

476 | Juni 1987

SCHRIFTENREIHE SCHIFFBAU

Yoshihiko Osawa

Aufmessung des Geschwindigkeitsfeldes an und unter der freien Wasseroberfläche in der Bugumströmung eines stumpfen Körpers

TUHH

Technische Universität Hamburg-Harburg

Aufmessung des Geschwindigkeitsfeldes an und unter der freien Wasseroberfläche in der Bugumströmung eines stumpfen Körpers

Yoshihiko Osawa, Hamburg, Technische Universität Hamburg-Harburg, 1987

© Technische Universität Hamburg-Harburg
Schriftenreihe Schiffbau
Schwarzenbergstraße 95c
D-21073 Hamburg

<http://www.tuhh.de/vss>

INSTITUT FÜR SCHIFFBAU DER UNIVERSITÄT HAMBURG

Bericht Nr. 476

Aufmessung des Geschwindigkeitsfeldes
an und unter der freien Wasseroberfläche
in der Bugumströmung eines stumpfen Körpers

von

Yoshihiko Osawa

Juni 1987

Inhaltsverzeichnis

| | Seite |
|---|-------|
| Zusammenfassung | 1 |
| 1 Einleitung | 2 |
| 2 Messung durch die Sichtbarmachung der Strömung | 3 |
| 2.1 Verfahren der Sichtbarmachung | 3 |
| 2.2 Photoergebnisse | 4 |
| 2.3 Geschwindigkeitsfeld | 5 |
| 2.4 Wellenhöhe am Staupunkt an der Zylinderwand | 7 |
| 2.5 Einige sonstige Versuche | 7 |
| 3 Schlußfolgerung | 9 |
| Danksagung | 10 |
| Literaturhinweise | 10 |
| Verzeichnis der Photos und Abbildungen | 11 |
| Photos 1 bis 91 | 12 |
| Abbildungen 1 bis 97 | 44 |
| Anhang 1 | |
| Kurzbeschreibung und Auflistung der Computer-Programme | 96 |
| Anhang 2 | |
| Messung mit einem Laser-Doppler-Velocimeter | 120 |

Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht beschreibt ein photographisches Verfahren, um ein quantitatives Bild eines zweidimensionalen Unterwasser-Geschwindigkeitsfeldes einer Strömung aus einer auf Photofilm festgehaltenen Momentaufnahme durch rechnergestützte interaktive Auswertung zu gewinnen.

Das Verfahren wurde im Rahmen eines DFG-Forschungsvorhabens mit dem Thema "Aufmessung des Geschwindigkeitsfeldes an und unter der freien Wasseroberfläche in der Bugumströmung eines stumpfen Körpers (Kennwort: Bugwirbel)" zur genauen Erfassung des Strömungsfeldes entwickelt und angewendet.

1 Einleitung

Seit 1981 sind im Institut für Schiffbau der Universität Hamburg mehrere Versuchsreihen zur Untersuchung des Bugwirbels, der vor stumpfen Körpern bei Bewegung an der Wasseroberfläche entsteht, durchgeführt worden [1,2]. Um noch weitgehend unbekannte physikalische Vorgänge dieser Strömung genauer zu untersuchen, wurden eigene Verfahren für die Sichtbarmachung, Digitalisierung und ausgleichende Interpolation des zweidimensionalen Unterwasser-Geschwindigkeitsfeldes entwickelt und angewendet [3].

Um die Mechanismen der Bugwirbelbildung unter dem Einfluß der freien Wasseroberfläche deutlicher zu erfassen, wurden zusätzlich zu den Hauptversuchsreihen noch einige Versuche mit einem künstlich veränderten physikalischen Zustand der freien Wasseroberfläche ausgeführt.

Als Modellkörper für stumpfe Bugformen wurden zwei Kreiszyylinder (aus Plexiglas) gewählt:

1. Ein Horizontal-Zylinder (Photo 1)
Durchmesser: 200 mm
Länge: 2080 mm
halbgetaucht

2. Ein Vertikal-Zylinder (Photo 2)
Durchmesser: 457 mm
Tiefgang: 114 mm (1/4-Durchmesser)

Entsprechend den gewählten Schleppgeschwindigkeiten für die Zylinder von 0.1 bis 1.0 m/s betragen die Reynolds-Zahlen und die Tiefen-Froude-Zahlen ca. $2 \cdot 10^4$ bis $5 \cdot 10^5$ bzw. ca. 0.1 bis 1.0. Die Länge und Breite des Schlepptanks sind 34.30 m bzw. 2.10 m. Die Wassertiefe bei den Messungen betrug 1.02 m.

Die ursprünglich vorgesehene Laser-Doppler-Velocimetrie (LDV) für die punktweise Aufmessung des Geschwindigkeitsfeldes erwies sich trotz ihrer sonstigen Vorzüge als zu zeitraubend und unzweckmäßig für die vorliegende Aufgabe. Über die probeweise durchgeführten LDV-Messungen wird im Anhang 2 kurz berichtet.

2 Messung durch die Sichtbarmachung der Strömung

2.1 Verfahren der Sichtbarmachung

Die Abbildung 1 zeigt die vereinfachte gesamte Meßanordnung (Optik, Elektronik und Mechanik), die auf einem Schleppwagen fest aufgebaut wurde (Photo 3: ein Blick aus der Fahrtrichtung nach hinten). Der Beobachter KA (eine VIDEO-Kamera oder eine 35-mm-Kamera) fuhr mit dem gesamten System auf dem Schleppwagen mit. Als eine Lichtquelle diente ein Argon-Gas-Laser LA zur Beleuchtung der Wasserströmung. Der Laser-Strahl wurde von den Spiegeln SP so in den Zylinder geleitet, daß der Strahl durch einen zwischen SP und der Zylinderinnenwand eingesetzten Glasstab GS (Durchmesser: 2 mm) als Zylinderlinse eine vertikale dünne beleuchtete Lichtebene LS (Laser-Sheet: die Dicke betrug ca. 2.0 mm) erzeugte und diese Ebene genau in der Symmetrieebene des Zylinders lag. (Die Sichtbarmachung mit dem Vertikal-Zylinder wurde damit nur in der Symmetrieebene durchgeführt.) Die Kamera KA photographierte diese Ebene LS unter der Wasseroberflächenlinie durch die seitlich in den Schlepptank eingebauten Fenster.

Als Einspritzmaterial wurden ein Wasser-Aluminiumpulver-Gemisch TS (die Größenordnung der Aluminiumteilchen betrug ca. 0.1 - 0.2 mm) und durch Elektrolyse DH,NZ erzeugte Wasserstoff-Blasen gebraucht. Der Draht DH (Kupferdraht: Durchmesser 0.15 mm) diente als die Kathode der Elektrolyse zur Erzeugung der Wasserstoff-Blasen und wurde so genau in der LS aufgehängt, daß die Blasen-Schicht in die LS gelegt werden konnte. Zur Elektrolyse wurde die Gleichspannung für die optimale Blasen-Menge und Blasen-Größe von -20 DCV bis zu -30 DCV genommen [6].

In dem Beleuchtungssystem wurde eine von einem Motor getriebene Scheibe SL mit einem Loch als Unterbrecher/Durchlasser des Laserstrahls (Laser-Stroboskopie) angebracht. Dadurch wurden sowohl die normalen Aufnahmen mit der kurzen durchgehenden Belichtungszeit (Spuren-Aufnahme), als auch die Mehrfachmoment-Aufnahmen mit der Stroboskopiefrequenz ermöglicht. Zur genauen Messung der Periode der Stroboskopie wurden ein Induktionsgeber IG und ein Zähler CO verwendet. Die Periode der Induktionsänderung entsprach der Periode der Scheibendrehung (also der Belichtungsperiode der Aufnahme für die sukzessiven Flockenpositionen).

Für die quantitative Erfassung der Strömung wurde die Sichtbar-

machung mit Aluminiumpulver und für die qualitative Erfassung mit Wasserstoff-Blasen durchgeführt.

2.2 Photoergebnisse

Zur Kalibrierung des Maßstabes der Photoaufnahme wurde ein Meßraster mit der Gitterkonstante von 5 mm photographiert. Bei der Auswertung (in dem Kapitel 2.3) dieser Arbeit bleibt der Effekt der optischen Verzerrung des Maßstabes unberücksichtigt. Zur Messung wurden die Strömungsaufnahmen sowohl mit normalen 35-mm-Filmen (ASA 1000) als auch mit VIDEO-Bändern durchgeführt. Zur visuellen Beobachtung der dynamischen Abläufe stehen die VIDEO-Bänder im Institut für Schiffbau zur Verfügung.

Bei den Photoergebnissen der Unterwasserströmung ist die Fahrtrichtung von links nach rechts. Auf den Photos sind als klare horizontale Linie die beleuchtete Linie der Wasseroberfläche und als Bild oberhalb dieser Linie das Spiegelbild der Strömung zu sehen.

Jede der folgenden fünf Photoreihen enthält eine Aufnahme des Meßrasters und mindestens eine Aufnahme für jede der zehn Schleppegeschwindigkeiten $U_0 = 0.1 (0.1) 1.0$ m/s.

-1. Stroboskopische Aufnahmen mit dem Horizontal-Zylinder

Siehe Photos 4 - 15.

Die Strobefrequenz F betrug 20 - 50 Hz.

Die Sichtbarmachung wurde nur mit Aluminiumpulver durchgeführt.

-2. Spuren-Aufnahmen mit dem Horizontal-Zylinder

Siehe Photos 16 - 27.

Die Belichtungszeit E der 35-mm-Kamera wurde zwischen 1/15 und 1/60 s gewählt.

-3. Stroboskopische Aufnahmen mit dem Vertikal-Zylinder und einer Folie

Siehe Photos 28 - 38.

Die Sichtbarmachung wurde mit Aluminiumpulver und Wasserstoff-Blasen durchgeführt. Bei diesen Messungen wurde eine sehr dünne Polyesterfolie (Breite: ca. 200 mm) vor dem Zylinder im Abstand 400 mm mit der Schleppegeschwindigkeit U_0 gezogen, um den physikalischen Zustand der Wasseroberfläche zwecks Verstärkung der Wirbelbildung zu ändern.

-4. Stroboskopische Aufnahmen mit dem Vertikal-Zylinder (ohne Folie)

Siehe Photos 39 - 49.

Die Sichtbarmachung wurde mit Aluminiumpulver und Wasserstoff-Blasen durchgeführt.

-5. Beobachtung der freien Wasseroberfläche

Die Photos 50 - 60 zeigen von oben die Gestalt der freien Wasseroberfläche um den Vertikal-Zylinder. Hierbei wurde eine gerade horizontale Leiste über der Mittellängsebene oberhalb des Wassers mitgeschleppt, um die Verformung der freien Wasseroberfläche noch deutlicher zu machen. Ihr Spiegelbild erscheint als heller Streifen auf den Photos. Die Symmetrieebene bzw. -linie ist auch durch das Laserlicht LS erkennbar.

2.3 Geschwindigkeitsfeld

Die numerische Bildauswertung wurde im wesentlichen nach einem bereits beschriebenen Verfahren durchgeführt, siehe Kapitel 4 des Berichtes [3]. Zur ausgleichenden Berechnung des zweidimensionalen Geschwindigkeitsvektorfeldes aus den eingegebenen Daten wurde nach einem Vorschlag aus [4] zusätzlich eine Gewichtsfunktion G_i eingesetzt. Die in dem Kapitel 2.2 von -1. bis -4. aufgeführten Photos bilden das Grundmaterial für diese Berechnung.

Es folgt eine Kurzbeschreibung des Verfahrens: Ist die zweidimensionale approximierende Funktion

$$U = B_0 + B_1 \cdot X + B_2 \cdot Y ,$$

dann ist die gewichtete Fehlerquadratsumme

$$S = \sum_i G_i \{U(X_i, Y_i) - U_i\}^2 .$$

Durch die Bedingung der kleinsten Fehlerquadratsumme S ergibt sich ein lineares Gleichungssystem, dessen Lösung (nach der Cramerschen Regel) die unbekanntenen Koeffizienten B_0, B_1, B_2 in der Funktion U liefert. Als Gewichtsfunktion wurde gewählt:

$$G_i = (1 - R_i^2)^2 \quad \text{für} \quad R_i \leq 1$$

$$G_i = 0 \quad \text{für} \quad R_i > 1$$

$$\text{mit} \quad R_i = \left\{ \left| X_i - X_0 \right| / D_i + \left| Y_i - Y_0 \right| / D_i \right\}^{1/2}$$

Hierbei sind X_i, Y_i der gegebene Datenpunkt, X_0, Y_0 die gewählte Approximationsstelle und D_i die Breite des Fensters, in dem sich der Datenpunkt zur Approximationsberechnung befand.

Bei der Spuren-Aufnahme wurden der Anfangspunkt und der Endpunkt der Spur von dem Aluminiumteilchen abgelesen und die Länge der Spur berechnet. Aus dieser Spurenlänge und der Belichtungszeit der Kamera ergaben sich direkt die momentanen Geschwindigkeiten, die als Eingabedaten für die oben beschriebene Approximation dienten.

- Ergebnisse -

Da die Strömungsvorgänge bei der Schleppgeschwindigkeit über 0.7 m/s nicht stabil genug für die Berechnung des Geschwindigkeitsfeldes aus den Photos der Teilchenspuren oder der momentanen Teilchenpositionen waren, wurden nur die Schleppgeschwindigkeiten von 0.1 bis 0.7 m/s ausgewertet. Die Ergebnisse sind in den Abbildungen 2 bis 84 nach dem folgenden Schema für vier Versuchsreihen zusammengestellt.

-1. Horizontal-Zylinder : Abb. 2 - Abb. 23

(aus den stroboskopischen Aufnahmen)

-2. Horizontal-Zylinder : Abb. 24 - Abb. 44

(aus den Spuren-Aufnahmen)

Das Photo bzw. das Ergebnis von 0.3 m/s wurde nicht ausgewertet.

Bei dem Vertikal-Zylinder wurden die Auswertungen und Berechnungen nur aus den stroboskopischen Aufnahmen durchgeführt.

-3. Vertikal-Zylinder mit einer Folie: Abb. 45 - Abb. 62

-4. Vertikal-Zylinder : Abb. 63 - Abb. 84

Für jede der ausgewerteten 29 Aufnahmen sind in einem zugeordneten Bildpaar die jeweiligen Eingabedaten und das abgeleitete Geschwindigkeitsfeld wiedergegeben. Außerdem sind für einige ausgewählte Geschwindigkeiten (0.1, 0.4, 0.7 m/s) als Zwischenergebnis die vorweg geglätteten Eingabedaten (nicht bei Spuren-Aufnahme) und Momentangeschwindigkeiten in zusätzlichen Abbildungen eingeleftet. Ferner sind bei einigen interessanten Strömungsvorgängen rechnerisch vergrößerte graphische Darstellungen hinzugefügt. Die gestrichelte Linie in den Eingabedaten und dem Geschwindigkeitsfeld ist übrigens die stille Wasseroberfläche.

2.4 Wellenhöhe am Staupunkt an der Zylinderwand

Aus der digitalisierten Wasseroberflächenlinie (die durchgezogene Linie in der Abbildung) und der stillen Wasseroberflächenlinie wurde die Wellenhöhe an dem Staupunkt an der Zylinderwand gemessen. Die Auswertungen wurden bei dem Horizontal-Zylinder und dem Vertikal-Zylinder (ohne Folie) jeweils zwei Mal durchgeführt und mit der Theorie verglichen. Die Abbildung 85 zeigt das Ergebnis, wobei die Geschwindigkeit die Schleppgeschwindigkeit bedeutet.

Der theoretische Wert nach der Bernoulli-Gleichung lautet [5]:

$$Z = UO^2/2G,$$

wobei Z die Wellenhöhe, UO die Schleppgeschwindigkeit und G die Schwerebeschleunigung ist.

Angesichts der teilweise starken Verwirbelung und Wellenbrechung ist die fast exakte Erfüllung der (verlustfreien) Bernoulli-Gleichung im Staupunkt etwas überraschend.

2.5 Einige sonstige Versuche

- Versuch mit einem Wulst -

Es wurde eine Halbkugel als Bugwulst (Durchmesser: 100 mm) an der vorderen Seite des Vertikal-Zylinders angebracht. Einige Sichtbarmachungen und Digitalisierungen sind wegen der schlechten Photoqualität nicht gelungen.

Die Photos 61 - 67 sind die Ergebnisse der Sichtbarmachung. Das Photo 68 ist die Aufnahme des Vertikal-Zylinders mit dem Wulst. Die Abbildungen 86 - 97 sind die Berechnungsergebnisse aus den stroboskopischen Aufnahmen. Die Abbildungen wurden in der Reihenfolge der Rechenvorgänge eingeklebt (Eingabedaten - Eingabedaten nach der Ausgleichung - Momentane Geschwindigkeit - Geschwindigkeitsfeld).

- Versuch mit Spiritus -

Um den physikalischen Zustand der Wasseroberfläche im Sinne einer verminderten Bugwirbelbildung künstlich zu verändern, wurden einige Versuche mit Spiritus durchgeführt (gleichzeitig mit der schon erwähnten Folie):

Technische Daten [7]:

| | Dichte (kg/m ³) | Oberflächenspannung (kg/s ²) |
|---------------|-----------------------------|--|
| Wasser | 0.999 · 10 ³ | 7.3 · 10 ⁻² |
| Methylalkohol | 0.793 · 10 ³ | 2.3 · 10 ⁻² |

Oberflächenspannung gegen Luft 18° C

Bei jeder Meßfahrt wurde Spiritus absatzweise ein paarmal auf die Wasseroberfläche geschüttet. Die Fölie wurde, wie in dem Kapitel 2.2 beschrieben, zwecks Vergrößerung des physikalischen Ereignisses (Bugwirbel) eingesetzt. Die Sichtbarmachungen wurden mit Aluminiumpulver und Wasserstoff-Blasen durchgeführt. Um Photos von den qualitativen Strömungsvorgängen zu gewinnen, wurden Photoaufnahmen mit relativ langer Belichtungszeit gemacht (ca. 1/2 s). Das Photo 69 ist eine Aufnahme des Meßrasters (Gitterkonstante: 5 mm). Die Photos 70 - 91 sind die Ergebnisse der Aufnahmen, wobei die linken Photos ohne Spiritus und die rechten Photos mit Spiritus auf der Wasseroberfläche kurz nach der Aufnahme des linken Photos sind. Man beachte die deutliche Abschwächung des Bugwirbels in den Photos auf der rechten Seite.

3 Schlußfolgerung

- Sichtbarmachung -

- 1. Als Einspritzmaterial für die quantitative Untersuchung der Wasserströmung ist das hier angewandte Aluminiumpulver sehr gut geeignet [3].
- 2. Die von dem sehr dünnen Draht erzeugten Wasserstoff-Blasen sind gut für die qualitative Untersuchung der Wasserströmungen wegen der Erzeugung der dünnen Blasen-Schicht besonders bei den niedrigen Geschwindigkeiten.
- 3. Bei der stark turbulenten Strömung ist dieses Verfahren der Sichtbarmachung zur quantitativen Untersuchung noch problematisch. Aus diesem Grund wurden die Auswertungen nur bis zu der Schleppgeschwindigkeit von 0.7 m/s durchgeführt.
- 4. Bei der Auswertung der momentanen Geschwindigkeiten ist die Vorzeichenerkennung der Bewegungen von den photographierten Teilchen erforderlich.

Vorschlag: Bei der Spuren-Aufnahme kann das Chopper-System SL in der Abb. 1 als eine Belichtungsmechanik anstatt der Belichtung der Kamera eingesetzt werden, wobei ein normales Loch und ein Langloch auf der Chopper-Scheibe hintereinander gebohrt werden. Auf dem Photo wird dann ein strichpunktiertes Muster entlang der Stromlinie zu sehen sein, aus dem die Bewegungsrichtung gefolgert werden kann.

- Rechenverfahren -

- 1. Die Genauigkeit der berechneten Geschwindigkeiten ist stark abhängig von der Schärfe der photographierten Teilchen.
- 2. Der Einsatz einer Gewichtsfunktion bei der ausgleichenden Interpolation des zweidimensionalen Geschwindigkeitsfeldes brachte eine wesentliche Verbesserung. Die Extrapolation außerhalb des von den Datenpunkten erfaßten Bereiches bleibt noch unbefriedigend.
- 3. Das hier ermittelte Geschwindigkeitsfeld genügt nicht immer der (im Rechenverfahren noch nicht explizit berücksichtigten) kinematischen Randbedingung an der Zylinderwand und der freien Wasseroberfläche.

Danksagung

Bei Herrn Prof. Dr.-Ing. S.D. Sharma als Projektleiter bedanke ich mich für die großzügige Leitung dieses Projektes und für die Anregung der wissenschaftlichen Aufgabe.

Herrn Dr. P.A. Lange aus der Bundesanstalt für Wasserbau danke ich für wichtige experimentelle Vorschläge und für wissenschaftliche Diskussionen.

Herrn Dr. J. Kux danke ich für die Überlassung der optischen und elektronischen Meßkomponenten.

Weiterhin bedanke ich mich bei den Mitarbeitern des Instituts für Schiffbau für ihre Unterstützung.

Literaturhinweise

- [1] Kayo, Y; Takekuma, K.; Eggers, K.; Sharma, S.D.:
Observation of Free Surface Shear Flow and its Relation
to Bow Wave-Breaking on Full Forms. Institut für Schiff-
bau, Hamburg, Bericht Nr. 420, Mai 1982.
- [2] Osawa, Y.: Zwischenbericht zur Bugwirbeluntersuchung
an die DFG. Institut für Schiffbau, Hamburg, Okt. 1984.
- [3] Osawa, Y.: Ein Verfahren zur Gewinnung ebener Stromlinien-
bilder aus photographierten Teilchenspuren. Institut für
Schiffbau, Hamburg, Bericht Nr. 457, Juli 1985.
- [4] Söding, H.: Routine zur Interpolation, Integration und
Optimierung. Schrift des SFB 98 (o. Nr.), Hamburg, 1979.
- [5] Wieghardt, K.: Theoretische Strömungslehre. Teubner-Ver-
lag, Stuttgart, 1965.
- [6] Goldstein, R.J.: Fluid Mechanics Measurements. Hemisphere
Publishing Corp., Washington DC., 1983.
- [7] Ebert, H.: Physikalisches Taschenbuch. Friedrich Vieweg
& Sohn, Braunschweig, 1957.

Verzeichnis der Photos und Abbildungen

| Photo | | Seite |
|-------|---|-------|
| 1 | Horizontal-Zylinder | 12 |
| 2 | Vertikal-Zylinder | 12 |
| 3 | Gesamte Anordnung zur Sichtbarmachung | 13 |
| 4-15 | Stroboskopische Aufnahmen mit dem Horizontal-Zylinder | 14 |
| 16-27 | Spuren-Aufnahmen mit dem Horizontal-Zylinder | 18 |
| 28-38 | Stroboskopische Aufnahmen mit dem Vertikal- Zylinder und einer Folie | 22 |
| 39-49 | Stroboskopische Aufnahmen mit dem Vertikal-Zylinder | 26 |
| 50-60 | Aufnahmen der freien Wasseroberfläche | 30 |
| 61-67 | Stroboskopische Aufnahmen mit dem Vertikal- Zylinder und dem Wulst | 34 |
| 68 | Der Vertikal-Zylinder mit dem Wulst | 36 |
| 69 | Meßgitter-Aufnahme (Spiritus-Versuch) | 37 |
| 70-91 | Spiritus-Versuch: Ergebnisse | 38 |
| Abb. | | |
| 1 | Gesamte Anordnung zur Sichtbarmachung | 44 |
| 2-23 | Horizontal-Zylinder (aus den stroboskopischen Aufnahmen) | 45 |
| 24-44 | Horizontal-Zylinder (aus den Spuren-Aufnahmen) | 56 |
| 45-62 | Vertikal-Zylinder mit einer Folie | 68 |
| 63-84 | Vertikal-Zylinder | 77 |
| 85 | Wellenhöhe am Staupunkt an der Zylinderwand | 89 |
| 86-97 | Vertikal-Zylinder mit dem Wulst | 90 |

