

457 | 1985

SCHRIFTENREIHE SCHIFFBAU

Y. Osawa

**Ein Verfahren zur Gewinnung ebener
Stromlinienbilder aus
photographierten Teilchenspuren**

TUHH

Technische Universität Hamburg-Harburg

Ein Verfahren zur Gewinnung ebener Stromlinienbilder aus photographierten Teilchenspuren

Y. Osawa, Hamburg, Technische Universität Hamburg-Harburg, 1985

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

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

Ein Verfahren zur Gewinnung ebener Stromlinienbilder
aus photographierten Teilchenspuren

Y.Osawa

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Zusammenfassung	1
1. Einleitung	2
2. Messanordnung	2
2-1. Die Sichtbarmachung	3
2-2. Die Mechanik	3
3. Messung	4
3-1. Die Kalibrierung	4
3-2. Das Photographieren	4
4. Messwerterfassung und Auswertung	5
4-1. Das Prinzip der Auswertung	5
4-2. Die zwei Beispiele	6
5. Schlussfolgerungen	7
Danksagung	8
Literatur	9
Zeichnung, Photo und graphische Darstellung	10
Anhang	22
Kurzbeschreibung und Liste der Programme	

Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht beschreibt ein Verfahren, um ein quantitatives Bild eines zweidimensionalen Geschwindigkeitsfeldes einer Stroemung aus einer im Modellversuch auf Film oder Videoband festgehaltenen Mehrfachmomentaufnahme durch rechnergestuetzte interaktive Auswertung zu gewinnen.

Das Verfahren wurde als ein Forschungsteilprojekt des SFB-98 im Rahmen der Bugwirbeluntersuchung zur genaueren Erfassung des Stroemungsfeldes entwickelt.

1. Einleitung

Im Institut fuer Schiffbau der Universitaet Hamburg sind seit 1981 mehrere Versuchsreihen zur Sichtbarmachung des Bugwirbels, der vor stumpfen Koerpern bei Bewegung an der freien Oberflaeche entsteht, durchgefuehrt worden. Dabei wurden entweder Videoaufnahmen von Teilchenspuren in einer Lichtebene verwendet /1/ oder die oertliche Stroemungsgeschwindigkeit mit einem Laser-Doppler-Velocimeter(LDV) punktweise erfasst /2/. Da die beiden Verfahren zur Untersuchung der Stroemung mit einigen unbekanntem physikalischen Vorgaengen gewisse Nachteile aufweisen, naemlich;

VIDEO : groessere Ungenauigkeit bei der Auswertung
 LDV : Messung nur an einem Messpunkt,

war die Entwicklung einer Methode erforderlich, diese Nachteile moeglichst zu beseitigen.

-Das Prinzip des hier erprobten Verfahrens /3/-

Die Wasserstroemung wurde mit Leichtmetallpuder (Aluminiumpuder) sichtbar gemacht und mit einer normalen Kamera photographiert. Aus den photographierten Spuren der Aluminiumflocken wurde die Feldinformation des zweidimensionalen Geschwindigkeitsfeldes numerisch berechnet.

2. Messanordnung

Die Abbildung 1 zeigt die vereinfachte gesamte Messanordnung (Optik, Elektronik und Mechanik), die als ein Test-System im Labor erstellt wurde.

Zuerst wurde die Betrachtung der von einer Plexiglasplatte P erzeugten Wasserumstroemung durchgefuehrt.

Der aus durchsichtigem Plexiglas gebaute Wasserbehaelter ermoeglichte die Beleuchtung und die Betrachtung der Stroemung von aussen ohne jede Stoerung durch materielle Sonden.

2-1. Die Sichtbarmachung

Zur Beleuchtung der Stroemung wurde ein Laser L (Algon-Ion-Laser) wegen seiner hohen und konzentrierten Lichtintensitaet gewaehlt.

Durch eine Zylinderlinse ZL wurde das Laserlichtbuendel in eine schmale Lichtschicht umgeformt (Laser-Sheet-Light-System), wobei die Dicke der Lichtschicht etwa 1 mm betrug.

Die Beleuchtung erreichte die ganze Strecke der Laenge des Wasserbehaelters (700 mm) und die Tiefe von der Wasseroberflaeche WO bis zum Boden (300 mm).

In diesem Beleuchtungssystem wurde eine von einem Motor getriebene Scheibe CH mit einem Loch als ein Unterbrecher/Durchlasser des Laserlichtes (Chopper) angebracht (Laser-Stroboskopie). Dadurch wurde sowohl die Normalaufnahme mit der durchgehenden Kamerabelichtungszeit, als auch die Mehrfachmomentaufnahme mit der Stroboskopiefrequenz ermoeeglicht. Zur genauen Messung der Periode der Stroboskopie wurden ein Induktionsschalter IS und ein Zaehler Z verwendet, mit denen die Induktionsaenderung gemessen wurde, welche durch ein an der Scheibe befestigtes Eisenplaettchen erzeugt wurde. Die Periode der Induktionsaenderung entsprach der Periode der Scheibendrehung.

Das Photo 1 zeigt eine Teilaufnahme der Messanordnung mit Laser-Sheet-Light.

2-2. Die Mechanik

Ein massiver Wagen W diente als ein kleiner Schleppwagen, an den die zwei Halterungen H fuer die Kamera K und die Platte P angebracht wurden, damit die Beobachtung mit der Kamera auf dem festen Koordinatensystem der Platte durchgefuehrt werden konnte.

Die Platte P wurde von der Halterung H senkrecht in der Mitte der Behaelterbreite aufgehengt.

Der Wagen wurde durch eine Fuehrungsstange FS gefuehrt und durch die Drehung einer Gewindestange GS in der horizontalen Richtung getrieben.

Das Getriebe G ermoeeglichte die stufenlose Regulierung der Schleppegeschwindigkeit, die durch einen Tachogenerator T und einen Spannungsmesser SM gemessen wurde.

3. Messung

3-1. Die Kalibrierung

-Die Schleppgeschwindigkeit des Wagens-

Die Abbildungen 2 und 3 zeigen die Anordnung und das Ergebnis der Kalibrierung.

Die konstanten Schleppgeschwindigkeiten des Wagens W wurden durch die Verwendung einer Lichtschranke LI gemessen, wobei die Lichtschranke die Zeiten zwischen den zwei an dem Wagen mit einem Abstand D angebrachten Plaettchen PL erfasste. Dabei wurde die aus dem Tachogenerator T gelieferte Spannung simultan abgelesen.

Bei der Photoaufnahme der Teilchenspuren wurde die Messung der Schleppgeschwindigkeit dann nur durch die Spannung durchgefuehrt.

-Der Masstab der Aufnahme-

Zur Kalibrierung des Masstabes der Photoaufnahme wurde ein Messraster photographiert.

Bei der Auswertung dieser Arbeit bleibt der Effekt der optischen Verzerrung des Masstabs unberuecksichtigt.

3-2. Das Photographieren

Die Untersuchungen wurden mit den Platten von 395, 300, 200, 100, 50 mm Laenge, 90, 50, 20 mm Tiefgang und 10 mm Dicke durchgefuehrt.

Hier werden einige Ergebnisse der Photos gezeigt.

Die Photos 2 und 3 zeigen die Spuren der Alu-Flocken unter den gleichen physikalischen Bedingungen. Nur ist das Photo 3 nach einer laengeren Wagenlaufzeit als das Photo 2 aufgenommen worden, wobei die zeitabhaengige Entwicklung der Stroemung deutlich zu sehen ist.

Auf den Photos sind als klare horizontale Linie die beleuchtete Linie der Wasseroberflaeche, als schwarzes Profil die Platte und als Bild oberhalb der beleuchteten Wasseroberflaechenlinie das Spiegelbild der Stroemung zu sehen. Die Platte bewegt sich von links nach rechts.

Weiterhin machen Photos 4 und 5 zum Vergleich die gleiche Stroemung sichtbar durch Teilchenspuren in einer durchgehend belichteten Aufnahme bzw. durch Teilchenpositionen in einer stroboskopisch erzeugten Mehrfachmomentaufnahme.

4. Messwerterfassung und Auswertung

4-1. Das Prinzip der Auswertung

Hier wird die Untersuchung mit der Laser-Stroboskopie in dem vorderen Gebiet der Plattenumstroemung gezeigt.

Zuerst wurde die stroboskopische Aufnahme vergroessert, wobei der Vergroesserungsfaktor in den Kalibrierungsfaktor einbezogen wurde. Dann wurden die momentanen Positionen der Flocken entlang der zugehoehrigen Spuren durch einen Digitizer abgelesen und in den Rechner eingegeben.

Da die vertikale von dem Wagen W verursachte mechanische Schwankung, die auf der Aufnahme der Spuren (z.B. Photo 3) zu sehen ist, in die Daten der Flockenpositionen eingegangen war, war ein numerisches Ausgleichsverfahren fuer die Spurenberechnung erforderlich /4/.

Als ein Ausgleichsverfahren wurde die Polynomapproximation im Gauss'schen Sinn verwendet, wobei ein Polynom 2-ten Grades als die approximierende Funktion genommen wurde:

- Das Polynom : $y=A_0+A_1 \cdot x+A_2 \cdot x^2$
- Die Koeffizienten A_0, A_1, A_2 sind durch die Ausgleichung zu bestimmen.
- Die horizontale Richtung ist x.
Die vertikale Richtung ist y.

Durch die Differenzbildung zwischen sukzessiven momentanen Flockenpositionen wurden die momentanen zweidimensionalen Geschwindigkeiten ermittelt.

Aus diesen Daten wurde das Geschwindigkeitsfeld ,wie folgt, berechnet.

Bei der Berechnung wurde ein rechtwinkliger Raster benutzt, an dessen Stuetzstellen die momentanen Geschwindigkeiten durch die Ausgleichung aus den berechneten momentanen Geschwindigkeiten der Flocken bestimmt werden sollte.

Zur Ausgleichung wurde ein quadratisches Fenster bestimmt, wobei der Mittelpunkt des Fensters in der Stuetzstelle lag. Die Berechnung wurde mit den innerhalb dieses Fensters liegenden Daten durchgefuehrt, wobei als die zweidimensionale approximierende Funktion

- Das Polynom : $u=B_0+B_1 \cdot x+B_2 \cdot y$
: $v=C_0+C_1 \cdot x+C_2 \cdot y$
- Die Koeffizienten $B_0, B_1, B_2, C_0, C_1, C_2$ sind durch die Ausgleichung zu bestimmen.
- u : die x-Komponente des Geschwindigkeitsvektors
v : die y-Komponente des Geschwindigkeitsvektors

genommen wurde.

Alle Programme wurden in FORTRAN geschrieben.

Zur Digitalisierung wurde das Software-Packet 'INTERGRAF' ebenso zur graphischen Darstellung 'CALCOMP' benutzt.

Die Programme und kurze Erläuterungen befinden sich im Anhang.
Nach jeder Berechnung wurde das Ergebnis graphisch dargestellt.

4-2. Die zwei Beispiele

-Stromung I-

Die Stromung wurde von einer Platte von 200 mm Länge, mit einem Tiefgang von 50 mm erzeugt und in dem Bereich der konstanten Schleppgeschwindigkeit (56.8 mm/s) photographiert.

<Die Ergebnisse der Photos>

Photo 4 : Die Aufnahme der Spuren.
Belichtungszeit 1 s.

Photo 5 : Die stroboskopische Aufnahme an der gleichen Stelle in dem Behälter, wie das Photo 4.
Stroboskopieperiode 60 ms.
Belichtungszeit 1 s.

Photo 6 : Die Teilvergrößerung des Photos 5 zwecks Digitalisierung.

