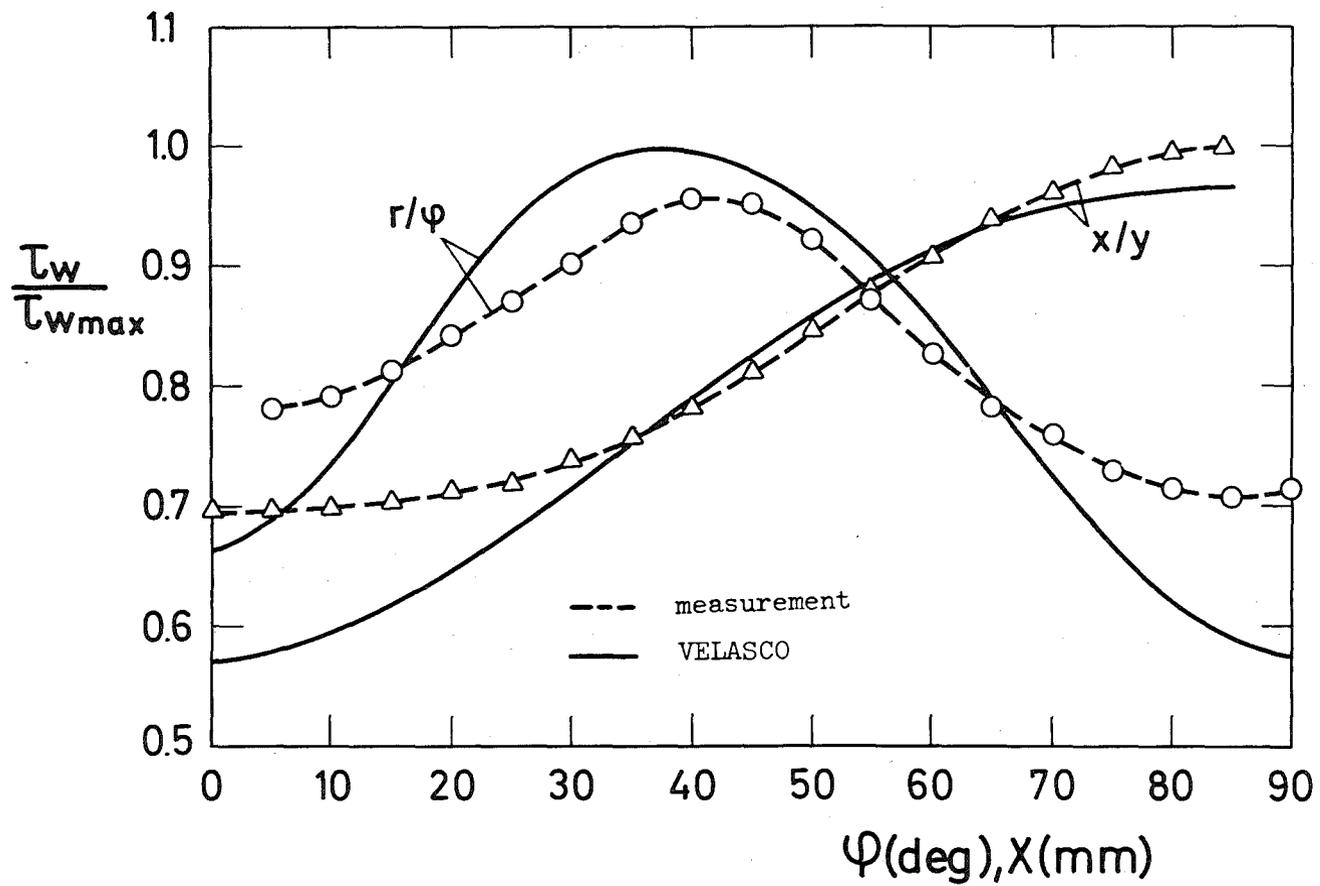


Abb. 45 Vergleich der gemessenen Wandschubspannungsverteilung mit VELASCO-Ergebnissen

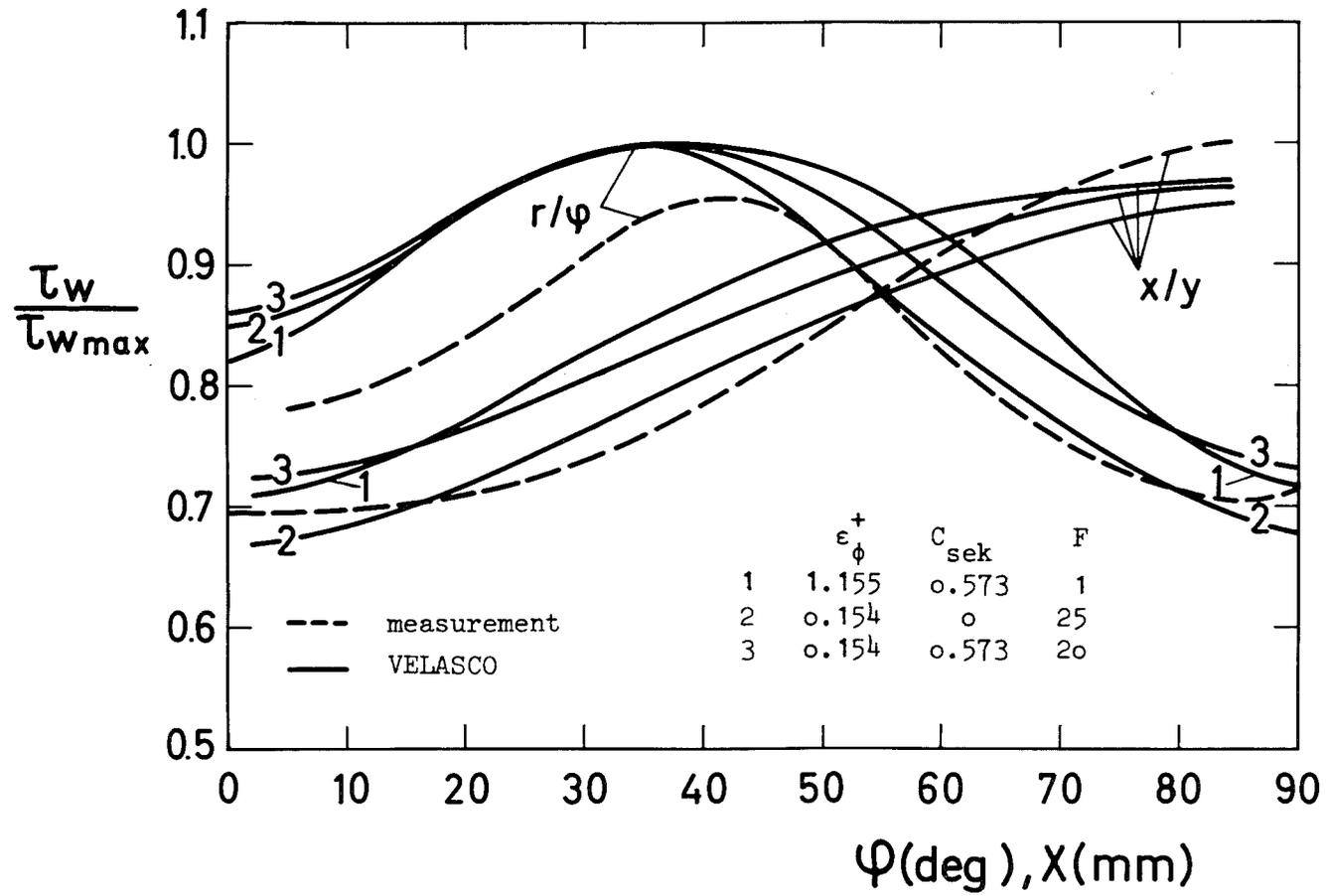


Abb. 46 Vergleich der gemessenen Wandschubspannungsverteilung mit VELASCO-Rechnungen bei unterschiedlichen Eingabe-Bedingungen

VERSUCH NR. 11 (WANDKANAL)

DATUM 25.11.1974

POSITION 5. GRAD

WANDSCHUBSPANNUNG $\tau_{0W} = 1.719$ (N/M**2)

BEZUGSWERTE

REFERENZGESCHWINDIGKEIT $U_{REF} = 27.737$ (M/S)

SCHUBSPANNUNGSGESCHWINDIGKEIT $U^* = 1.209$ (M/S)

PROFILLAENGE (U_{MAX}) $Y_{MAX} = 5.850$ (MM)

Y (MM)	U U _{REF}	U' U*	V' U*	W' U*	K' (U*)**2	U'V' (U*)**2	U'W' (U*)**2	U'V' U'*V'	U'W' U'*W'	Y Y _{MAX}	Y+	U+
1.3	0.7311	2.0032	0.8557	1.3407	3.2714	-0.7891	-0.5068	-0.4603	-0.2957	0.2222	109.17	16.574
1.5	0.7477	1.9913	0.7903	1.3644	3.2258	-0.7336	-0.5323	-0.4661	-0.3382	0.2564	124.83	16.963
1.7	0.7641	1.9722	0.8122	1.3897	3.2404	-0.7253	-0.5790	-0.4528	-0.3615	0.2906	140.49	17.344
2.0	0.7825	1.9533	0.7323	1.3927	3.1554	-0.7065	-0.6114	-0.4927	-0.4263	0.3419	163.97	17.774
2.5	0.8096	1.9241	0.6865	1.4181	3.0923	-0.6029	-0.6727	-0.4564	-0.5092	0.4274	203.12	18.400
3.0	0.8311	1.8675	0.7081	1.4337	3.0222	-0.5473	-0.6668	-0.4139	-0.5043	0.5128	242.26	18.896
4.0	0.8623	1.7563	0.7362	1.4517	2.8670	-0.3880	-0.7605	-0.3001	-0.5882	0.6838	320.55	19.612
5.0	0.8831	1.6716	0.6794	1.4896	2.7375	-0.2150	-0.7557	-0.1893	-0.6654	0.8547	398.84	20.087
6.0	0.8892	1.6524	0.6164	1.4728	2.6398	-0.0602	-0.7964	-0.0591	-0.7819	1.0256	477.12	20.227
8.0	0.8621	1.7579	0.6873	1.4446	2.8247	0.2626	-0.8269	0.2174	-0.6844	1.3675	633.70	19.612
10.0	0.7835	1.9538	0.6991	1.3824	3.1086	0.5408	-0.7451	0.3959	-0.5454	1.7094	790.27	17.827

VERSUCH NR. 11 (WANDKANAL)

DATUM 25.11.1974

POSITION 10. GRAD

WANDSCHUBSPANNUNG $\tau_{AUW} = 1.714$ (N/M**2)

BEZUGSWERTE

REFERENZGESCHWINDIGKEIT $U_{REF} = 27.736$ (M/S)

SCHUBSPANNUNGSGESCHWINDIGKEIT $U^* = 1.207$ (M/S)

PROFILLAENGE (U_{MAX}) $Y_{MAX} = 6.800$ (MM)

Y (MM)	U U _{REF}	U' U*	V' U*	W' U*	K' (U*)**2	U'V' (U*)**2	U'W' (U*)**2	U'V' U'*V'	U'W' U'*W'	Y Y _{MAX}	Y+	U+
1.3	0.7393	2.1009	0.7155	1.1353	3.1073	-0.8083	-0.6680	-0.5377	-0.4443	0.1912	110.63	16.811
1.5	0.7544	2.0939	0.7155	1.1528	3.1127	-0.7861	-0.7187	-0.5247	-0.4797	0.2206	126.50	17.165
1.7	0.7684	2.0904	0.7013	1.1676	3.1125	-0.7400	-0.7330	-0.5048	-0.5000	0.2500	142.36	17.494
2.0	0.7875	2.0752	0.6860	1.1895	3.0960	-0.7222	-0.7754	-0.5073	-0.5447	0.2941	166.16	17.941
2.5	0.8147	2.0658	0.6429	1.1935	3.0526	-0.6853	-0.8595	-0.5160	-0.6472	0.3676	205.83	18.571
3.0	0.8368	2.0335	0.6423	1.1819	2.9722	-0.6370	-0.9226	-0.4877	-0.7064	0.4412	245.50	19.080
4.0	0.8691	1.9567	0.6056	1.2093	2.8290	-0.5717	-1.0407	-0.4824	-0.8782	0.5882	324.83	19.823
5.0	0.8911	1.8547	0.6745	1.2670	2.7501	-0.4601	-1.1098	-0.3678	-0.8872	0.7353	404.17	20.328
6.0	0.9036	1.8070	0.6105	1.2503	2.6006	-0.3376	-1.1409	-0.3060	-1.0342	0.8824	483.50	20.615
8.0	0.9050	1.8037	0.6862	1.2782	2.6790	-0.1284	-1.1995	-0.1037	-0.9690	1.1765	642.17	20.650
10.0	0.8703	1.9579	0.7279	1.1976	2.8988	0.0948	-1.1998	0.0665	-0.8419	1.4706	800.84	19.861

VERSUCH NR. 11 (WANDKANAL)

DATUM 25.11.1974

POSITION 15. GRAD

WANDSCHUBSPANNUNG $\tau_{WIW} = 1.759$ (N/M**2)

BEZUGSWERTE

REFERENZGESCHWINDIGKEIT $U_{REF} = 27.731$ (M/S)

SCHUBSPANNUNGSGESCHWINDIGKEIT $U^* = 1.210$ (M/S)

PROFILLAENGE (U_{MAX}) $Y_{MAX} = 8.500$ (MM)