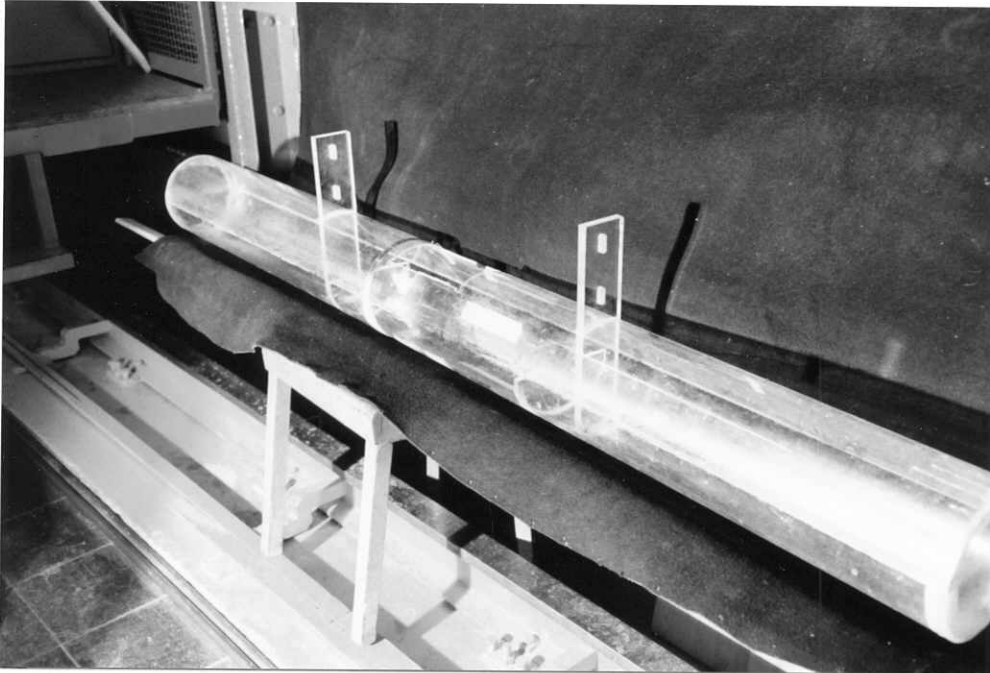


Photo 1 Horizontal-Zylinder

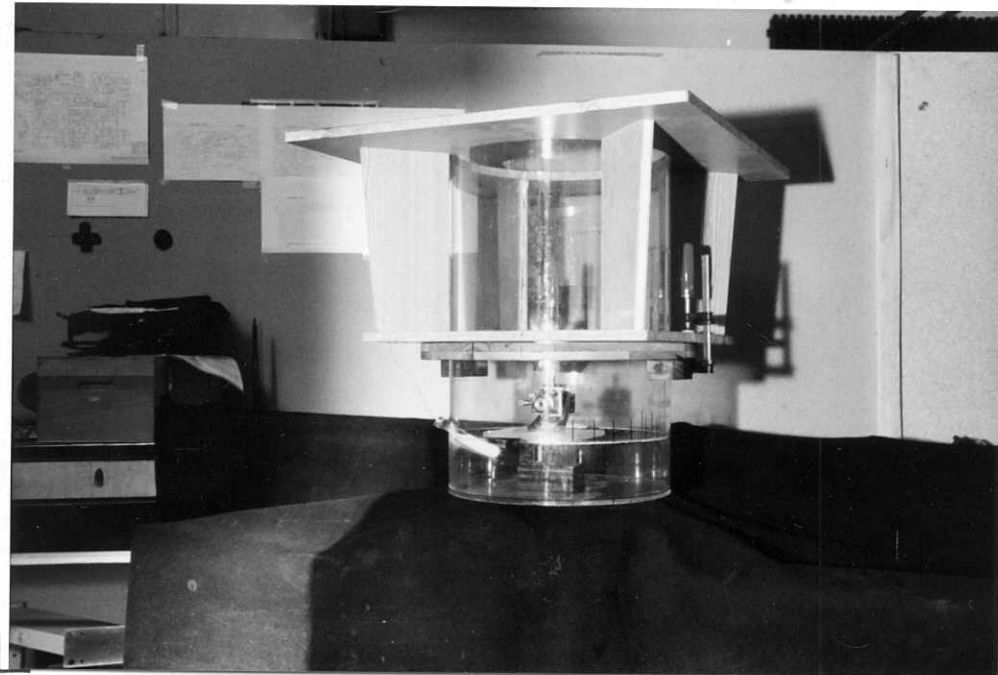


Photo 2 Vertikal-Zylinder

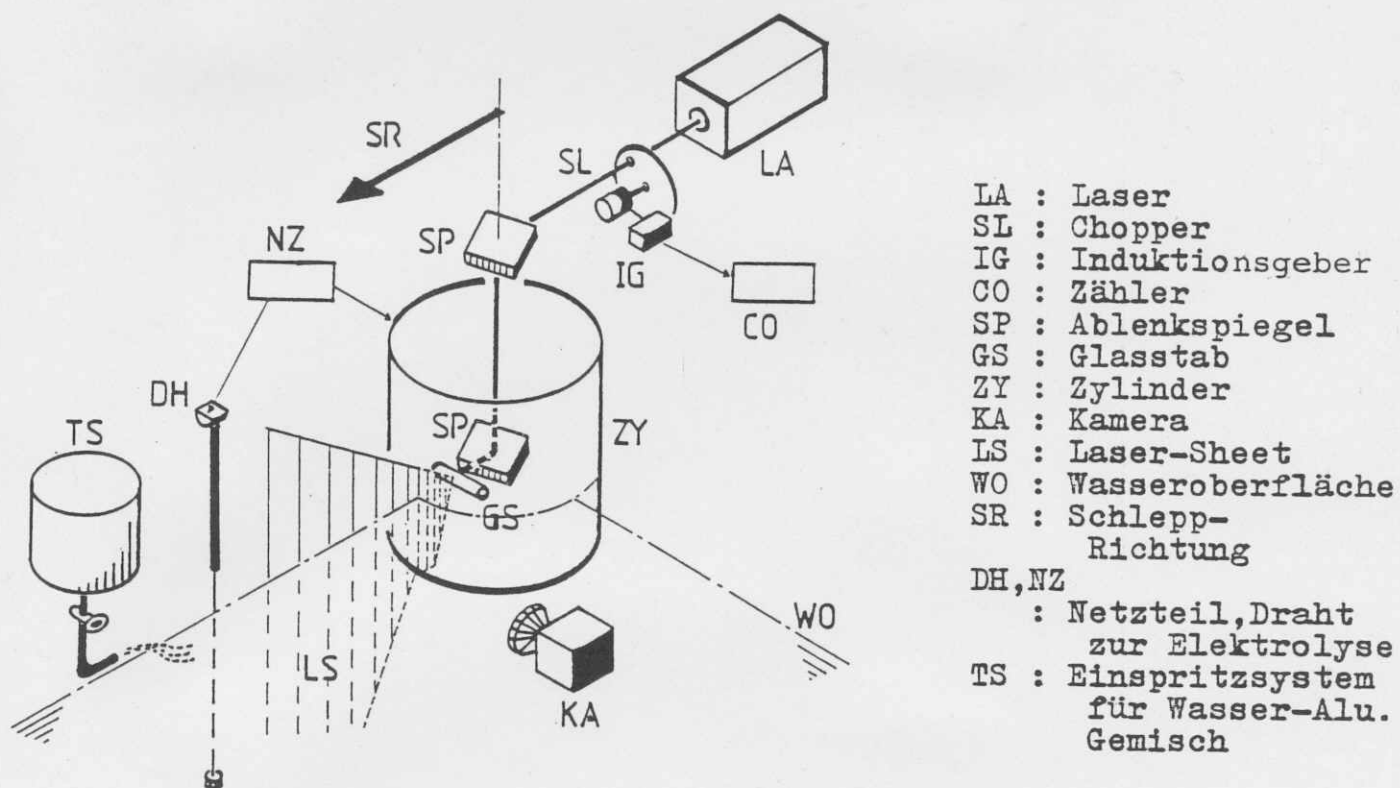


Abb 1 Gesamte Anordnung zur Sichtbarmachung

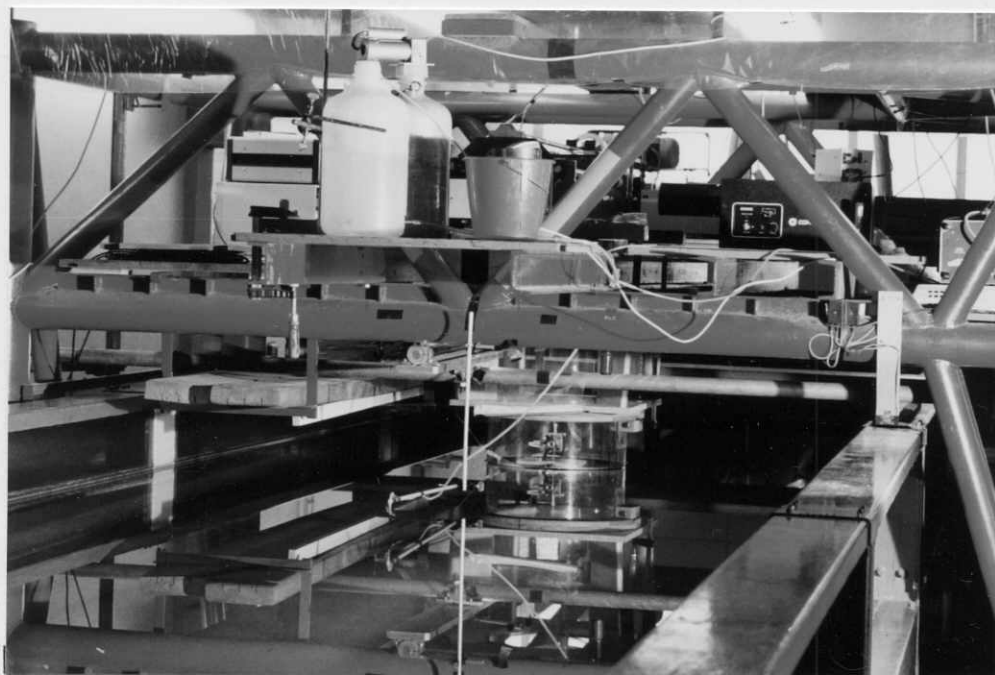


Photo 3 Gesamte Anordnung zur Sichtbarmachung

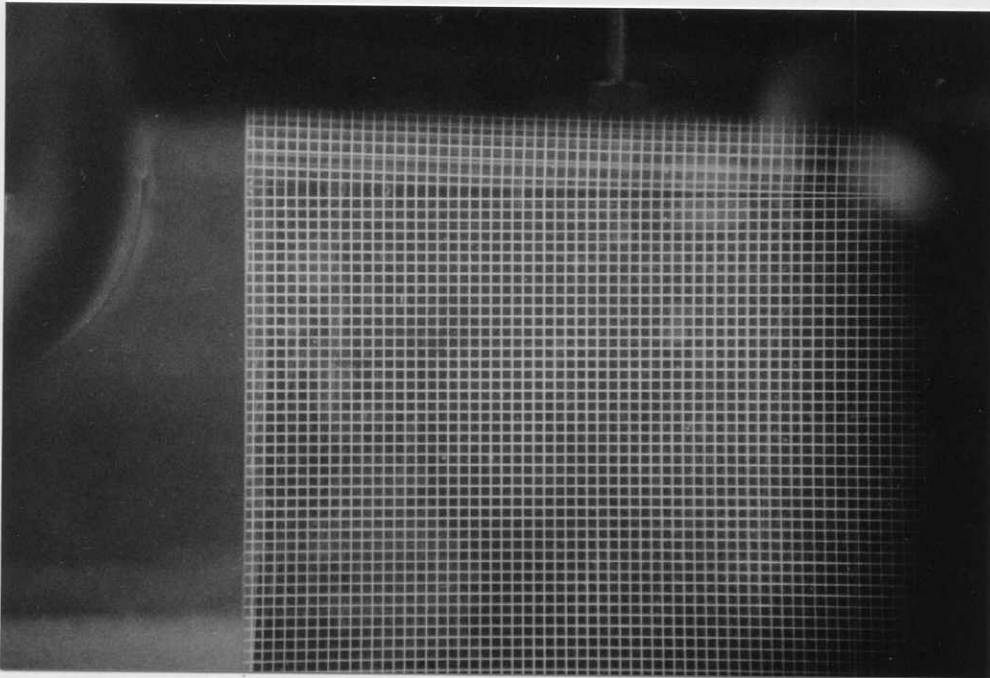


Photo 4

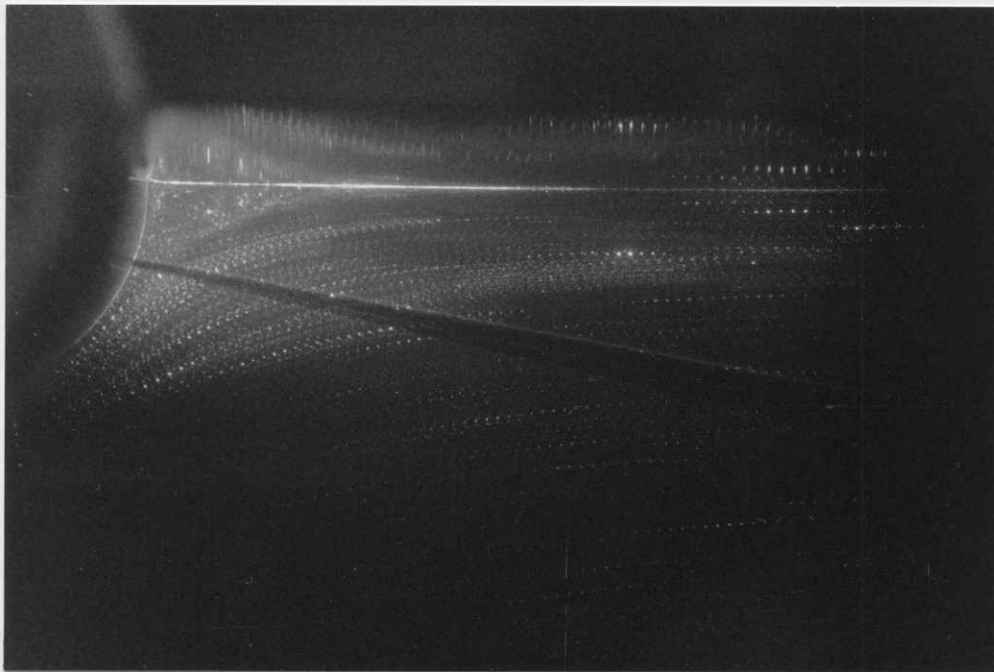


Photo 5

UO:
0.1 m/s

F:
20 Hz

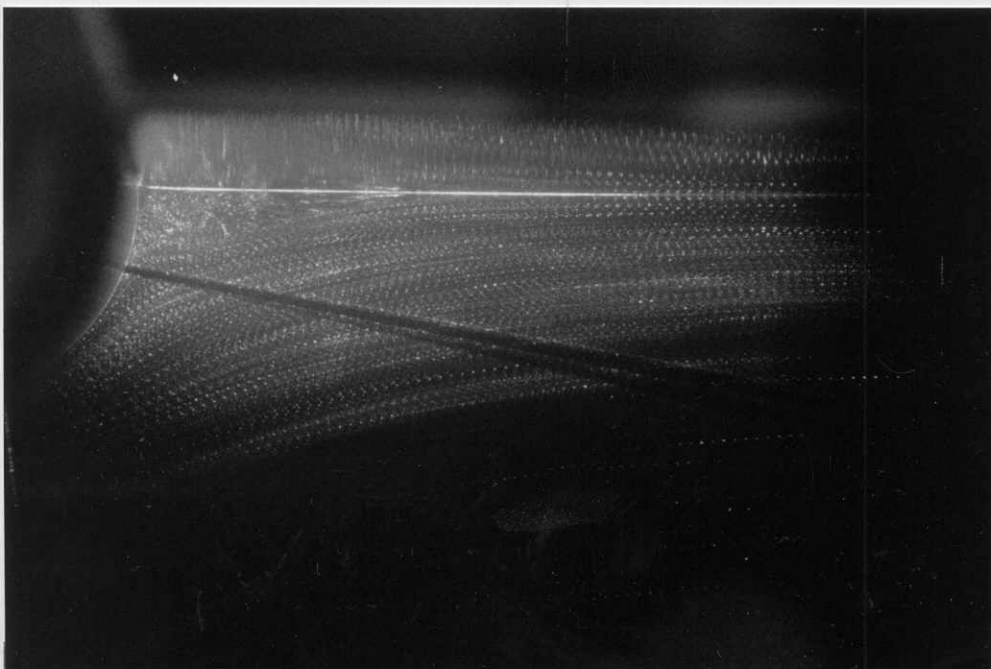


Photo 6

0.1 m/s
20 Hz

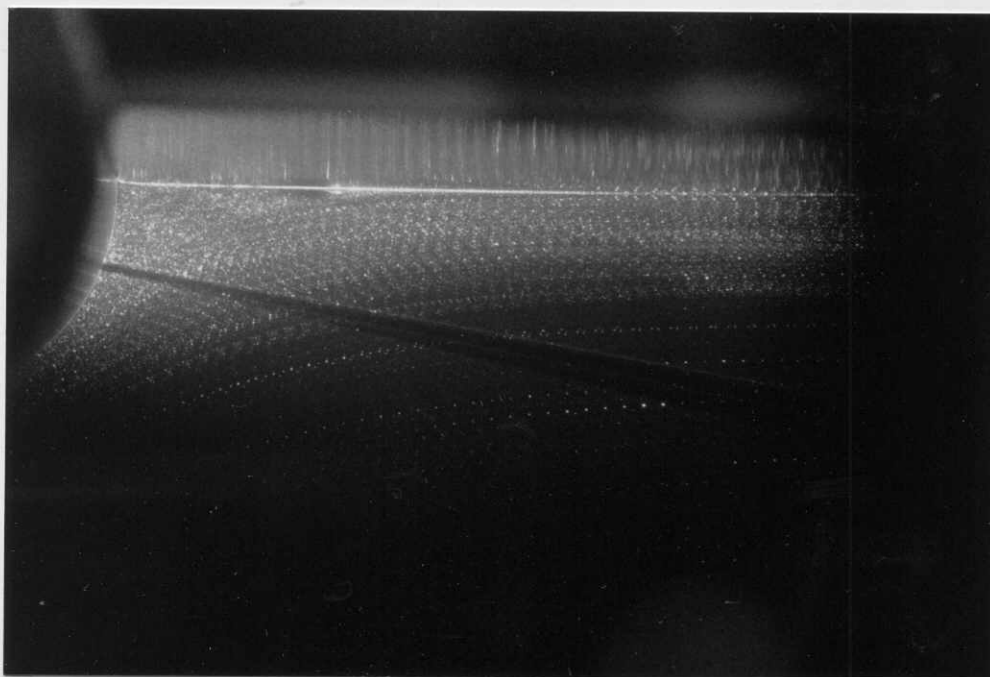


Photo 7

0.2 m/s
20 Hz

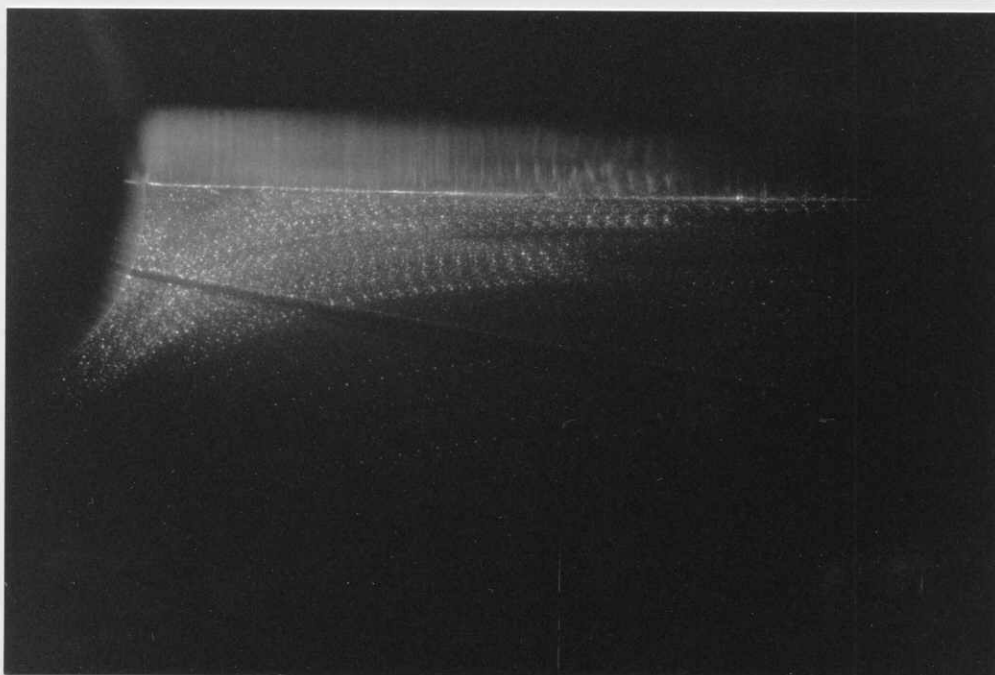


Photo 8

0.3 m/s
30 Hz

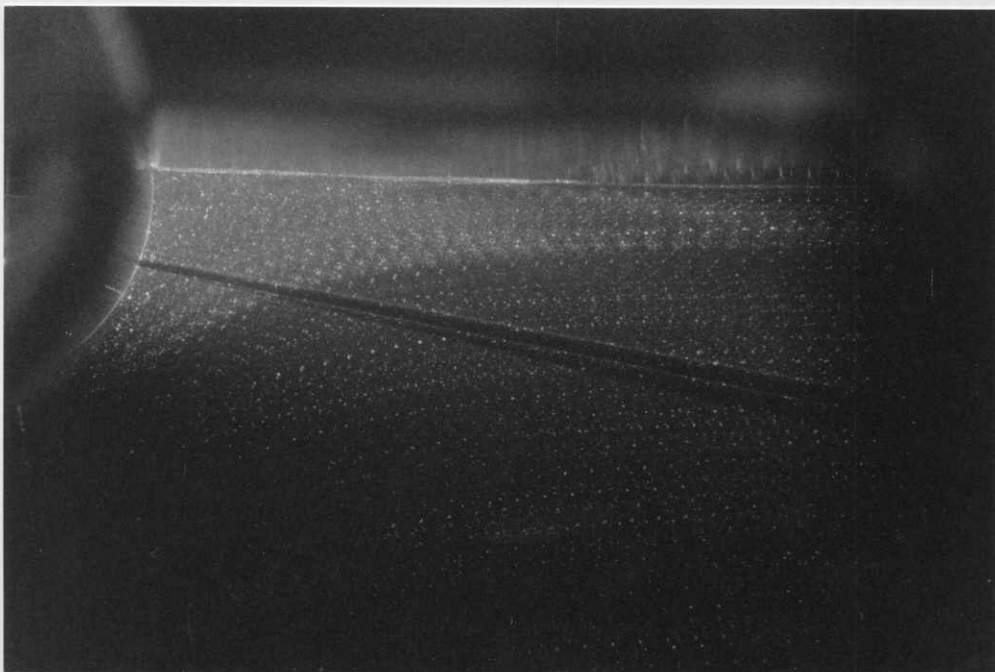


Photo 9

0.4 m/s
30 Hz

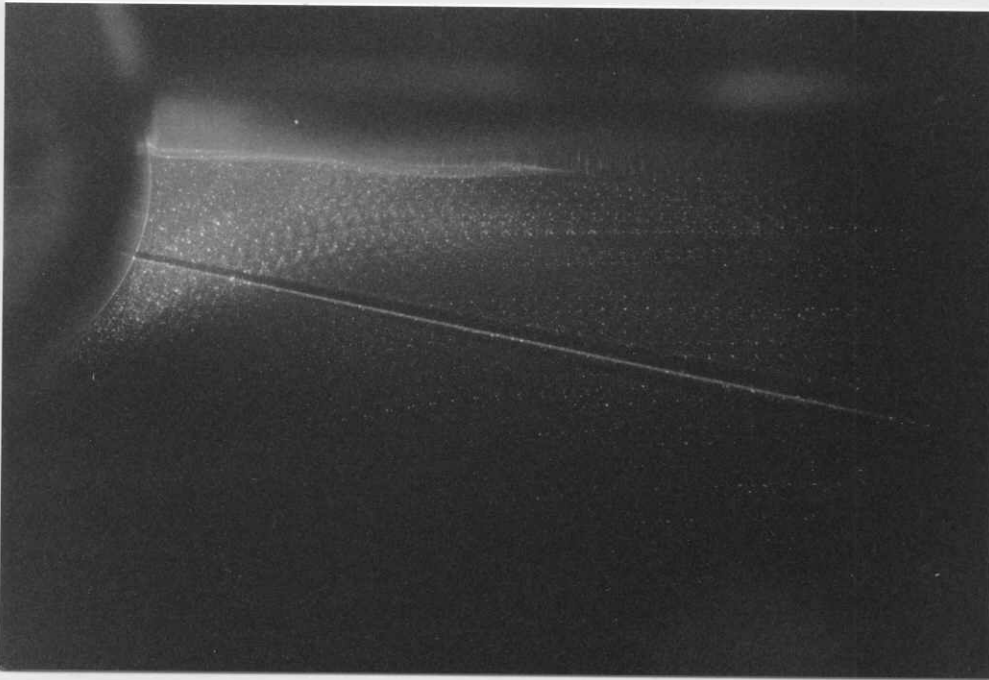


Photo 10

0.5 m/s
40 Hz

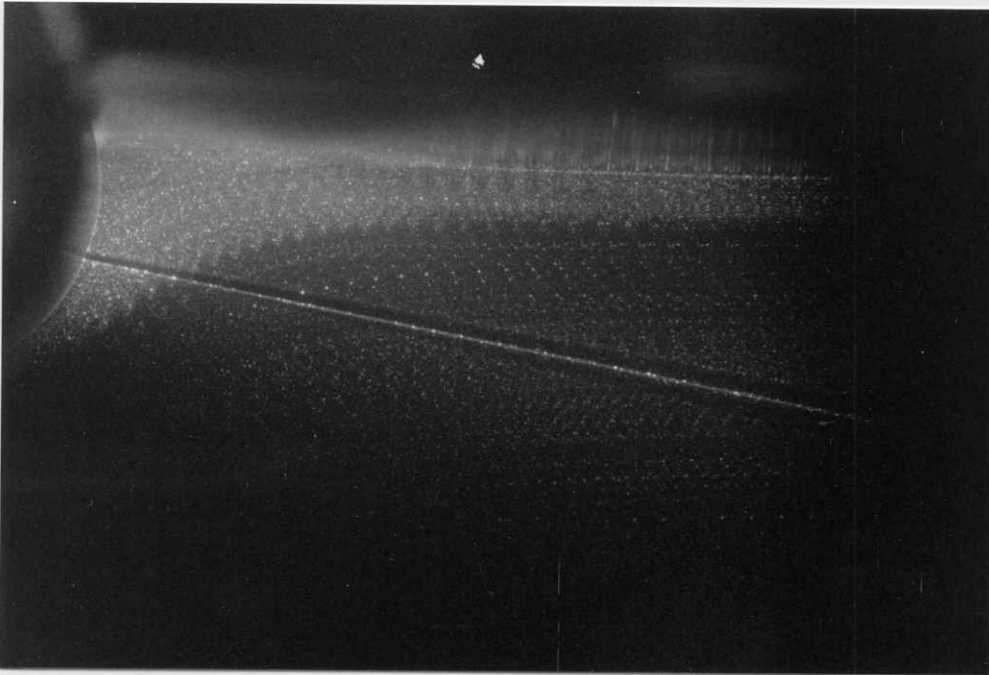


Photo 11

0.6 m/s
40 Hz

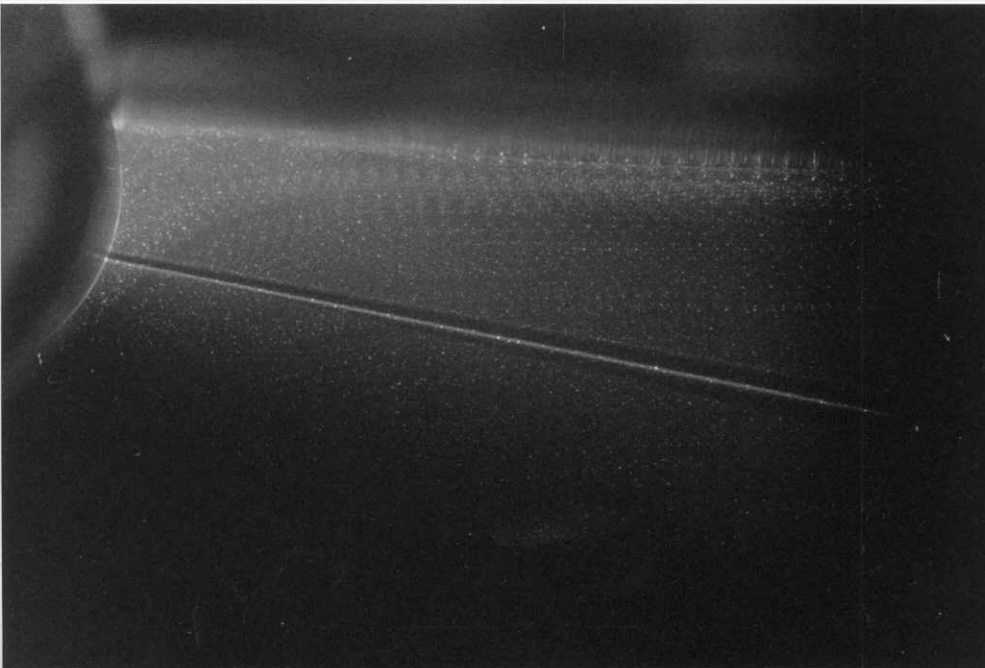


Photo 12

0.7 m/s
50 Hz

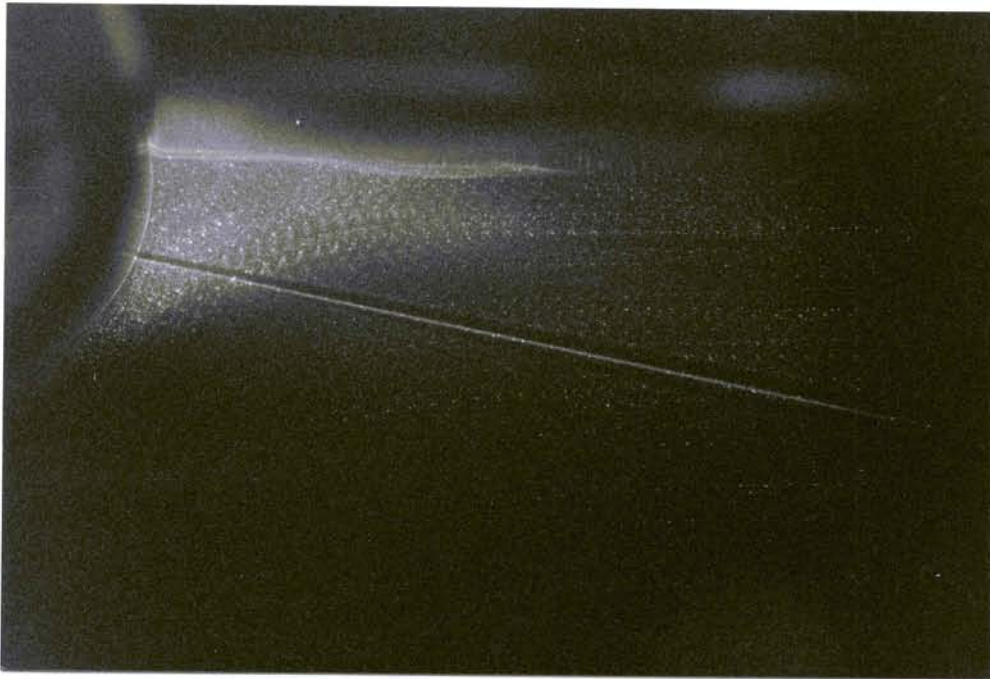


Photo 10

0.5 m/s

40 Hz

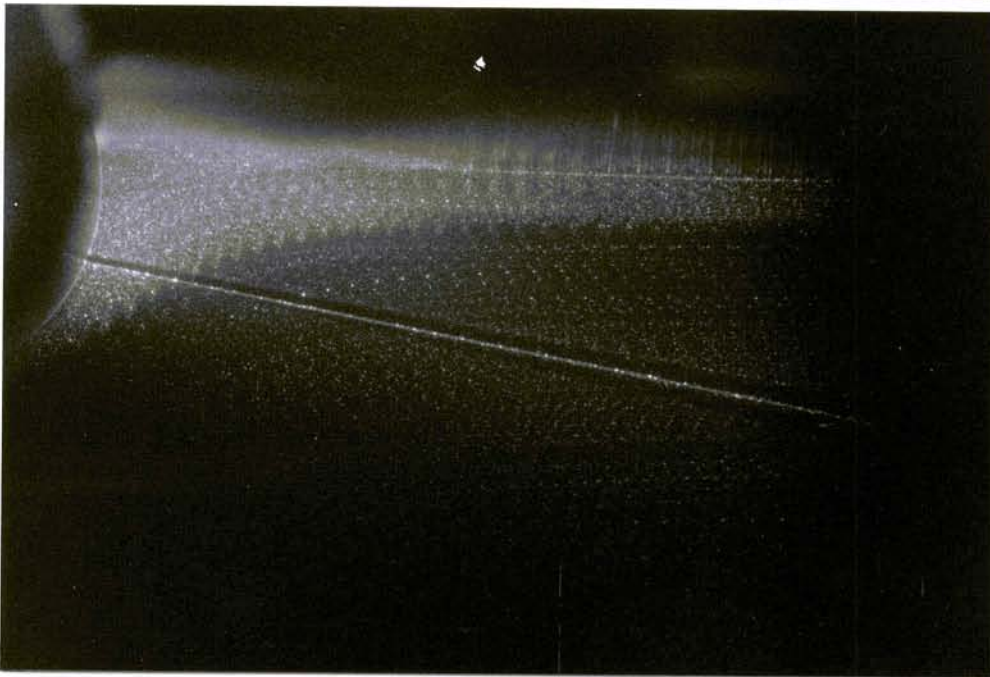


Photo 11

0.6 m/s

40 Hz

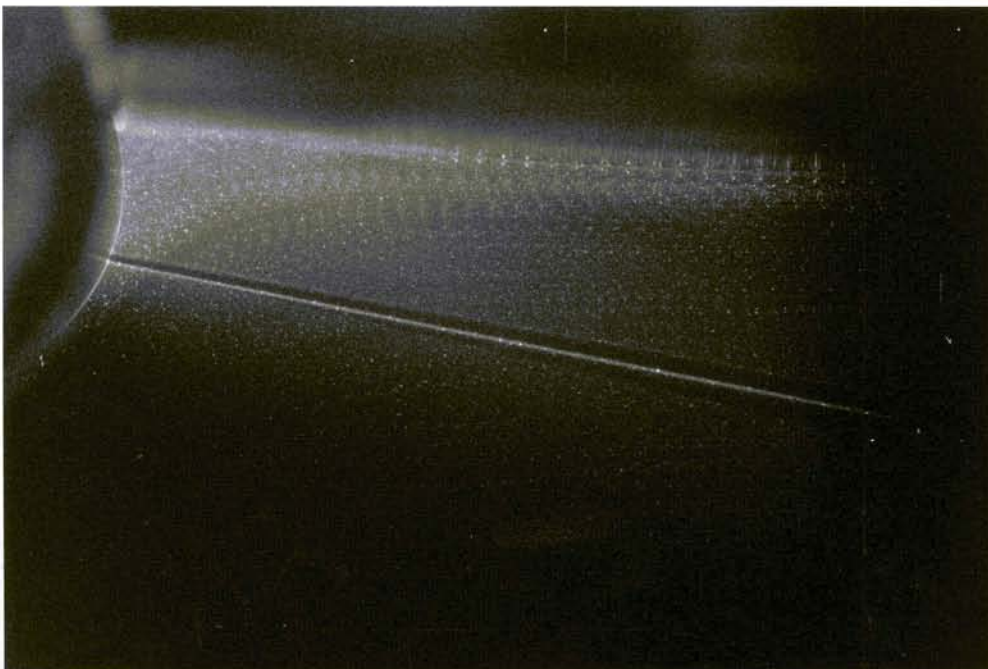


Photo 12

0.7 m/s

50 Hz



Photo 13

0.8 m/s

50 Hz

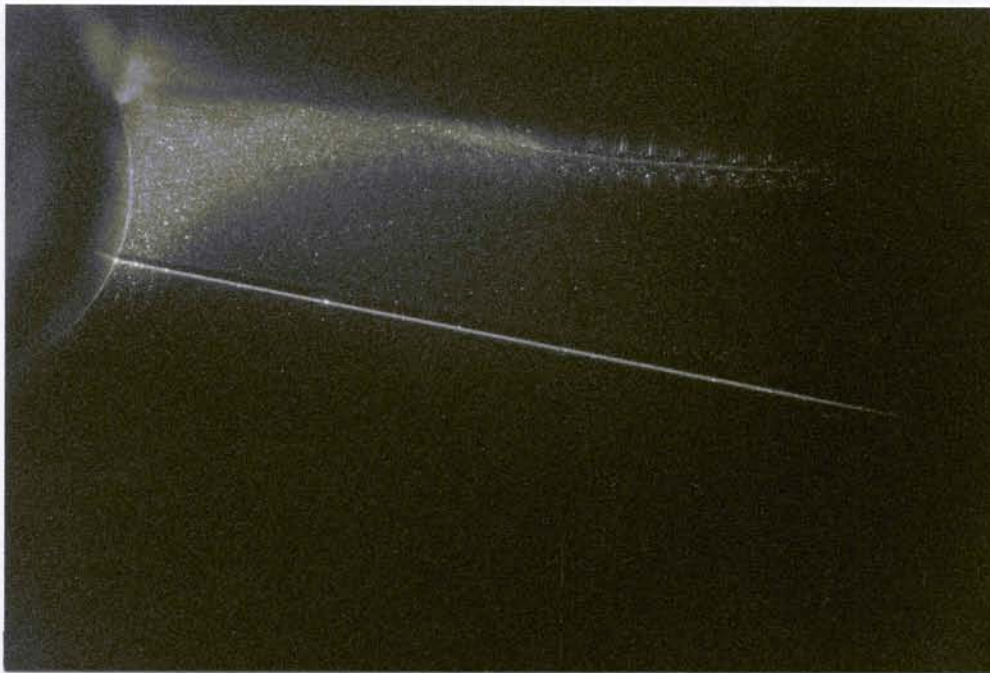


Photo 14

0.9 m/s

50 Hz

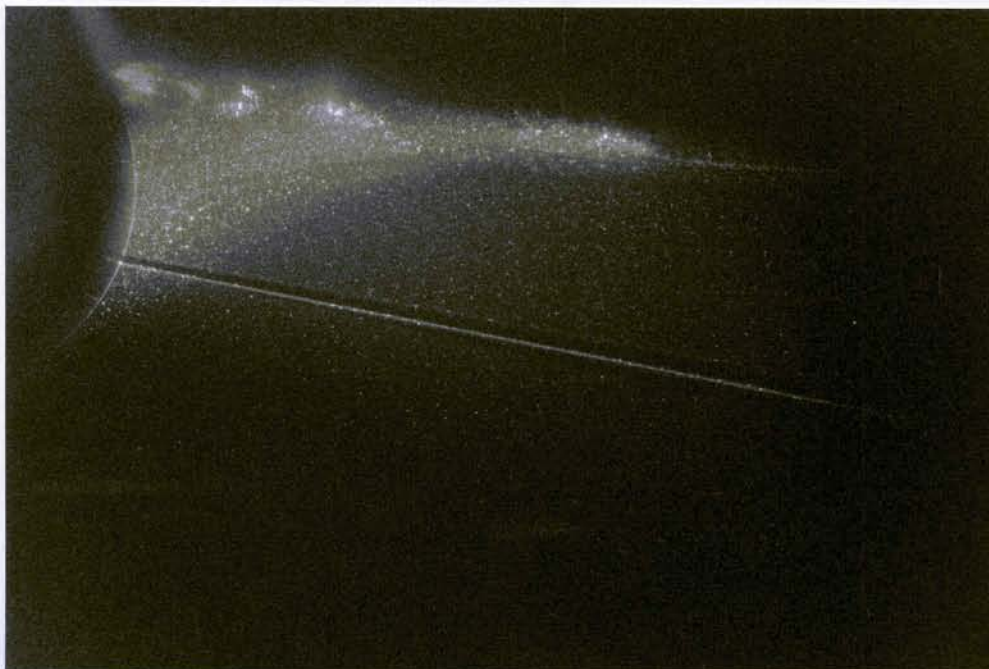


Photo 15

1.0 m/s

50 Hz

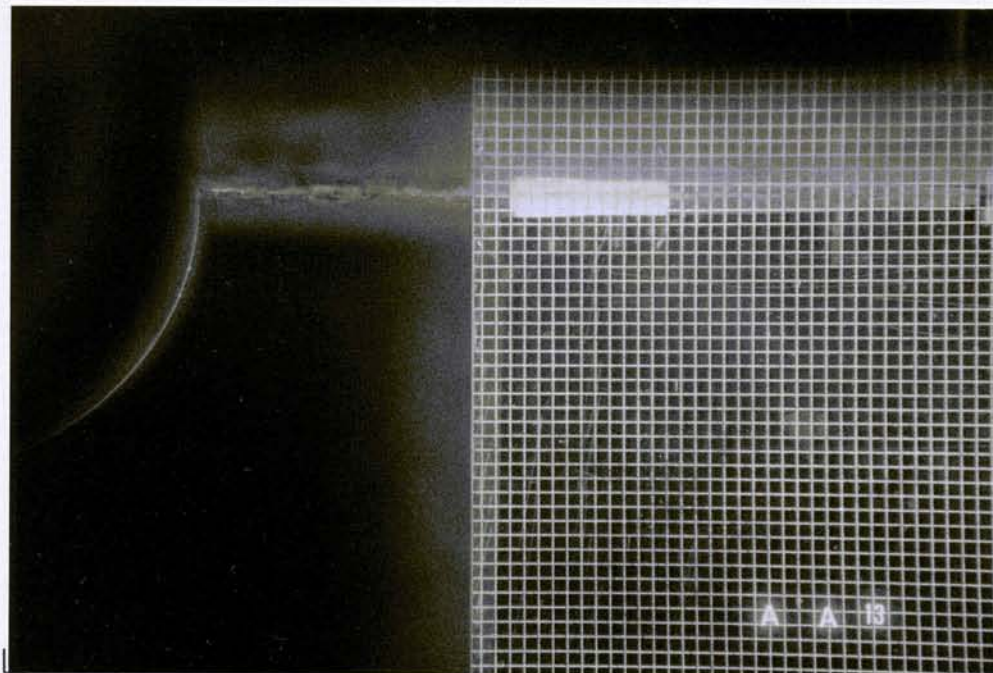


Photo 16

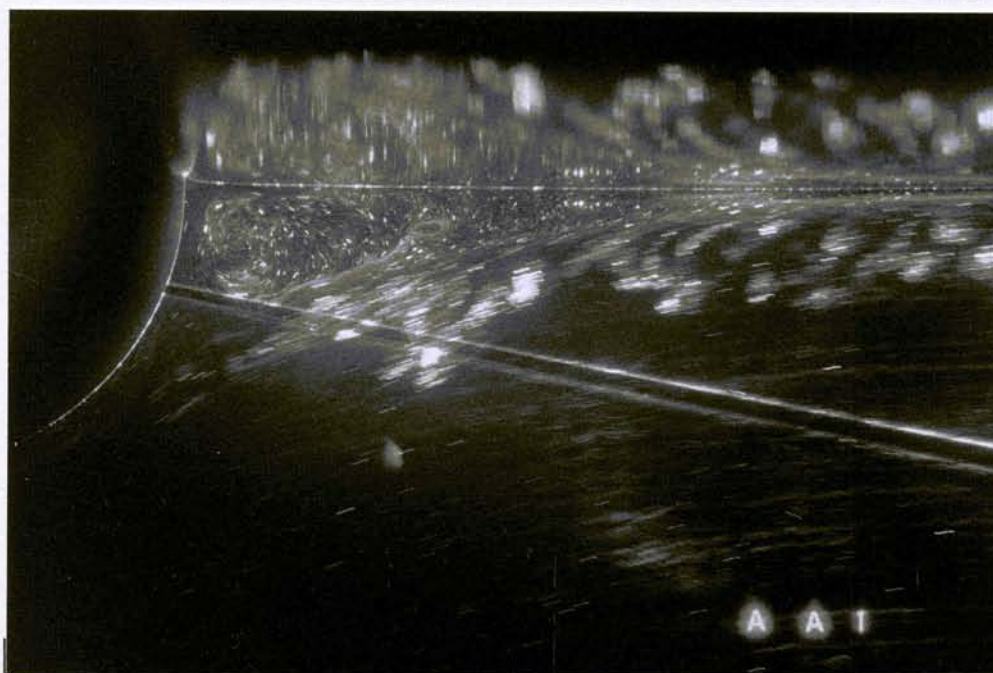


Photo 17

UO:
0.1 m/s

E:
1/15 s

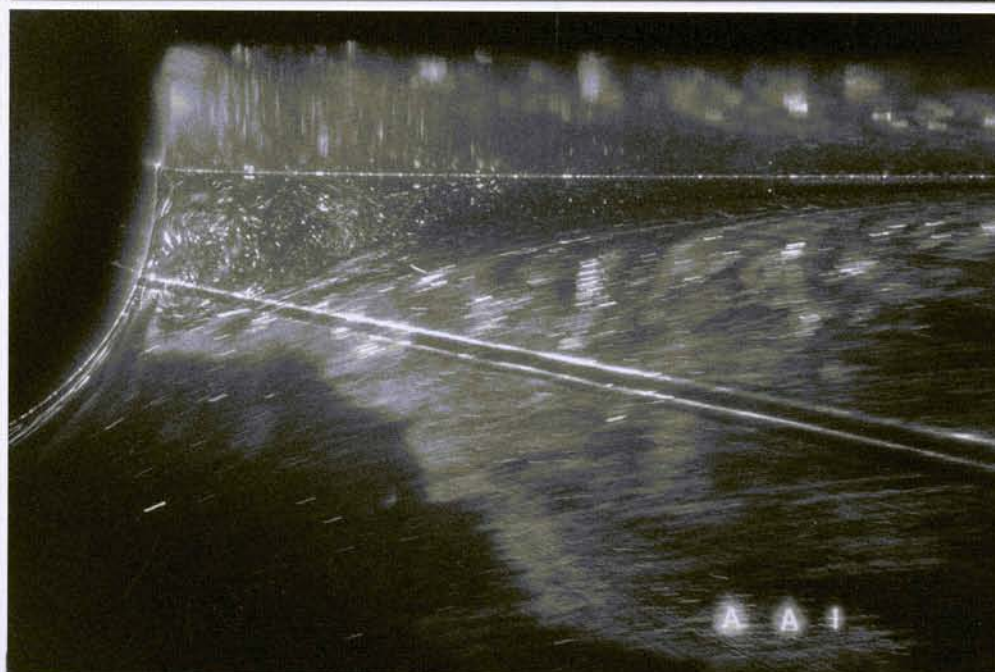


Photo 18

0.1 m/s
1/15 s

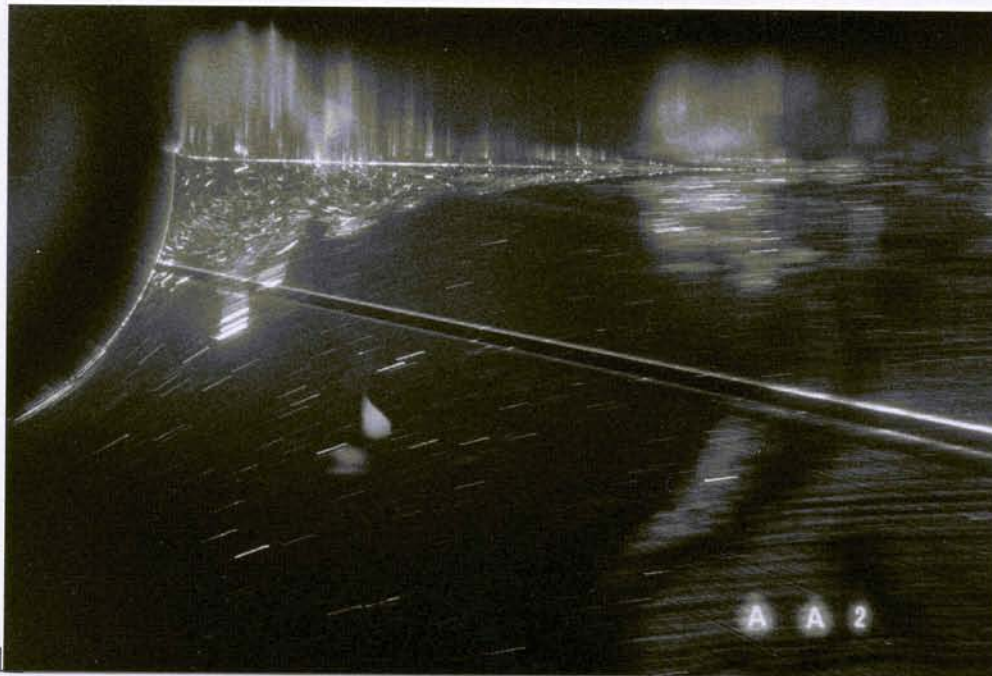


Photo 19

0.2 m/s
1/15 s

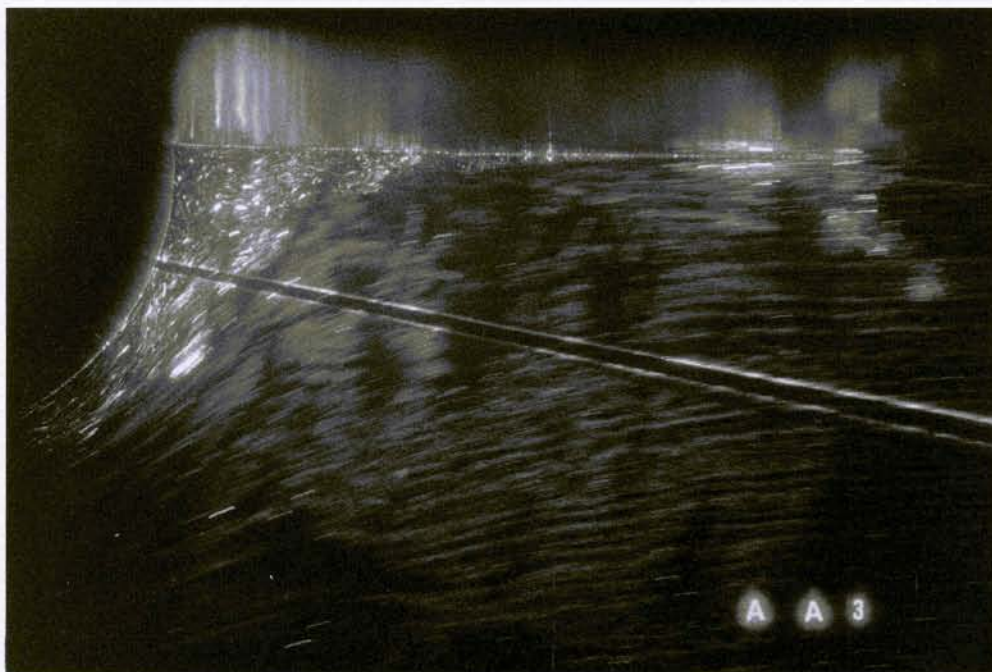


Photo 20

0.3 m/s
1/30 s

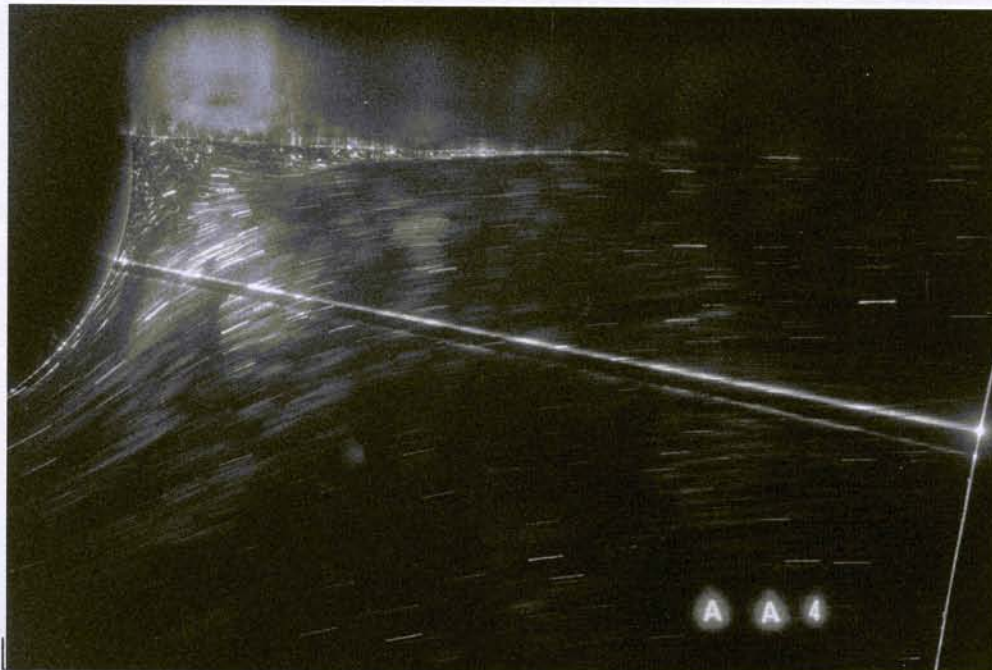


Photo 21

0.4 m/s
1/30 s



Photo 22

0.5 m/s
1/30 s

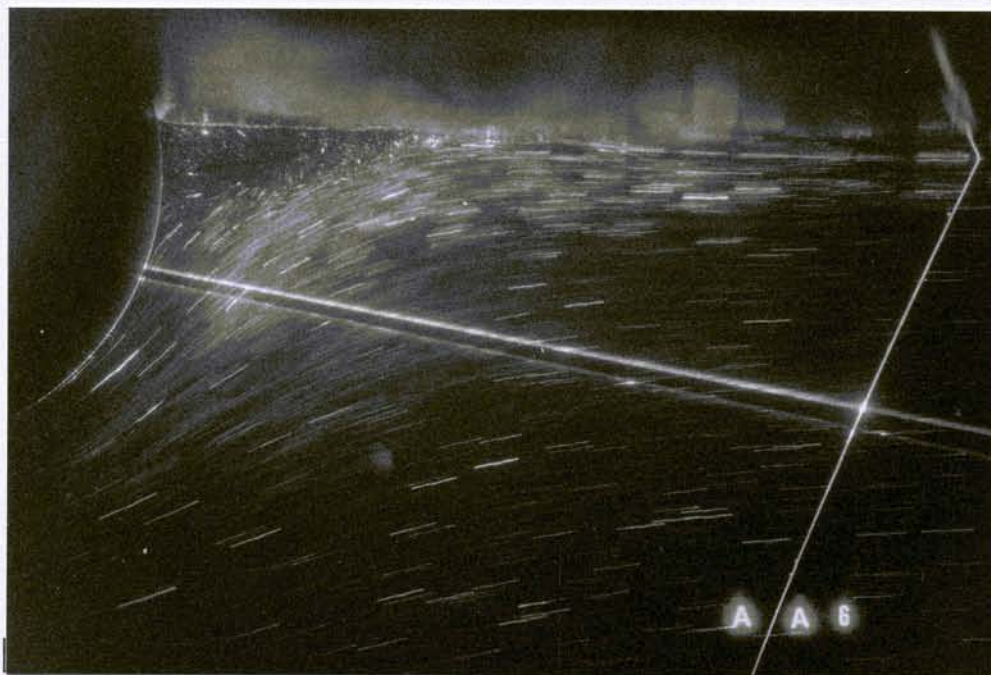


Photo 23

0.6 m/s
1/30 s

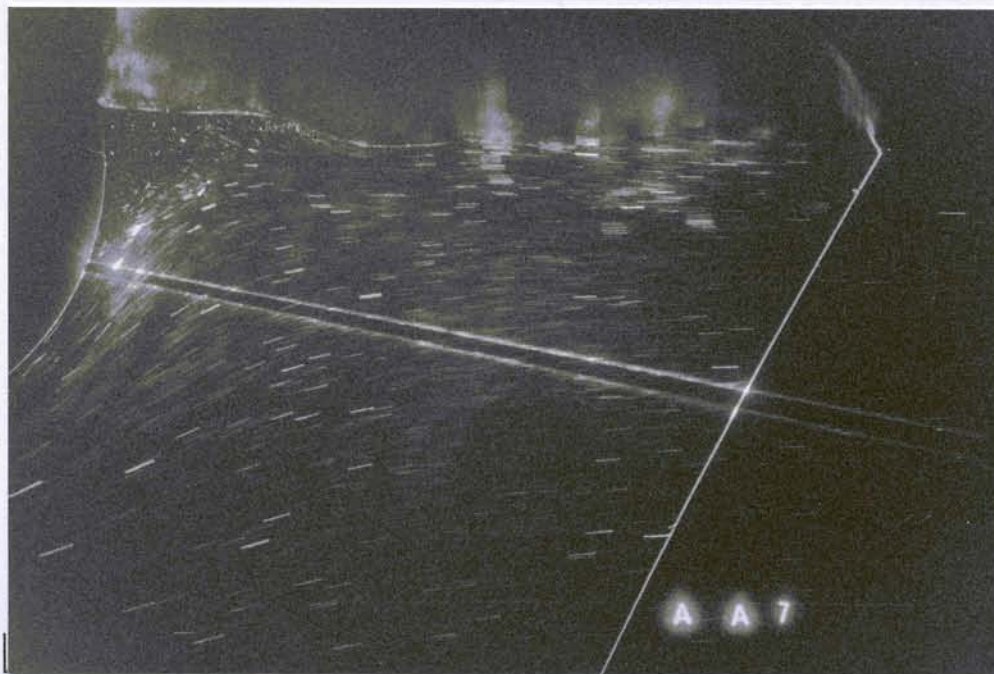


Photo 24

0.7 m/s
1/60 s

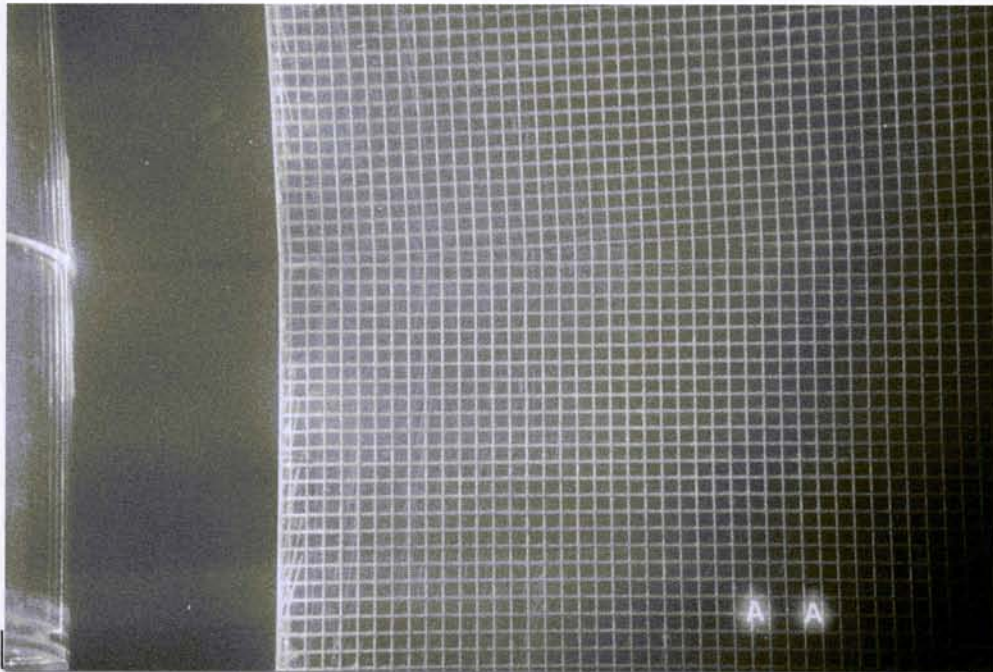


Photo 28

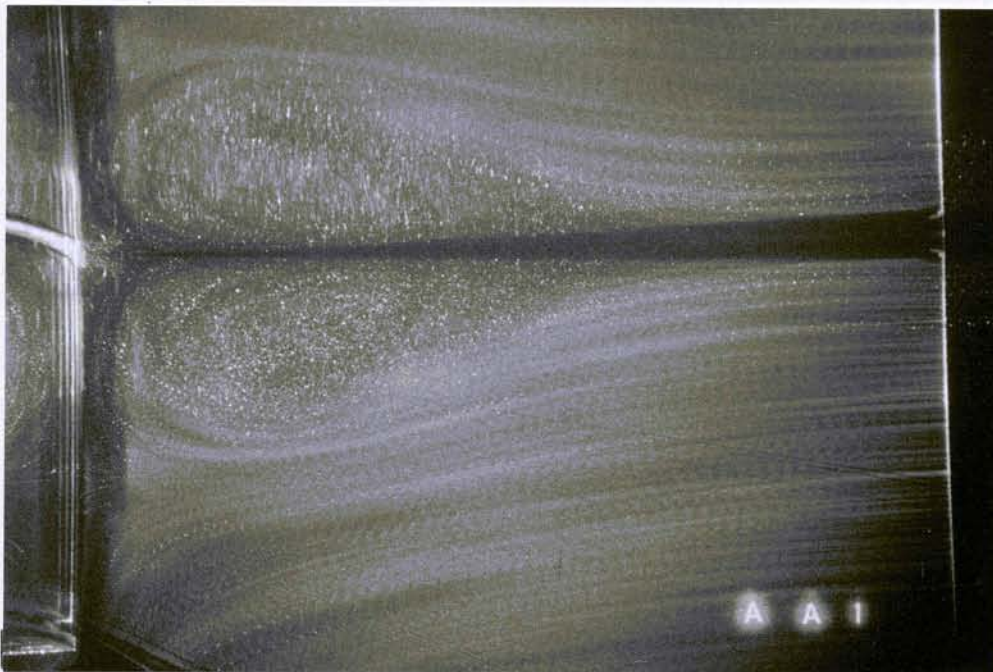


Photo 29

UO:
0.1 m/s

F:
20 Hz

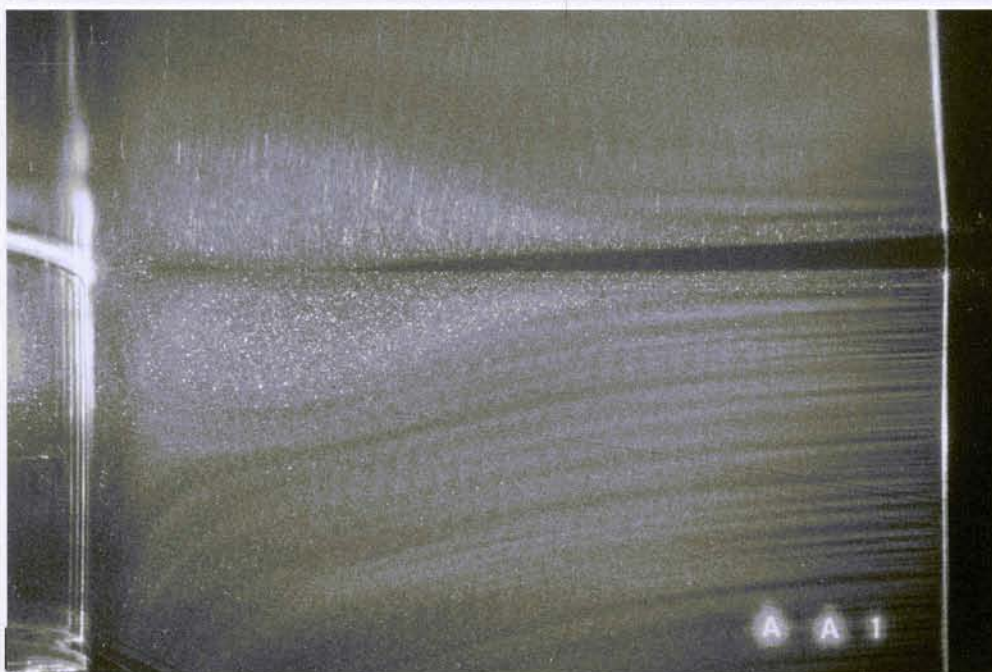


Photo 30

0.2 m/s
20 Hz

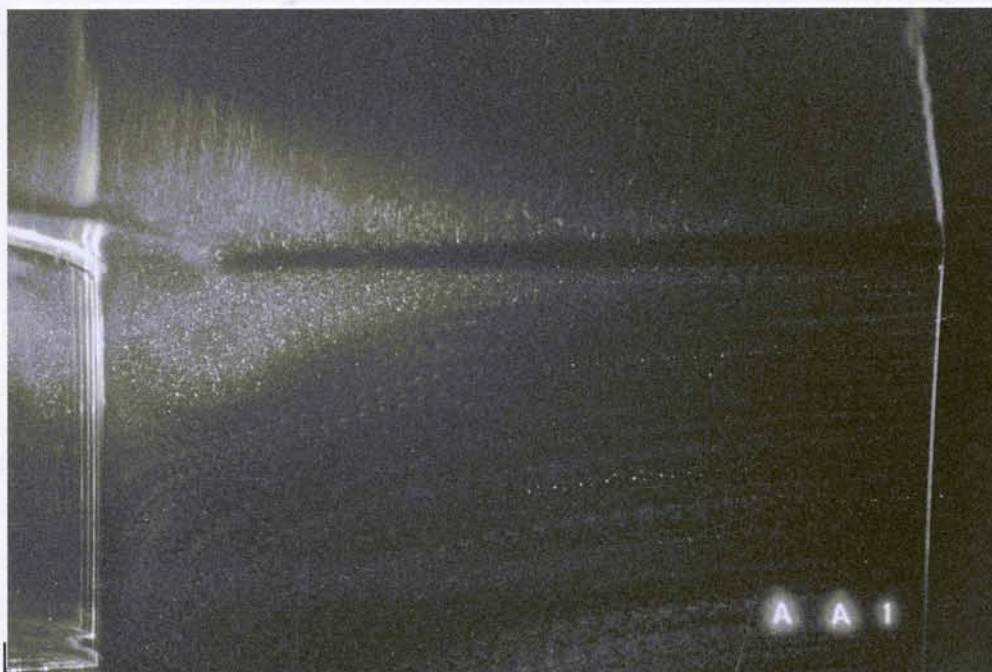


Photo 31

0.3 m/s
30 Hz

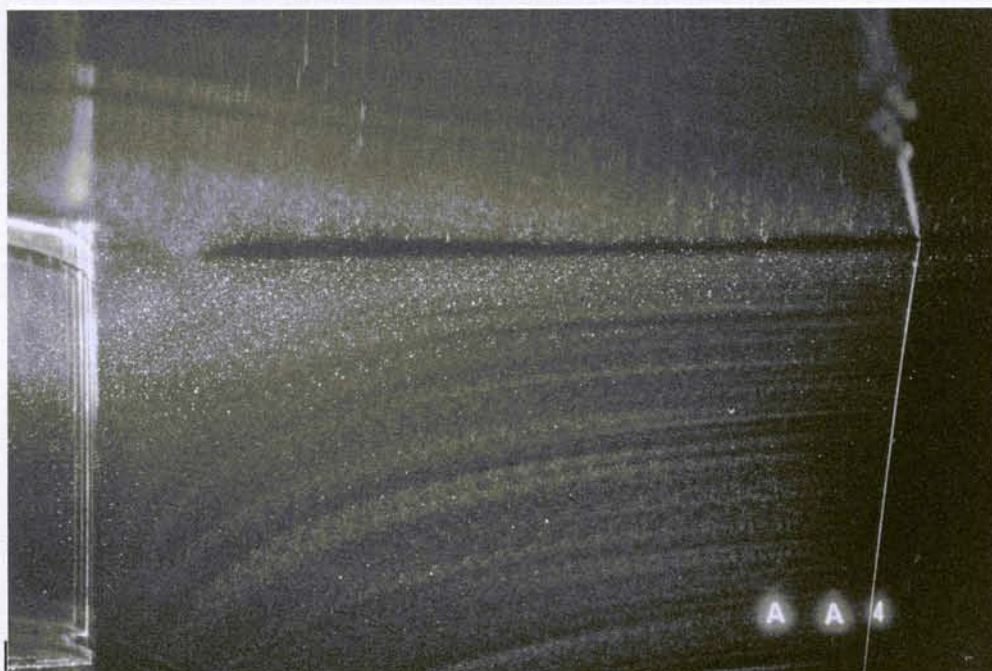


Photo 32

0.4 m/s
30 Hz

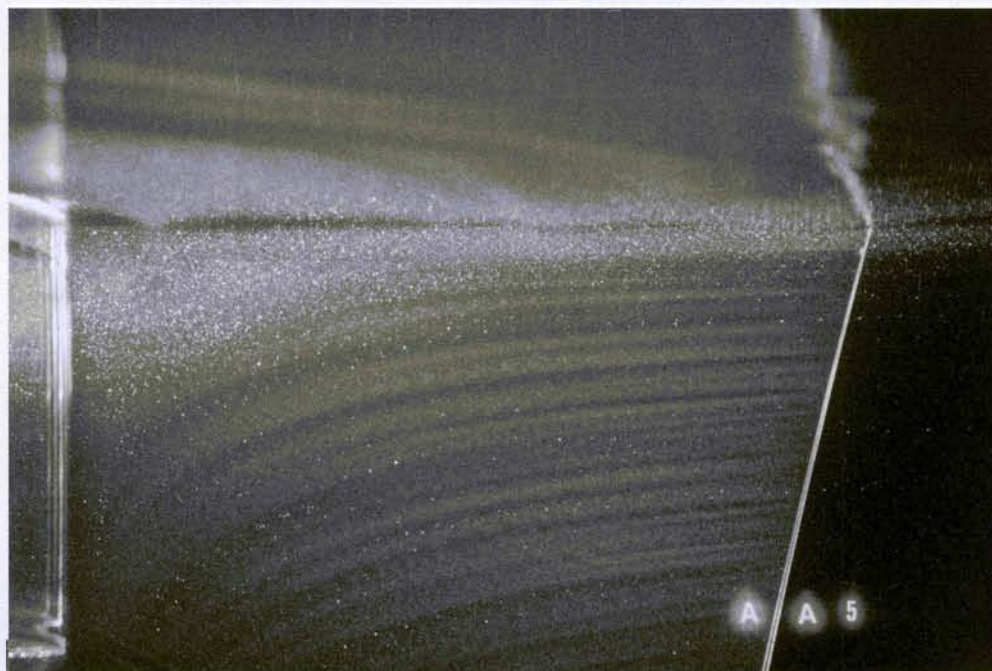


Photo 33

0.5 m/s
40 Hz

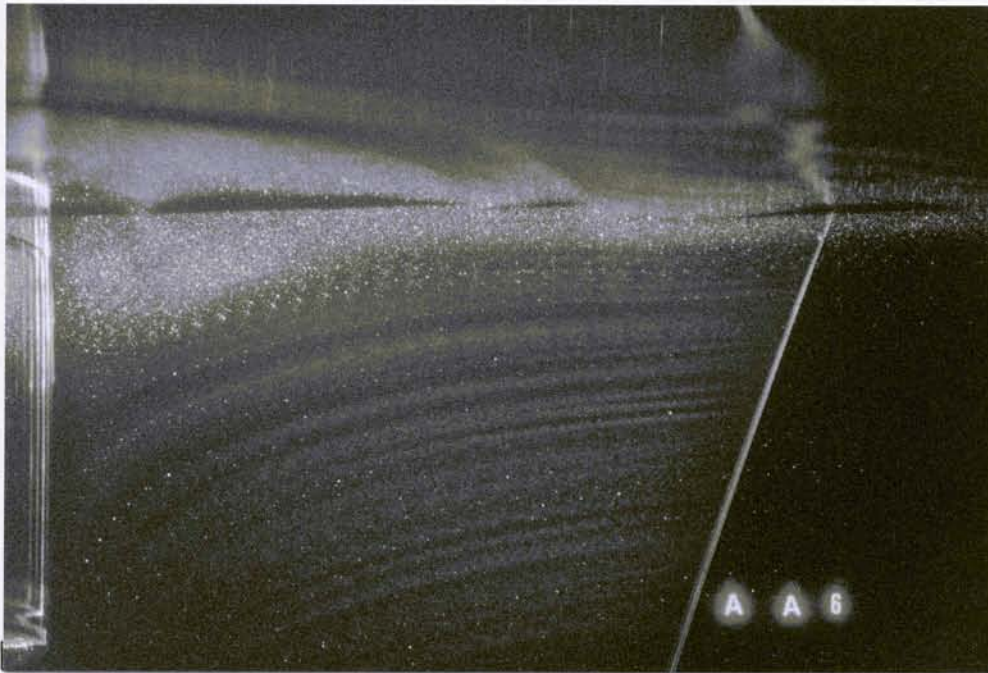


Photo 34

0.6 m/s

40 Hz

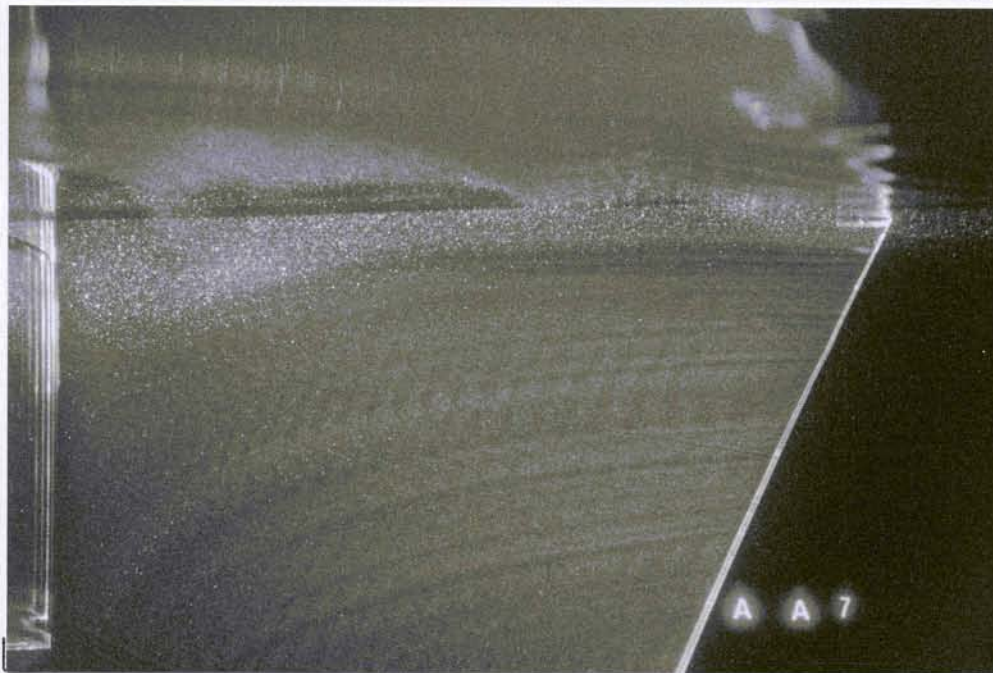


Photo 35

0.7 m/s

50 Hz

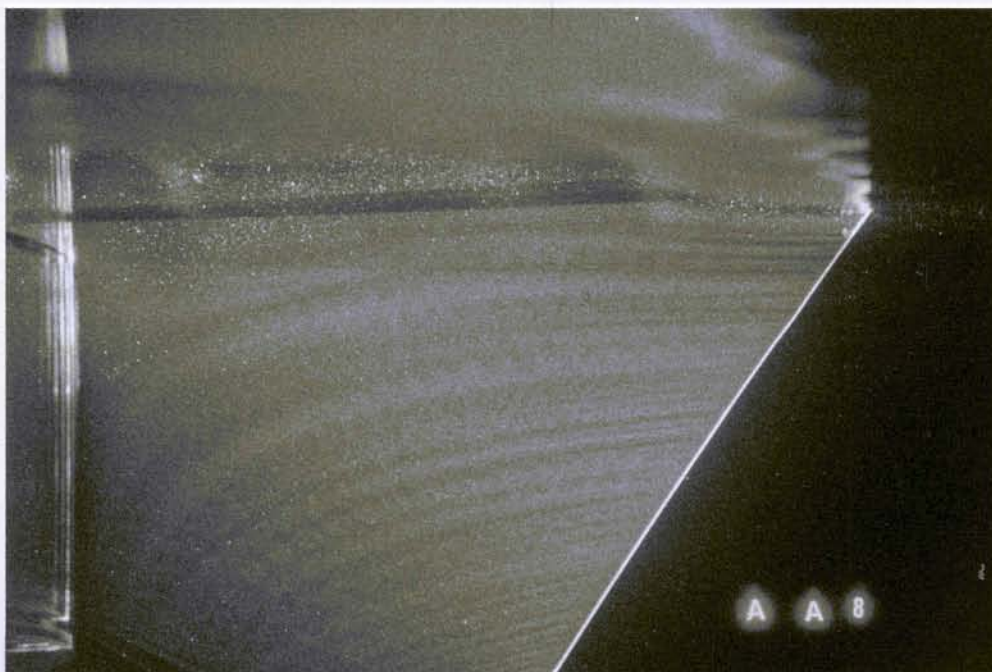


Photo 36

0.8 m/s

50 Hz

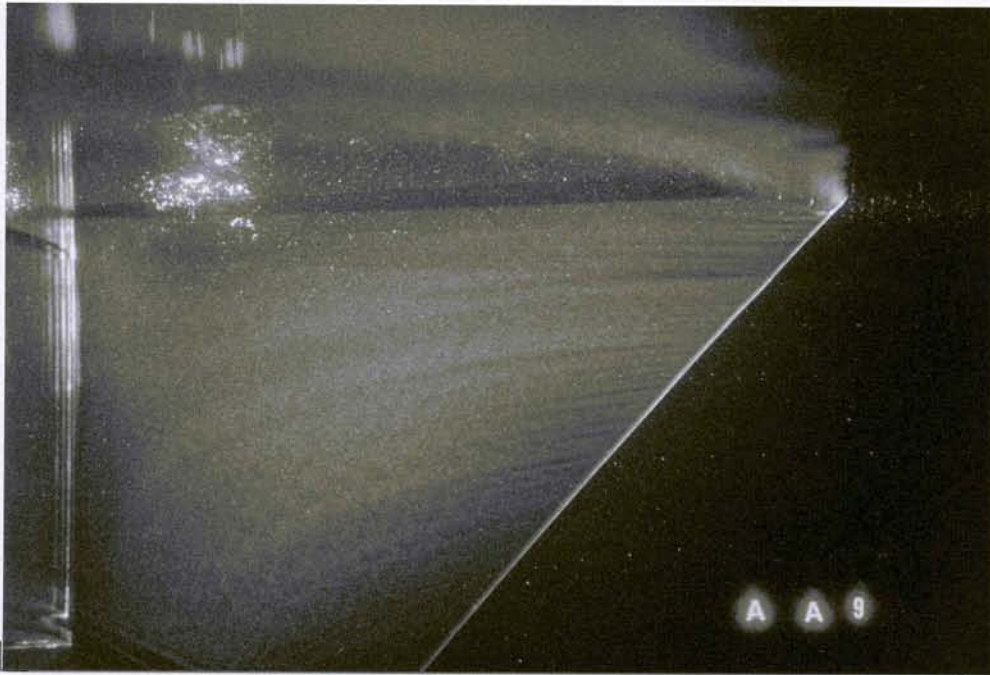


Photo 37

0.9 m/s
50 Hz

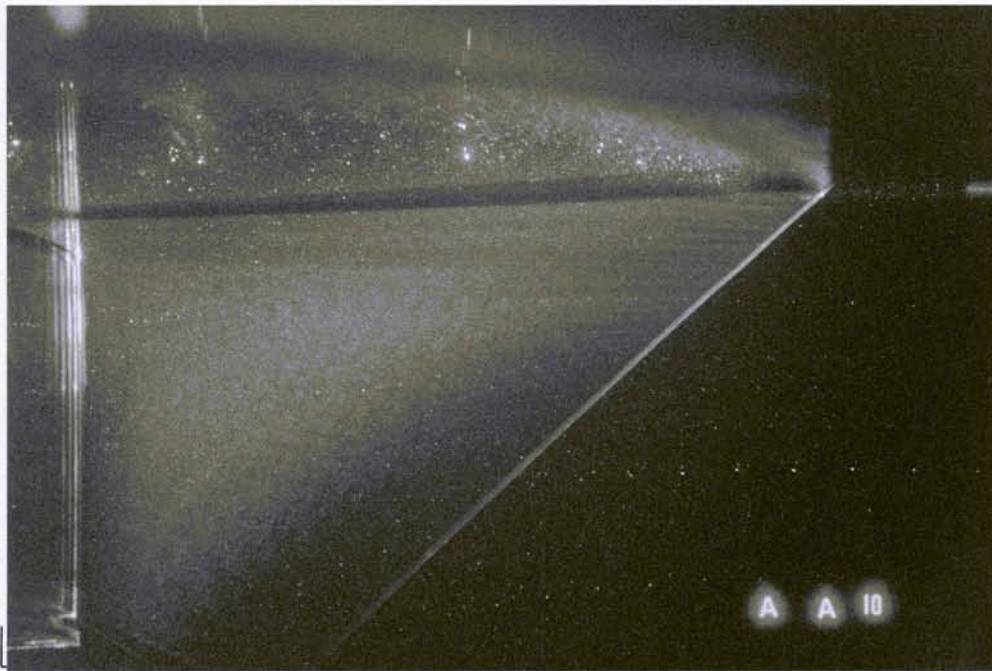


Photo 38

1.0 m/s
50 Hz

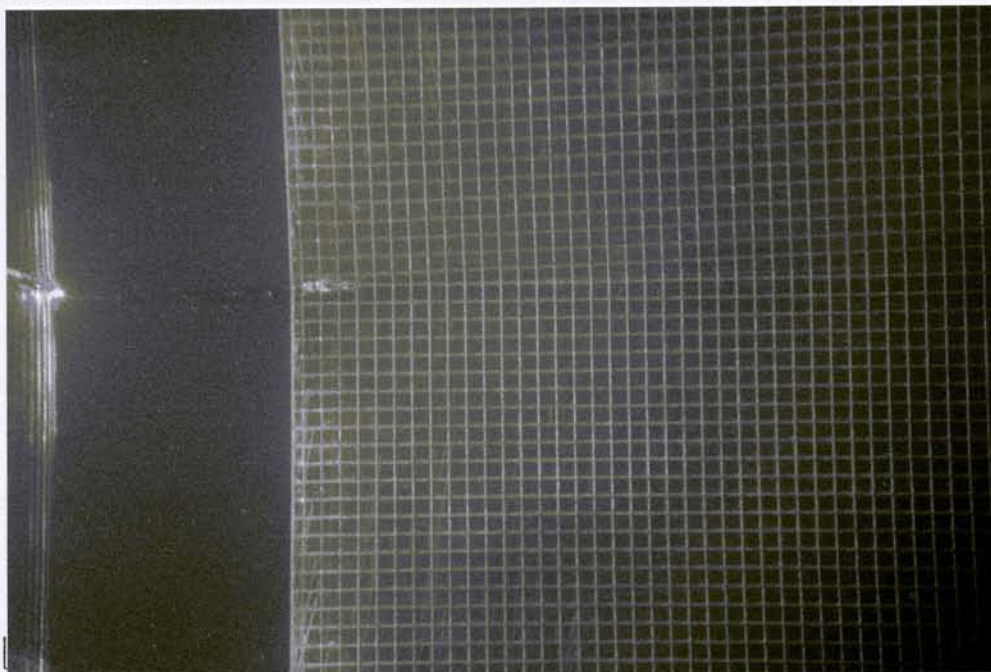


Photo 39

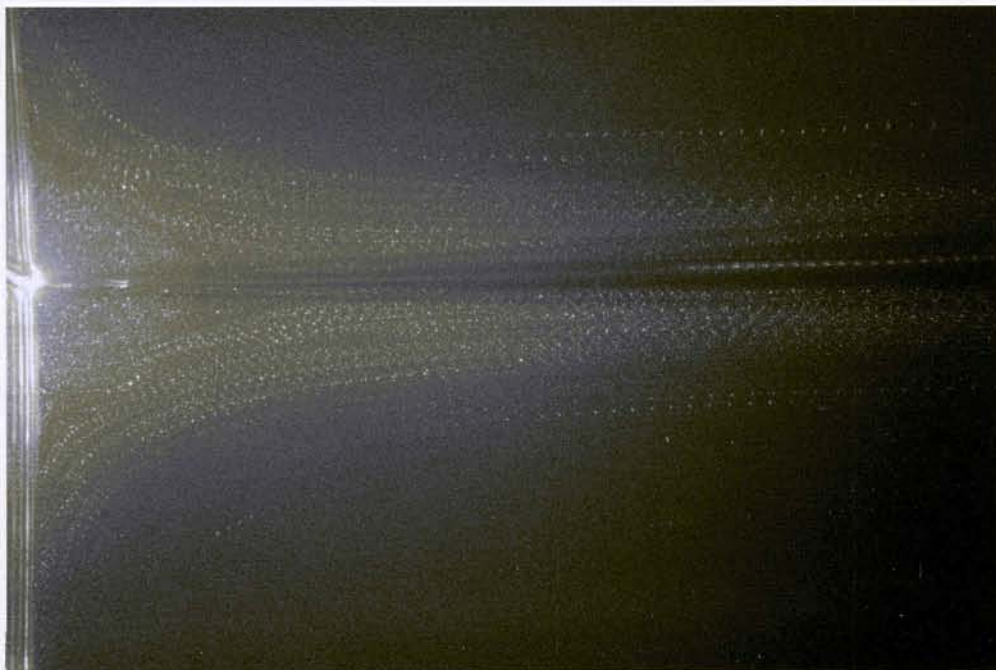


Photo 40

UO:
0.1 m/s

F:
20 Hz



Photo 41