<Die Ergebnisse der Berechnung>

Abb. 4 : Die Darstellung der Eingabedaten von dem Photo 6 mit einem Kreis als momentane Flockenposition und einer durchgezogenen Linie als die Spur einer Flocke, wobei die verzerrt oder undeutlich photographierten Flocken nicht als Eingabedaten genommen wurden.

Abb. 5 : Die Darstellung der Eingabedaten nach der Ausgleichsberechnung.

Abb. 6 : Die Pfeildarstellung der momentanen Geschwindigkeitsvektoren, die aus je zwei durch die Ausgleichsberechnung berechneten Flockenpositionen gerechnet wurden.

Abb. 7 : Die Darstellung des Geschwindigkeitsfeldes mit den Pfeilen, wobei die Größe des Fensters zur Ausgleichung von 3.5 x 3.5 cm gewählt wurde.

-Stroemung II-

Die Stroemung wurde von einer Platte von 395 mm Laenge, mit einem Tiefgang von 50 mm erzeugt und in dem Bereich der konstanten Schleppgeschwindigkeit (56.8 mm/s) photographiert.

Photo 7 : Die Teilvergroesserung der Stroemung.
Stroboskopieperiode 100 ms.
Belichtungszeit 1 s.

Die graphischen Darstellungen (Abb. 8,9,10,11) der Berechnung werden nach der Reihenfolge, wie bei der Stroemung I, gezeigt, wobei die Groesse des Fensters zur Ausgleichung von 3.0 x 3.0 cm gewaehlt wurde.

5. Schussfolgerungen

- Das Aluminiumpuder-Wasser-Gemisch ist gut zur Sichtbarmachung der Wasserstroemung geeignet:

1. Die Flocken bleiben fuer laengere Zeit (ca. 3-4 Tage) im Wasser ohne zu sinken.
2. Die Flocke besitzt ein gutes Reflexionsvermoegen fuer des Licht.
3. Die Flockengroesse ist gross genug zum Photographieren und klein genug zur genaueren Bestimmung der momentanen Position mit stroboskopischer Beleuchtung.

- Der Laser ist eine sehr gute Lichtquelle zur Erzeugung der schmalen Beleuchtungsschicht. Daher wird die genaue Definition der Messebene ermoglicht.

- Die Bewertung des in dieser Arbeit verwendeten Ausgleichsverfahrens:

1. Da bei der Spurenberechnung die x-Messwerte als die wahren Werte und das Polynom $y=A_0+A_1 \cdot x+A_2 \cdot x^2$ als die approximierende Funktion genommen wurde, war dieses Verfahren nicht in dem Stroemungsbereich verwendbar, wo die Spuren sehr steil nahezu in der y-Richtung verlaufen. Deshalb wurden dort ausnahmsweise die abgelesenen y-Messwerte selbst als die wahren eingesetzt.

2. Bei der Berechnung des Geschwindigkeitsfeldes wurde die Groesse des Fensters interaktiv veraendert, bis sich die errechneten Geschwindigkeitsvektoren gut den entsprechenden Spurenbildern anpassten.

Die Messwerterfassung und ihre Ergebnisse sind von dem Zufallsfaktor abhaengig, ob die Flocken in den besonders interessierenden physikalischen Bereich (z.B. Wirbel) hineingelangen. Dieses wird durch den Unterschied zwischen der Stroemung I (Abb.7) und der Stroemung II (Abb. 11) veranschaulicht, obwohl beide Faelle Wirbel enthielten (siehe Photo 6 und 7).

3. Zur genaueren Untersuchung des Ausgleichsverfahrens wurde der Bereich des Wirbels vergroessert dargestellt (Abb. 12).
Trotz der guten Anpassung des Ergebnisses sind die Grenzen des Verfahres an einigen Stellen zu erkennen, wo die Eingabedaten nicht in ausreichender Zahl vorlagen.
Dies ist an der obersten Pfeilreihe zu beobachten.

Danksagung

Bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Keil bedanke ich mich fuer die Moeglichkeit, die vorliegende Arbeit als ein Forschungsvorhaben des SFB-98 (Teilprojekt HS) ausfuehren zu koennen.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Sharma danke ich insbesondere fuer die Anregung der wissenschaftlichen Aufgabe.

Weiterhin bedanke ich mich bei den Mitarbeitern des Instituts fuer ihre Unterstuetzung.

Literatur

- /1/ : Y.Kayo, K.Takekuma, K.Eggers, S.D.Sharma,
Observation of Free Surface Shear Flow and its
Relation to Bow Wave-Breaking on Full Forms,
Inst. Schiffbau, Univ. Hamburg,
Rept. 420, 1982
- /2/ : Y. Osawa,
Zwischenbericht der Bugwirbeluntersuchung
an die DFG,
Okt. 1984
- /3/ : K.Imaichi, K.Ohmi.
Qualitative flow analysis aided by image
processing of flow visualization photographs,
3rd International Symposium on flow visualization,
USA, Sept. 1983
- /4/ : Becker, Dreyer, Haacke, Nabert,
Numerische Mathematik fuer Ingenieure,
Teubner, Stuttgart, 1985

- L : Laser
- Z : Zähler
- IS : Induktionsschalter
- M : Motor
- CH : Chopper
- ZL : Zylinderlinse
- LS : Laser-Sheet-Light
- WB : Wasserbehälter aus Plexiglas
- WO : Wasseroberfläche
- P : Platte aus Plexiglas
- W : Wagen mit Halterungen H für Kamera K und Platte P
- FS : Führungsstange
- K : Kamera
- GS : Gewindestange
- G : Getriebe
- T : Tachogenerator
- SM : Spannungsmesser