Y (MM)	U UREF	U' U*	V' U*	W' U*	K' (U*)**2	U'V' (U*)**2	U'W' (U*)**2	U'V' U'*V'	U'W' U'*W'	Y YMAX	Y+	U+
1.3	0.7484	2.2047	0.9315	1.2361	3.6283	-0.8515	-0.6581	-0.4146	-0.3204	0.1529	109.41	16.753
1.5	0.7643	2.2038	0.9086	1.2404	3.6105	-0.8233	-0.6924	-0.4111	-0.3458	0.1765	125.10	17.121
1.7	0.7775	2.1870	0.9573	1.3086	3.7060	-0.8100	-0.7356	-0.3869	-0.3514	0.2000	140.79	17.428
2.0	0.7952	2.1996	0.9239	1.2594	3.6391	-0.7810	-0.8190	-0.3843	-0.4030	0.2353	164.33	17.835
2.5	0.8210	2.1741	0.9504	1.3082	3.6706	-0.7779	-0.8757	-0.3765	-0.4238	0.2941	203.56	18.426
3.0	0.8429	2.1589	0.9328	1.3224	3.6400	-0.7344	-0.9618	-0.3647	-0.4776	0.3529	242.79	18.924
4.0	0.8756	2.1023	0.8648	1.3214	3.4569	-0.6859	-1.1016	-0.3772	-0.6059	0.4706	321.24	19.665
5.0	0.9007	2.0507	0.8476	1.3049	3.3133	-0.6123	-1.2287	-0.3523	-0.7069	0.5882	399.70	20.229
6.0	0.9204	1.9976	0.8374	1.3483	3.2549	-0.5680	-1.3409	-0.3395	-0.8015	0.7059	478.16	20.675
8.0	0.9473	1.9362	0.8870	1.3782	3.2175	-0.4244	-1.4582	-0.2471	-0.8490	0.9412	635.07	21.281
10.0	0.9460	1.9532	0.9496	1.3607	3.2841	-0.2909	-1.4758	-0.1569	-0.7957	1.1765	791.99	21.255
12.5	0.9186	2.1076	0.9362	1.2416	3.4300	-0.0758	-1.4592	-0.0384	-0.7395	1.4706	988.13	20.644

VERSUCH NR. 11 (WANDKANAL)

DATUM 25.11.1974

POSITION 20. GRAD

WANDSCHUBSPANNUNG $\tau_{W} = 1.818 \text{ (N/M**2)}$

BEZUGSWERTE

REFERENZGESCHWINDIGKEIT $U_{REF} = 27.741 \text{ (M/S)}$

SCHUBSPANNUNGSGESCHWINDIGKEIT $U^* = 1.211 \text{ (M/S)}$

PROFILLAENGE (UMAX) $Y_{MAX} = 10.900 \text{ (MM)}$

Y (MM)	U URFF	U' U*	V' U*	W' U*	K' (U*)**2	U'V' (U*)**2	U'W' (U*)**2	U'V' U'*V'	U'W' U'*W'	Y YMAX	Y+	U+
1.3	0.7646	2.2825	0.8994	1.3736	3.9527	-0.8730	-0.4992	-0.4253	-0.2432	0.1193	110.71	16.825
1.5	0.7789	2.2729	0.9587	1.3927	4.0123	-0.8953	-0.5470	-0.4109	-0.2510	0.1376	126.59	17.153
1.7	0.7932	2.2620	0.9641	1.4148	4.0239	-0.8802	-0.6133	-0.4036	-0.2812	0.1560	142.46	17.478
2.0	0.8118	2.2441	1.0046	1.4584	4.0861	-0.8389	-0.6688	-0.3721	-0.2967	0.1835	166.28	17.899
2.5	0.8368	2.2215	1.0553	1.4601	4.0903	-0.8568	-0.7348	-0.3655	-0.3135	0.2294	205.98	18.462
3.0	0.8577	2.2043	1.0104	1.4631	4.0102	-0.8094	-0.8029	-0.3634	-0.3605	0.2752	245.67	18.930
4.0	0.8887	2.1555	1.0232	1.4863	3.9511	-0.7618	-0.9273	-0.3454	-0.4204	0.3670	325.06	19.621
5.0	0.9142	2.1215	0.9818	1.4589	3.7965	-0.7198	-1.0126	-0.3456	-0.4861	0.4587	404.45	20.186
6.0	0.9351	2.0406	1.0906	1.4995	3.8010	-0.6786	-1.1379	-0.3049	-0.5113	0.5505	483.84	20.648
8.0	0.9710	1.9869	1.0869	1.4685	3.6427	-0.6230	-1.2775	-0.2885	-0.5915	0.7339	642.62	21.443
10.0	0.9872	1.9458	1.1357	1.4336	3.5655	-0.5343	-1.3098	-0.2418	-0.5927	0.9174	801.40	21.803
12.5	0.9909	1.9253	1.2241	1.4225	3.6142	-0.4341	-1.3351	-0.1842	-0.5665	1.1468	999.87	21.891
15.0	0.9814	1.9692	1.3045	1.3879	3.7530	-0.2776	-1.3018	-0.1081	-0.5068	1.3761	1198.34	21.688
20.0	0.9296	2.0977	1.3790	1.3420	4.0515	0.0022	-1.1298	0.0007	-0.3906	1.8349	1595.29	20.559

VERSUCH NR. 11 (WANDKANAL)

DATUM 25.11.1974

POSITION 25. GRAD

WANDSCHUBSPANNUNG $\tau_{W} = 1.879$ (N/M**2)

BEZUGSWERTE

REFERENZGESCHWINDIGKEIT $U_{REF} = 27.743$ (M/S)

SCHUBSPANNUNGSGESCHWINDIGKEIT $U^* = 1.208$ (M/S)

PROFILLAENGE (U_{MAX}) $Y_{MAX} = 14.200$ (MM)

Y (MM)	U UREF	U ^o U*	V ^o U*	W ^o U*	K ^o (U*)**2	U ^o V ^o (U*)**2	U ^o W ^o (U*)**2	U ^o V ^o U ^o *V ^o	U ^o W ^o U ^o *W ^o	Y YMAX	Y+	U+
1.3	0.7811	2.2673	1.0625	1.5246	4.2968	-0.9496	-0.3954	-0.3942	-0.1641	0.0915	114.85	16.952
1.5	0.7970	2.2618	1.0552	1.5394	4.2994	-0.9305	-0.4552	-0.3899	-0.1907	0.1056	131.33	17.309
1.7	0.8083	2.2646	1.0169	1.5230	4.2410	-0.8975	-0.4869	-0.3897	-0.2114	0.1197	147.80	17.565
2.0	0.8264	2.2540	1.0335	1.5039	4.2053	-0.9104	-0.4998	-0.3908	-0.2145	0.1408	172.51	17.969
2.5	0.8512	2.2257	1.0753	1.5546	4.2634	-0.8733	-0.5667	-0.3649	-0.2368	0.1761	213.69	18.517
3.0	0.8733	2.2156	1.0134	1.5166	4.1180	-0.8157	-0.5309	-0.3633	-0.2364	0.2113	254.87	19.005
4.0	0.9066	2.1789	1.0187	1.5180	4.0448	-0.7974	-0.6352	-0.3593	-0.2862	0.2817	337.23	19.735
5.0	0.9317	2.1444	0.9925	1.4809	3.8891	-0.7696	-0.6359	-0.3616	-0.2988	0.3521	419.60	20.283
6.0	0.9599	2.1255	0.9459	1.4783	3.7990	-0.7501	-0.7325	-0.3731	-0.3643	0.4225	501.96	20.899
8.0	0.9902	2.0706	0.9511	1.4128	3.5941	-0.7010	-0.8574	-0.3559	-0.4354	0.5634	666.68	21.560
10.0	1.0140	2.0193	0.9793	1.3380	3.4135	-0.6452	-0.9242	-0.3262	-0.4673	0.7042	831.41	22.084
12.5	1.0291	1.9500	1.0779	1.3165	3.3489	-0.5531	-0.9735	-0.2631	-0.4632	0.8803	1037.32	22.417
15.0	1.0386	1.9391	1.1114	1.2514	3.2787	-0.4484	-0.9941	-0.2082	-0.4615	1.0563	1243.22	22.633
20.0	1.0388	1.9215	1.2774	1.1946	3.3753	-0.1846	-0.9365	-0.0752	-0.3816	1.4085	1655.03	22.656
25.0	1.0200	1.9748	1.4173	1.1675	3.6358	0.0718	-0.9584	0.0256	-0.3424	1.7606	2066.85	22.265

VERSUCH NR. 11 (WANDKANAL)

DATUM 25.11.1974

POSITION 30. GRAD

WANDSCHUBSPANNUNG $\tau_{WJW} = 1.959$ (N/M**2)

BEZUGSWERTE

REFERENZGESCHWINDIGKEIT $U_{REF} = 27.716$ (M/S)

SCHUBSPANNUNGSGESCHWINDIGKEIT $U^* = 1.203$ (M/S)

PROFILLAENGE (U_{MAX}) $Y_{MAX} = 18.600$ (MM)

Y (MM)	U U _{REF}	U' U*	V' U*	W' U*	K' (U*)**2	U'V' (U*)**2	U'W' (U*)**2	U'V' U'*V'	U'W' U'*W'	Y Y _{MAX}	Y+	U+
1.3	0.7980	2.3085	1.0089	1.5922	4.4411	-1.0787	-0.3641	-0.4632	-0.1563	0.0699	120.76	17.017
1.5	0.8137	2.3171	0.9490	1.5559	4.3452	-1.0669	-0.2942	-0.4852	-0.1338	0.0806	138.07	17.363
1.7	0.8275	2.3102	0.9933	1.5683	4.3915	-1.0618	-0.3635	-0.4627	-0.1584	0.0914	155.39	17.667
2.0	0.8446	2.2913	1.0382	1.5786	4.4100	-1.0770	-0.3529	-0.4527	-0.1484	0.1075	181.37	18.043
2.5	0.8695	2.2796	1.0616	1.5568	4.3737	-1.1046	-0.3793	-0.4564	-0.1567	0.1344	224.67	18.584
3.0	0.8898	2.2531	1.0211	1.5980	4.3363	-1.0271	-0.4403	-0.4465	-0.1914	0.1613	267.97	19.023
4.0	0.9317	2.2341	1.0059	1.5393	4.1861	-1.0314	-0.4044	-0.4590	-0.1799	0.2151	354.56	19.923
5.0	0.9582	2.1904	1.0074	1.5141	4.0525	-1.0268	-0.4260	-0.4653	-0.1931	0.2688	441.16	20.493
6.0	0.9784	2.1520	0.9889	1.4598	3.8699	-0.9722	-0.4293	-0.4569	-0.2017	0.3226	527.75	20.927
8.0	1.0113	2.0730	1.0025	1.3988	3.6295	-0.9310	-0.4652	-0.4480	-0.2238	0.4301	700.94	21.634
10.0	1.0356	1.9999	1.0349	1.3202	3.4068	-0.8840	-0.5372	-0.4271	-0.2596	0.5376	874.13	22.157
12.5	1.0570	1.9350	1.0281	1.2255	3.1514	-0.8021	-0.5749	-0.4032	-0.2890	0.6720	1090.61	22.621
15.0	1.0729	1.8801	1.0531	1.1395	2.9710	-0.7011	-0.6139	-0.3541	-0.3101	0.8065	1307.10	22.969
20.0	1.0903	1.7833	1.0884	1.0521	2.7359	-0.4714	-0.6238	-0.2429	-0.3214	1.0753	1740.07	23.363
25.0	1.1004	1.7356	1.1260	0.9987	2.6387	-0.2617	-0.6065	-0.1339	-0.3104	1.3441	2173.04	23.602
30.0	1.1008	1.7201	1.2069	1.0146	2.7223	-0.0769	-0.6188	-0.0371	-0.2981	1.6129	2606.02	23.635
35.0	1.0910	1.7316	1.3390	1.0562	2.9535	0.0742	-0.6037	0.0320	-0.2604	1.8817	3038.99	23.450

VERSUCH NR. 11 (WANDKANAL)

DATUM 25.11.1974

POSITION 35. GRAD

WANDSCHUBSPANNUNG $\tau_{0W} = 2.035$ (N/M**2)

BEZUGSWERTE

REFERENZGESCHWINDIGKEIT $URFF = 27.722$ (M/S)

SCHUBSPANNUNGSGESCHWINDIGKEIT $U^* = 1.204$ (M/S)

PROFILLAENGE (UMAX) $Y_{MAX} = 24.200$ (MM)

Y (MM)	U URFF	U' U*	V' U*	W' U*	K' (U*)**2	U'V' (U*)**2	U'W' (U*)**2	U'V' U'*V'	U'W' U'*W'	Y YMAX	Y+	U+
1.3	0.8113	2.2388	1.2671	1.7678	4.8715	-1.1006	-0.1788	-0.3880	-0.0630	0.0537	122.09	16.962
1.5	0.8257	2.2351	1.2436	1.7788	4.8532	-1.0862	-0.2051	-0.3908	-0.0738	0.0620	139.60	17.273
1.7	0.8400	2.2219	1.2518	1.7934	4.8602	-1.0812	-0.2076	-0.3887	-0.0747	0.0702	157.11	17.581
2.0	0.8574	2.2155	1.2533	1.7752	4.8155	-1.0553	-0.2417	-0.3800	-0.0870	0.0826	183.38	17.954
2.5	0.8836	2.1958	1.2890	1.7909	4.8453	-1.0835	-0.2228	-0.3828	-0.0787	0.1033	227.16	18.512
3.0	0.9050	2.1793	1.2932	1.7539	4.7489	-1.1010	-0.2308	-0.3907	-0.0819	0.1240	270.93	18.966
4.0	0.9356	2.1398	1.1947	1.6864	4.4250	-1.0009	-0.2205	-0.3915	-0.0862	0.1653	358.48	19.613
5.0	0.9725	2.1034	1.2160	1.6957	4.3909	-1.0286	-0.2282	-0.4022	-0.0892	0.2066	446.04	20.388
6.0	0.9938	2.0597	1.1710	1.6433	4.1570	-0.9873	-0.2096	-0.4094	-0.0869	0.2479	533.59	20.837
8.0	1.0273	1.9495	1.2214	1.5774	3.8903	-0.9469	-0.2014	-0.3977	-0.0846	0.3306	708.70	21.541
10.0	1.0532	1.8505	1.2584	1.5226	3.6630	-0.8799	-0.2010	-0.3779	-0.0863	0.4132	883.80	22.089
12.5	1.0768	1.7638	1.2194	1.3871	3.2610	-0.7574	-0.2513	-0.3521	-0.1168	0.5165	1102.68	22.590
15.0	1.0966	1.6971	1.1447	1.2552	2.8929	-0.6063	-0.2400	-0.3121	-0.1236	0.6198	1321.56	23.014
20.0	1.1232	1.5638	1.1297	1.1101	2.4771	-0.4149	-0.2229	-0.2343	-0.1262	0.8264	1759.33	23.594
25.0	1.1400	1.4538	1.1239	1.0282	2.2169	-0.2255	-0.2123	-0.1380	-0.1299	1.0331	2197.09	23.972
30.0	1.1473	1.3928	1.1276	0.9795	2.0855	-0.0442	-0.1707	-0.0281	-0.1087	1.2397	2634.85	24.150
35.0	1.1460	1.4322	1.1853	0.9640	2.1926	0.1653	-0.1380	0.0974	-0.0813	1.4463	3072.62	24.148
40.0	1.1351	1.5955	1.2167	0.9198	2.4360	0.4195	-0.1043	0.2161	-0.0537	1.6529	3510.38	23.946

