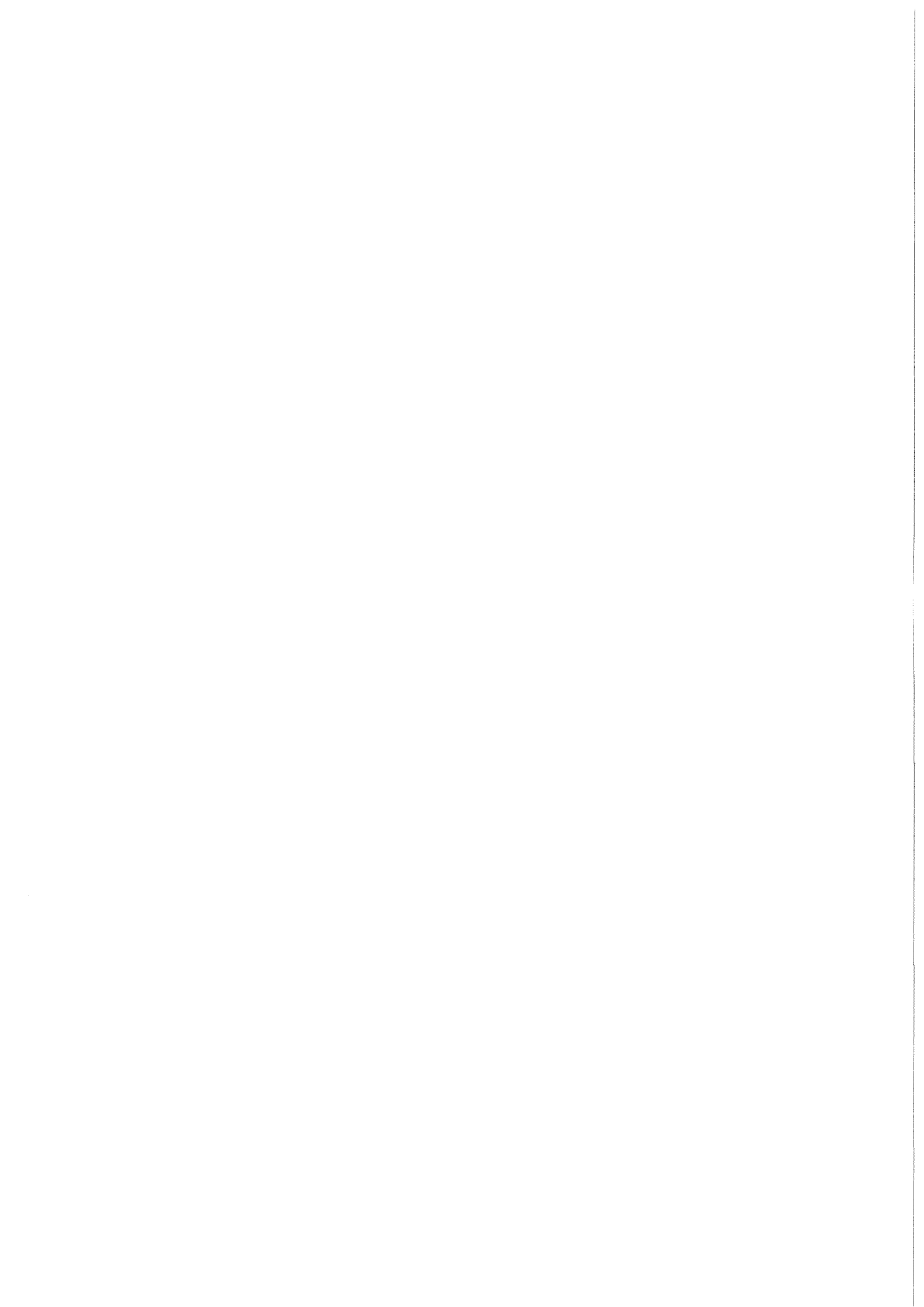


KfK 3744  
Juni 1984

# **Rechnergesteuerte Versuchsanlage zur Messung von Geschwindigkeits- und Turbulenzverteilungen mit Hitzdrähten**

**K. Rehme**  
**Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik**  
**Projekt Schneller Brüter**

**Kernforschungszentrum Karlsruhe**



KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik  
Projekt Schneller Brüter

KfK 3744

Rechnergesteuerte Versuchsanlage zur Messung von Geschwindig-  
keits- und Turbulenzverteilungen mit Hitzdrähten

K. Rehme

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe

Als Manuskript vervielfältigt  
Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH  
ISSN 0303-4003

## Rechnergesteuerte Versuchsanlage zur Messung von Geschwindigkeits- und Turbulenzverteilungen mit Hitzdrähten

### Zusammenfassung

Die langen Meßzeiten bei Hitzdrahtmessungen machen eine Automatisierung der Steuerung und Meßwerterfassung erforderlich. Der Bericht beschreibt Versuchsanlage, Meßverfahren und Steuerung. Durch die Automatisierung der Anlage wurde eine Effektivitätssteigerung um den Faktor 60 erreicht.

## Computer-Controlled Rig for Measurements of Velocity and Turbulence Distributions by Hot-Wires

### Abstract

The long measuring times for hot-wire measurements require automation of rig control and data acquisition. The report describes test rig, measurement system and control. The effectiveness was increased by a factor of 60 by computer-control.

## 1. Problemstellung

Für die Betriebssicherheit von Kernelementstabbündeln SNR-typischer Reaktoren muß die detaillierte Verteilung der in den Strukturen auftretenden Temperaturen hinreichend genau vorhersagbar sein. Diese Vorhersage wird durch die Berechnung der Temperaturverteilungen mithilfe der Unterkanalanalyse vorgenommen /1/. Dazu wird der Strömungsquerschnitt der Kernelemente in eine Reihe parallel geschalteter Unterkanäle aufgeteilt. In den einzelnen Unterkanälen werden für das Fluid gemittelte Massendurchsätze und Temperaturen und für die Kanalwände mittlere Wandtemperaturen berechnet. Daraus folgt, daß z.B. die Temperaturen am Umfang eines Brennstabes nur als Mittelwert über Teile des Umfanges ermittelt werden und dadurch die tatsächlich auftretenden Temperaturunterschiede, die für das Festigkeits- und Betriebsverhalten ausschlaggebend sind, unterschätzt werden können.

