

169 | August 1966

SCHRIFTENREIHE SCHIFFBAU

J. Kux und K. Wieghardt

Der neue Windkanal des Instituts für Schiffbau

TUHH

Technische Universität Hamburg-Harburg

INSTITUT FÜR SCHIFFBAU DER UNIVERSITÄT HAMBURG

Bericht Nr. 169

Der neue Windkanal des Instituts für Schiffbau

von

J. Kux und K. Wieghardt

Hamburg, im August 1966

1. Einleitung

Bei der Planung des Institutsneubaus war zunächst beabsichtigt, den alten Windkanal [1] in einen Umlaufkanal umzubauen mit dem gleichen Gebläse, Antriebsmotor (30 PS) und Durchmesser des Messquerschnitts von $D = 1$ m. Als der Grundriss des Kanalraumes bauseitig bereits festlag, ergab sich jedoch 1957 die Gelegenheit, den alten Kanal der Ingenieurschule im Einverständnis mit der DFG und der Hochschulabteilung zu verkaufen und einen neuen Kanal - wie in Bild 1 - mit einem Gebläse von 2 m^6 , einem Motor von 60 PS und einer Messtrecke mit $D = 1,2$ m bei 5,5 m Länge zu errichten (größte Luftgeschwindigkeit 50 m/s).

Der Kanal ist einschließlich des Gleichrichters und des einen Siebes schon seit zwei Jahren betriebsfertig, doch konnten seine Eigenschaften noch nicht ausreichend untersucht werden, weil er von verschiedenen Interessenten im Institut so stark benutzt wird; da nur die Stelle eines Versuchsingenieurs für den Windkanal genehmigt ist, kann andererseits nur einschichtig an ihm gearbeitet werden. Außerdem fehlt noch ein Verschiebegerät, dessen Finanzierung nach mehrjährigem Beantragen (Bleibeverhandlungen mit der Hochschulabteilung) jetzt aber gesichert ist.

Wenn auch die folgenden, bisherigen Messergebnisse daher noch unvollständig sind, erscheint dieser turbulenzarme Kanal doch schon brauchbar, vor allem für Grenzschichtuntersuchungen an längsangeströmten, langgestreckten Drehkörpern und an Doppelmodellen von Schiffen.

2. Einzelheiten des Aufbaus

Nur einige Merkmale sind als unkonventionell zu erwähnen. In der Außenwand der Rückführung sind zwei Tore vorgesehen, von denen eines im geöffneten Zustand die Rückführung versperrt. Bei Rauchversuchen wird dann Außenluft durch das eine Tor angesaugt und durch das andere wieder ins Freie geblasen.

In der dritten und vierten Umlenkungsecke sind keine Schaufeln vorgesehen, da dort die Luftgeschwindigkeiten schon sehr klein sind. Statt dessen ist ein nahtloses 'Staubtuch' unter 45° eingespannt mit 4m Höhe und $4 \cdot \sqrt{2}$ m Länge (vgl. Bild 2a); es soll einerseits durch seine Stauwirkung die Geschwindigkeit vergleichmäßigen, andererseits den Staub abscheiden, der die Hitzdrähte in der Meßstrecke stören könnte. Durch das Außentor, bzw. durch ein Mannloch sind beide Seiten des Tuches zugänglich zum Abfegen und Absaugen.

Der Gleichrichter $4 \times 4 \text{ m}^2$ wurde aus Sechskant-Messingrohr (Schlüsselweite 20 mm, Wandstärke 0,3 mm, Öffnungsverhältnis $\beta = (1 - 0,3/10)^2 = 0,94$, Länge 100 mm nach [2]) durch schichtenweises Kleben aufgebaut (Bild 3).

1 m hinter dem Gleichrichter passiert die Strömung ein nahtloses, gespanntes Sieb von $4 \times 4 \text{ m}^2$ (Bild 2b); ein zweites Sieb könnte noch eingebaut werden falls erforderlich. Das Sieb hat ein Öffnungsverhältnis von $\beta = 0,50$; die Empfehlung von Bradshaw [3], nur Siebe mit $\beta \geq 0,57$ zu benutzen, um eventuelle Unregelmäßigkeiten in der Grenzschicht eines Modellkörpers zu vermeiden, war damals noch nicht bekannt. 3 m nach dem (ersten) Sieb folgt die Kontraktion von $4 \times 4 \text{ m}^2$ auf 2 m^2 , Flächenverhältnis $16/3,14 = 5,1$.

Wenn der 2 m^6 - Strahl nicht direkt verwandt wird, können weitere Düsen wahlweise angebaut werden. Bisher wurde am meisten benutzt eine Rechteckdüse mit $1,05 \times 1,75 \text{ m}^2$ Endquerschnitt (Gesamtkontraktion $16/1,84 = 8,7$); den weiteren Meßquerschnitt bildete hier eine feste Bodenplatte und ein Meßkäfig wie in Bild 4 und 5. Ursprünglich war der Kanal ausgelegt für einen kreisförmigen Meßquerschnitt mit $1,2 \text{ m}^6$, Kontraktion $16/1,13 = 14,1$. Wie in [1] wird dann der Strahl geschützt durch einen Meßkäfig (Bild 1 und 6) von $5,2 \text{ m}$ Länge; durch die offenen Schlitze (auf $1/5$ des Umfangs) gleicht sich der statische Druck im Meßquerschnitt dem im umgebenen Raum an und ist etwa ab $x = 0,4 \text{ m}$ hinter der Düsenebene konstant.

3. Meßergebnisse

a) Rechteckdüse

Zunächst zeigen die Bilder 7, 8 und 9 die Symmetrie der Verteilungen der Geschwindigkeiten U/U_0 und des Turbulenzgrades T_u in der horizontalen Mittelebene des Rechteckstrahls; das Fehlen der Umlenkschaufeln macht sich hier bei höherer Geschwindigkeit ($U_0 = 19,3 \text{ m/s}$) gerade noch bemerkbar, da die Geschwindigkeiten bei $y < 0$ (Innenseite der Umlenkung) etwa $0,5 \%$ kleiner sind als für $y > 0$. Die seitliche Kontraktion in der horizontalen Mittelebene war bei der Rechteckdüse von 4 m^6 auf 2 m^6 und schließlich auf $1,75 \text{ m}^6$. $T_u = \sqrt{u^2}/U$, mit $u =$ Schwankung der Geschwindigkeit in Längsrichtung und $U =$ mittlere, örtliche Längsgeschwindigkeit.

b) Runde Düse 1,2 m^ø

Hier ist im Meßquerschnitt die Strömung völlig ausgeglichen (Bild 10, 11 und 12), abgesehen von der unmittelbaren Nachbarschaft der Düsenenebene (Rücklage $x = 0,004$ m in Bild 10), wo das statische Druckfeld noch nicht konstant ist. Durch Wandreibung, vor allem auch durch das Vermischen mit der Außenluft in den Schlitzten des Meßkäfigs wird die Innenströmung am Rand allmählich -bei größeren Rücklagen- gestört. Als Kernströmung sei diejenige definiert, in der noch mindestens 90 bzw. 95 % der konstanten Geschwindigkeit in Strahlmitte herrscht; die zugehörigen Durchmesser dieser Kernströmung $D_{0,9}$ bzw. $D_{0,95}$, die aus den Bildern 10 und 11 abzulesen sind, sind in Bild 13 über der Rücklage x aufgetragen. Sie nehmen etwa linear mit x ab; bis zum Ende der Meßstrecke ($x = 5,1$ m) bleibt der Kerndurchmesser größer als 0,9 m unabhängig von der Geschwindigkeit.

Nach Bild 12 ist T_u nur am Anfang der Meßstrecke fast über den ganzen Querschnitt konstant; bei den größeren Rücklagen dagegen machen sich die Randstörungen bezüglich der Turbulenz tiefer in den Strahl hinein bemerkbar als nach den Verteilungen der mittleren Geschwindigkeit zu erwarten und bewirken ferner ein langsames Ansteigen des Turbulenzgrades auch in der Kanalmitte.

Die Turbulenz ist zunächst - etwa für $x < 1$ m recht niedrig, nämlich $\sim 0,05$ %. Sie steigt dann längs der Kanalachse schneller als linear mit x an (Bild 13) und zwar für die größere Geschwindigkeit stärker als bei langsamerer Strömung. Trotzdem bleibt $T_u < \sim 0,5$ % bzw. 1 % im ganzen Meßbereich, je nachdem ob $U_0 = 9$ m/s oder 19 m/s ist.

Interessant sind noch die Turbulenzspektren. In den Bildern 14 bis 17 ist die Energieverteilung der Längsschwankung in willkürlichem Maßstab über der Wellenzahl $k = 2\pi n/U_0$ in 1/cm aufgetragen, mit n = Frequenz und U_0 = Geschwindigkeit längs der Achse. Zunächst zeigt noch Bild 14 in der Mitte eines Eichrohres (mit 15 cm Durchmesser nach einer Anlaufstrecke von ~ 14 m) in guter Übereinstimmung mit den Messungen von Laufer [4] den nicht-zählen Unterbereich, in dem $E \sim k^{-5/3}$ nach A.M. Obuchow. Für sehr große Wellenzahlen sollte ferner nach der Wirbelzähigkeits-Theorie von W. Heisenberg asymptotisch gelten $E \sim k^{-7}$. Die Bilder 15, 16 und 17 stellen die Spektren auf der Achse der 1,2 m⁶-Meßstrecke bei verschiedenen Geschwindigkeiten U_0 und Rücklagen x dar. Bei dieser sehr schwachen Turbulenz sind praktisch nur noch Bereiche mit $E \sim k^{-7}$ zu bemerken. Besonders bei hoher Geschwindigkeit ist der Abfall mit der Wellenzahl sogar noch steiler, was bereits von A.A. Townsend [5] für das letzte Abklingen beobachtet wurde. Nach Messungen und nach seiner Spektralfunktion ist der Abfall steiler als k^{-7} für $k > 0,8 \varepsilon^{1/4} / \nu^{3/4}$, mit $\varepsilon = 15 \nu (\partial u / \partial x)^2$ = turbulente Gesamtdissipation und ν = kinematische Zähigkeit; da wir ε nicht bestimmt haben, ist ein quantitativer Vergleich nicht möglich.