VERSUCH NR. 11 (WANDKANAL)

DATUM 25.11.1974

POSITION 40. GRAD

WANDSCHUBSPANNUNG $\tau_{W} = 2.036$ (N/M**2)

BEZUGSWERTE

REFERENZGESCHWINDIGKEIT $U_{REF} = 27.738$ (M/S)

SCHUBSPANNUNGSGESCHWINDIGKEIT $U^* = 1.207$ (M/S)

PROFILLAENGE (UMAX) $Y_{MAX} = 26.000$ (MM)

Y (MM)	U URFF	U' U*	V' U*	W' U*	K' (U*)**2	U'V' (U*)**2	U'W' (U*)**2	U'V' U'*V'	U'W' U'*W'	Y YMAX	Y+	U+
1.3	0.8167	2.2871	1.0451	1.7107	4.6248	-1.0667	-0.0240	-0.4463	-0.0100	0.0500	120.40	17.045
1.5	0.8321	2.2836	1.0517	1.7271	4.6518	-1.0468	-0.0011	-0.4359	-0.0005	0.0577	137.67	17.378
1.7	0.8460	2.2755	1.0815	1.7473	4.7004	-1.0706	-0.0048	-0.4350	-0.0020	0.0654	154.94	17.677
2.0	0.8659	2.2671	1.0817	1.7252	4.6431	-1.0543	-0.0011	-0.4300	-0.0004	0.0769	180.84	18.102
2.5	0.8902	2.2329	1.1079	1.7289	4.6012	-1.0751	0.0045	-0.4346	0.0018	0.0962	224.01	18.621
3.0	0.9105	2.1999	1.0654	1.7617	4.5390	-1.0127	0.0269	-0.4321	0.0115	0.1154	267.18	19.050
4.0	0.9536	2.1777	1.0411	1.6922	4.3449	-1.0233	-0.0075	-0.4513	-0.0033	0.1538	353.52	19.957
5.0	0.9776	2.1233	1.0055	1.6424	4.1083	-0.9743	0.0234	-0.4564	0.0110	0.1923	439.86	20.463
6.0	1.0017	2.0705	1.0453	1.6120	3.9891	-0.9427	0.0080	-0.4356	0.0037	0.2308	526.20	20.967
8.0	1.0352	1.9553	1.0738	1.5546	3.6964	-0.8547	0.0435	-0.4071	0.0207	0.3077	698.98	21.672
10.0	1.0622	1.8606	1.0944	1.4928	3.4441	-0.7785	0.0829	-0.3823	0.0407	0.3846	871.56	22.240
12.5	1.0876	1.7807	1.0659	1.3560	3.0730	-0.6450	0.1266	-0.3398	0.0667	0.4808	1087.41	22.779
15.0	1.1041	1.7155	1.0129	1.2382	2.7510	-0.5220	0.1494	-0.3004	0.0860	0.5769	1303.25	23.133
20.0	1.1320	1.6078	0.9897	1.0976	2.3846	-0.3428	0.2017	-0.2155	0.1267	0.7692	1734.95	23.739
25.0	1.1464	1.5051	1.0005	0.9932	2.1264	-0.1772	0.2444	-0.1177	0.1623	0.9615	2166.65	24.064
30.0	1.1497	1.4703	1.0400	0.9379	2.0616	0.0286	0.2534	0.0187	0.1657	1.1538	2598.35	24.159
35.0	1.1422	1.5329	1.0679	0.9151	2.1638	0.2353	0.2491	0.1437	0.1522	1.3462	3030.05	24.026
40.0	1.1212	1.6665	1.1636	1.0134	2.5792	0.4646	0.2975	0.2396	0.1534	1.5385	3461.75	23.609

VERSUCH NR. 11 (WANDKANAL)

DATUM 25.11.1974

POSITION 45. GRAD

WANDSCHUBSPANNUNG $\tau_{WJW} = 2.033$ (N/M**2)

BEZUGSWERTE

REFERENZGESCHWINDIGKEIT $U_{REF} = 27.726$ (M/S)

SCHUBSPANNUNGSGESCHWINDIGKEIT $U^* = 1.208$ (M/S)

PROFILLAENGE (UMAX) $Y_{MAX} = 20.000$ (MM)

Y (MM)	U U _{REF}	U [*] U*	V [*] U*	W [*] U*	K [*] (U*)**2	U [*] V [*] (U*)**2	U [*] W [*] (U*)**2	U [*] V [*] U [*] *V [*]	U [*] W [*] U [*] *W [*]	Y Y _{MAX}	Y+	U+
1.3	0.8145	2.3172	0.8403	1.6928	4.4705	-1.0178	0.3740	-0.5227	0.1921	0.0650	119.01	16.987
1.5	0.8274	2.2832	0.9233	1.7341	4.5363	-0.9994	0.3946	-0.4741	0.1872	0.0750	136.08	17.268
1.7	0.8446	2.2757	0.9500	1.7595	4.5885	-0.9958	0.4164	-0.4606	0.1926	0.0850	153.14	17.635
2.0	0.8619	2.2668	0.9378	1.7679	4.5716	-0.9965	0.4209	-0.4688	0.1980	0.1000	178.75	18.007
2.5	0.8859	2.2382	0.9101	1.7615	4.4703	-0.9699	0.4383	-0.4761	0.2152	0.1250	221.42	18.518
3.0	0.9073	2.2085	0.9205	1.7694	4.4279	-0.9403	0.4431	-0.4625	0.2180	0.1500	264.09	18.971
4.0	0.9418	2.1545	0.9411	1.7470	4.2898	-0.8954	0.3956	-0.4416	0.1951	0.2000	349.43	19.698
5.0	0.9760	2.1222	0.9448	1.7038	4.1496	-0.8917	0.4254	-0.4447	0.2122	0.2500	434.77	20.416
6.0	0.9971	2.0790	0.9296	1.6875	4.0171	-0.8637	0.4183	-0.4469	0.2164	0.3000	520.11	20.857
8.0	1.0302	1.9974	0.9938	1.6137	3.7907	-0.7586	0.4668	-0.3821	0.2351	0.4000	690.79	21.552
10.0	1.0533	1.9530	0.9964	1.5228	3.5629	-0.6774	0.5826	-0.3481	0.2994	0.5000	861.47	22.039
12.5	1.0750	1.9247	0.9809	1.4312	3.3574	-0.5605	0.6898	-0.2969	0.3654	0.6250	1074.83	22.500
15.0	1.0907	1.9190	0.9519	1.3512	3.2073	-0.5159	0.7888	-0.2824	0.4318	0.7500	1288.18	22.836
20.0	1.1092	1.8693	0.9618	1.2799	3.0286	-0.3757	0.8955	-0.2090	0.4981	1.0000	1714.88	23.245
25.0	1.1142	1.7986	1.0064	1.1367	2.7700	-0.1162	0.7244	-0.0642	0.4002	1.2500	2141.59	23.372
30.0	1.1054	1.7786	1.1253	1.1578	2.8851	0.1557	0.6378	0.0778	0.3187	1.5000	2568.29	23.212
35.0	1.0790	1.8899	1.2628	1.2608	3.3779	0.5104	0.6627	0.2139	0.2777	1.7500	2995.00	22.680

VERSUCH NR. 11 (WANDKANAL)

DATUM 25.11.1974

POSITION 50. GRAD

WANDSCHUBSPANNUNG $\tau_{WU} = 1.987 \text{ (N/M**2)}$

BEZUGSWERTE

REFERENZGFSCHWINDIGKEIT $U_{REF} = 27.752 \text{ (M/S)}$

SCHUBSPANNUNGSGESCHWINDIGKEIT $U^* = 1.210 \text{ (M/S)}$

PROFILLAENGE (UMAX) $Y_{MAX} = 16.500 \text{ (MM)}$

Y (MM)	U U _{REF}	U' U*	V' U*	W' U*	K' (U*)**2	U'V' (U*)**2	U'W' (U*)**2	U'V' U'*V'	U'W' U'*W'	Y Y _{MAX}	Y+	U+
1.3	0.7994	2.3083	0.9652	1.5567	4.3414	-1.0449	0.4594	-0.4690	0.2062	0.0788	116.59	16.847
1.5	0.8146	2.3232	0.9167	1.5450	4.3125	-1.0326	0.4628	-0.4848	0.2173	0.0909	133.30	17.178
1.7	0.8292	2.3053	0.9735	1.5526	4.3363	-1.0315	0.4886	-0.4596	0.2177	0.1030	150.02	17.495
2.0	0.8466	2.2990	0.9818	1.5706	4.3580	-1.0171	0.5287	-0.4506	0.2342	0.1212	175.10	17.871
2.5	0.8719	2.2891	0.8893	1.5661	4.2416	-0.9868	0.5792	-0.4848	0.2845	0.1515	216.99	18.417
3.0	0.8926	2.2695	0.9134	1.5561	4.2030	-0.9657	0.5545	-0.4659	0.2675	0.1818	258.70	18.859
4.0	0.9259	2.2332	0.8722	1.5383	4.0573	-0.8807	0.6137	-0.4521	0.3151	0.2424	342.30	19.569
5.0	0.9584	2.2125	0.8948	1.5706	4.0813	-0.8785	0.6686	-0.4438	0.3378	0.3030	425.90	20.257
6.0	0.9798	2.2071	0.8516	1.5213	3.9555	-0.7990	0.7220	-0.4251	0.3841	0.3636	509.51	20.712
8.0	1.0093	2.1999	0.8511	1.4248	3.7971	-0.7504	0.8822	-0.4007	0.4711	0.4848	676.71	21.338
10.0	1.0324	2.2353	0.7816	1.3417	3.7037	-0.7335	1.1093	-0.4199	0.6350	0.6061	843.91	21.829
12.5	1.0525	2.2548	0.7316	1.2923	3.6448	-0.6383	1.2930	-0.3869	0.7838	0.7576	1052.91	22.261
15.0	1.0636	2.2360	0.8338	1.2624	3.6442	-0.6278	1.3920	-0.3368	0.7467	0.9091	1261.91	22.504
20.0	1.0674	2.1319	1.0267	1.1980	3.5171	-0.4027	1.2408	-0.1840	0.5669	1.2121	1679.92	22.603
25.0	1.0516	2.0124	1.2038	1.1651	3.4281	0.0170	0.9110	0.0070	0.3761	1.5152	2097.92	22.288
30.0	1.0108	2.0802	1.2916	1.2560	3.7866	0.4052	0.7982	0.1508	0.2971	1.8182	2515.93	21.446

VERSUCH NR. 11 (WANDKANAL)

DATUM 25.11.1974

POSITION 55. GRAD

WANDSCHUBSPANNUNG $\tau_{WU} = 1.879$ (N/M**2)

BEZUGSWERTE

REFERENZGESCHWINDIGKEIT $U_{REF} = 27.743$ (M/S)

SCHUBSPANNUNGSGESCHWINDIGKEIT $U^* = 1.209$ (M/S)

PROFILLÄNGE (U_{MAX}) $Y_{MAX} = 13.800$ (MM)

Y (MM)	U U _{REF}	U ⁰ U*	V ⁰ U*	W ⁰ U*	K ⁰ (U*)**2	U ⁰ V ⁰ (U*)**2	U ⁰ W ⁰ (U*)**2	U ⁰ V ⁰ U ⁰ V ⁰	U ⁰ W ⁰ U ⁰ W ⁰	Y Y _{MAX}	Y+	U+
1.3	0.7746	2.3655	0.7997	1.3532	4.0331	-0.7722	0.4399	-0.4082	0.2325	0.0942	113.91	16.793
1.5	0.7888	2.3666	0.7337	1.3170	3.9370	-0.7669	0.4077	-0.4416	0.2348	0.1087	130.25	17.113
1.7	0.8028	2.3457	0.8106	1.3644	4.0105	-0.7302	0.4723	-0.3840	0.2484	0.1232	146.59	17.428
2.0	0.8201	2.3445	0.7692	1.4015	4.0263	-0.7448	0.5619	-0.4130	0.3116	0.1449	171.09	17.812
2.5	0.8443	2.3342	0.7901	1.4076	4.0270	-0.7095	0.6332	-0.3847	0.3433	0.1812	211.94	18.349
3.0	0.8656	2.3311	0.8163	1.4019	4.0329	-0.7103	0.6861	-0.3733	0.3606	0.2174	252.78	18.818
4.0	0.8988	2.3143	0.7515	1.4103	3.9548	-0.6419	0.7704	-0.3691	0.4430	0.2899	334.47	19.545
5.0	0.9248	2.3407	0.6281	1.3821	3.8917	-0.6424	0.9595	-0.4369	0.6526	0.3623	416.15	20.114
6.0	0.9511	2.3595	0.6607	1.3827	3.9579	-0.6232	1.0402	-0.3998	0.6673	0.4348	497.84	20.686
8.0	0.9801	2.3831	0.5569	1.3396	3.8919	-0.6103	1.3483	-0.4599	1.0160	0.5797	661.21	21.321
10.0	1.0009	2.3976	0.6387	1.3282	3.9602	-0.5907	1.5650	-0.3857	1.0220	0.7246	824.58	21.777
12.5	1.0141	2.4092	0.5445	1.2836	3.8740	-0.5219	1.7585	-0.3979	1.3404	0.9058	1028.80	22.070
15.0	1.0172	2.3693	0.7054	1.1875	3.7583	-0.4253	1.6659	-0.2546	0.9972	1.0870	1233.02	22.144
20.0	0.9994	2.2244	0.9846	1.0932	3.5561	-0.0239	1.2005	-0.0109	0.5482	1.4493	1641.45	21.773
25.0	0.9438	2.1737	1.0958	1.1139	3.5941	0.4432	0.8346	0.1857	0.3496	1.8116	2049.88	20.581

VERSUCH NR. 11 (WANDKANAL)