Diese Unterschätzung wiegt besonders schwer für den Betriebszustand der Kernelemente, wenn nämlich die nominelle Auslegungsgeometrie nicht mehr vorliegt. Durch die erforderlichen Einbautoleranzen, durch das Verbiegen der Brennstäbe im Temperaturgradienten und durch strahleninduziertes Schwellen ist während des Betriebs der nicht-nominelle oder deformierte Zustand der Normalfall. Der enge Abstand zwischen den Brennstäben oder zwischen den Stäben und der Kastenwand kann sich dabei stark verringern, wodurch hohe Temperaturspitzen am Umfang der Brennstäbe hervorgerufen werden können.

Weiterhin bewirken die zur Positionierung der einzelnen Brennstäbe in SNR-typischen Brennelementen verwendeten Abstandshaltergitter eine Umverteilung des Kühlmittel-Massenstromes zwischen den einzelnen Unterkanälen. Dadurch müssen sich die Geschwindigkeits- und Temperaturverteilung stromabwärts vom Abstandshalter stets neu ausbilden. Diese Effekte können durch die Unterkanalanalyse nur grob und unsicher erfaßt werden.

In der Erkenntnis, daß bei nicht-nominellen Betriebsbedingungen hohe Temperaturspitzen am Umfang der Brennstäbe auftreten und die Massenstromumverteilungen an Abstandshaltergittern von der Unterkanalanalyse nur unsicher erfaßt werden können, müssen für die Auslegungs- Betriebsbedingungen Sicherheitszuschläge (hot channel factor) gemacht werden. Könnten durch bessere Kenntnisse diese Zuschläge reduziert werden, so ergeben sich geringere Kosten und längere Standzeiten der Brennelemente.

Eine genauere Vorhersage der Temperaturverteilungen in Kernelementen ist nur durch detailliertere Rechenverfahren möglich. Solche Rechenverfahren, mit denen dreidimensionale Geschwindigkeits- und Temperaturverteilungen in Strömungskanälen ermittelt werden, sind zur Zeit in der Entwicklung /2/. Die detaillierten Methoden erfordern einen hohen Aufwand an Speicherplatz und Rechenzeit, sie werden daher auf absehbare Zeit nicht für ganze Brennelemente mit vielen Brennstäben, geschweige denn für komplette Kerne angewendet werden können, sondern nur für Teilgebiete von Kernelementen eine detaillierte Analyse der Temperaturverteilung ermöglichen.

Das angestrebte Ziel ist, an den Ergebnissen parametrischer Analysen mit den detaillierten Rechenverfahren in Teilgebieten Beziehungen abzuleiten, die dann zur Ertüchtigung der Unterkanal-Analyse-Verfahren herangezogen werden können. Voraussetzung dazu ist eine hinreichende experimentelle Absicherung der detaillierten Rechenverfahren, denn die Berechnung der Geschwindigkeits- und Temperaturverteilungen durch Lösung der Navier-Stokes-Gleichungen und der Energiegleichung erfordert die Vereinfachung der Gleichungen durch sog. Turbulenzmodelle für den Impuls- und Energietransport.

Die wichtigste Voraussetzung zur Berechnung genauer Temperaturverteilungen ist die genaue Berechnung der Geschwindigkeitsverteilung. Deshalb werden Geschwindigkeits- und Turbulenzverteilungen, die in die Turbulenzmodelle eingehen, in Unterkanälen von Stabbündeln gemessen. Dabei konzentrieren sich die experimentellen Untersuchungen auf unterschiedliche Geometrievarianten von Wandkanälen. Für Wandkanäle ergibt sich nicht nur

eine stark asymmetrische Geschwindigkeitsverteilung, sondern die thermischen Randbedingungen sind sehr unterschiedlich, denn während die Stäbe beheizt sind, wird an der Kanalwand, abgesehen von der geringen  $\gamma$ -Strahlungsheizung, keine Wärme produziert.

Die Messungen der Geschwindigkeits- und Turbulenzverteilung in einem symmetrischen Teil des Wandkanals erfolgen an etwa 500 Meßpositionen, um die Gradienten, besonders in Wandnähe, hinreichend genau ermitteln zu können. Der Meßaufwand ist sehr groß, wie im folgenden näher erläutert wird. Die Messungen sind daher langwierig und erfordern einen Zeitraum von ca. 3 Monaten je Geometrievariante /3/. Für die Messung der Geschwindigkeits- und Turbulenzverteilung im Nachlauf eines SNR-typischen Gitterabstandshalters, die erforderlich sind, um die Massenstromumverteilung durch das Abstandshaltergitter und die sich neu ausbildende Strömungsverteilung experimentell zu bestimmen, sind 10-20 axiale Meßebenen stromabwärts vom Gitterabstandshalter erforderlich. Wegen der Asymmetrie des Abstandshaltergitters muß außerdem der auszumessende Strömungsquerschnitt vervierfacht werden. Das bedeutet, daß sich der erforderliche Zeitraum für derartige Messungen auf mehr als 10 Jahre erstrecken würde. Daher war eine Automatisierung des Versuchsablaufes und der Meßwerterfassung unumgänglich.

## 2. Versuchsanlage

Damit die zur Messung verwendeten Sonden (Staurohre und Hitzdrahtsonden) die Meßergebnisse möglichst wenig beeinflussen und damit eine hohe Auflösung der zu messenden Geschwindigkeits- und Temperaturverteilung ermöglicht wird, ist die Geometrie der Wandkanäle von Brennelementbündeln für die Untersuchungen im Verhältnis 25:1 vergrößert worden. Der Meßkanal besteht aus einem Rechteckkanal, der vier parallele Rohre enthält, die die Brennstäbe darstellen. Der Rechteckkanal ist so konstruiert, daß eine kurze Seite des Kanals verstellbar ist, wodurch unterschiedliche Geometrie



anordnungen im gleichen Kanal ausgemessen werden können, entweder durch Änderung der Abstände zwischen den Rohren oder durch verschiedene Rohrdurchmesser. Die Rohre sind aus Aluminium hergestellt. Durch die Bearbeitung der Rohroberfläche wurde eine gemessene Rauhtiefe von  $0.6 \mu\text{m}$  erreicht. Der Kanal ist wie die Rohre aus vier Teilen von je  $L = 1750 \text{ mm}$  Länge zusammengesetzt, so daß die Gesamtlänge  $L = 7000 \text{ mm}$  beträgt (Abb.1).