0.2 m/s
20 Hz



Photo 45

0.6 m/s
40 Hz

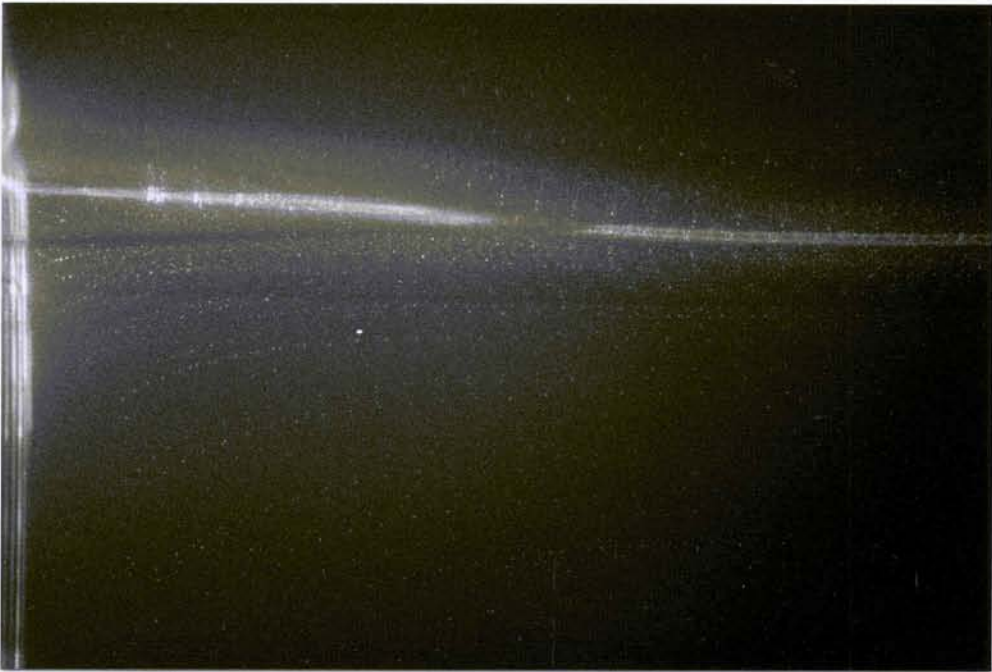


Photo 46

0.7 m/s
50 Hz

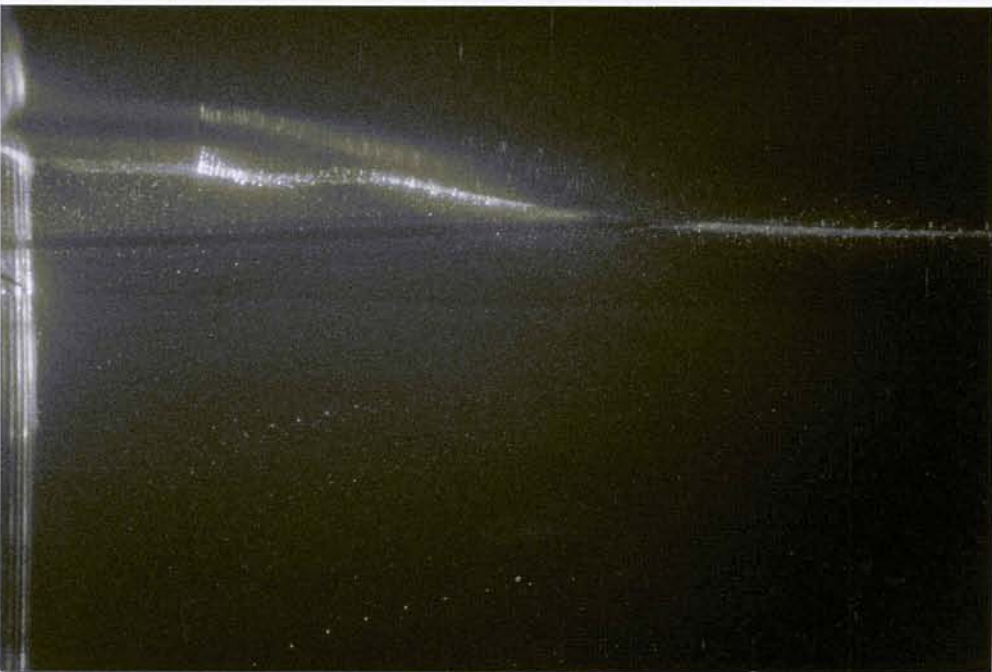


Photo 47

0.8 m/s
50 Hz



Photo 48

0.9 m/s
50 Hz



Photo 49

1.0 m/s
50 Hz

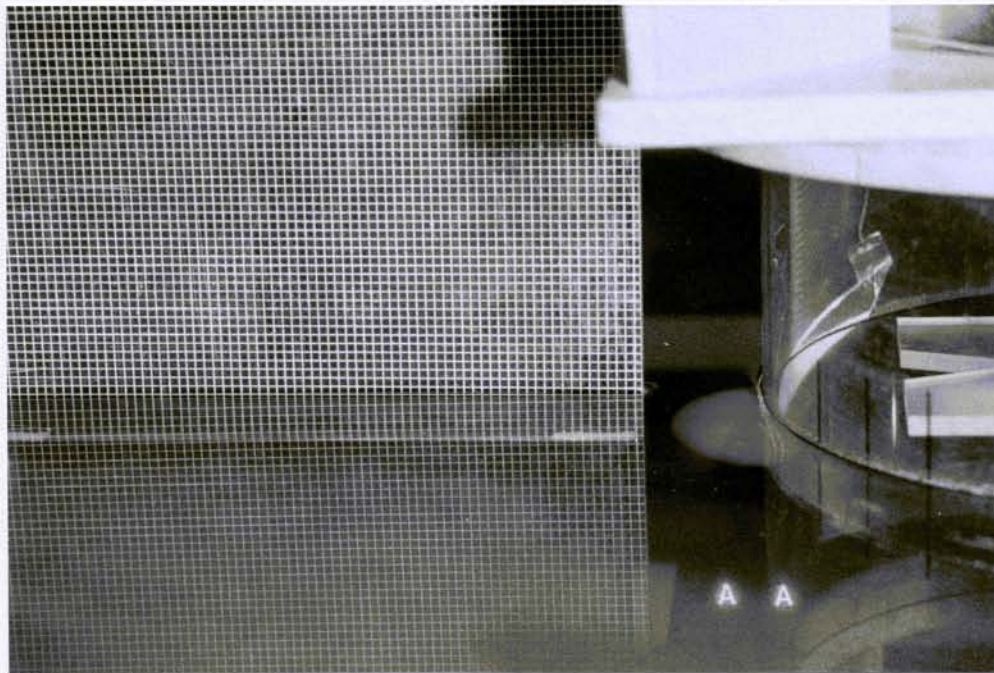


Photo 50

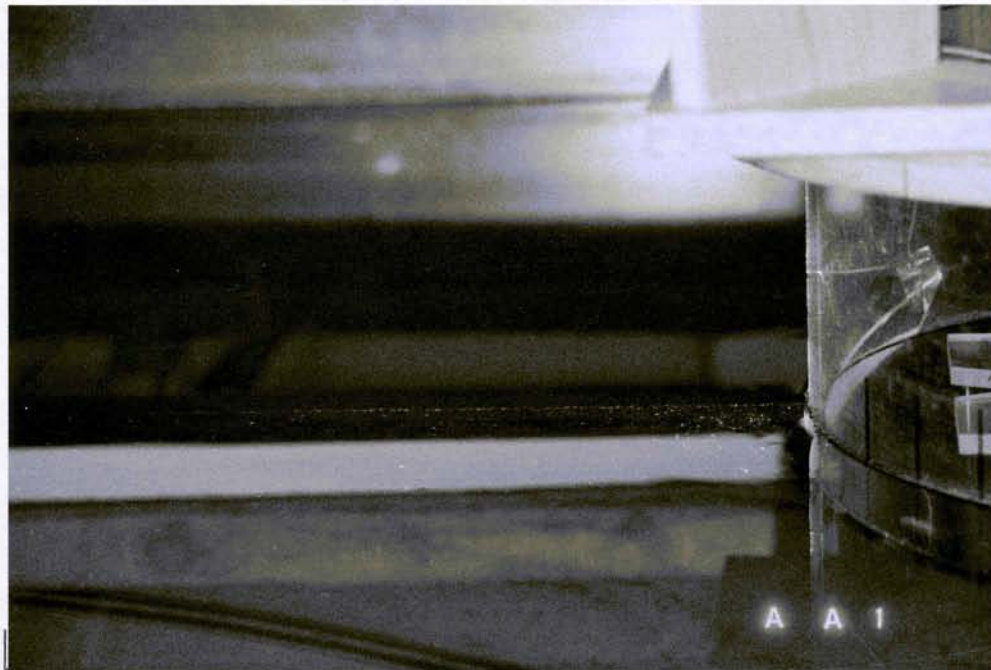


Photo 51

U0:
0.1 m/s

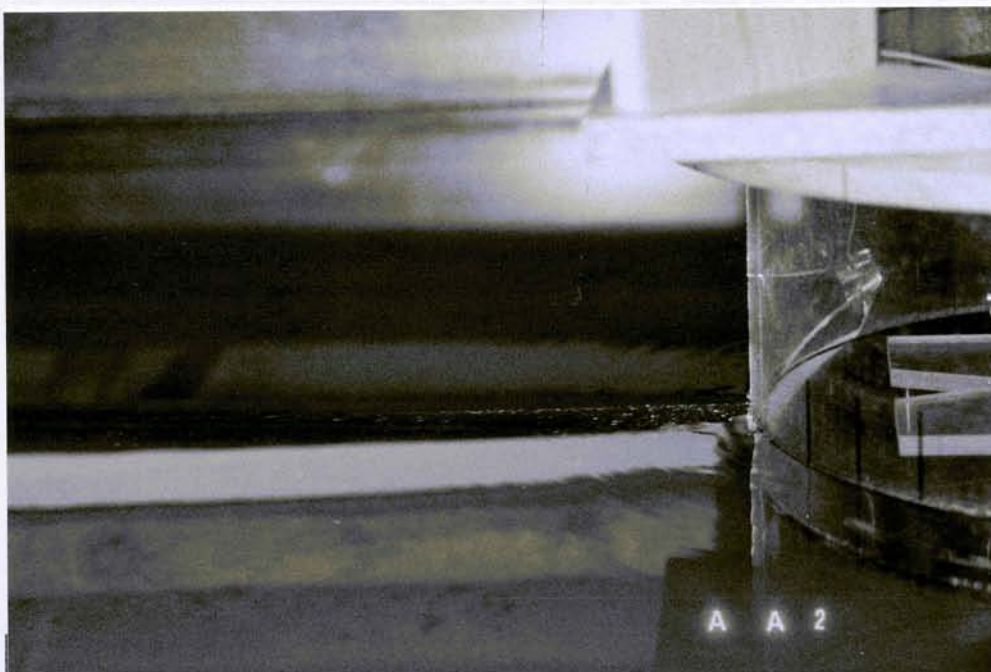


Photo 52

0.2 m/s

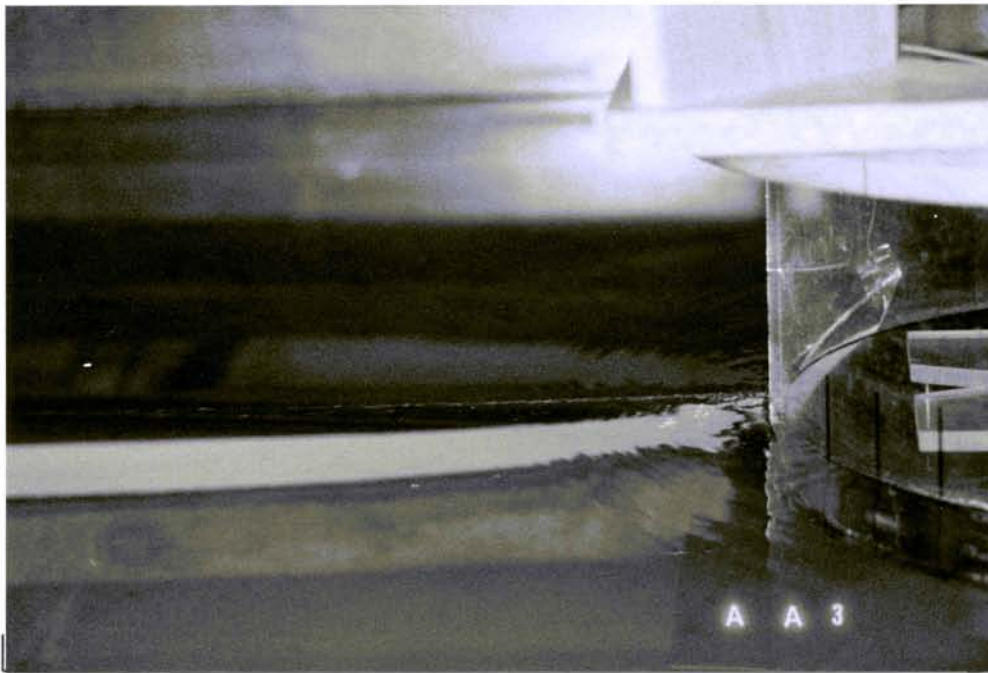


Photo 53

0.3 m/s



Photo 54

0.4 m/s

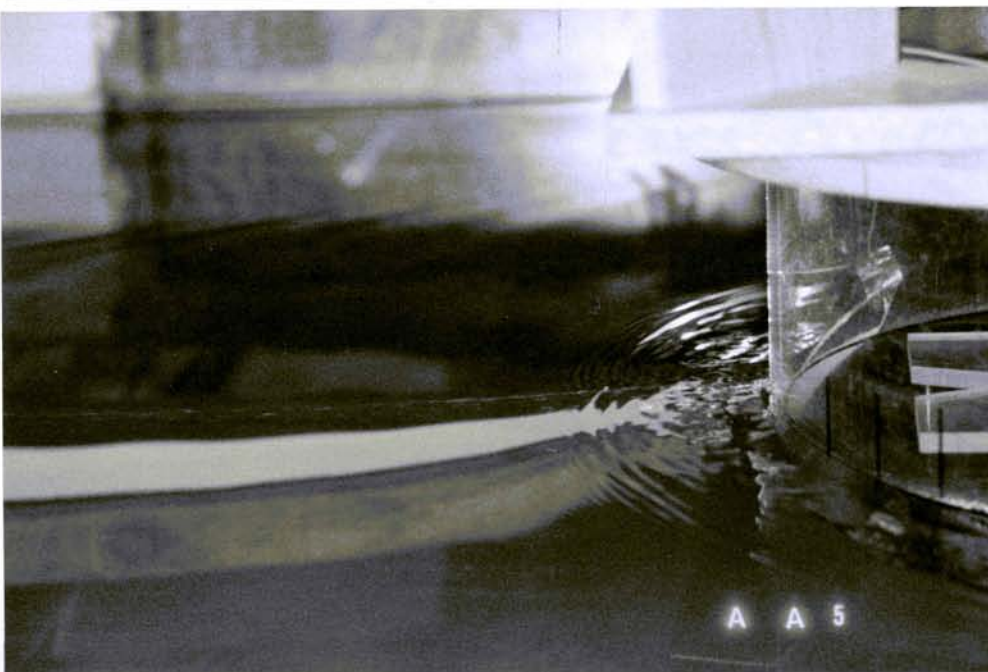


Photo 55

0.5 m/s



Photo 59

0.9 m/s



Photo 60

1.0 m/s

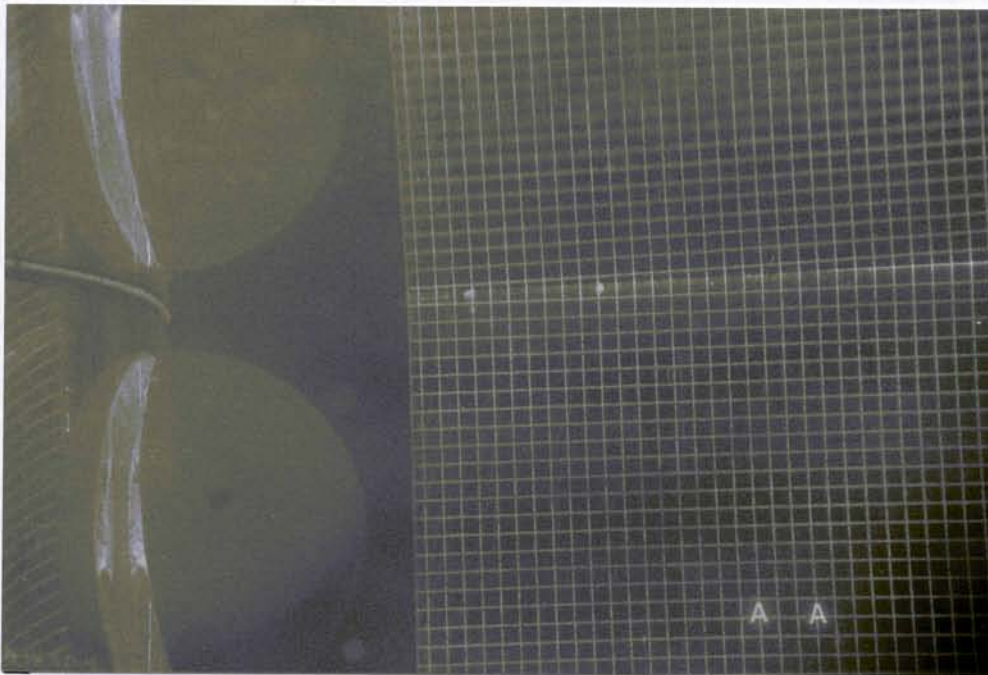


Photo 61

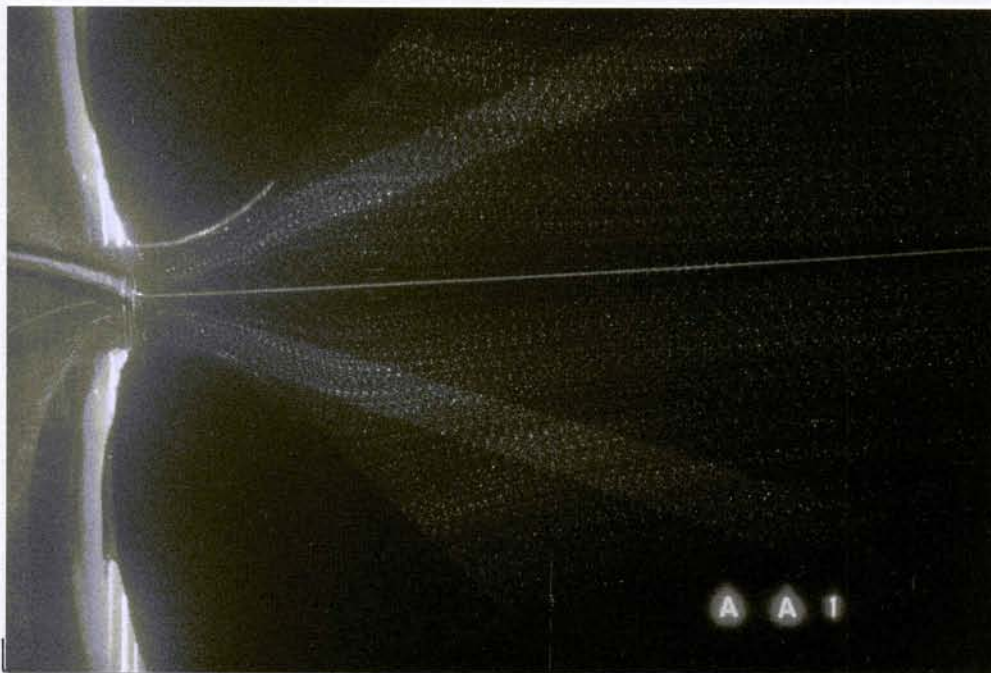


Photo 62

UO:
0.1 m/s

F:
20 Hz

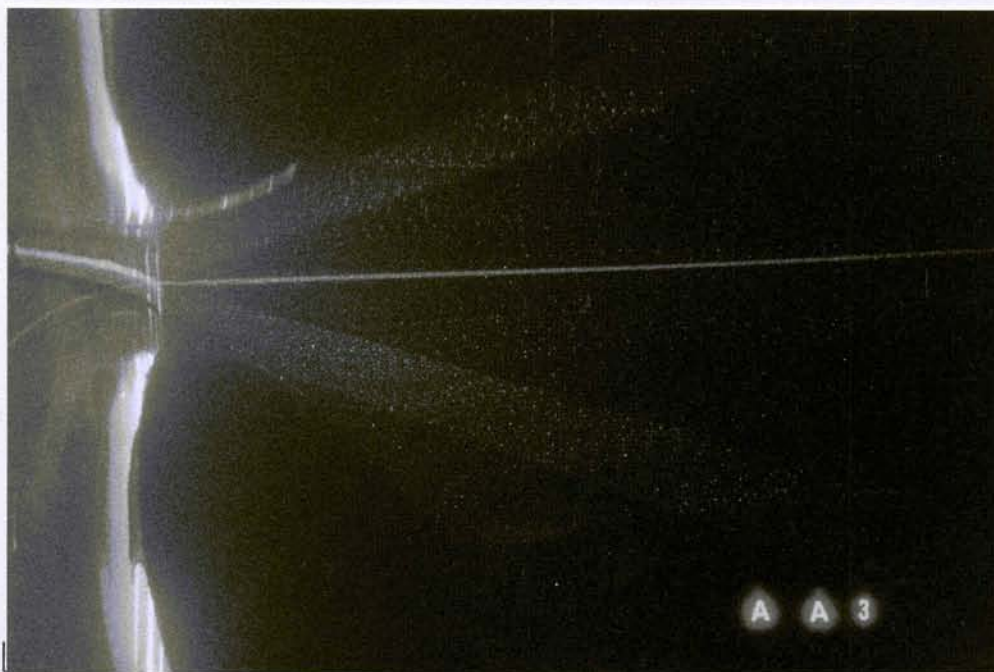


Photo 63

0.3 m/s
30 Hz

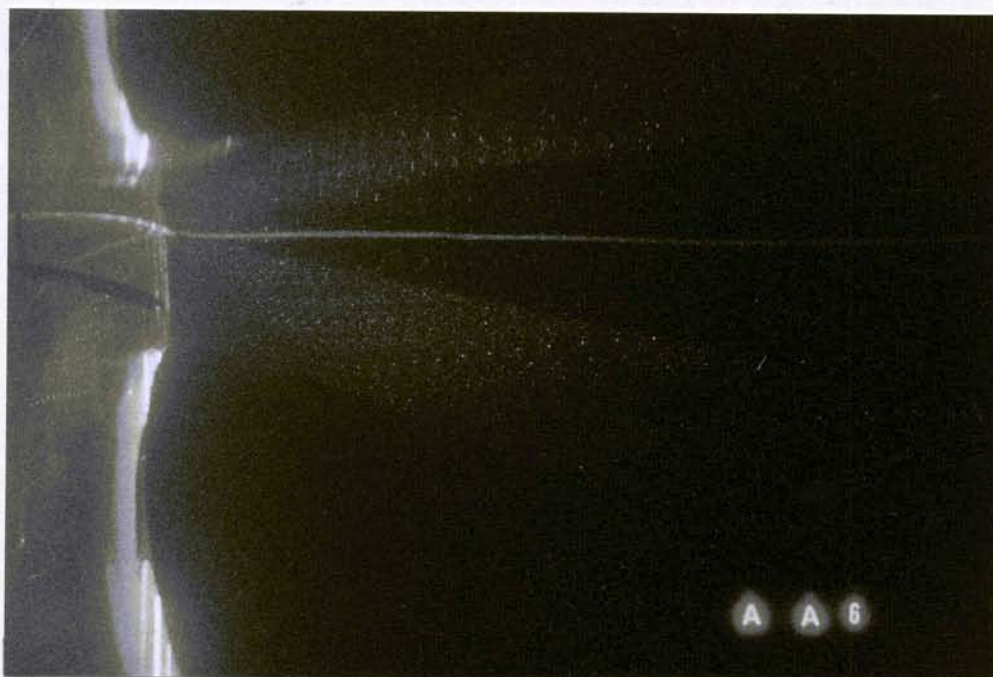


Photo 64

0.6 m/s
40 Hz



Photo 65

0.8 m/s
50 Hz

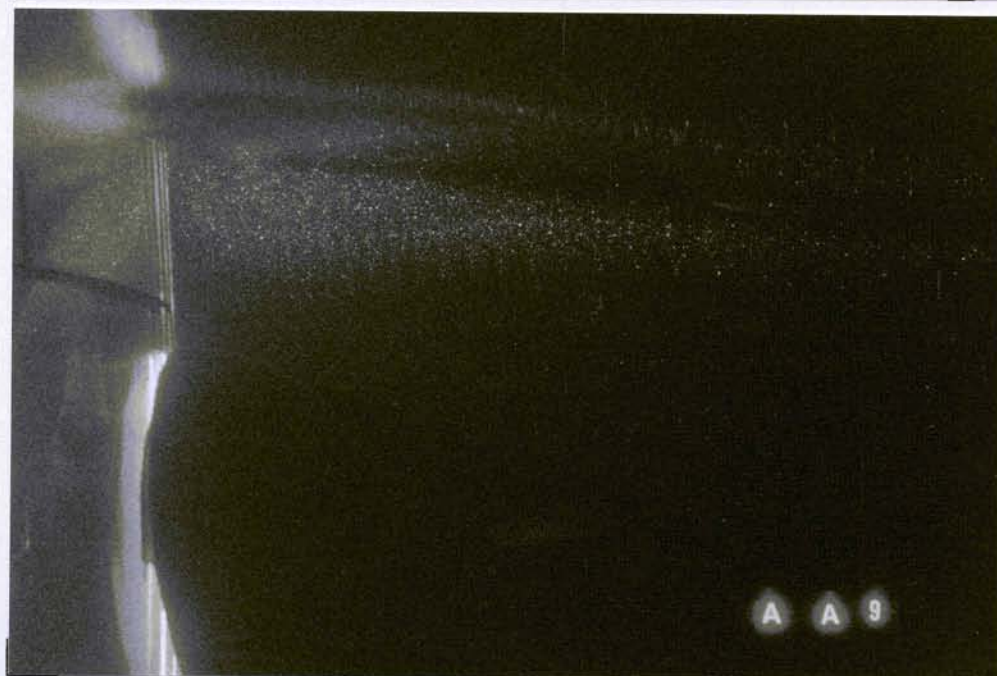


Photo 66

0.9 m/s
50 Hz



Photo 67

1.0 m/s

50 Hz

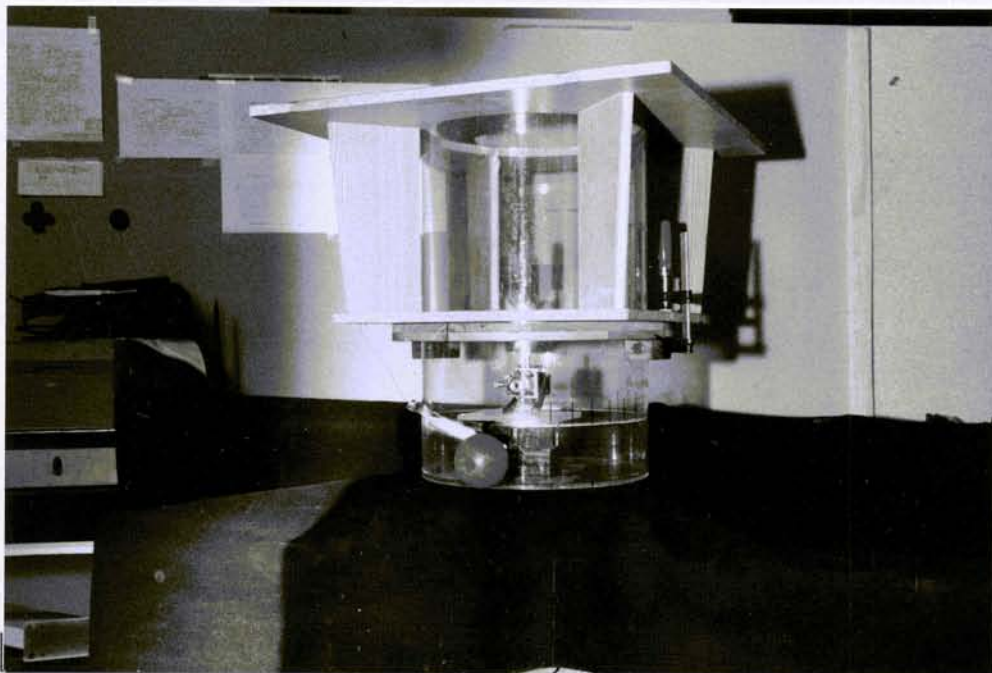


Photo 68

Der Vertikal-Zylinder mit dem Wulst

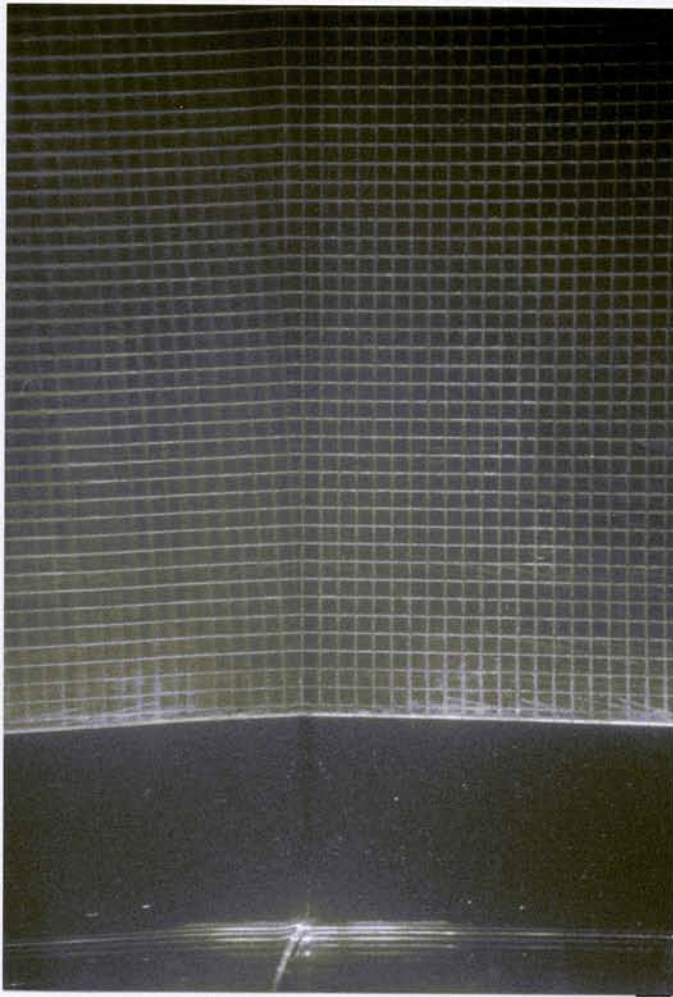


Photo 69 Meßgitter-Aufnahme
(Gitterkonstante: 5 mm)

SPIRITUS-VERSUCH

- ohne Spiritus -



Photo
70

UO:
0.1 m/s

- mit Spiritus -

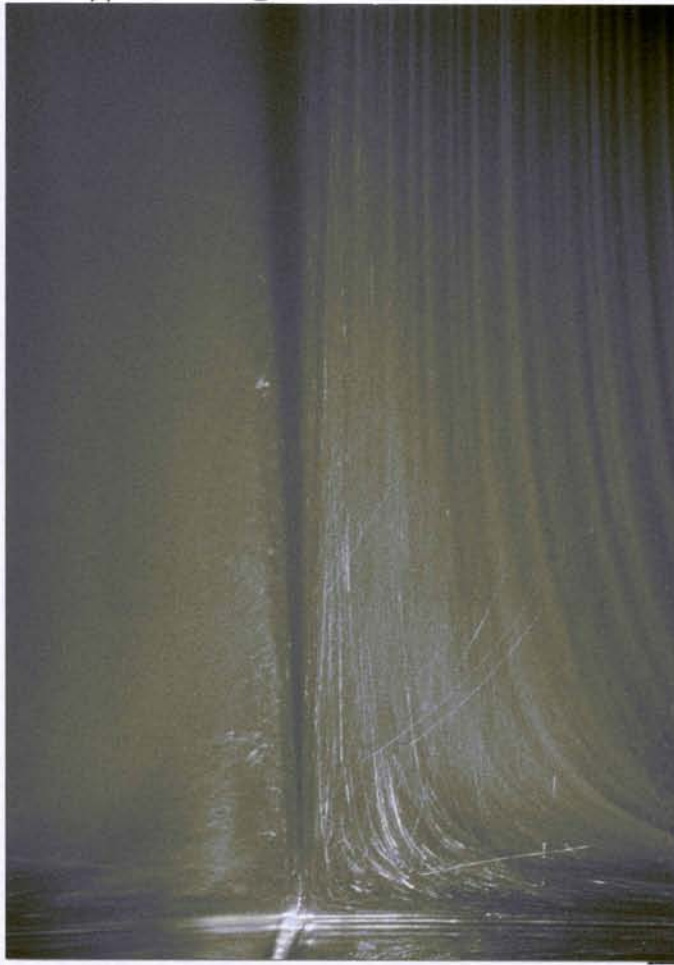


Photo
71

0.1 m/s



Photo
72

0.1 m/s



Photo
73

0.1 m/s

- mit Spiritus -



Photo
75

0.2 m/s

- ohne Spiritus -



Photo
74

0.2 m/s



Photo
77

0.3 m/s



Photo
76

0.3 m/s

- mit Spiritus -



Photo
78

0.4 m/s



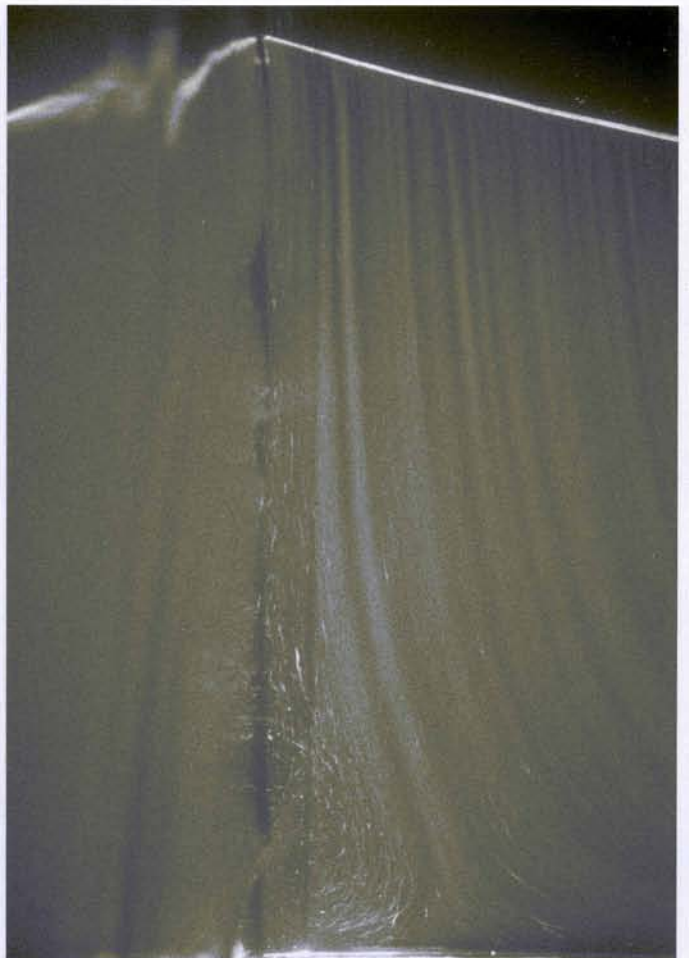
Photo
81

0.5 m/s



Photo
80

0.5 m/s



- mit Spiritus -

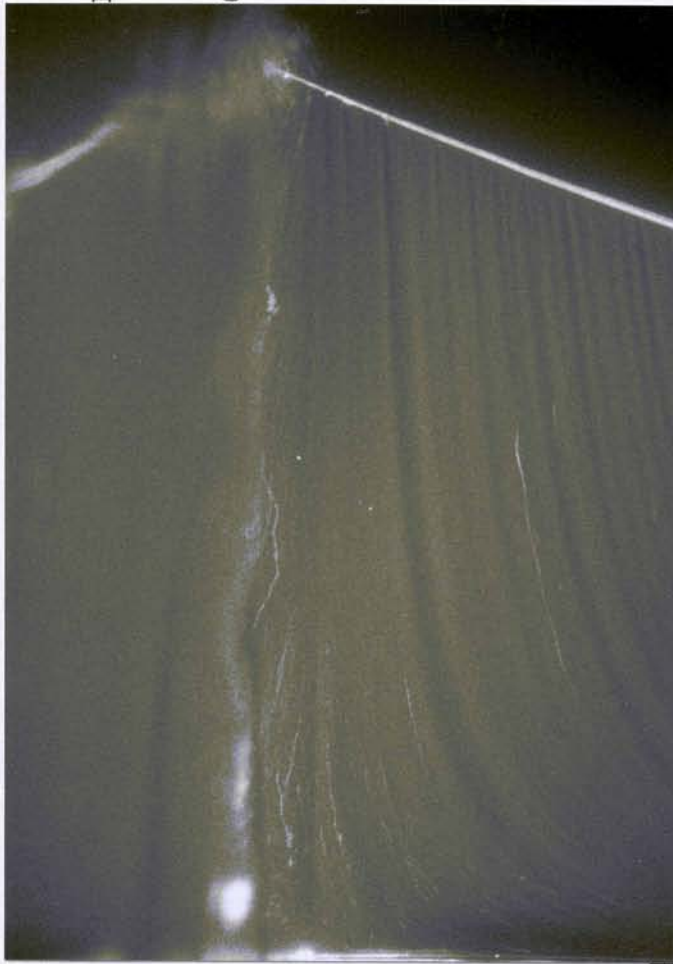


Photo
82

0.6 m/s



- ohne Spiritus -

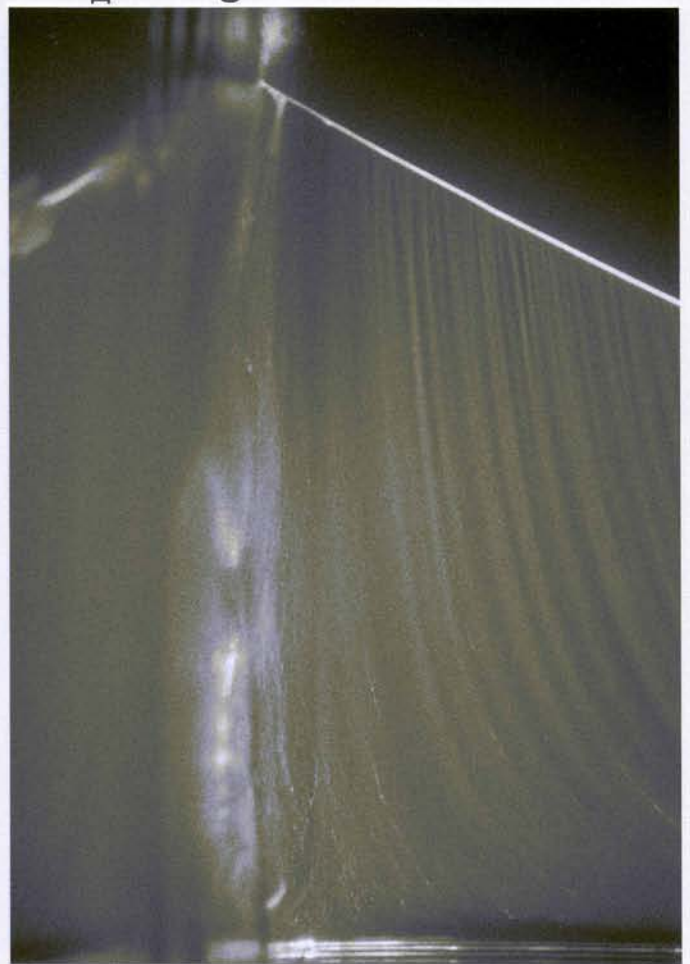


Photo
84

0.7 m/s

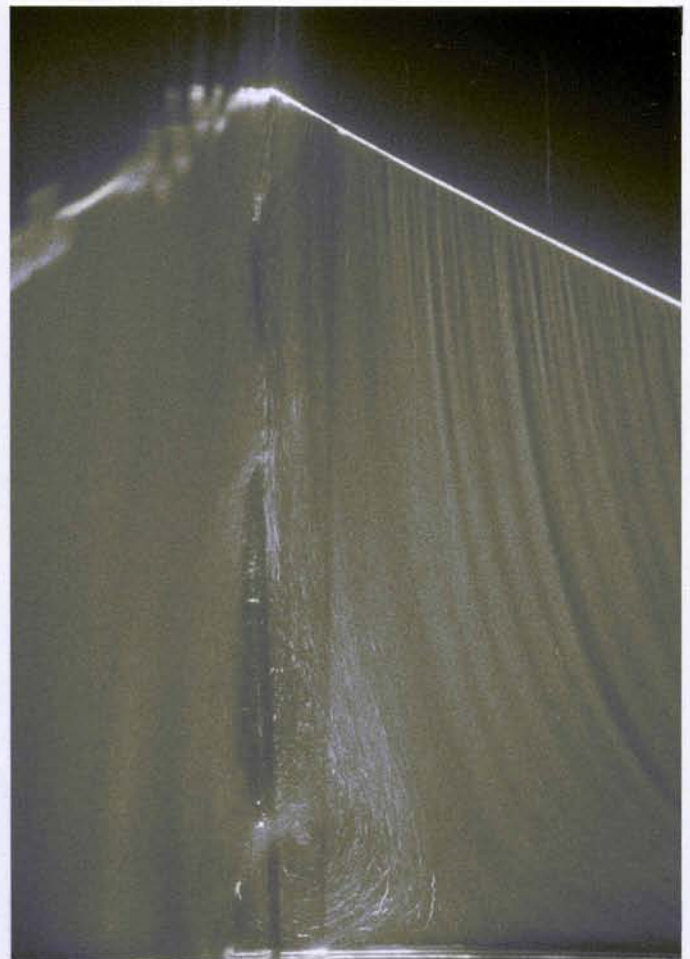


Photo
83

0.6 m/s

Photo
85

0.7 m/s

- mit Spiritus -

Photo
87

0.8 m/s

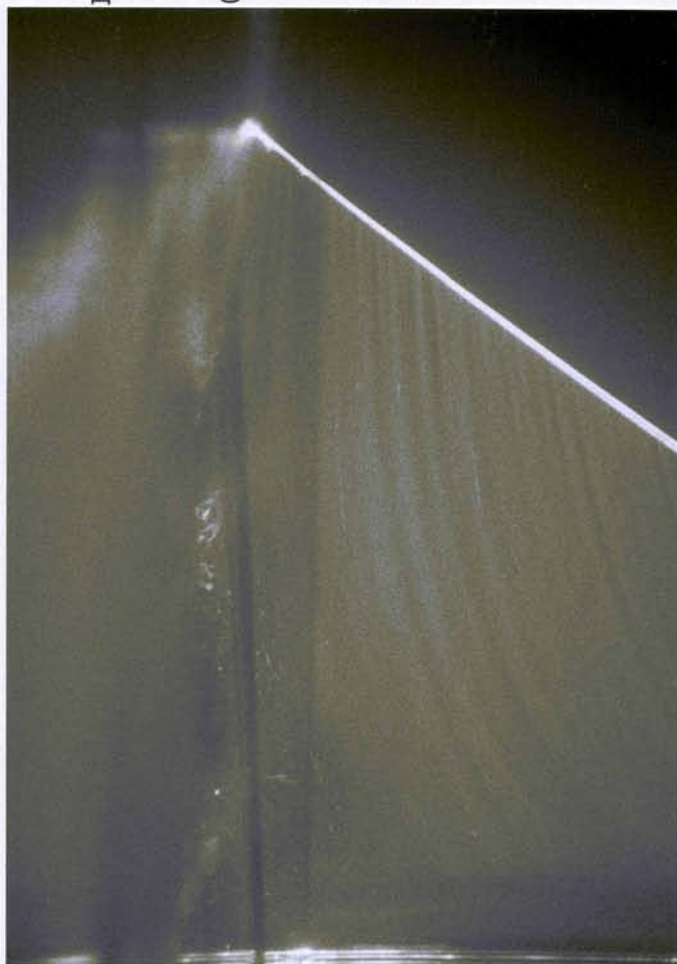
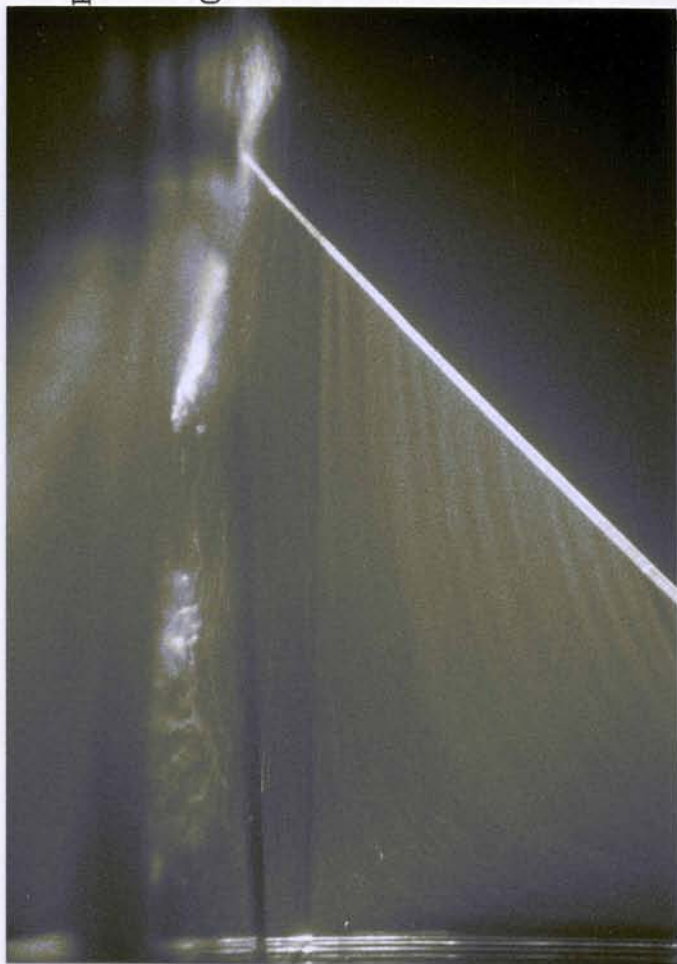


Photo
89

0.9 m/s



- ohne Spiritus -

Photo
86

0.8 m/s

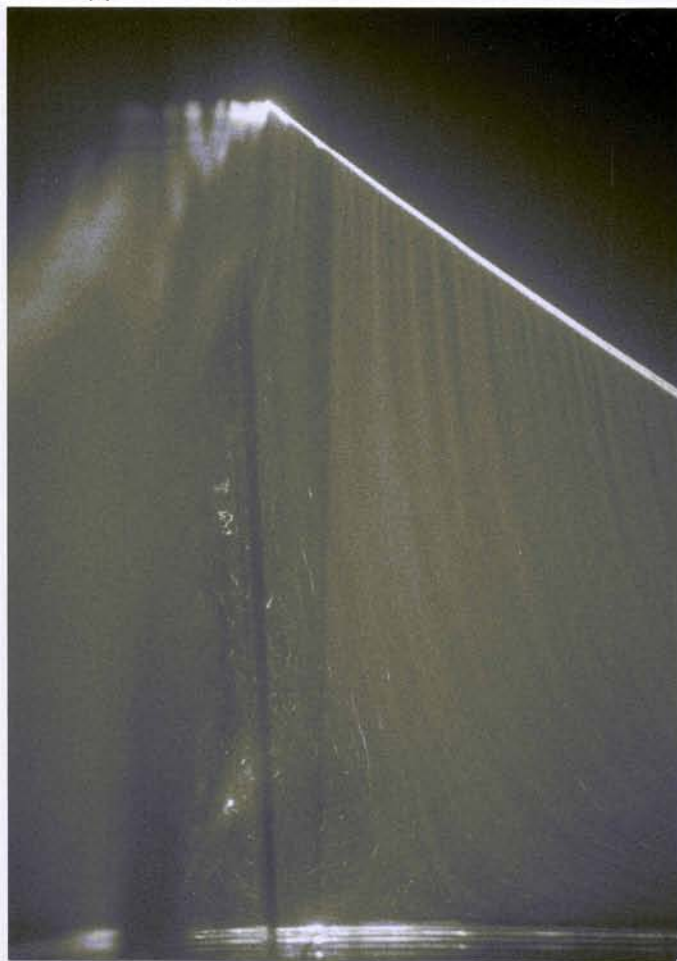


Photo
88

0.9 m/s



- mit Spiritus -

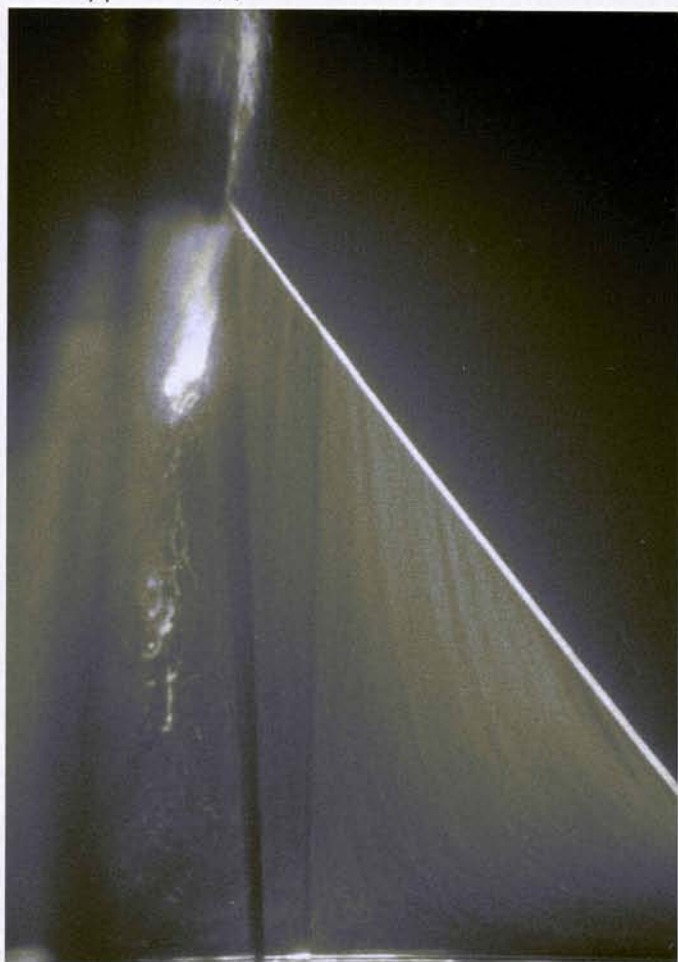
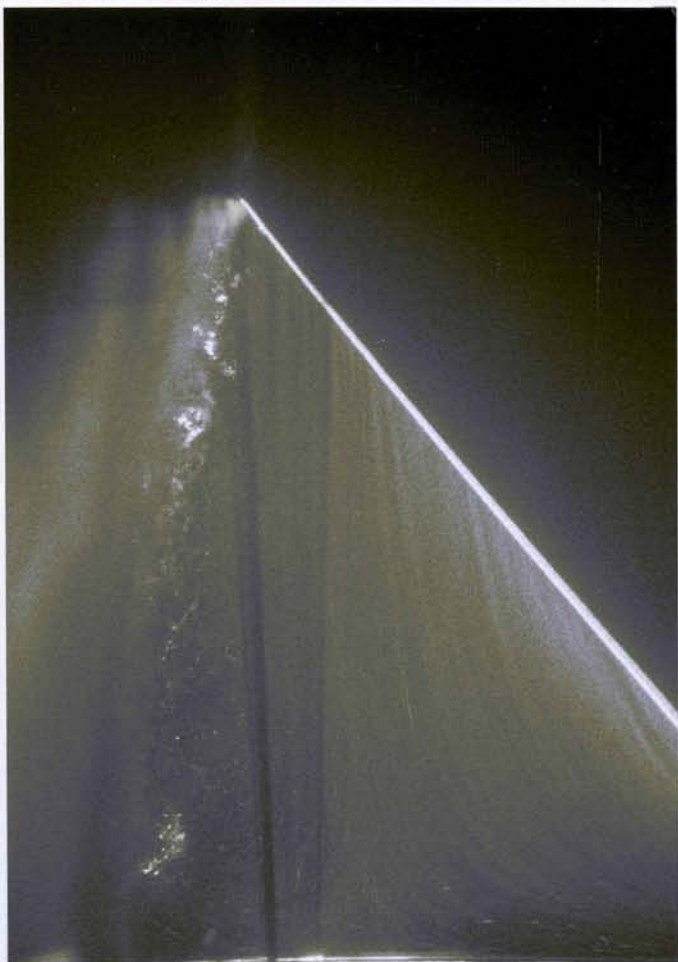


Photo
90

1.0 m/s



- ohne Spiritus -

Photo
91

1.0 m/s

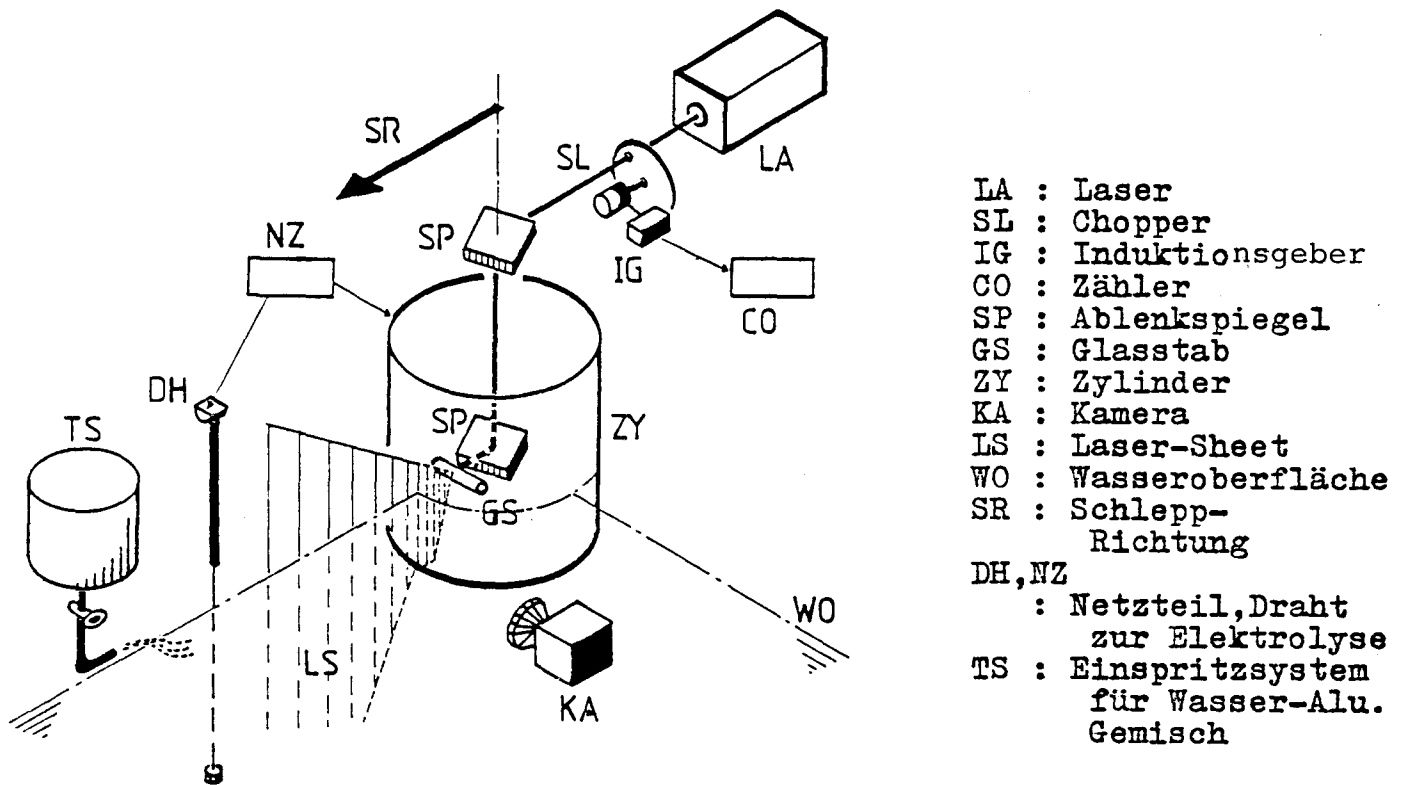


Abb 1 Gesamte Anordnung zur Sichtbarmachung
 Siehe auch Photo 3 auf Seite 13

Horizontal-Zylinder (aus den stroboskopischen Aufnahmen)

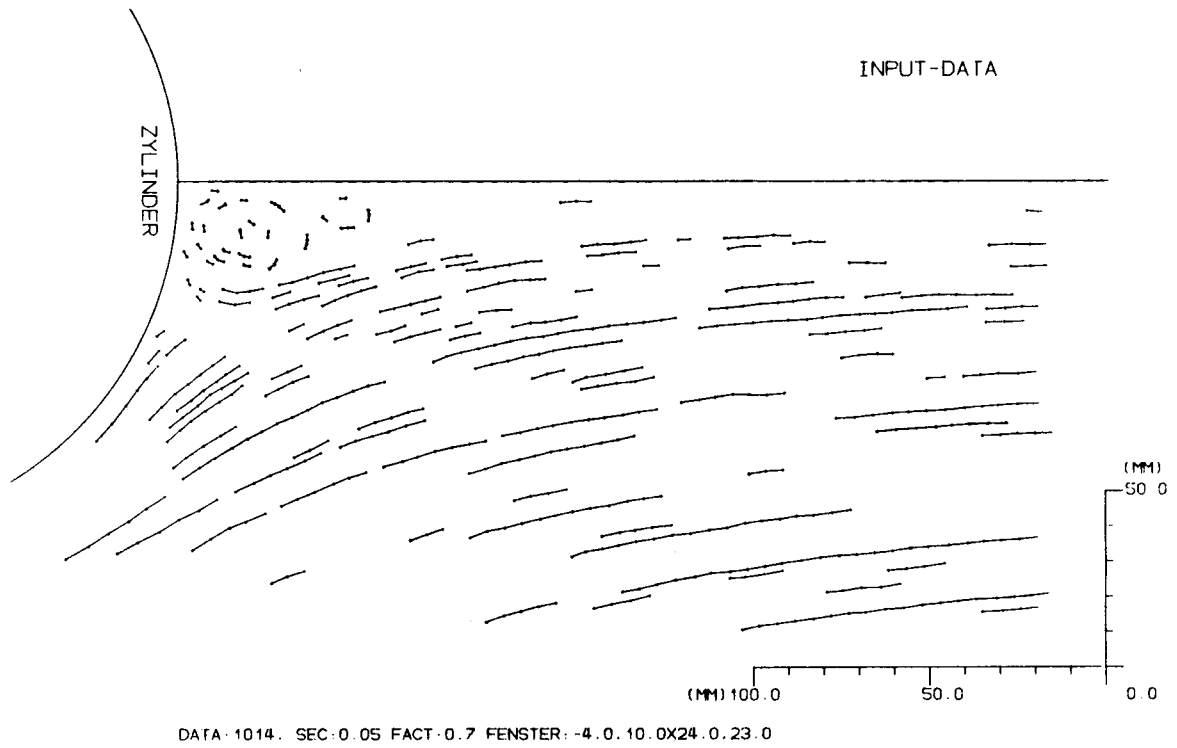


Abb.2 Eingabedaten

$U_0 : 0.1 \text{ m/s}$

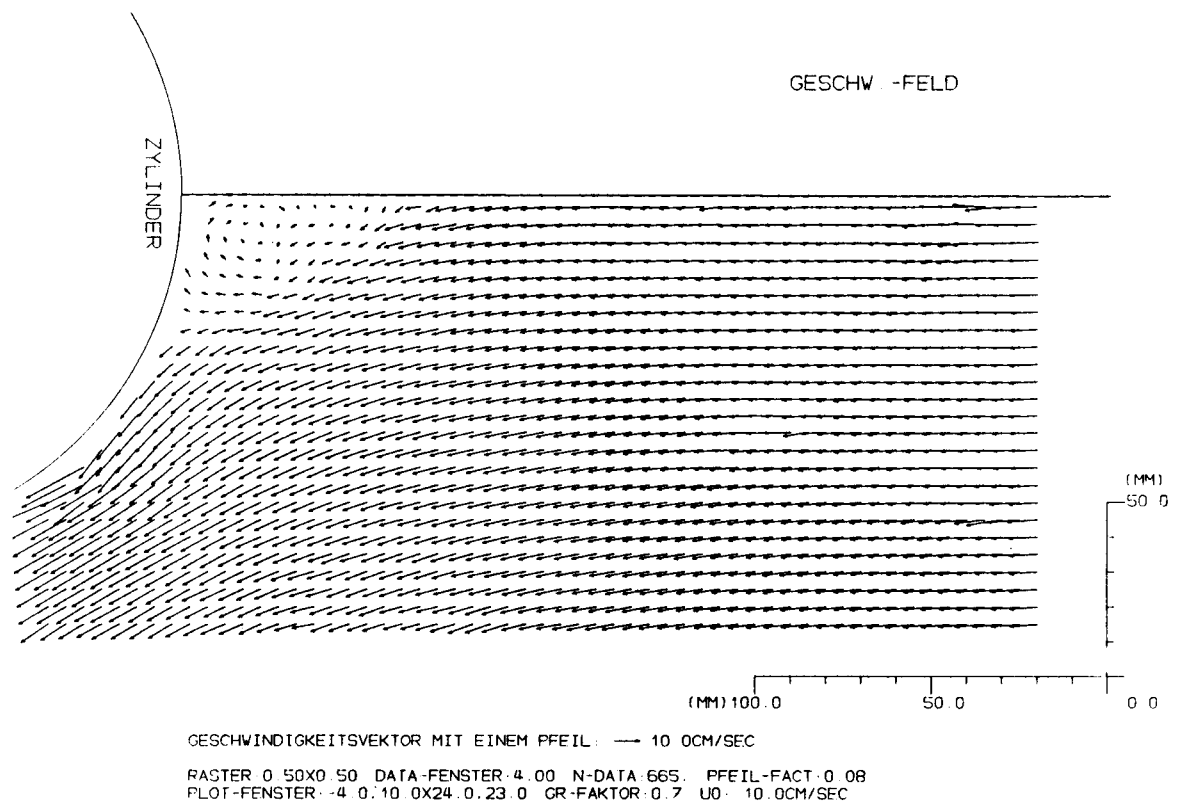


Abb.3 Geschwindigkeitsfeld

$U_0 : 0.1 \text{ m/s}$

APROX



DATA:1014 SEC:0.05 FACT:0.0 FENSTER:-4.0.10.0X24.0.23.0

Abb.4 Eingabedaten nach der Ausgleichung

U0 : 0.1 m/s

MOM. GESCHW.