DATUM 25.11.1974

POSITION 60. GRAD

WANDSCHUBSPANNUNG $\tau_{W} = 1.788 \text{ (N/M**2)}$

BEZUGSWERTE

REFERENZGESCHWINDIGKEIT $U_{REF} = 27.755 \text{ (M/S)}$

SCHUBSPANNUNGSGESCHWINDIGKEIT $U^* = 1.207 \text{ (M/S)}$

PROFILLAENGE (U_{MAX}) $Y_{MAX} = 11.400 \text{ (MM)}$

Y (MM)	U UREF	U' U*	V' U*	W' U*	K' (U*)**2	U'V' (U*)**2	U'W' (U*)**2	U'V' U'*V'	U'W' U'*W'	Y YMAX	Y+	U+
1.3	0.7496	2.3770	0.8022	1.2321	3.9053	-0.8496	0.6057	-0.4456	0.3177	0.1140	113.49	16.697
1.5	0.7634	2.3745	0.7945	1.2543	3.9212	-0.8322	0.6444	-0.4411	0.3416	0.1316	129.77	17.017
1.7	0.7762	2.3820	0.7969	1.2231	3.9024	-0.8096	0.6570	-0.4265	0.3461	0.1491	146.05	17.312
2.0	0.7971	2.3870	0.8473	1.2549	3.9953	-0.8060	0.7325	-0.3985	0.3622	0.1754	170.46	17.787
2.5	0.8223	2.3976	0.8020	1.2516	3.9792	-0.7775	0.8263	-0.4043	0.4297	0.2193	211.15	18.360
3.0	0.8425	2.3898	0.8212	1.2487	3.9722	-0.7894	0.9351	-0.4023	0.4765	0.2632	251.85	18.817
4.0	0.8736	2.3995	0.8088	1.2811	4.0265	-0.7338	1.1262	-0.3781	0.5803	0.3509	333.23	19.518
5.0	0.8999	2.4040	0.8021	1.3090	4.0680	-0.7211	1.3207	-0.3740	0.6849	0.4386	414.62	20.108
6.0	0.9185	2.4211	0.7358	1.2890	4.0324	-0.6927	1.4929	-0.3889	0.8380	0.5263	496.00	20.526
8.0	0.9520	2.4390	0.7416	1.3292	4.1327	-0.6645	1.8565	-0.3674	1.0264	0.7018	658.77	21.278
10.0	0.9687	2.4358	0.6823	1.3211	4.0721	-0.5683	2.0388	-0.3419	1.2268	0.8772	821.54	21.652
12.5	0.9726	2.4032	0.7473	1.2828	4.0013	-0.4731	1.9860	-0.2629	1.1035	1.0965	1025.00	21.745
15.0	0.9609	2.3652	0.8482	1.2223	3.9039	-0.3104	1.7512	-0.1547	0.8729	1.3158	1228.46	21.491
20.0	0.8943	2.2462	0.9627	1.1587	3.6576	0.2030	1.0279	0.0939	0.4753	1.7544	1635.39	20.018

VERSUCH NR. 11 (WANDKANAL)

DATUM 25.11.1974

POSITION 65. GRAD

WANDSCHUBSPANNUNG $\tau_{WJW} = 1.686$ (N/M**2)

BEZUGSWERTE

REFERENZGESCHWINDIGKEIT $U_{REF} = 27.737$ (M/S)

SCHUBSPANNUNGSGESCHWINDIGKEIT $U^* = 1.207$ (M/S)

PROFILLAENGE (U_{MAX}) $Y_{MAX} = 9.400$ (MM)

Y (MM)	U URFF	U^* U^*	V^* V^*	W^* W^*	K^* (U^*)**2	U^*V^* (U^*)**2	U^*W^* (U^*)**2	U^*V^* U^*V^*	U^*W^* U^*W^*	Y YMAX	Y+	U^+
1.3	0.7289	2.3678	0.9018	1.3379	4.1049	-0.8978	0.8159	-0.4204	0.3821	0.1383	109.77	16.711
1.5	0.7429	2.3692	0.9171	1.3355	4.1188	-0.8777	0.8598	-0.4040	0.3957	0.1596	125.52	17.046
1.7	0.7560	2.3526	0.9623	1.3802	4.1829	-0.8670	0.9315	-0.3830	0.4115	0.1809	141.26	17.356
2.0	0.7735	2.3691	0.9525	1.3684	4.1962	-0.8550	1.0095	-0.3789	0.4473	0.2128	164.87	17.769
2.5	0.7982	2.3797	0.9269	1.4177	4.2660	-0.8371	1.1343	-0.3795	0.5142	0.2660	204.23	18.347
3.0	0.8188	2.3809	0.9190	1.4768	4.3471	-0.8257	1.3208	-0.3774	0.6036	0.3191	243.59	19.827
4.0	0.8499	2.3584	0.9215	1.5833	4.4591	-0.7638	1.6519	-0.3514	0.7600	0.4255	322.31	19.548
5.0	0.8760	2.3527	0.8790	1.6270	4.4774	-0.7161	1.9166	-0.3463	0.9268	0.5319	401.03	20.152
6.0	0.8943	2.3253	0.8604	1.7003	4.5217	-0.6749	2.1938	-0.3371	1.0960	0.6383	479.75	20.575
8.0	0.9168	2.2986	0.8217	1.7211	4.4604	-0.5586	2.4674	-0.2958	1.3064	0.8511	637.18	21.095
10.0	0.9232	2.2939	0.8209	1.6537	4.3352	-0.4403	2.4299	-0.2338	1.2904	1.0638	794.62	21.245
12.5	0.9096	2.3154	0.9092	1.4627	4.1637	-0.2373	2.0548	-0.1127	0.9761	1.3298	991.41	20.935
15.0	0.8744	2.3003	0.9661	1.3647	4.0436	-0.0125	1.5982	-0.0056	0.7192	1.5957	1188.20	20.132

VERSUCH NR. 11 (WANDKANAL)

DATUM 25.11.1974

POSITION 70. GRAD

WANDSCHUBSPANNUNG $\tau_{W} = 1.617$ (N/M**2)

BEZUGSWERTE

REFERENZGESCHWINDIGKEIT $U_{REF} = 27.726$ (M/S)

SCHUBSPANNUNGSGESCHWINDIGKEIT $U^* = 1.205$ (M/S)

PROFILLAENGE (U_{MAX}) $Y_{MAX} = 7.900$ (MM)

Y (MM)	U U_{REF}	U^* U^*	V^* U^*	W^* U^*	K^* $(U^*)^{**2}$	U^*V^* $(U^*)^{**2}$	U^*W^* $(U^*)^{**2}$	U^*V^* U^*V^*	U^*W^* U^*W^*	Y Y_{MAX}	Y+	U+
1.3	0.7102	2.2543	0.6933	1.2469	3.5586	-0.7654	0.8584	-0.4898	0.5492	0.1646	108.14	16.634
1.5	0.7234	2.2488	0.6641	1.2858	3.5757	-0.7314	0.9109	-0.4898	0.6100	0.1899	123.65	16.957
1.7	0.7370	2.2533	0.6972	1.2696	3.5877	-0.7632	0.9319	-0.4858	0.5932	0.2152	139.16	17.284
2.0	0.7559	2.2541	0.6518	1.3255	3.6582	-0.7277	1.0336	-0.4667	0.6628	0.2532	162.42	17.739
2.5	0.7780	2.2609	0.6545	1.3018	3.6173	-0.7100	1.1371	-0.4799	0.7685	0.3165	201.20	18.269
3.0	0.7989	2.2389	0.7097	1.3593	3.6820	-0.6811	1.2199	-0.4286	0.7677	0.3797	239.97	18.765
4.0	0.8322	2.2061	0.6792	1.4316	3.6889	-0.5900	1.4877	-0.3938	0.9929	0.5063	317.52	19.555
5.0	0.8541	2.1787	0.5358	1.4367	3.5491	-0.4799	1.7019	-0.4111	1.4580	0.6329	395.06	20.073
6.0	0.8744	2.1538	0.4955	1.4710	3.5241	-0.4035	1.8762	-0.3781	1.7581	0.7595	472.61	20.550
8.0	0.8905	2.1432	0.4139	1.4597	3.4476	-0.2504	1.9569	-0.2823	2.2061	1.0127	627.71	20.932
10.0	0.8786	2.1741	0.6051	1.4361	3.5777	-0.0647	1.8881	-0.0492	1.4352	1.2658	782.80	20.654
12.5	0.8336	2.2632	0.6147	1.2600	3.5438	0.1801	1.4812	0.1295	1.0647	1.5823	976.67	19.602

VERSUCH NR. 11 (WANDKANAL)

DATUM 25.11.1974

POSITION 75. GRAD

WANDSCHUBSPANNUNG $\tau_{0W} = 1.619$ (N/M**2)

BEZUGSWERTE

REFERENZGESCHWINDIGKEIT $U_{REF} = 27.728$ (M/S)

SCHUBSPANNUNGSGESCHWINDIGKEIT $U^* = 1.206$ (M/S)

PROFILLAENGE (UMAX) $Y_{MAX} = 6.700$ (MM)

Y (MM)	U U _{REF}	U' U*	V' U*	W' U*	K' (U*)**2	U'V' (U*)**2	U'W' (U*)**2	U'V' U'*V'	U'W' U'*W'	Y Y _{MAX}	Y+	U+
1.3	0.7020	2.1427	0.5870	0.7859	2.7768	-0.8473	0.8935	-0.6736	0.7103	0.1940	107.82	16.425
1.5	0.7142	2.1197	0.6423	0.7989	2.7720	-0.8307	0.9116	-0.6101	0.6695	0.2239	123.28	16.723
1.7	0.7281	2.1015	0.6590	0.9161	2.8450	-0.8062	1.0095	-0.5822	0.7290	0.2537	138.74	17.058
2.0	0.7458	2.1050	0.4919	0.9116	2.7520	-0.7392	1.0695	-0.7140	1.0330	0.2985	161.94	17.485
2.5	0.7693	2.0720	0.5144	0.9727	2.7520	-0.6920	1.1707	-0.6492	1.0984	0.3731	200.59	18.047
3.0	0.7906	2.0533	0.3800	1.0418	2.7229	-0.6848	1.2994	-0.8777	1.6655	0.4478	239.25	18.552
4.0	0.8233	1.9924	0.4063	1.1498	2.7282	-0.5902	1.4679	-0.7291	1.8133	0.5970	316.57	19.326
5.0	0.8471	1.9377	0.1160	1.2522	2.6681	-0.5193	1.5743	-2.3053	7.0021	0.7463	393.88	19.887
6.0	0.8600	1.8719	0.1505	1.3080	2.6187	-0.4210	1.6262	-1.4941	5.7707	0.8955	471.20	20.192
8.0	0.8591	1.8949	0.2219	1.3019	2.6182	-0.2032	1.6339	-0.4832	3.8852	1.1940	625.83	20.173
10.0	0.8234	1.9995	0.2986	1.1957	2.7584	-0.0337	1.5120	-0.0564	2.5321	1.4925	780.46	19.339

VFRSUCH NR. 11 (WANDKANAL)

DATUM 25.11.1974

POSITION 80. GRAD

WANDSCHUBSPANNUNG $\tau_{WJ} = 1.613 \text{ (N/M**2)}$

BEZUGSWERTE

REFERENZGESCHWINDIGKEIT $U_{REF} = 27.753 \text{ (M/S)}$

SCHUBSPANNUNGSGESCHWINDIGKEIT $U^* = 1.211 \text{ (M/S)}$

PROFILLAENGE (U_{MAX}) $Y_{MAX} = 6.000 \text{ (MM)}$

Y (MM)	U U _{REF}	U' U*	V' U*	W' U*	K' (U*)**2	U'V' (U*)**2	U'W' (U*)**2	U'V' U'*V'	U'W' U'*W'	Y Y _{MAX}	Y+	U+
1.3	0.6976	1.9687	0.7582	1.5306	3.3966	-0.6899	0.8170	-0.4622	0.5473	0.2167	104.24	16.296
1.5	0.7136	1.9630	0.7282	1.5648	3.4162	-0.6893	0.8981	-0.4822	0.6283	0.2500	119.19	16.683
1.7	0.7245	1.9498	0.7463	1.5656	3.4048	-0.6523	0.9046	-0.4483	0.6217	0.2833	134.14	16.948
2.0	0.7396	1.9316	0.7001	1.5821	3.3621	-0.5956	0.9399	-0.4434	0.6950	0.3333	156.56	17.313
2.5	0.7652	1.9095	0.6447	1.6192	3.3418	-0.5813	1.0418	-0.4722	0.8462	0.4167	193.94	17.923
3.0	0.7831	1.8669	0.6418	1.6623	3.3302	-0.5063	1.1259	-0.4226	0.9397	0.5000	231.31	18.350
4.0	0.8128	1.7894	0.6393	1.6971	3.2436	-0.3886	1.2303	-0.3399	1.0761	0.6667	306.06	19.053
5.0	0.8332	1.7018	0.5985	1.7748	3.2022	-0.2372	1.3714	-0.2329	1.3464	0.8333	380.81	19.534
6.0	0.8435	1.6729	0.6763	1.7877	3.2260	-0.0821	1.4091	-0.0725	1.2454	1.0000	455.56	19.776
8.0	0.8190	1.7691	0.7349	1.6883	3.2602	0.1934	1.3202	0.1488	1.0154	1.3333	605.06	19.204
10.0	0.7561	1.9085	0.7385	1.5724	3.3302	0.3993	1.0726	0.2833	0.7610	1.6667	754.56	17.731

VERSUCH NR. 11 (WANDKANAL)

DATUM 25.11.1974

POSITION 95. GRAD

WANDSCHUBSPANNUNG $\tau_{W} = 1.616$ (N/M**2)

BEZUGSWERTE

REFERENZGESCHWINDIGKEIT $U_{REF} = 27.749$ (M/S)

SCHUBSPANNUNGSGESCHWINDIGKEIT $U^* = 1.210$ (M/S)

PROFILLAENGE (U_{MAX}) $Y_{MAX} = 5.400$ (MM)