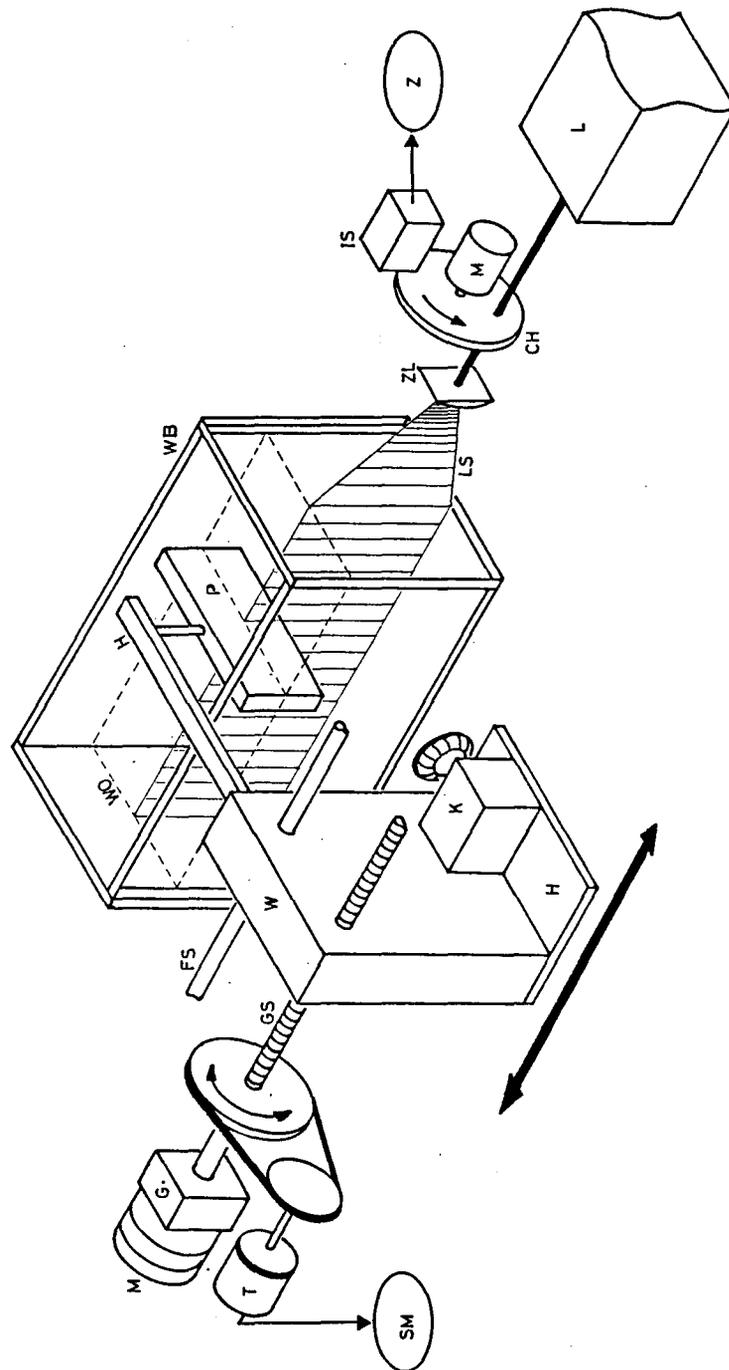


Abb. 1 Gesamte Meßanordnung

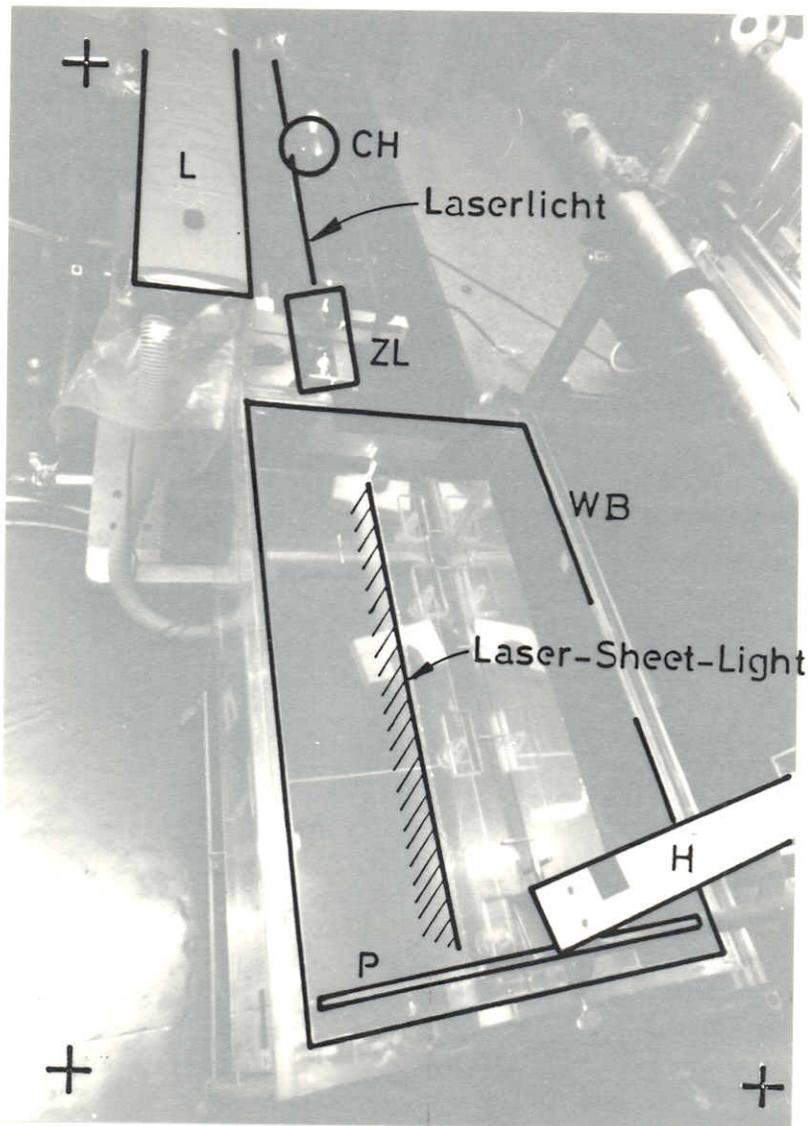


Photo 1 Laser-Sheet-Light-System

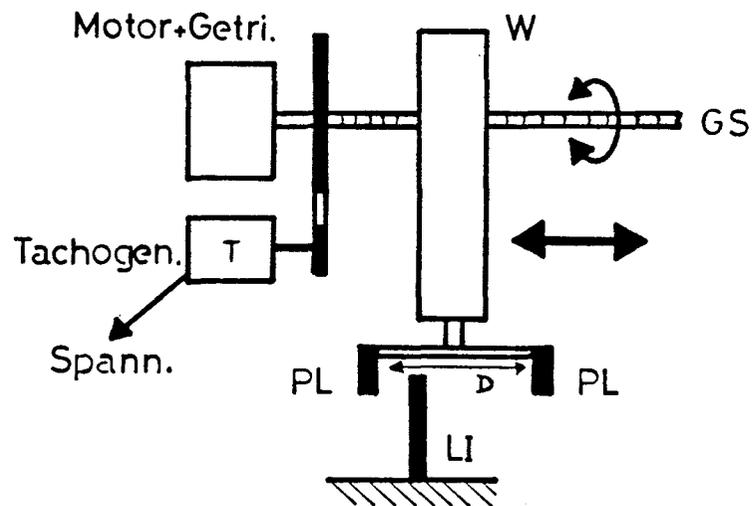


Abb. 2 Meßanordnung zur Kalibrierung der Wagenschwindigkeit

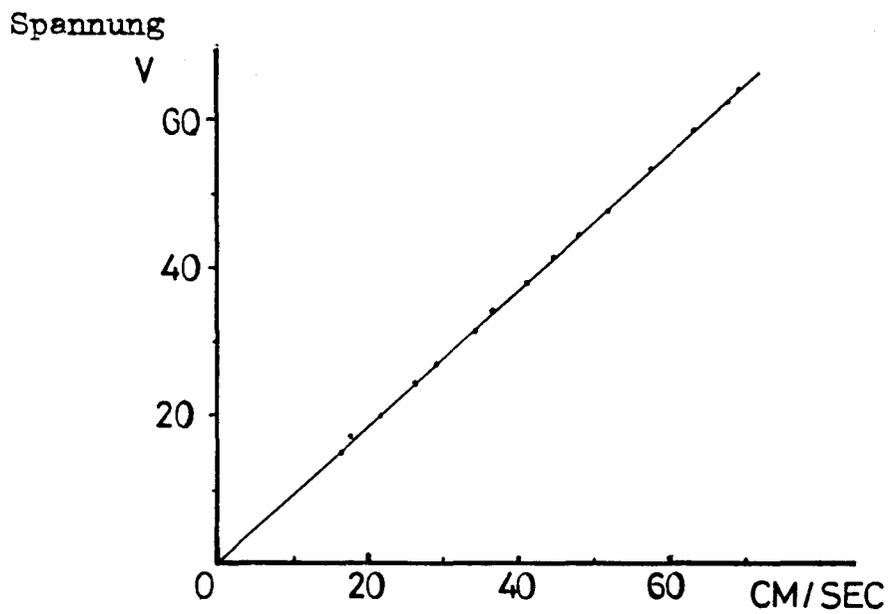


Abb. 3 Ergebnis der Messung

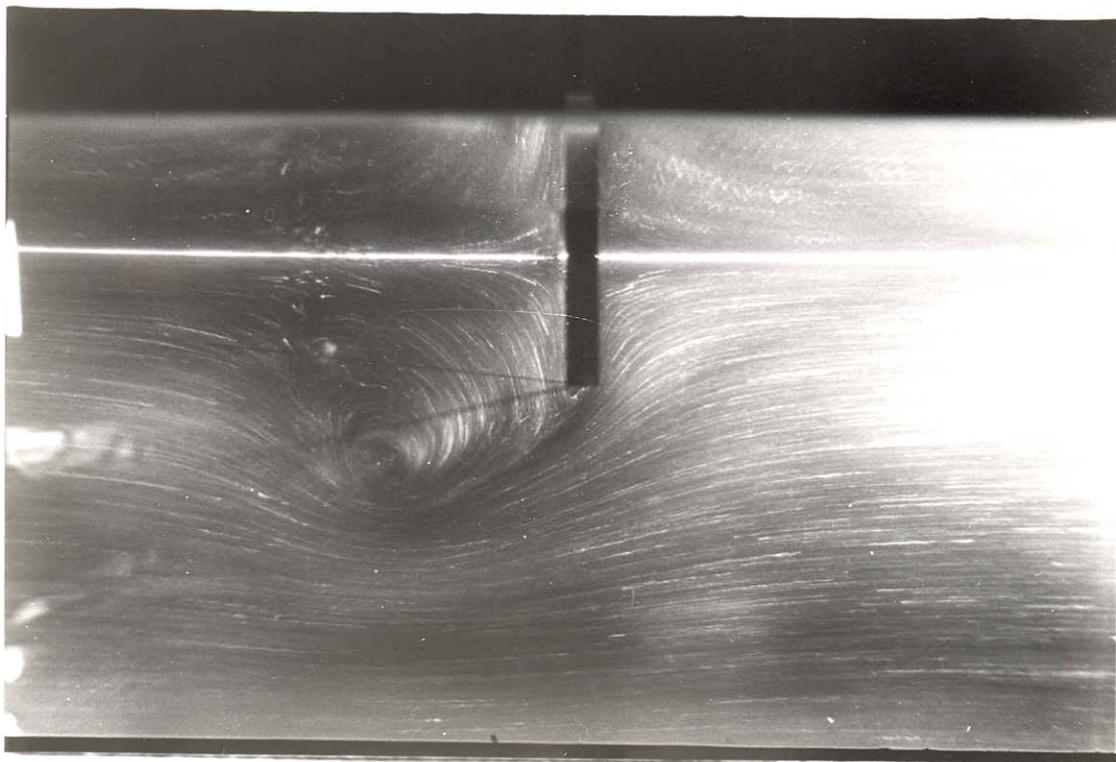


Photo 2 Spurenaufnahme ($t=t_1$)

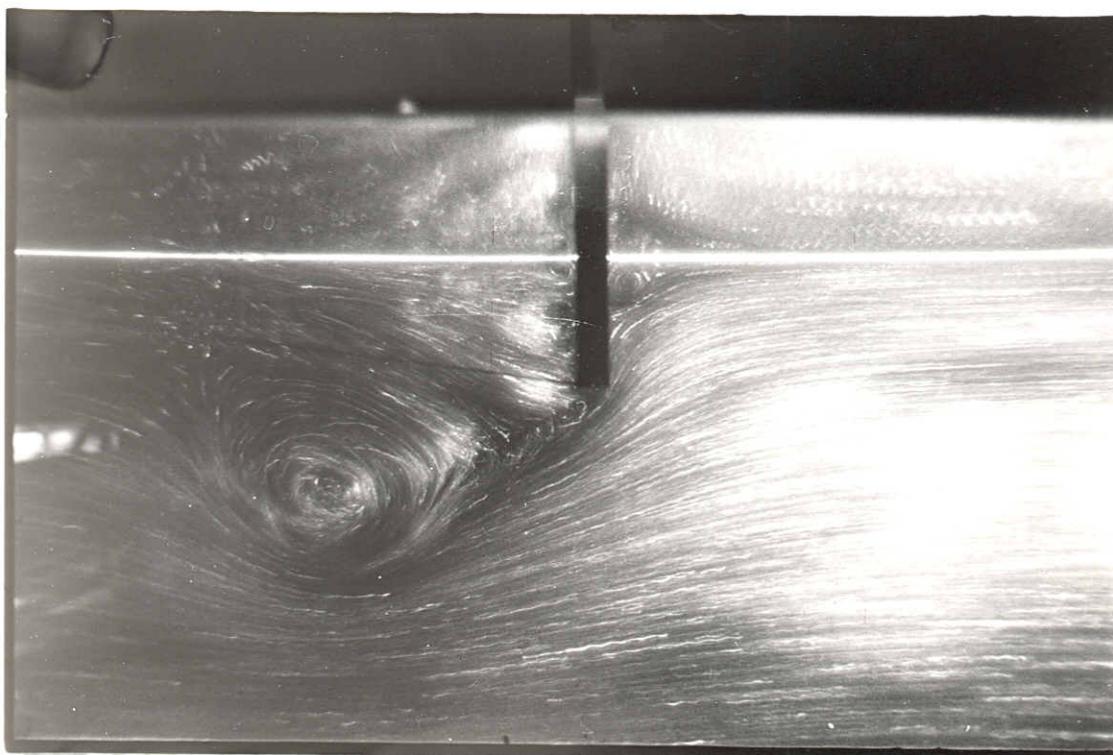


Photo 3 Spurenaufnahme ($t=t_2$, $t_1 < t_2$)

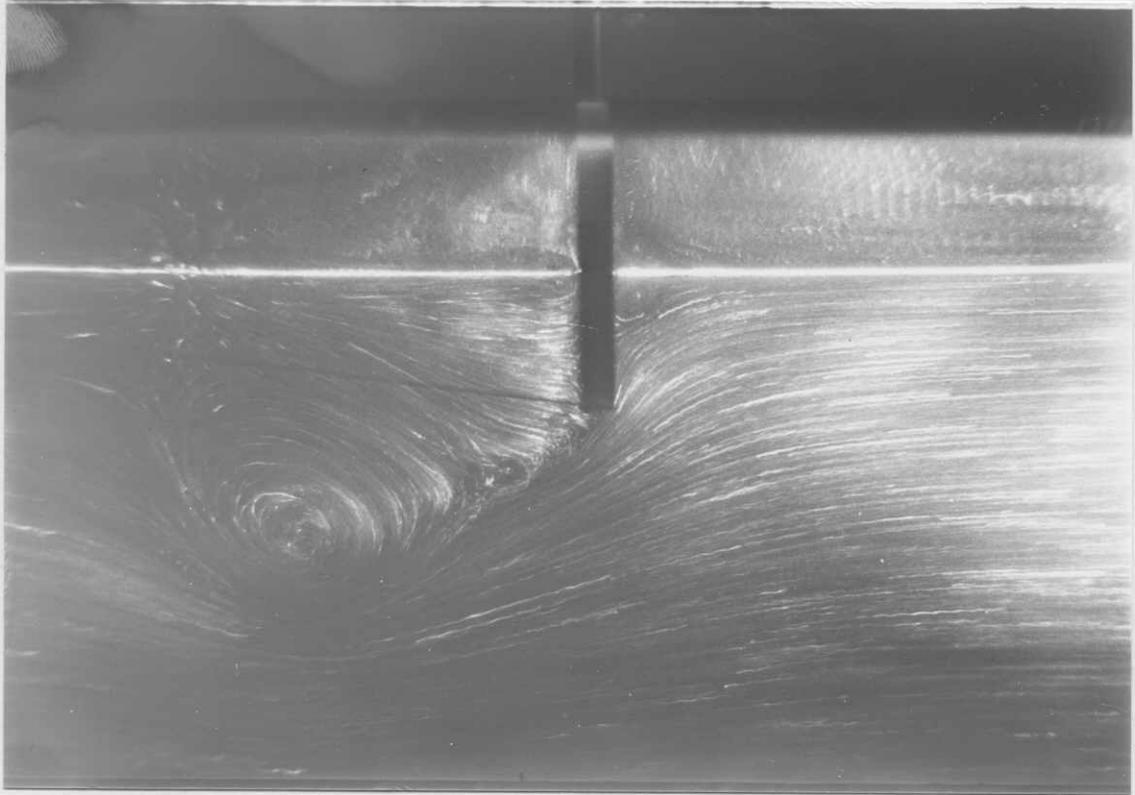


Photo 4 Spurenaufnahme (Stroemung I)