Die Messungen werden am offenen Austritt des Kanals durchgeführt und zwar etwa  $30 \text{ mm}$  vom Austritt entfernt im Kanalinneren. Strömungsmedium ist Luft, die über einen Schalldämpfer und ein Luftfilter, das Partikel  $< 1 \mu\text{m}$  Größe festhält, mithilfe eines Radiallüfters durch die Teststrecke gedrückt. Der Eintritt in die Teststrecke geschieht über eine Lochplatte und ein Wabengitter (Aeroweb, Fa. Ciba), um eine möglichst drallfreie und gleichmäßige Eintrittsströmung zu erhalten. Abb.2 zeigt eine Gesamtansicht des Versuchskanals. Die Sicht auf den offenen Austritt ist durch Schallschutzwände verdeckt.

### 3. Meßverfahren

#### 3.1 Zeitlicher Mittelwert der Strömungsgeschwindigkeit

Der Vektor des zeitlichen Mittelwerts der Strömungsgeschwindigkeit wird mit einer Staudrucksonde (Pitot-Rohr) bestimmt. Die Achse des Pitotrohres liegt in Hauptströmungsrichtung. Die Sekundärgeschwindigkeitskomponenten sind stets klein gegenüber der Geschwindigkeit in Hauptströmungsrichtung, so daß wegen der Richtungsunempfindlichkeit des Pitotrohres gegen kleine Änderungen des Anströmwinkels stets der Betrag des Gesamtvektors gemessen wird.

Die Pitotrohre werden aus Injektionsnadeln ( $d=0.6 \text{ mm}$  Außendurchmesser) hergestellt. Sie werden sehr sorgfältig bearbeitet, damit die Anströmfläche genau senkrecht zur Achse liegt und keine Grate vorhanden sind.

### 3.2 Wandschubspannung

Die Wandschubspannung wird ebenfalls mit einem Staurohr gemessen. Dazu wird das Staurohr an die Kanalwand gefahren, so daß es am Meßort in Kontakt mit der Wand ist (Preston-Rohr /4/). Damit der Kontakt stets gewährleistet ist, wird die Sondenachse um 1-2 grd gegen die Wand geneigt. Bei Messungen an gekrümmten Wänden wird die Sonde jeweils gedreht, so daß die Neigung stets gegen die Wand gerichtet ist.

### 3.3 Sekundärgeschwindigkeiten und Reynoldsche Spannungen

Diese Messungen werden mit Hitzdrähten durchgeführt. Dabei können Einzeldrähte (gerade und unter 45 grd gegen die Hauptströmungsrichtung angestellte Drähte) oder X-Drähte (entweder zwei parallel liegende und um + 45 grd angestellte Drähte oder je ein gerader und ein schräger Draht) verwendet werden. Einige der verwendeten Hitzdraht-Meßverfahren sind in /5/ dargestellt. Im folgenden wird ein weiteres Verfahren als Beispiel erläutert, das eine Modifikation des von Kjellström /6/ vorgeschlagenen Verfahrens darstellt. Dieses Verfahren mit nicht-linearisiertem Ausgangssignal beruht auf dem Abkühlsystem von Collis /7/ und dem Richtungsempfindlichkeitskoeffizienten von Hinze /8/:

$$E^2 - E_0^2 = B(\rho U_p)^c (\sin^2\psi + k^2 \cos^2\psi)^{c/2} \quad (1)$$

Hierbei ist  $U_p$  der Vektor der Gesamtgeschwindigkeit; der Hitzdraht wird unter dem Winkel  $\psi$  angeströmt (Abb.3).  $E$  ist die Spannung, die erforderlich ist, um den Hitzdraht auf konstanter Temperatur zu halten und  $E_0$  die entsprechende Spannung bei Null-Geschwindigkeit. Der Richtungsempfindlichkeitskoeffizient  $k$  und der Exponent  $c$  im Collis Gesetz werden bei der Eichung des Hitzdrahtes mit genau bekannten Geschwindigkeitsverhältnissen bestimmt.

### 3.3.1 Sekundärgeschwindigkeit

Mißt man mit einem schrägen Hitzdraht die zeitlichen Mittelwerte und ihre Fluktuationen am gleichen Ort in vier verschiedenen Stellungen in zwei Ebenen, so lassen sich die Sekundärgeschwindigkeiten  $v$  und  $w$  (Abb.3) ermitteln. Die Positionen sind in Abb.4 mit  $i=1$  und 5 bzw.  $i=3$  und 7 angegeben. Mit  $\alpha_i$  als dem Winkel zwischen Hitzdraht und Hauptströmungsrichtung  $u$  bei der Meßposition  $i$  ergibt sich nach Kjellström /6/:

$$u^2 (\cos^2 \alpha_5 - F_{51} \cos^2 \alpha_1) + v^2 (\sin^2 \alpha_5 - F_{51} \sin^2 \alpha_1) - 2uv (\cos \alpha_5 \sin \alpha_5 - F_{51} \cos \alpha_1 \sin \alpha_1) + (u^2 + v^2 + w^2) \frac{F_{51}^{-1}}{1-k^2} = 0 \quad (2)$$

und

$$u^2 (\cos^2 \alpha_3 - F_{37} \cos^2 \alpha_7) + w^2 (\sin^2 \alpha_3 - F_{37} \sin^2 \alpha_7) - 2uw (\cos \alpha_3 \sin \alpha_3 - F_{37} \cos \alpha_7 \sin \alpha_7) + (u^2 + v^2 + w^2) \frac{F_{37}^{-1}}{1-k^2} = 0 \quad (3)$$

Dabei ist

$$F_{51} = \frac{F_5}{F_1} \quad (4)$$

bzw.

$$F_{37} = \frac{F_3}{F_7} \quad (5)$$

mit

$$F_i = \left( E_i^2 - E_o^2 \right)^{2/c} \left\{ 1 + \frac{2}{c} \frac{\overline{e_i^2}}{E_i^2 - E_o^2} \left[ 1 + \left( \frac{2}{c} - 1 \right) \frac{2 E_i^2}{E_i^2 - E_o^2} \right] \right\} \quad (6)$$

wobei  $\overline{e_i^2}$  der Effektivwert der Spannungsfluktuationen (Wechselspannungsanteil) des Hitzdrahtsignals ist, der den Geschwindigkeitsfluktuationen proportional ist.