Y (MM)	U UREF	U' U*	V' U*	W' U*	K' (U*)**2	U'V' (U*)**2	U'W' (U*)**2	U'V' U'*V'	U'W' U'*W'	Y YMAX	Y+	U+
1.3	0.6973	1.8833	0.9669	1.6822	3.6558	-0.7264	0.6172	-0.3989	0.3389	0.2407	105.59	16.294
1.5	0.7106	1.8835	0.9158	1.6611	3.5728	-0.7030	0.5700	-0.4075	0.3304	0.2778	120.73	16.619
1.7	0.7226	1.8521	0.8975	1.6925	3.5501	-0.6469	0.6143	-0.3892	0.3696	0.3148	135.88	16.910
2.0	0.7383	1.8309	0.8431	1.6937	3.4658	-0.5783	0.6461	-0.3750	0.4185	0.3704	158.59	17.288
2.5	0.7611	1.7857	0.8426	1.7146	3.4192	-0.5227	0.6794	-0.3474	0.4515	0.4630	196.45	17.833
3.0	0.7817	1.7541	0.8001	1.7287	3.3528	-0.4672	0.7078	-0.3329	0.5043	0.5556	234.31	18.322
4.0	0.8100	1.6253	0.7787	1.7925	3.2306	-0.2788	0.7357	-0.2203	0.5813	0.7407	310.03	18.992
5.0	0.8276	1.5440	0.7739	1.8201	3.1477	-0.1130	0.7888	-0.0946	0.6602	0.9259	385.75	19.408
6.0	0.8260	1.5386	0.7101	1.7713	3.0045	0.0540	0.7724	0.0494	0.7070	1.1111	461.47	19.372
8.0	0.8128	1.7301	0.8351	1.7407	3.3602	0.4036	0.7564	0.2794	0.5235	1.4815	612.91	19.065
10.0	0.6997	1.8533	0.7718	1.5068	3.1505	0.6002	0.6048	0.4196	0.4228	1.8519	764.34	16.413

VERSUCH NR. 11 (WANDKANAL)

DATUM 25.11.1974

POSITION 90. GRAD

WANDSCHUBSPANNUNG $\tau_{WU} = 1.584$ (N/M**2)

BEZUGSWERTE

REFERENZGESCHWINDIGKEIT $U_{REF} = 27.735$ (M/S)

SCHUBSPANNUNGSGESCHWINDIGKEIT $U^* = 1.208$ (M/S)

PROFILLAENGE (U_{MAX}) $Y_{MAX} = 5.400$ (MM)

Y (MM)	U U _{REF}	U' U*	V' U*	W' U*	K' (U*)**2	U'V' (U*)**2	U'W' (U*)**2	U'V' U'*V'	U'W' U'*W'	Y Y _{MAX}	Y+	U+
1.3	0.6946	1.9432	0.9938	1.6487	3.7411	-0.7704	-0.0467	-0.3989	-0.0242	0.2407	105.14	16.400
1.5	0.7088	1.9131	0.9654	1.6948	3.7321	-0.7211	-0.1022	-0.3904	-0.0553	0.2778	120.22	16.750
1.7	0.7210	1.8843	0.9450	1.7028	3.6716	-0.6779	-0.0627	-0.3807	-0.0352	0.3148	135.30	17.047
2.0	0.7395	1.8560	0.8978	1.7167	3.5999	-0.6305	-0.0705	-0.3784	-0.0423	0.3704	157.92	17.496
2.5	0.7636	1.8174	0.8382	1.6874	3.4263	-0.5327	-0.0892	-0.3497	-0.0586	0.4630	195.61	18.078
3.0	0.7819	1.7503	0.7994	1.7300	3.3477	-0.4456	-0.0766	-0.3185	-0.0547	0.5556	233.31	18.519
4.0	0.8092	1.6175	0.8196	1.7697	3.2099	-0.2721	-0.0804	-0.2053	-0.0606	0.7407	308.71	19.174
5.0	0.8255	1.5369	0.7579	1.7948	3.0788	-0.0742	-0.0919	-0.0637	-0.0789	0.9259	384.10	19.562
6.0	0.8239	1.5363	0.7306	1.7666	3.0075	0.0956	-0.1104	0.0852	-0.0983	1.1111	459.50	19.525
8.0	0.7815	1.6795	0.8136	1.6928	3.1741	0.4170	-0.0795	0.3052	-0.0582	1.4815	610.29	18.522

VERSUCH NR. 12 (WANDKANAL)

DATUM 1.12.1974

POSITION 0. (MM)

WANDSCHUBSPANNUNG $\tau_{W} = 1.544$ (N/M**2)

BEZUGSWERTE

REFERENZGESCHWINDIGKEIT $U_{REF} = 27.750$ (M/S)

SCHUBSPANNUNGSGESCHWINDIGKEIT $U^* = 1.207$ (M/S)

PROFILLAENGE (UMAX) $Y_{MAX} = 5.800$ (MM)

Y (MM)	U UREF	U' U*	V' U*	W' U*	K' (U*)**2	U'V' (U*)**2	U'W' (U*)**2	U'V' U'*V'	U'W' U'*W'	Y YMAX	Y+	U+
1.3	0.6861	1.8906	0.7215	1.5522	3.2521	-0.7218	0.0629	-0.5291	0.0461	0.2241	105.35	16.440
1.5	0.6997	1.8592	0.7280	1.5659	3.2194	-0.6863	0.1012	-0.5070	0.0747	0.2586	120.46	16.779
1.7	0.7139	1.8409	0.7247	1.5984	3.2344	-0.6392	0.0718	-0.4791	0.0539	0.2931	135.57	17.131
2.0	0.7311	1.8351	0.6704	1.5615	3.1275	-0.6143	0.0591	-0.4993	0.0481	0.3448	158.24	17.555
2.5	0.7556	1.7858	0.6493	1.5988	3.0835	-0.5303	0.0952	-0.4573	0.0821	0.4310	196.02	18.154
3.0	0.7754	1.7386	0.6508	1.6281	3.0485	-0.4624	0.0909	-0.4087	0.0803	0.5172	233.79	18.637
4.0	0.8050	1.6357	0.6486	1.7081	3.0070	-0.3264	0.1138	-0.3077	0.1073	0.6897	309.34	19.355
5.0	0.8237	1.5592	0.5673	1.7532	2.9133	-0.1679	0.0945	-0.1893	0.1069	0.8621	384.89	19.809
6.0	0.8276	1.5432	0.5634	1.7446	2.8713	-0.0003	0.1010	-0.0003	0.1162	1.0345	460.44	19.905
8.0	0.7854	1.6956	0.6664	1.6969	3.0993	0.3493	0.1126	0.3091	0.0996	1.3793	611.54	18.890

VERSUCH NR. 12 (WANDKANAL)

DATUM 1.12.1974

POSITION 5. (MM)

WANDSCHUBSPANNUNG $\tau_{W} = 1.536$ (N/M**2)

BEZUGSWERTE

REFERENZGESCHWINDIGKEIT $U_{REF} = 27.762$ (M/S)

SCHUBSPANNUNGSGESCHWINDIGKEIT $U^* = 1.208$ (M/S)

PROFILLAENGE (UMAX) $Y_{MAX} = 6.000$ (MM)

Y (MM)	U U _{REF}	U' U*	V' U*	W' U*	K' (U*)**2	U'V' (U*)**2	U'W' (U*)**2	U'V' U'*V'	U'W' U'*W'	Y Y _{MAX}	Y+	U+
1.3	0.6846	1.8335	0.8356	1.5540	3.2375	-0.6996	-0.2371	-0.4567	-0.1547	0.2167	104.89	16.440
1.5	0.6984	1.8296	0.7984	1.5371	3.1738	-0.6646	-0.2247	-0.4550	-0.1538	0.2500	119.93	16.794
1.7	0.7077	1.8069	0.7580	1.5518	3.1238	-0.6619	-0.2579	-0.4833	-0.1883	0.2833	134.97	17.020
2.0	0.7273	1.7988	0.7169	1.5812	3.1248	-0.6104	-0.2799	-0.4734	-0.2171	0.3333	157.54	17.502
2.5	0.7529	1.7544	0.7410	1.6411	3.1601	-0.5444	-0.3322	-0.4133	-0.2556	0.4167	195.15	18.129
3.0	0.7737	1.7109	0.7600	1.6763	3.1575	-0.4521	-0.3408	-0.3477	-0.2621	0.5000	232.76	18.637
4.0	0.8041	1.6202	0.7542	1.7181	3.0729	-0.3317	-0.3494	-0.2714	-0.2859	0.6667	307.97	19.377
5.0	0.8239	1.5441	0.6387	1.7650	2.9538	-0.1716	-0.3653	-0.1740	-0.3704	0.8333	383.19	19.857
6.0	0.8285	1.5146	0.6356	1.7941	2.9585	0.0180	-0.3555	0.0187	-0.3692	1.0000	458.40	19.969
8.0	0.7929	1.6789	0.7182	1.7299	3.1636	0.3382	-0.3930	0.2805	-0.3259	1.3333	608.83	19.113

VERSUCH NR. 12 (WANDKANAL)

DATUM 1.12.1974

POSITION 10. (MM)

WANDSCHUBSPANNUNG $\tau_{W} = 1.504$ (N/M**2)

BEZUGSWERTE

REFERENZGESCHWINDIGKEIT $U_{REF} = 27.731$ (M/S)

SCHUBSPANNUNGSGESCHWINDIGKEIT $U^* = 1.207$ (M/S)

PROFILLAENGE (U_{MAX}) $Y_{MAX} = 6.200$ (MM)

Y (MM)	U UREF	U' U*	V' U*	W' U*	K' (U*)**2	U'V' (U*)**2	U'W' (U*)**2	U'V' U'*V'	U'W' U'*W'	Y YMAX	Y+	U+
1.3	0.6862	1.9068	0.6793	1.3370	2.9424	-0.7185	-0.4470	-0.5547	-0.3451	0.2097	103.52	16.645
1.5	0.6994	1.9015	0.6222	1.3400	2.8993	-0.6390	-0.4646	-0.5824	-0.3927	0.2419	118.36	16.979
1.7	0.7124	1.8773	0.6460	1.3786	2.9210	-0.6587	-0.4835	-0.5432	-0.3987	0.2742	133.21	17.304
2.0	0.7302	1.8590	0.6120	1.3978	2.8922	-0.6198	-0.5066	-0.5447	-0.4452	0.3225	155.48	17.748
2.5	0.7533	1.8246	0.6079	1.4458	2.8944	-0.5569	-0.5433	-0.5020	-0.4898	0.4032	192.60	18.324
3.0	0.7751	1.7804	0.6291	1.5348	2.9605	-0.4966	-0.6150	-0.4434	-0.5491	0.4839	229.71	18.861
4.0	0.8055	1.6933	0.6128	1.6014	2.9037	-0.3753	-0.6777	-0.3617	-0.6463	0.6452	303.94	19.609
5.0	0.8253	1.6176	0.5284	1.6209	2.7616	-0.2121	-0.7268	-0.2481	-0.8503	0.8065	378.18	20.093
6.0	0.8324	1.5828	0.4821	1.6414	2.7160	-0.0601	-0.7557	-0.0787	-0.9903	0.9677	452.41	20.267
8.0	0.8070	1.7163	0.5258	1.6296	2.9388	0.2657	-0.7741	0.2944	-0.8578	1.2903	600.87	19.652
10.0	0.7302	1.9029	0.6055	1.4588	3.0580	0.5361	-0.6539	0.4653	-0.5675	1.6129	749.34	17.782

VERSUCH NR. 12 (WANDKANAL)

DATUM 1.12.1974

POSITION 15. (MM)

WANDSCHUBSPANNUNG $\tau_{W} = 1.543$ (N/M**2)

BEZUGSWERTE

REFERENZGESCHWINDIGKEIT $U_{REF} = 27.752$ (M/S)

SCHUBSPANNUNGSGESCHWINDIGKEIT $U^* = 1.208$ (M/S)

PROFILLAENGE (UMAX) $Y_{MAX} = 6.400$ (MM)

Y (MM)	U UREF	U' U*	V' U*	W' U*	K' (U*)**2	U'V' (U*)**2	U'W' (U*)**2	U'V' U'*V'	U'W' U'*W'	Y YMAX	Y+	U+
1.3	0.6894	1.9517	0.7980	1.4170	3.2270	-0.7253	-0.7099	-0.4657	-0.4558	0.2031	104.80	16.514
1.5	0.7034	1.9326	0.8564	1.4544	3.2919	-0.7141	-0.7122	-0.4314	-0.4303	0.2344	119.83	16.861
1.7	0.7164	1.9461	0.7482	1.4248	3.1886	-0.6710	-0.7483	-0.4609	-0.5140	0.2656	134.86	17.184
2.0	0.7325	1.9171	0.7438	1.4662	3.1892	-0.6364	-0.7803	-0.4463	-0.5472	0.3125	157.41	17.581
2.5	0.7569	1.9109	0.6862	1.4802	3.1567	-0.5695	-0.8276	-0.4343	-0.6312	0.3906	194.93	18.179
3.0	0.7782	1.8672	0.6972	1.5350	3.1544	-0.5372	-0.9170	-0.4127	-0.7045	0.4683	232.56	18.697
4.0	0.8109	1.7878	0.6937	1.6149	3.1357	-0.4216	-1.0849	-0.3449	-0.8876	0.6250	307.71	19.491
5.0	0.8317	1.7029	0.6949	1.6797	3.1020	-0.3265	-1.1848	-0.2759	-1.0013	0.7813	382.87	19.995
6.0	0.8439	1.6504	0.6245	1.7160	3.0791	-0.1760	-1.2735	-0.1707	-1.2355	0.9375	458.02	20.290
8.0	0.8295	1.7464	0.6557	1.6634	3.1234	0.1106	-1.2621	0.0966	-1.1023	1.2500	608.33	19.945
10.0	0.7706	1.9169	0.7326	1.5447	3.2987	0.3591	-1.0603	0.2557	-0.7550	1.5625	758.63	13.530

VERSUCH NR. 12 (WANDKANAL)

DATUM 1.12.1974

POSITION 20. (MM)

WANDSCHUBSPANNUNG $\tau_{W} = 1.531$ (N/M**2)

BEZUGSWERTE

REFERENZGESCHWINDIGKEIT $U_{REF} = 27.741$ (M/S)

SCHUBSPANNUNGSGESCHWINDIGKEIT $U^* = 1.207$ (M/S)

PROFILLAENGE (UMAX) $Y_{MAX} = 7.000$ (MM)