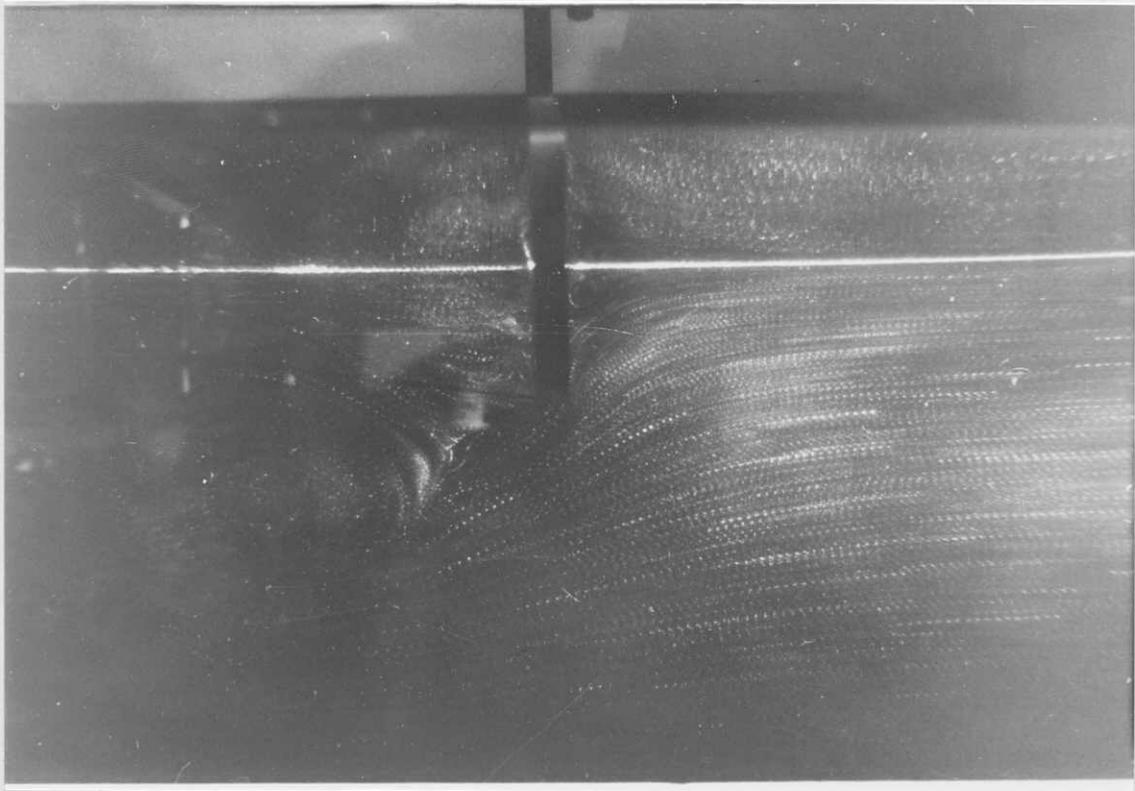


Photo 5 Stroboskopische Spurenaufnahme
(Stroemung I)

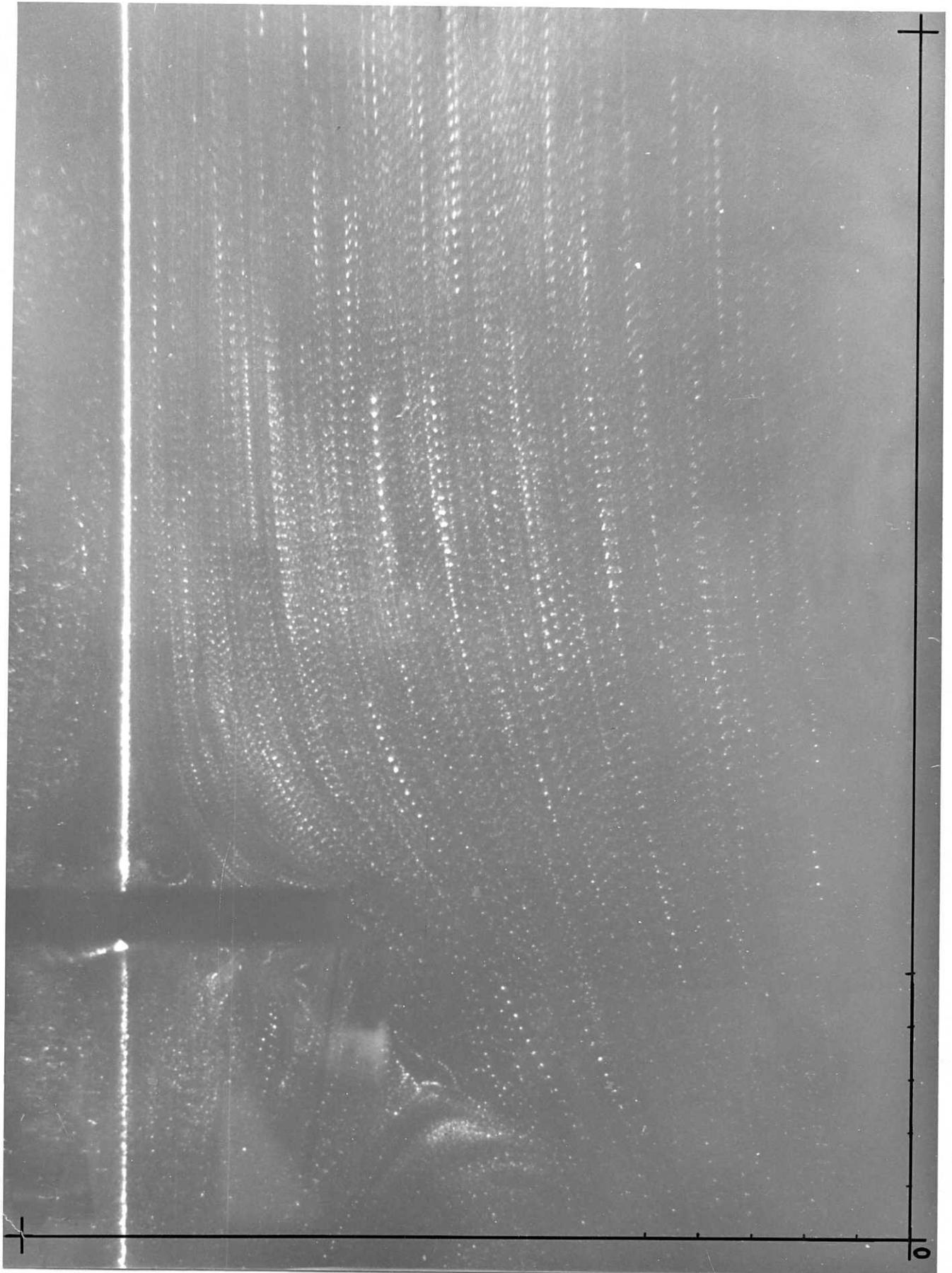


Photo 6 Vergroeberte Aufnahme zwecks Digitalisierung
(Stroemung I)