GESCHWINDIGKEITSVEKTOR MIT EINEM PFEIL: — 10.0CM/SEC

DATA:1014 SEC:0.05 FACT:0.0 Δ-FAC:0.08 FENSTER:-4.0.10.0X24.0.23.0

Abb.5 Mom.Geschwindigkeit

U0 : 0.1 m/s

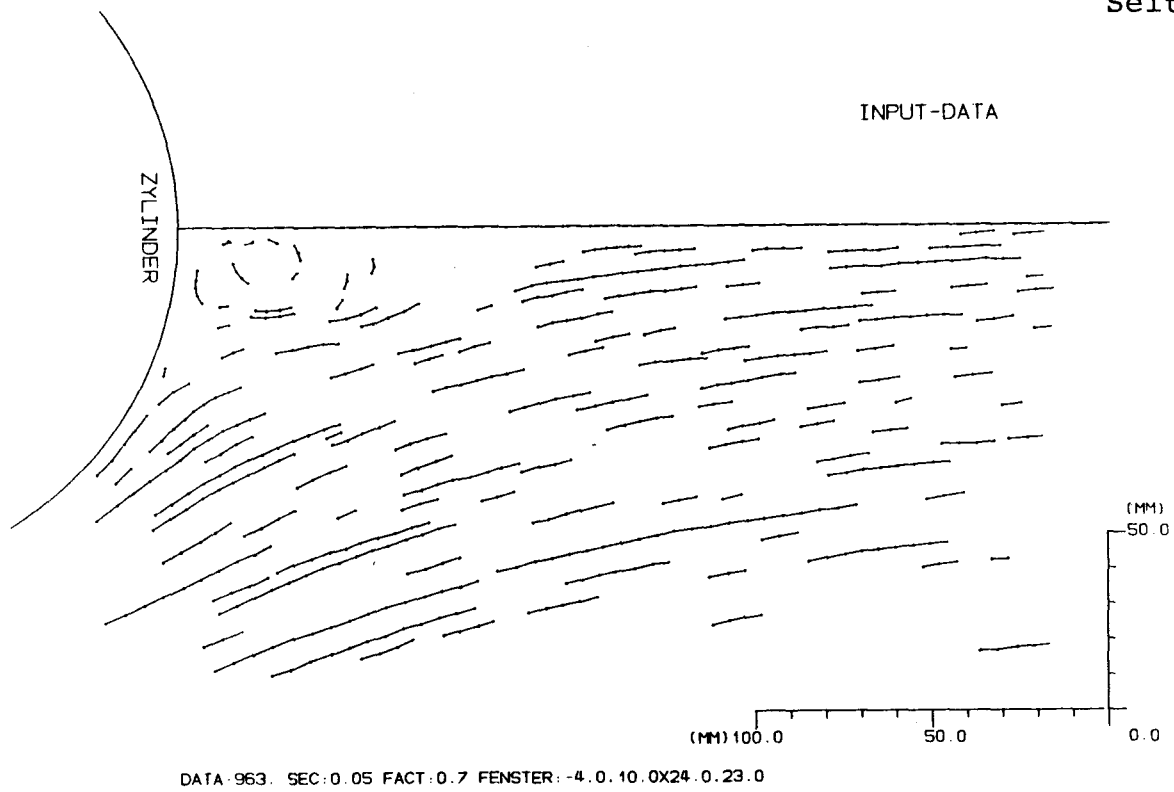


Abb. 6 Eingabedaten

$U_0 : 0.1 \text{ m/s}$

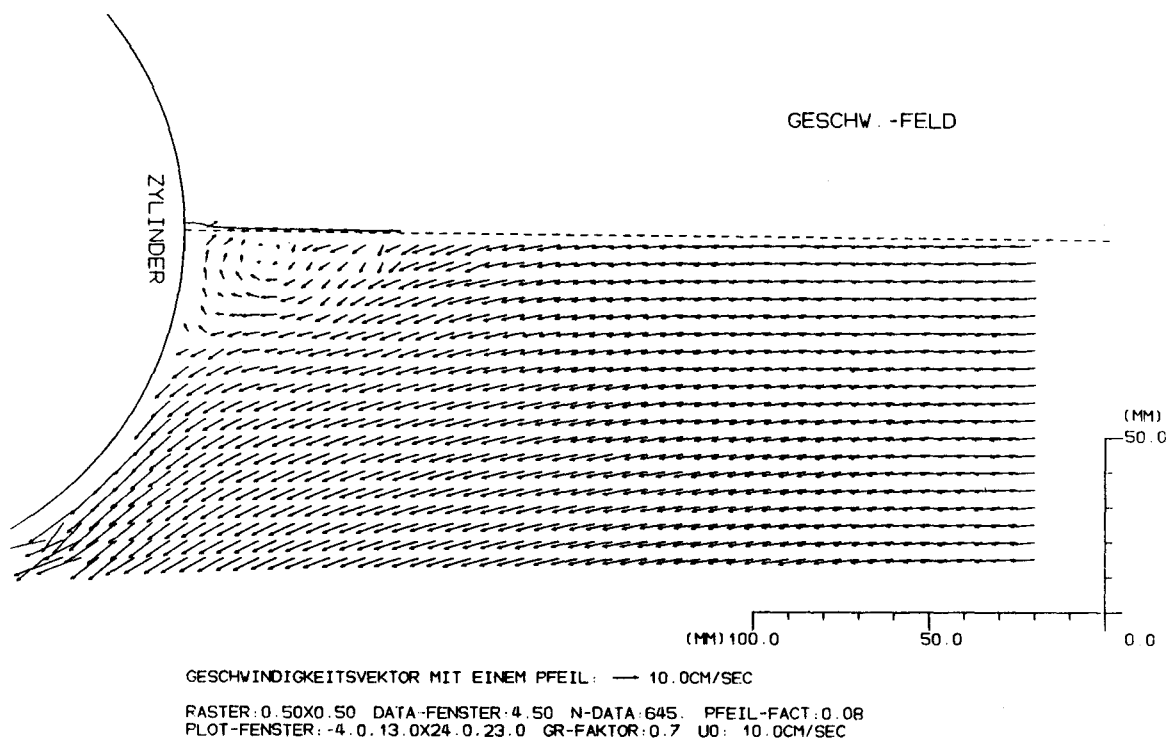


Abb. 7 Geschwindigkeitsfeld

$U_0 : 0.1 \text{ m/s}$

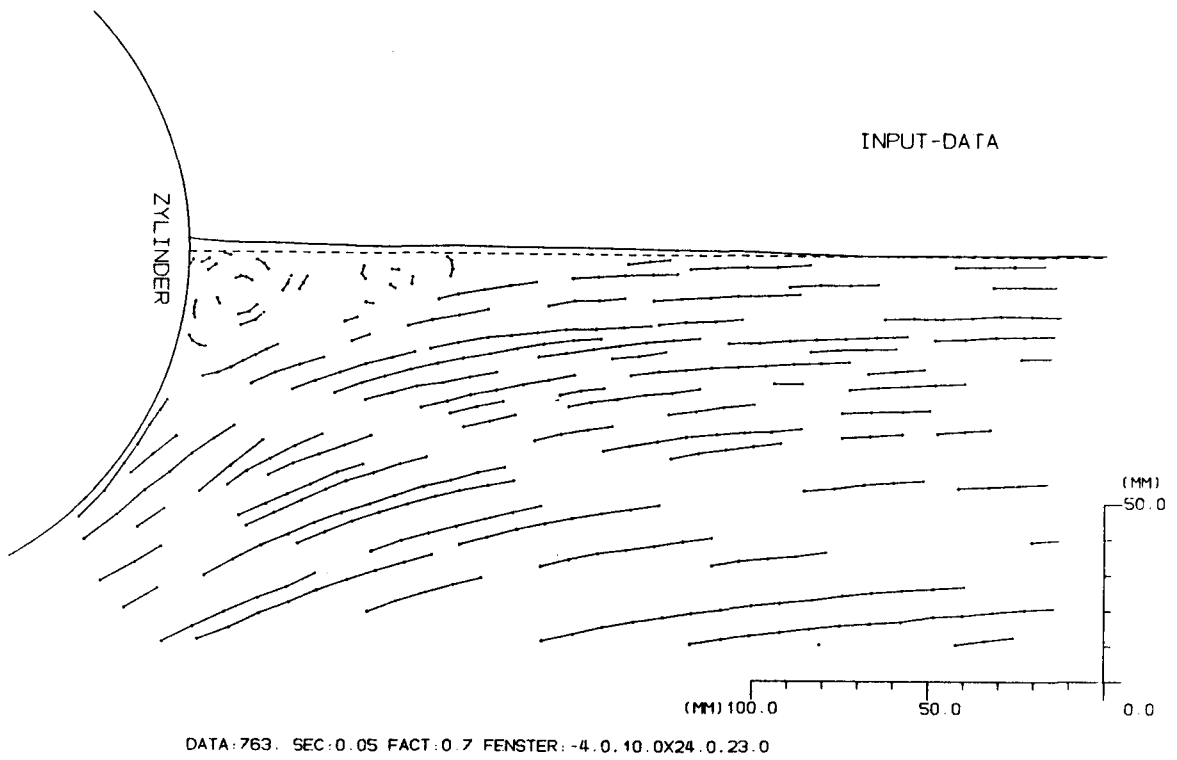


Abb.8 Eingabedaten

U0 : 0.2 m/s

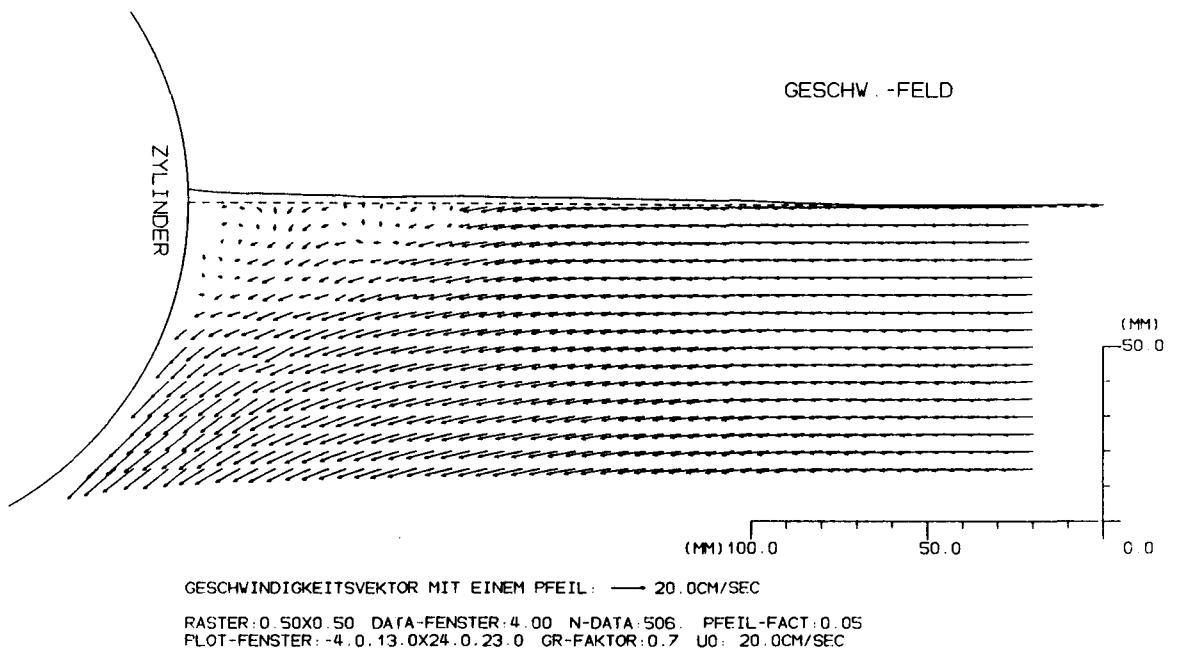


Abb.9 Geschwindigkeitsfeld

U0 : 0.2 m/s

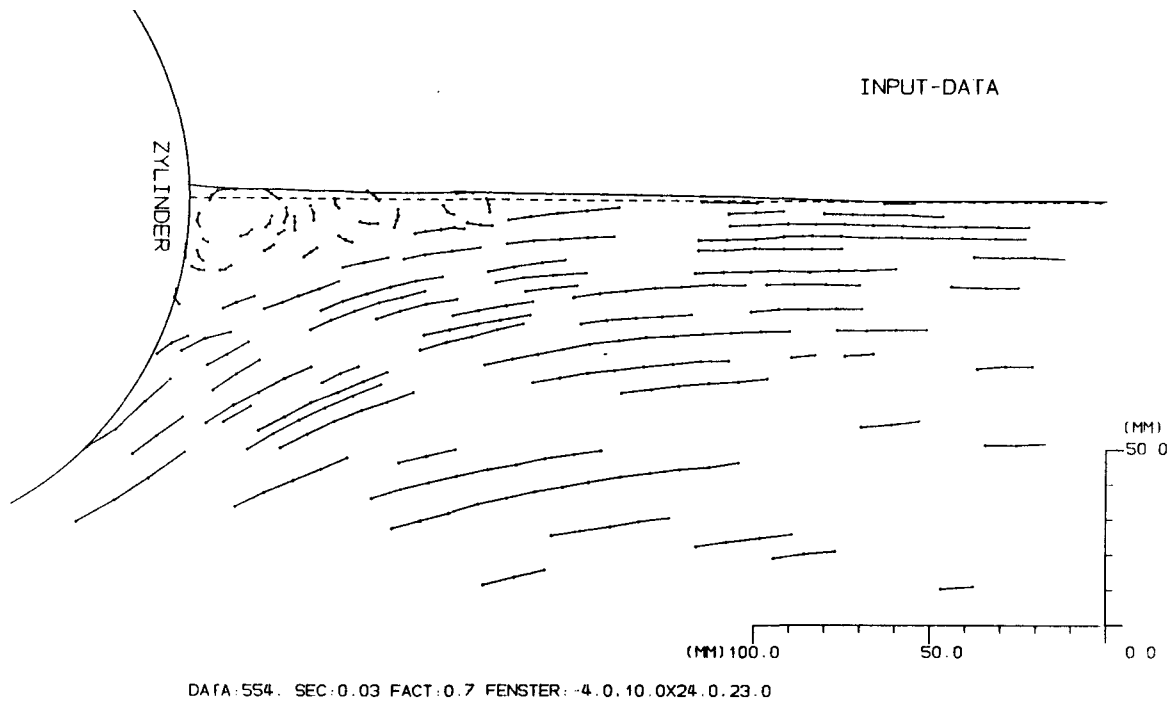


Abb.10 Eingabedaten

$U_0 : 0.3 \text{ m/s}$

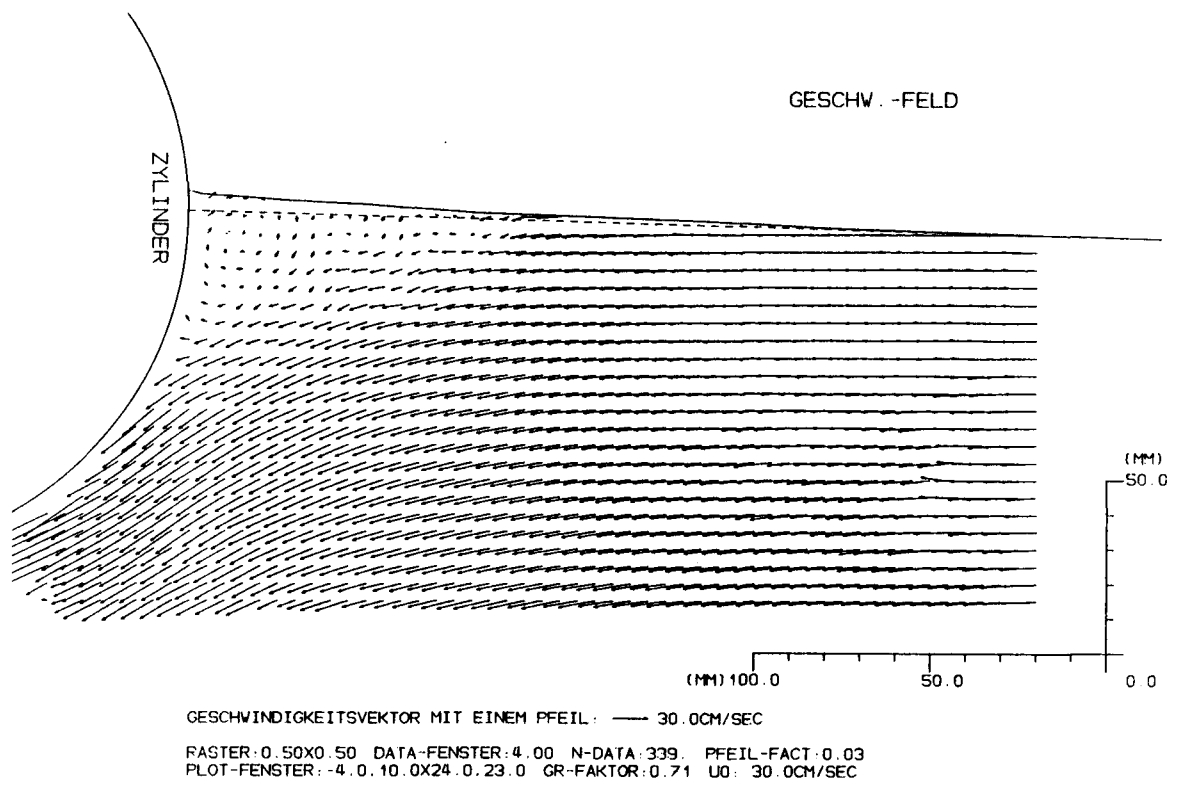


Abb.11 Geschwindigkeitsfeld

$U_0 : 0.3 \text{ m/s}$

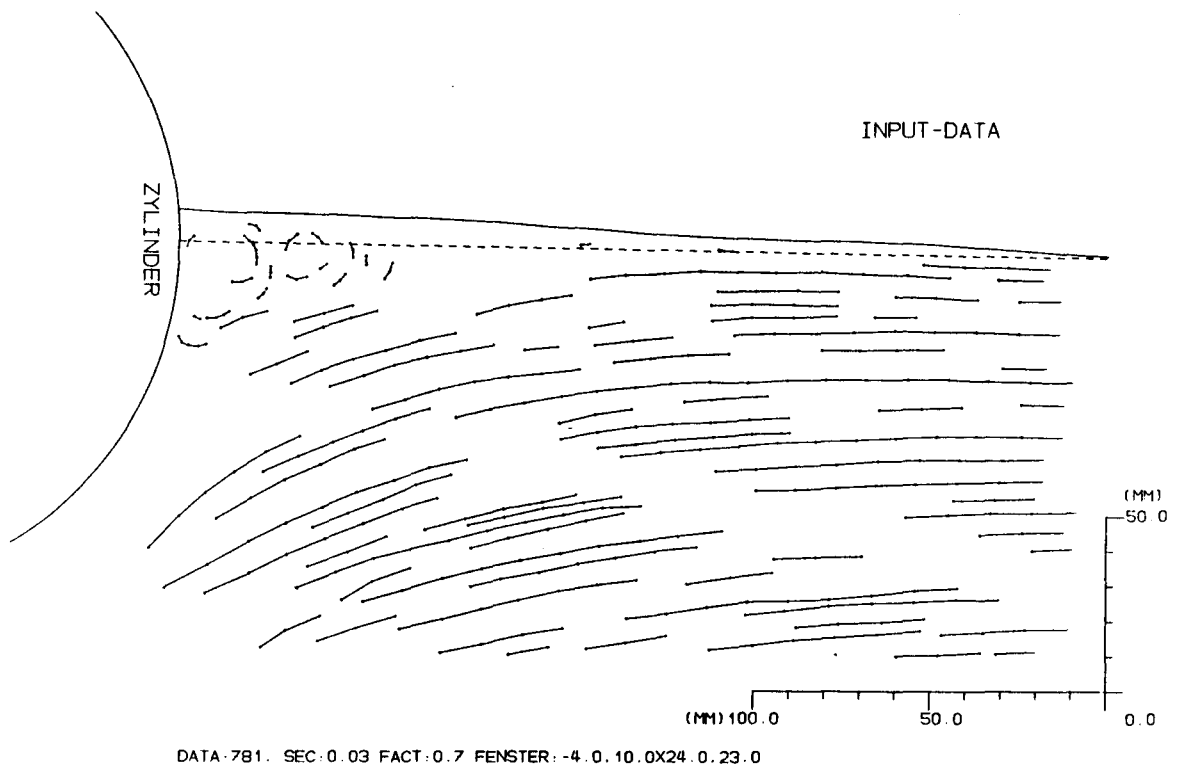


Abb.12 Eingabedaten

U0 : 0.4 m/s

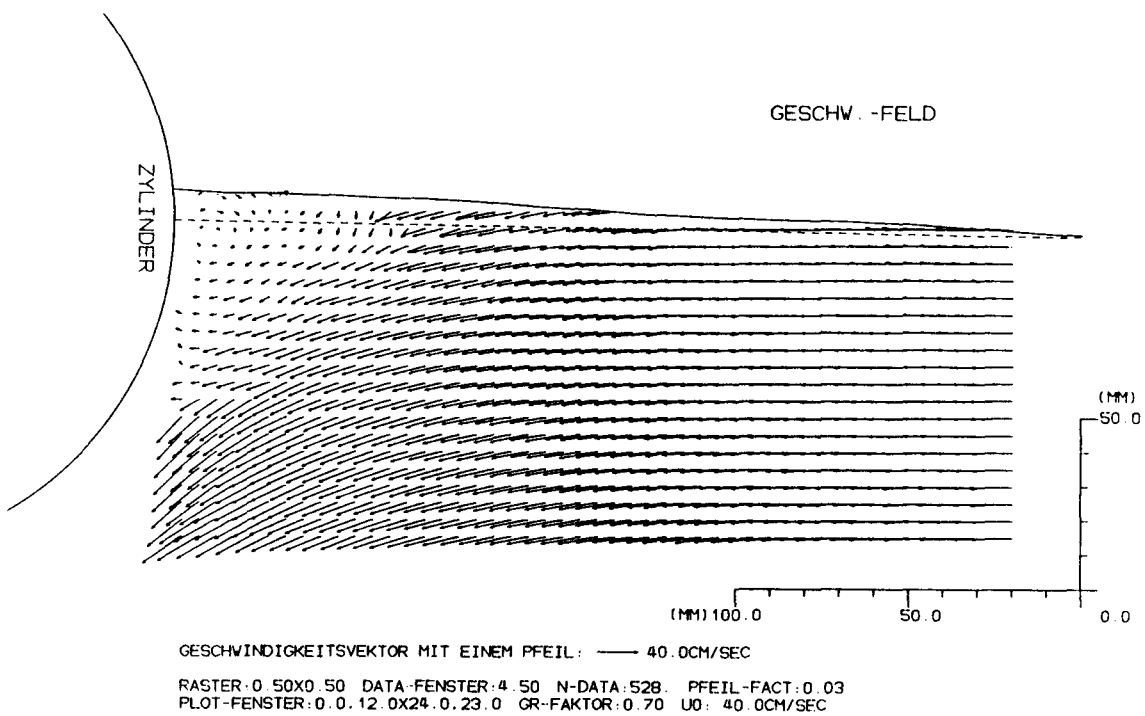


Abb.13 Geschwindigkeitsfeld

U0 : 0.4 m/s

APROX



DATA:781. SEC:0.03 FACT:0.0 FENSTER:-4.0.10.0X24.0.23.0

Abb.14 Eingabedaten nach der Ausgleichung $U_0 : 0.4 \text{ m/s}$

MOM. GESCHW.



GESCHWIGKEITSVEKTOR MIT EINEM PFEIL: — 40.0CM/SEC

DATA:781. SEC:0.03 FACT:0.0 Δ-FAC:0.03 FENSTER:-4.0.10.0X24.0.23.0

Abb.15 Mom.Geschwindigkeit

$U_0 : 0.4 \text{ m/s}$

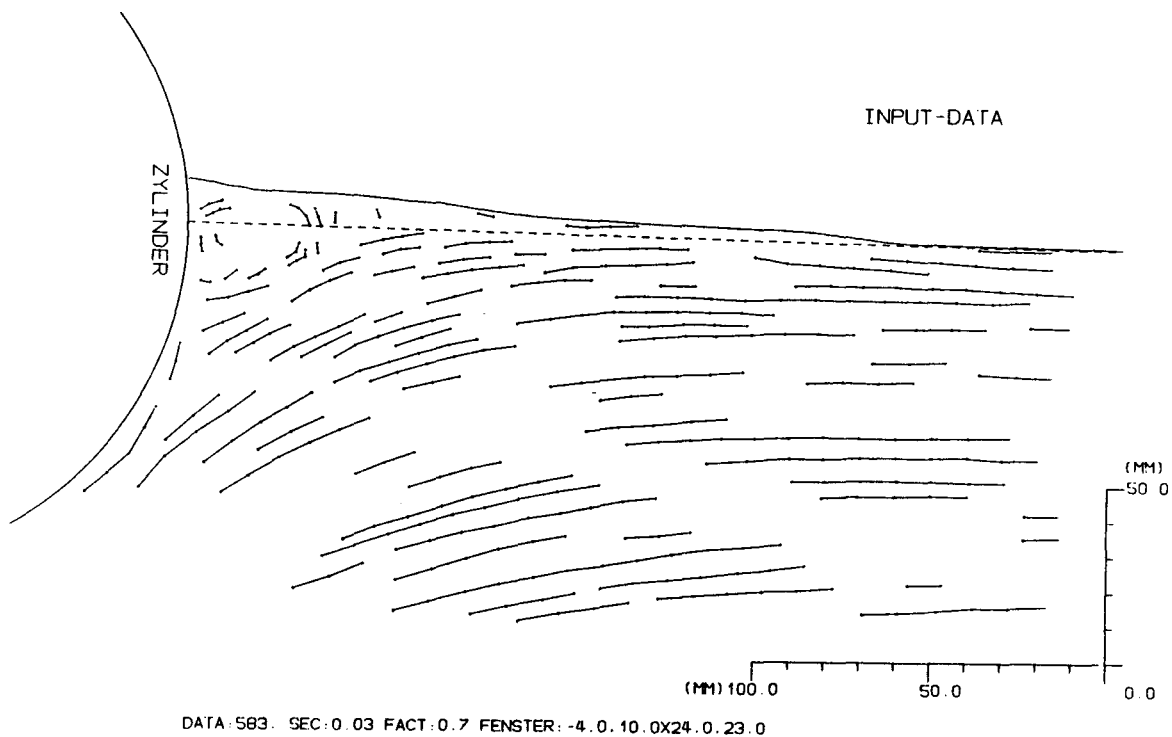


Abb.16 Eingabedaten

$U_0 : 0.5 \text{ m/s}$

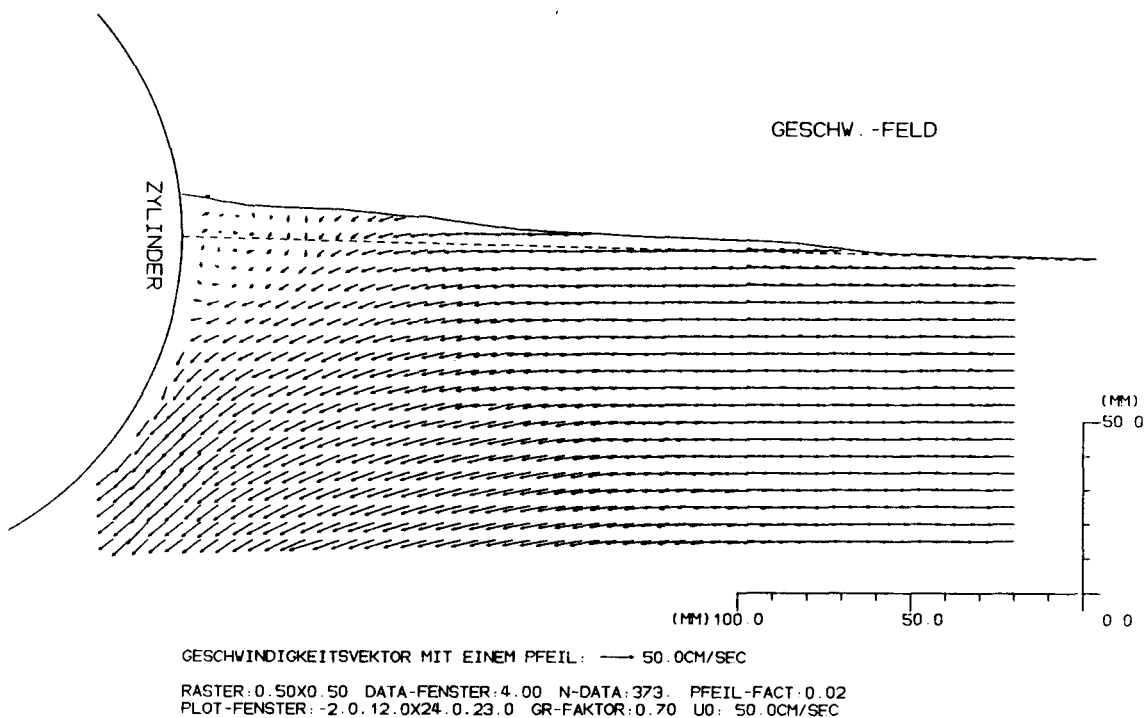


Abb.17 Geschwindigkeitsfeld

$U_0 : 0.5 \text{ m/s}$

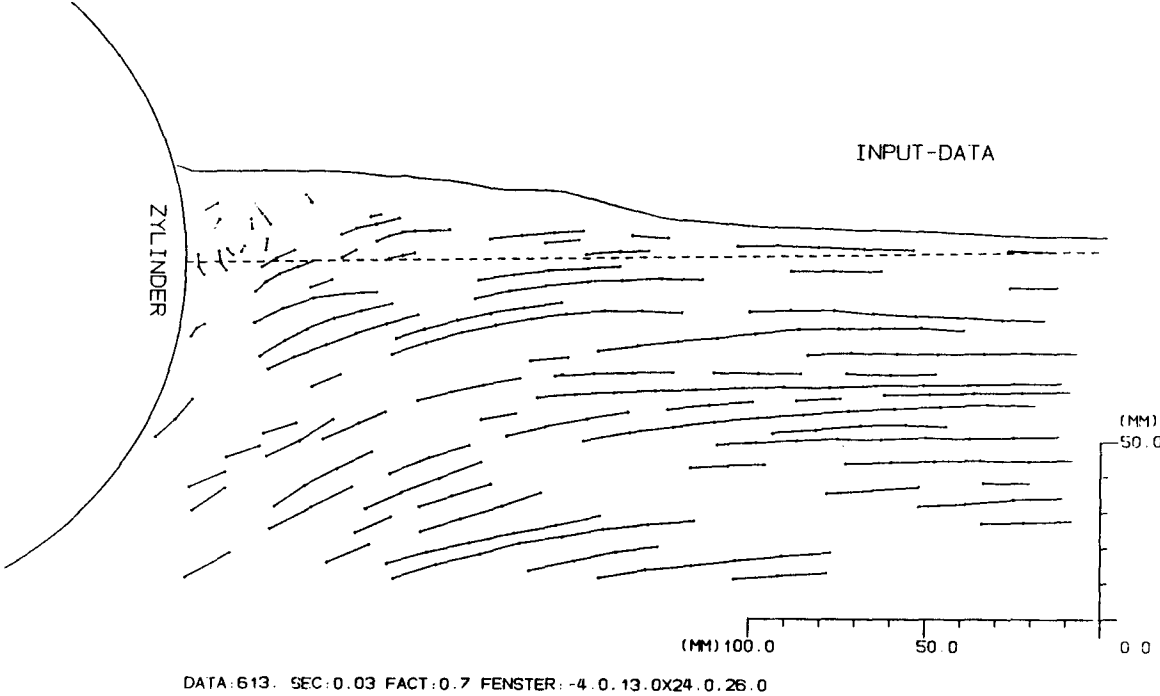


Abb.18 Eingabedaten

U0 : 0.6 m/s

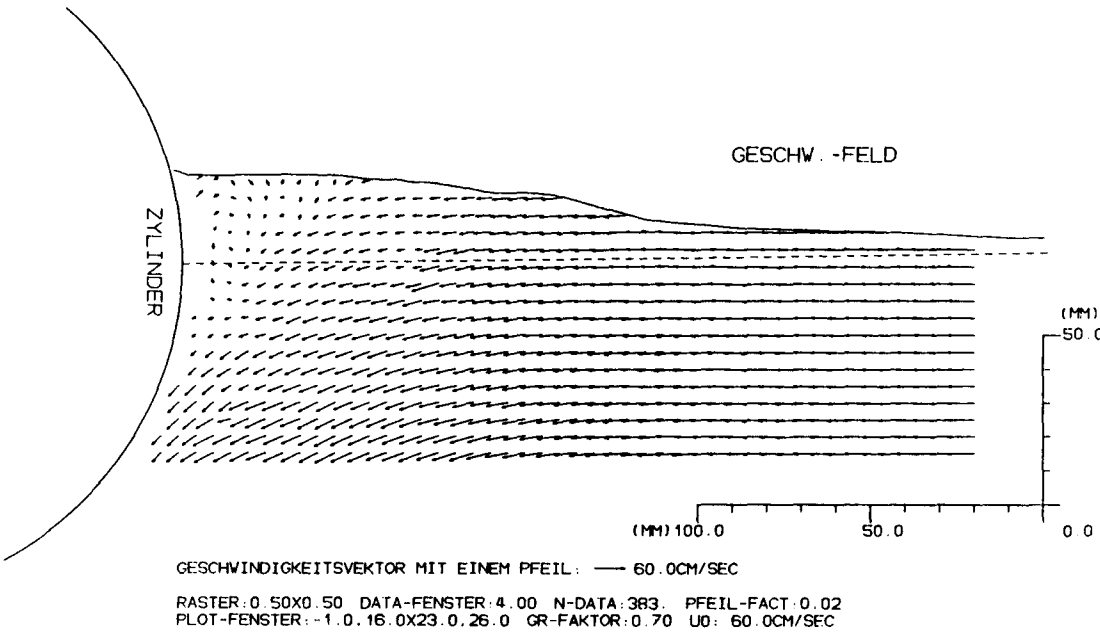


Abb.19 Geschwindigkeitsfeld

U0 : 0.6 m/s

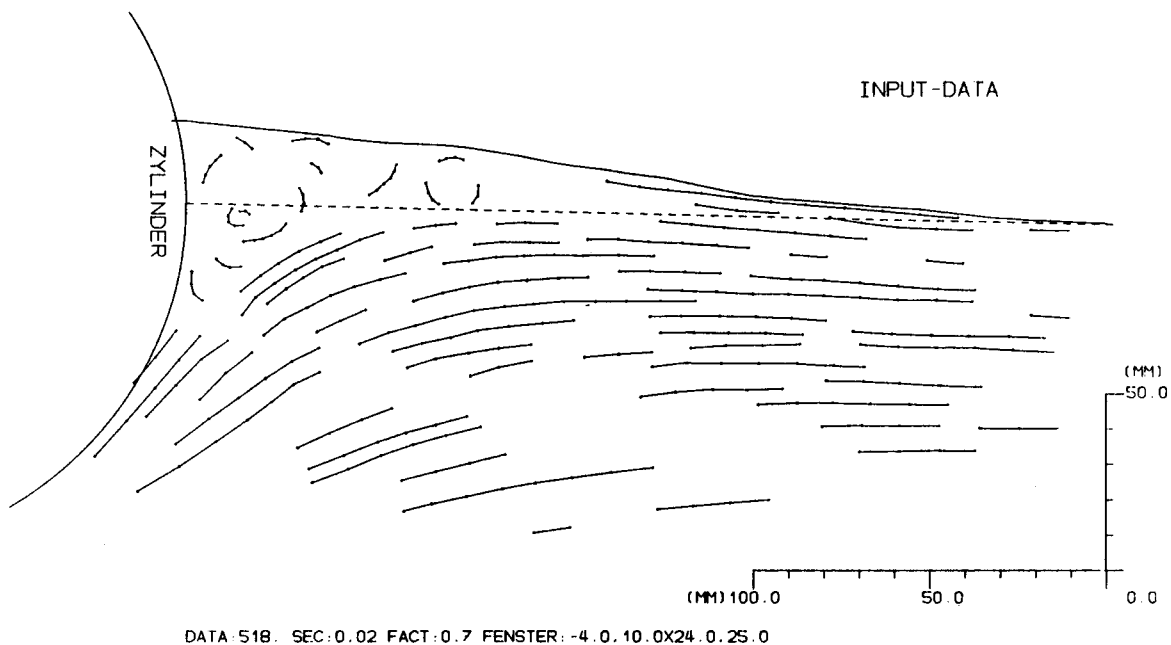


Abb.20 Eingabedaten

$U_0 : 0.7 \text{ m/s}$

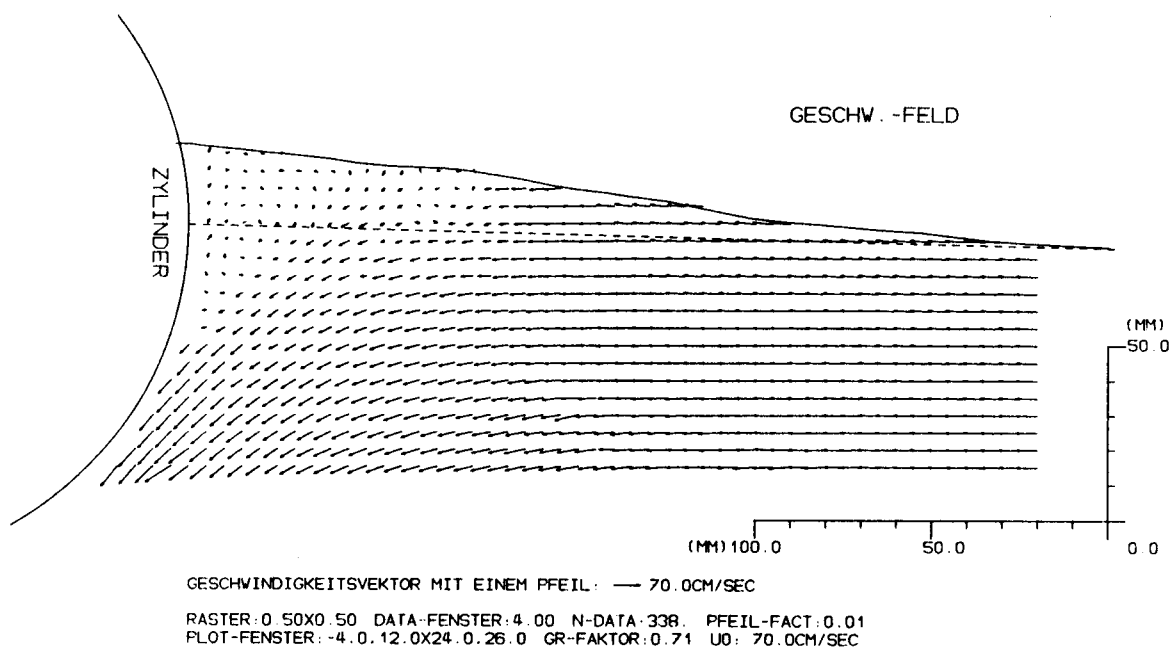


Abb.21 Geschwindigkeitsfeld

$U_0 : 0.7 \text{ m/s}$

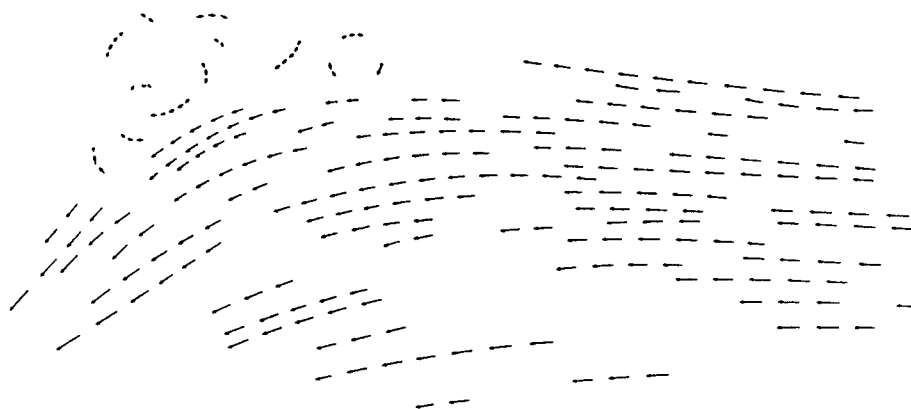
APROX



DATA: 518. SEC: 0.02 FACT: 0.0 FENSTER: -4.0.10.0X24.0.26.0

Abb.22 Eingabedaten nach der Ausgleichung $U_0 : 0.7 \text{ m/s}$

MOM. GESCHW.



GESCHWINDIGKEITSVEKTOR MIT EINEM PFEIL: $\rightarrow 50.0\text{CM/SEC}$

DATA: 518. SEC: 0.02 FACT: 0.0 Δ -FAC: 0.01 FENSTER: -4.0.10.0X24.0.26.0

Abb.23 Mom.Geschwindigkeit

$U_0 : 0.7 \text{ m/s}$

Horizontal-Zylinder (aus den Spuren-Aufnahmen)

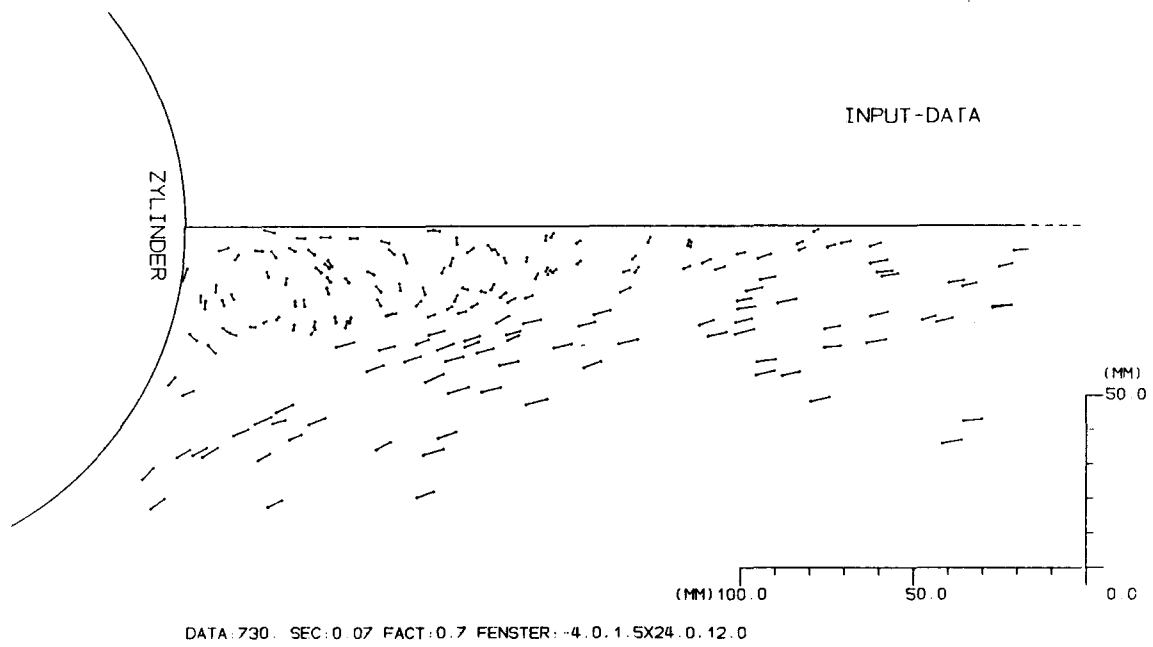


Abb.24 Eingabedaten

$U_0 : 0.1 \text{ m/s}$

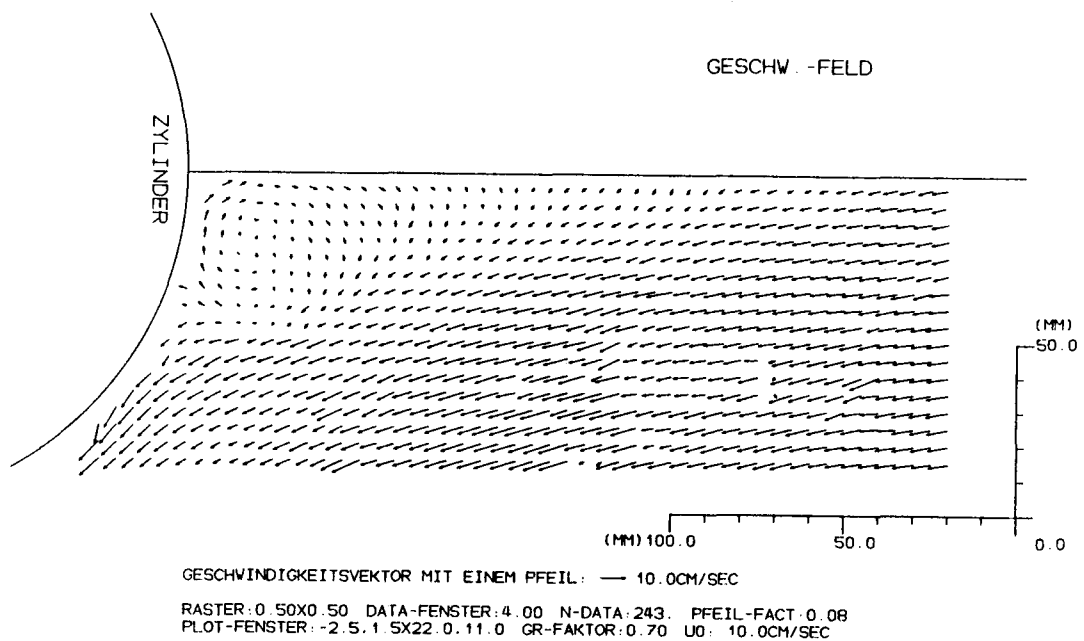


Abb.25 Geschwindigkeitsfeld

$U_0 : 0.1 \text{ m/s}$

MOM. GESCHW.



GESCHWIGKEITSVEKTOR MIT EINEM PFEIL: — 10.0CM/SEC

DATA:730. SEC:0.07 FACT:0.7 Δ-FAC:0.08 FENSTER:-4.0.0.0X24.0.11.0

Abb.26 Mom.Geschwindigkeit

U0 : 0.1 m/s

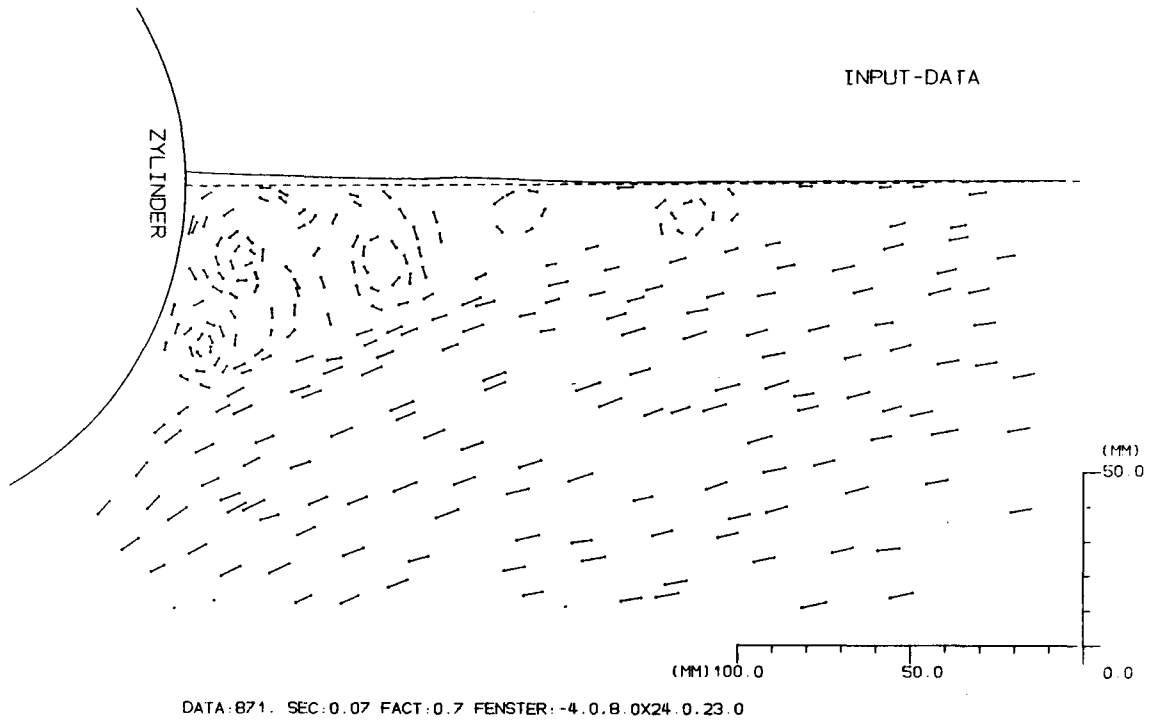


Abb.27 Eingabedaten

U0 : 0.1 m/s

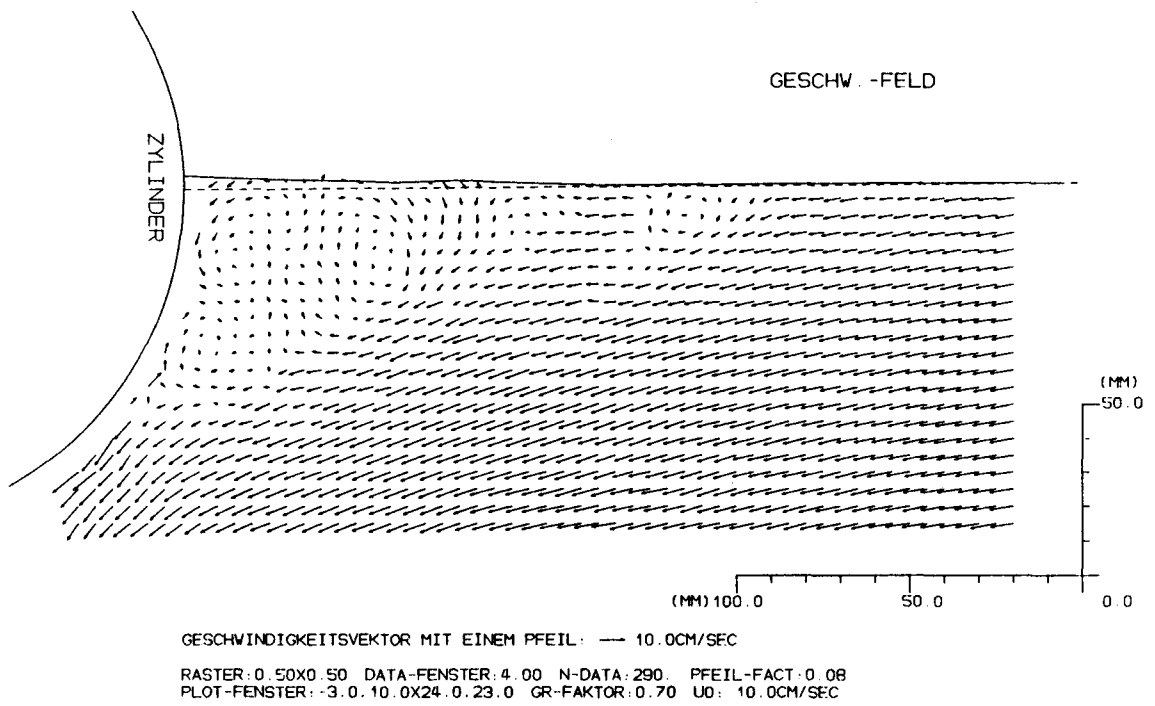
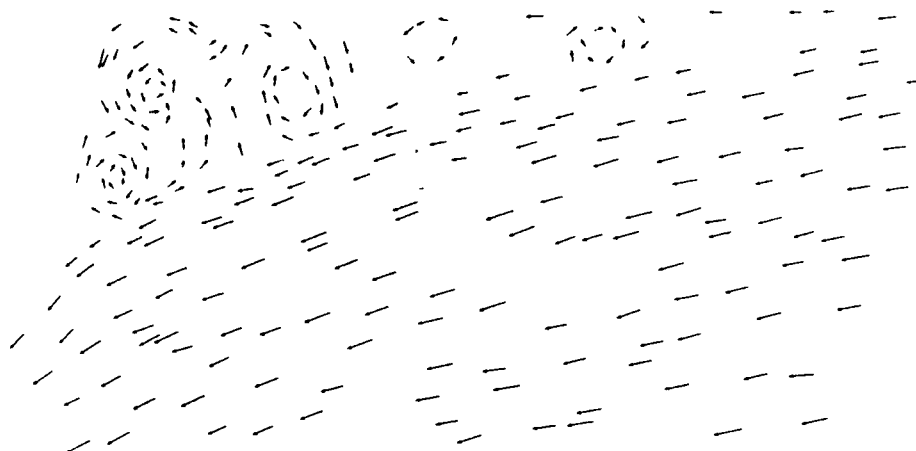


Abb.28 Geschwindigkeitsfeld

U0 : 0.1 m/s

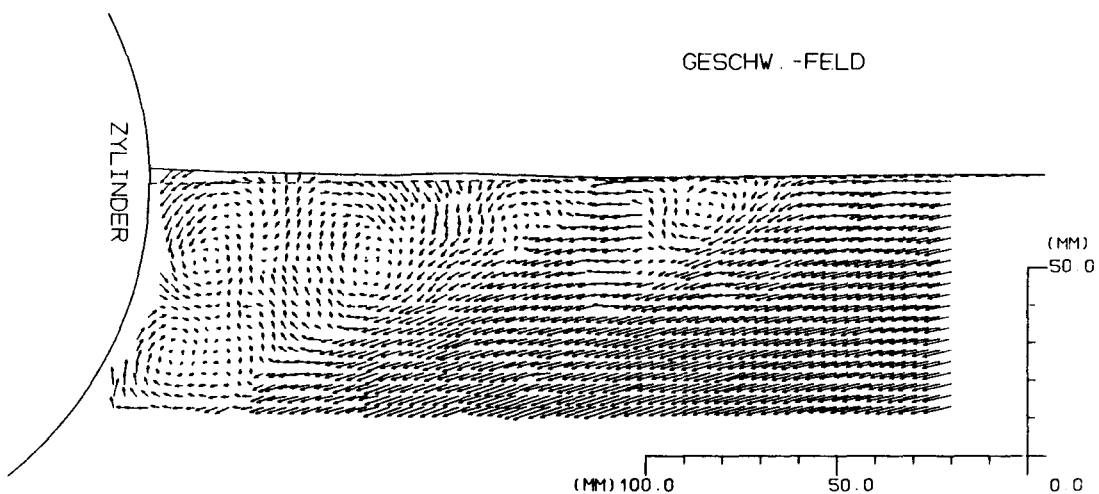
MOM. GESCHW.