### 3.3.2 Reynoldsche Spannungen

Die sechs Komponenten des Reynoldschen Spannungstensors können im Prinzip durch die Messung mit einem schrägen Hitzdraht an  $i=6$  Positionen gemessen werden. Es erweist sich jedoch als vorteilhaft, zur Messung der Turbulenzintensität in Hauptströmungsrichtung  $\overline{u'^2}$  einen geraden Draht zu verwenden und die übrigen Komponenten ( $\overline{v'^2}$ ,  $\overline{w'^2}$ ,  $\overline{u'v'}$ ,  $\overline{u'w'}$ ,  $\overline{v'w'}$ ) durch Messungen mit einem schrägen Hitzdraht an  $i=5$  Positionen zu ermitteln.

Wenn man die Sekundärströmungskomponenten  $v$  und  $w$  vernachlässigt, da sie stets sehr klein im Vergleich zu  $u$  sind, jedoch den Einfluß der Richtungsänderung auf die Abkühlung des Hitzdrahtes berücksichtigt durch die Änderung des Anströmwinkels  $\delta$  gegenüber dem Anströmwinkel  $\alpha$  gegenüber der Hauptströmungsrichtung, ergeben sich folgende Beziehungen:

Für die Messungen in den Positionen  $i=1$  und  $5$  ist:

$$\tan \delta_{1,5} = \frac{\overline{v}}{u} \quad (7)$$

in den Positionen  $i=3$  und  $7$

$$\tan \delta_{3,7} = \frac{\overline{w}}{u} \quad (8)$$

in der Position i=2

$$\tan \delta_2 = \frac{-v-w}{\sqrt{2}u} \quad (9)$$

in der Position i=4

$$\tan \delta_4 = \frac{v-w}{\sqrt{2}u} \quad (10)$$

mit

$$K_i = \frac{1-k^2}{(\tan(\alpha_i+\delta_i)+k^2 \cot(\alpha_i+\delta_i))} \quad (11)$$

und

$$R_i = \frac{e_i^2}{c^2} \frac{4E_i^2 U_p^2}{(E_i^2 - E_{oi}^2)^2} \quad (12)$$

lassen sich die Bestimmungsgleichungen für die Komponenten des Reynoldschen Tensors wie folgt angeben:

- aus der Messung mit dem geraden Draht i=g in der Position 3 nach Abb.4:

$$u'^2 = R_g \quad (13)$$

- aus der Messung mit dem schrägen Draht

$$i=1 : (u' - K_1 v')^2 = R_1 \quad (14)$$

$$i=5 : (u' + K_5 v')^2 = R_5 \quad (15)$$

$$i=3 : (u' - K_3 w')^2 = R_3 \quad (16)$$

$$i=7 : (u' - K_7 w')^2 = R_7 \quad (17)$$

$$i=2 : \left( u' - K_2 \frac{(v'+w')}{\sqrt{2}} \right)^2 = R_2 \quad (18)$$

$$i=4 : \left( u' - K_4 \frac{(-v'+w')}{\sqrt{2}} \right)^2 = R_4 \quad (19)$$

Damit können alle Komponenten bestimmt werden.  $u'$  ergibt sich aus Gl.(13);  $v'$  und  $\overline{u'v'}$  aus den Gln. (14) und (15);  $w'$  und  $\overline{u'w'}$  aus den Gln. (16) und (17). Für  $\overline{v'w'}$  können aus Gl.(18) bzw. (19) zwei Werte bestimmt werden.

Die Hitzdrähte werden vor und nach jeder Messung in einer speziellen Eichvorrichtung kalibriert. Aus der Eichung werden die Richtungsempfindlichkeit und der Exponent des Abkühlungsgesetzes nach Gl.(1) bestimmt.

#### 4. Steuerung und Meßwerterfassung

##### 4.1 Rechner und Peripherie

Die gesamte Steuerung und Meßwerterfassung wird über einen Rechner PDP 11/23 mit MINC-Labormoduln vorgenommen und läuft vollautomatisch ab. Der Rechner mit 256 KB wird unter RT11 V4.0 betrieben. Mit dem Rechner verbunden sind ein RLO2-Plattenspeicher (RLV21-AK) von 10 MB, ein 9-Spur Magnetband CYPHER mit 800 bzw. 1600 bpi, ein Diskettenlaufwerk RX02M-MD und ein Drucker LA34-VA DECWRITER IV. Die Meßwerterfassung erfolgt über einen A/D-Wandler MNCAD; die Steuerung von Schnittmotoren, Verstärkern und Gebläse über Digital-Ausgabe-Einheiten MNCDO.

##### 4.2 Sondenpositionierung

Um Meßfehler zu minimieren, ist eine möglichst genaue Sondenpositionierung erforderlich. Zur Bestimmung der Referenzposition wird folgendermaßen vorgegangen: Die Rohr- bzw. Kanalwände werden relativ zu einer demontierbare festen Fläche mit Meßuhren (Genauigkeit 10  $\mu\text{m}$ ) ausgemessen. Danach wird ein Meßmikroskop (Fa. C. Zeiss, Oberkochen) derart gegen die Meß-Fläche verfahren, daß die Fläche innerhalb der Schärfentiefe des

Meßmikroskops liegt. Die Schärfentiefe des Meßmikroskops beträgt nur 5  $\mu\text{m}$ . In dieser Position wird das Meßmikroskop justiert (Abb.6) und die Meßfläche demontiert. Fährt man jetzt die Meßsonde (Pitotrohr oder Hitzdrahtsonde) in die Schärfentiefe des Meßmikroskops, dann ist die Position zwischen Sonde und Kanalwände auf besser als 15  $\mu\text{m}$  festgelegt. Das Meßmikroskop wird außerdem zur Bestimmung des Winkels  $\alpha$  benutzt, den der schräge Hitzdraht mit der Kanalachse (Hauptströmungsrichtung) bildet. Von der Position zum Einmessen der Sonde, werden die Sonden manuell angehoben mit einem Hebetisch (Fa. Spindler und Hoyer, Göttingen), damit sie ohne Beschädigung über die Kanalwand bewegt werden können, danach werden sie manuell wieder abgesenkt.