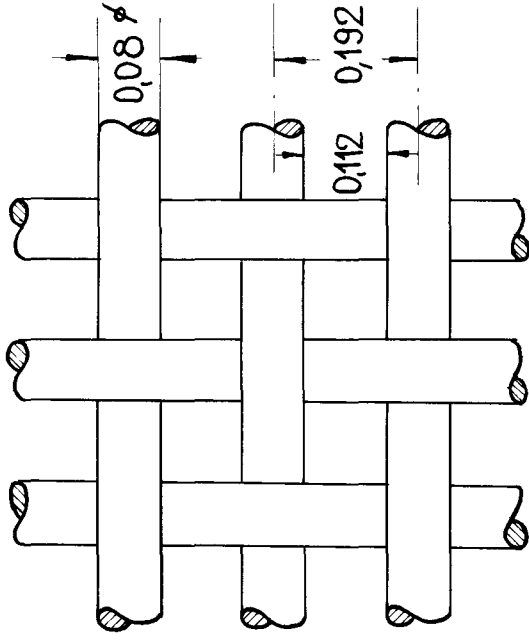
Auffallend sind weiterhin die relativ starken Anteile sehr feinkörniger Turbulenz mit großen k -Werten, die zunächst bei $x = 0,004$ und $0,6$ m vorhanden sind und auch vom Staubtuch oder vom Sieb erzeugt sein müssen. Abgesehen von der Meßreihe mit der kleinsten Geschwindigkeit sind die Energiebeiträge dieser kleinsten Wirbel bei den späteren Rücklagen von $2,55$ und $4,31$ m verschwunden.

d. h. in Wärmeenergie umgewandelt. Wegen des willkürlichen Energiemaßstabes können allerdings die absoluten Werte der Beiträge nicht miteinander verglichen werden; die Messung der Spektralverteilungen wurde zum Teil mit verschiedener Fensterbreite des Tonfrequenzanalysators durchgeführt.

4. Schriftum

- [1] K. Wieghardt, Schiff und Hafen 7, 1955, 81 oder Hansa 92, 1955, 410.
- [2] F. Schultz-Grunow und K. Wieghardt, Luftfahrtforschung 17, 1940, 82.
- [3] P. Bradshaw, Journ. of Mech. 22, 1965, 679
- [4] J. Laufer NACA Rep. 1174, 1955
- [5] A.A. Townsend Proc. Roy. Soc. A 208, 1951, 534

Tuch für Staubfilter



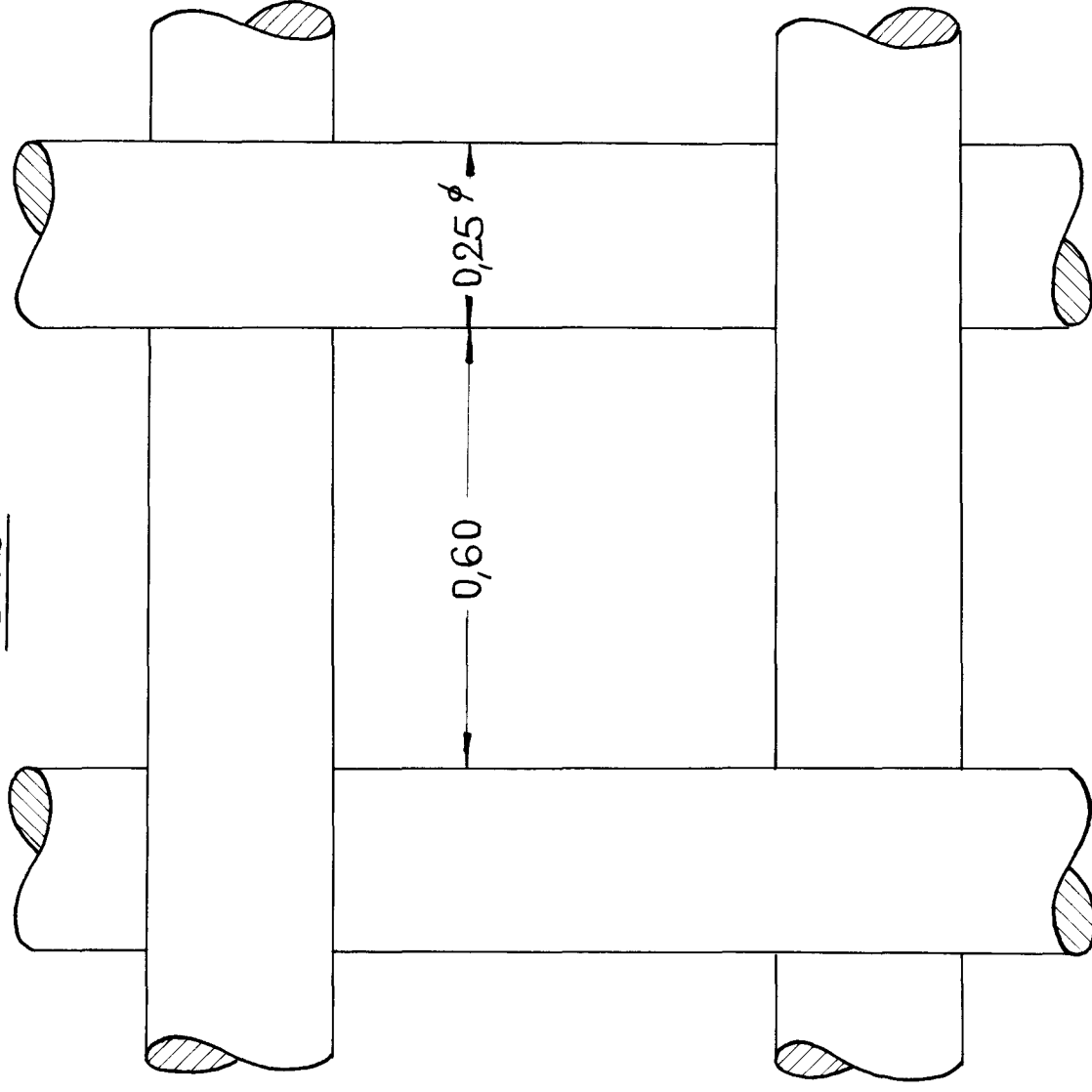
Monodur 112

Lieferant : Vereinigte Seidenweberei
Krefeld

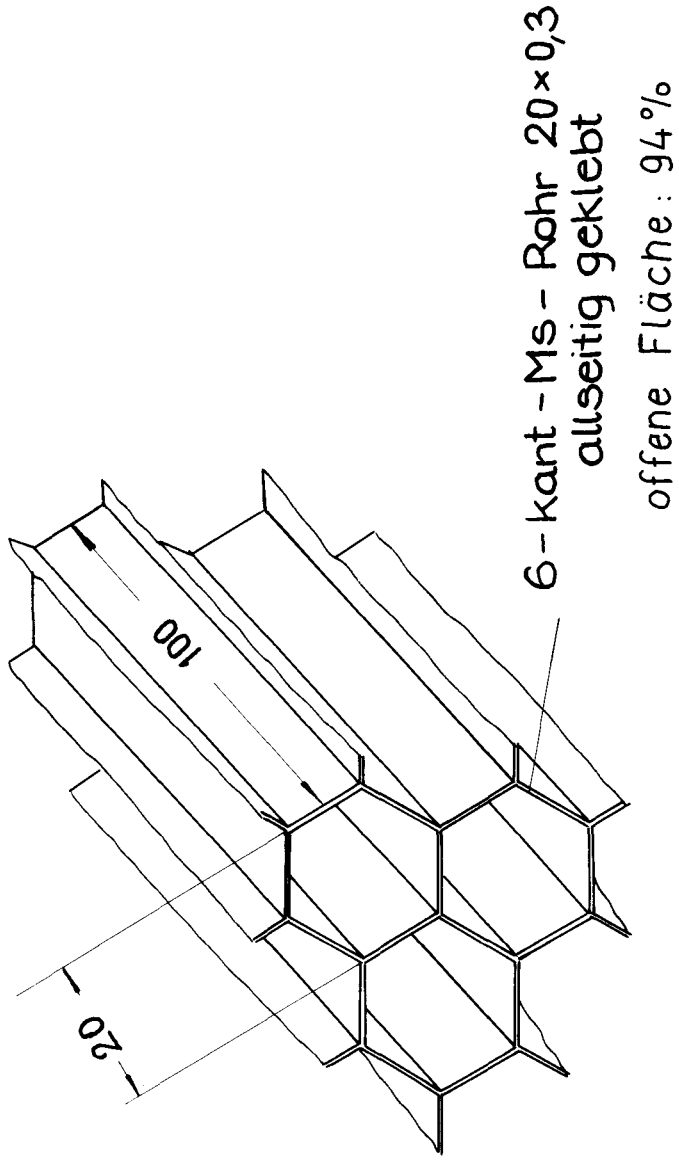
Garnart : Perlondraht
Fadendurchm. : 0,08 mm
Maschenweite : 0,192 mm
Offene Siebfläche : 34%