Y (MM)	U U _{REF}	U' U*	V' U*	W' U*	K' (U*)**2	U'V' (U*)**2	U'W' (U*)**2	U'V' U'*V'	U'W' U'*W'	Y Y _{MAX}	Y+	U+
1.3	0.6935	2.0698	0.6986	1.3263	3.2657	-0.7417	-0.7693	-0.5130	-0.5320	0.1357	104.10	16.669
1.5	0.7066	2.0451	0.7391	1.3670	3.2987	-0.7308	-0.8294	-0.4835	-0.5487	0.2143	119.03	16.997
1.7	0.7188	2.0300	0.8133	1.4007	3.3722	-0.7100	-0.8625	-0.4300	-0.5225	0.2429	133.97	17.302
2.0	0.7362	2.0300	0.7242	1.4141	3.3225	-0.6945	-0.9434	-0.4724	-0.6417	0.2857	156.36	17.732
2.5	0.7611	2.0184	0.6769	1.4224	3.2777	-0.6537	-1.0005	-0.4784	-0.7322	0.3571	193.69	18.344
3.0	0.7809	1.9973	0.6217	1.4576	3.2501	-0.6111	-1.0777	-0.4921	-0.8679	0.4286	231.01	18.829
4.0	0.8138	1.9492	0.5636	1.4798	3.1534	-0.5396	-1.2527	-0.4911	-1.1402	0.5714	305.67	19.628
5.0	0.8359	1.8776	0.5824	1.5518	3.1364	-0.4640	-1.4031	-0.4243	-1.2830	0.7143	380.32	20.163
6.0	0.8524	1.8201	0.5452	1.6229	3.1220	-0.3233	-1.5340	-0.3258	-1.5459	0.8571	454.97	20.564
8.0	0.8510	1.8105	0.6207	1.6327	3.1643	-0.0943	-1.6097	-0.0839	-1.4324	1.1429	604.28	20.532
10.0	0.8084	1.9644	0.5886	1.4802	3.1982	0.1587	-1.4253	0.1373	-1.2327	1.4286	753.59	19.507

VERSUCH NR. 12 (WANDKANAL)

DATUM 1.12.1974

POSITION 25. (MM)

WANDSCHUBSPANNUNG $\tau_{W} = 1.542$ (N/M**2)

BEZUGSWERTE

REFERENZGESCHWINDIGKEIT $U_{REF} = 27.731$ (M/S)

SCHUBSPANNUNGSGESCHWINDIGKEIT $U^* = 1.208$ (M/S)

PROFILLAENGE (UMAX) $Y_{MAX} = 7.800$ (MM)

Y (MM)	U UREF	U [*] U*	V [*] U*	W [*] U*	K [*] (U*)**2	U [*] V [*] (U*)**2	U [*] W [*] (U*)**2	U [*] V [*] U [*] *V [*]	U [*] W [*] U [*] *W [*]	Y YMAX	Y+	U+
1.3	0.6946	2.1336	0.7133	1.2631	3.3390	-0.7337	-0.8190	-0.4809	-0.5369	0.1667	103.82	16.627
1.5	0.7085	2.1473	0.6351	1.2142	3.2442	-0.7095	-0.8224	-0.5203	-0.6030	0.1923	118.71	16.975
1.7	0.7208	2.1182	0.7207	1.3039	3.3531	-0.7002	-0.8843	-0.4587	-0.5793	0.2179	133.61	17.279
2.0	0.7365	2.1246	0.6752	1.2938	3.3219	-0.6964	-0.9390	-0.4855	-0.6546	0.2564	155.94	17.666
2.5	0.7623	2.1178	0.7261	1.3184	3.3753	-0.6874	-1.0335	-0.4470	-0.6721	0.3205	193.17	18.297
3.0	0.7830	2.1041	0.7198	1.3628	3.4012	-0.6617	-1.1255	-0.4369	-0.7431	0.3846	230.39	18.802
4.0	0.8150	2.0574	0.6879	1.4136	3.3521	-0.5987	-1.3086	-0.4231	-0.9247	0.5128	304.85	19.573
5.0	0.8409	2.0310	0.5200	1.4335	3.2252	-0.5478	-1.5273	-0.5187	-1.4461	0.6410	379.30	20.202
6.0	0.8586	1.9715	0.5930	1.5050	3.2517	-0.4722	-1.6502	-0.4039	-1.4116	0.7692	453.75	20.629
8.0	0.8716	1.9216	0.5911	1.5397	3.2063	-0.2798	-1.7874	-0.2463	-1.5737	1.0256	602.66	20.945
10.0	0.8520	2.0195	0.6855	1.4747	3.3614	-0.0265	-1.7367	-0.0192	-1.2545	1.2821	751.56	20.476
12.5	0.7791	2.1433	0.7831	1.3251	3.4813	0.2599	-1.3260	0.1549	-0.7901	1.6026	937.69	18.727

VERSUCH NR. 12 (WANDKANAL)

DATUM 1.12.1974

POSITION 30. (MM)

WANDSCHUBSPANNUNG $\tau_{uw} = 1.580$ (N/M**2)

BEZUGSWERTE

REFERENZGESCHWINDIGKEIT $URFF = 27.740$ (M/S)

SCHUBSPANNUNGSGESCHWINDIGKEIT $U^* = 1.206$ (M/S)

PROFILLAENGE (UMAX) $YMAX = 8.600$ (MM)

Y (MM)	U URFF	U' U*	V' U*	W' U*	K' (U*)**2	U'V' (U*)**2	U'W' (U*)**2	U'V' U'*V'	U'W' U'*W'	Y YMAX	Y+	U+
1.3	0.7035	2.2063	0.9296	1.3267	3.7459	-1.0060	-0.9680	-0.4905	-0.4720	0.1512	106.99	16.674
1.5	0.7168	2.2124	0.9114	1.3357	3.7546	-0.9450	-1.0043	-0.4687	-0.4981	0.1744	122.34	17.002
1.7	0.7299	2.2188	0.8574	1.3285	3.7114	-0.9330	-1.0501	-0.4904	-0.5520	0.1977	137.68	17.324
2.0	0.7458	2.1968	0.9308	1.3893	3.8112	-0.9101	-1.1394	-0.4451	-0.5572	0.2326	160.70	17.711
2.5	0.7686	2.1883	0.9359	1.4218	3.8431	-0.9018	-1.2499	-0.4403	-0.6103	0.2907	199.06	18.265
3.0	0.7897	2.1773	0.9464	1.4450	3.8621	-0.9055	-1.3455	-0.4395	-0.6530	0.3488	237.43	18.773
4.0	0.8215	2.1623	0.8643	1.4940	3.8273	-0.8193	-1.5303	-0.4384	-0.8188	0.4651	314.15	19.536
5.0	0.8495	2.1347	0.8202	1.5747	3.8545	-0.7451	-1.8196	-0.4256	-1.0393	0.5814	390.88	20.203
6.0	0.8676	2.1039	0.7789	1.6068	3.8074	-0.7002	-1.9655	-0.4273	-1.1994	0.6977	467.60	20.636
8.0	0.8901	2.0601	0.7901	1.6885	3.8597	-0.5564	-2.1960	-0.3419	-1.3492	0.9302	621.05	21.174
10.0	0.8856	2.0668	0.7983	1.6835	3.8799	-0.4020	-2.2606	-0.2436	-1.3701	1.1628	774.50	21.070
12.5	0.8464	2.1880	0.8189	1.5606	3.9467	-0.1733	-2.0070	-0.0967	-1.1201	1.4535	966.31	20.142

VERSUCH NR. 12 (WANDKANAL)

DATUM 1.12.1974

POSITION 35. (MM)

WANDSCHUBSPANNUNG $\tau_{W} = 1.633$ (N/M**2)

BEZUGSWERTE

REFERENZGESCHWINDIGKEIT $U_{REF} = 27.738$ (M/S)

SCHUBSPANNUNGSGESCHWINDIGKEIT $U^* = 1.207$ (M/S)

PROFILLAENGE (U_{MAX}) $Y_{MAX} = 9.700$ (MM)

Y (MM)	U U _{REF}	U' U*	V' U*	W' U*	K' (U*)**2	U*V' (U*)**2	U*W' (U*)**2	U*V' U*V'	U*W' U*W'	Y Y _{MAX}	Y+	U+
1.3	0.7157	2.2845	0.7427	1.2055	3.6118	-0.8780	-0.7690	-0.5175	-0.4532	0.1340	107.59	16.663
1.5	0.7269	2.2488	0.8361	1.2568	3.6678	-0.8400	-0.8131	-0.4468	-0.4324	0.1546	123.02	16.936
1.7	0.7397	2.2566	0.8309	1.2313	3.6494	-0.8260	-0.8218	-0.4405	-0.4383	0.1753	138.45	17.244
2.0	0.7585	2.2689	0.7979	1.2550	3.6799	-0.8417	-0.9213	-0.4649	-0.5089	0.2062	161.60	17.693
2.5	0.7832	2.2572	0.8632	1.3065	3.7735	-0.8486	-1.0124	-0.4355	-0.5196	0.2577	200.18	18.282
3.0	0.8057	2.2636	0.7975	1.2957	3.7306	-0.8051	-1.1266	-0.4450	-0.6227	0.3093	238.76	18.814
4.0	0.8364	2.2484	0.8361	1.3522	3.7913	-0.7982	-1.3148	-0.4246	-0.6994	0.4124	315.91	19.537
5.0	0.8597	2.2299	0.7904	1.3907	3.7655	-0.7455	-1.5213	-0.4230	-0.8632	0.5155	393.06	20.084
6.0	0.8806	2.2208	0.7287	1.4588	3.7957	-0.7200	-1.7814	-0.4449	-1.1007	0.6186	470.22	20.574
8.0	0.9058	2.1935	0.7149	1.4998	3.7969	-0.6293	-2.0453	-0.4004	-1.3014	0.8247	624.53	21.164
10.0	0.9146	2.2028	0.6658	1.5214	3.8058	-0.5053	-2.2154	-0.3440	-1.5084	1.0309	778.84	21.374
12.5	0.8977	2.2583	0.7881	1.4662	3.9354	-0.3357	-2.0680	-0.1886	-1.1620	1.2887	971.73	20.982
15.0	0.8542	2.3180	0.8776	1.3537	3.9880	-0.0856	-1.6600	-0.0421	-0.8160	1.5464	1164.61	19.973

VERSUCH NR. 12 (WANDKANAL)

DATUM 1.12.1974

POSITION 40. (MM)

WANDSCHUBSPANNUNG $\tau_{W} = 1.687$ (N/M**2)

BEZUGSWERTE

REFERENZGESCHWINDIGKEIT $U_{REF} = 27.736$ (M/S)

SCHUBSPANNUNGSGESCHWINDIGKEIT $U^* = 1.208$ (M/S)

PROFILLAENGE (U_{MAX}) $Y_{MAX} = 10.800$ (MM)

Y (MM)	U UREF	U' U*	V' U*	W' U*	K' (U*)**2	U'V' (U*)**2	U'W' (U*)**2	U'V' U'*V'	U'W' U'*W'	Y YMAX	Y+	U+
1.3	0.7254	2.2934	0.7574	1.1842	3.6180	-0.8311	-0.6228	-0.4785	-0.3585	0.1204	108.51	16.602
1.5	0.7388	2.2640	0.8361	1.2506	3.6943	-0.7856	-0.6760	-0.4150	-0.3571	0.1389	124.07	16.921
1.7	0.7534	2.2807	0.8802	1.1743	3.6777	-0.9267	-0.6961	-0.4616	-0.3468	0.1574	139.63	17.266
2.0	0.7716	2.2758	0.8060	1.2471	3.6921	-0.7618	-0.7711	-0.4153	-0.4204	0.1852	162.98	17.694
2.5	0.7956	2.2910	0.7555	1.2079	3.6392	-0.7443	-0.8472	-0.4300	-0.4894	0.2315	201.88	18.257
3.0	0.8161	2.2628	0.8644	1.2735	3.7446	-0.7452	-0.8946	-0.3810	-0.4574	0.2778	240.79	18.734
4.0	0.8506	2.2841	0.7654	1.2877	3.7304	-0.7194	-1.1264	-0.4115	-0.6443	0.3704	318.60	19.532
5.0	0.8750	2.2703	0.7881	1.3251	3.7656	-0.6649	-1.2876	-0.3716	-0.7197	0.4630	396.41	20.095
6.0	0.8958	2.3003	0.6514	1.3209	3.7303	-0.6279	-1.5342	-0.4190	-1.0239	0.5556	474.22	20.574
8.0	0.9240	2.3054	0.6781	1.3751	3.8329	-0.5892	-1.8906	-0.3769	-1.2094	0.7407	629.85	21.224
10.0	0.9457	2.3375	0.6260	1.3969	3.9037	-0.5200	-2.1393	-0.3553	-1.4620	0.9259	785.47	21.725
12.5	0.9448	2.3636	0.7334	1.3601	3.9872	-0.3759	-2.1525	-0.2169	-1.2417	1.1574	930.00	21.709
15.0	0.9215	2.3968	0.7706	1.2484	3.9486	-0.2270	-1.8900	-0.1229	-1.0233	1.3889	1174.53	21.181

VERSUCH NR. 12 (WANDKANAL)

DATUM 1.12.1974

POSITION 45. (MM)

WANDSCHUBSPANNUNG $\tau_{WJW} = 1.733$ (N/M**2)

BEZUGSWERTE

REFERENZGESCHWINDIGKEIT $U_{REF} = 27.751$ (M/S)

SCHUBSPANNUNGSGESCHWINDIGKEIT $U^* = 1.209$ (M/S)

PROFILLAENGE (UMAX) $Y_{MAX} = 11.900$ (MM)