Das Verfahren der Sonde in den Strömungsquerschnitt und innerhalb des Strömungsquerschnittes geschieht in Bezug auf die Referenzposition. Dazu wird ein Koordinatentisch (kartesische Koordinaten) benutzt (Fa. Föhrenbach, Löffingen), der mithilfe von zwei Schrittmotoren in x- bzw. y-Richtung verstellt wird.

Der Strömungsquerschnitt (Abb.7) wird in zwei Gebiete aufgeteilt: in das Gebiet nahe der Kanalwand, in dem senkrecht zur Wand in kartesischen Koordinaten (x,y) gemessen wird und in das Gebiet nahe der Rohrwand, in dem senkrecht zur Wand in Polarkoordinaten (r/ $\phi$ ) gemessen wird. Die Aufteilung wird dabei an der Linie größten Abstandes von beiden Wänden vorgenommen (gestrichelt in Abb.7). Die Berechnung der Linie größten Wandabstandes erfolgt nach den Beziehungen /9/ in Abb.8. Die Koordinaten, d.h. die Anzahl der Schritte in x- und y-Richtung, um die die Sonde von Meßpunkt zu Meßpunkt verfahren werden muß, werden in einem Koordinaten-Programm für die beiden Bereiche (x/y bzw. r/ $\phi$ ) berechnet und in je einem File auf der Platte gespeichert. Für das in Abb.9 gezeigte Beispiel einer ausgemessenen Geometrie sind im Anhang die Eingabe für das Koordinaten-Programm angegeben. Dabei können die vier in Abb.9 gezeigten Quadranten ausgewählt werden.

Die Genauigkeit der Sondenverstellung beträgt in beiden Richtungen  $10 \mu\text{m}$ , d.h. ein Schritt der Schrittmotoren entspricht dieser Länge. Die Lage der einzelnen Traversen senkrecht zu den Wänden wird so gewählt, daß für das gezeigte Beispiel an der Kanalwand, beginnend im Spalt zwischen Rohr und Kanalwand, jede 5 mm eine Traverse bis genau zur Symmetrielinie des Wandkanals und an der Rohrwand, beginnend im Spalt zwischen den Rohren, jede 5 grd bis 90 grd eine Traverse ausgemessen wird. In Richtung senkrecht zur Wand sind die Wandabstände unterschiedlich. Die erste Meßposition liegt bei einem Wandabstand  $y=1.30 \text{ mm}$ , der durch die Abmessung der Hitzdrahtsonden gegeben ist.

Die übrigen Wandabstände sind so gewählt, daß in Wandnähe, wo die größten Gradienten auftreten, die Abstände der Meßpositionen kleiner, im wandfernen Bereich dagegen größer sind. Die Wandabstände sind 1,50; 1.70; 2.00; 2.50; 3.00; 4.00; 5.00; 7.50; 10.00; 12.50; und 15.00 mm und danach in Schritten von 5.00 mm bis genau eine Meßposition entweder außerhalb der Symmetrielinie oder der Linie größten Wandabstandes liegt (Abb.7).

Außerdem werden das Preston-Rohr und die Hitzdrahtsonden gedreht, und zwar für die Messungen im Bereich nahe der Rohrwand so, daß die Grundstellung des schrägen Hitzdrahtes zur Wand bei der ersten Meßposition (Abb.4) stets eingenommen wird. Außerdem wird der schräge Hitzdraht in die verschiedenen Stellungen gemäß Abb.4 gedreht.

Die Drehung der Sonden erfolgt über einen Zahnriementrieb mit 1:1.8 Übersetzung durch einen Schrittmotor (Fa. Berger, Lahn). Die Genauigkeit der Einstellung beträgt  $0.2^\circ$ , d.h. das entspricht einem Schritt des Schrittmotors. Die Steuereinheit für die Schrittmotoren wurde in der Elektronik-Werkstatt des INR entwickelt und gebaut. Abb.10 zeigt die Meßebeine am offenen Austritt des Kanals mit den Steuereinrichtungen.



### 4.3 Gebälse-Regelung

Die Versuche werden so gefahren, daß einen einem fest eingebauten Pitot-Rohr die Reynolds-Zahl konstant gehalten wird, um Effekte der Reynoldszahl auf die Meßergebnisse auszuschalten. Diese Einflüsse ergeben sich durch die Änderung von Luftdruck und Temperatur während des Versuchsbetriebs. Der Referenzzustand am fest eingebauten Pitot-Rohr ist vorgegeben zu

$$T_{REF} = 25^{\circ}\text{C}$$

$$P_{REF} = 10^5 \text{ Nm}^{-2}$$

und dem gewählten Wert  $\Delta p_{FREF}$  am fest eingebauten Pitot-Rohr.

Mit

$$\text{Re} = \frac{uL}{\nu}$$

und

$$\Delta p = \frac{\rho}{2} u^2$$

ergibt sich der Zielwert des Differenzdrucks am Pitot-Rohr zu

$$\Delta p_F = \Delta p_{FREF} \frac{\rho}{\rho_{REF}} \cdot \left( \frac{\nu}{\nu_{REF}} \right)^2$$

Dichte und kinematische Viskosität der Luft werden aus Stoffwertfunktionen für die gemessenen Werte von Lufttemperatur und Luftdruck bestimmt. Die Geschwindigkeit am fest eingebauten Pitot-Rohr wird nachgeregelt, sobald die Abweichung  $\pm 0.15\%$  beträgt. Die Gebläseregelung erfolgt über den drehzahlregelbaren Antriebsmotor de Gebläses. Bei der Auswertung der Ergebnisse werden dann alle Meßwerte auf den Referenzzustand korrigiert /5/.