GESCHWINDIGKEITSVEKTOR MIT EINEM PFEIL: — 10.0CM/SEC
 DATA:871. SEC:0.07 FACT:0.7 Δ-FAC:0.08 FENSTER:-4.0.8.0X24.0.23.0

Abb.29 Mom.Geschwindigkeit

U0 : 0.1 m/s



GESCHWINDIGKEITSVEKTOR MIT EINEM PFEIL: — 10.0CM/SEC
 RASTER:0.30X0.30 DATA-FENSTER:4.00 N-DATA:287. PFEIL-FACT:0.09
 PLOT-FENSTER:-1.0.14.0X21.0.23.0 GR-FAKTOR:0.77 U0: 10.0CM/SEC

Abb.30 Lupe-Darstellung

U0 : 0.1 m/s

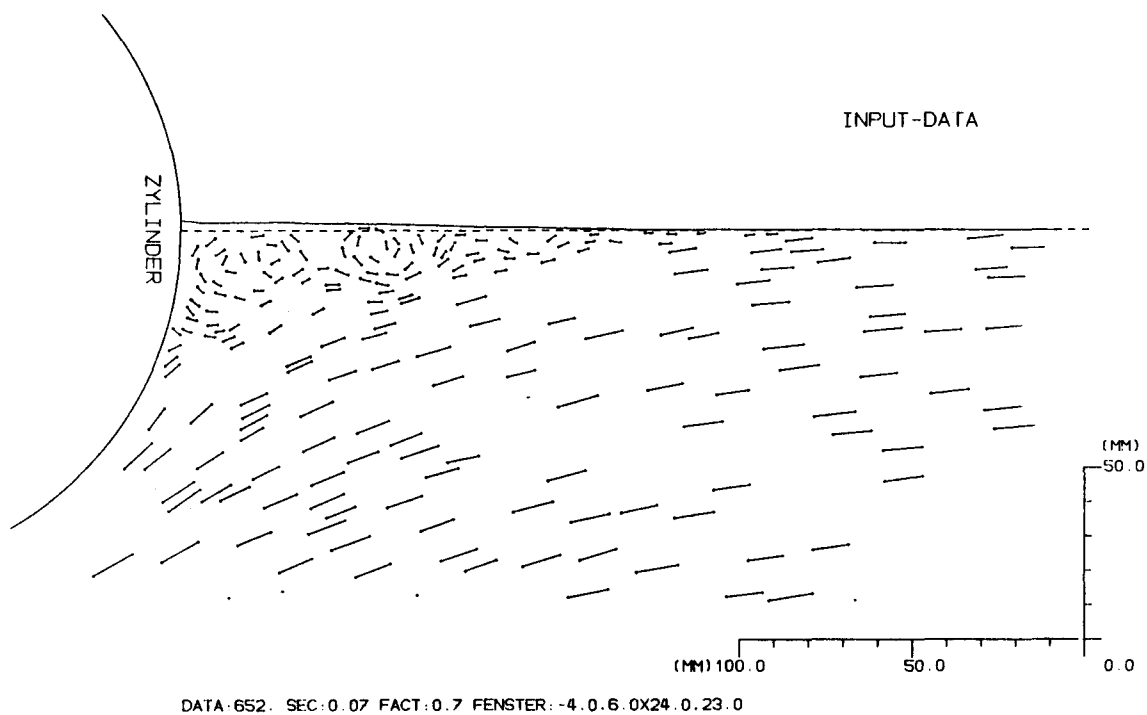


Abb.31 Eingabedaten

$U_0 : 0.2 \text{ m/s}$

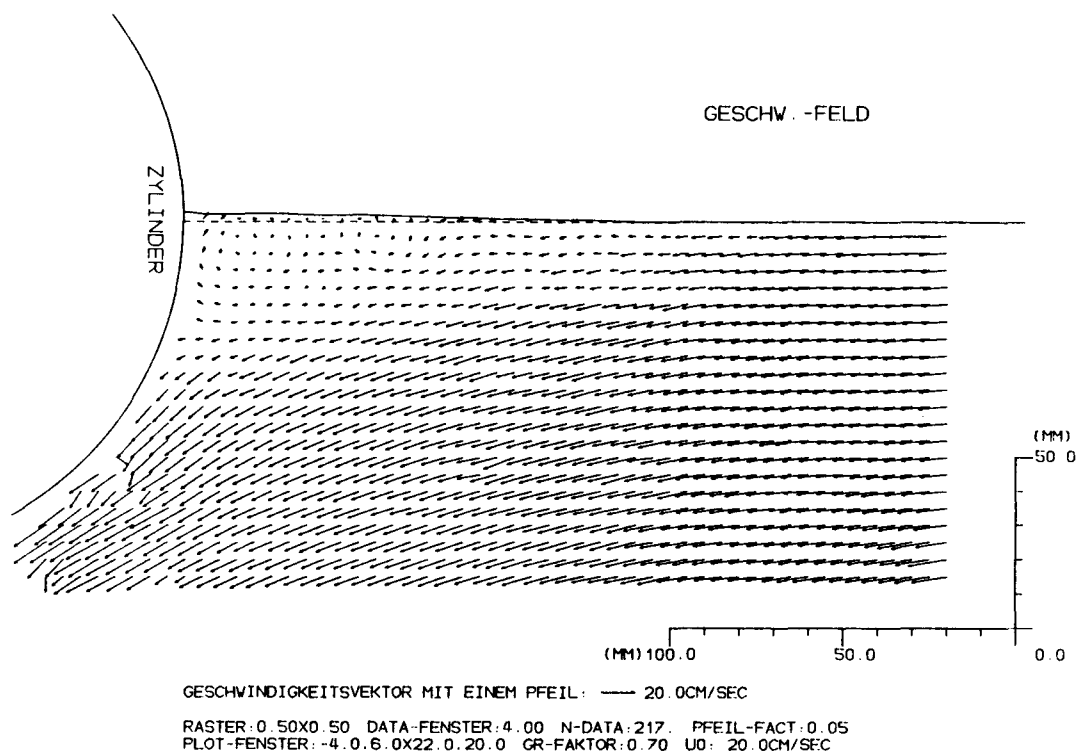


Abb.32 Geschwindigkeitsfeld

$U_0 : 0.2 \text{ m/s}$

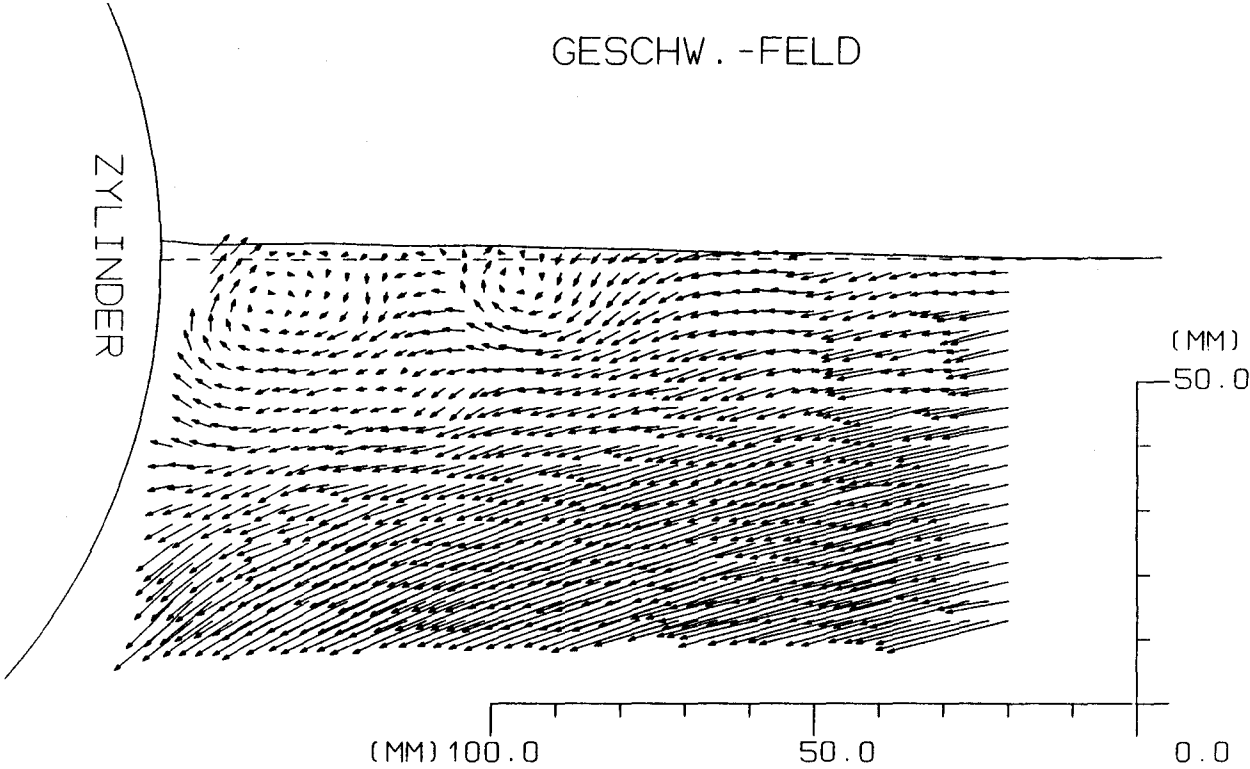


Abb.33 Lupe-Darstellung

$U_0 : 0.2 \text{ m/s}$

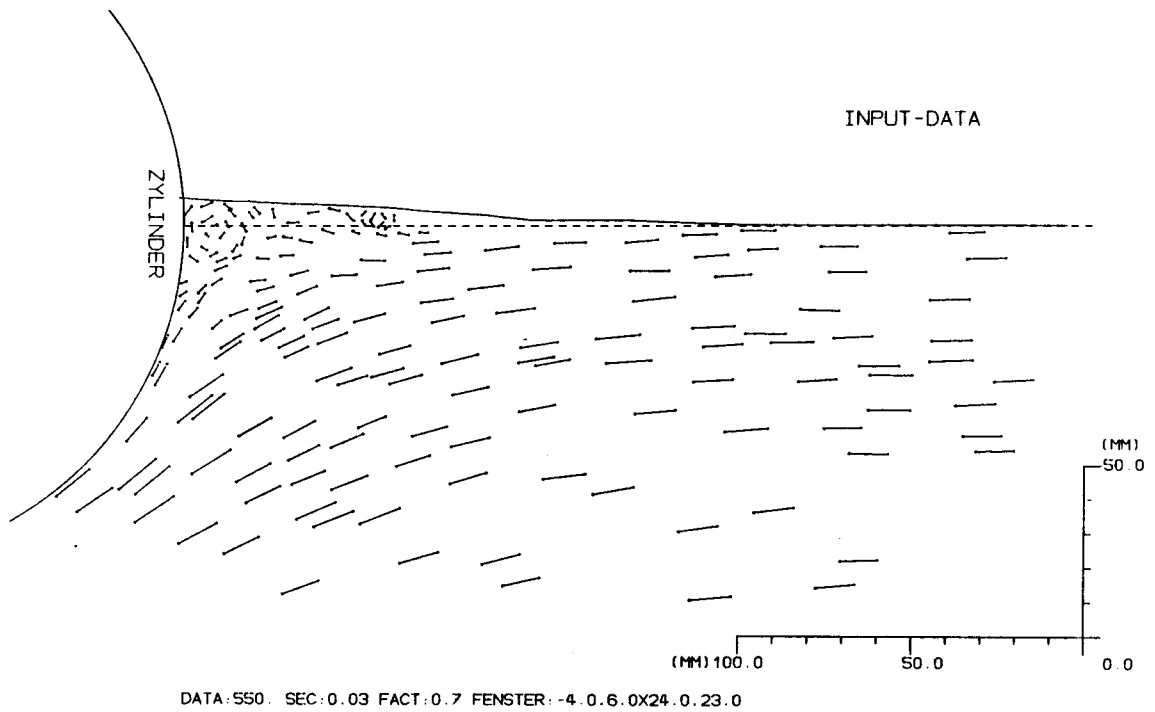


Abb.34 Eingabedaten

$U_0 : 0.4 \text{ m/s}$

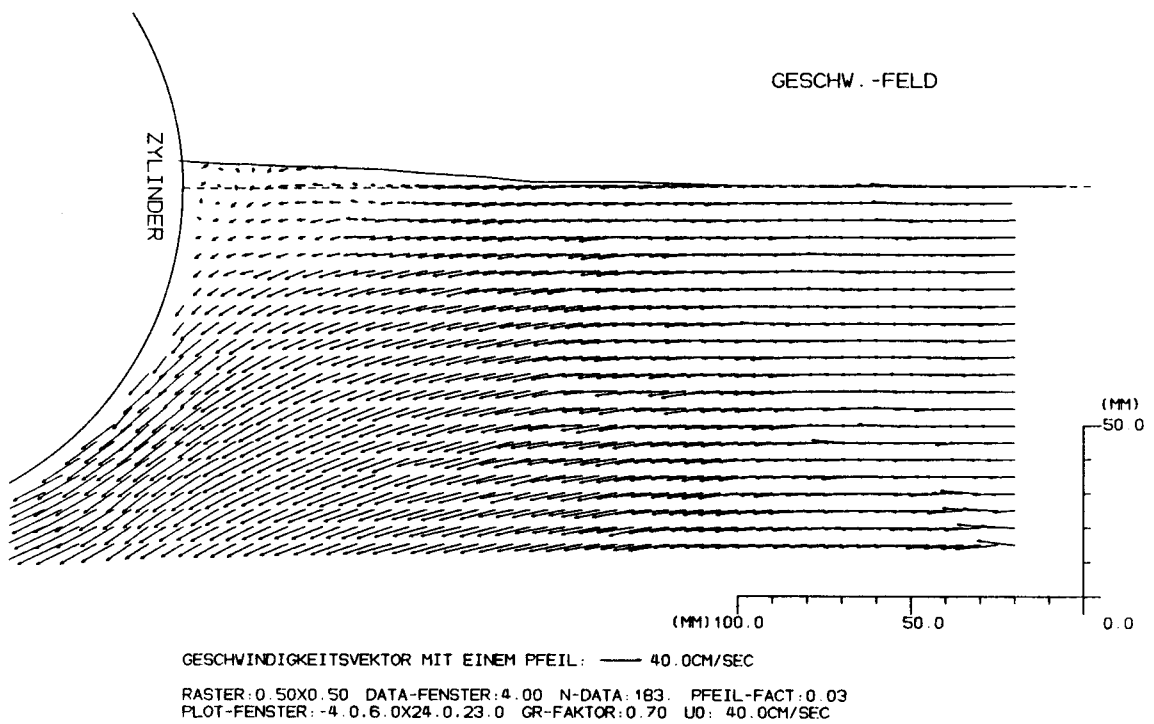
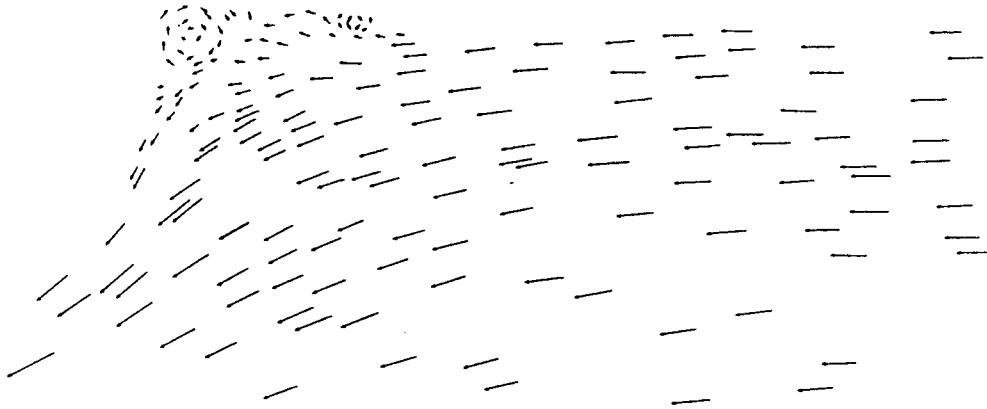


Abb.35 Geschwindigkeitsfeld

$U_0 : 0.4 \text{ m/s}$



GESCHWINDIGKEITSVEKTOR MIT EINEM PFEIL : — 30.0CM/SEC
DATA:550. SEC:0.03 FACT:0.7 Δ-FAC:0.03 FENSTER:-4.0.6.0X24.0.23.0

Abb.36 Mom.Geschwindigkeit

U0 : 0.4 m/s

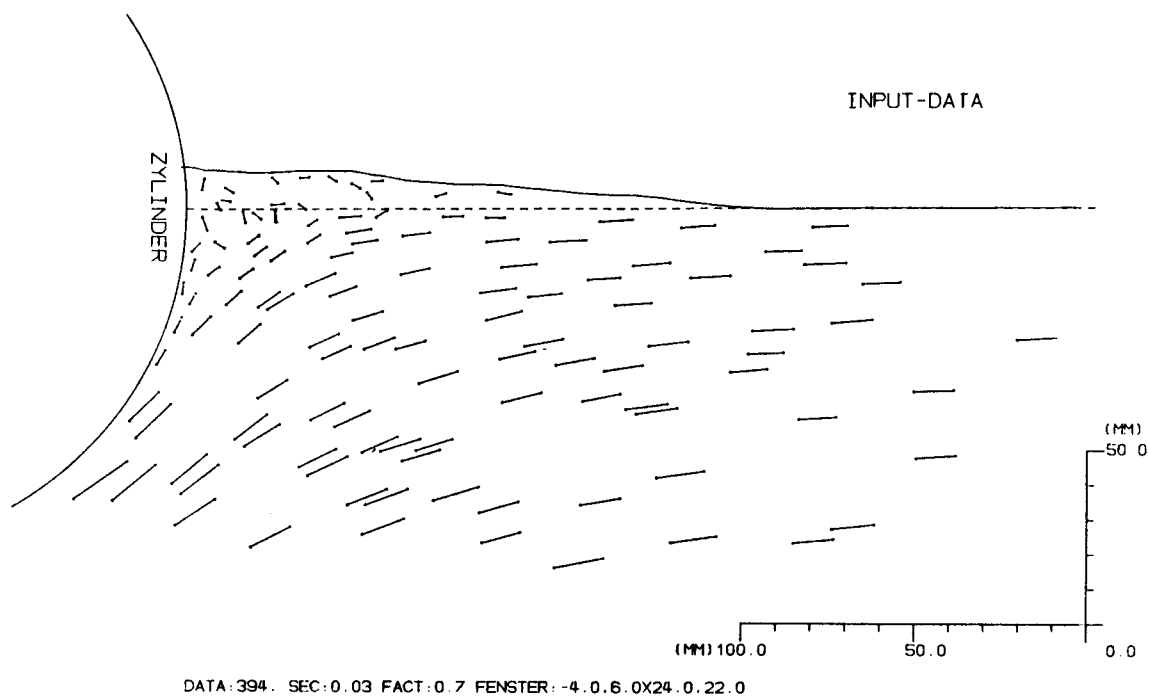


Abb.37 Eingabedaten

U0 : 0.5 m/s

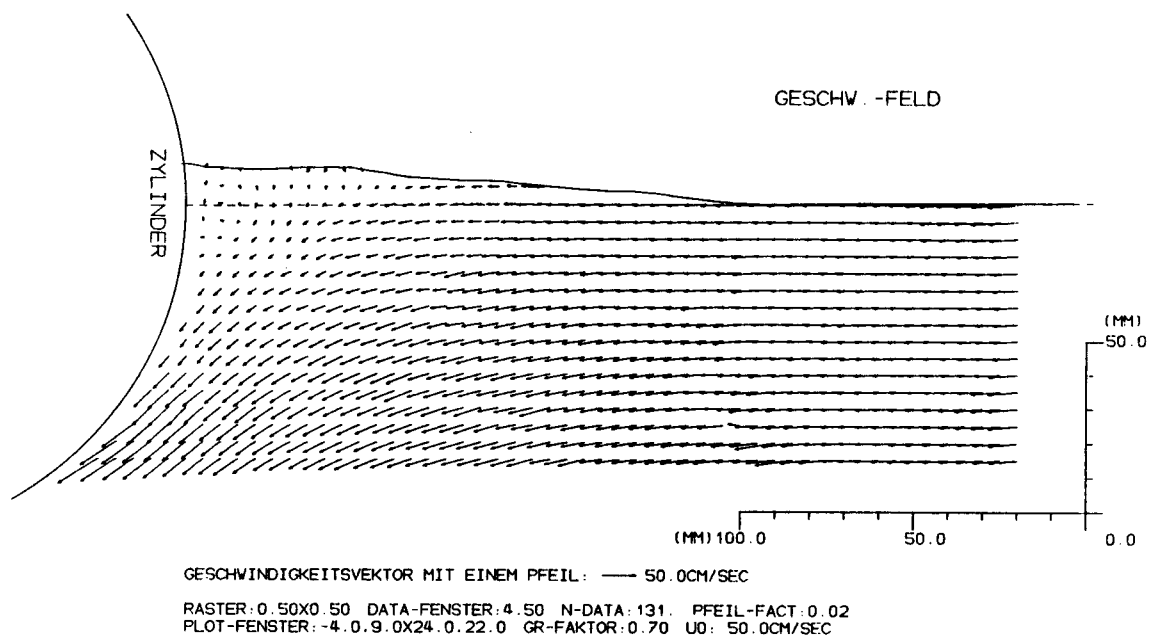


Abb.38 Geschwindigkeitsfeld

U0 : 0.5 m/s

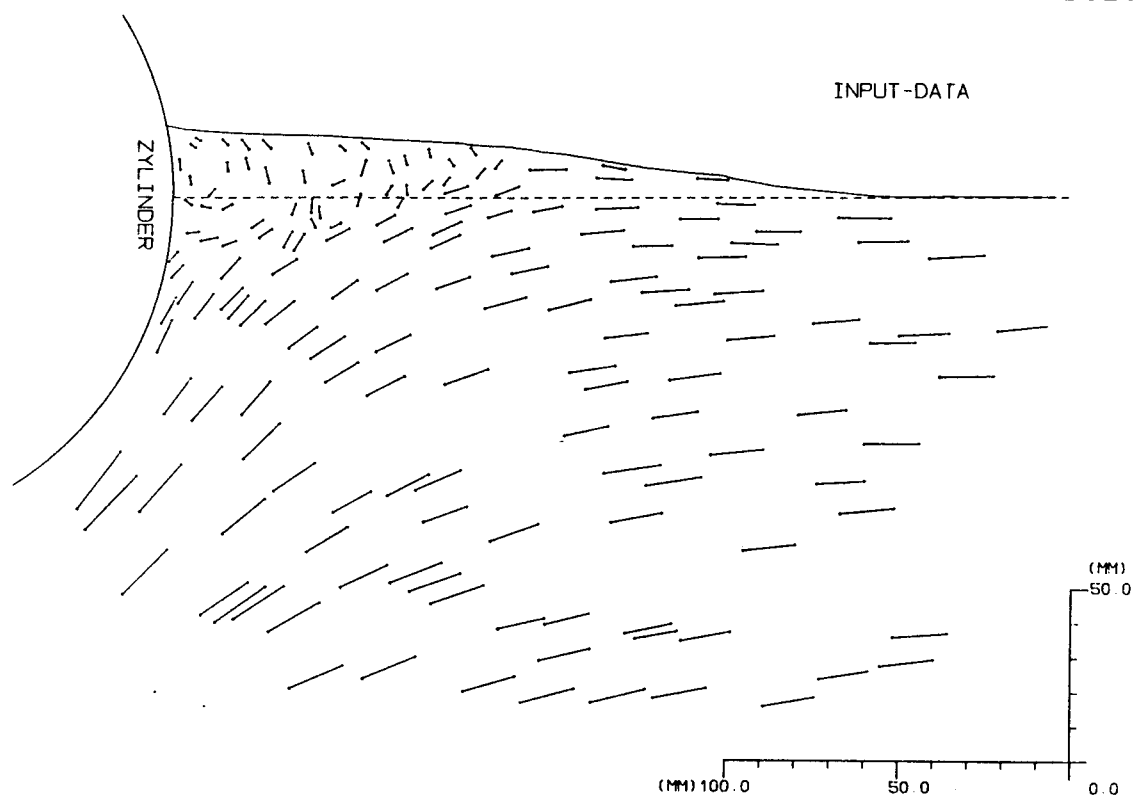


Abb.39 Eingabedaten

$U_0 : 0.6 \text{ m/s}$

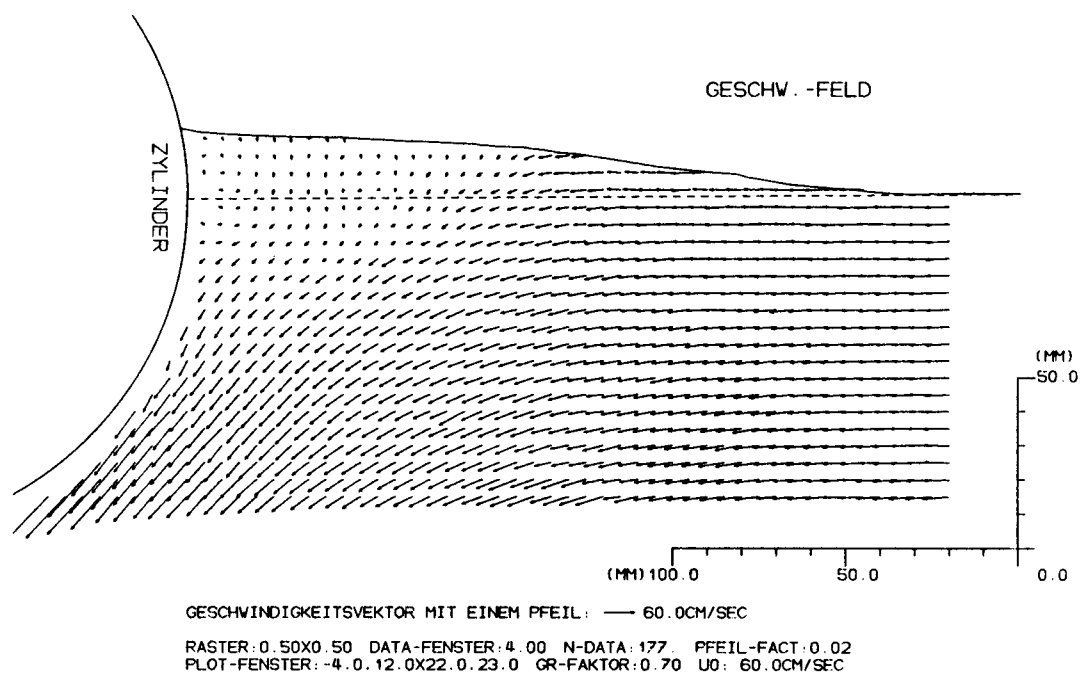


Abb.40 Geschwindigkeitsfeld

$U_0 : 0.6 \text{ m/s}$

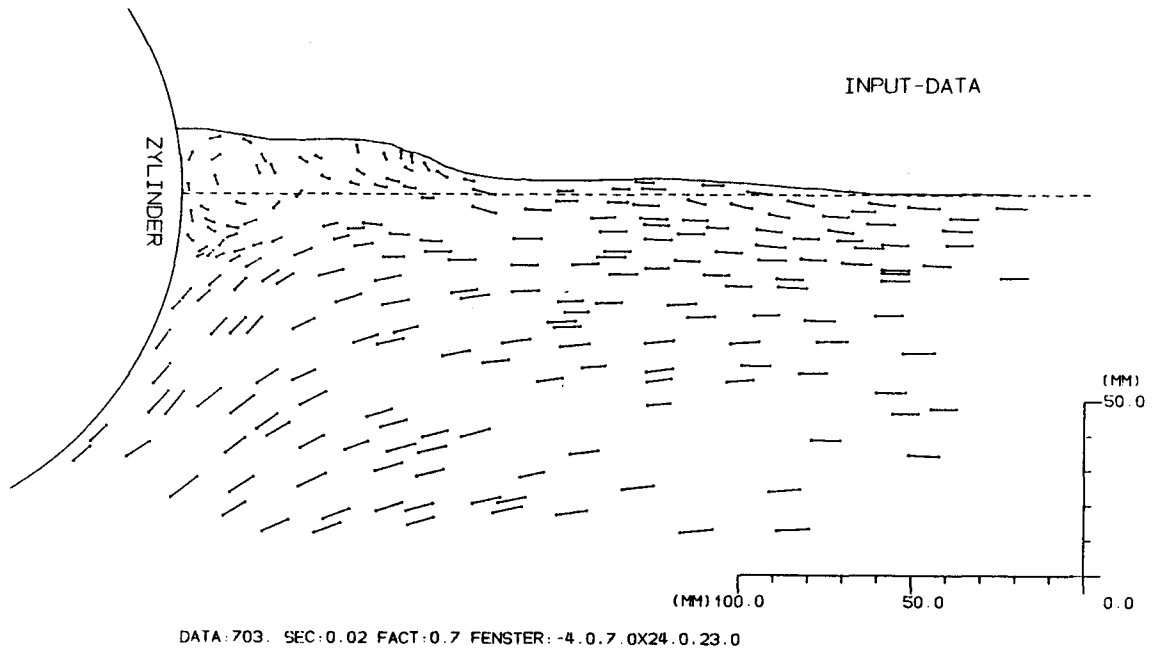


Abb.41 Eingabedaten

U0 : 0.7 m/s

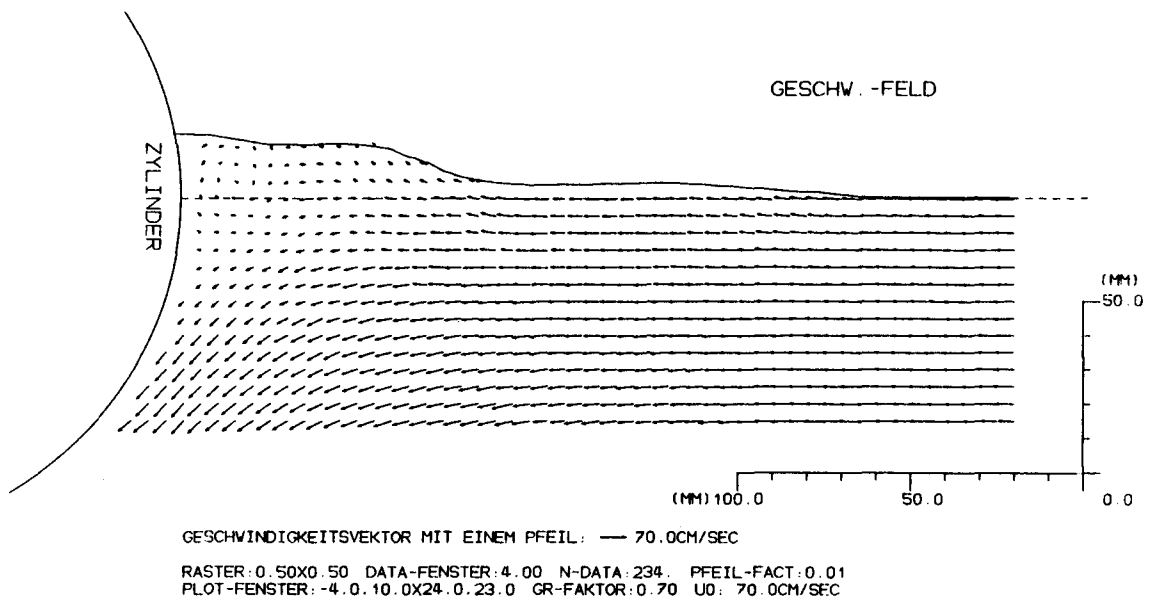
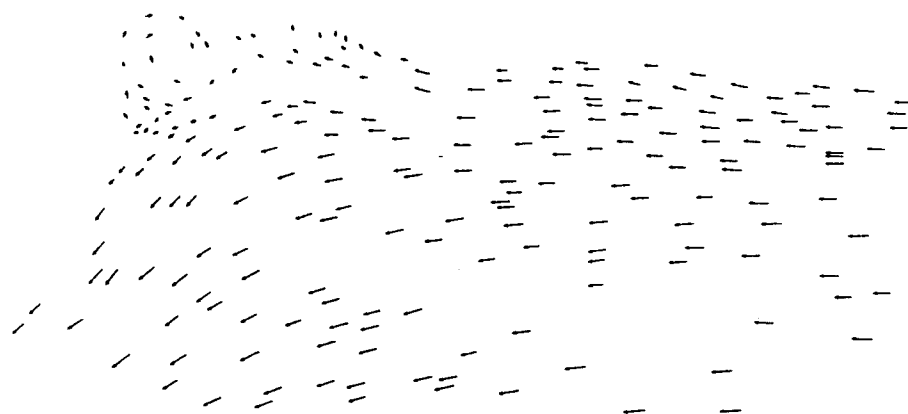


Abb.42 Geschwindigkeitsfeld

U0 : 0.7 m/s

MOM. GESCHW.



GESCHWINDIGKEITSVEKTOR MIT EINEM PFEIL: — 50.0CM/SEC
DATA:703. SEC:0.02 FACT:0.7 Δ-FAC:0.01 FENSTER:-4.0.7.0X24.0.23.0

Abb.43 Mom.Geschwindigkeit

U0 : 0.7 m/s

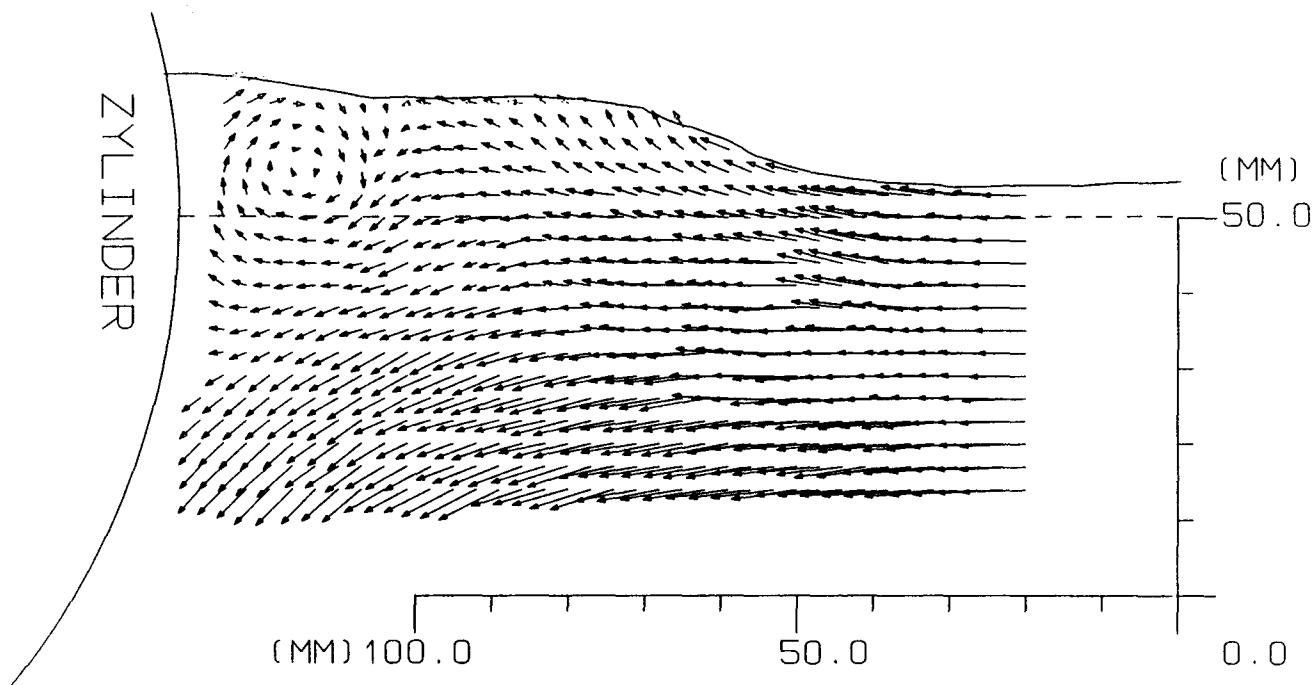


Abb.44 Lupe-Darstellung

U0 : 0.7 m/s

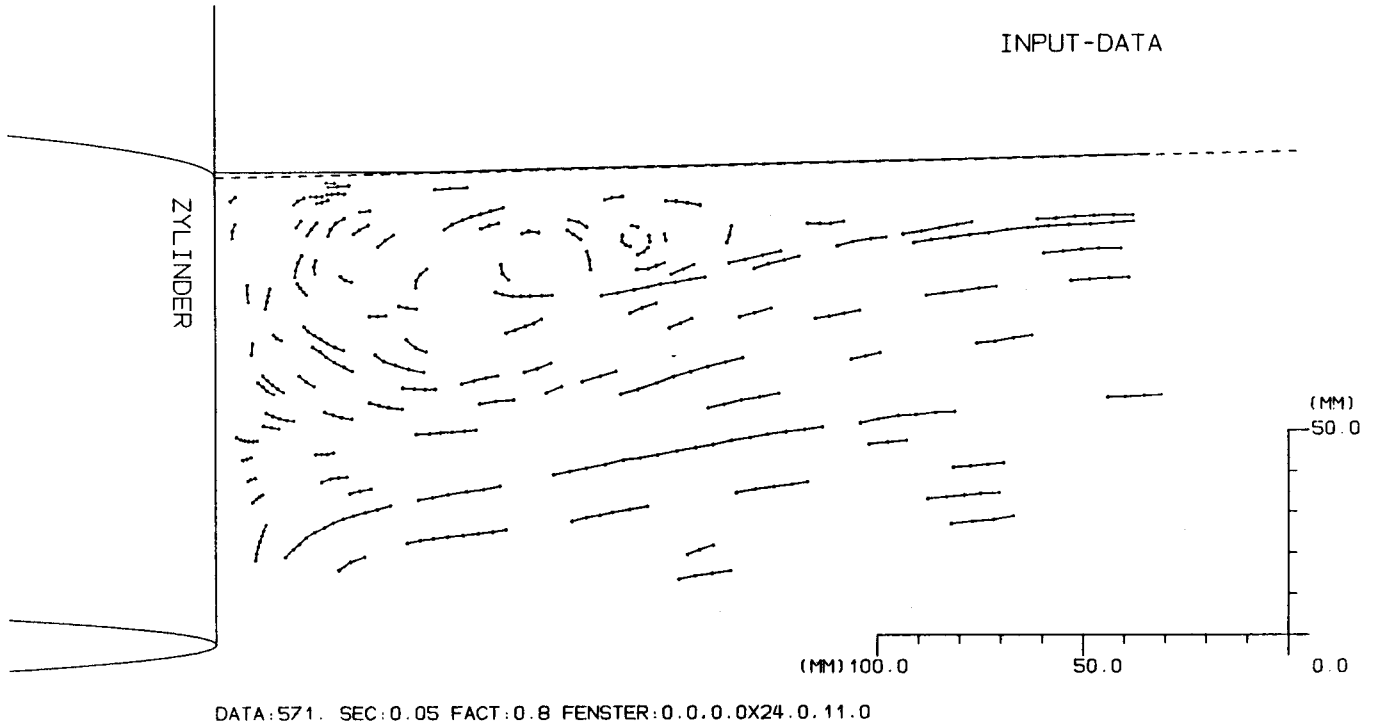


Abb.45 Eingabedaten

U0 : 0.1 m/s

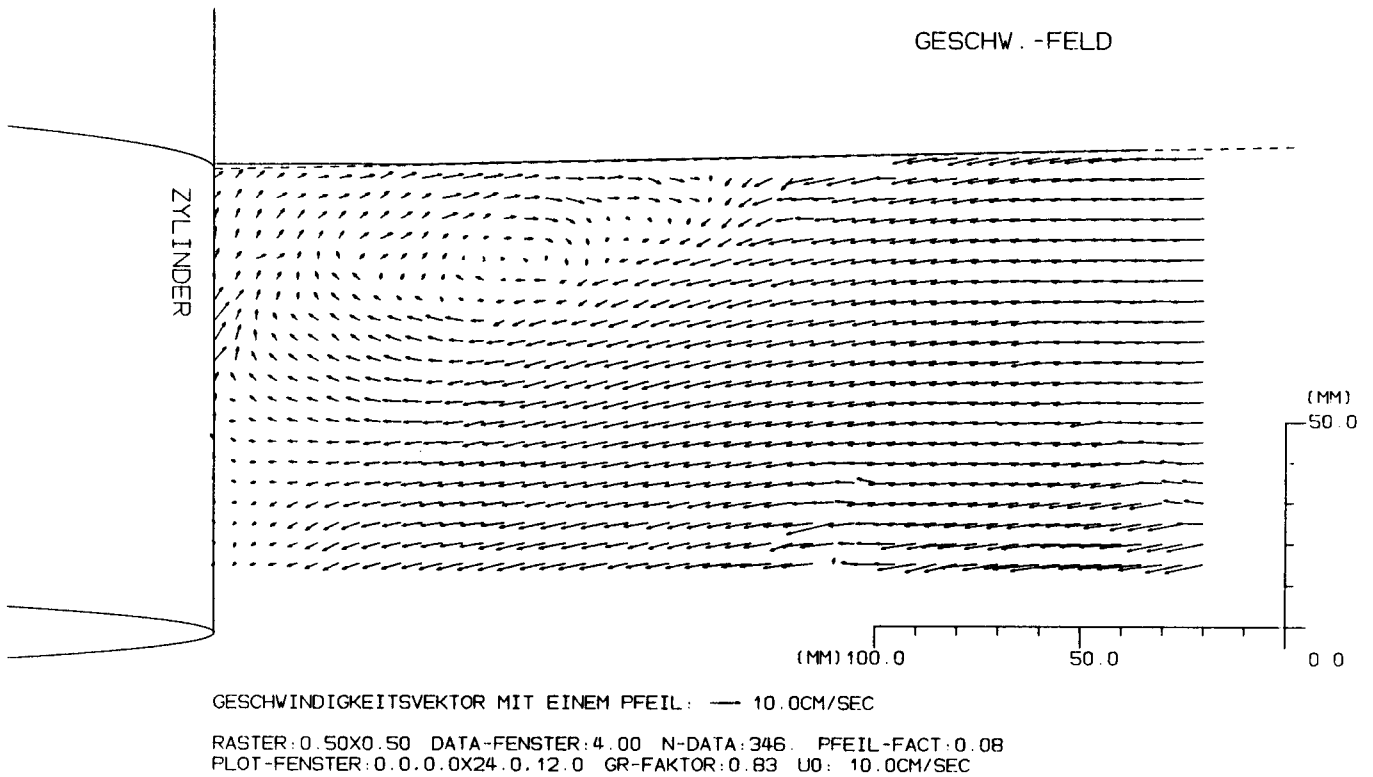


Abb.46 Geschwindigkeitsfeld

U0 : 0.1 m/s

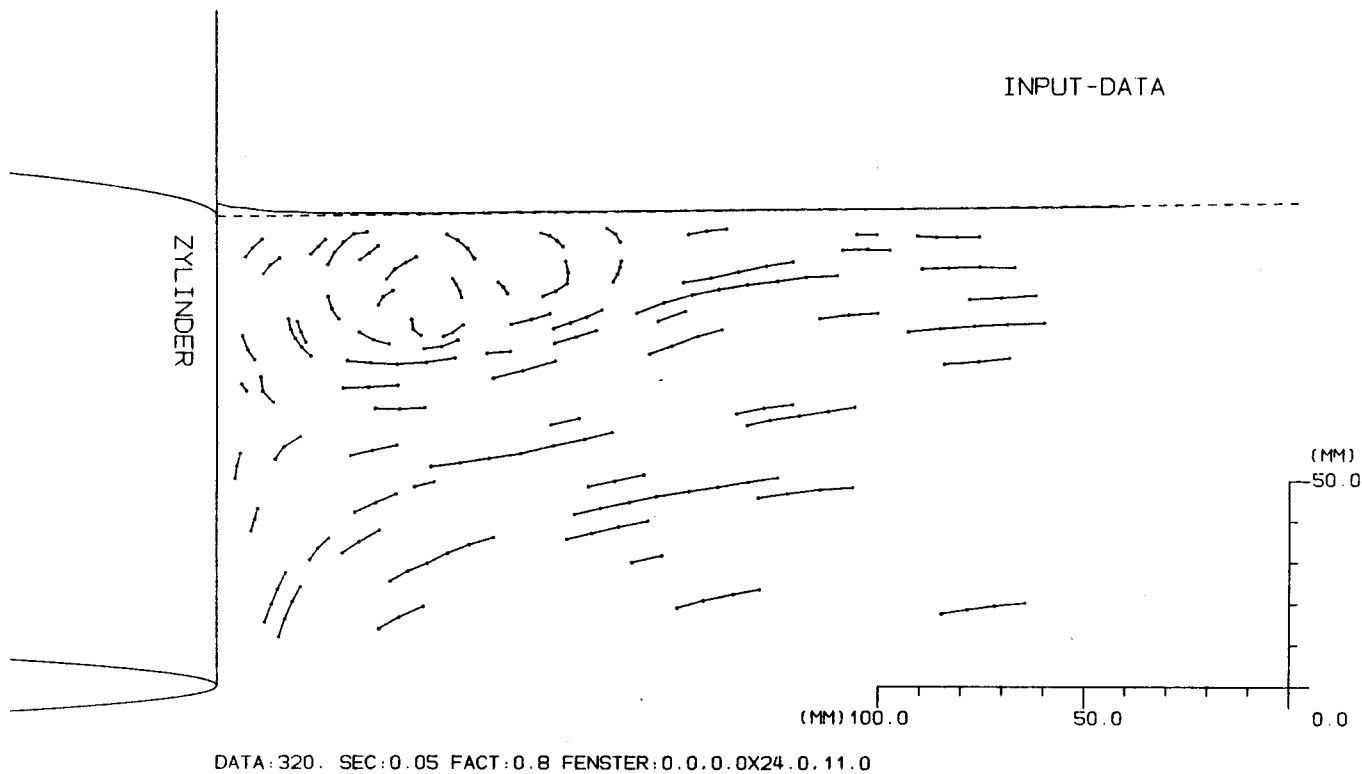


Abb.47 Eingabedaten

U0 : 0.2 m/s

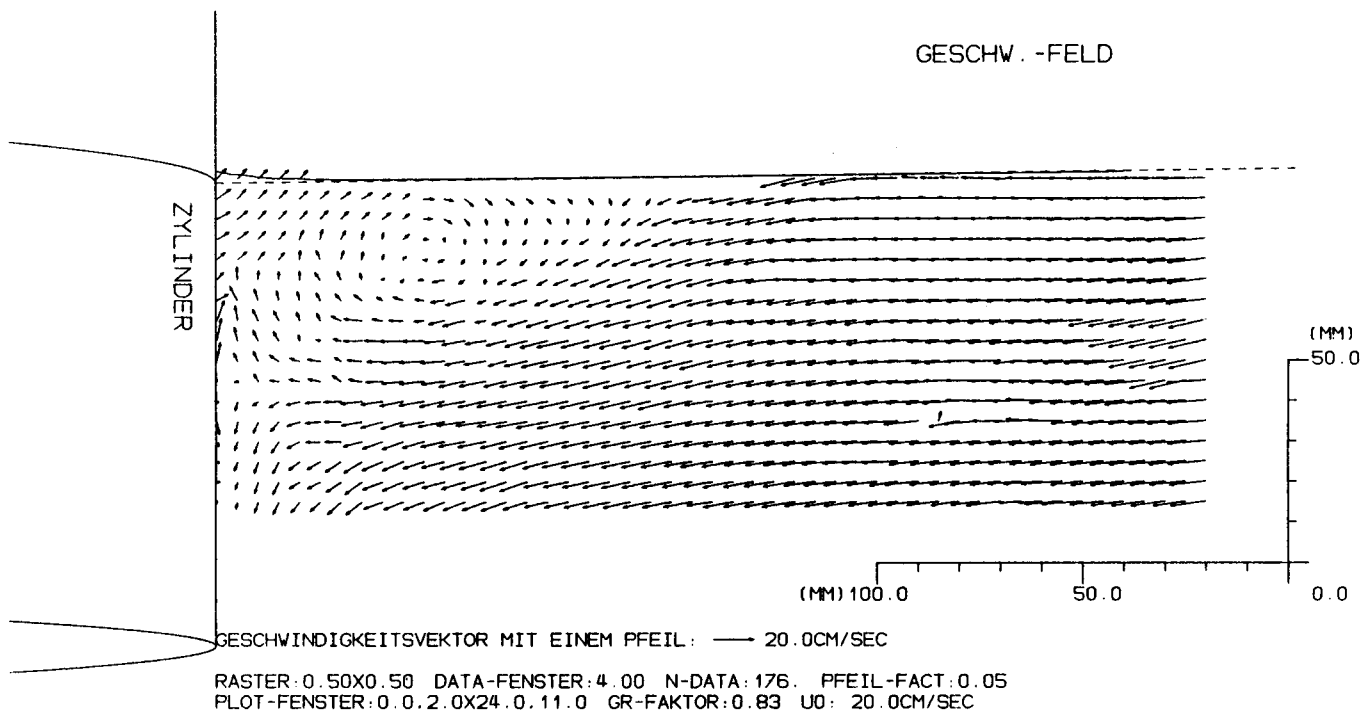


Abb.48 Geschwindigkeitsfeld

U0 : 0.2 m/s

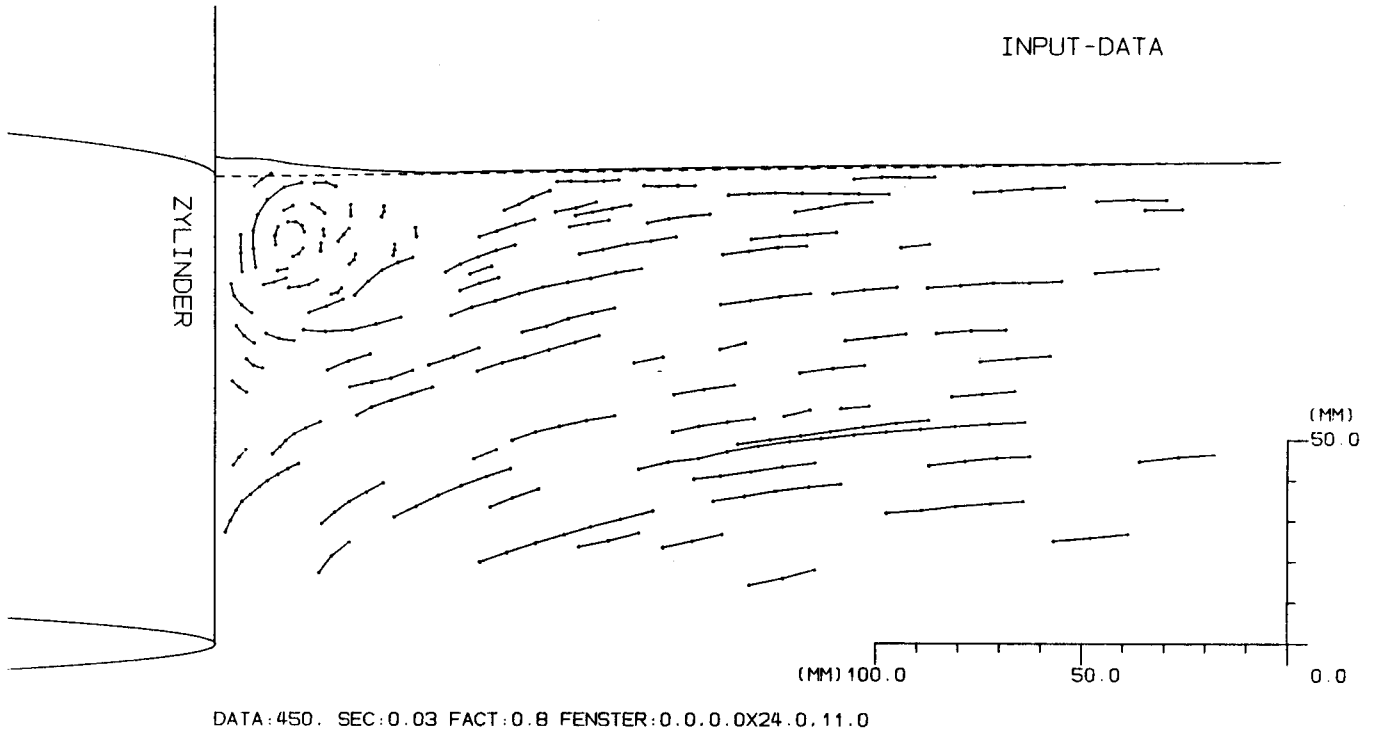


Abb.49 Eingabedaten

U0 : 0.3 m/s

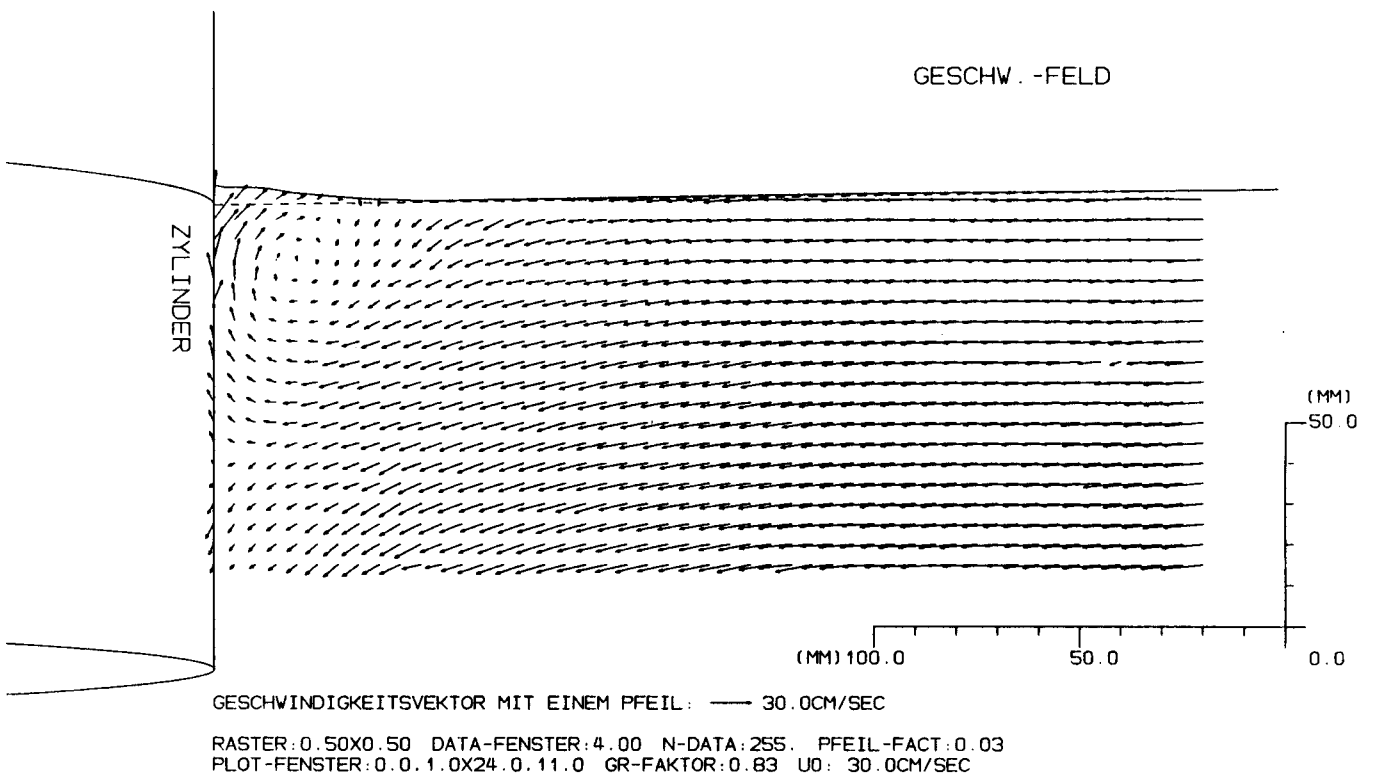


Abb.50 Geschwindigkeitsfeld

U0 : 0.3 m/s

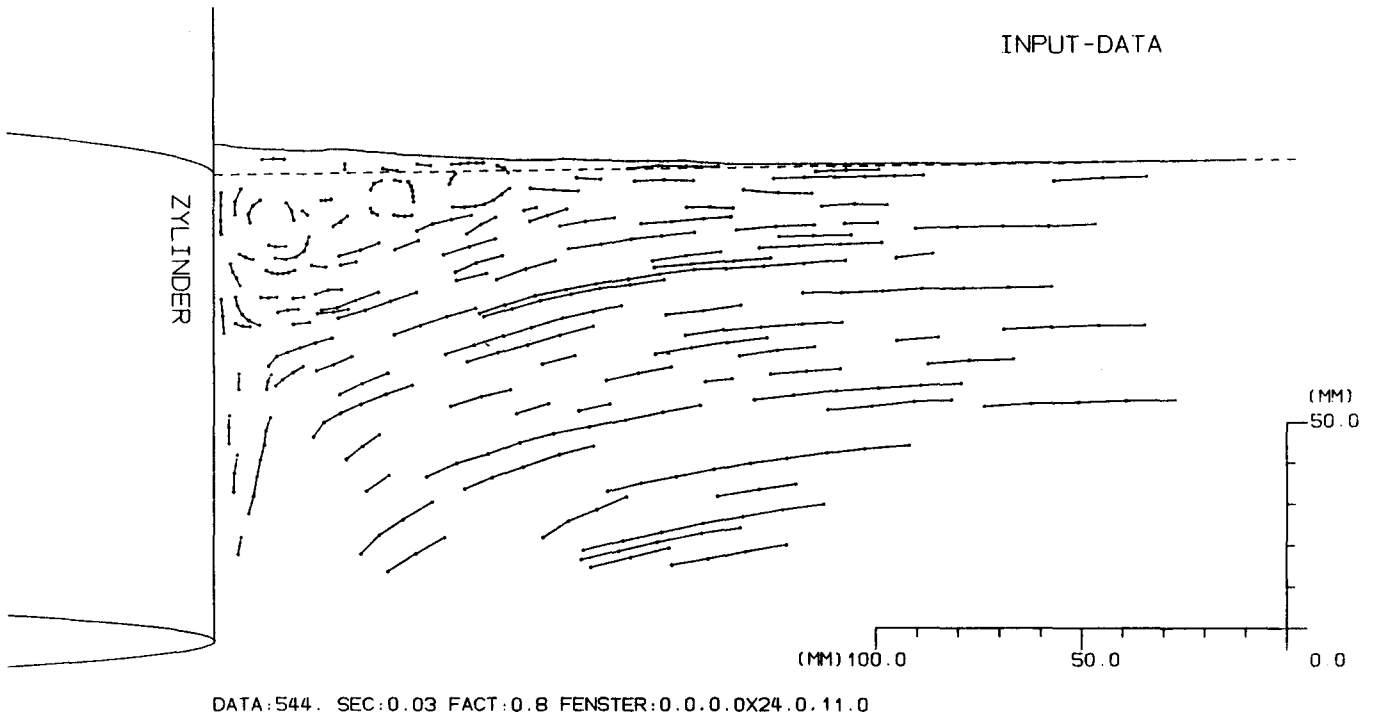


Abb.51 Eingabedaten

U0 : 0.4 m/s

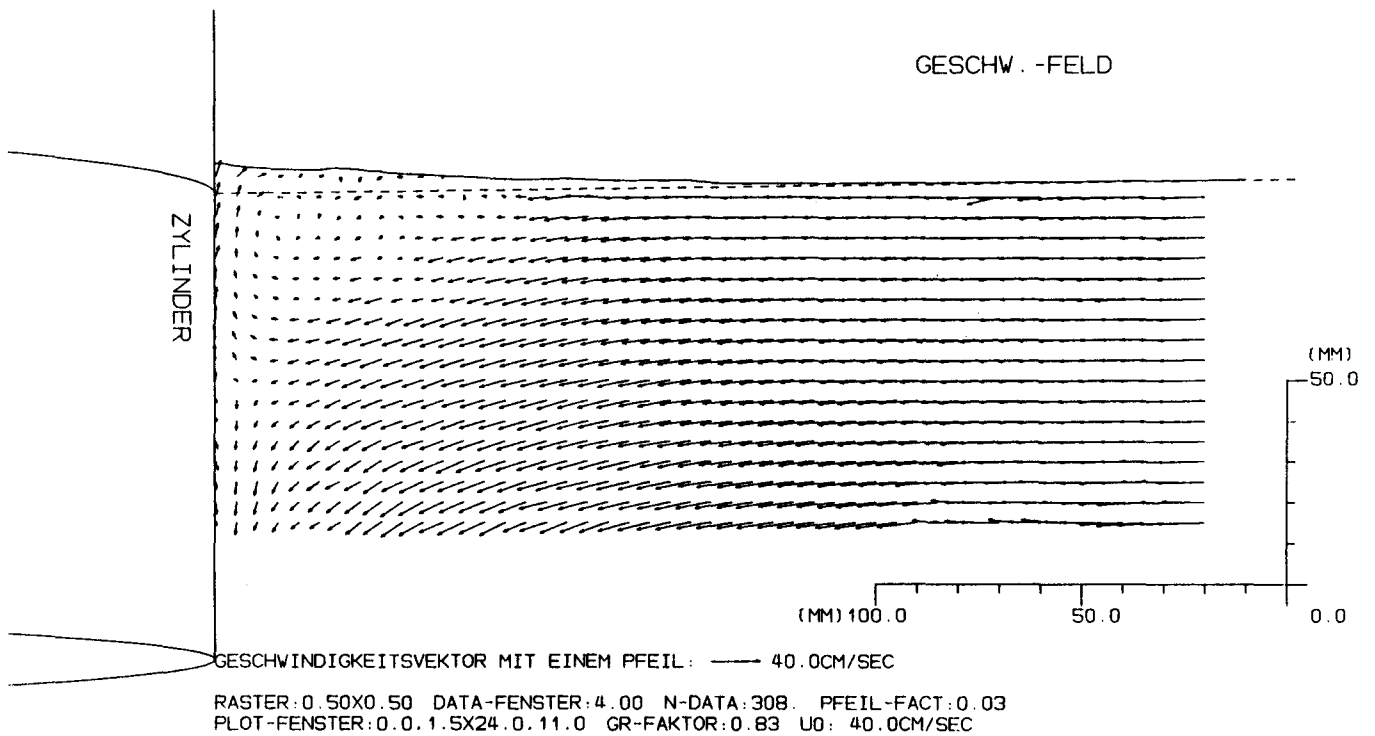


Abb.52 Geschwindigkeitsfeld

U0 : 0.4 m/s

APROX



DATA:544. SEC:0.03 FACT:0.0 FENSTER:0.0.0.0X24.0.11.0

Abb.53 Eingabedaten nach der Ausgleichung $U_0 : 0.4 \text{ m/s}$

MOM. GESCHW.