Maßstab 100 : 1

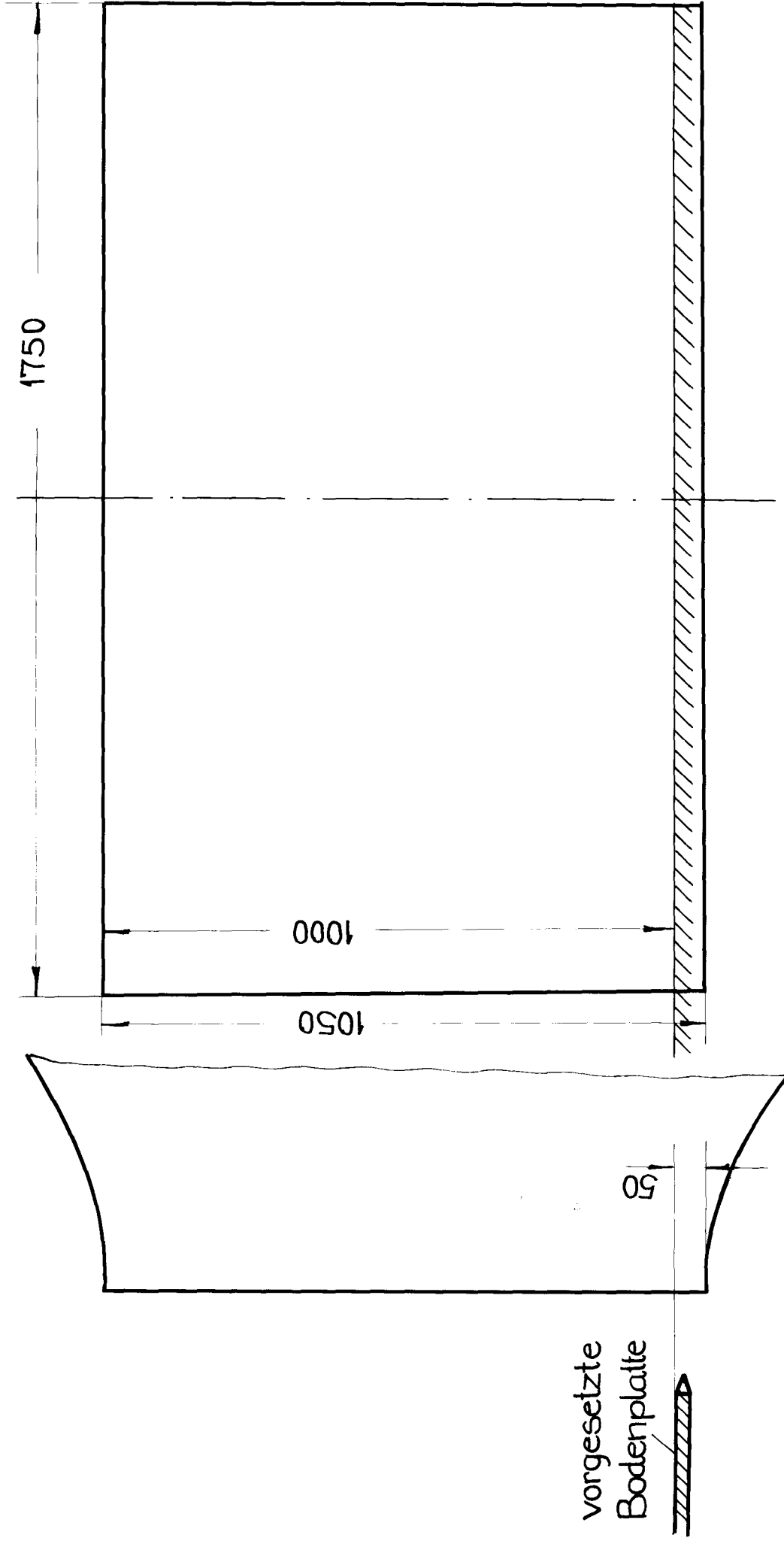
Sieb



Drahtdurchmesser : 0,25 mm Maschenweite : 0,85 mm
Offene Siebfläche : 50%



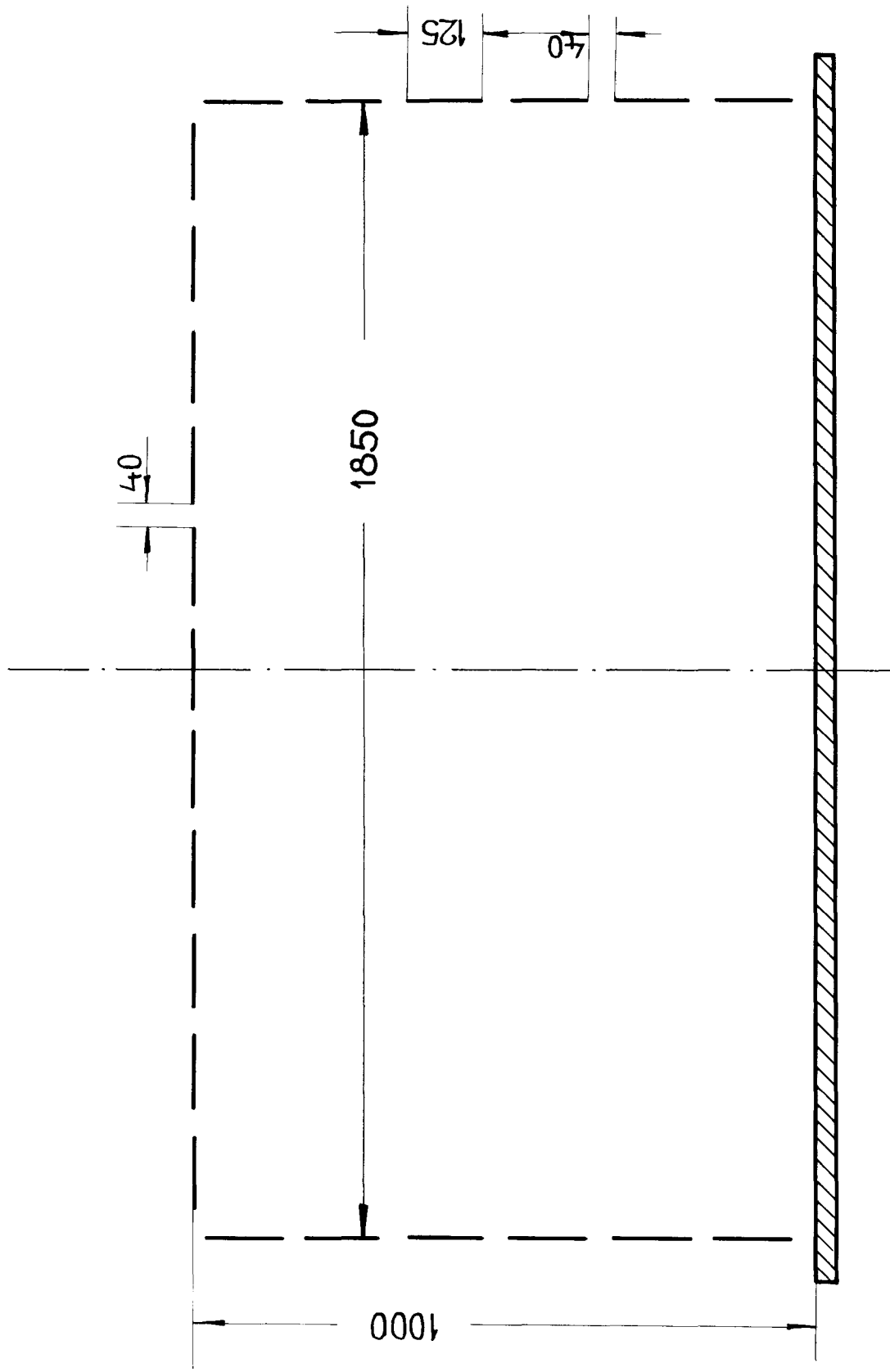
Jf.S. - Windkanal Gleichrichter - Ausschnitt