#### 4.4 Meßwerterfassung

Alle Meßwerte werden über einen A/D-Konverter (MNCAD) gemessen und auf Magnetband registriert. Der A/D-Konverter mit maximaler Eingangsspannung von 5.12 V hat eine Auflösung von 2.5 mV. Deshalb müssen die Ausgangsspannungen an den Meßgeräten entsprechend verstärkt werden. Abb.11 zeigt das Schema der Meßwerterfassung und den Belegungsplan der 12 Eingänge des A/D-Konverters.

##### 4.4.1 Meßbedingungen und Staudruckmessungen

Die Meßbedingungen werden durch drei Meßgrößen charakterisiert:

- Der Luftdruck wird über einen Absolutdruckgeber Typ 15241 (Fa. Schoppe und Faeser) mit einer Ausgangsspannung von 0-5V für den Meßbereich 900-1100 mbar erfaßt.
- Die Lufttemperatur in der Meßebeine wird mit einem NiCr-Ni-Thermoelement gemessen über einen Thermospannungsverstärker THERM 3201 (Fa. Ahlborn, Holzleichen) mit einer Ausgangsspannung von 50 mV/°C. Die Temperaturanzeige wird aufgrund einer Eichung korrigiert ( $\Delta t = 0.7 \text{ K}$ ).
- Der Staudruck am fest eingebauten Pitot-Rohr wird mit einem Differenzdruckgeber Typ 15250 (Fa. Schoppe und Faeser) mit einem Meßbereich von 0-5 mbar bei 0-500 mV Ausgangsspannung gemessen. Dieser Meßwert wird 10:1 verstärkt.

Die Staudruckmessungen am Pitotrohr bzw. Prestonrohr erfolgen über einen Differenzdruckgeber Typ 15240, Meßbereich 0-10 mbar bei 0-5 V Ausgangsspannung. Falls erforderlich kann das Signal verstärkt werden.

#### 4.4.2 Hitzdraht-Messungen

Für die Hitzdraht-Messungen werden bei Einzeldraht-Hitzdrähten DISA-Sonden Typ 55P11 (gerade) und 55P12 (schräg) verwendet. Da die gesamte Hitzdrahtmeßeinrichtung zweikanalig ausgebaut ist, können auch 2-Drahtsonden benutzt werden, entweder DISA Typ 55P61 mit zwei schrägen Drähten oder Sonden mit je einem geraden und schrägen Draht der Bauart nach Hooper /10/. Zweidrahtsonden haben den Nachteil, daß infolge der relativ großen Abmessungen nicht sehr nahe an den Wänden gemessen werden kann. Bei der Hooper-Sonde beträgt der kleinste Wandabstand 3 mm im Gegensatz dazu ist der kleinste Wandabstand bei Einzeldrahtsonden 1.3 mm.

Als Meßbrücken werden DISA Typ 55M01 verwendet. Linearisatoren (DISA Typ 55M25) können zur Linearisierung der nichtlinearen Ausgangsspannung verwendet werden /5/. Das Brücken-Ausgangssignal wird einem Signalprozessor zugeführt, in dem zunächst der Gleichspannungsanteil vom Wechsellspannungsanteil getrennt werden (Abb.12).

Der Gleichspannungsanteil wird direkt über den A/D-Konverter registriert. Für den Fall höherer Geschwindigkeiten im Versuchskanal mit Ausgangsgleichspannungen größer als 5V, der Eingangsbegrenzung des A/D-Konverters, kann über einen Spannungskonstanthalter eine Gegenspannung gegengeschaltet werden, deren Wert ebenfalls über den A/D-Konverter registriert wird (Kanal 1).

Das über einen Spannungsteiler (1:2) halbierte Wechsellspannungssignal wird so verstärkt, daß der Maximalwert aus 5000 Einzelmessungen größer ist als 4.9 V, jedoch kleiner als 5V, wobei zugelassen wird, daß maximal 4 aus den 5000 Werten größer als 5V sind. Der Verstärker (48 dB) kann in 100 Stufen von 0.375 dB verstellt werden. Der Signalprozessor in der Elektronikwerkstatt des INR entwickelt und hergestellt.

Das so verstärkte Wechselspannungssignal von etwa 10V Maximalwert wird auf ein Effektivwertvoltmeter MODEL 1076 (TSI, Aachen) gegeben, das mit einer Integrationszeit von 10s betrieben wird. Das Ausgangssignal des Effektivwertvoltmeters beträgt maximal 1V, es wird deshalb 10:1 verstärkt.

Bei Messungen mit einem Einzeldraht wird das Ausgangssignal der Meßbrücke parallel auf den zweiten Kanal gegeben. Dadurch ist es möglich, zwei unabhängige Meßwerte für Gleichspannung und Effektivwert zu erhalten. Außerdem enthält der Signalprozessor zwei Multiplikatoren. In den Eingängen der Multiplikatoren wird jeweils das verstärkte Wechselspannungssignal der beiden Kanäle oder in beide Eingänge das gleiche Signal gelegt. Bei Einzeldrahtmessungen werden dadurch zwei weitere Effektivwertmessungen des Wechselspannungsanteils möglich. Die Multiplikatoren haben 10V als maximale Eingangsspannung und 5V Ausgangsspannung.

Bei Experimenten mit X-Drahtsonden können die Summen und Differenzen der quadrierten Wechselspannungssignale über einen Turbulenzprozessor (DISA Typ 52B25) registriert werden.

Nach Verstellen der Sonden werden entsprechende Wartezeiten eingehalten, damit die integrierten Signale richtig ermittelt werden können. Im allgemeinen werden Staudrücke, Absolutdruck und Temperatur aus 500 Einzelmessungen gemittelt, Spannungen bei Hitzdrahtmessungen werden aus 5000 Einzelmessungen bestimmt. Gleichzeitig wird die Standardabweichung aus den Einzelmessungen berechnet und falls diese einen vorgegebenen Wert übersteigt, wird die Messung wiederholt.