GESCHWIGKEITSVEKTOR MIT EINEM PFEIL: $\rightarrow 30.0\text{CM/SEC}$

DATA:544. SEC:0.03 FACT:0.0 Δ -FAC:0.03 FENSTER:0.0.1.5X24.0.11.0

Abb.54 Mom.Geschwindigkeit

$U_0 : 0.4 \text{ m/s}$

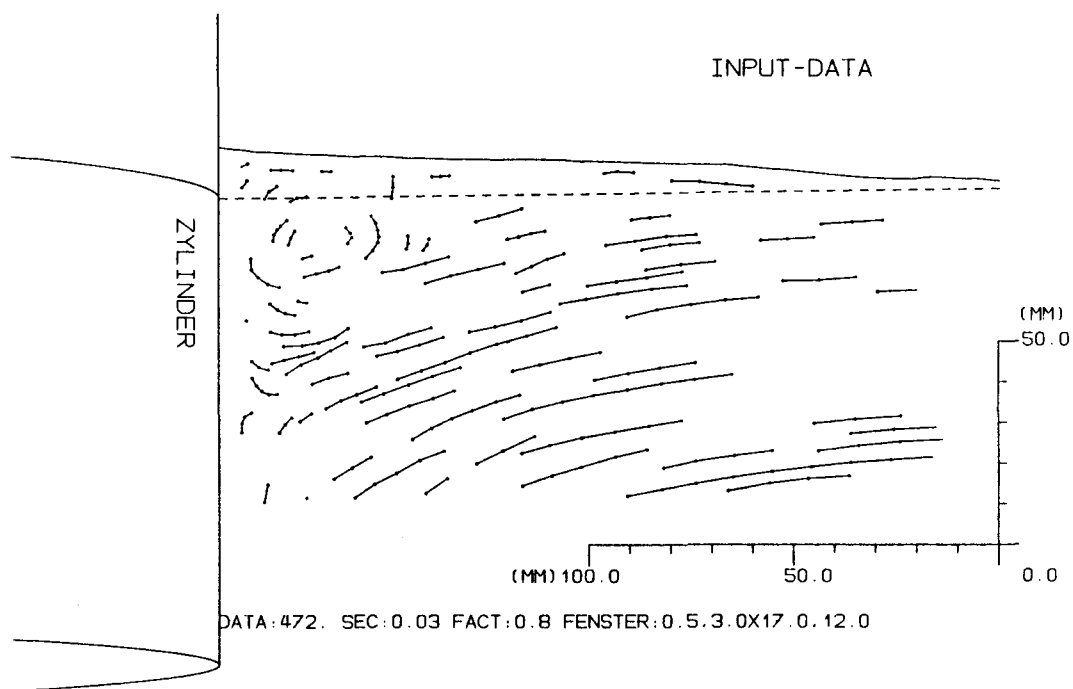


Abb.55 Eingabedaten

$U_0 : 0.5 \text{ m/s}$

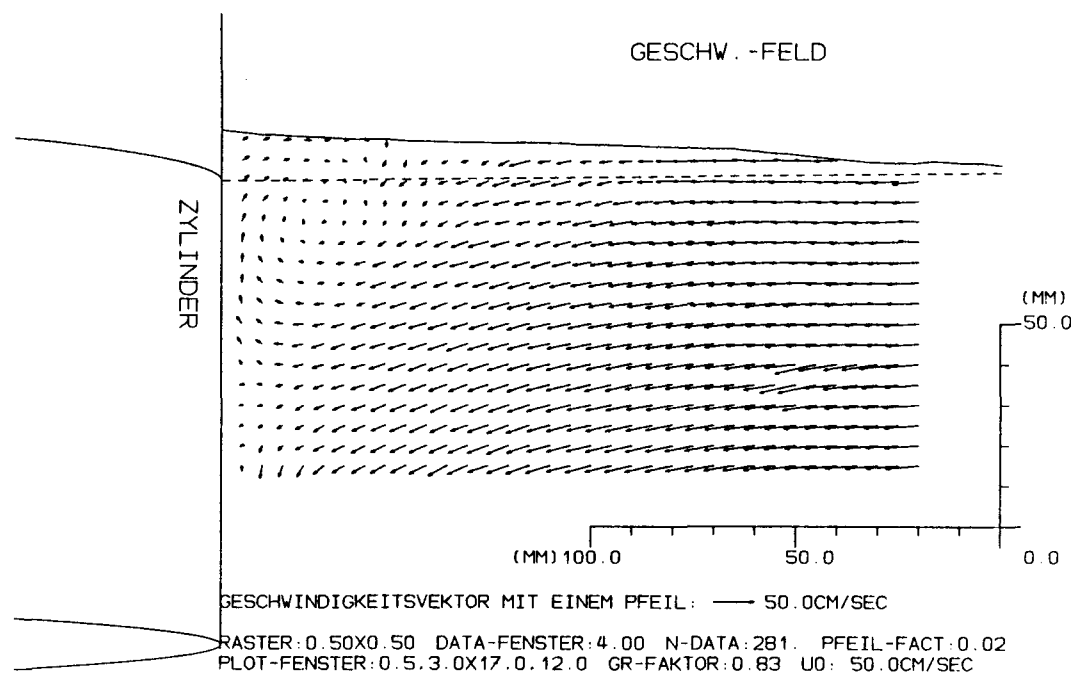


Abb.56 Geschwindigkeitsfeld

$U_0 : 0.5 \text{ m/s}$

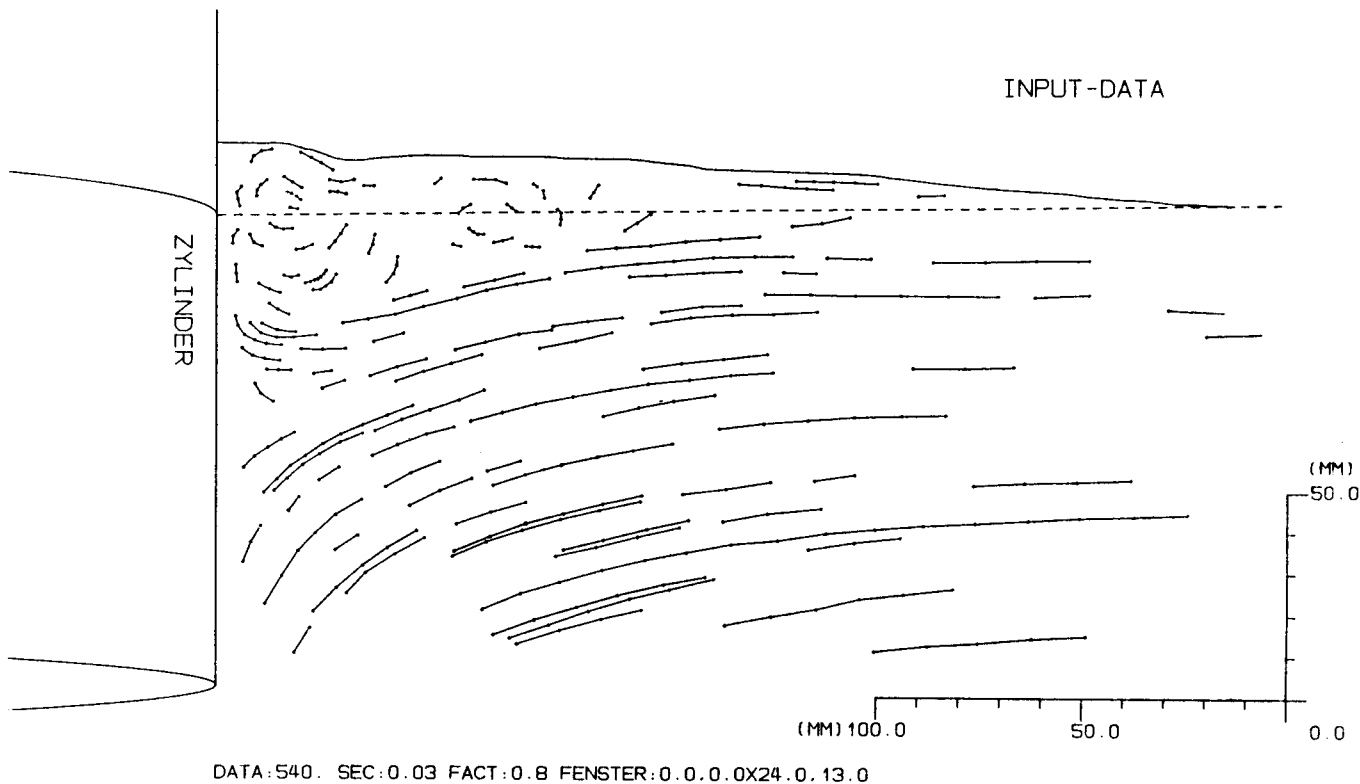


Abb57 Eingabedaten

U0 : 0.6 m/s

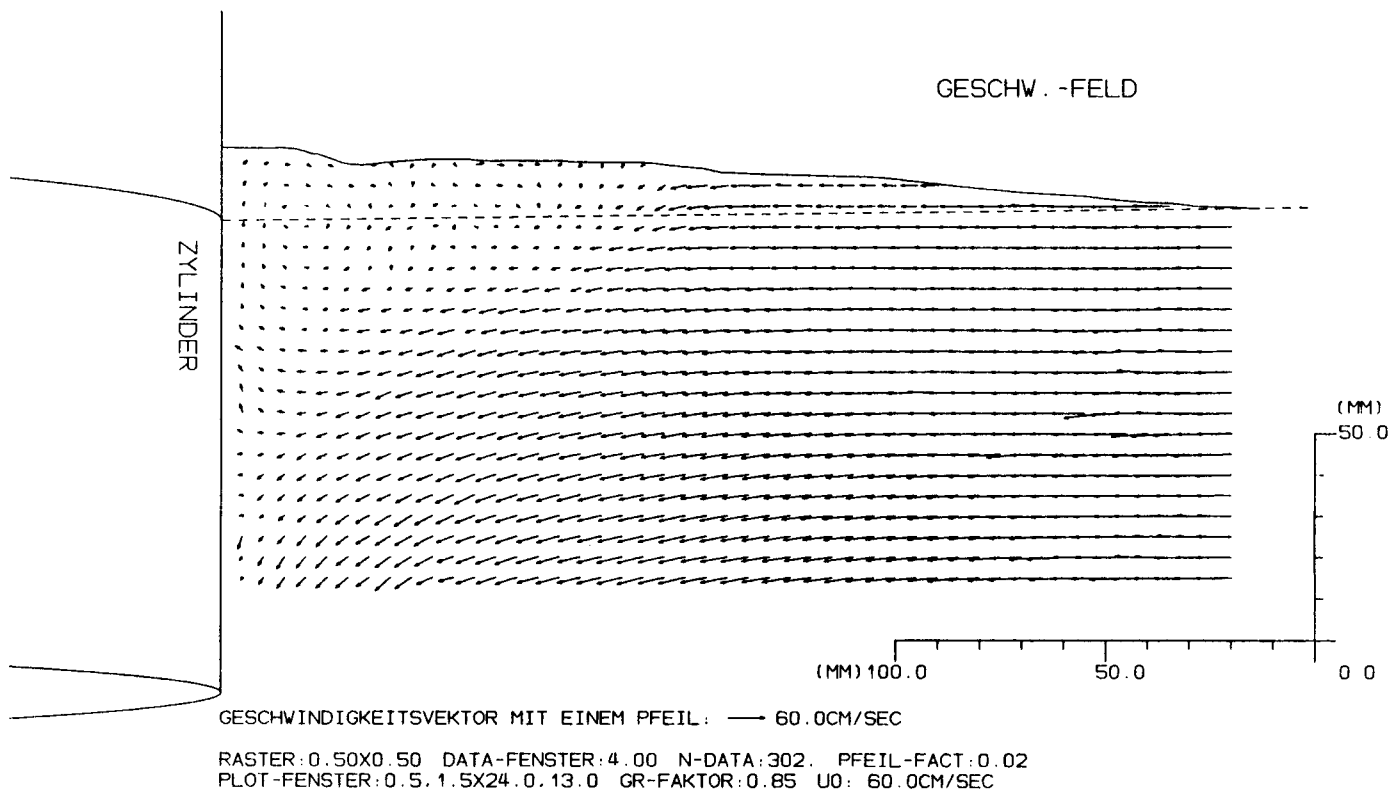


Abb.58 Geschwindigkeitsfeld

U0 : 0.6 m/s

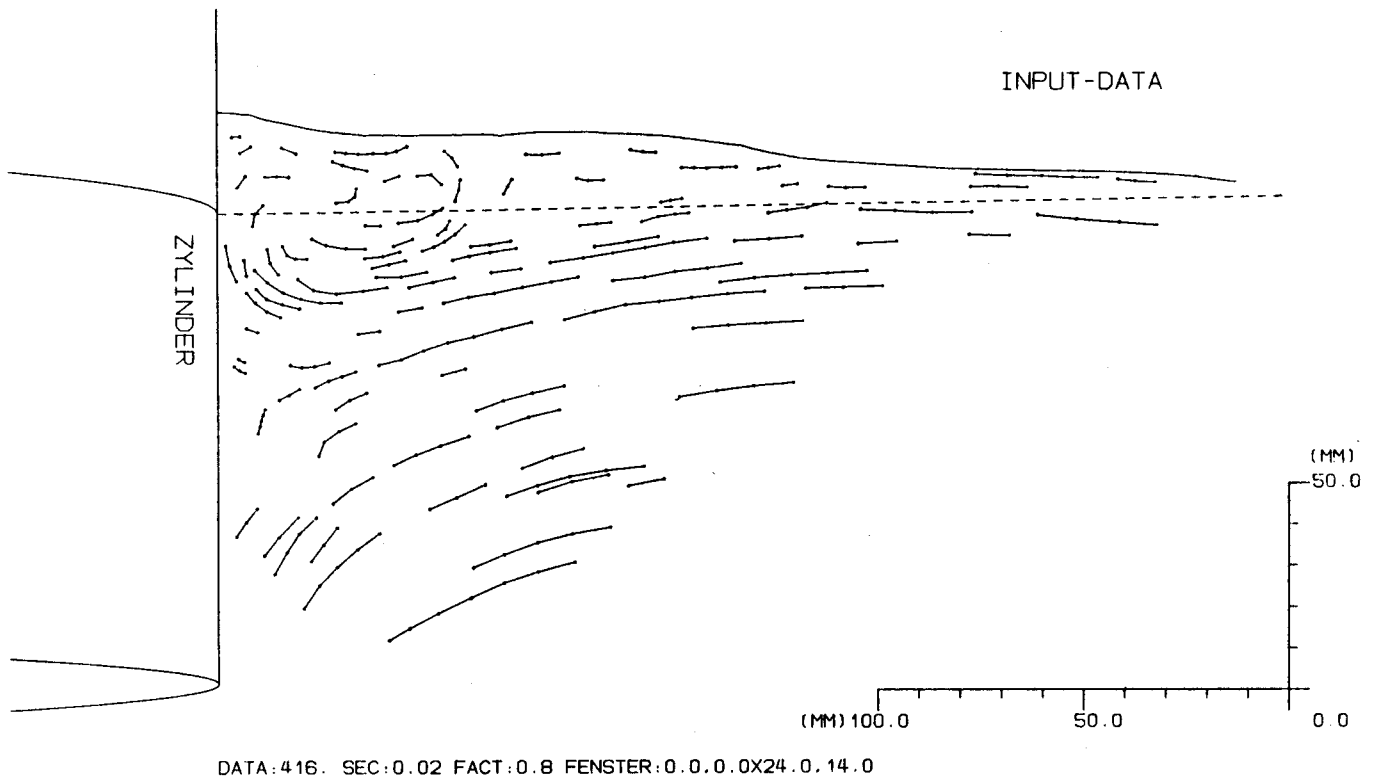


Abb.59 Eingabedaten

U0 : 0.7 m/s

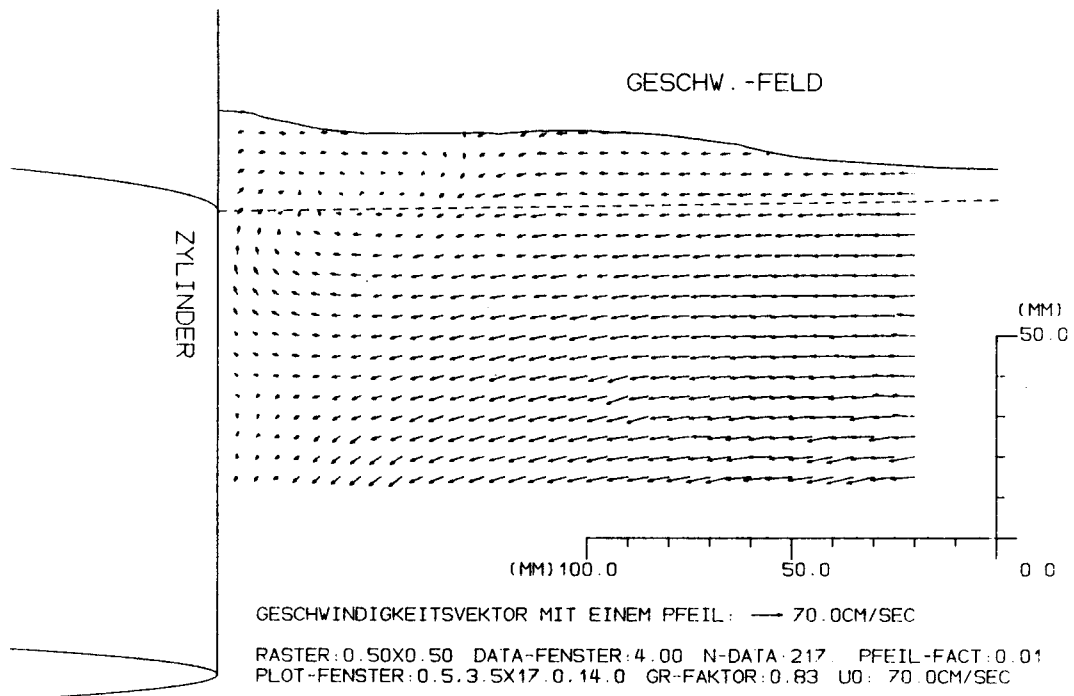
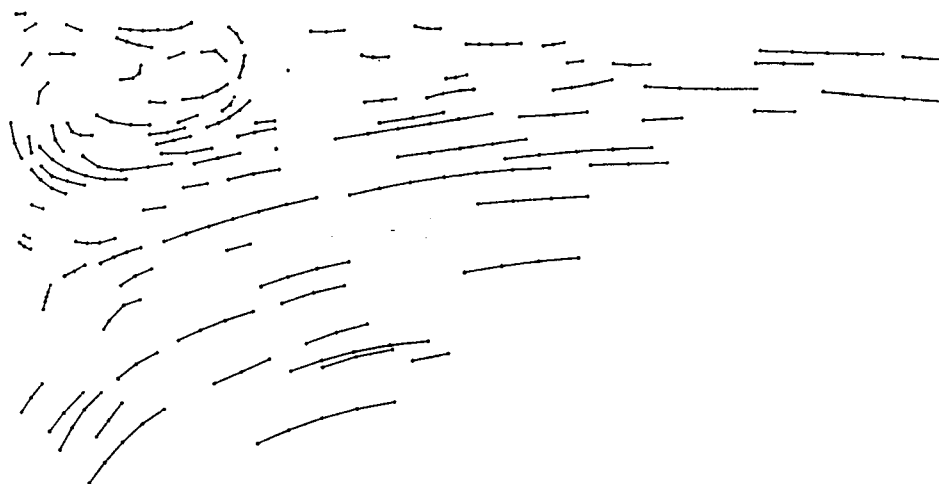


Abb.60 Geschwindigkeitsfeld

U0 : 0.7 m/s

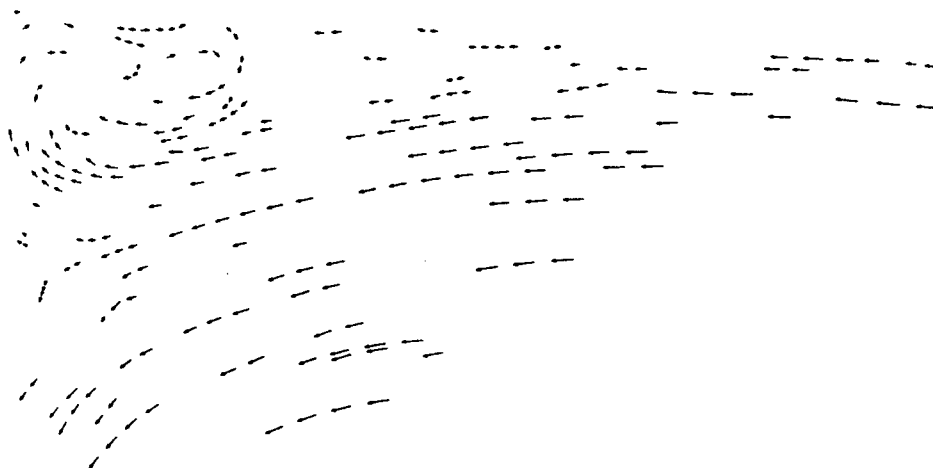
APROX



DATA:416. SEC:0.02 FACT:0.0 FENSTER:0.0.0.0X24.0.14.0

Abb.61 Eingabedaten nach der Ausgleichung $U_0 : 0.7 \text{ m/s}$

MOM. GESCHW.



GESCHWINDIGKEITSVEKTOR MIT EINEM PFEIL: $\rightarrow 50.0\text{CM/SEC}$

DATA:416. SEC:0.02 FACT:0.0 Δ -FAC:0.01 FENSTER:0.0.0.0X24.0.14.0

Abb.62 Mom.Geschwindigkeit

$U_0 : 0.7 \text{ m/s}$

Vertikal-Zylinder

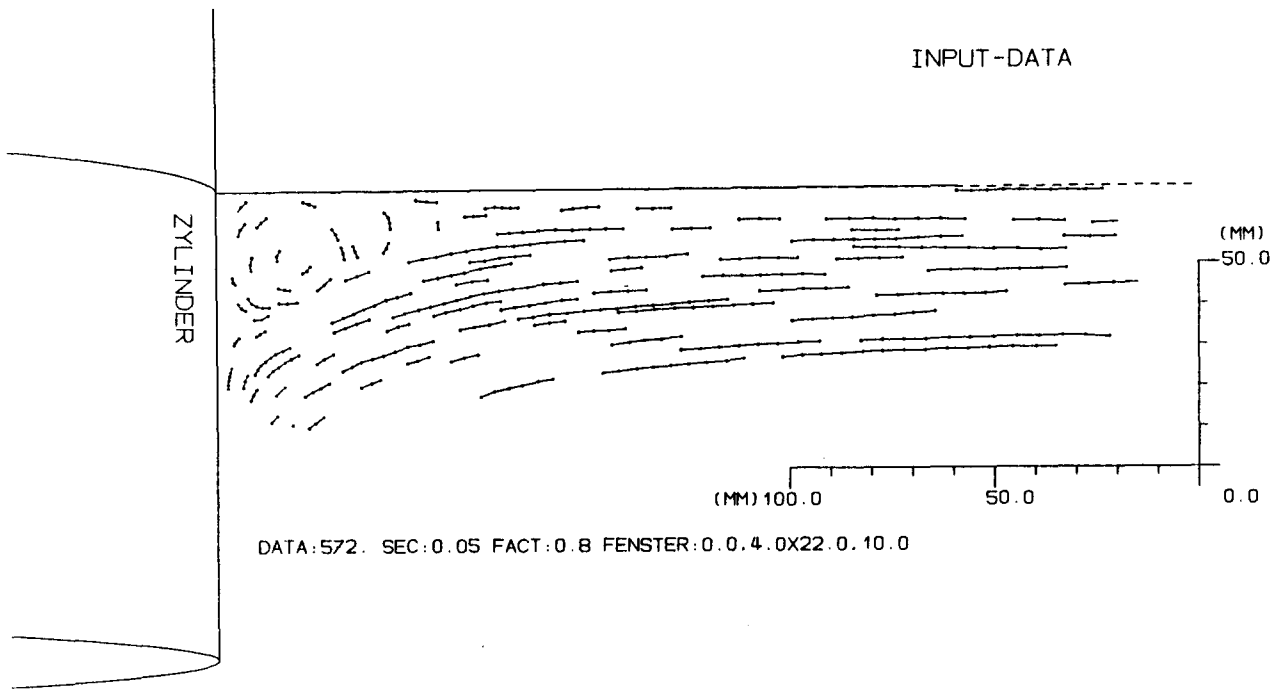


Abb.63 Eingabedaten

$U_0 : 0.1 \text{ m/s}$

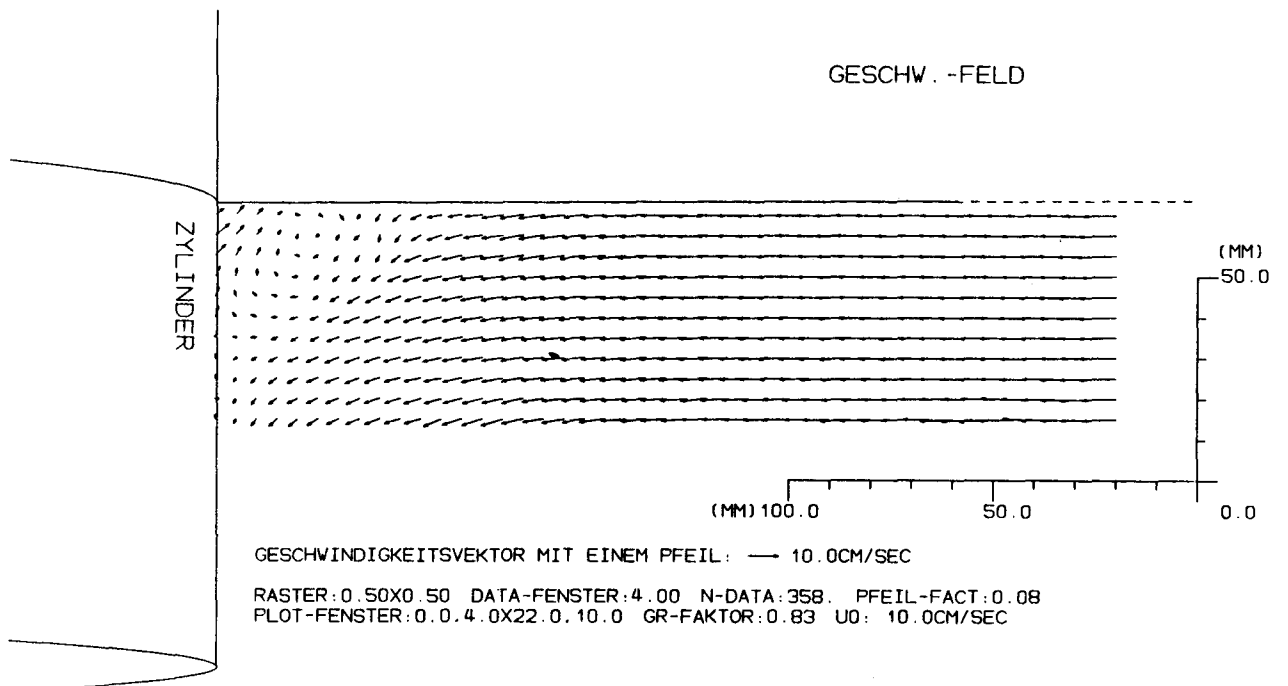
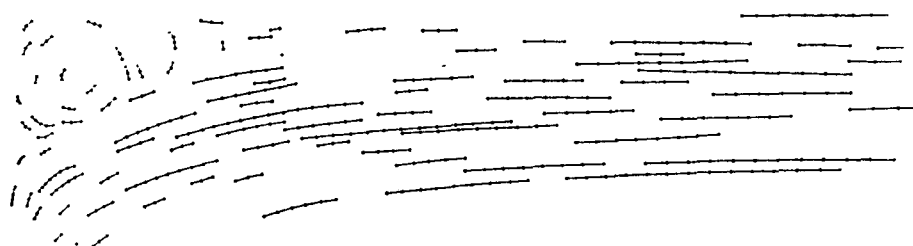


Abb.64 Geschwindigkeitsfeld

$U_0 : 0.1 \text{ m/s}$

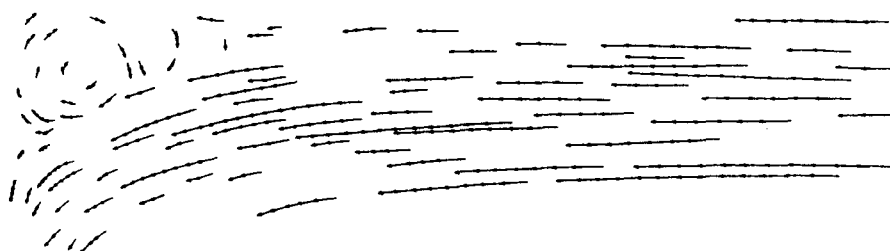
APROX



DATA:572. SEC:0.05 FACT:0.8 FENSTER:0.0.4.0X22.0.10.0

Abb.65 Eingabedaten nach der Ausgleichung $U_0 : 0.1 \text{ m/s}$

MOM. GESCHW.



GESCHWINDIGKEITSVEKTOR MIT EINEM PFEIL: — 10.0CM/SEC

DATA:572. SEC:0.05 FACT:0.8 Δ-FAC:0.08 FENSTER:0.0.4.0X22.0.10.0

Abb.66 Mom.Geschwindigkeit

$U_0 : 0.1 \text{ m/s}$

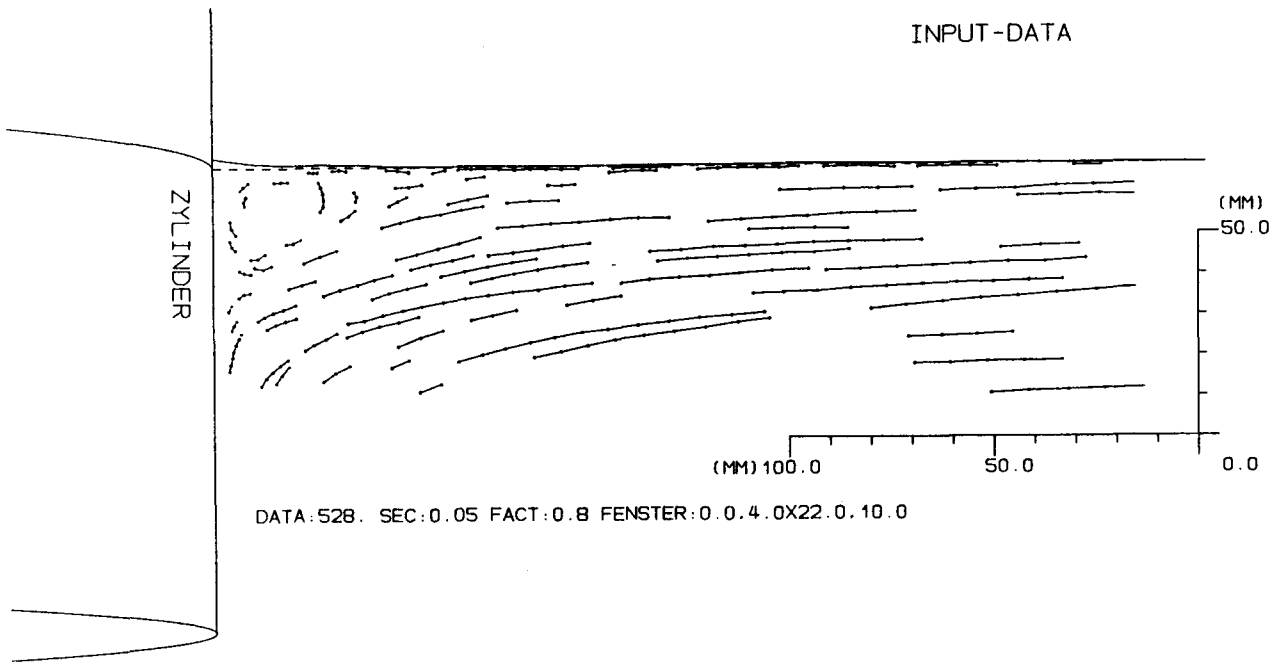


Abb.67 Eingabedaten

U0 : 0.2 m/s

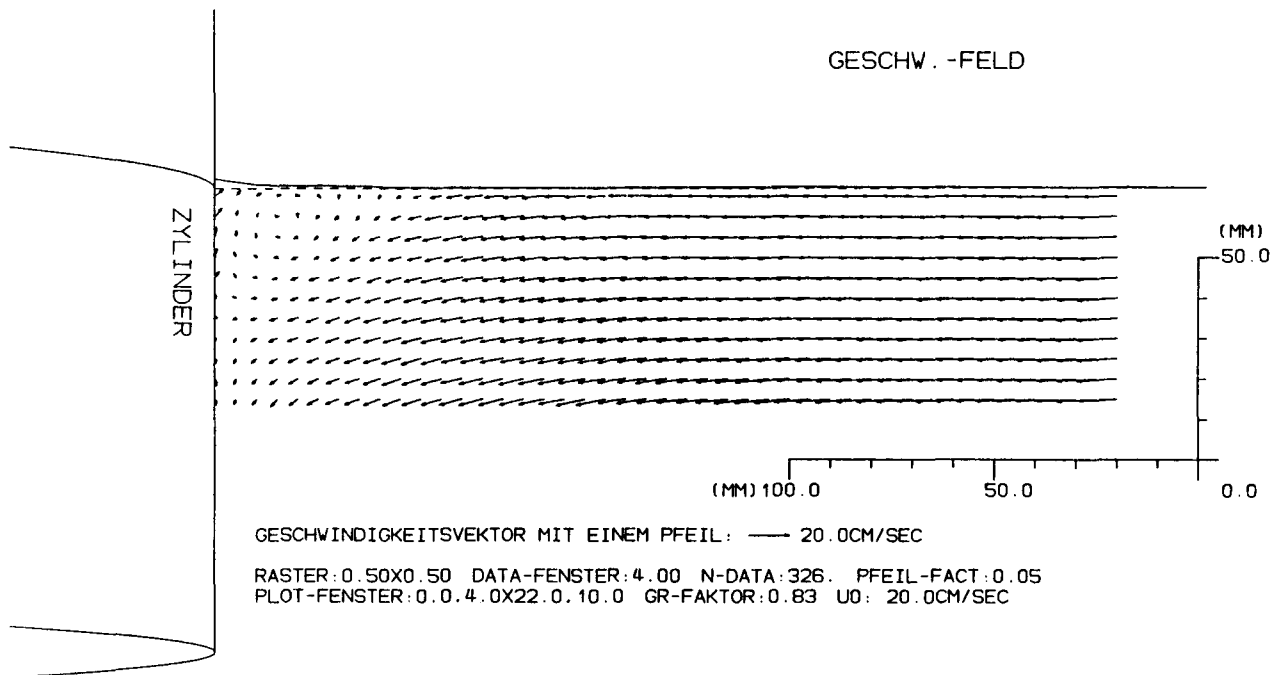


Abb.68 Geschwindigkeitsfeld

U0 : 0.2 m/s

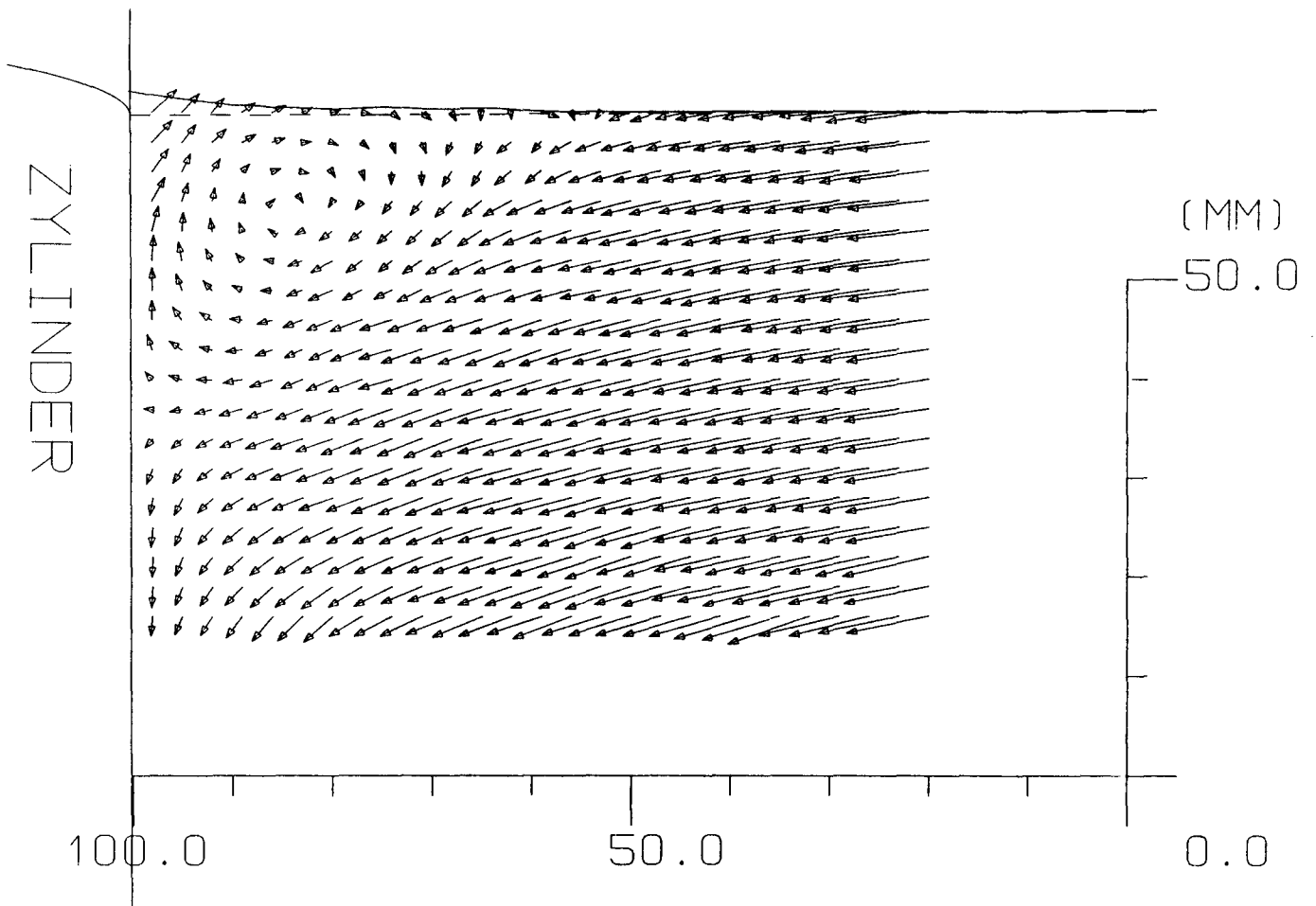


Abb.69 Lupe-Darstellung

$U_0 : 0.2 \text{ m/s}$

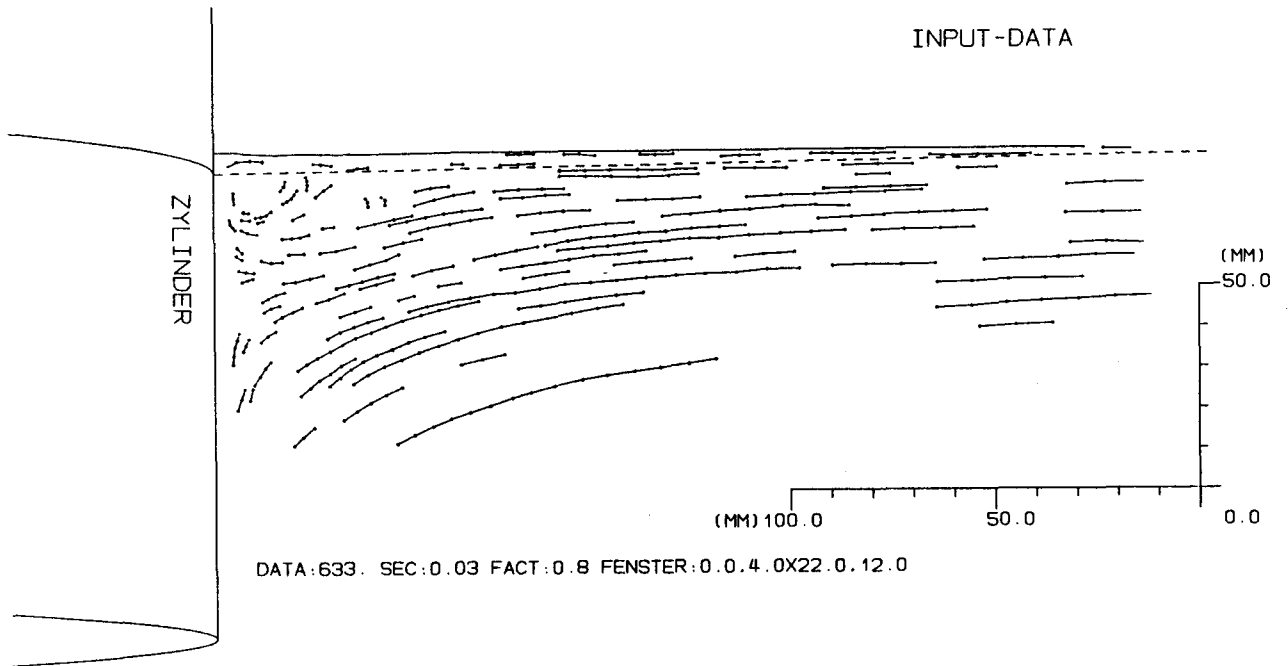


Abb.70 Eingabedaten

U0 : 0.3 m/s

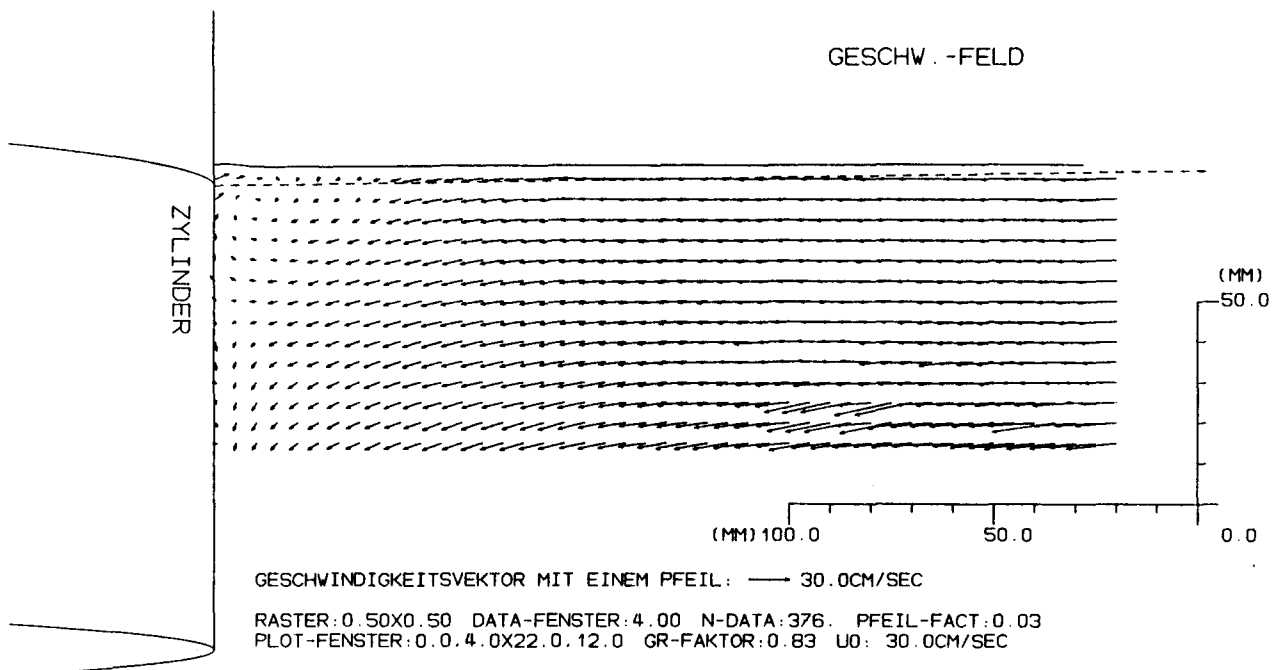


Abb.71 Geschwindigkeitsfeld

U0 : 0.3 m/s

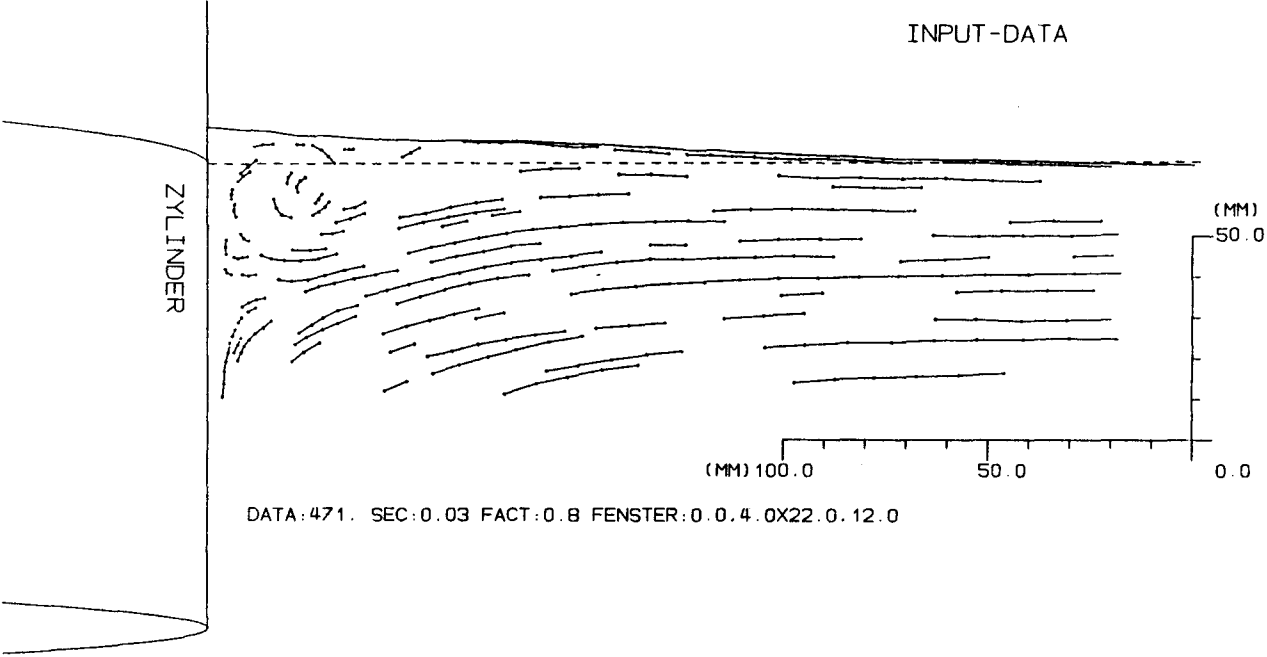


Abb.72 Eingabedaten

U0 : 0.4 m/s

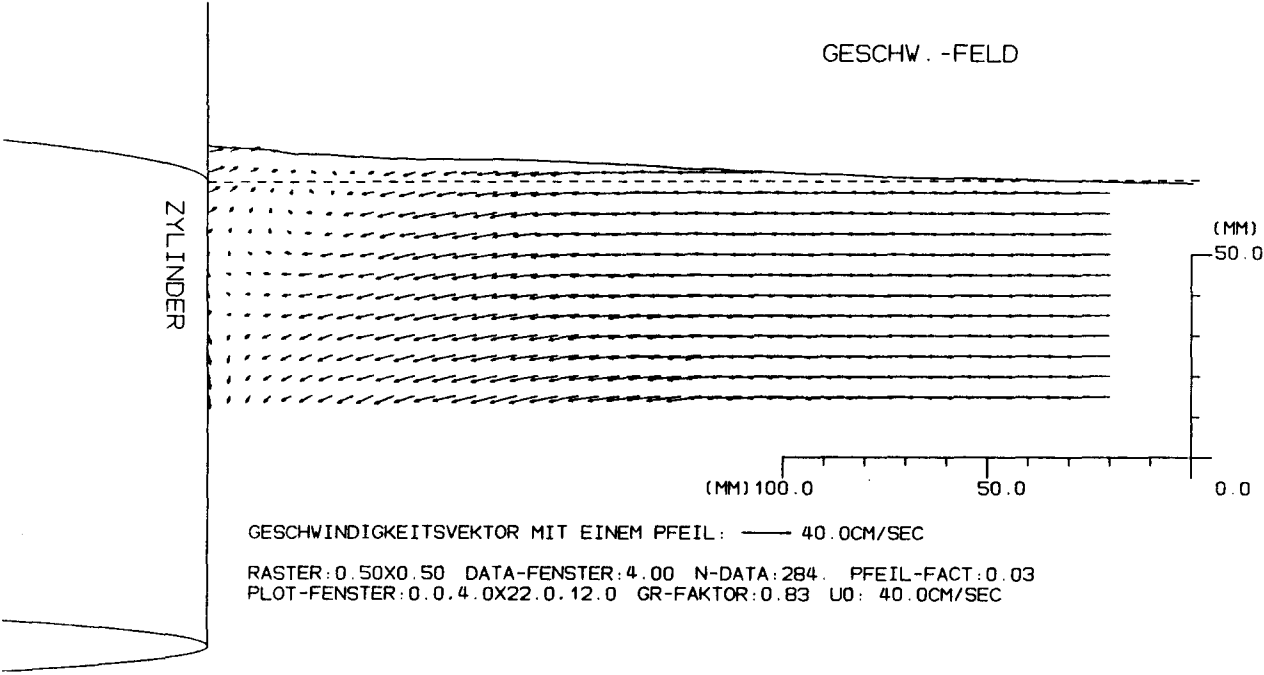
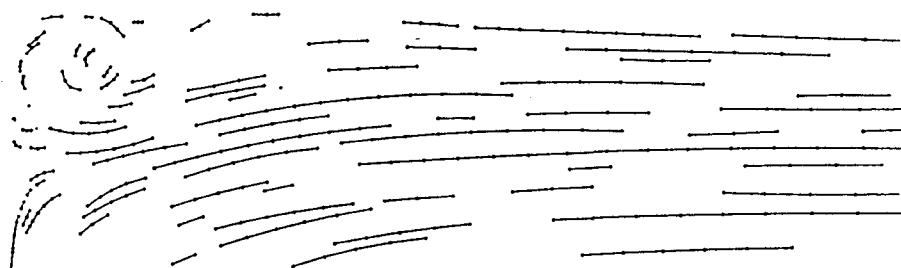


Abb.73 Geschwindigkeitsfeld

U0 : 0.4 m/s

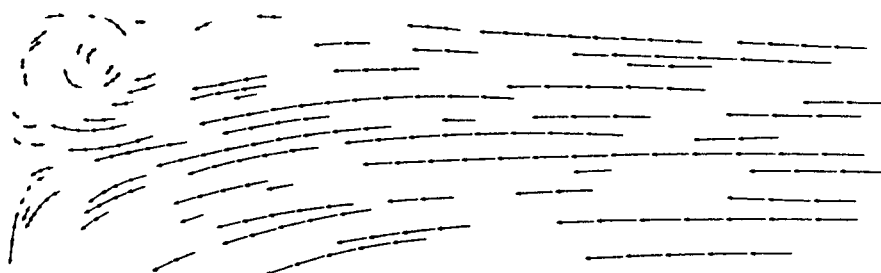
APROX



DATA:471. SEC:0.03 FACT:0.8 FENSTER:0.0.4.0X22.0.12.0

Abb.74 Eingabedaten nach der Ausgleichung $U_0 : 0.4 \text{ m/s}$

MOM. GESCHW.