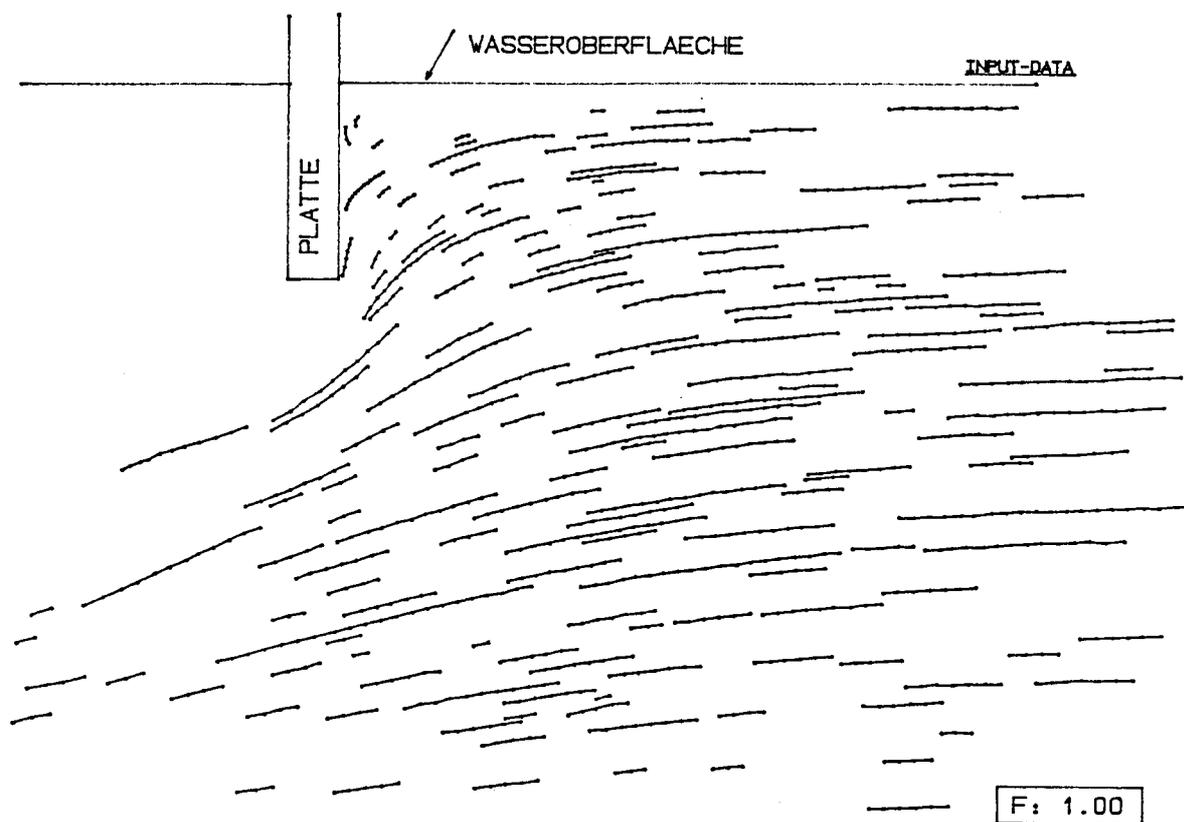


Abb. 4 Eingabedaten

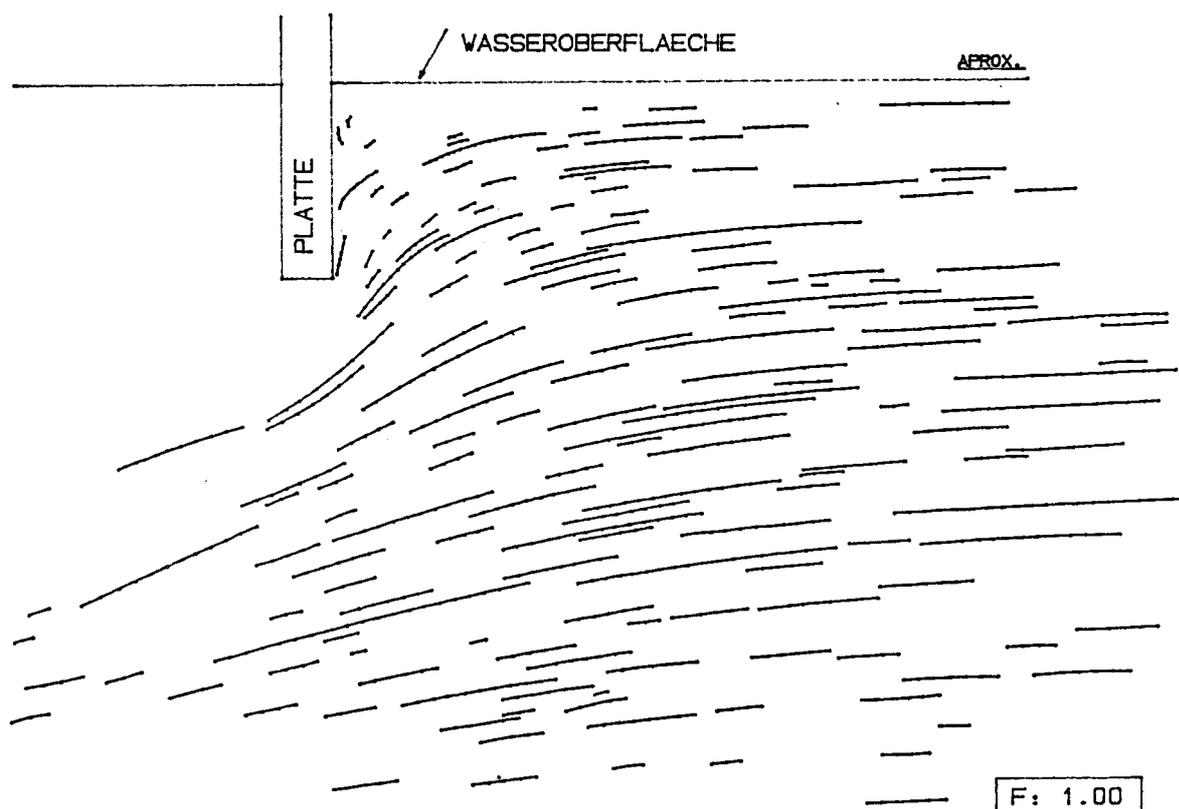


Abb. 5 Eingabedaten nach der Ausgleichung

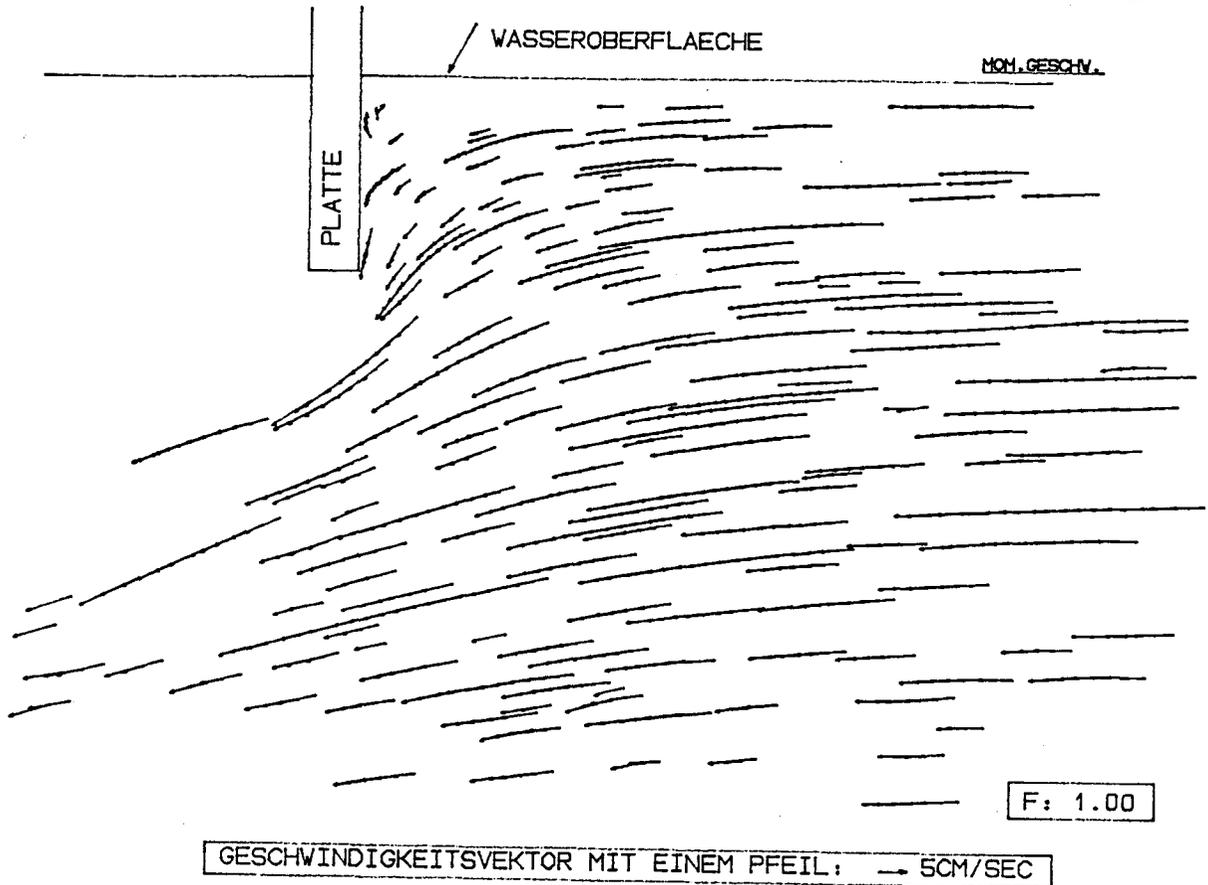


Abb. 6 Momentane Geschwindigkeiten der Eingabedaten

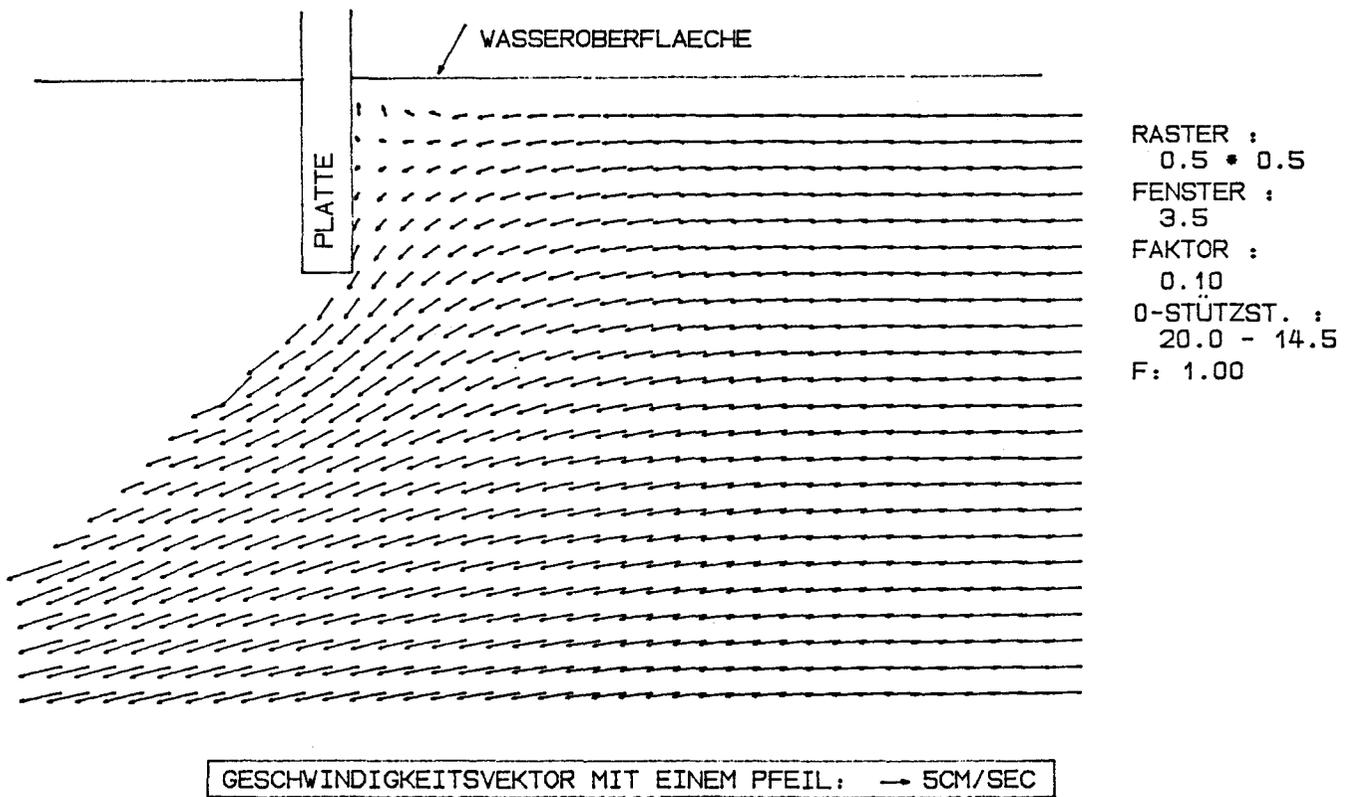


Abb. 7 Geschwindigkeitsfeld der Stroemung I

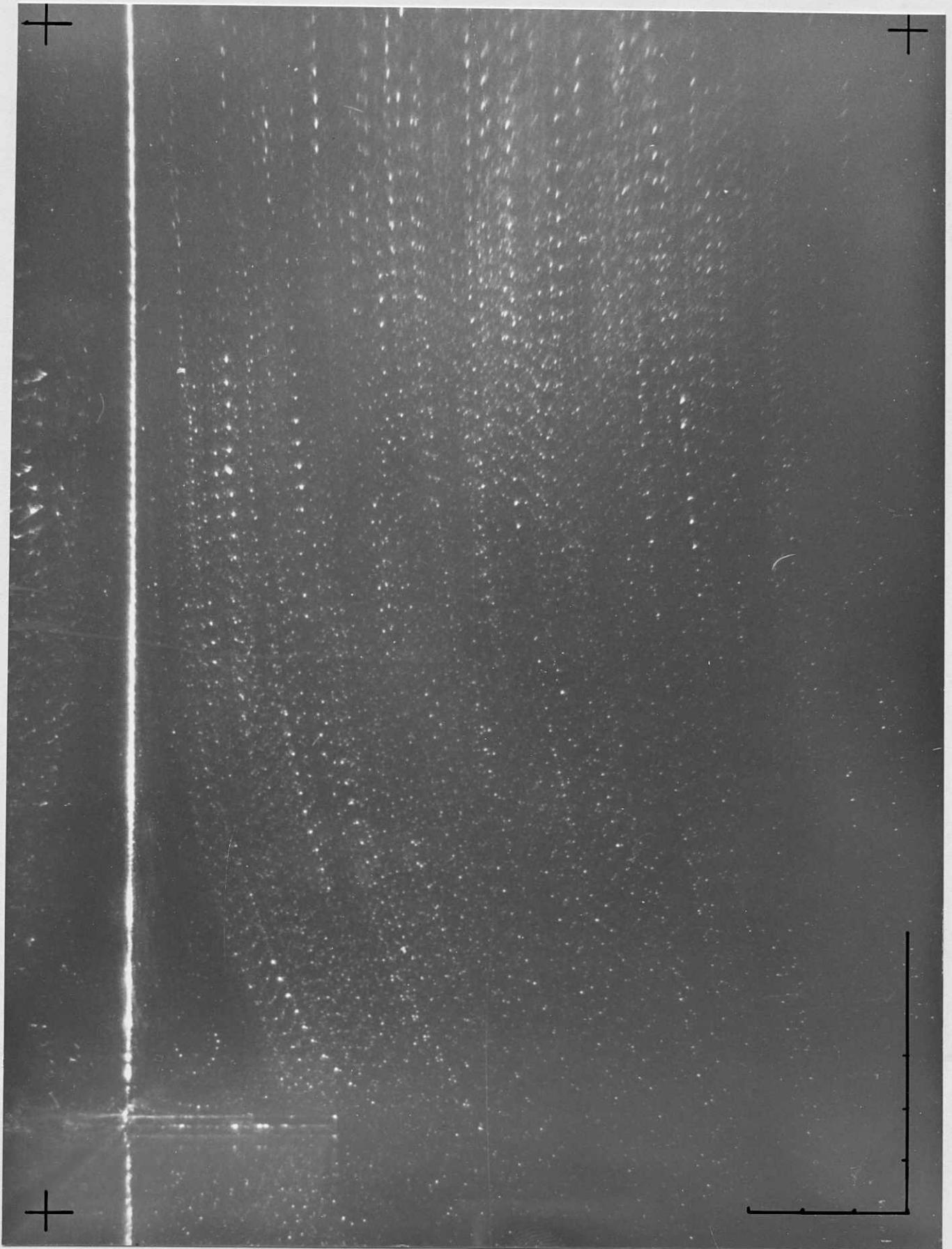


Photo 7 Vergroeuerte Aufnahme zwecks Digitalisierung
(Stroemung II)