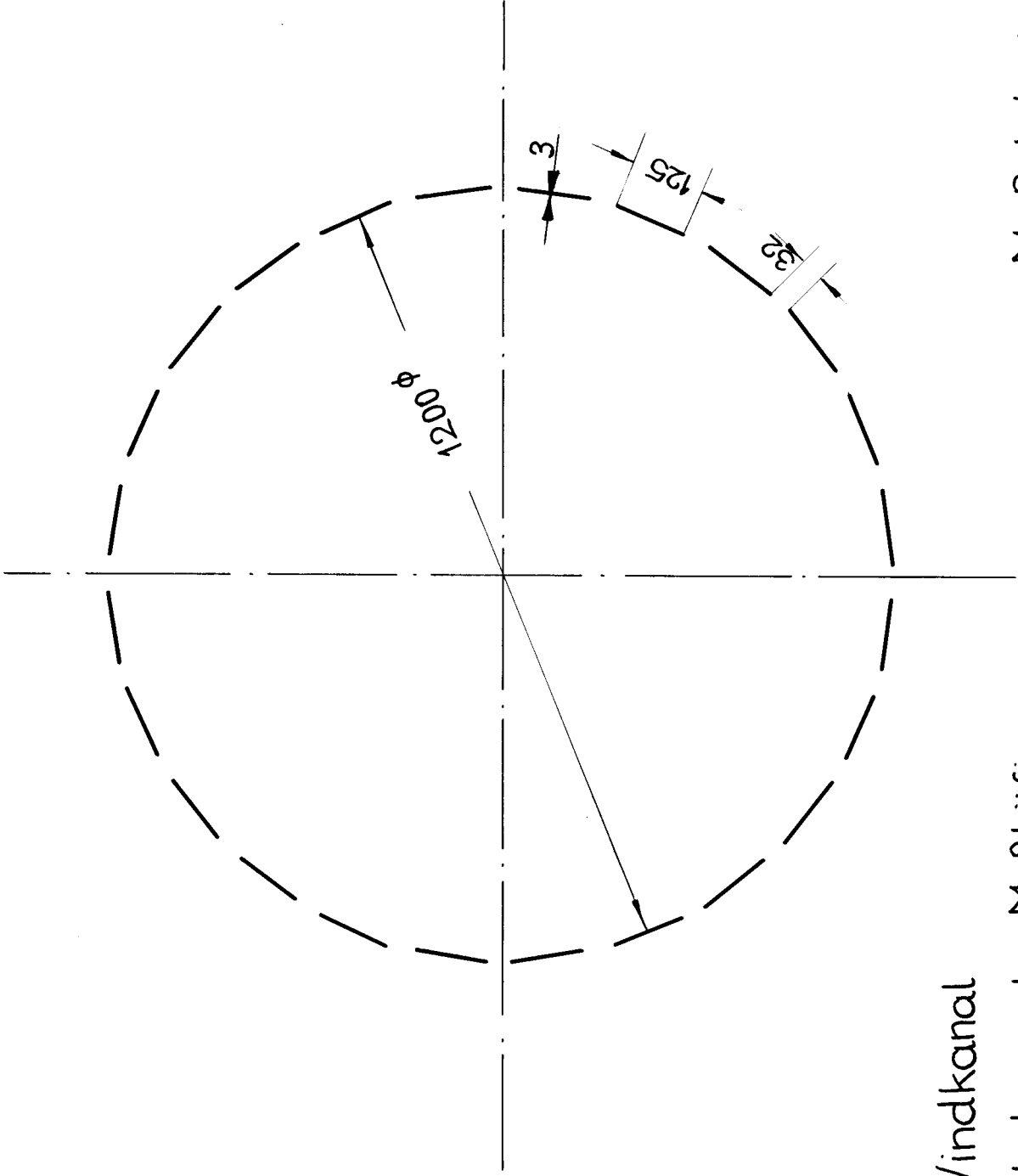
J.f.S. - Windkanal

Querschnitt der Rechteck-Düse

Maßstab 1:10



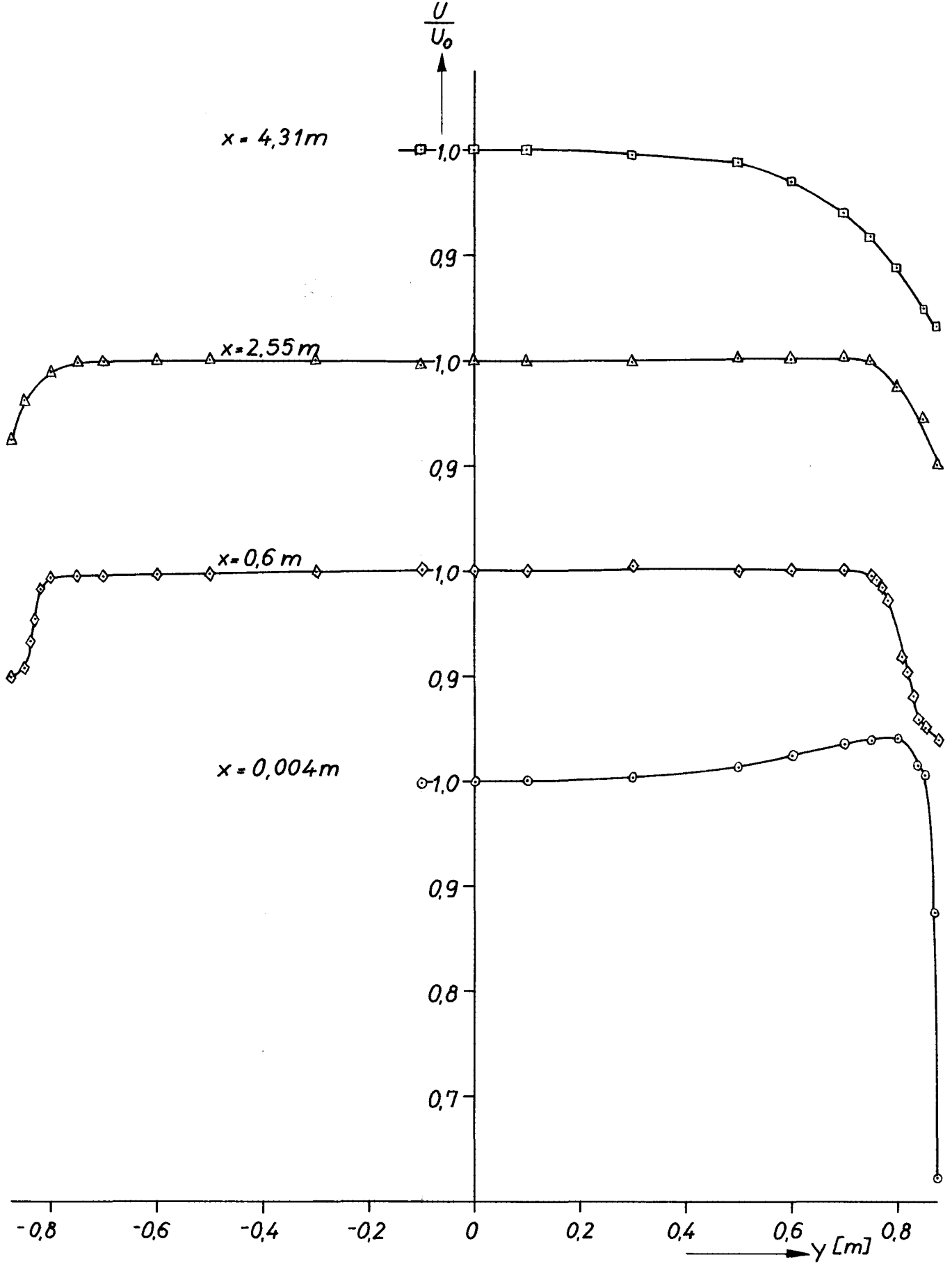
J.f.S. - Windkanal Querschnitt des Rechteck - Meßkäfigs
 Maßstab 1:10