GESCHWINDIGKEITSVEKTOR MIT EINEM PFEIL: — 30.0CM/SEC

DATA:471. SEC:0.03 FACT:0.8 Δ-FAC:0.03 FENSTER:0.0.4.0X22.0.12.0

Abb.75 Mom.Geschwindigkeit

$U_0 : 0.4 \text{ m/s}$

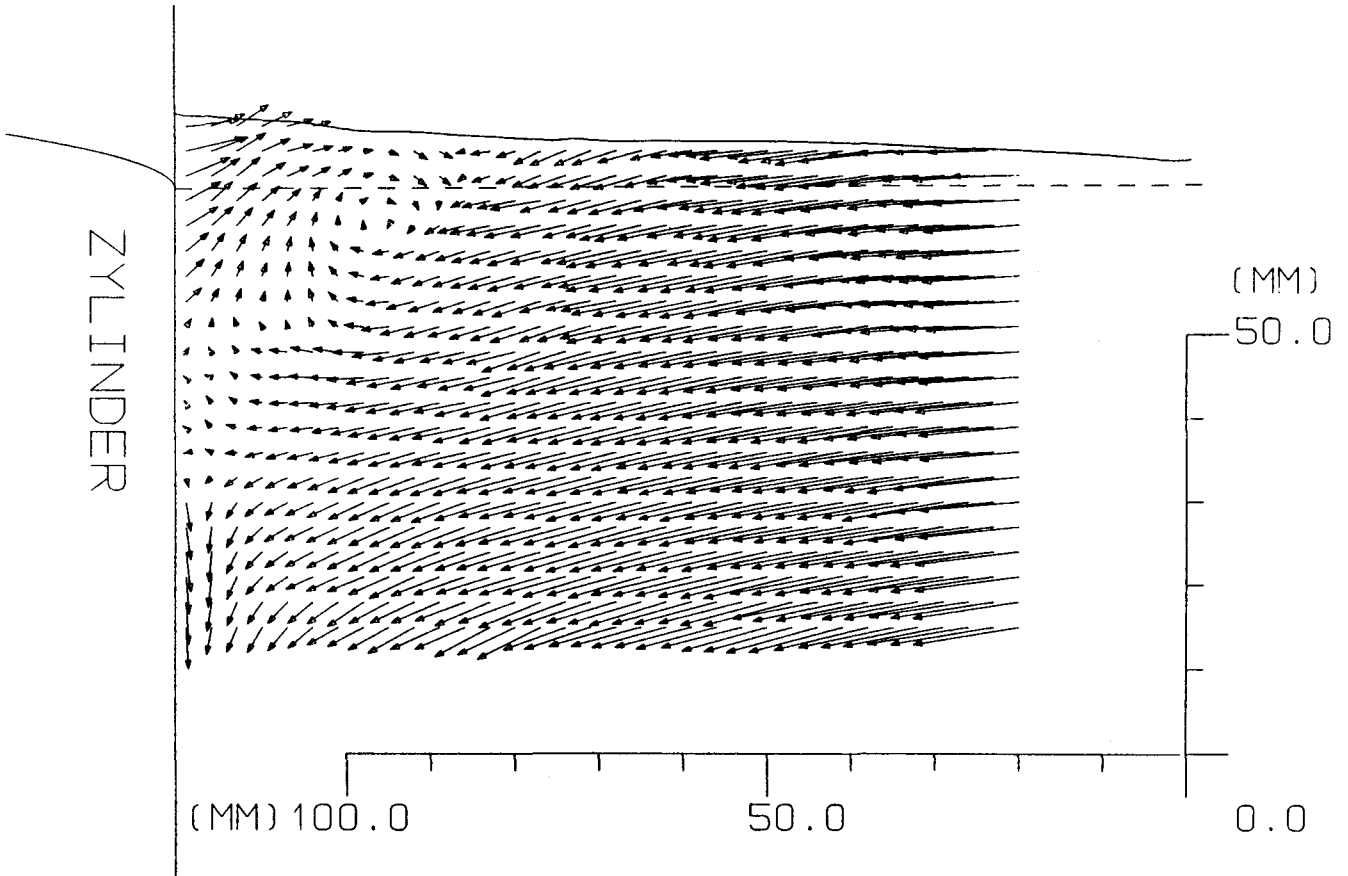


Abb.76 Lupe-Darstellung

$U_0 : 0.4 \text{ m/s}$

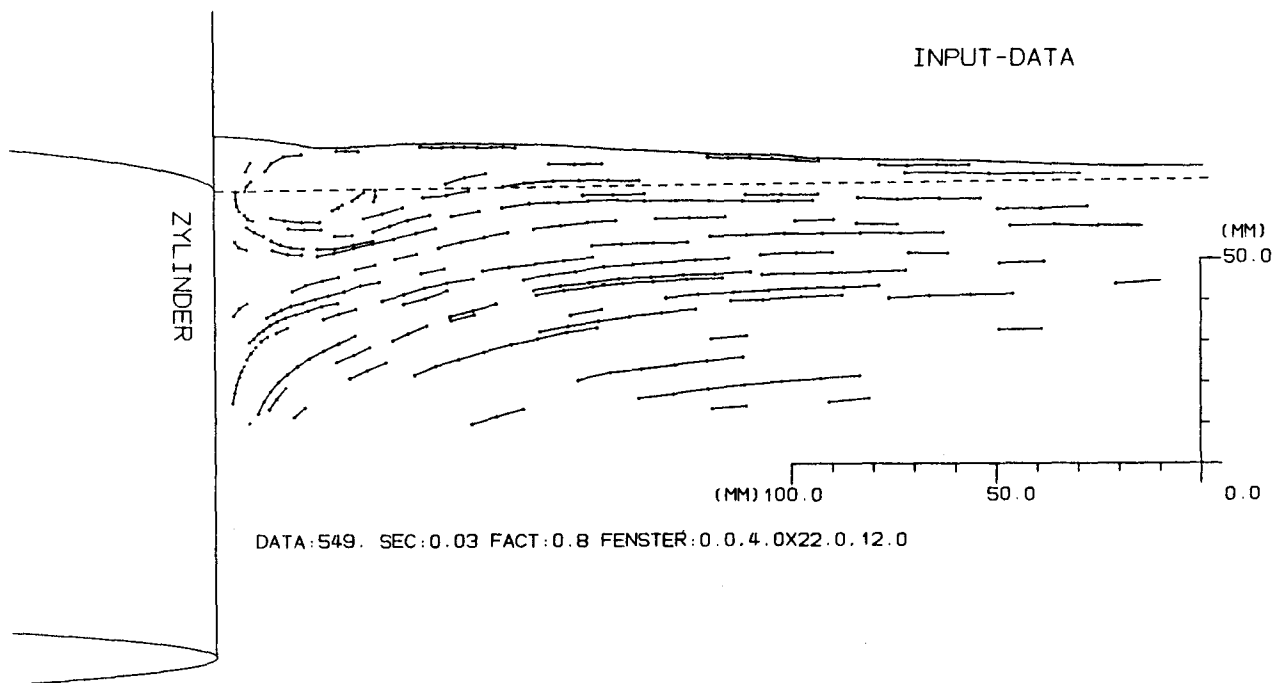


Abb.77 Eingabedaten

$U_0 : 0.5 \text{ m/s}$

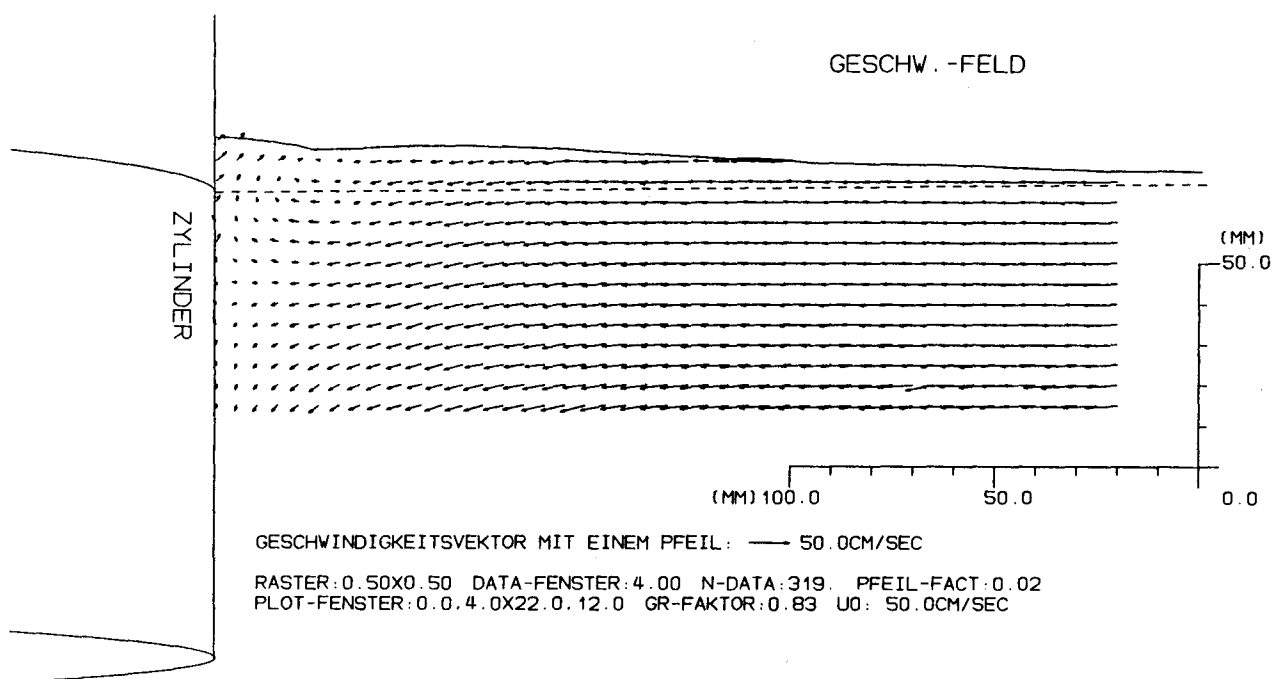


Abb.78 Geschwindigkeitsfeld

$U_0 : 0.5 \text{ m/s}$

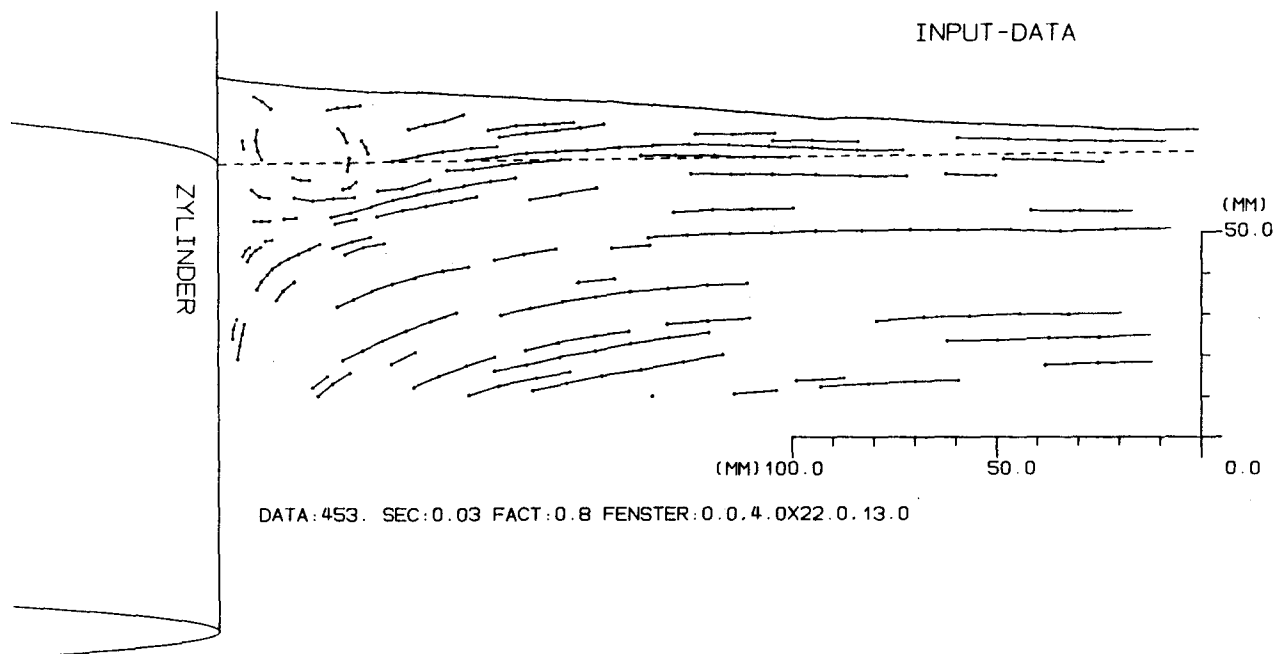


Abb.79 Eingabedaten

$U_0 : 0.6 \text{ m/s}$

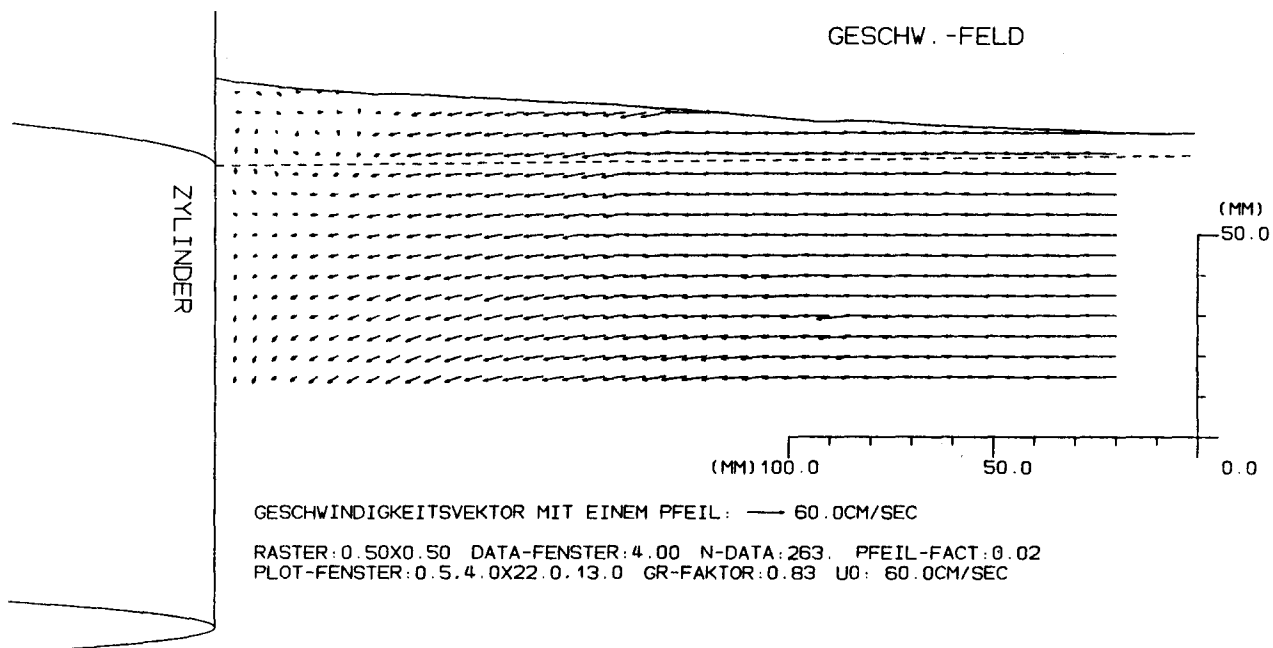


Abb.80 Geschwindigkeitsfeld

$U_0 : 0.6 \text{ m/s}$

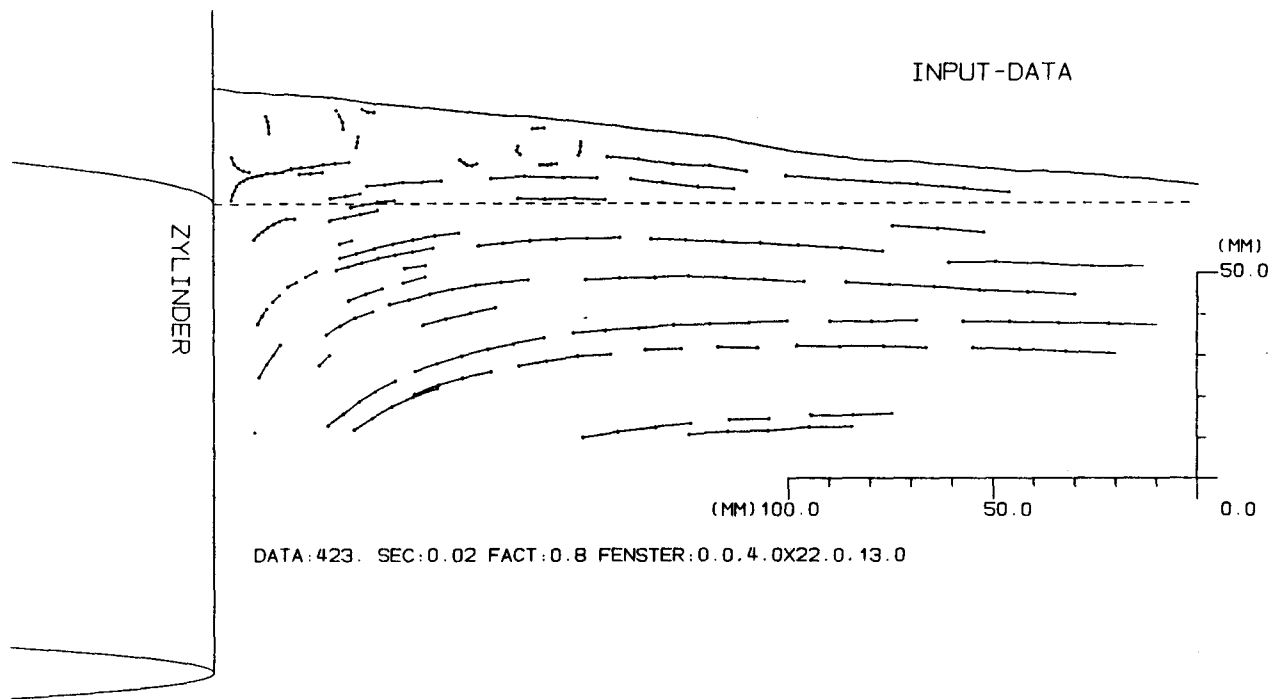


Abb.81 Eingabedaten

$U_0 : 0.7 \text{ m/s}$

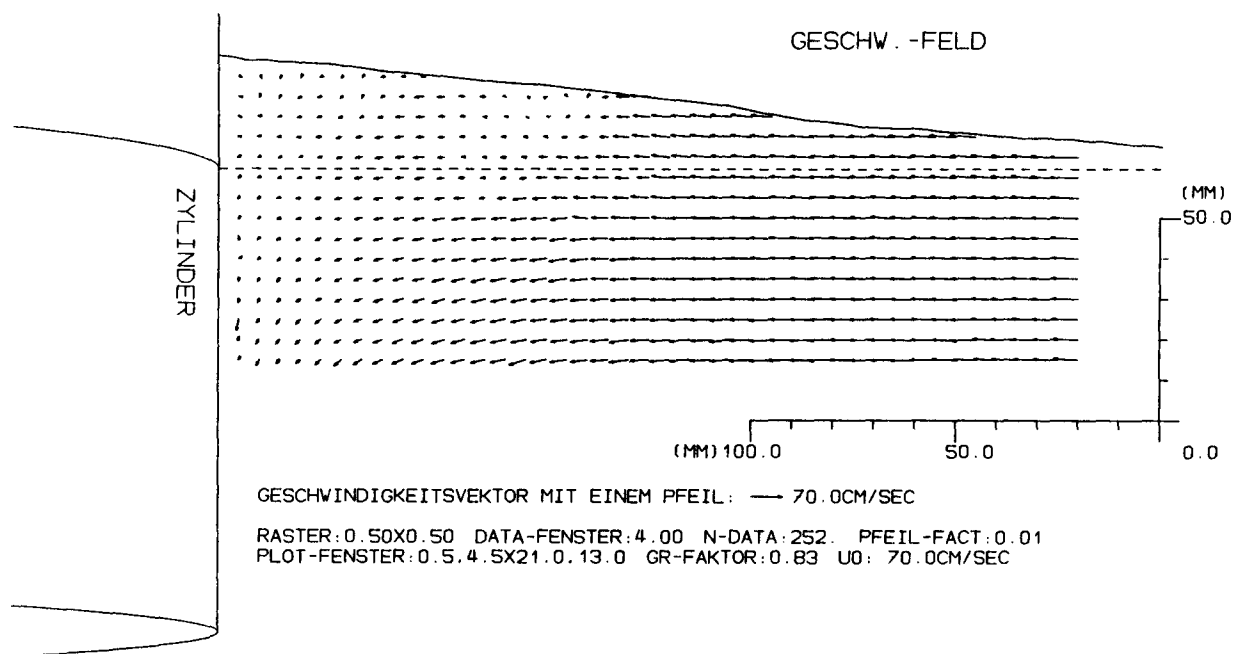
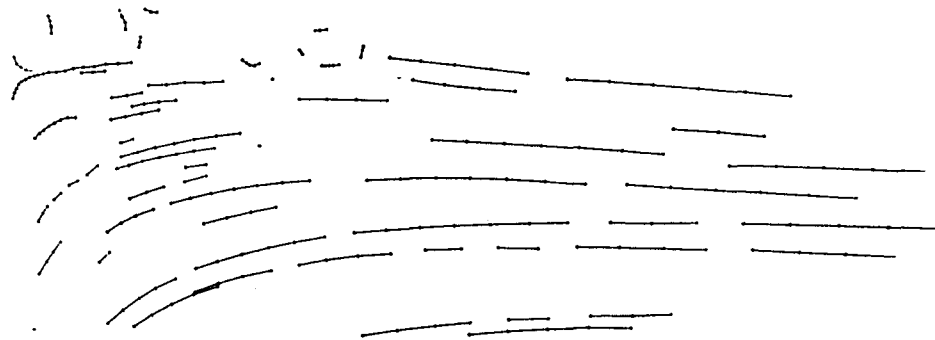


Abb.82 Geschwindigkeitsfeld

$U_0 : 0.7 \text{ m/s}$

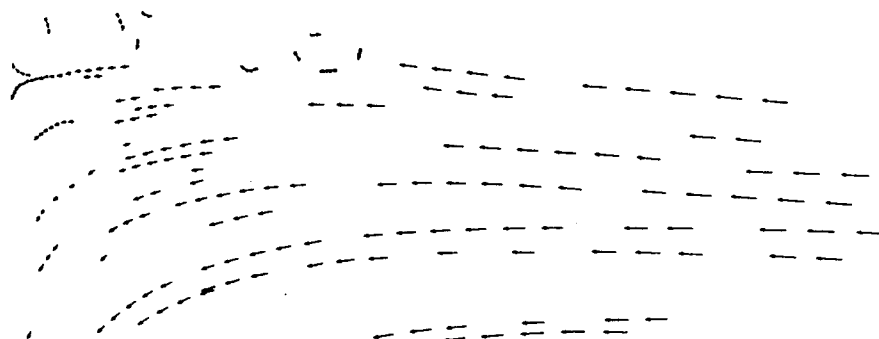
APROX



DATA:423. SEC:0.02 FACT:0.8 FENSTER:0.0.4.0X22.0.13.0

Abb.83 Eingabedaten nach der Ausgleichung U0 : 0.7 m/s

MOM. GESCHW.



GESCHWIGKEITSVEKTOR MIT EINEM PFEIL: — 50.0CM/SEC

DATA:423. SEC:0.02 FACT:0.8 Δ-FAC:0.01 FENSTER:0.0.4.0X22.0.13.0

Abb.84 Mom.Geschwindigkeit

U0 : 0.7 m/s

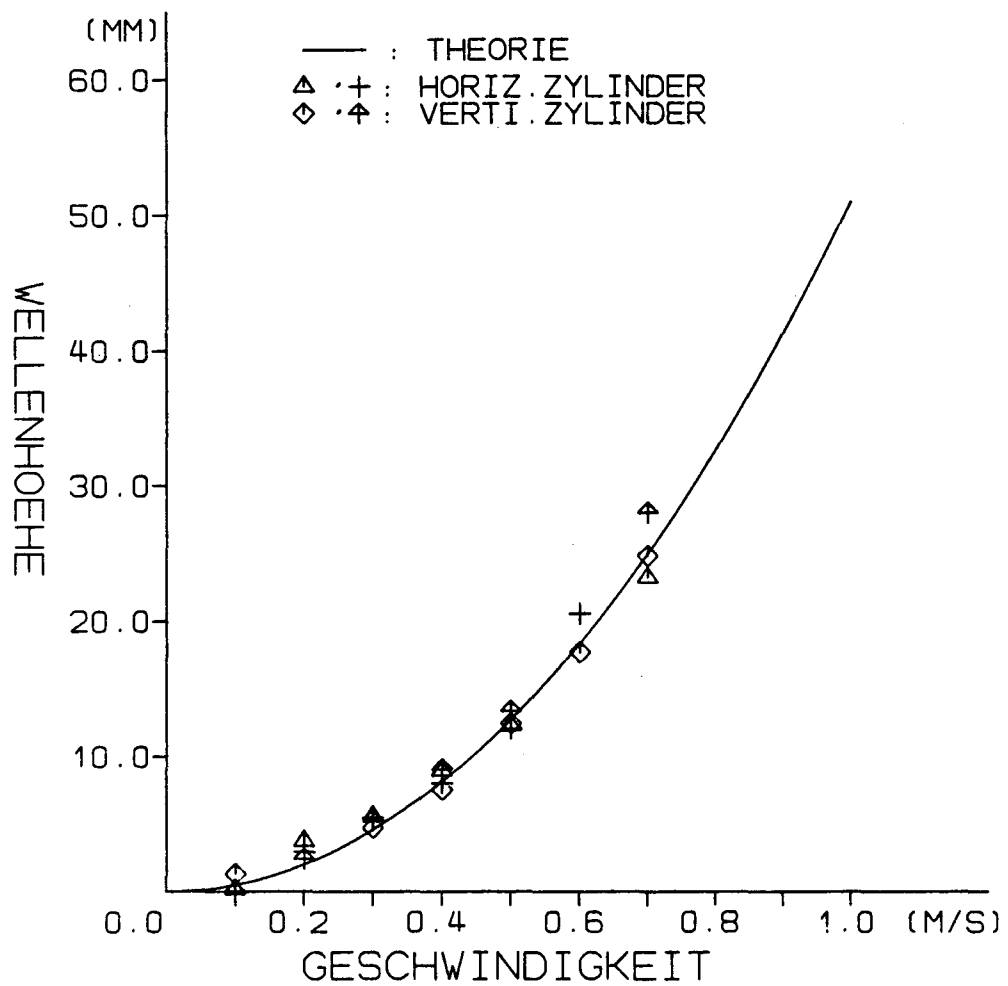


Abb.85 Wellenhöhe am Staupunkt an der Zylinderwand

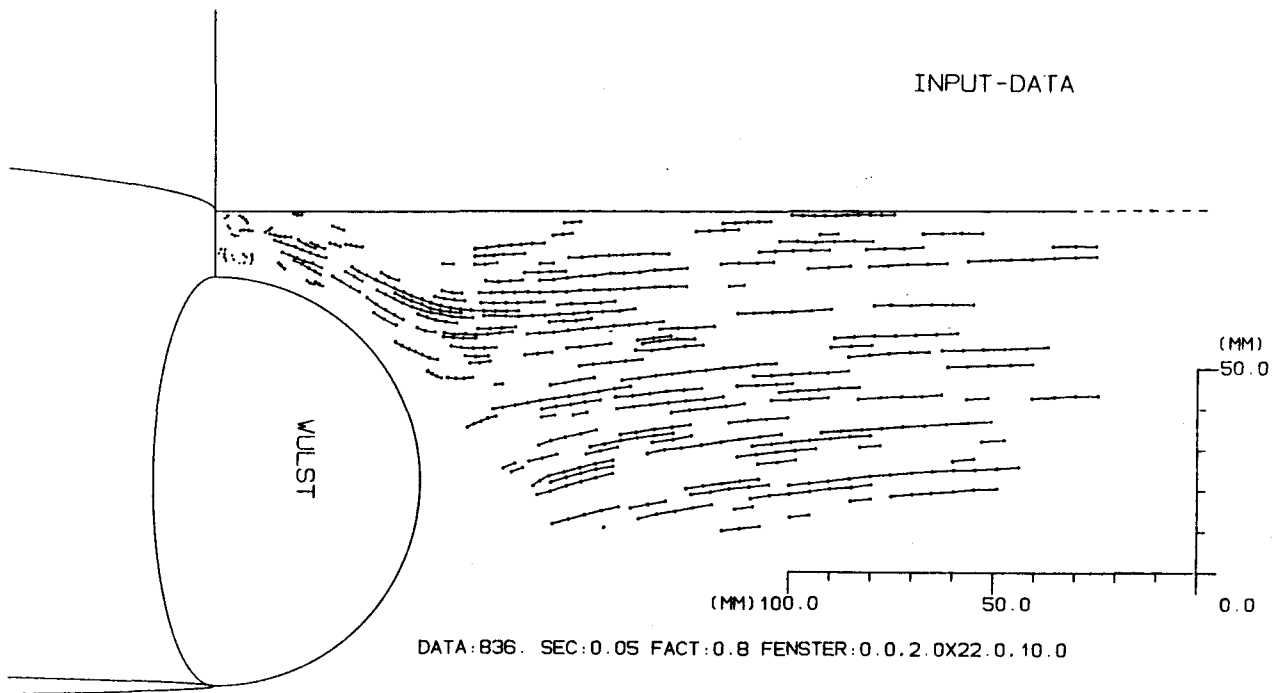


Abb.86 Eingabedaten

$U_0 : 0.1 \text{ m/s}$

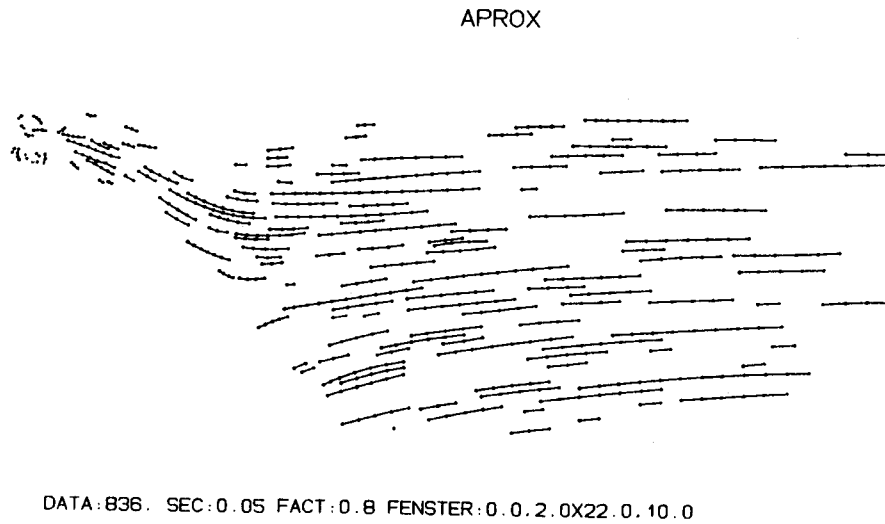


Abb.87 Eingabedaten nach der Ausgleichung

$U_0 : 0.1 \text{ m/s}$

MOM. GESCHW.



GESCHWIGKEITSVEKTOR MIT EINEM PFEIL: — 10.0CM/SEC
DATA:836. SEC:0.05 FACT:0.8 Δ-FAC:0.08 FENSTER:0.0.2.0X22.0.10.0

Abb.88 Mom.Geschwindigkeit

U0 : 0.1 m/s

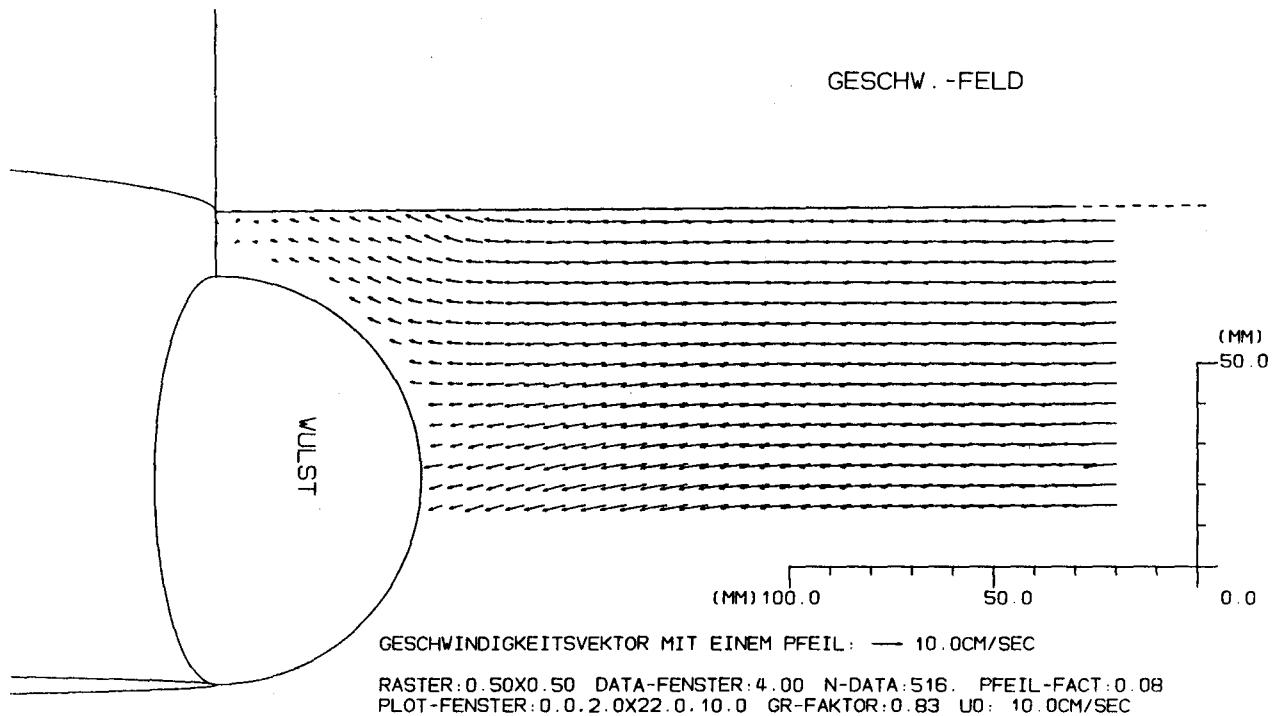


Abb.89 Geschwindigkeitsfeld

U0 : 0.1 m/s

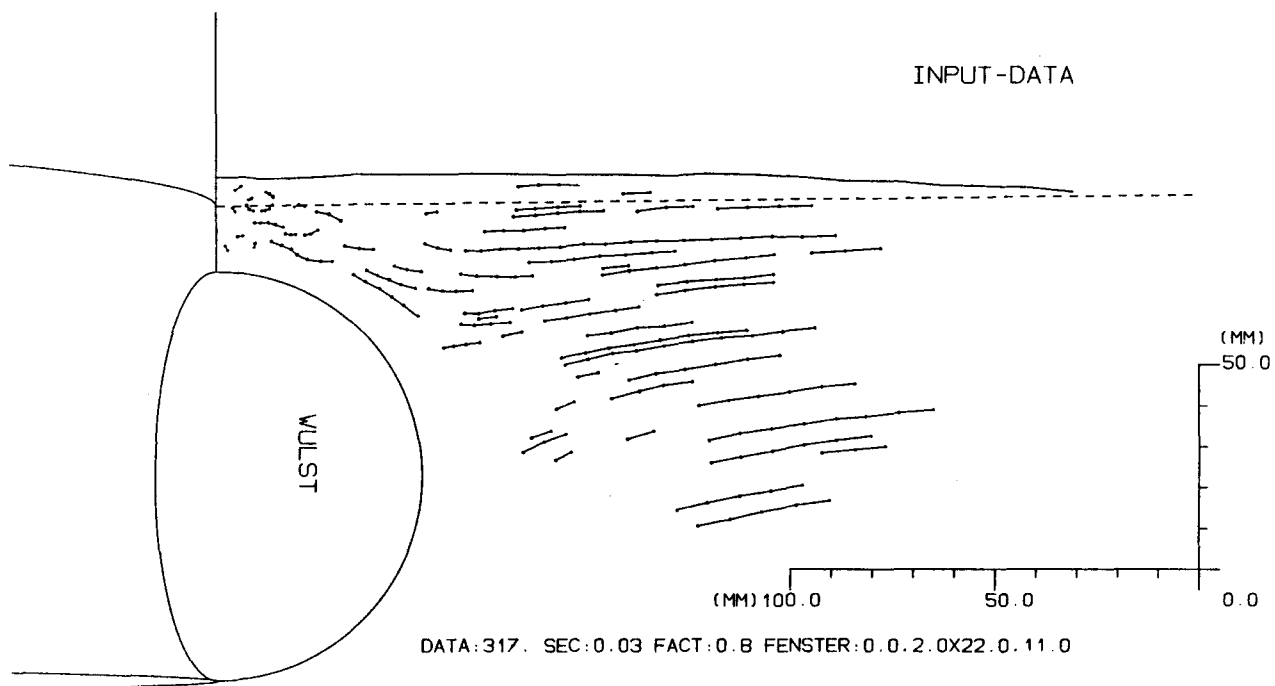


Abb.90 Eingabedaten

$U_0 : 0.3 \text{ m/s}$

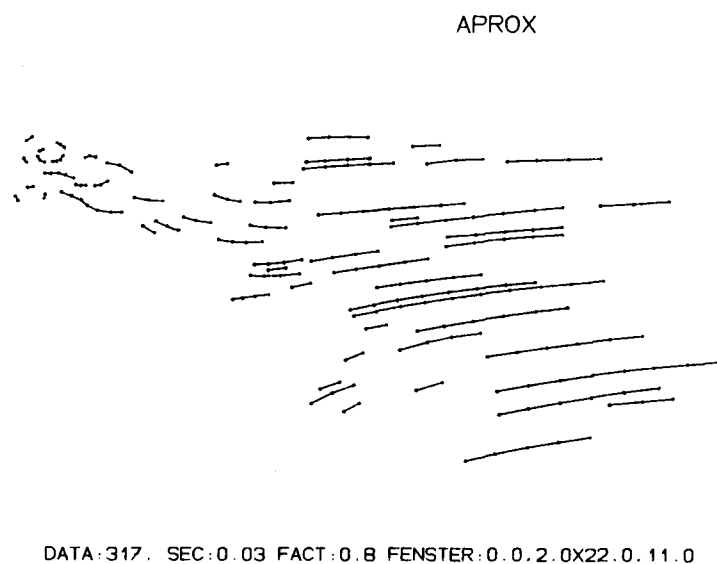
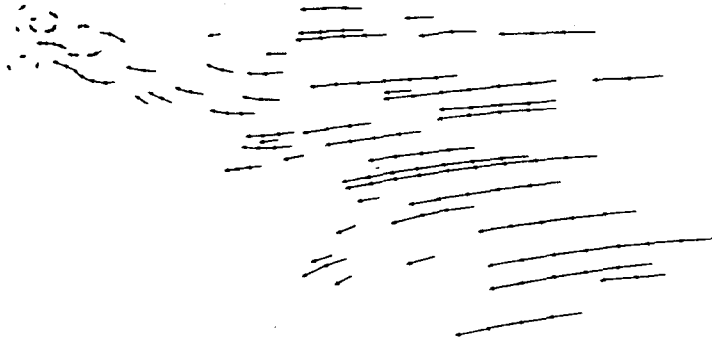


Abb.91 Eingabedaten nach der Ausgleichung

$U_0 : 0.3 \text{ m/s}$

MOM. GESCHW.



GESCHWINDIGKEITSVEKTOR MIT EINEM PFEIL: — 30.0CM/SEC
DATA:317. SEC:0.03 FACT:0.8 Δ-FAC:0.03 FENSTER:0.0.2.0X22.0.11.0

Abb.92 Mom.Geschwindigkeit

U0 : 0.3 m/s

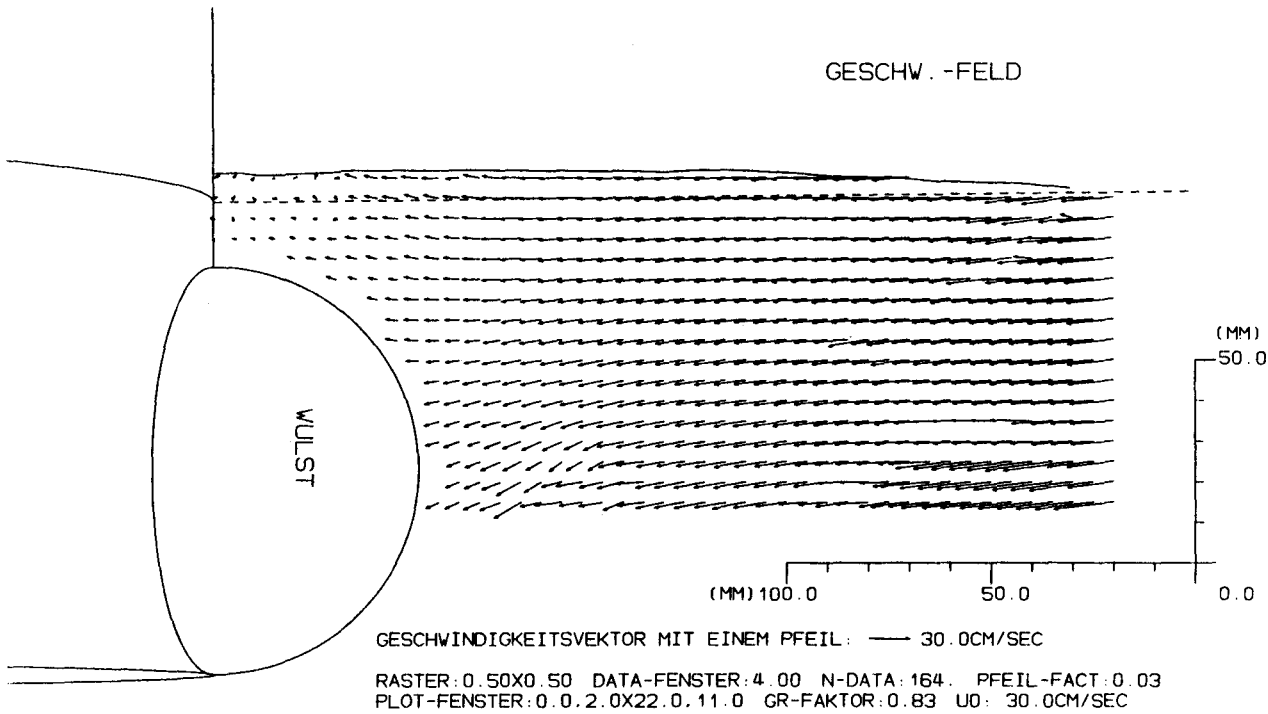


Abb.93 Geschwindigkeitsfeld

U0 : 0.3 m/s

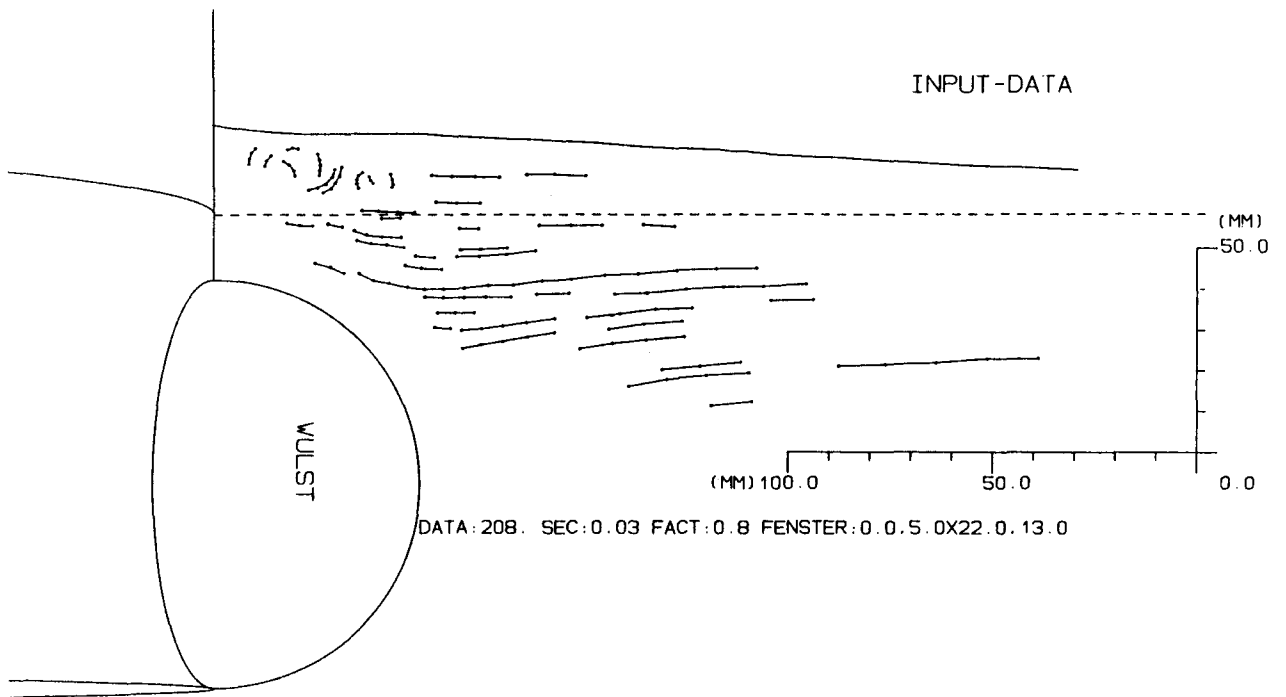


Abb.94 Eingabedaten

U0 : 0.6 m/s

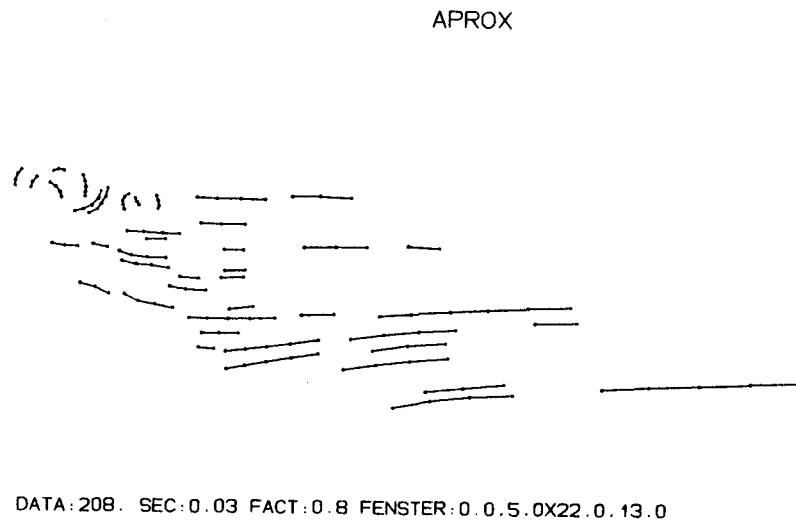


Abb.95 Eingabedaten nach der Ausgleichung

U0 : 0.6 m/s

MOM. GESCHW.



GESCHWIGKEITSVEKTOR MIT EINEM PFEIL: — 40.0CM/SEC
DATA:208. SEC:0.03 FACT:0.8 Δ-FAC:0.02 FENSTER:0.0.5.0X22.0.13.0

Abb.96 Mom.Geschwindigkeit

U0 : 0.6 m/s

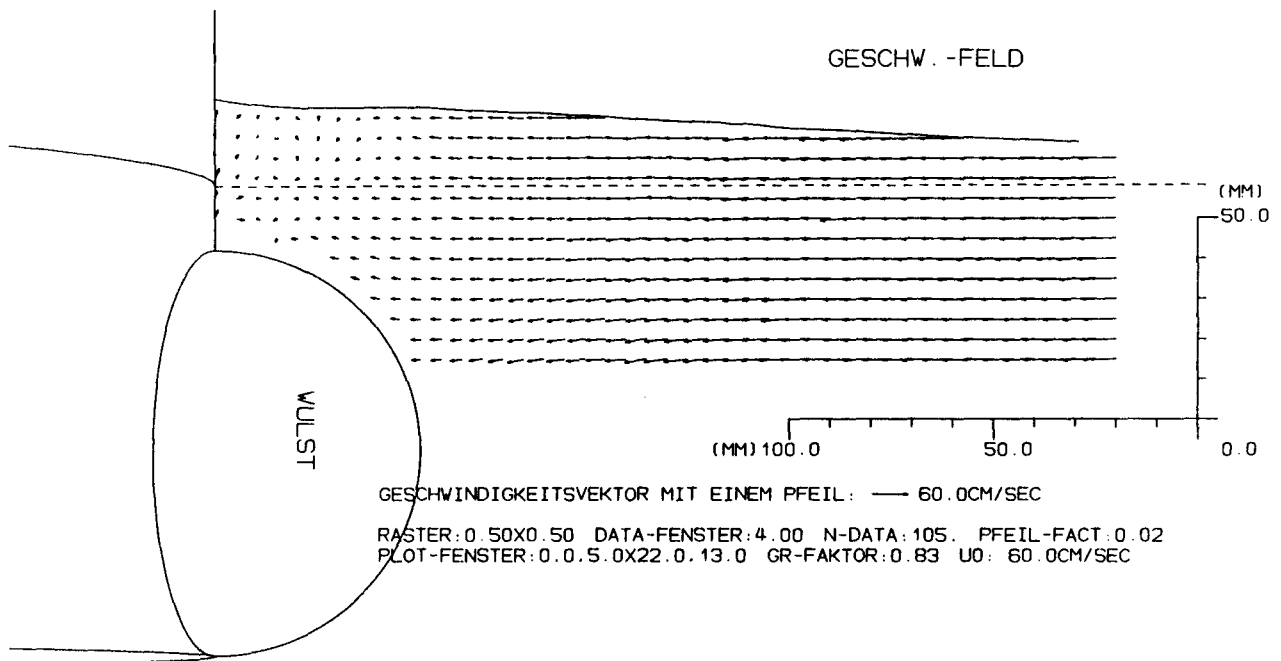


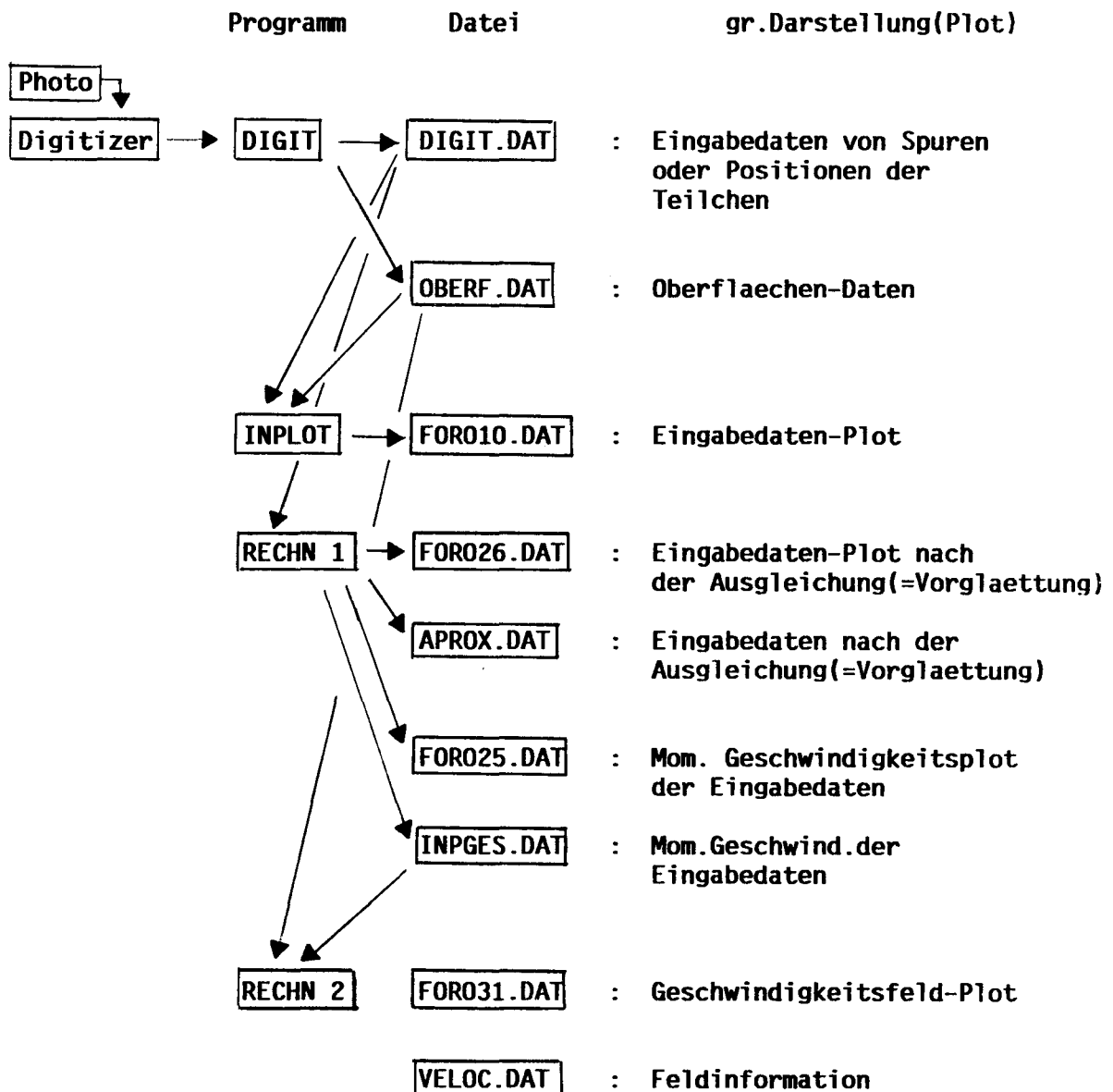
Abb.97 Geschwindigkeitsfeld

U0 : 0.6 m/s

Anhang 1

- Kurzbeschreibung und Auflistung der Computer-Programme -

Das Blockschaltbild zeigt das gesamte Programmsystem mit den Programm- und Datei-Namen zur Berechnung und graphischen Darstellung des Stromungsfeldes aus den photographierten Teilchenspuren und Teilchenpositionen.




```

        DATX(N)=X
        DATY(N)=Y
C      Nur fuer die Spurenaufnahme
C      if(nch.eq.1) then
C      nch=2
C      else
C      nch=1
C      n=n+1
C      datx(n)=0.0
C      daty(n)=0.0
C      end if
        GOTO 1
C-----Befehle von MENUE1
C-----Letzter loeschen
  6  DATX(N)=0.
     DATY(N)=0.
     N=N-1
     IF(N.LE.0) N=1
     GOTO 1
C-----Plot fortsetzen
  7  NA=1
     NE=N
     IM=I
     GOTO 402
C-----Plot aus 'DIGIT.DAT'
  8  DO 104 ISAU=1,3000
     DATX(ISAU)=0.
     DATY(ISAU)=0.
 104 CONTINUE
     N=0
     OPEN(25,NAME='DIGIT100.DAT',STATUS='OLD')
 401 READ(25,*,END=400) X,Y
     N=N+1
     DATX(N)=X
     DATY(N)=Y
     GOTO 401
 400 CLOSE(25)
     GOTO 13
C-----Daten listen
  9  CONTINUE
     CALL LINPOS(-1)
     WRITE(AUS,343)
 343 FORMAT(4X,'Input-data',/,
*         6x,'x',9x,'y')
     DO 102 LIS=1,N
     WRITE(AUS,344) DATX(LIS),DATY(LIS)
 344 FORMAT(2F10.5)
 102 CONTINUE
     GOTO 1
C-----Bildschirm loeschen
 10  CALL LINPOS(-1)
     GOTO 1
C-----Endpunkt input
 11  N=N+1
     DATX(N)=0.0

```

```

        DATY(N)=0.0
        GOTO 1
C-----Geometrie Input
    12  CONTINUE
        OPEN(30,NAME='GEOM.DAT',STATUS='OLD')
        WRITE(AUS,350)
    350  FORMAT(X,'  1. 2 X Punkte fuer stillen Oberflaeche',/,
&      X,'  2. Oberflaeche Input')
    40  CONTINUE
        CALL MENUTR(IKEN,IBEF,X,Y)
        IF(IKEN.EQ.1) CLOSE(30)
        GOTO(20,41) IKEN
    41  CONTINUE
        WRITE(30,344) X,Y
        GOTO 40
C-----Plott auf den Schirm
    13  CALL LINPOS(-1)
        IM=1
        XMIN=0.0
        YMIN=0.0
        XMAX=1000.0
        YMAX=1000.0
        CALL NUMWIN(XMIN,YMIN,XMAX,YMAX)
        WRITE(AUS,341)
    341  FORMAT(X,'Gib Bildschirmdefinition')
        CALL MENUTR(IKEN,IBUF,XDA,YDA)
        CALL MENUTR(IKEN,IBUF,XDE,YDE)
        CALL SECTIO(XDA,YDA,XDE,YDE)
        IF((N-1).EQ.0) WRITE(AUS,('Kein Dateninput'))
        NA=2
        NE=N
    402  CONTINUE
        DO 100 I=NA,NE
            XP=DATX(I)
            YP=DATY(I)
            KENNZ=1
C      Plottlinie wechseln
            IF(DATX(I-1).EQ.0..AND.DATY(I-1).EQ.0.) KENNZ=0
            IF(DATX(I).EQ.0..AND.DATY(I).EQ.0.) GOTO 100
            IF(DATX(I+1).EQ.0..AND.DATY(I+1).EQ.0.) KENNZ=0
C      Plott Vektoren
            CALL VISIB(XP,YP,KENNZ)
    100  CONTINUE
C      CALL VISIB(DATX(N),DATY(N),0)
        GOTO 1
C-----Datenspeicherung auf 'DIGIT.DAT'
    14  OPEN(25,NAME='DIGIT100.DAT',STATUS='NEW')
        DO 101 J=1,N
            WRITE(25,200) DATX(J),DATY(J)
    200  FORMAT(2X,F10.5,F10.5)
    101  CONTINUE
        CLOSE(25)
        WRITE(AUS,('/',X,'Datenspeicherung fertig'))
        GOTO 1
C

```

```

15 GOTO 9999
C-----Programm ENDE
9999 CALL LINPOS(-1)
      CALL FINIT
      STOP ' ** DIGIT1   E N D E ** '
      END

```

```

-----
PROGRAM INPLOT
C *****
C * * * * *
C * PLOT-Programm mit Digit.data *
C * (Linien + Messpunkt) *
C * * * * *
C * Source : INPLOT.FOR *
C * * * * *
C * Inputdata : INPDAT.DAT(22) *
C * GEOM.DAT(30) *
C * (Messdata) *
C * * * * *
C * OUTPUTDATA: FOR010.DAT(10) *
C * (Plotdata) *
C * * * * *
C *****
REAL DATX(3000),DATY(3000),MINX,MINY,MAXX,MAXY,
& GEOX(100),GEOY(100)
INTEGER DIA,JOB
LOGICAL Line_change
C
DIA=5
C-----Formate
100 FORMAT(//,X,'Data ready!',//,
* X,' job-number',/,
* X,' Only line=0',/,
* X,' Line+Points=1',/,
* X,' Line+Points+Number=2',/,
* X,' Line+Points+Geometrie=3',/,
* X,' Data list=5 : ',)
101 FORMAT(14X,'-- Input data --',/,
* 10X,'X (cm)',4X,'Y (cm)')
102 FORMAT(I6,' ',X,F10.5,F10.5)
103 FORMAT(X,' Factor der gr.Darstellung: ',)
104 FORMAT(X,' Plot-Fenster (zwei diag. Punkte) : ',)
105 FORMAT(X,' Zeit der Aufnahme : ',)
106 FORMAT(X,' Typ des Zylinders : ',/,
& ' 1) Horiz. 2) Vertik. 3) Wulst 4) HOR. : ',)
DO 66 IJ=1,100
GEOX(IJ)=0.0
GEOY(IJ)=0.0
66 CONTINUE
C-----Data input aus 'DIGIT100.DAT'

```

```

OPEN (22,NAME='DSK2:[]INPDAT.DAT',STATUS='OLD')
N=0
32  READ(22,*,END=33) X,Y
    N=N+1
    DATX(N)=X
    DATY(N)=Y
    GOTO 32
33  CONTINUE
C-----Kleine Meldung
    WRITE(DIA,106)
    READ(DIA,*) ITYP
    WRITE(DIA,100)
    READ(DIA,*)JOB
    IF(JOB.EQ.5) GOTO 31
    WRITE(DIA,105)
    READ(DIA,*) SEC
    WRITE(DIA,104)
    READ(DIA,*) MINX,MINY,MAXX,MAXY
    IF(ITYP.EQ.1.OR.ITYP.EQ.4) GRFAK=0.7
    IF(ITYP.EQ.2.OR.ITYP.EQ.3) GRFAK=0.83
C    GRFAK=20.0/(MAXX-MINX)
C    WRITE(DIA,103)
C    READ(DIA,*) GRFAK
C-----PLOT Vorbereitung
    CALL PLOTS(0.0,0.0,10)
    CALL FACTOR(GRFAK)
    IF(ITYP.EQ.1) THEN
        PX0=5.0
        PY0=0.0
    ELSE
        PX0=5.0
        PY0=8.0
    END IF
    CALL PLOT(PX0,PY0,-3)
C-----Data Plot
    K=1
    DO 111 J=1,N
        PX=DATX(J)
        PY=DATY(J)
        Line_change=PX.EQ.0.0.AND.PY.EQ.0.0
        IF(Line_change) THEN
            K=1
        ELSE
            IF(K.EQ.1) THEN
                CALL PLOT(PX,PY,3)
                K=2
                IF(JOB.EQ.2) THEN
                    PPX=PX
                    PPY=PY+.2
                    SJ=J
                    IF((PX.GE.MINX.AND.PX.LE.MAXX).AND.
& (PY.GE.MINY.AND.PY.LE.MAXY)) THEN
                        CALL NUMBER(PPX,PPY,0.2,SJ,0.0,1)
C                    CALL PLOT(PXX,PYY,3)
                END IF
            END IF

```

```

        END IF
    ELSE
        IF((PX.GE.MINX.AND.PX.LE.MAXX).AND.
&         (PY.GE.MINY.AND.PY.LE.MAXY)) THEN
            CALL PLOT(PX,PY,2)
        ELSE
            CALL PLOT(PX,PY,3)
        END IF
    END IF
    IF(JOB.EQ.1.OR.JOB.EQ.3) THEN
        IF((PX.GE.MINX.AND.PX.LE.MAXX).AND.
&         (PY.GE.MINY.AND.PY.LE.MAXY)) THEN
            CALL SYMBOL(PX,PY,0.05,0,0.0,-1)
            CALL PLOT(PX,PY,3)
        END IF
    END IF
    END IF
    END IF
111  CONTINUE
    IF(JOB.EQ.2) GOTO 993
C-----Oberflaeche(stille) Plot
    IF(JOB.EQ.3) THEN
        OPEN(30,NAME='GEOM.DAT',STATUS='OLD')
        READ(30,*) OBFX1,OBFY1
        GEOX0=OBFX1
        GEOY0=OBFY1
        READ(30,*) OBFX2,OBFY2
        FDIF=0.2
        GKOE=(OBFY2-OBFY1)/(OBFX2-OBFX1)
        PX1=OBFX1
        PY1=OBFY1
        PX2=PX1
        PY2=PY1
        KYOKX=MAXX+2.0
        ICG=0
18    CONTINUE
        IF(PX2.LE.KYOKX) THEN
            PX1=PX2
            PY1=PY2
            PX2=PX1+FDIF
            PY2=PY1+GKOE*FDIF
            IF(ICG.EQ.0) THEN
                CALL PLOT(PX1,PY1,3)
                CALL PLOT(PX2,PY2,2)
                ICG=1
            ELSE
                CALL PLOT(PX1,PY1,3)
                CALL PLOT(PX2,PY2,3)
                ICG=0
            END IF
            GOTO 18
        END IF
C    Oberflaeche Plot
        IW=1
133  CONTINUE
        READ(30,*,END=134) OX,OY