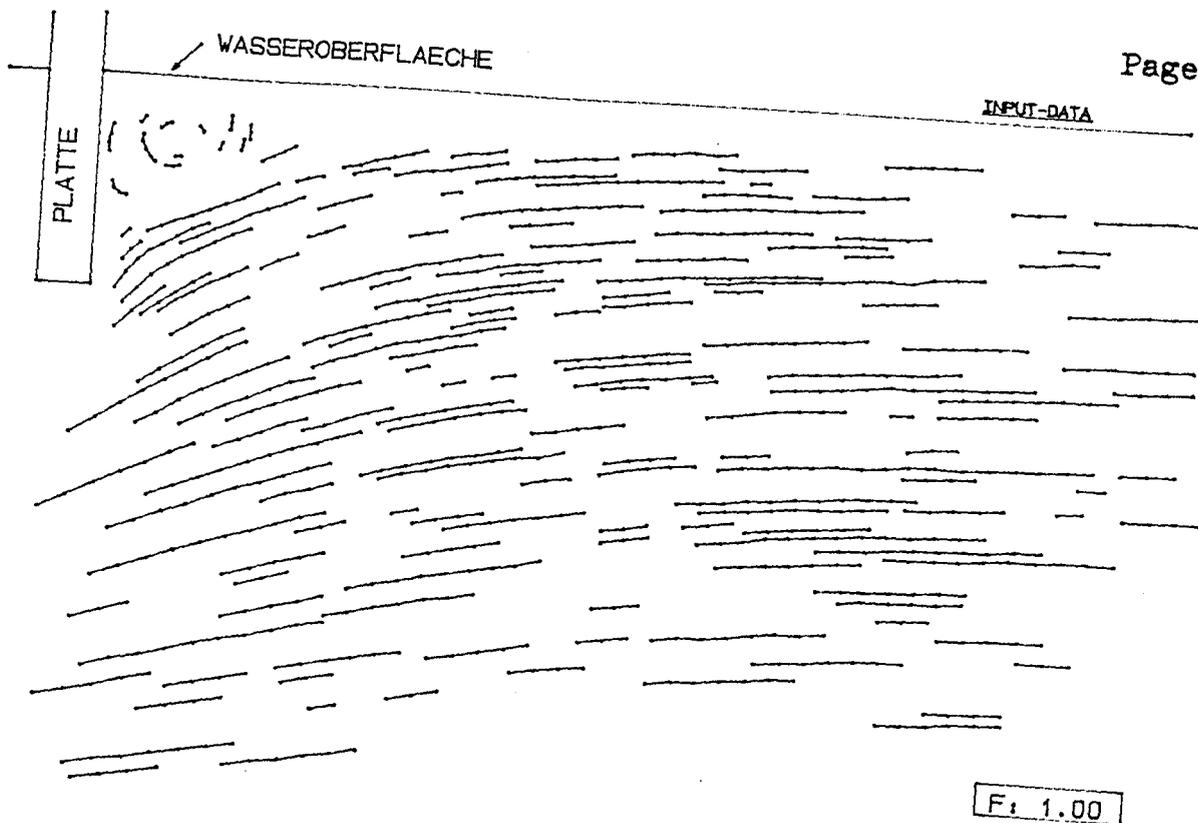


Abb. 8 Eingabedaten

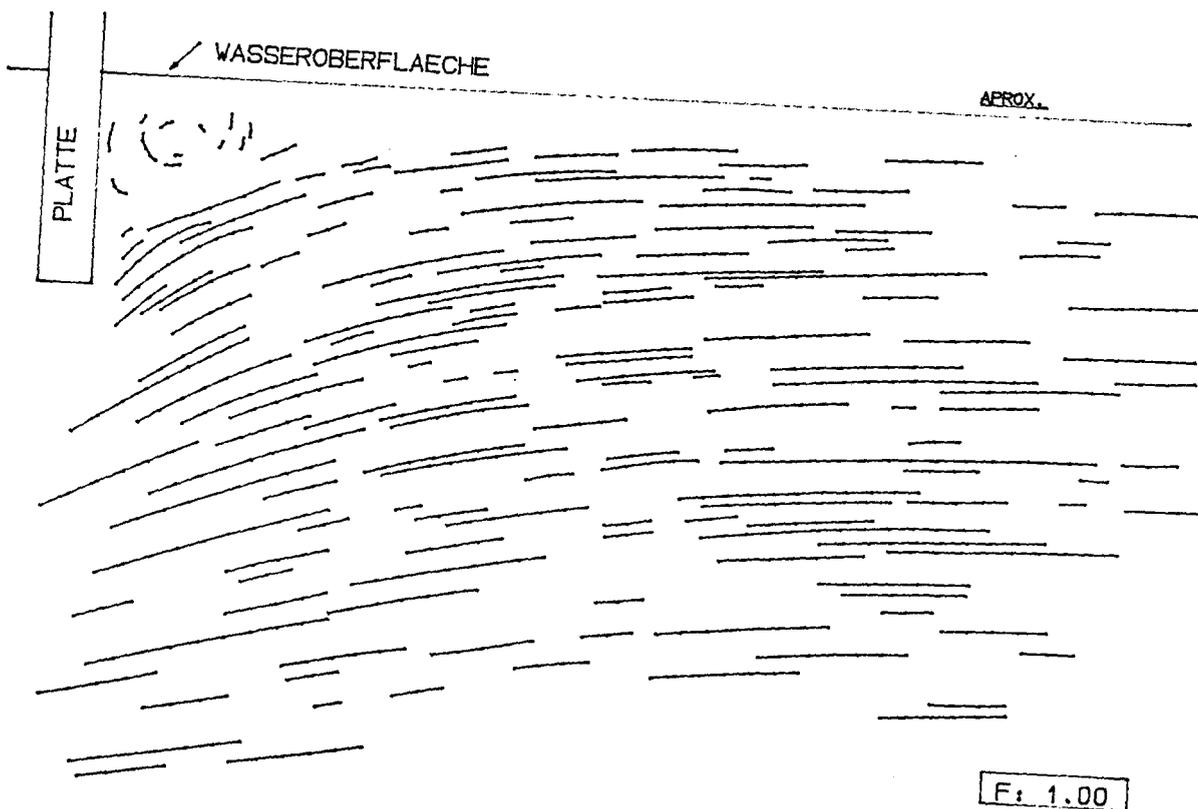


Abb. 9 Eingabedaten nach der Ausgleichung

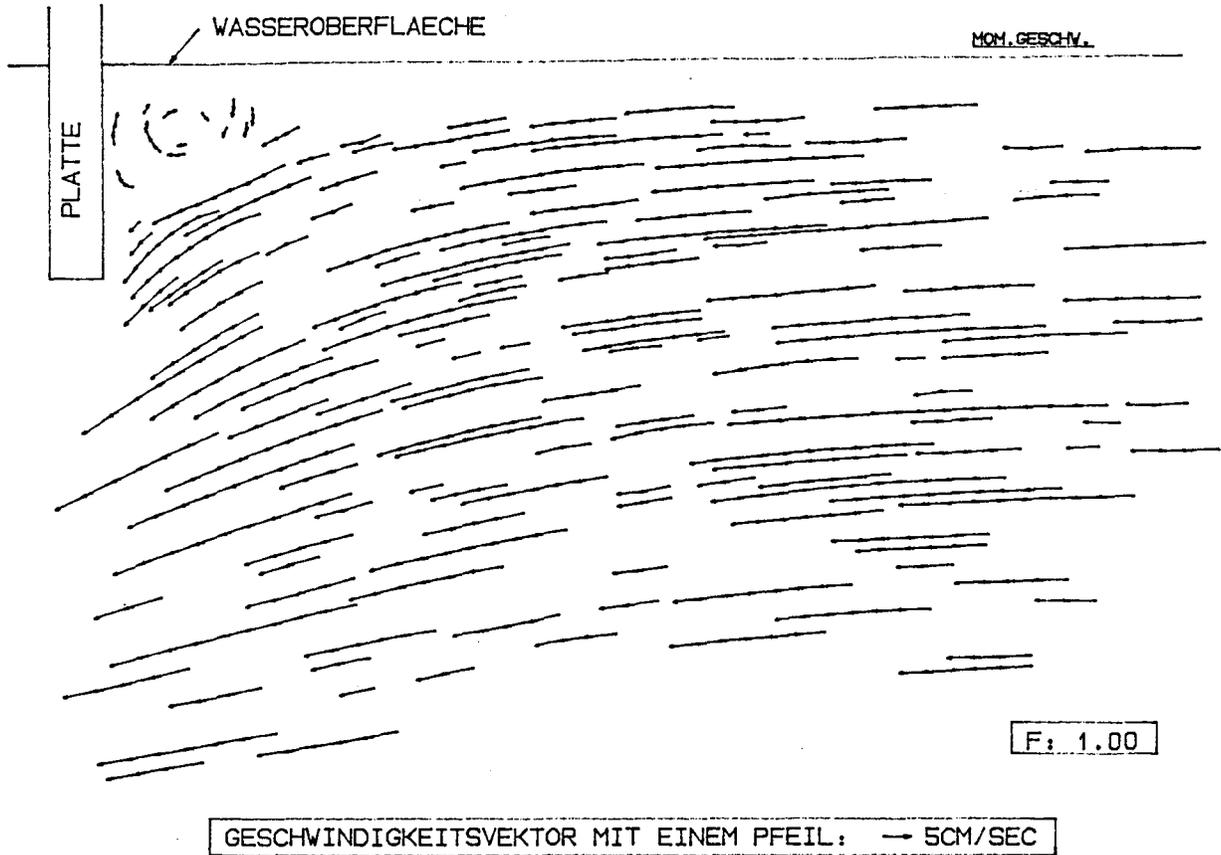


Abb. 10 Momentane Geschwindigkeiten der Eingabedaten

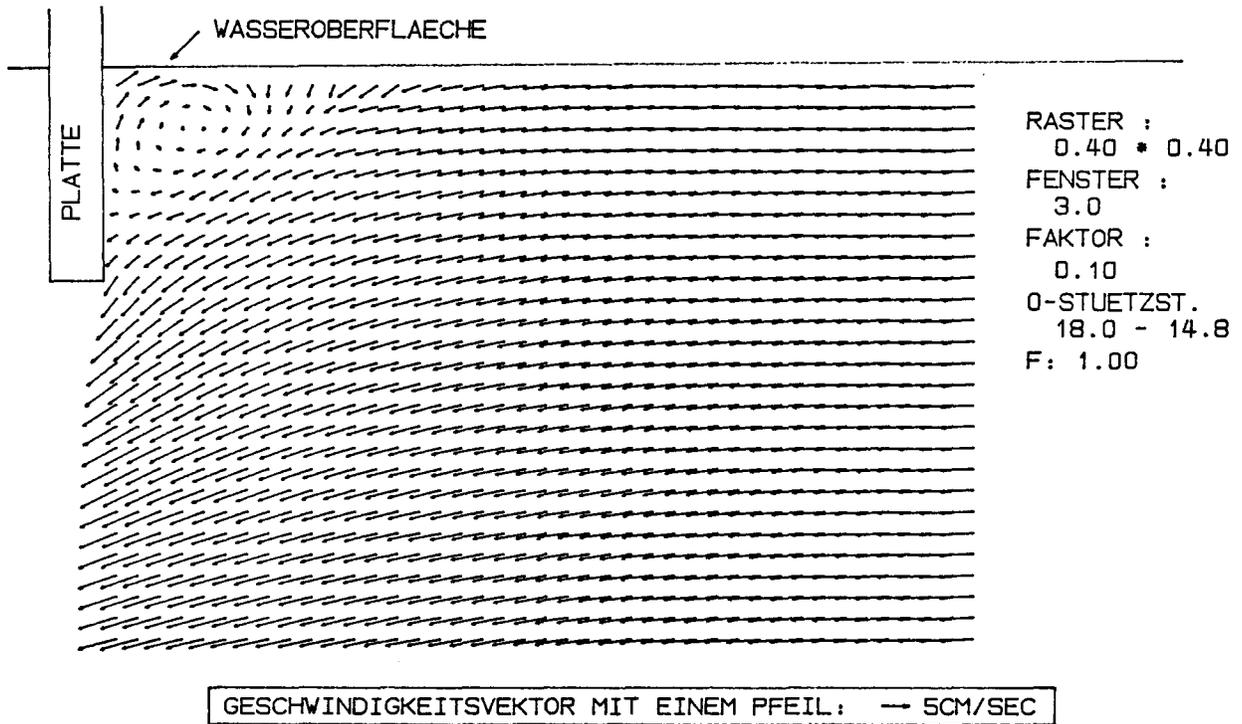


Abb. 11 Geschwindigkeitsfeld der Stroemung II