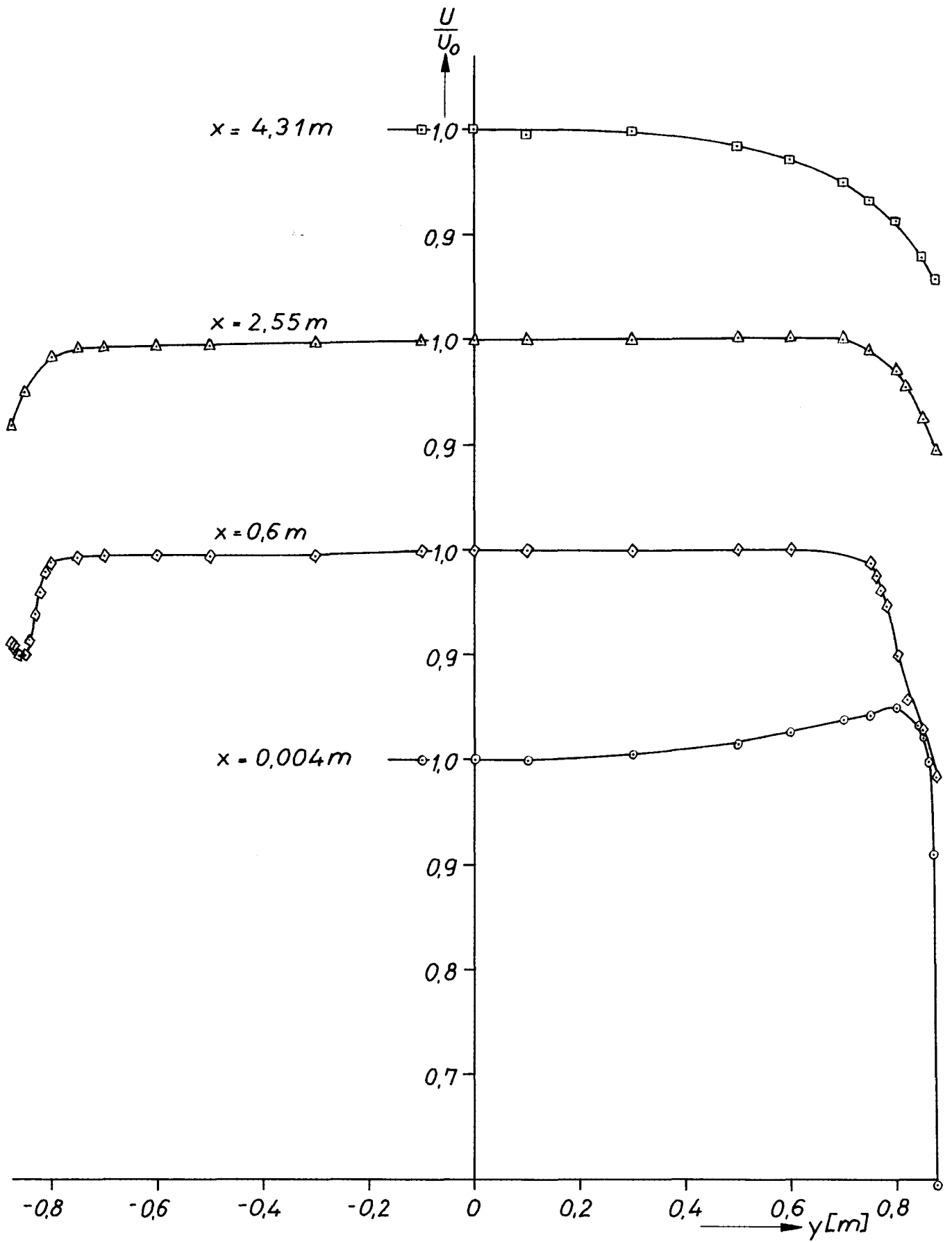
J.f.S. - Windkanal

Querschnitt des runden Meßkäfigs

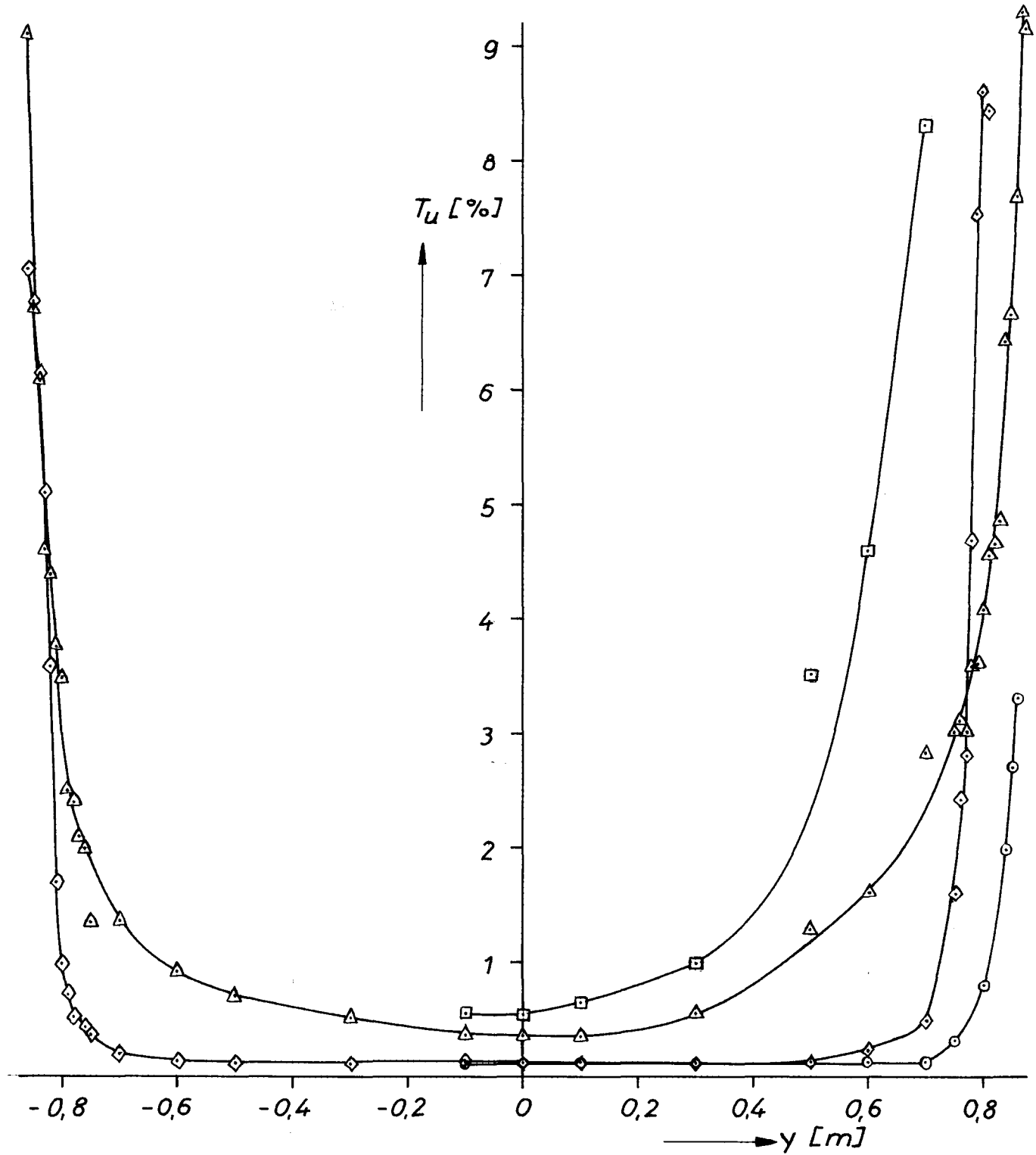
Maßstab 1:10



Geschwindigkeits-Profile im rechteckigen Strahl, $U_0 = 9,0$ m/sec



Geschwindigkeits-Profile im rechteckigen Strahl, $U_0 = 19,3\text{ m/sec}$

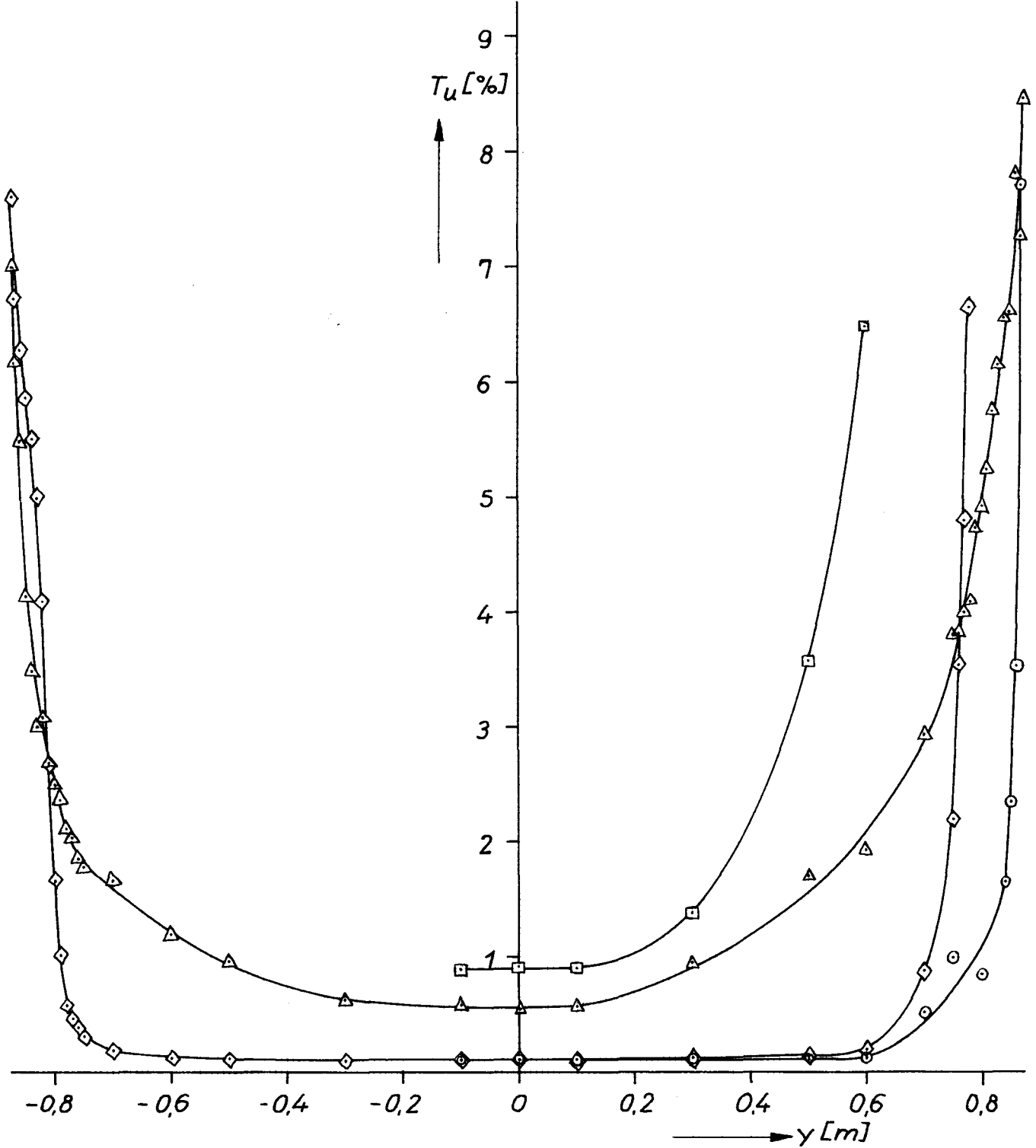


- $x = 0,004 \text{ m}$
- ◇ $x = 0,600 \text{ m}$
- △ $x = 2,550 \text{ m}$
- $x = 4,310 \text{ m}$

$U_0 \sim 9,0 \text{ m/sec}$

Rechteckiger Strahl:

Turbulenzgrad-Profile bei verschiedenen Düsenabständen (x).

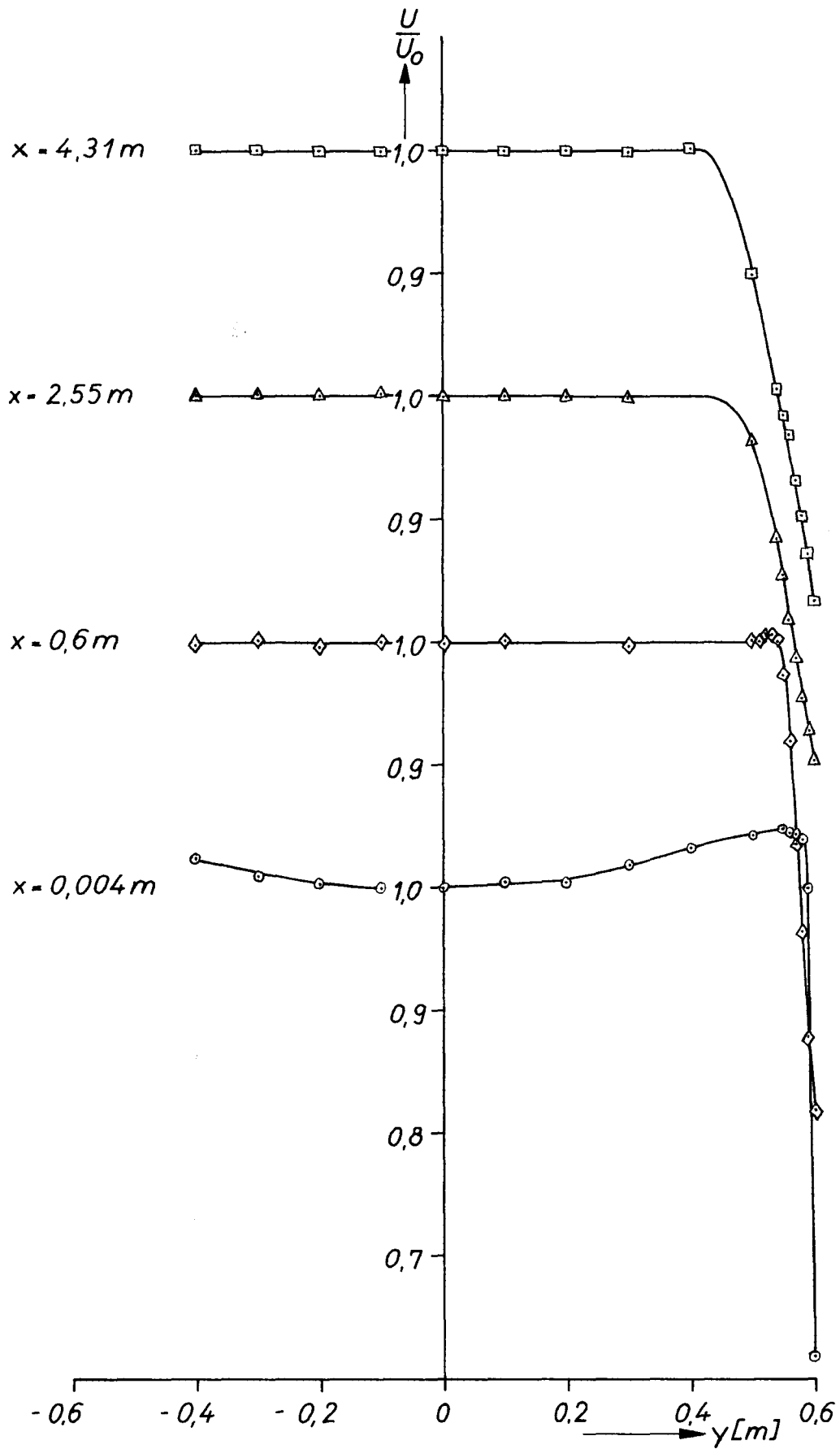


- $x = 0,004 \text{ m}$
- ◇ $x = 0,600 \text{ m}$
- △ $x = 2,550 \text{ m}$
- $x = 4,310 \text{ m}$

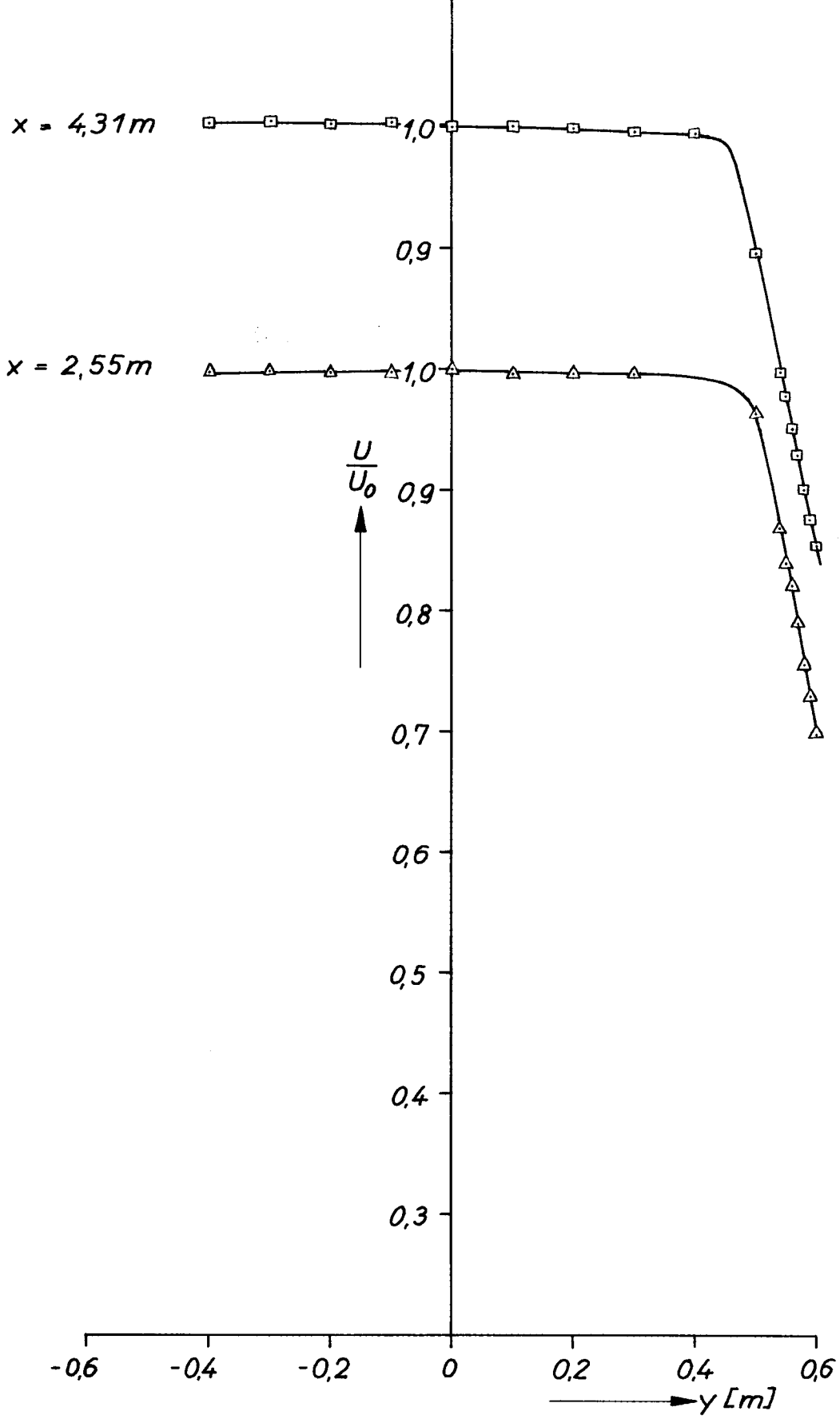
$U_0 \sim 19,2 \text{ m/sec}$

Rechteckiger Strahl :