```

```

      GEOX(IW)=OX
      GEOY(IW)=OY
      IW=IW+1
      GOTO 133
134   CONTINUE
      IWG=IW-1
      CLOSE(30)

CTEST
C      PRINT*, 'GEOX:', GEOX
C      PRINT*, 'GEOY:', GEOY
      PX=GEOX(1)
      PY=GEOY(1)
      CALL SMOOT(PX, PY, 0)
      IW=1
19    CONTINUE
      IF(IW.GE.IWG) GOTO 20

CTEST
C      PRINT*, 'GEOX(IW+1):', GEOX(IW+1), 'GEOX(IW)  :', GEOX(IW)
CTEST
C      PRINT*, 'GEOY(IW+1):', GEOY(IW+1), 'GEOY(IW)  :', GEOY(IW)
      OEDFZ=GEOX(IW+1)-GEOX(IW)
      IF(OEDFZ.LT.0.001) OEDFZ=0.001
      OEDF=OEDFZ/10.0
      OKOE=(GEOY(IW+1)-GEOY(IW))/OEDFZ
      PX=PX+OEDF
      PY=PY+OKOE*OEDF
      IF(PX.GT.KYOKX) GOTO 20
      IF(PX.GE.GEOX(IW+1)) IW=IW+1

CTEST
C      PRINT*, 'OEDFZ:', OEDFZ, 'OEDF:', OEDF, 'OKOE:', OKOE
C      PRINT*, 'PX:', PX, 'PY:', PY
      CALL SMOOT(PX, PY, -2)
      GOTO 19
20    CONTINUE
      CALL SMOOT(PX, PY, -24)
      END IF

C-----Info Plot
      CALL PINF(MINX, MINY, MAXX, MAXY, GEOX0, GEOY0, ITYP)
C-----Input-data und Beschriftung
C      CALL NEWPEN(3)
      PX=GEOX0+1.0
      IF(ITYP.EQ.3) PX=GEOX0+5.0
      PY=MINY-3.0
      CALL SYMBOL(PX, PY, 0.3, 5HDATA:, 0.0, 5)
      DATA=N
      CALL NUMBER(999.0, 999.0, 0.3, DATA, 0.0, 0)
      CALL WHERE(PXX, PYY, FACT)
      PX=PXX+0.3
      PY=PYY
      CALL SYMBOL(PX, PY, 0.3, 4HSEC:, 0.0, 4)
      CALL NUMBER(999.0, 999.0, 0.3, SEC, 0.0, 2)
      CALL WHERE(PXX, PYY, FACT)
      PX=PXX+0.3
      PY=PYY
      CALL SYMBOL(PX, PY, 0.3, 5HFACT:, 0.0, 5)

```

```

CALL NUMBER(999.0,999.0,0.3,GRFAK,0.0,1)
CALL WHERE(PXX,PYY,FACT)
PX=PXX+0.3
PY=PYY
CALL SYMBOL(PX,PY,0.3,8HFENSTER:,0.0,8)
CALL NUMBER(999.0,999.0,0.3,MINX,0.0,1)
CALL SYMBOL(999.0,999.0,0.3,1H,,0.0,1)
CALL NUMBER(999.0,999.0,0.3,MINY,0.0,1)
CALL SYMBOL(999.0,999.0,0.3,1HX,0.0,1)
CALL NUMBER(999.0,999.0,0.3,MAXX,0.0,1)
CALL SYMBOL(999.0,999.0,0.3,1H,,0.0,1)
CALL NUMBER(999.0,999.0,0.3,MAXY,0.0,1)
C
PX=MAXX-5.0
PY=OBFY1+3.0
CALL SYMBOL(PX,PY,0.4,10HINPUT-DATA,0.0,10)
C
993 CONTINUE
CALL PLOT(0.0,0.0,999)
GOTO 999
31 WRITE(DIA,101)
KAI=0
ISTEU=0
200 DO 112 K=1,20
KAI=KAI+1
WRITE(DIA,102) KAI,DATX(KAI),DATY(KAI)
112 CONTINUE
C-----END of Prog
999 CLOSE(22)
WRITE(DIA,333) 7
333 FORMAT(1H+,1A1)
PRINT *, ' Plot-Datei : FOR010.DAT'
STOP '** I N P L O T ENDE **'
END

```

```

-----
PROGRAM RECHN1
C *****
C *
C * Rechnen- und Plot-Programm *
C * -Approximation der Inputlinie *
C * (Ploynom 2.-Grade) *
C * -Die lokalen Geschwindigkeit *
C * aus den approximierten Mess- *
C * data *
C *
C * Pfeile-Darstellung mit Faktor *
C *
C *
C * Sorce : RECHN1.FOR *
C *
C * Inputdata: INPDAT.DAT(22) *
C * (Messdata) *

```

```

C      *
C      *   Outputdata: FOR025.DAT(25)   *
C      *           (Mom.Geschw.Data)  *
C      *
C      *           FOR026.DAT(26)   *
C      *           (Approx.Data)    *
C      *
C      *           INPGES.DAT(24)   *
C      *           (Mom.Geschw.Data  *
C      *           am Messpunkt)    *
C      *
C      *           APROX.DAT(23)   *
C      *           (Approx.Data)    *
C      *
C      *
C      * *****
      REAL DATX(3000),DATY(3000),APX(3000),APY(3000),
&      MINX,MINY,MAXX,MAXY
      INTEGER DIA
      DOUBLE PRECISION X1,X2,X3,X4,Y1X1,Y1X2
      LOGICAL Daten_check

C
      DIA=5
C-----Formate
100  FORMAT(X,'Pfeil-Faktor : ',)$
101  FORMAT(4F10.5)
102  FORMAT(/,X,' " Data ready ! "',/,
*      X,'--- Job Verteilung ---',/,
*      X,'1 : Inputlinie Approximation',/,
*      X,'2 : Lokale Geschwindigkeit',/,
*      X,'3 : End of Program',/,
*      X,'-----',/,
*      X,' Job-Nummer : ',)$
103  FORMAT(X,' Data ready !')
104  FORMAT(X,' Faktor der gr.Darstellung: ',)$
105  FORMAT(X,' 1) : Hor. Zylinder      2) : Vert. Zylinder : ',)$
106  FORMAT(X,' Plot-Fenster (diag.Punkte) : ',)$
107  FORMAT(X,' Zeit der Aufnahme : ',)$
C-----Data input aus 'DIGIT100.DAT'
      OPEN(22,NAME='DSK2:[ ]INPDAT.DAT',STATUS='OLD')
      N=0
32   READ(22,*,END=33) X,Y
      N=N+1
      DATX(N)=X
      DATY(N)=Y
      GOTO 32
33   CONTINUE
      WRITE(DIA,106)
      READ(DIA,*) MINX,MINY,MAXX,MAXY
      WRITE(DIA,107)
      READ(DIA,*) SEC
C-----Art des Zylinders
      WRITE(DIA,105)
      READ(DIA,*) IZYL
      IF(IZYL.EQ.1) CHECKY=19.0

```

```

        IF(IZYL.EQ.2) CHECKY=8.0
C-----Job Verteilung
1    WRITE(DIA,102)
    READ(DIA,*) JOB
    GOTO(10,20,999) JOB
C-----Approximation der Inputlinie
C    Inputlinie bestimmen
10   CONTINUE
    IF(IZYL.EQ.1) GRFAK=0.7
    IF(IZYL.EQ.2) GRFAK=0.83
C    GRFAK=20.0/(MAXX-MINX)
C    WRITE(DIA,104)
C    READ(DIA,*) GRFAK
    NDAT=N
    NPA=2
    NP=0
    APX(1)=0.0
    APY(1)=0.0
13   CONTINUE
    IF(DATX(NPA).EQ.0.0.AND.DATY(NPA).EQ.0.0) THEN
        IF(NPA.EQ.NDAT) GOTO 333
        GOTO 222
    ELSE
        NPA=NPA+1
        NP=NP+1
    END IF
    GOTO 13
C
C    Datenlinie Approximation
C    (Polynom 2.-Grade)
222  CONTINUE
    IA=NPA-NP
    X1=0.0
    X2=0.0
    X3=0.0
    X4=0.0
    Y1=0.0
    Y1X1=0.0
    Y1X2=0.0
    IEND=IA+NP-1
    DO 223 IZ=IA,IEND
    X=DATX(IZ)
    Y=DATY(IZ)
C    Daten Check in Wirbelbereich-----
    Daten_check=X.LE.7.0.AND.X.GE.0.0.AND.Y.GE.CHECKY
    IF(Daten_check) THEN
C    -----
        APX(IZ)=X
        APY(IZ)=Y
    ELSE
        X1=X1+X
        X2=X2+X*X
        X3=X3+X*X*X
        X4=X4+X*X*X*X
        Y1=Y1+Y

```

```

        Y1X1=Y1X1+Y*X
        Y1X2=Y1X2+Y*X*X
    END IF
223 CONTINUE
C      Koeffizienten bestimmen
    IF(Daten_check) THEN
        GOTO 55
    ELSE
        RNP=NP
        D=RNP*X2*X4+2.0*X1*X2*X3
        *   -X2*X2*X2-RNP*X3*X3-X1*X1*X4
        IF(D.EQ.0.0) GOTO 44
        A0=(Y1*X2*X4+X1*X3*Y1X2+X2*X3*Y1X1
        *   -X2*X2*Y1X2-X3*X3*Y1-X1*X4*Y1X1)/D
        A1=(RNP*X4*Y1X1+X2*X3*Y1+X1*X2*Y1X2
        *   -X2*X2*Y1X1-RNP*X3*Y1X2-X1*X4*Y1)/D
        A2=(RNP*X2*Y1X2+X1*X3*Y1+X1*X2*Y1X1
        *   -X2*X2*Y1-RNP*X3*Y1X1-X1*X1*Y1X2)/D
C      Neue Data rechnen
230 DO 224 IW=IA,IEND
        APX(IW)=DATX(IW)
        X=APX(IW)
        Y=A0+A1*X+A2*X*X
        APY(IW)=Y
224 CONTINUE
    END IF
55   ISC=IEND+1
        APX(ISC)=0.0
        APY(ISC)=0.0
44   NPA=NPA+1
        NP=0
        GOTO 13
333 CONTINUE
C-----Datei open and write
        OPEN(23,NAME='DSK2:APROX.DAT',STATUS='NEW')
        DO 226 IU=1,N
            WRITE(23,*) APX(IU),APY(IU)
226 CONTINUE
C-----Plot Vorbereitung
        CALL PLOTS(0.0,0.0,26)
        CALL FACTOR(GRFAK)
        IF(IZYL.EQ.1) THEN
            PX0=5.0
            PY0=0.0
        ELSE
            PX0=5.0
            PY0=8.0
        END IF
        CALL PLOT(PX0,PY0,-3)
C-----Data Plot
        K=1
        DO 200 J=1,N
            PX=APX(J)
            PY=APY(J)
            Line_change=PX.EQ.0.0.AND.PY.EQ.0.0

```

```

IF(Line_change) THEN
  K=1
ELSE
  IF(K.EQ.1)THEN
    CALL PLOT(PX,PY,3)
    K=2
  ELSE
    IF((PX.GE.MINX.AND.PX.LE.MAXX).AND.
    & (PY.GE.MINY.AND.PY.LE.MAXY)) THEN
      CALL PLOT(PX,PY,2)
    ELSE
      CALL PLOT(PX,PY,3)
    END IF
  END IF
  IF((PX.GE.MINX.AND.PX.LE.MAXX).AND.
  & (PY.GE.MINY.AND.PY.LE.MAXY)) THEN
    CALL SYMBOL(PX,PY,0.05,0,0.0,-1)
  ELSE
    CALL PLOT(PX,PY,3)
  END IF
END IF
200 CONTINUE
C-----Input-data und Beschriftung
PX=1.0
PY=MINY-2.0
CALL SYMBOL(PX,PY,0.3,5HDATA:,0.0,5)
DATA=N
CALL NUMBER(999.0,999.0,0.3,DATA,0.0,0)
CALL WHERE(PXX,PYY,FACT)
PX=PXX+0.3
PY=PYY
CALL SYMBOL(PX,PY,0.3,4HSEC:,0.0,4)
CALL NUMBER(999.0,999.0,0.3,SEC,0.0,2)
CALL WHERE(PXX,PYY,FACT)
PX=PXX+0.3
PY=PYY
CALL SYMBOL(PX,PY,0.3,5HFACT:,0.0,5)
CALL NUMBER(999.0,999.0,0.3,GRFAK,0.0,1)
CALL WHERE(PXX,PYY,FACY)
PX=PXX+0.3
PY=PYY
CALL SYMBOL(PX,PY,0.3,8HFENSTER:,0.0,8)
CALL NUMBER(999.0,999.0,0.3,MINX,0.0,1)
CALL SYMBOL(999.0,999.0,0.3,1H,,0.0,1)
CALL NUMBER(999.0,999.0,0.3,MINY,0.0,1)
CALL SYMBOL(999.0,999.0,0.3,1HX,0.0,1)
CALL NUMBER(999.0,999.0,0.3,MAXX,0.0,1)
CALL SYMBOL(999.0,999.0,0.3,1H,,0.0,1)
CALL NUMBER(999.0,999.0,0.3,MAXY,0.0,1)
C
PX=MAXX/2.0
PY=MAXY+2.0
CALL SYMBOL(PX,PY,0.4,5HAPROX,0.0,5)
CALL PLOT(0.0,0.0,999)
WRITE(DIA,399) 7

```

```

399  FORMAT(1H+,1A1)
      CLOSE(23)
      PRINT *, ' Plot Datei : FOR026'
      GOTO 1

C
C      Momentane Geschwindigkeit rechnen
C-----Meldung und Faktor input
20    N=0
      OPEN(23,NAME='DSK2:[ ]APROX.DAT',STATUS='OLD')
21    READ(23,*,END=22) X,Y
      N=N+1
      APX(N)=X
      APY(N)=Y
      GOTO 21
22    CONTINUE
      WRITE(DIA,103)
      WRITE(DIA,100)
      READ(DIA,*) FAKT
      IF(IZYL.EQ.1) GRFAK=0.7
      IF(IZYL.EQ.2) GRFAK=0.83
C      GRFAK=20.0/(MAXX-MINX)
C      WRITE(DIA,104)
C      READ(DIA,*) GRFAK
C-----Plot Vorbereitung
      CALL PLOTS(0.0,0.0,25)
      CALL FACTOR(GRFAK)
      IF(IZYL.EQ.1) THEN
          PX0=5.0
          PY0=0.0
      ELSE
          PX0=5.0
          PY0=8.0
      END IF
      CALL PLOT(PX0,PY0,-3)
C-----Datei open
      OPEN(24,NAME='DSK2:[ ]INPGES.DAT',STATUS='NEW')
C-----Calculation and Plot
      IND=N
      DO 113 L=1,IND
          PXA=APX(L)
          PYA=APY(L)
          IF(PXA.EQ.0.0.AND.PYA.EQ.0.0) GOTO 113
          PXE=APX(L+1)
          PYE=APY(L+1)
          IF(PXE.EQ.0.0.AND.PYE.EQ.0.0) GOTO 113
          GRADX=(PXE-PXA)/SEC
          GRADY=(PYE-PYA)/SEC
          PFX=PXA+GRADX*FAKT
          PFY=PYA+GRADY*FAKT
          WRITE(24,101) PXA,PYA,GRADX,GRADY
          IF((PXA.GE.MINX.AND.PXA.LE.MAXX).AND.
&          (PYA.GE.MINY.AND.PYA.LE.MAXY)) THEN
              CALL AROHD(PXA,PYA,PFX,PFY,0.1,0.0,12)
          END IF
113  CONTINUE

```

C-----Input-data und Beschriftung

```

PX=0.0
PY=MINY-2.0
CALL SYMBOL(PX,PY,0.3,
& 40HGeschwindigkeitsvektor mit einem Pfeil: ,0.0,40)
CALL WHERE(PXX,PYY,FACT)
PX=PXX+0.3
IF(SEC.GT.0.04) PVEL=10.0
IF(SEC.LE.0.04.AND.SEC.GT.0.03) PVEL=30.0
IF(SEC.LE.0.03.AND.SEC.GT.0.023) PVEL=40.0
IF(SEC.LE.0.023) PVEL=50.0
PXF=PX+PVEL*FAKT
PY=PYY+0.15
CALL AROHD(PX,PY,PXF,PY,0.1,0.0,12)
CALL WHERE(PXX,PYY,FACT)
PX=PXX+0.5
PY=PYY-0.15
CALL NUMBER(PX,PY,0.3,PVEL,0.0,1)
CALL SYMBOL(999.0,999.0,0.3,6HCM/SEC,0.0,6)
PX=0.0
PY=MINY-3.0
CALL SYMBOL(PX,PY,0.3,5HDATA:,0.0,5)
DATA=N
CALL NUMBER(999.0,999.0,0.3,DATA,0.0,0)
CALL WHERE(PXX,PYY,FACT)
PX=PXX+0.3
PY=PYY
CALL SYMBOL(PX,PY,0.3,4HSEC:,0.0,4)
CALL NUMBER(999.0,999.0,0.3,SEC,0.0,2)
CALL WHERE(PXX,PYY,FACT)
PX=PXX+0.3
PY=PYY
CALL SYMBOL(PX,PY,0.3,5HFACT:,0.0,5)
CALL NUMBER(999.0,999.0,0.3,GRFAK,0.0,1)
CALL WHERE(PXX,PYY,FACY)
PX=PXX+0.3
PY=PYY
CALL SYMBOL(PX,PY,0.3,6H^-FAC:,0.0,6)
CALL NUMBER(999.0,999.0,0.3,FAKT,0.0,2)
CALL WHERE(PXX,PYY,FACY)
PX=PXX+0.3
PY=PYY
CALL SYMBOL(PX,PY,0.3,8HFENSTER:,0.0,8)
CALL NUMBER(999.0,999.0,0.3,minx,0.0,1)
CALL SYMBOL(999.0,999.0,0.3,1H,,0.0,1)
CALL NUMBER(999.0,999.0,0.3,MINY,0.0,1)
CALL SYMBOL(999.0,999.0,0.3,1HX,0.0,1)
CALL NUMBER(999.0,999.0,0.3,MAXX,0.0,1)
CALL SYMBOL(999.0,999.0,0.3,1H,,0.0,1)
CALL NUMBER(999.0,999.0,0.3,MAXY,0.0,1)

```

C

```

PX=(MAXX-MINX)/2.0
PY=MAXY+2.0
CALL SYMBOL(PX,PY,0.4,11HMom.Geschw.,0.0,11)

```

C

```

CALL PLOT(0.0,0.0,999)
WRITE(DIA,399) 7
CLOSE(23)
CLOSE(24)
PRINT *, ' Plot-Datei : FOR025'
GOTO 1
C-----End of Programm
999  CLOSE(22)
STOP '**  A P G E S  ende **'
END

```

```

-----
PROGRAM RECHN2
C
C   Rechen-,Plot-Programm
C   Von Eingabedaten zum Geschwindigkeitsfeld
C
C   Inputdatei : INPGES.DAT
C                   GEOM.DAT
C
C   Outputdatei : FOR031.DAT(Plot)
C                   VELOC.DAT
C
C
C   REAL PXA(1500),PYA(1500),
*   GRADX(1500),GRADY(1500),
*   GEOX(100),GEOY(100),OBFX(2),OBFY(2),
*   APX(5000),APY(5000),XGRAD(5000),YGRAD(5000),
*   MINX,MINY,MAXX,MAXY
C   INTEGER DIA,REG(1500)
C   DOUBLE PRECISION X1,X2,Y1,Y2,U1,V1
C   LOGICAL Line_change
C
C   DIA=5
C-----Formate
100  FORMAT(/,X,' Rasterdimension (Delta X u. Delta Y)',/,
*      ' min 0.2 cm : ',)$)
102  FORMAT(X,' Data-Fenster : ',)$)
101  FORMAT(X,' Pfeil-Faktor : ',)$)
103  FORMAT(x,' Plot-Fenster(Minx,Miny,Maxx,maxy) : ',)$)
104  FORMAT(X,' Faktor der graphischen Darstellung : ',)$)
110  FORMAT(X,' Anzahl der Data pro Data-Fenster : ',)$)
105  FORMAT(X,' Schleppgeschwindigkeit (cm/sec) : ',)$)
106  FORMAT(X,' Type des Zylinders : ',/,
*      ' 1) Horiz. 2) Vertik. 3) Wulst 4) Hor+Spur : ',)$)
C-----Factors input
C   Type des Zylinders Input
WRITE(DIA,106)
READ(DIA,*) ITYP
C   Rasterdimension zur Berechnung
WRITE(DIA,100)
READ(DIA,*) DLX,DLY
C   Fenstergroesse fuer einen Rasterpunkt

```

```

WRITE(DIA,102)
READ(DIA,*) FEN
C      Daten-Anzahl pro Data-Fenster
C      zur Interpolationsberechnung
WRITE(DIA,110)
READ(DIA,*) KDATA
C      Faktor der Pheilendarstellung
WRITE(DIA,101)
READ(DIA,*) FAKT
C      Plot-Fenster Input(Minx,Miny,Maxx,Maxy)
C      Punkt(Maxx,Maxy) ist die erste
C      Stuetzstelle zur Interpolationsberechnung
WRITE(DIA,103)
READ(DIA,*) MINX,MINY,MAXX,MAXY
C      Faktor der graphischen Darstellung Input
IF(ITYP.EQ.1.OR.ITYP.EQ.4) GRFAK=0.7
IF(ITYP.EQ.2.OR.ITYP.EQ.3) GRFAK=0.83
C      GRFAK=20.0/(MAXX-MINX)
C      WRITE(DIA,104)
C      READ(DIA,*) GRFAK
C      Schleppgeschwindigkeit Input
WRITE(DIA,105)
READ(DIA,*) SCHL
C-----Momentane Geschwindigkeit am Messpunkt input
M=0
OPEN(27,NAME='DSK2:[ ]INPGES.DAT',STATUS='OLD')
12  READ(27,*,END=13) DAT3,DAT4,DAT5,DAT6
M=M+1
PXA(M)=DAT3
PYA(M)=DAT4
GRADX(M)=DAT5
GRADY(M)=DAT6
GOTO 12
13  CLOSE(27)
C-----Geometrie Input
OPEN(26,NAME='GEOM.DAT',STATUS='OLD')
READ(26,*) OBFX(1),OBFY(1)
GEOX0=OBFX(1)
GEOY0=OBFY(1)
READ(26,*) OBFX(2),OBFY(2)
IGE=1
16  READ(26,*,END=15) RGX,RGY
GEOX(IGE)=RGX
GEOY(IGE)=RGY
IGE=IGE+1
GOTO 16
15  CONTINUE
IGE=IGE-1
IGEZ=IGE
CLOSE(26)
C-----Vergleichsverfahren-----
C
C      Anzahl der Stuetzstelle in X-Richtung
NPX=0
C      Anzahl der Stuetzstelle in y-Richtung

```

```

      NPY=0
C      Nummerierung der Stuetzstelle
      NAP=1
C      Anzahl der Fenstern
      NFEN=0
C      Fenstervergroesserungsfaktor
      DFEN=0.2
C      Output-Datei Open
      OPEN(32,NAME='DSK2:[ ]VELOC.DAT',STATUS='NEW')
C
C      Wiederholungsstelle
14     APX(NAP)=MAXX-DLX*NPX
      APY(NAP)=MAXY-DLY*NPY
C      Fenster am (APX(NAP),APY(NAP)) rechnen
      FSIB=(FEN+DFEN*NFEN)/2.0
      XFEN1=APX(NAP)-FSIB
      XFEN2=APX(NAP)+FSIB
      YFEN1=APY(NAP)-FSIB
      YFEN2=APY(NAP)+FSIB
C      Stuetztstelle (PXA(I1),PYA(I1))
C      in dem Fenster suchen
      MD=M
C      Datenzahl in einem Fenster
      IREG=0
      DO 70 I1=1,MD
      XKO=PXA(I1)
      YKO=PYA(I1)
      IF(((XKO.GE.XFEN1).AND.(XKO.LE.XFEN2)).
* AND.((YKO.GE.YFEN1).AND.(YKO.LE.YFEN2))) THEN
          IREG=IREG+1
          REG(IREG)=I1
      END IF
70     CONTINUE
C      Min. Datenzahl in einem Fenster check
      IF(IREG.LE.KDATA) THEN
          NFEN=NFEN+1
          GOTO 14
      END IF
C      Summation rechnen
      X1=0.0
      X2=0.0
      Y1=0.0
      Y2=0.0
      Y1X1=0.0
      U1=0.0
      U1X1=0.0
      U1Y1=0.0
      V1=0.0
      V1X1=0.0
      V1Y1=0.0
      X00=APX(NAP)
      Y00=APY(NAP)
      G=0.0
      DO 71 I2=1,IREG
      INDX=REG(I2)

```

```

X=PX(A(INDX))
Y=PY(A(INDX))
U=GRAD(X(INDX))
V=GRAD(Y(INDX))
C   Gewicht
GABS=SQRT(ABS(X-X00)/FSIB+ABS(Y-Y00)/FSIB)
GWICH=(1.0-GABS*GABS)**2
IF(GABS.GT.1.0) GWICH=0.0
X1=X1+X*GWICH
X2=X2+(X**2.0)*GWICH
Y1=Y1+Y*GWICH
Y2=Y2+(Y**2.0)*GWICH
Y1X1=Y1X1+Y*X*GWICH
U1=U1+U*GWICH
U1X1=U1X1+U*X*GWICH
U1Y1=U1Y1+U*Y*GWICH
V1=V1+V*GWICH
V1X1=V1X1+V*X*GWICH
V1Y1=V1Y1+V*Y*GWICH
G=G+GWICH
71  CONTINUE
GREG=IREG*G
C   Koeffizienten rechnen
D=GREG*X2*Y2+2.0*X1*Y1*Y1X1
*   -X2*Y1*Y1-GREG*Y1X1*Y1X1-X1*X1*Y2
IF(D.EQ.0.0) GOTO 90
C   Vergleich fuer U(x,y)=A0+A1*x+A2*y
A0=(U1*X2*Y2+X1*Y1X1*U1Y1+Y1*Y1X1*U1X1
*   -X2*Y1*U1Y1-Y1X1*Y1X1*U1-X1*Y2*U1X1)/D
A1=(GREG*U1X1*Y2+U1*Y1*Y1X1+X1*Y1*U1Y1
*   -Y1*Y1*U1X1-GREG*Y1X1*U1Y1-U1*X1*Y2)/D
A2=(GREG*X2*U1Y1+X1*Y1*U1X1+U1*X1*Y1X1
*   -U1*X2*Y1-GREG*U1X1*Y1X1-X1*X1*U1Y1)/D
C   Vergleich fuer V(x,y)=B0+B1*x+B2*y
B0=(V1*X2*Y2+X1*Y1X1*V1Y1+Y1*Y1X1*V1X1
*   -X2*Y1*V1Y1-Y1X1*Y1X1*V1-X1*Y2*V1X1)/D
B1=(GREG*V1X1*Y2+V1*Y1*Y1X1+X1*Y1*V1Y1
*   -Y1*Y1*V1X1-GREG*Y1X1*V1Y1-V1*X1*Y2)/D
B2=(GREG*X2*V1Y1+X1*Y1*V1X1+V1*X1*Y1X1
*   -V1*X2*Y1-GREG*V1X1*Y1X1-X1*X1*V1Y1)/D
C   U(x,y),V(x,y) am x=APX(NAP) y=APY(NAP) rechnen
U=A0+A1*APX(NAP)+A2*APY(NAP)
V=B0+B1*APX(NAP)+B2*APY(NAP)
XGRAD(NAP)=U
YGRAD(NAP)=V
C   Write auf 'VELOC.DAT'
WRITE(32,*) APX(NAP),APY(NAP),U,V
IFG=IFG+1
C   -- Vorbereitung zur naechsten Stuetzstelle
C   in dem Darstellungsbereich
C   Die naechste Stuetzstelle in der diagonalen Richtung
90  CONTINUE
NAP=NAP+1
NPX=NPX+1
NPY=NPY+1

```

```

APX(NAP)=MAXX-DLX*NPX
APY(NAP)=MAXY-DLY*NPY
C   Bestimmung bei der Darstellungsgrenze
IF(APY(NAP).GE.MINY) THEN
  IF(APX(NAP).LT.MINX) THEN
    NPX=0
    NPY=NPY
  ELSE
    NPX=NPX
    NPY=NPY-1
  END IF
ELSE
  GOTO 990
END IF
NFEN=0
GOTO 14
C   Die gerechneten Daten plot
990 CALL PLOTS(0.0,0.0,31)
CALL FACTOR(GRFAK)
WRITE(DIA,333) 7
333 FORMAT(1H+,1A1)
PRINT *, ' calculation ready !'
IF(ITYP.EQ.1) THEN
  PLANX=5.0
  PLANY=0.0
ELSE
  PLANX=5.0
  PLANY=8.0
END IF
CALL PLOT(PLANX,PLANY,-3)
NAP=NAP-2
DO 74 I4=1,NAP
  PX=APX(I4)
  PY=APY(I4)
C   Unterhalb der Oberflaeche gezeichnet
AIDA=1000.0
DO 17 ISUH=1,IGE
  SAIDA=ABS(PX-GEOX(ISUH))
  IF(SAIDA.LT.AIDA) THEN
    AIDA=SAIDA
    JMIN=ISUH
  END IF
17 CONTINUE
IF(PY.GE.GEOY(JMIN)) GOTO 74
PFX=PX+XGRAD(I4)*FAKT
PFY=PY+YGRAD(I4)*FAKT
IF(ITYP.EQ.1.OR.ITYP.EQ.4) THEN
  EX0=GEOX0-10.0
  EY0=GEOY0
  RAD=10.5
  ABST=SQRT((PY-EY0)**2+(PX-EX0)**2)
CTEST
C   PRINT*, ' PX:',PX,' PY:',PY,' ABST:',ABST
IF(ABST.GT.RAD) THEN
  CALL AROHD(PX,PY,PFX,PFY,0.1,0.0,12)

```

```

        END IF
    END IF
    IF (ITYP.EQ.3) THEN
        EX0=GEOX0
        EY0=GEOY0-6.6
        RAD=5.5
        ABST=SQRT((PY-EY0)**2+(PX-EX0)**2)
        IF (ABST.GT.RAD) THEN
            CALL AROHD(PX,PY,PFX,PFY,0.1,0.0,12)
        END IF
    END IF
    IF (ITYP.EQ.2) THEN
        CALL AROHD(PX,PY,PFX,PFY,0.1,0.0,12)
    END IF
74  CONTINUE
C    Oberflaeche Plot
    PX=GEOX(1)
    PY=GEOY(1)
    CALL SMOOT(PX,PY,0)
    KYOKX=MAXX+2.0
    IW=1
19  CONTINUE
    IF (IW.GE.IGEZ)GOTO 20
    OEDFZ=GEOX(IW+1)-GEOX(IW)
    IF (OEDFZ.LE.0.01) OEDFZ=0.01
    OEDF=OEDFZ/10.0
    OKOE=(GEOY(IW+1)-GEOY(IW))/OEDFZ
    PX=PX+OEDF
    PY=PY+OKOE*OEDF
    IF (PX.GT.KYOKX) GOTO 20
    IF (PX.GE.GEOX(IW+1)) IW=IW+1
    CALL SMOOT(PX,PY,-2)
    GOTO 19
20  CONTINUE
    CALL SMOOT(PX,PY,-24)
C    Oberflaeche(stille) Plot
    FDIF=0.2
    GKOEF=(OBFY(2)-OBFY(1))/(OBFX(2)-OBFX(1))
    PX1=OBFX(1)
    PY1=OBFY(1)
    PX2=PX1
    PY2=PY1
    ICG=0
18  CONTINUE
    IF (PX2.LE.KYOKX) THEN
        PX1=PX2
        PY1=PY2
        PX2=PX1+FDIF
        PY2=PY1+GKOEF*FDIF
        IF (ICG.EQ.0) THEN
            CALL PLOT(PX1,PY1,3)
            CALL PLOT(PX2,PY2,2)
            ICG=1
        ELSE
            CALL PLOT(PX1,PY1,3)

```

```

        CALL PLOT(PX2, PY2, 3)
        ICG=0
    END IF
    GOTO 18
END IF
CALL PLOT(0.0, 0.0, 3)
C-----Info. Plot
    CALL PINF(MINX, MINY, MAXX, MAXY, GEOX0, GEOY0, ITYP)
C-----Beschriftung
    PX=1.0
    IF(ITYP.EQ.3) PX=4.0
    PY=MINY-3.0
    CALL SYMBOL(PX, PY, 0.3,
& 39HGESCHWINDIGKEITSVEKTOR MIT EINEM PFEIL:, 0.0, 39)
    CALL WHERE(PXX, PYY, FACT)
    PX1=PXX+0.3
    PY1=PYY+0.15
    PX2=PX1+SCHL*FAKT
    CALL AROHD(PX1, PY1, PX2, PY1, 0.1, 0.0, 12)
    CALL WHERE(PXX, PYY, FACT)
    PX=PXX+0.3
    PY=PYY-0.15
    CALL NUMBER(PX, PY, 0.3, SCHL, 0.0, 1)
    CALL SYMBOL(999.0, 999.0, 0.3, 6HCM/SEC, 0.0, 6)
    PX=1.0
    IF(ITYP.EQ.3) PX=4.0
    PY=MINY-4.0
    CALL SYMBOL(PX, PY, 0.3, 7HRASTER:, 0.0, 7)
    CALL NUMBER(999.0, 999.0, 0.3, DLX, 0.0, 2)
    CALL SYMBOL(999.0, 999.0, 0.3, 1HX, 0.0, 1)
    CALL NUMBER(999.0, 999.0, 0.3, DLY, 0.0, 2)
    CALL WHERE(PXX, PYY, FACT)
    PX=PXX+0.5
    PY=PYY
    CALL SYMBOL(PX, PY, 0.3, 13HDATA-FENSTER:, 0.0, 13)
    CALL NUMBER(999.0, 999.0, 0.3, FEN, 0.0, 2)
    CALL WHERE(PXX, PYY, FACT)
    PX=PXX+0.5
    PY=PYY
    CALL SYMBOL(PX, PY, 0.3, 7HN-DATA:, 0.0, 7)
    ZKDATA=M
    CALL NUMBER(999.0, 999.0, 0.3, ZKDATA, 0.0, 0)
    CALL WHERE(PXX, PYY, FACT)
    PX=PXX+0.5
    PY=PYY
    CALL SYMBOL(PX, PY, 0.3, 11HPFEIL-FACT:, 0.0, 11)
    CALL NUMBER(999.0, 999.0, 0.3, FAKT, 0.0, 2)
    PX=1.0
    IF(ITYP.EQ.3) PX=4.0
    PY=MINY-4.5
    CALL SYMBOL(PX, PY, 0.3, 13HPLOT-FENSTER:, 0.0, 13)
    CALL NUMBER(999.0, 999.0, 0.3, MINX, 0.0, 1)
    CALL SYMBOL(999.0, 999.0, 0.3, 1H, 0.0, 1)
    CALL NUMBER(999.0, 999.0, 0.3, MINY, 0.0, 1)
    CALL SYMBOL(999.0, 999.0, 0.3, 1HX, 0.0, 1)

```

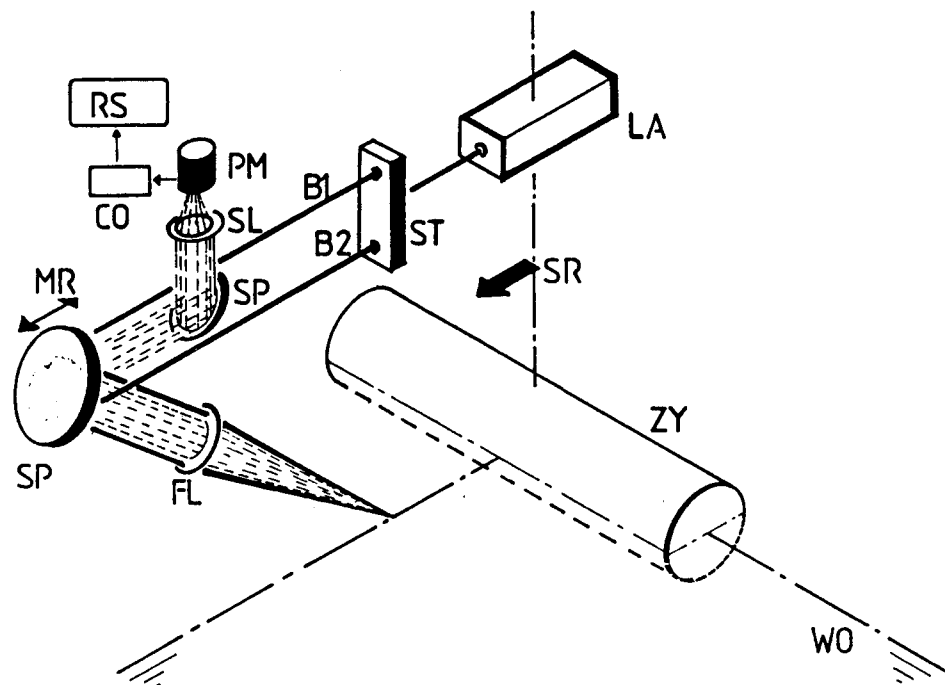
```
CALL NUMBER(999.0,999.0,0.3,MAXX,0.0,1)
CALL SYMBOL(999.0,999.0,0.3,1H,,0.0,1)
CALL NUMBER(999.0,999.0,0.3,MAXY,0.0,1)
CALL WHERE(PXX,PYY,FACT)
PX=PXX+0.5
PY=PYY
CALL SYMBOL(PX,PY,0.3,10HGR-FAKTOR:,0.0,10)
CALL NUMBER(999.0,999.0,0.3,GRFAK,0.0,2)
CALL WHERE(PXX,PYY,FACT)
PX=PXX+0.5
PY=PYY
CALL SYMBOL(PX,PY,0.3,4HU0:,0.0,4)
CALL NUMBER(999.0,999.0,0.3,SCHL,0.0,1)
CALL SYMBOL(999.0,999.0,0.3,6HCM/SEC,0.0,6)
PX=MAXX-7.0
PY=GEOY0+3.0
CALL SYMBOL(PX,PY,0.4,12HGESCHW.-FELD,0.0,12)
C
CALL PLOT(0.0,0.0,999)
C   End of Prog
CLOSE(32)
WRITE(DIA,333) 7
PRINT *, ' Plot-Datei : FOR031'
PRINT *, ' ** A U S G 2   ende   **'
STOP
END
```

Anhang 2

- Messung mit einem Laser-Doppler-Velocimeter (LDV) -

-1. Messverfahren und Auswertung

Um die Geschwindigkeitsvektoren moeglichst genau an der Wasseroberflaeche zu untersuchen, wurde ein LDV-Messverfahren mit dem Vorzug der beruehrungslosen Stroemungsmessung erprobt. Die Abbildung 2-1 zeigt die gesamte Messanordnung.



LA : Laser
 SR : Schlepprichtung
 ZY : Zylinder
 WO : Wasseroberfläche
 ST : Strahlteiler
 B1 : Strahl 1
 B2 : Strahl 2
 SP : Ablenkspiegel
 FL : Frontlinse
 SL : Sammellinse
 PM : Photomultiplier
 CO : Counter
 RS : Rechner-System
 MR : Verschiebung des
 Messpunktes

Abb.2-1 Gesamte Meßanordnung des LDVs

Die Messungen wurden mit dem Horizontal-Zylinder durchgefuehrt.

Der Laserstrahl aus einem He-Ne-Laser LA wurde in zwei parallel laufende Strahlen B1,B2 durch einen Strahlteiler geteilt. Durch einen Ablenkspiegel SP und eine Frontlinse FL kreuzten sich die beiden Strahlen genau auf der Wasseroberflaeche. Das Streulicht aus der Wasseroberflaeche wurde durch FL,SP und eine Sammellinse SL zu einem Photomultiplier PM geleitet, wobei die Frequenzen des Streulichtes von der Primaerfrequenz leicht verschoben wurden (Doppler-Verschiebung). Durch die optische Mischung beider Streulichter und den PM wurden die elektronischen Signalfrequenzen (Doppler-Frequenzen) gewonnen und in den Counter CO geleitet. Die von dem CO ausgewerteten Doppler-Frequenzen wurden in das Rechner-System RS zur Berechnung der Geschwindigkeitskomponenten eingegeben.

Die Doppler-Frequenz ist proportional zur Geschwindigkeitskomponente.

Als LDV-System wurde ein DISA 55X-System eingesetzt. Das LDV-System wurde so auf dem Schleppwagen angeordnet, dass die Messpunkte genau in der Symmetrieebene des Tanks lagen. Die Strahlrichtung wurde so eingestellt, dass die Messrichtung mit einem Winkel von 30 Grad zur Horizontalen lag, weil das bei senkrechter Einstrahlung von der Wasseroberflaeche reflektierte Licht moeglicherweise den PM zerstoenen konnte. Zur Kalibrierung wurden die relativen Geschwindigkeiten zwischen dem Schleppwagen und der stillen Wasseroberflaeche (ohne Modell) gemessen. Das Abbildung 2-2 zeigt das Ergebnis. Die gute Linearitaet und Reproduzierbarkeit sind zu sehen.

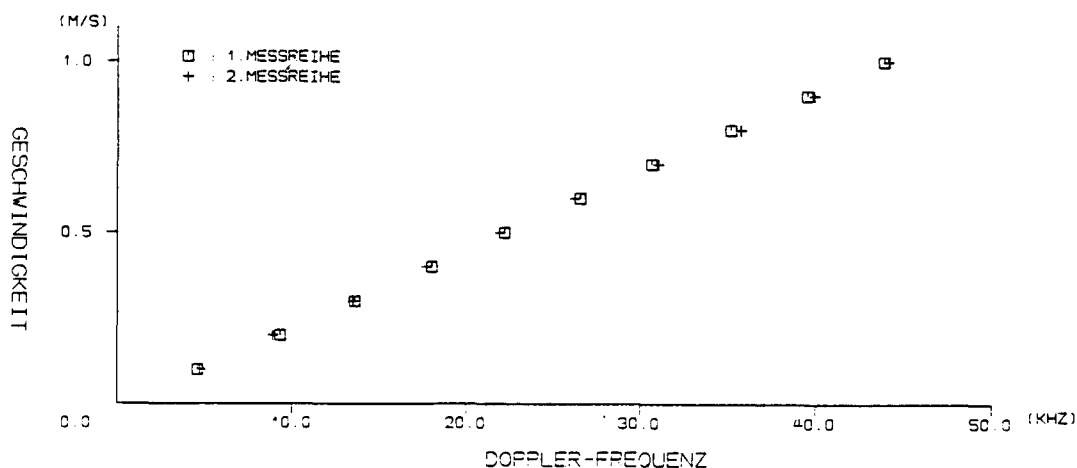


Abb.2-2

Kalibrierung

Die Messungen wurden nur fuer eine Komponente ohne Vorzeichenerkennung durchgefuehrt. Um Messungen trotz der Wellenbildung an der Wasseroberflaeche zu ermoeglichen, wurde ein relativ langes Messvolumen (ca. 1 mm ϕ · 15 mm) aus einem kleinen Schnittwinkel von B1 und B2 und aus einem grosseren Strahldurchmesser erzeugt.

- 2. Ergebnis -

Die Abbildungen 2-3 bis 2-7 zeigen die Ergebnisse, wobei der Abstand 0.0 m dem Messpunkt an der Zylinderwand entsprach.

In dem Bereich starker Geschwindigkeitsaenderung weisen die Messergebnisse relativ grosse Streuung auf, zum Teil weil dort die Stroemung verwirbelt und nicht ganz stationaer ist.

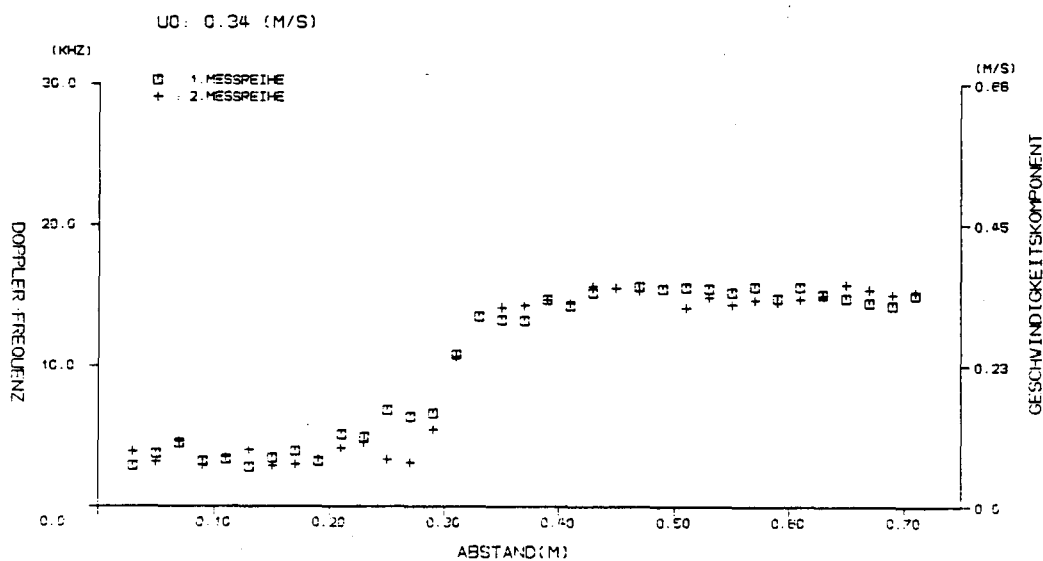


Abb.2-3 Geschwindigkeitskomponente U0 : 0.34 m/s

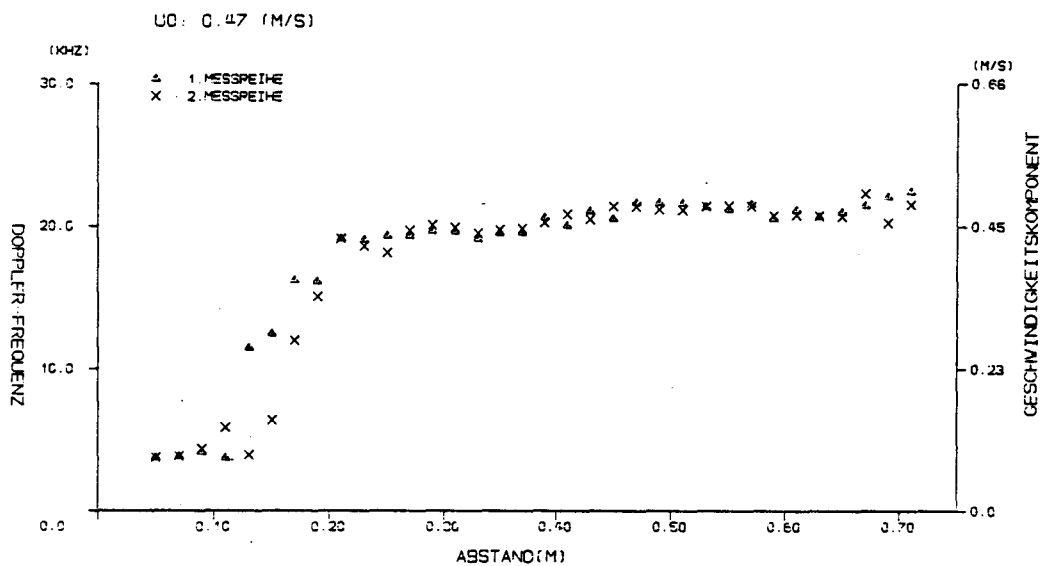


Abb.2-4 Geschwindigkeitskomponente U0 : 0.47 m/s

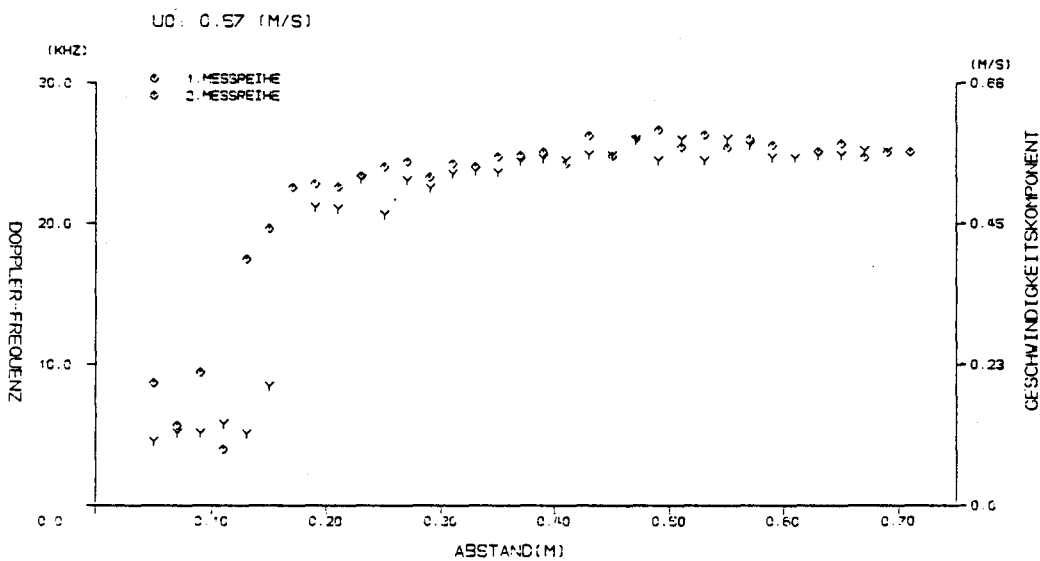


Abb.2-5 Geschwindigkeitskomponente U0 : 0.57 m/s

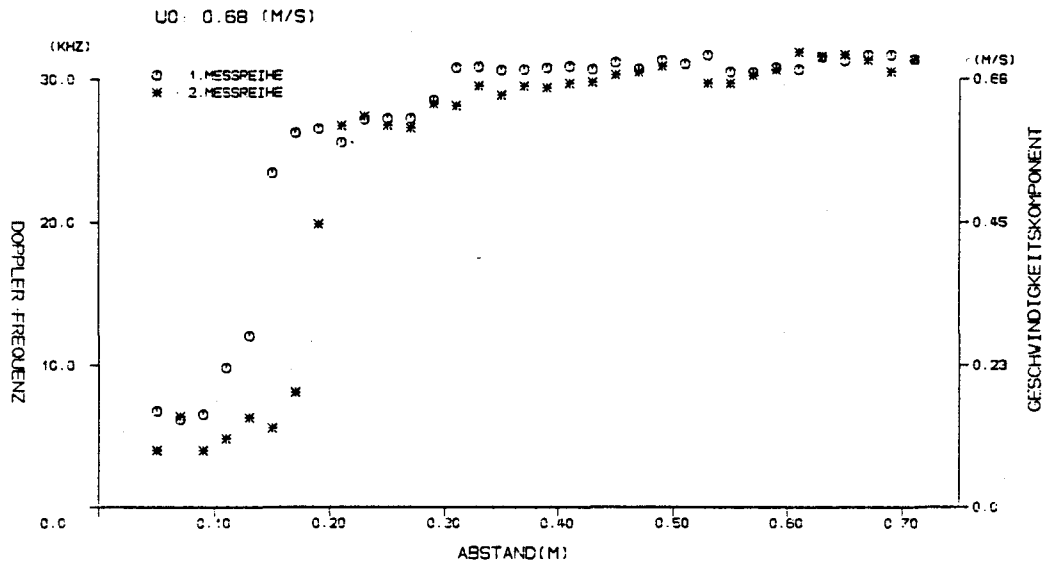


Abb.2-6 Geschwindigkeitskomponente U0 : 0.68 m/s

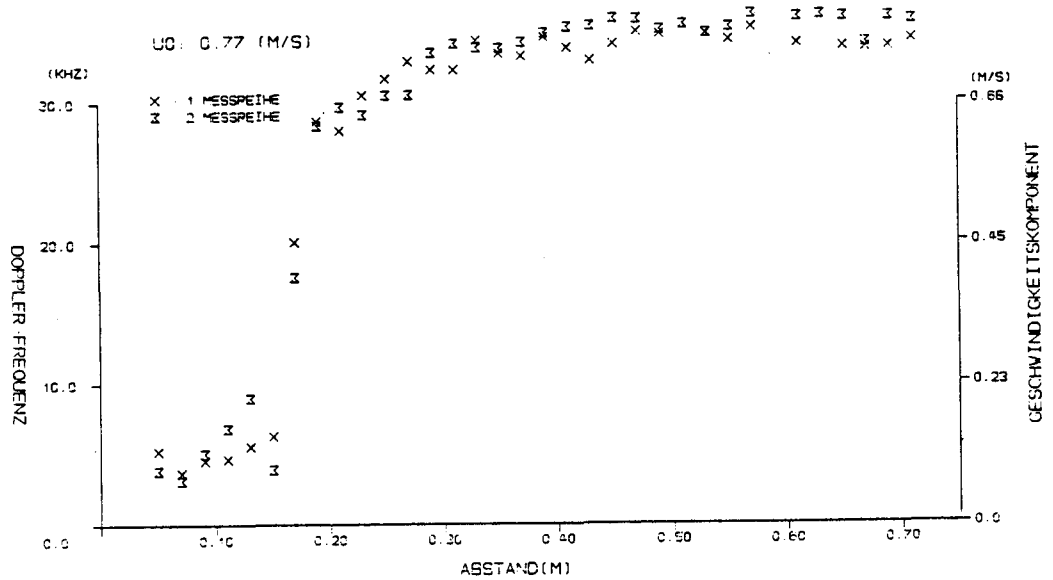


Abb.2-7 Geschwindigkeitskomponente U0 : 0.77 m/s

- Einige Haeufigkeitsverteilungen -

Die Abbildungen 2-8 und 2-9 zeigen die graphischen Darstellungen von einigen Haeufigkeitsverteilungen. Sie belegen quantitativ die bereits erwaehnten Streuung der Messung in dem Bereich zwischen der Zylinderwand und dem Punkt, wo die Geschwindigkeitskomponente steil abfaellt.

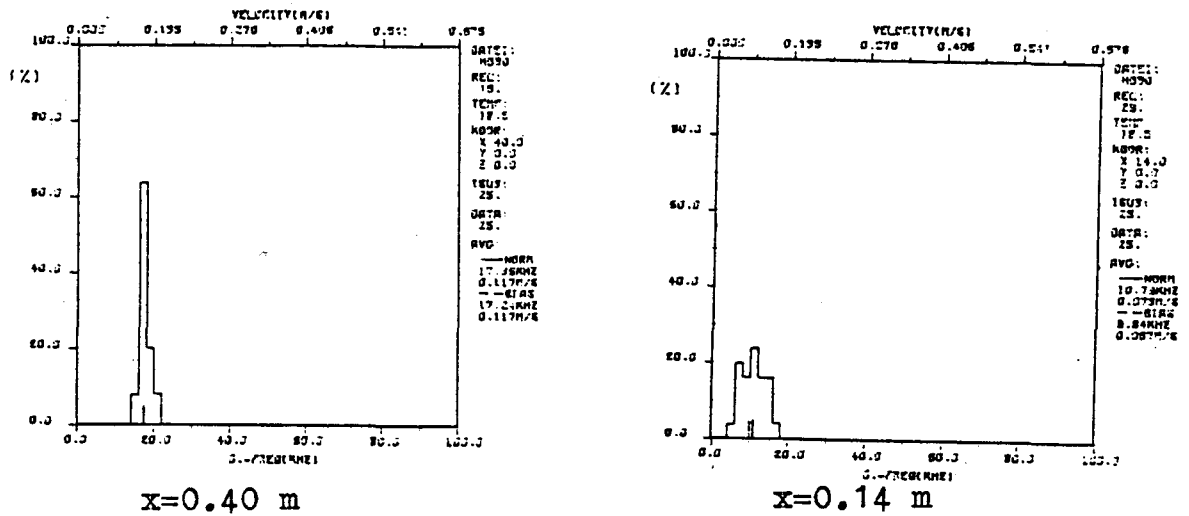


Abb.2-8 $U_0 : 0.47$ m/s

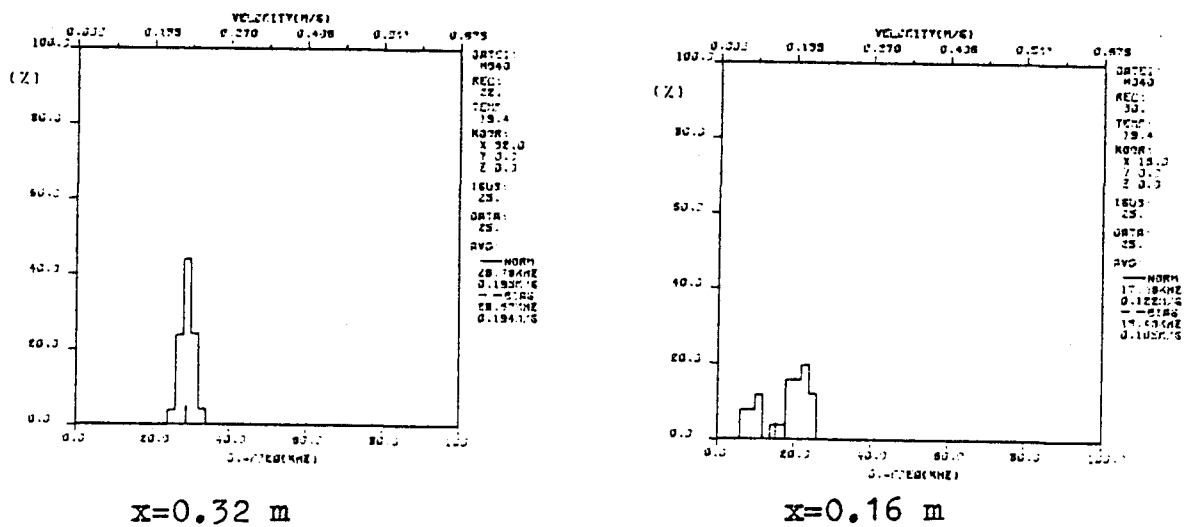


Abb.2-9 $U_0 : 0.68$ m/s