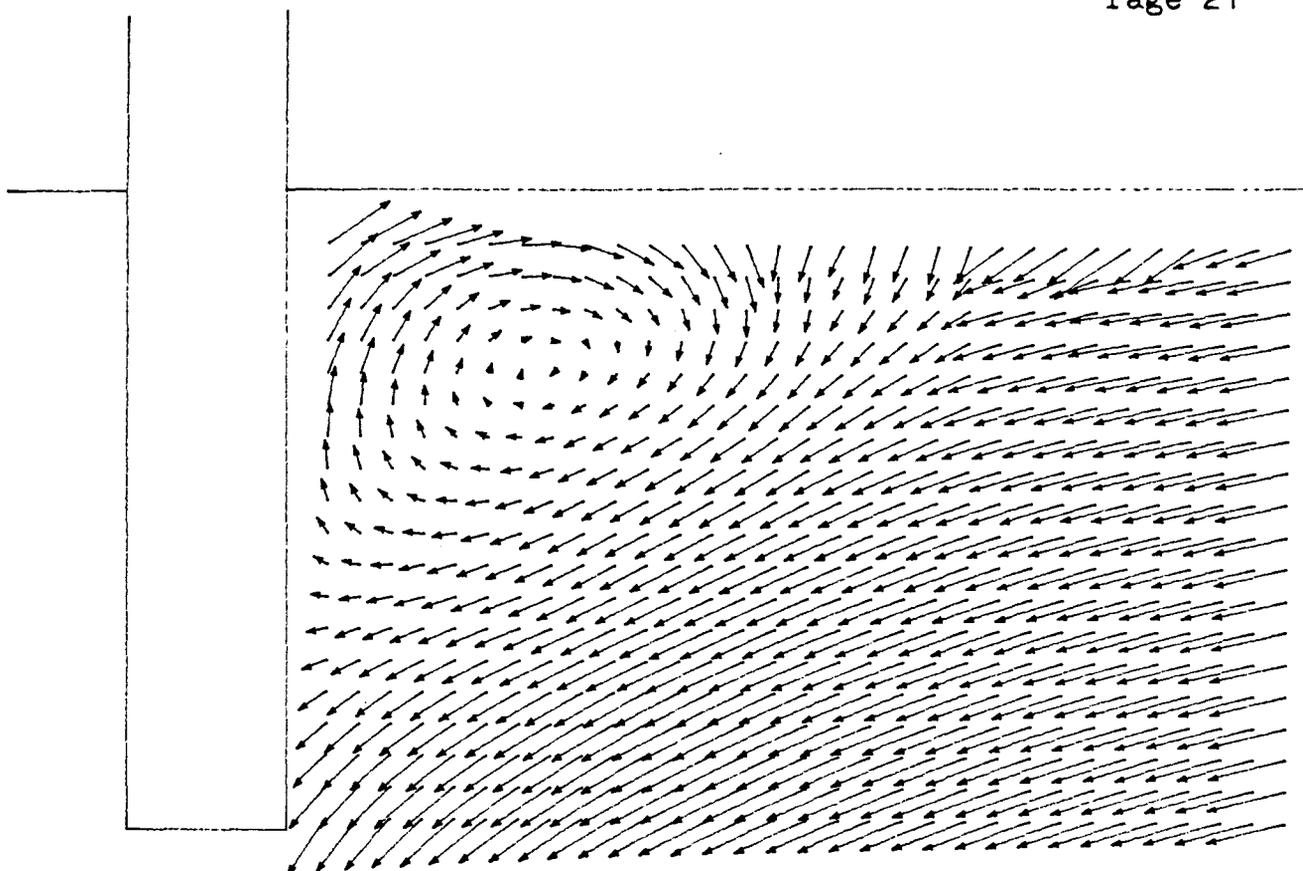
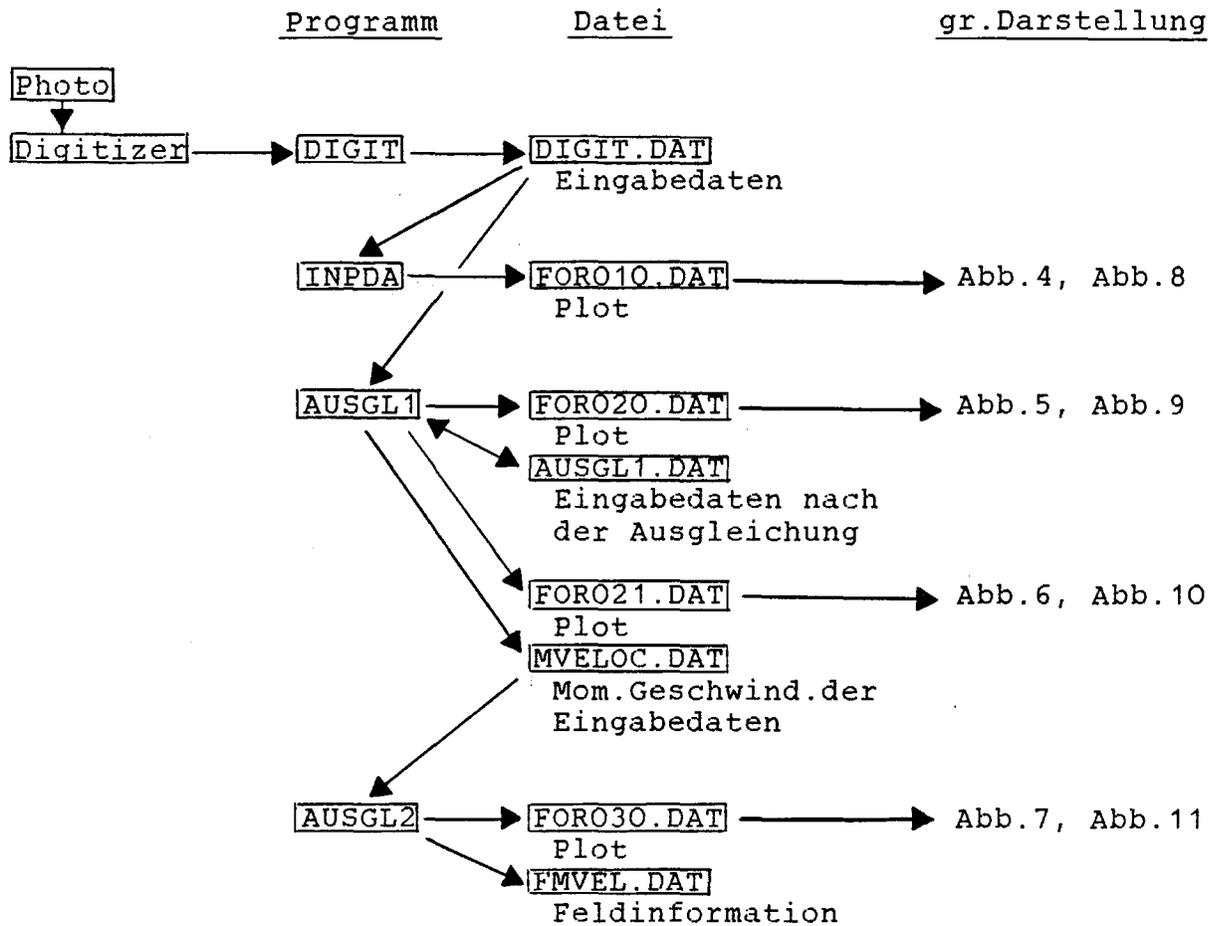


Abb. 12 Geschwindigkeitsfeld in dem Wirbelbereich

Anhang

- Kurzbeschreibung und Liste der Programme -

Das Blockschaltbild zeigt das gesamte Programmsystem mit den Programm-, Datei-Namen und den Bezeichnungen der graphischen Darstellungen aus diesem Bericht.