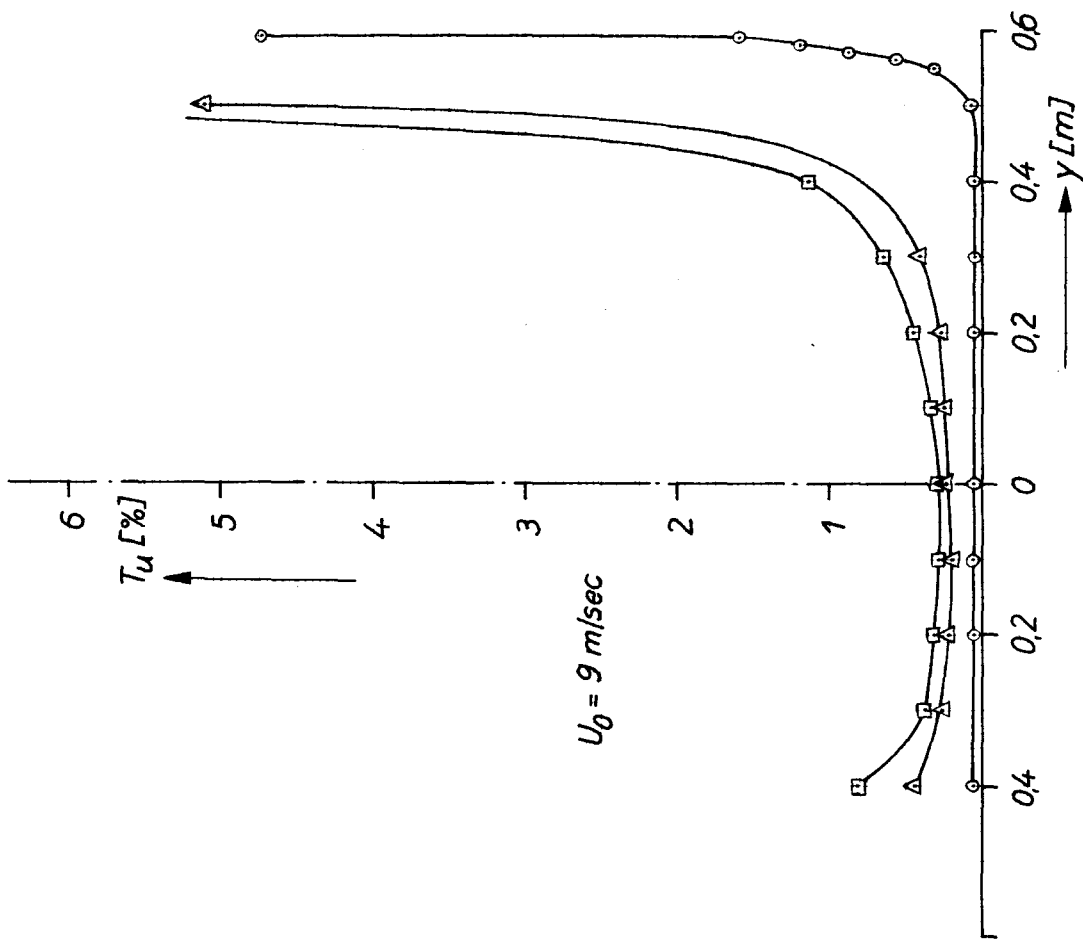
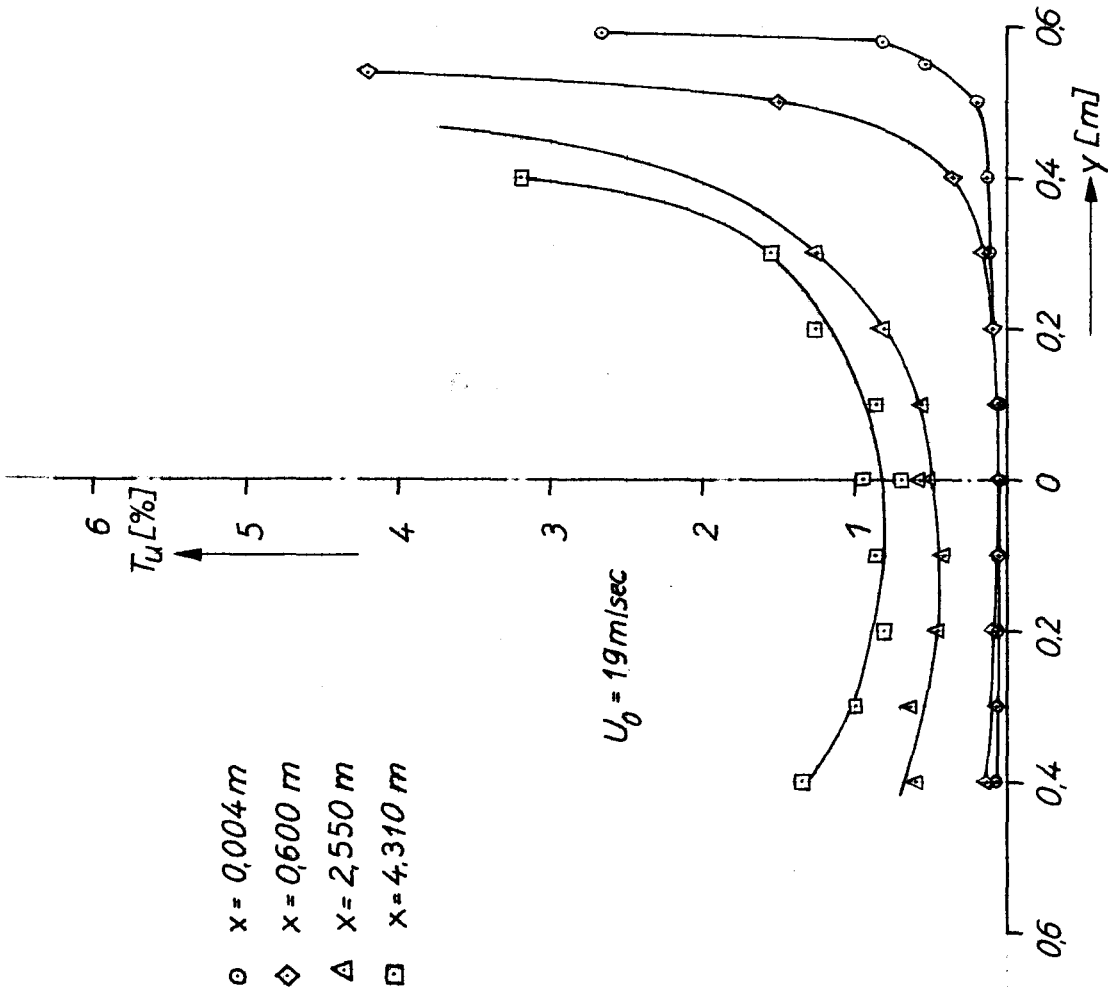
Turbulenzgrad-Profile bei verschiedenen Düsenabständen (x).



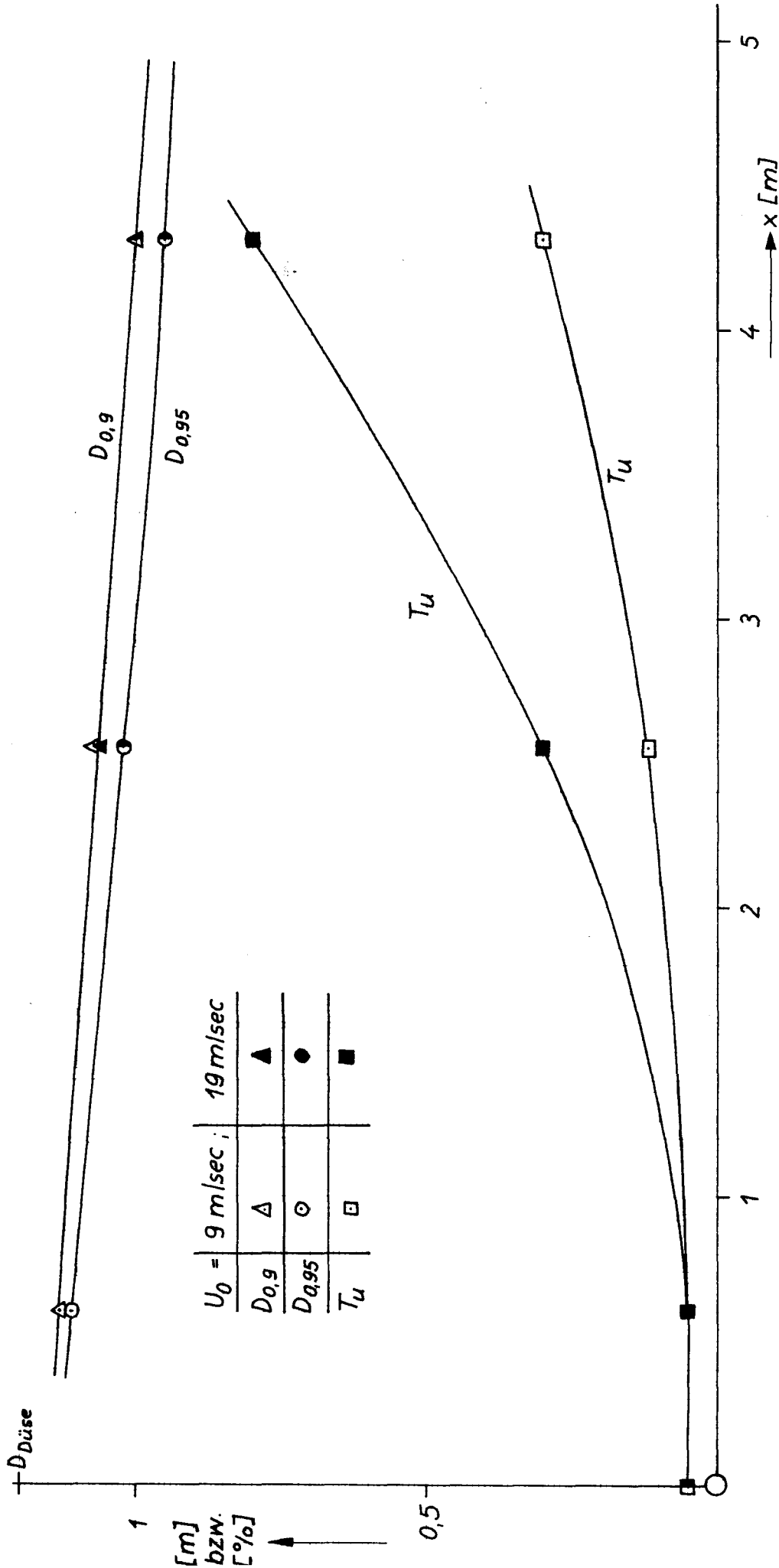
Geschwindigkeits-Profile im runden Strahl, $U_0 = 8.9 \text{ m/s}$