Y (MM)	U UREF	U' U*	V' U*	W' U*	K' (U*)**2	U'V' (U*)**2	U'W' (U*)**2	U'V' U'*V'	U'W' U'*W'	Y YMAX	Y+	U+
1.3	0.7459	2.2561	0.8919	1.2419	3.7139	-0.8734	-0.4989	-0.4341	-0.2479	0.1092	109.76	16.841
1.5	0.7597	2.2554	0.8815	1.2194	3.6755	-0.8488	-0.5348	-0.4270	-0.2690	0.1261	125.50	17.166
1.7	0.7735	2.2506	0.8755	1.2633	3.7137	-0.8274	-0.5668	-0.4199	-0.2877	0.1429	141.24	17.489
2.0	0.7931	2.2560	0.8841	1.2344	3.6974	-0.8338	-0.6171	-0.4131	-0.3094	0.1681	164.85	17.942
2.5	0.8150	2.2417	0.9007	1.2749	3.7310	-0.8084	-0.6743	-0.4004	-0.3340	0.2101	204.20	18.447
3.0	0.8356	2.2287	0.9304	1.2871	3.7447	-0.7443	-0.7459	-0.3589	-0.3597	0.2521	243.56	18.920
4.0	0.8685	2.2259	0.8888	1.2960	3.7121	-0.7136	-0.8624	-0.3607	-0.4359	0.3361	322.26	19.672
5.0	0.8936	2.2436	0.8224	1.3024	3.7030	-0.6940	-1.0693	-0.3762	-0.5796	0.4202	400.97	20.243
6.0	0.9112	2.2525	0.8055	1.2967	3.7020	-0.6895	-1.2445	-0.3800	-0.6859	0.5042	479.67	20.644
8.0	0.9499	2.3035	0.8033	1.3541	3.9859	-0.6225	-1.6579	-0.3367	-0.8966	0.6723	637.08	21.522
10.0	0.9659	2.3269	0.7566	1.4027	3.9772	-0.5736	-1.9351	-0.3258	-1.0992	0.8403	794.50	21.889
12.5	0.9750	2.3667	0.8028	1.3661	4.0561	-0.5157	-2.0777	-0.2714	-1.0935	1.0504	991.26	22.100
15.0	0.9689	2.3797	0.8826	1.3282	4.1030	-0.4070	-1.9294	-0.1938	-0.9186	1.2605	1188.03	21.968
20.0	0.9632	2.4835	1.0618	1.2826	4.4700	-0.0340	-1.3632	-0.0129	-0.5170	1.6807	1581.55	21.855

VERSUCH NR. 12 (WANDKANAL)

DATUM 1.12.1974

POSITION 50. (MM)

WANDSCHUBSPANNUNG $\tau_{W} = 1.914$ (N/M**2)

BEZUGSWERTE

REFERENZGESCHWINDIGKEIT $U_{REF} = 27.729$ (M/S)

SCHUBSPANNUNGSGESCHWINDIGKEIT $U^* = 1.208$ (M/S)

PROFILLAENGE (UMAX) $Y_{MAX} = 13.000$ (MM)

Y (MM)	U UREF	U' U*	V' U*	W' U*	K' (U*)**2	U'V' (U*)**2	U'W' (U*)**2	U'V' U'*V'	U'W' U'*W'	Y YMAX	Y+	U+
1.3	0.7637	2.2196	0.9968	1.4911	4.0719	-0.9185	-0.3839	-0.4151	-0.1735	0.1000	115.18	16.409
1.5	0.7782	2.2202	0.9726	1.4517	3.9913	-0.9132	-0.3954	-0.4229	-0.1831	0.1154	131.70	16.731
1.7	0.7900	2.2149	0.9401	1.4504	3.9467	-0.9090	-0.4242	-0.4366	-0.2037	0.1308	148.22	16.994
2.0	0.8086	2.2046	0.9664	1.4809	3.9937	-0.8627	-0.4688	-0.4049	-0.2200	0.1538	172.99	17.405
2.5	0.8320	2.1832	0.9788	1.4454	3.9069	-0.8382	-0.5359	-0.3923	-0.2508	0.1923	214.29	17.918
3.0	0.8525	2.1836	0.9621	1.4099	3.8403	-0.8228	-0.5467	-0.3917	-0.2602	0.2303	255.59	18.364
4.0	0.8845	2.1501	0.9708	1.4408	3.8206	-0.7666	-0.6673	-0.3673	-0.3197	0.3077	338.18	19.059
5.0	0.9092	2.1538	0.9325	1.4133	3.7529	-0.7433	-0.7777	-0.3701	-0.3872	0.3846	420.78	19.595
6.0	0.9360	2.1883	0.8561	1.4204	3.7695	-0.7127	-0.9388	-0.3804	-0.5012	0.4615	503.37	20.173
8.0	0.9659	2.2404	0.7850	1.3890	3.7823	-0.6612	-1.2992	-0.3760	-0.7388	0.6154	668.56	20.821
10.0	0.9858	2.2813	0.8022	1.4177	3.9289	-0.6293	-1.6200	-0.3441	-0.8853	0.7692	833.75	21.253
12.5	1.0008	2.3314	0.8690	1.3766	4.0423	-0.5488	-1.8514	-0.2709	-0.9138	0.9615	1040.23	21.582
15.0	1.0029	2.3393	0.9363	1.3517	4.0382	-0.4958	-1.8390	-0.2263	-0.8396	1.1538	1246.72	21.634
20.0	0.9777	2.2843	1.1315	1.2647	4.0489	-0.1632	-1.4124	-0.0631	-0.5464	1.5385	1659.69	21.108

VERSUCH NR. 12 (WANDKANAL)

DATUM 1.12.1974

POSITION 55. (MM)

WANDSCHUBSPANNUNG $\tau_{W} = 1.896$ (N/M**2)

BEZUGSWERTE

REFERENZGESCHWINDIGKEIT $U_{REF} = 27.741$ (M/S)

SCHUBSPANNUNGSGESCHWINDIGKEIT $U^* = 1.209$ (M/S)

PROFILLAENGE (UMAX) $Y_{MAX} = 14.600$ (MM)

Y (MM)	U UREF	U' U*	V' U*	W' U*	K' (U*)**2	U'V' (U*)**2	U'W' (U*)**2	U'V' U'*V'	U'W' U'*W'	Y YMAX	Y+	U+
1.3	0.7851	2.2499	0.8809	1.4902	4.0294	-0.9645	-0.4344	-0.4866	-0.2192	0.0890	114.81	16.954
1.5	0.7987	2.2354	0.9146	1.4774	4.0082	-0.9237	-0.4017	-0.4518	-0.1965	0.1027	131.28	17.260
1.7	0.8135	2.2371	0.9115	1.4669	3.9936	-0.9508	-0.3677	-0.4663	-0.1803	0.1164	147.74	17.590
2.0	0.8304	2.2202	0.9001	1.4811	3.9666	-0.9130	-0.4412	-0.4569	-0.2208	0.1370	172.44	17.964
2.5	0.8550	2.2048	0.8749	1.4804	3.9090	-0.8967	-0.4670	-0.4649	-0.2421	0.1712	213.61	18.507
3.0	0.8739	2.1845	0.8843	1.4803	3.8726	-0.8461	-0.5040	-0.4330	-0.2609	0.2055	254.77	18.922
4.0	0.9056	2.1560	0.8465	1.4330	3.7091	-0.7991	-0.5729	-0.4379	-0.3139	0.2740	337.10	19.615
5.0	0.9369	2.1627	0.8372	1.4379	3.7228	-0.7574	-0.6700	-0.4183	-0.3700	0.3425	419.43	20.296
6.0	0.9594	2.1445	0.8565	1.4153	3.6678	-0.7183	-0.7785	-0.3911	-0.4239	0.4110	501.76	20.784
8.0	0.9888	2.1683	0.8434	1.3984	3.6843	-0.6392	-1.0700	-0.3495	-0.5851	0.5479	666.43	21.424
10.0	1.0081	2.2128	0.8319	1.3728	3.7366	-0.6068	-1.3339	-0.3296	-0.7246	0.6849	831.09	21.846
12.5	1.0261	2.2779	0.8065	1.3582	3.8419	-0.6023	-1.6395	-0.3279	-0.8925	0.8562	1036.91	22.240
15.0	1.0341	2.3146	0.8177	1.3023	3.8609	-0.5239	-1.7339	-0.2768	-0.9162	1.0274	1242.74	22.423
20.0	1.0279	2.2494	1.0975	1.2499	3.9132	-0.2727	-1.4473	-0.1105	-0.5863	1.3699	1654.39	22.305
25.0	0.9897	2.1490	1.2785	1.2435	3.8996	0.1041	-1.0276	0.0379	-0.3740	1.7123	2066.05	21.496

VERSUCH NR. 12 (WANDKANAL)

DATUM 1.12.1974

POSITION 60. (MM)

WANDSCHUBSPANNUNG $\tau_{WU} = 1.951 \text{ (N/M**2)}$

BEZUGSWERTE

REFERENZGESCHWINDIGKEIT $U_{REF} = 27.719 \text{ (M/S)}$

SCHUBSPANNUNGSGESCHWINDIGKEIT $U^* = 1.205 \text{ (M/S)}$

PROFILLAENGE (U_{MAX}) $Y_{MAX} = 16.400 \text{ (MM)}$

Y (MM)	U U _{REF}	U' U*	V' U*	W' U*	K' (U*)**2	U'V' (U*)**2	U'W' (U*)**2	U'V' U'*V'	U'W' U'*W'	Y Y _{MAX}	Y+	U+
1.3	0.7899	2.2362	0.9224	1.4607	3.9924	-0.9938	-0.2751	-0.4818	-0.1334	0.0793	118.44	16.849
1.5	0.8055	2.2322	0.9108	1.4541	3.9632	-0.9735	-0.3443	-0.4788	-0.1694	0.0915	135.42	17.194
1.7	0.8200	2.2138	0.9655	1.4598	3.9922	-1.0300	-0.3192	-0.4819	-0.1493	0.1037	152.41	17.513
2.0	0.8387	2.2092	0.9598	1.4576	3.9633	-1.0228	-0.3500	-0.4824	-0.1651	0.1220	177.89	17.921
2.5	0.8634	2.1711	0.9847	1.4617	3.9100	-0.9978	-0.3740	-0.4667	-0.1749	0.1524	220.35	18.458
3.0	0.8835	2.1503	0.9407	1.4551	3.8130	-0.9650	-0.3904	-0.4771	-0.1930	0.1829	262.82	18.895
4.0	0.9174	2.1326	0.9001	1.3791	3.6301	-0.9325	-0.4217	-0.4858	-0.2197	0.2439	347.75	19.625
5.0	0.9499	2.0839	0.9685	1.3929	3.6105	-0.8576	-0.4442	-0.4299	-0.2201	0.3049	432.68	20.322
6.0	0.9719	2.0579	1.0033	1.3849	3.5793	-0.8492	-0.5645	-0.4113	-0.2734	0.3659	517.61	20.793
8.0	1.0018	2.0477	0.9701	1.3030	3.4160	-0.7532	-0.7338	-0.3792	-0.3719	0.4878	687.48	21.436
10.0	1.0239	2.0638	0.9536	1.2768	3.3994	-0.7060	-0.9213	-0.3587	-0.4682	0.6098	857.34	21.913
12.5	1.0446	2.0951	0.9797	1.2790	3.4924	-0.6604	-1.1933	-0.3217	-0.5814	0.7622	1069.66	22.363
15.0	1.0563	2.1356	0.9770	1.2100	3.4393	-0.6272	-1.3137	-0.3006	-0.6296	0.9146	1281.99	22.620
20.0	1.0618	2.1012	1.1217	1.1501	3.4980	-0.4500	-1.2201	-0.1909	-0.5177	1.2195	1706.65	22.758
25.0	1.0440	1.9903	1.2950	1.1560	3.4874	-0.1179	-0.8994	-0.0457	-0.3489	1.5244	2131.30	22.398
30.0	0.9987	2.0102	1.4203	1.1774	3.7223	0.2129	-0.7802	0.0746	-0.2733	1.8293	2555.96	21.447

VERSUCH NR. 12 (WANDKANAL)

DATUM 1.12.1974

POSITION 65. (MM)

WANDSCHUBSPANNUNG $\tau_{W} = 2.045$ (N/M**2)

BEZUGSWERTE

REFERENZGESCHWINDIGKEIT $U_{REF} = 27.718$ (M/S)

SCHUBSPANNUNGSGESCHWINDIGKEIT $U^* = 1.205$ (M/S)

PROFILLAENGE (U_{MAX}) $Y_{MAX} = 18.300$ (MM)

Y (MM)	U U _{REF}	U [*] U [*]	V [*] U [*]	W [*] U [*]	K [*] (U [*])**2	U [*] V [*] (U [*])**2	U [*] W [*] (U [*])**2	U [*] V [*] U [*] *V [*]	U [*] W [*] U [*] *W [*]	Y Y _{MAX}	Y+	U+
1.3	0.8142	2.2781	1.0398	1.6806	4.5473	-1.0898	-0.2647	-0.4600	-0.1118	0.0710	121.58	16.971
1.5	0.8280	2.2661	0.9980	1.6639	4.4498	-1.0806	-0.2320	-0.4778	-0.1026	0.0820	139.01	17.269
1.7	0.8408	2.2484	1.0250	1.6560	4.4240	-1.0651	-0.2452	-0.4622	-0.1064	0.0920	156.45	17.546
2.0	0.8586	2.2392	1.0000	1.6304	4.3361	-1.0785	-0.2900	-0.4816	-0.1295	0.1093	182.61	17.926
2.5	0.8831	2.2247	0.9459	1.6206	4.2352	-1.0195	-0.3422	-0.4845	-0.1626	0.1366	226.20	18.449
3.0	0.9033	2.1930	0.9413	1.5963	4.1328	-0.9985	-0.3217	-0.4826	-0.1555	0.1639	269.79	18.874
4.0	0.9425	2.1568	0.9660	1.5868	4.0514	-0.9696	-0.3653	-0.4654	-0.1754	0.2186	356.98	19.699
5.0	0.9685	2.1107	0.9770	1.5497	3.9054	-0.9252	-0.3448	-0.4487	-0.1672	0.2732	444.16	20.245
6.0	0.9886	2.0603	0.9767	1.5124	3.7432	-0.8512	-0.3902	-0.4230	-0.1939	0.3279	531.34	20.666
8.0	1.0214	2.0131	0.9846	1.4251	3.5265	-0.7821	-0.5340	-0.3946	-0.2694	0.4372	705.71	21.354
10.0	1.0717	2.0499	1.0046	1.3961	3.5803	-0.7382	-0.7456	-0.3584	-0.3620	0.5464	880.08	22.409
12.5	1.0651	2.0023	0.9457	1.3019	3.3002	-0.6006	-0.9082	-0.3171	-0.4795	0.6831	1098.04	22.278
15.0	1.0790	2.0191	0.9364	1.2307	3.2342	-0.5502	-1.0227	-0.2910	-0.5409	0.8197	1316.00	22.579
20.0	1.0900	1.9822	1.0223	1.1778	3.1812	-0.3779	-1.0210	-0.1864	-0.5036	1.0929	1751.92	22.829
25.0	1.0813	1.8915	1.1734	1.1352	3.1217	-0.1151	-0.7845	-0.0518	-0.3534	1.3661	2187.84	22.668
30.0	1.0570	1.8785	1.3116	1.1884	3.3307	0.2632	-0.6966	0.1068	-0.2827	1.6393	2623.76	22.183