## 5. Steuerprogramme

Das gesamte Programm zur Steuerung und Meßwerterfassung ist in FORTRAN geschrieben. Es benutzt die Systemroutinen DØUT zum Ansprechen der Verstärker, der Schrittmotoren und des Gebläses, sowie ADIN zum Ansprechen des A/D-Konverters. Ein Blockschaltbild des Steuerprogramms zeigt Abb.13. Die Programmlisten sind im Anhang enthalten. Das Hauptprogramm ist REW.FOR. Es steuert den Gesamt Ablauf und ruft die einzelnen Subroutinen auf:

INPUT: In dieser Subroutine wird im Dialog am Terminal die für das betreffende Experiment erforderliche Eingabe bereitgestellt. Ein Eingabebeispiel für einen Versuch an der in Abb.9 dargestellten Geometrie mit den Koordinaten, die mit den Koordinaten-Programme errechnet wurden, ist im Anhang enthalten.

SETGAN: Die ersten Aufrufe von SETGAN setzten die Anfangsstellungen der beiden Verstärker.

MOTOR1: Nachdem sichergestellt ist, daß die Meßsonde aus der Position vom Einmessen vor dem Meßmikroskop angehoben wurde, wird die Sonde an den Anfangsort im Meßkanal gefahren und abgefragt, ob die Sonde wieder abgesenkt ist. Das Verfahren der Sonde erfolgt über die Subroutinen MDRIVE und DRIVE.

FILO: Öffnet das File für die Meßdaten.

DRI1: Liest die Koordinaten für die erste zu messende Traverse.

DRI2: Fährt die Sonde entlang der Traverse.

DRI3: Dreht die Sonde in die entsprechenden Stellungen.

- TGEBL: In dieser Routine wird das Gebläse eingeregelt, aufgrund der aktuellen Werte für Lufttemperatur und Barometerstand sowie des Differenzdrucks am fest eingebauten Pitotrohr. Zur Ermittlung der Stoffwerte der Luft (Dichte und kinematische Viskosität) wird die Subroutine LUFT aufgerufen. Die Gebläseregelung erfolgt mit INC, um die Drehzahl des Antriebsmotors für das Gebläse zu erhöhen, und mit DEC, um die Drehzahl zu erniedrigen.
- TESTV: In dieser Routine werden die Ausgangssignale der Wechselspannungen auf ihre Maximalwerte abgefragt. Anschließend werden die Verstärker mit SETGAN nachgestellt.
- MESS: In dieser Routine werden die Spannungen bei Hitzdraht-Messungen über die Subroutine ADE ermittelt und korrigiert aufgrund der aktuellen Stellung der Verstärker.
- DRI4: Fährt die Meßsonde auf der Traverse in Kanalmitte und schließt das File für die Meßdaten auf dieser Traverse.
- STOPG: Schaltet das Gebläse ab.

Über die Variable NOPT wird gesteuert, welche Messung durchgeführt wird:

- NOPT = 0 Wandschubspannung (Prestonrohr)
- NOPT = 1 Geschwindigkeit (Pitotrohr)
- NOPT = 2 Hitzdrahtmessung (Einzeldraht)
- NOPT = 3 Hitzdrahtmessung (X-Draht)

Im Falle von Staudruckmessungen (NOPT = 0 und 1) werden die Meßwerte in der Subroutine MPIT ermittelt.

## 6. Abschließende Bemerkungen

Durch die Automatisierung des gesamten Versuchsablaufs konnte eine erhebliche Reduktion der Meßzeiten erreicht werden. Für den in Abb.7 gezeigten Meßquerschnitt (symmetrischer Teil eines Wandkanals) betrug die Meßzeit etwa 3 Monate bei manueller Verstellung der Sonden. Die erforderliche Zeit mit der automatisierten Anlage beträgt etwa 10 Tage. Das ergibt eine Reduktion der Meßzeit um den Faktor 9. Dabei ergibt sich ein Faktor 5 allein aus der Tatsache, daß die Versuche Tag und Nacht sowie an Wochenenden und Feiertagen vollautomatisch ohne Aufsicht laufen, denn in 3 Monaten mit ca. 2200 Stunden beträgt die durchschnittliche Arbeitszeit nur 440 Stunden (bei 220 Arbeitstagen im Jahr). Der restliche Faktor von 1.8 ergibt sich im wesentlichen daraus, daß das Einmessen der Sonden vor jeder Traverse entfällt und daß sich wegen der kürzeren Meßzeiten das häufige Eichen der Hitzdrahtsonden erübrigt. Weiterhin fallen in der kürzeren Zeit etwa die 7-fache Anzahl von Meßwerten an. Dadurch und durch die genauere Meßwerterfassung ergibt sich eine deutlich höhere Genauigkeit der Meßergebnisse /5/. Insgesamt wird die Effektivität durch die Automatisierung um mehr als den Faktor 60 gesteigert.

Dadurch ist es möglich, die erwünschten Messungen der Geschwindigkeits- und Turbulenzverteilung im Nachlauf von Gitterabstandshaltern durchzuführen. Außerdem ermöglichen die kurzen Meßzeiten einen Vergleich der Ergebnisse, die mit verschiedenen Sonden (Einzeldraht, X-Draht, Hooper-Sonde) und mit linearisiertem und nicht-linearisiertem Ausgangssignal ermittelt wurden. Die Auswertung der Meßergebnisse und ihre Darstellung in Diagrammen wird auf der Großrechenanlage vorgenommen. Dazu werden die Meßergebnisse in IBM-lesbare Daten umkopiert und auf Magnetband geschrieben /11/.

Der Autor dankt Herrn Dr. J.D. Hooper, Australian Atomic Energy Commission, der während eines 14-monatigen Aufenthalts im INR seine Erfahrungen bei der Automatisierung einer ähnlichen Versuchsanlage eingebracht hat und wesentlich zum Gelingen beigetragen hat. Besonders die Motorsteuereinheit und der Signalprozessor, wie auch Teile der Software basieren auf seinen Entwürfen. Herrn R. Eggmann und der Elektronikwerkstatt ist zu danken für den Detailentwurf und die Herstellung der Hardware. Der Aufbau und die Inbetriebnahme der Anlage wurde von den Herren E. Mensinger und H. Zimmermann durchgeführt. Schließlich ist Herrn W. Hame zu danken, für seine Hilfe bei der Umkopierung der Meßdaten in IBM-lesbarer Form durch die Überlassung von Software.