Geschwindigkeits-Profile im runden Strahl, $U_0 = 19.0\text{ m/sec}$

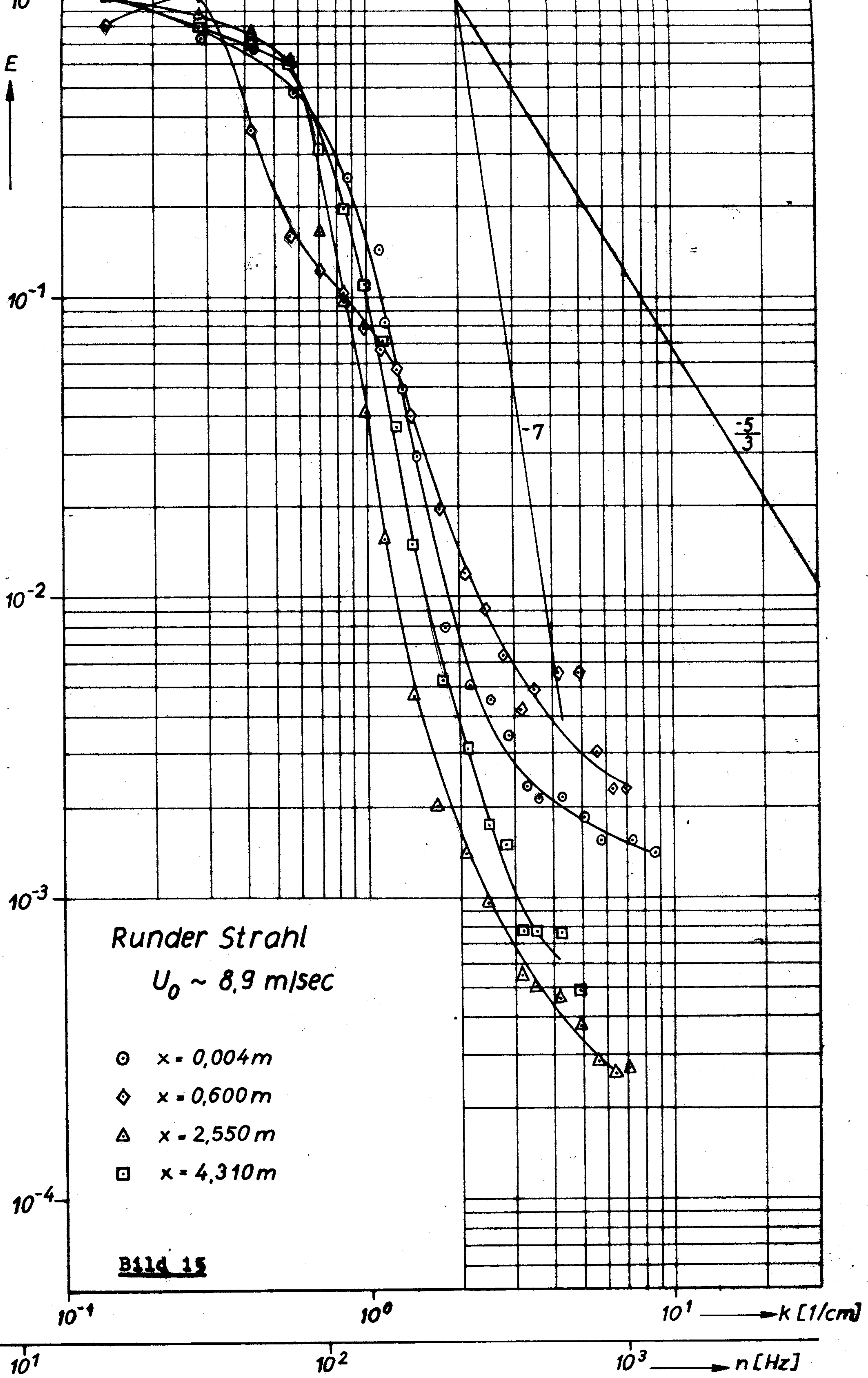


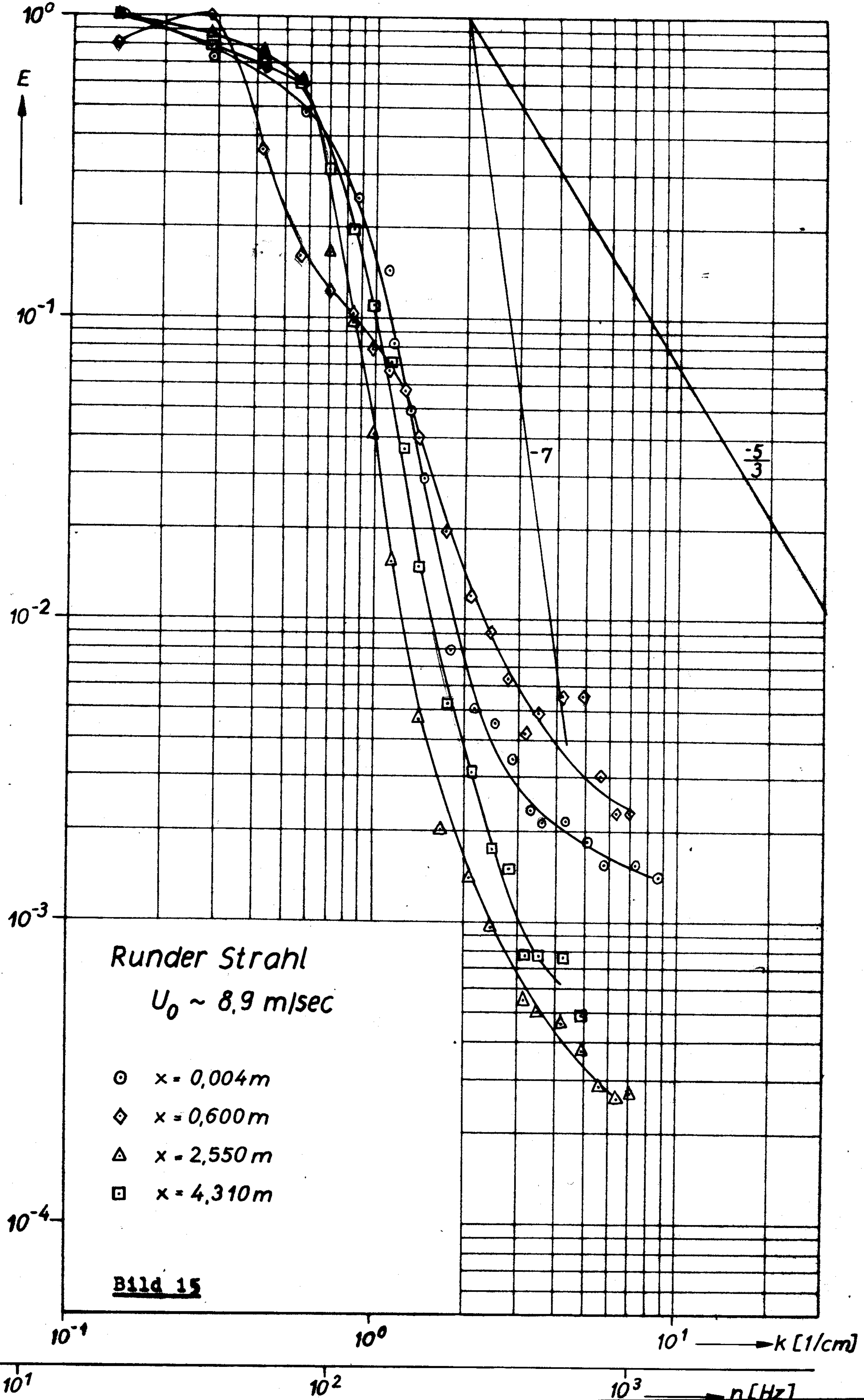
Runder Strahl: Turbulenzgrad-Profile bei verschiedenen Düsenabständen(x).

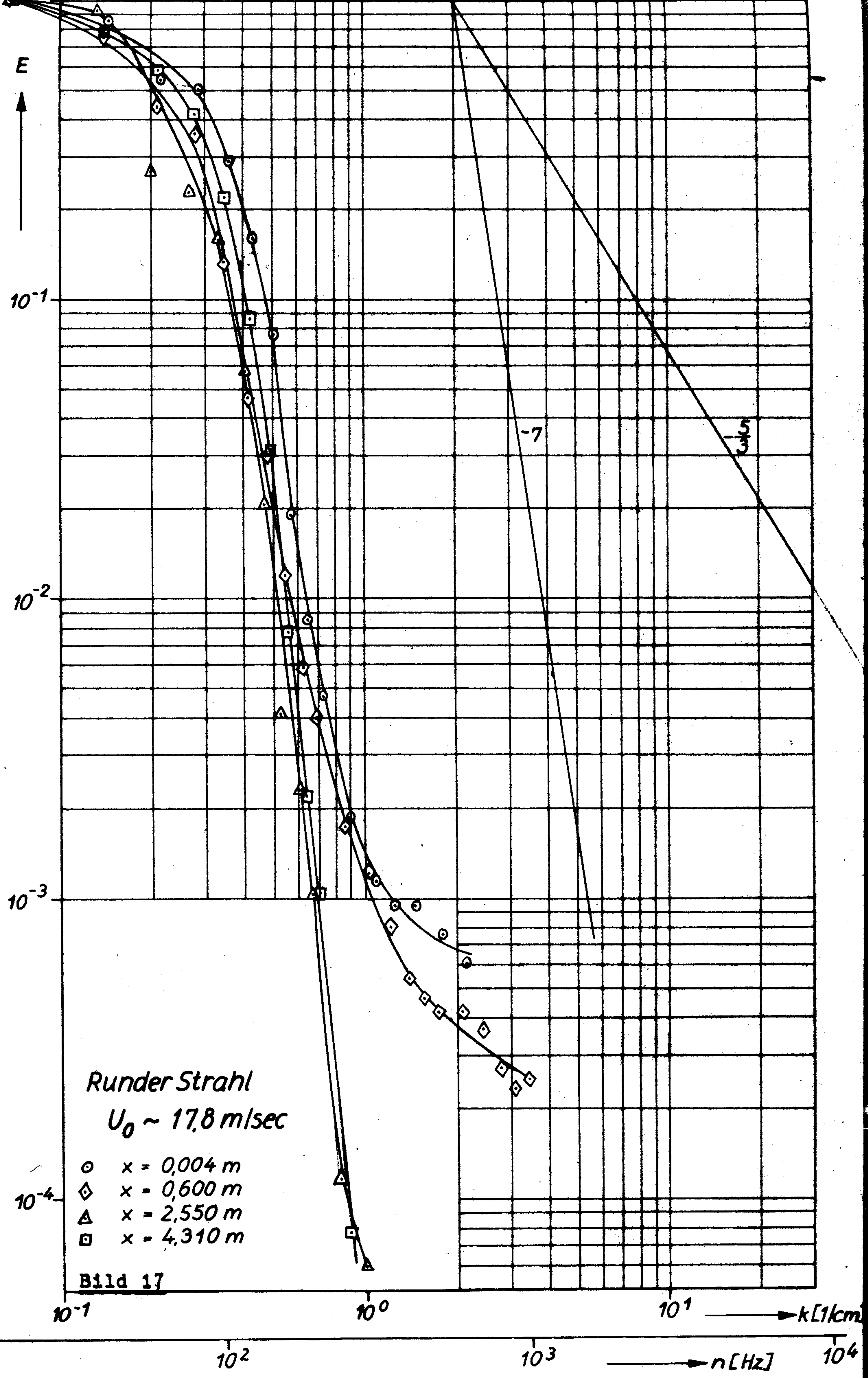


Runder Strahl:

Durchmesser der Kernströmung mit $U/U_0 \geq 0,9$ bzw. $0,95$ und Turbulenzgrad T_u längs der Kanalachse abhängig vom Düsenabstand x .