<u>Programm</u>	<u>Funktion und zugehoerige Datei</u>
DIGIT	: Datenuebertragung mit 'INTERGRAF' fuer die Spurendigitalisierung. Output: DIGIT.DAT
INPDA	: Plott der Eingabedaten (Pruefung der Eingabedaten). Input : DIGIT.DAT Output: FORO10.DAT (Plot-Datei)
AUSGL1	: Ausgleichung fuer die Teilchenspuren mit der Begrenzung (siehe 5. im Text). Input : DIGIT.DAT Output: FORO20.DAT (Plot-Datei) AUSGL1.DAT ----- Berechnung der momentanen Geschwindigkeit aus den Eingabedaten nach der Ausgleichung. Option: Masstab der Pfeildarstellung. Input : AUSGL1.DAT Output: FORO21.DAT (Plot-Datei) MVELOC.DAT
AUSGL2	: Ausgleichung zur Feldinformation. Option: Groesse und Koordinaten des Rasters. Masstab der Pfeildarstellung. Fenstergroesse zur Ausgleichung. - Zur Durchfuehrung der Ausgleichung sind innerhalb des Fensters an mindestens 3 Raumpunkten die Eingabedaten der Momentangeschwindigkeiten notwendig. Falls erforderlich wird das Fenster per Programm solange vergroessert, bis 3 Raumpunkte gefunden werden. Input : MVELOC.DAT Output: FORO30.DAT (Plot-Datei) FMVEL.DAT


```

        DATY(N)=Y
        GOTO 401
400  CLOSE(25)
        GOTO 13
C-----Daten listen
9    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
12  GOTO 9999
C-----Plot auf den Schirm
13  CALL LINPOS(-1)
        IM=1
        XMIN=10.0
        YMIN=10.0
        XMAX=700.0
        YMAX=700.0
        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    Plot linie 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    Plot Vektoren
        CALL VISIB(XP,YP,KENNZ)
100  CONTINUE
        CALL VISIB(DATX(N),DATY(N),0)
        GOTO 1
C-----Datenspeicherung auf 'DIGIT.DAT'
14  OPEN(25,NAME='DIGIT.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 '** DIGIT   E N D E **'
        END

```

PROGRAM INPDA

C

```

C-----Vereinberungen
      REAL DATX(3000),DATY(3000)
      INTEGER DIA,JOB
      LOGICAL Line_change
C
      DIA=5
C-----Formate
103  FORMAT(X,'Gib den Faktor der gr. Darstellung :',$,)
C-----Data input aus DIGIT.DAT
      OPEN (25,NAME='DIGIT.DAT',STATUS='OLD')
      N=0
32   READ(25,*,END=33) X,Y
      N=N+1
      DATX(N)=X
      DATY(N)=Y
      GOTO 32
33   CONTINUE
C-----Plot Vorbereitung
      CALL PLOTS(0.0,0.0,10)
      WRITE(DIA,103)
      READ(DIA,*) GRFAK
      CALL FACTOR(GRFAK)
      CALL PLOT(3.0,3.0,-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
        ELSE
          CALL PLOT(PX,PY,2)
        END IF
        IF(JOB.EQ.1) THEN
          CALL SYMBOL(PX,PY,0.02,0.0,0.0,-1)
        END IF
      END IF
111  CONTINUE
      CALL PLOT(0.0,0.0,999)
      CLOSE(25)
      STOP '** INPDA ENDE **'
      END

```

```

-----
      PROGRAM AUSGL1
C
C-----Vereinbarungen
      REAL DATX(3000),DATY(3000),APX(3000),APY(3000)
      INTEGER OIA
      DOUBLE PRECISION X1,X2,X3,X4,Y1X1,Y1X2
      LOGICAL Daten_check
C
      DIA=5
C-----Formate
100  FORMAT(X,'Gib Pfeil-Faktor :',$,)
101  FORMAT(4F10.5)
102  FORMAT(//,X,'1 : Inputlinie Approximation',/,
*       X,'2 : Lokale Geschwindigkeit',/,
*       X,'3 : End of Program',/,
*       X,'Gib Job-Nummer :',$,)
103  FORMAT(X,'Data ready !')
104  FORMAT(X,'Gib den Faktor der gr. Darstellung :',$,)
C-----Data input aus DIGIT.DAT
      OPEN(25,NAME='DIGIT.DAT',STATUS='OLD')
      N=0
32   READ(25,*,END=33) X,Y
      N=N+1
      DATX(N)=X
      DATY(N)=Y

```

```

      GOTO 32
33  CONTINUE
C-----Befehlsverteilung
1  WRITE(DIA,102)
   READ(DIA,*) JOB
   GOTO(10,20,999) JOB
C-----Approximation der Inputlinie
C   Inputlinie bestimmen
10  WRITE(DIA,104)
   READ(DIA,*) GRFAK
   NDAT=N-11
   NPA=2
   NP=0
   APX(1)=0.0
   APY(1)=0.0
13  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 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-----
      YCH=1.6*X/4.1+11.1
      Daten_check=Y.GT.YCH
      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 Daten 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
C-----Geometrie input
333 NPA=NPA+1
    DO 225 IV=NPA,N
    APX(IV)=DATX(IV)
    APY(IV)=DATY(IV)
225 CONTINUE
C-----Datei open and write
    OPEN(28,NAME='AUSGL1.DAT',STATUS='NEW')
    DO 226 IU=1,N
    WRITE(28,*) APX(IU),APY(IU)
226 CONTINUE
C-----Plot. Vorbereitung
    CALL PLOTS(0.0,0.0,20)
    CALL FACTOR(GRFAK)
    CALL PLOT(3.0,3.0,-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
    CALL PLOT(PX,PY,2)
    END IF
    CALL SYMBOL(PX,PY,0.01,0.0,0,-1)
    END IF
200 CONTINUE
    CALL PLOT(0.0,0.0,999)
    CLOSE(28)
    GOTO 1
C
C      Momentane Geschwindigkeit rechnen
C-----Meldung und Faktor input
20  N=0
    OPEN(28,NAME='AUSGL1.DAT',STATUS='OLD')
21  READ(28,*,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
    WRITE(DIA,104)
    READ(DIA,*) GRFAK
C-----Plot. Vorbereitung
    CALL PLOTS(0.0,0.0,21)
    CALL FACTOR(GRFAK)
    CALL PLOT(3.0,3.0,-3)
C-----Datei open
    OPEN(27,NAME='MVELOC.DAT',STATUS='NEW')
C-----Berechnung und Plot
C      Omitt Geometrie data
    IND=N-11
C      Messkonstante input
C      (Strobo Periode (sec))
    STROP=0.1
C      (Masstab (Natur/Foto))
    RMAS=1.3
    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)*RMAS/STROP
GRADY=(PYE-PYA)*RMAS/STROP
PFX=PXA+GRADX*FAKT
PFY=PYA+GRADY*FAKT
WRITE(27,101) PXA,PYA,GRADX,GRADY
CALL AROHD(PXA,PYA,PFX,PFY,0.05,0.0,12)
113 CONTINUE
C-----Geometrie zeichnen
IANF=L
K=1
DO 111 J=IANF,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
ELSE
CALL PLOT(PX,PY,2)
END IF
END IF
111 CONTINUE
CALL PLOT(0.0,0.0,999)
CLOSE(27)
GOTO 1
C-----End of Programm
999 CLOSE(25)
STOP ** AUSGL1 ENDE **
END

```

```

-----
PROGRAM AUSGL2
C
C-----Vereinbarungen
REAL PXA(1500),PYA(1500),GRADX(1500),GRADY(1500),
* APX(5000),APY(5000),XGRAD(5000),YGRAD(5000)
INTEGER DIA,REG(1500)
DOUBLE PRECISION X1,X2,Y1,Y2,U1,V1
LOGICAL Line_change
C
DIA=5
C-----Formate
100 FORMAT(/,X,' Gib Rasterdimension (Delta X u. Delta Y) ',/,
* 'min 0.2 cm : ',/$)
102 FORMAT(X,' Gib Fenstergroesse : ',/$)
101 FORMAT(X,' Gib Pfeil-Faktor : ',/$)
103 FORMAT(x,' Gib erste Stuetzstelle(x,y) : ',/$)
104 FORMAT(X,' Gib den Faktor der gr. Darstellung : ',/$)
C-----Faktoren input
WRITE(DIA,100)
READ(DIA,*) DLX,DLY
WRITE(DIA,102)
READ(DIA,*) FEN
WRITE(DIA,101)
READ(DIA,*) FAKT
WRITE(DIA,103)
READ(DIA,*) STZX,STZY
WRITE(DIA,104)
READ(DIA,*) GRFAK
C-----Momentane Geschwindigkeit am Messpunkt input
M=0
OPEN(27,NAME='MVELOC.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-----Vergleichsverfahren-----
C      Approximierende Punkt(APX(I),APY(I))
C      Abstand der Stuetzstelle (DLX,DLY)
C      Min. Fenstergroesse (FEN*FEN)
C
C      Anzahl der Stuetzstelle in X-Richtung
C      NPX=0
C      Anzahl der Stuetzstelle in y-Richtung
C      NPY=0
C      Nummerierung der Stuetzstelle
C      NAP=1
C      Anzahl der Fenstern
C      NFEN=0
C      Fenstervergroesserungsfaktor
C      DFEN=0.2
C      Output-Datei Open
C      OPEN(32,NAME='FMVEL.DAT',STATUS='NEW')
C
C      Wiederholungsstelle
14  APX(NAP)=STZX-DLX*NPX
    APY(NAP)=STZY-DLY*NPY
C      Fenster am (APX(NAP),APY(NAP)) rechnen
    XFEN1=APX(NAP)-(FEN+DFEN*NFEN)/2.0
    XFEN2=APX(NAP)+(FEN+DFEN*NFEN)/2.0
    YFEN1=APY(NAP)-(FEN+DFEN*NFEN)/2.0
    YFEN2=APY(NAP)+(FEN+DFEN*NFEN)/2.0
C      Stuetzstelle (PXA(I1),PYA(I1))
C      in dem Fenster suchen
    MD=M-11
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.2) 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
    DO 71 I2=1,IREG
      INDX=REG(I2)
      X=PXA(INDX)
      Y=PYA(INDX)
      U=GRADX(INDX)
      V=GRADY(INDX)
      X1=X1+X
      X2=X2+X**2.0
      Y1=Y1+Y
      Y2=Y2+Y**2.0
      Y1X1=Y1X1+Y*X
      U1=U1+U
      U1X1=U1X1+U*X
      U1Y1=U1Y1+U*Y
      V1=V1+V
      V1X1=V1X1+V*X
      V1Y1=V1Y1+V*Y
71  CONTINUE
C      Koeffizienten rechnen

```

```

D=IREG*X2*Y2+2.0*X1*Y1*Y1X1
* -X2*Y1*Y1-IREG*Y1X1*Y1X1-X1*X1*Y2
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=(IREG*U1X1*Y2+U1*Y1*Y1X1+X1*Y1*U1Y1
*   -Y1*Y1*U1X1-IREG*Y1X1*U1Y1-U1*X1*Y2)/D
   A2=(IREG*X2*U1Y1+X1*Y1*U1X1+U1*X1*Y1X1
*   -U1*X2*Y1-IREG*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=(IREG*V1X1*Y2+V1*Y1*Y1X1+X1*Y1*V1Y1
*   -Y1*Y1*V1X1-IREG*Y1X1*V1Y1-V1*X1*Y2)/D
   B2=(IREG*X2*V1Y1+X1*Y1*V1X1+V1*X1*Y1X1
*   -V1*X2*Y1-IREG*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 FMVEL.DAT
   WRITE(32,*) APX(NAP),APY(NAP),U,V
C----- Vorbereitung zur naechsten Stuetzstelle
C           in dem Darstellungsbereich
C----- Die naechste Stuetzstelle in der diagonalen Richtung
   NAP=NAP+1
   NPX=NPX+1
   NPY=NPY+1
   APX(NAP)=STZX-DLX*NPX
   APY(NAP)=STZY-DLY*NPY
C----- Bestimmung bei der Darstellungsgrenze
   IF(APY(NAP).GE.4.0) THEN
     IF(APX(NAP).LT.1.8) 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 plotten
990 CALL PLOTS(0.0,0.0,30)
   CALL FACTOR(GRFAK)
   CALL PLOT(3.0,3.0,-3)
   NAP=NAP-2
   DO 74 I4=1,NAP
     PX=APX(I4)
     PY=APY(I4)
     PFX=PX+XGRAD(I4)*FAKT
     PFY=PY+YGRAD(I4)*FAKT
     CALL AROHQ(PX,PY,PFX,PFY,0.05,0.0,12)
74 CONTINUE
   CALL PLOT(0.0,0.0,999)
C----- Programm ENDE
   CLOSE(32)
   PRINT *, ** AUSGL2 ENDE **
   STOP
   END

```