VERSUCH NR. 12 (WANDKANAL)

DATUM 1.12.1974

POSITION 70. (MM)

WANDSCHUBSPANNUNG $\tau_{W} = 2.071 \text{ (N/M**2)}$

BEZUGSWERTE

REFERENZGESCHWINDIGKEIT $U_{REF} = 27.736 \text{ (M/S)}$

SCHUBSPANNUNGSGESCHWINDIGKEIT $U^* = 1.210 \text{ (M/S)}$

PROFILLAENGE (U_{MAX}) $Y_{MAX} = 20.000 \text{ (MM)}$

Y (MM)	U U _{REF}	U ² U* ²	V ² U* ²	W ² U* ²	K ² (U*)**2	U ² V ² (U*)**2	U ² W ² (U*)**2	U ² V ² U ² *V ²	U ² W ² U ² *W ²	Y Y _{MAX}	Y+	U+
1.3	0.8168	2.2705	1.0243	1.7321	4.6021	-1.1214	-0.1872	-0.4822	-0.0805	0.0650	118.95	16.861
1.5	0.8310	2.2691	1.0070	1.7034	4.5323	-1.1079	-0.1782	-0.4848	-0.0780	0.0750	136.01	17.165
1.7	0.8465	2.2573	1.0388	1.7417	4.6039	-1.1086	-0.2195	-0.4728	-0.0936	0.0850	153.07	17.493
2.0	0.8662	2.2510	1.0093	1.7507	4.5754	-1.0699	-0.2385	-0.4709	-0.1050	0.1000	178.66	17.910
2.5	0.8919	2.2328	1.0015	1.7352	4.4996	-1.0667	-0.2447	-0.4770	-0.1094	0.1250	221.32	18.453
3.0	0.9122	2.2147	0.9680	1.7026	4.3704	-1.0410	-0.2433	-0.4856	-0.1135	0.1500	263.97	18.878
4.0	0.9557	2.1858	0.9926	1.6783	4.2893	-0.9969	-0.2488	-0.4595	-0.1147	0.2000	349.27	19.734
5.0	0.9802	2.1059	1.0281	1.6470	4.1023	-0.9648	-0.2637	-0.4456	-0.1218	0.2500	434.57	20.292
6.0	1.0036	2.0588	1.0367	1.6240	3.9755	-0.9170	-0.3098	-0.4296	-0.1451	0.3000	519.87	20.778
8.0	1.0363	1.9614	1.0697	1.5370	3.6770	-0.8045	-0.3788	-0.3834	-0.1806	0.4000	690.47	21.459
10.0	1.0604	1.9112	1.0365	1.4778	3.4554	-0.6808	-0.5177	-0.3437	-0.2613	0.5000	861.08	21.960
12.5	1.0829	1.8833	1.0115	1.3599	3.2106	-0.5839	-0.6586	-0.3065	-0.3457	0.6250	1074.33	22.434
15.0	1.0989	1.8685	0.9993	1.3368	3.1384	-0.4841	-0.7936	-0.2593	-0.4250	0.7500	1287.58	22.773
20.0	1.1150	1.8442	0.9991	1.2243	2.9492	-0.3362	-0.8608	-0.1825	-0.4672	1.0000	1714.09	23.126
25.0	1.1132	1.7692	1.1356	1.1445	2.8647	-0.1095	-0.6484	-0.0545	-0.3227	1.2500	2140.60	23.111
30.0	1.0962	1.7695	1.2094	1.1596	2.9692	0.2406	-0.5710	0.1124	-0.2668	1.5000	2567.11	22.782

VERSUCH NR. 12 (WANDKANAL)

DATUM 1.12.1974

POSITION 75. (MM)

WANDSCHUBSPANNUNG $\tau_{W} = 2.103$ (N/M**2)

BEZUGSWERTE

REFERENZGESCHWINDIGKEIT $U_{REF} = 27.744$ (M/S)

SCHUBSPANNUNGSGESCHWINDIGKEIT $U^* = 1.208$ (M/S)

PROFILLÄNGE (U_{MAX}) $Y_{MAX} = 21.400$ (MM)

Y (MM)	U U _{REF}	U' U*	V' U*	W' U*	K' (U*)**2	U'V' (U*)**2	U'W' (U*)**2	U'V' U'*V'	U'W' U'*W'	Y Y _{MAX}	Y+	U+
1.3	0.8251	2.2934	0.9982	1.7356	4.6457	-1.0812	-0.1516	-0.4712	-0.0661	0.0607	121.71	16.935
1.5	0.8396	2.2712	1.0329	1.7598	4.6611	-1.0512	-0.1560	-0.4481	-0.0665	0.0701	130.16	17.243
1.7	0.8556	2.2785	1.0165	1.7591	4.6596	-1.0611	-0.1470	-0.4531	-0.0635	0.0794	156.62	17.581
2.0	0.8734	2.2619	1.0136	1.7537	4.6096	-1.0816	-0.1917	-0.4718	-0.0836	0.0935	182.80	17.956
2.5	0.8996	2.2460	1.0183	1.6936	4.4835	-1.0590	-0.1953	-0.4630	-0.0854	0.1153	226.44	18.504
3.0	0.9216	2.2074	1.0310	1.7293	4.4476	-1.0371	-0.2015	-0.4572	-0.0888	0.1402	270.08	18.961
4.0	0.9642	2.1872	1.0033	1.6634	4.2792	-1.0337	-0.2103	-0.4703	-0.0958	0.1859	357.36	19.842
5.0	0.9913	2.1143	1.0453	1.6440	4.1345	-0.9979	-0.1628	-0.4512	-0.0736	0.2336	444.63	20.404
6.0	1.0142	2.0453	1.0615	1.5376	3.9970	-0.9422	-0.2055	-0.4333	-0.0946	0.2804	531.91	20.877
8.0	1.0482	1.9470	1.0505	1.5145	3.5940	-0.8422	-0.2749	-0.4119	-0.1344	0.3733	706.47	21.578
10.0	1.0732	1.8549	1.0761	1.4008	3.2805	-0.7468	-0.3172	-0.3741	-0.1539	0.4673	881.02	22.096
12.5	1.0974	1.7773	1.0301	1.3091	2.9677	-0.5775	-0.4098	-0.3153	-0.2238	0.5841	1099.21	22.603
15.0	1.1152	1.7401	1.0204	1.2259	2.7861	-0.4850	-0.4790	-0.2731	-0.2697	0.7009	1317.41	22.978
20.0	1.1307	1.6635	0.9888	1.1259	2.5063	-0.2745	-0.5358	-0.1669	-0.3257	0.9346	1753.79	23.318
25.0	1.1323	1.6147	1.0709	1.0642	2.4432	-0.0393	-0.4574	-0.0228	-0.2646	1.1682	2190.13	23.373
30.0	1.1179	1.6334	1.1626	1.0703	2.5907	0.2369	-0.3765	0.1244	-0.1977	1.4019	2626.57	23.101
35.0	1.0962	1.7365	1.2596	1.1665	2.9313	0.5008	-0.4003	0.2290	-0.1830	1.6355	3062.95	22.678

VERSUCH NR. 12 (WANDKANAL)

DATUM 1.12.1974

POSITION 30. (MM)

WANDSCHUBSPANNUNG $\tau_{WU} = 2.139$ (N/M**2)

BEZUGSWERTE

REFERENZGESCHWINDIGKEIT $U_{REF} = 27.737$ (M/S)

SCHUBSPANNUNGSGESCHWINDIGKEIT $U^* = 1.206$ (M/S)

PROFILLAENGE (U_{MAX}) $Y_{MAX} = 22.600$ (MM)

Y (MM)	U U _{REF}	U [*] U*	V [*] U*	W [*] U*	K [*] (U*)**2	U [*] V [*] (U*)**2	U [*] W [*] (U*)**2	U [*] V [*] U*V*	U [*] W [*] U*W*	Y Y _{MAX}	Y+	U+
1.3	0.8360	2.3359	1.0562	1.8613	5.0182	-1.1172	-0.0214	-0.4523	-0.0087	0.0575	124.64	17.043
1.5	0.8507	2.3098	1.1304	1.9312	4.9831	-1.1543	-0.0216	-0.4423	-0.0033	0.0664	142.51	17.353
1.7	0.8639	2.3100	1.0896	1.7997	4.9811	-1.1332	-0.0201	-0.4572	-0.0080	0.0752	160.39	17.631
2.0	0.8828	2.2983	1.0650	1.7705	4.7755	-1.1480	-0.0124	-0.4690	-0.0051	0.0885	187.20	18.025
2.5	0.9089	2.2760	1.0561	1.7531	4.6844	-1.1295	-0.0491	-0.4699	-0.0204	0.1106	231.89	18.567
3.0	0.9379	2.2735	1.0132	1.7424	4.6158	-1.1027	-0.0421	-0.4787	-0.0183	0.1327	276.58	19.165
4.0	0.9741	2.2309	0.9748	1.6630	4.3463	-1.0931	-0.0500	-0.5027	-0.0230	0.1770	365.96	19.909
5.0	1.0016	2.1590	0.9960	1.6407	4.1727	-1.0492	-0.0577	-0.4879	-0.0269	0.2212	455.33	20.473
6.0	1.0239	2.0814	1.0624	1.6193	4.0414	-1.0263	-0.0789	-0.4641	-0.0357	0.2655	544.71	20.931
8.0	1.0601	1.9656	1.0291	1.4921	3.5745	-0.9084	-0.0959	-0.4491	-0.0474	0.3540	723.47	21.674
10.0	1.0855	1.8497	1.0191	1.3666	3.1638	-0.7654	-0.1438	-0.4060	-0.0763	0.4425	902.22	22.197
12.5	1.1097	1.7389	0.9689	1.2247	2.7312	-0.6321	-0.1640	-0.3752	-0.0974	0.5531	1125.67	22.698
15.0	1.1270	1.6530	0.9332	1.1600	2.4745	-0.4955	-0.2287	-0.3212	-0.1482	0.6637	1349.11	23.062
20.0	1.1473	1.5196	0.9515	1.0512	2.1598	-0.2771	-0.2917	-0.1916	-0.2017	0.8850	1796.00	23.499
25.0	1.1491	1.4984	0.9647	0.9559	2.0447	-0.0395	-0.2675	-0.0273	-0.1850	1.1062	2242.89	23.561
30.0	1.1360	1.5647	0.9860	0.9355	2.1479	0.2217	-0.2127	0.1437	-0.1379	1.3274	2689.77	23.318
35.0	1.1151	1.6938	1.0719	0.9632	2.4728	0.4474	-0.2101	0.2464	-0.1157	1.5487	3136.66	22.913

VERSUCH NR. 12 (WANDKANAL)

DATUM 1.12.1974

POSITION 84. (MM)

WANDSCHUBSPANNUNG $\tau_{WJ} = 2.123$ (N/M**2)

BEZUGSWERTE

REFERENZGESCHWINDIGKEIT $U_{REF} = 27.733$ (M/S)

SCHUBSPANNUNGSGESCHWINDIGKEIT $U^* = 1.206$ (M/S)

PROFILLAENGE (U_{MAX}) $Y_{MAX} = 23.200$ (MM)

Y (MM)	U UREF	U' U*	V' U*	W' U*	K' (U*)**2	U'V' (U*)**2	U'W' (U*)**2	U'V' U'*V'	U'W' U'*W'	Y YMAX	Y+	U+
1.3	0.8374	2.3127	1.1270	1.8474	5.0153	-1.2350	-0.0027	-0.4738	-0.0010	0.0560	123.51	17.126
1.5	0.8509	2.3059	1.0952	1.8236	4.9211	-1.1923	0.0168	-0.4721	0.0067	0.0647	141.23	17.413
1.7	0.8665	2.2970	1.1357	1.8175	4.9347	-1.2272	0.0248	-0.4704	0.0095	0.0733	158.94	17.741
2.0	0.8848	2.2958	1.0522	1.8000	4.8090	-1.1900	0.0092	-0.4926	0.0033	0.0862	185.51	18.125
2.5	0.9106	2.2763	1.0359	1.7739	4.7095	-1.2059	0.0066	-0.5114	0.0028	0.1078	229.80	18.663
3.0	0.9380	2.2573	1.0657	1.7733	4.6267	-1.1833	0.0098	-0.4919	0.0041	0.1293	274.09	19.229
4.0	0.9742	2.2151	1.0179	1.7221	4.4563	-1.1476	0.0531	-0.5083	0.0235	0.1724	362.66	19.977
5.0	1.0022	2.1521	1.0286	1.6785	4.2536	-1.1244	0.0413	-0.5079	0.0187	0.2155	451.23	20.552
6.0	1.0250	2.0695	1.0698	1.6559	4.0845	-1.0606	0.0312	-0.4791	0.0141	0.2586	539.80	21.022
8.0	1.0611	1.9345	1.0887	1.5538	3.6709	-0.9407	0.0627	-0.4466	0.0298	0.3443	716.95	21.765
10.0	1.0887	1.8190	1.0550	1.4276	3.2300	-0.7948	0.0054	-0.4142	0.0028	0.4310	894.09	22.335
12.5	1.1127	1.6956	1.0166	1.2556	2.7424	-0.6481	-0.0115	-0.3760	-0.0067	0.5333	1115.52	22.835
15.0	1.1336	1.5932	0.9787	1.1730	2.4360	-0.4978	-0.0573	-0.3193	-0.0368	0.6466	1336.95	23.273
20.0	1.1531	1.4575	0.9410	1.0509	2.0571	-0.2424	-0.0333	-0.1767	-0.0644	0.8621	1779.32	23.635
25.0	1.1545	1.4172	0.9353	1.0184	1.9887	0.0299	-0.0710	0.0217	-0.0519	1.0776	2222.68	23.748
30.0	1.1428	1.5080	1.0080	1.0355	2.1813	0.2315	-0.0514	0.1352	-0.0338	1.2931	2665.54	23.532
35.0	1.1202	1.6460	1.0472	1.0639	2.4689	0.4701	-0.0511	0.2727	-0.0296	1.5086	3108.40	23.091