Jf.S.-Windkanal M

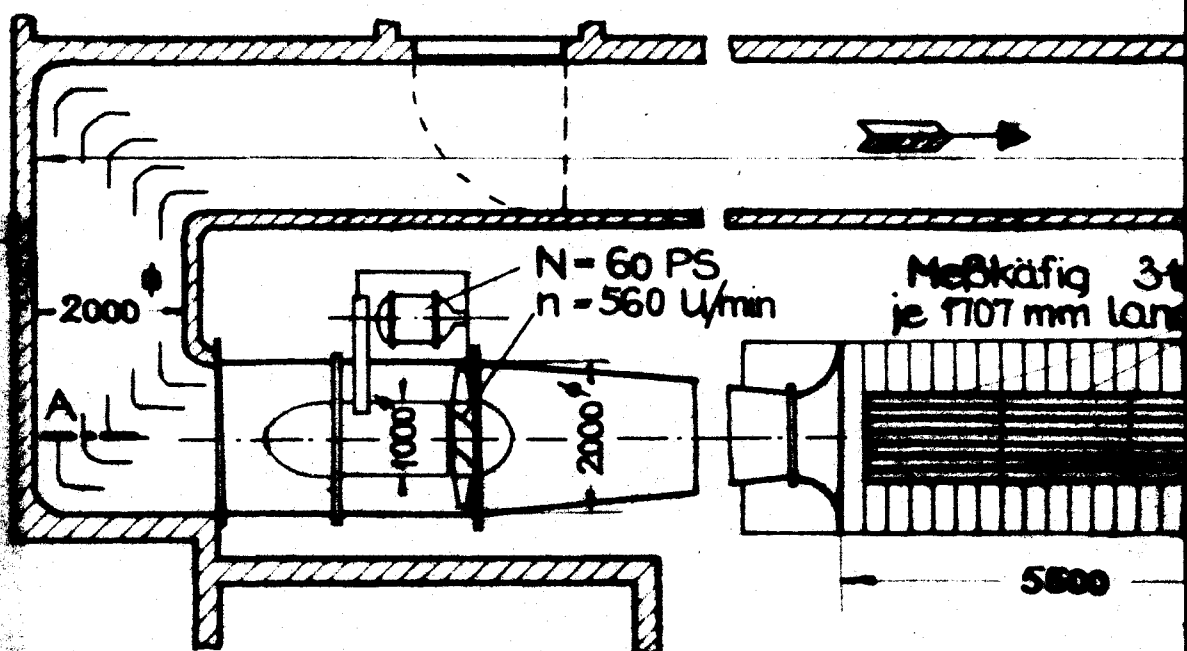
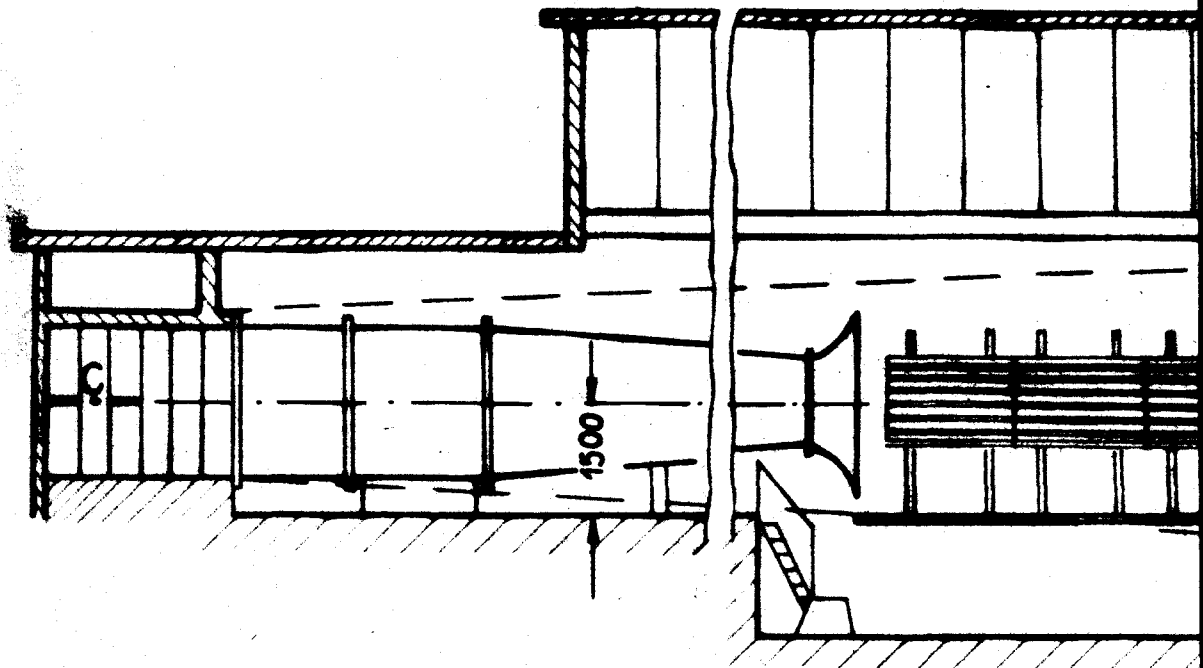
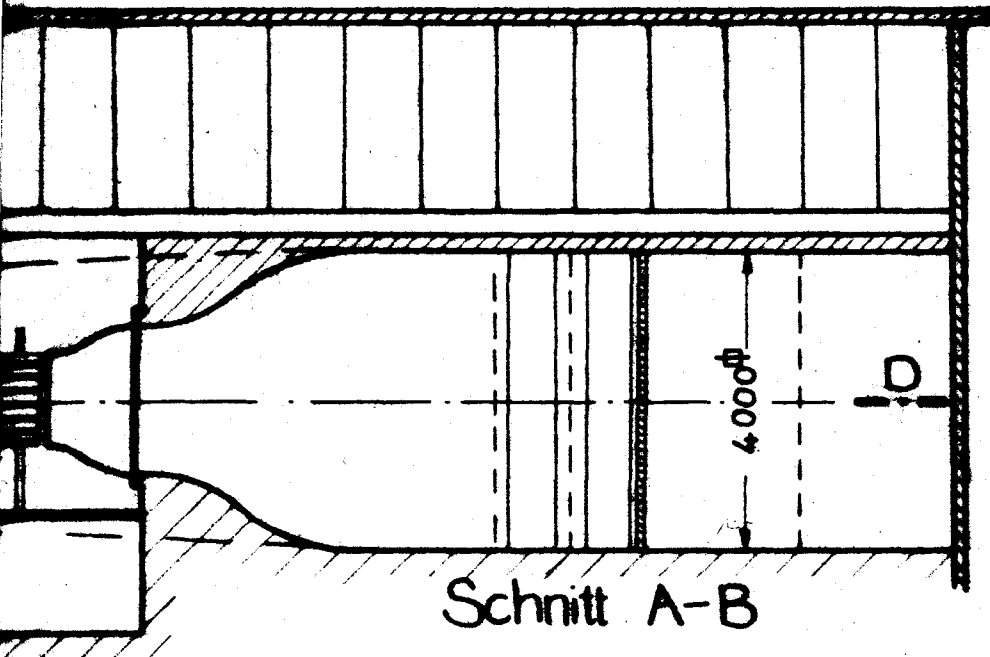


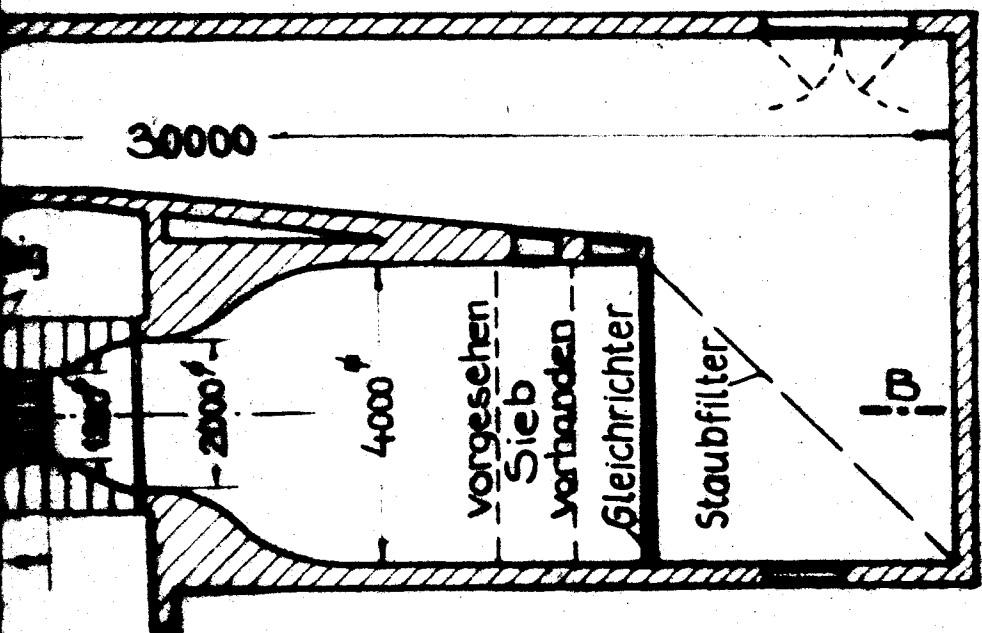
Bild 1

Tab 1:100



Schnitt A-B

Schnitt C-D



30000

2000

4000

vorgesehen
Sieb
vorhanden

Gleichrichter

Staubfilter

B