Literatur

- /1/ W.T. Sha, An overview on rod-bundle thermal-hydraulic analysis, Nucl. Eng. Design 62, 1-24 (1980).
- /2/ W. Slagter, H.A. Roodbergen and N.H. Dekker, Theoretical investigations on thermal-hydraulics of fast reactor fuel rod bundles, Proc. of ANS/ASME/NRC International Topical Meeting on Nuclear Reactor Thermal Hydraulics, Saratoga Springs, N.Y., October 5-8, 1980, Vol.3, 2126-2146 (1980).
- /3/ K. Rehme, Distribution of velocity and turbulence in a parallel flow along an asymmetric rod bundle, Nucl. Technology 59, 148-159 (1982).
- /4/ J.H. Preston, The determination of turbulent skin friction by means of Pitot tubes, J. Aero. Soc. 58, 109-121 (1954).
- /5/ L. Vosáhlo, Computer programs for evaluation of turbulence characteristics from hot-wire measurements, KfK 3743 , Kernforschungszentrum Karlsruhe (1984).
- /6/ B. Kjellström, Studies of turbulent flow parallel to a rod bundle of triangular array, AE-487, Aktiebolaget Atomenergi, Studsvik (Sweden) (1974).
- /7/ D.C. Collis and M.J. Williams, Two-dimensional convection from heated wires at low Reynolds numbers, J. Fluid Mech. 6, 357 (1959).
- /8/ J.O. Hinze, Turbulence, Mc Graw-Hill, New York (1959).
- /9/ J. Hejna, J. Cervenka, L. Vosáhlo, F. Mantlik, Experimental investigation of local hydrodynamic characteristics of a peripheral area of a fast reactor fuel assembly. Pt.I. Description of a model and results of preliminary measurements, ÚJV 52269-T, Nuclear Research Institute, Řež near Prague, Czechoslovakia (1980).

/10/ J.D. Hooper, Fully developed turbulent flow through a rod cluster,  
Ph.D. Thesis, University of N.S.W., Sydney, Australia (1980).

/11/ W. Hame, Kernforschungszentrum Karlsruhe (unveröffentlicht).

Nomenklatur

B	-	Konstante, Gl.(1)
c	-	Eichkurvenexponent
E	V	Gleichspannungsanteil des Hitzdrahtsignals
e	V	Wechselspannungsanteil des Hitzdrahtsignals
K	-	Konstante, GL.(11)
k	-	Richtungsempfindlichkeitskoeffizient
P	Nm <sup>-2</sup>	Absolutdruck
$\Delta p$	Nm <sup>-2</sup>	Differenzdruck
R	-	Konstante, Gl.(2)
Re	-	Reynoldszahl
T	K	Temperatur
$U_p$	ms <sup>-1</sup>	Gesamtgeschwindigkeit (zeitlicher Mittelwert)
u	ms <sup>-1</sup>	Geschwindigkeit in Hauptströmungsrichtung (zeitlicher Mittelwert)
u'	ms <sup>-1</sup>	Geschwindigkeitsfluktuation in Hauptströmungsrichtung
v	ms <sup>-1</sup>	Geschwindigkeit senkrecht zur Wand (zeitlicher Mittelwert)
v'	ms <sup>-1</sup>	Geschwindigkeitsfluktuation senkrecht zur Wand
w	ms <sup>-1</sup>	Geschwindigkeit parallel zur Wand (zeitlicher Mittelwert)
w'	ms <sup>-1</sup>	Geschwindigkeitsfluktuation parallel zur Wand
$\alpha$	grd	Winkel zwischen Hitzdraht und Hauptströmungsrichtung
$\delta$	grd	Winkelabweichung durch Sekundärgeschwindigkeit
$\nu$	m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>	kinematische Viskosität
$\psi$	grd	Winkel zwischen Hitzdraht und Geschwindigkeitsvektor
$\rho$	kgm <sup>-3</sup>	Dichte

Indizes:

i	Meßposition
REF	Referenz
o	bei Strömungsgeschwindigkeit $U_p = 0 \text{ ms}^{-1}$ .

Anhang: Listen der Programme und Eingabebeispiele

C  
C  
C  
C  
C

AUTOMATISCHE SONDENVERSTELLUNG MIT MESSUNG

STAND : 24.05.1984 (REW)  
AUTOR : K. REHME

```
COMMON/PP/ ADVER(8),NPOT,NAD,GRAD,GRSTA,PFAKT,IGR,PFEST,ZZ
COMMON/INP/NGEO,KERST,KLETZT,NPIT,NOPT,V01,V02,NN2,AREF,A4,ANGO
COMMON/VERS/I8,I9,IK0,JD,JE
COMMON/FIL/FILE(12),FALE(12),NOANG(10)
COMMON/DRS/IXR,IYR,X(25),Y(25),NPKT,IWAIT,XRICH,YRICH,D
COMMON/DRI/N2,M2
COMMON/ZUST/K1,K2,ANG,X1,Y1,IDA1,IDA2,IDA3,PPIT,PREF,TREF,
 *WERT,R0REF,XNUREF
LOGICAL*1 STRNG(8),FILE,FALE,NOANG
DATA NOANG /'1','2','3','4','5','6','7','8','9','0'/
DATA FILE /'3',':',5*',' ','D','A','T',,' //
DATA FALE /'1',':',5*',' ','D','A','T',,' //
DATA ADVER/1.,1.,1.,1.,.05,.05,.1,1./
ZZ=5.00
PFEST=5.
CALL LUFT(25.,1000.,R0REF,XM,XNUREF)
PRINT 101
CALL IDATE(IDA1,IDA2,IDA3)
PRINT 102,IDA2,IDA1,IDA3
CALL TIME(STRNG)
PRINT 103,(STRNG(I),I=1,8)
CALL INPUT
IVST=I8
CALL SETGAN(0,IVST)
CALL ISLEEP(0,0,0,20)
IVST=I9
CALL SETGAN(1,IVST)
CALL ISLEEP(0,0,0,20)
TYPE 104
PAUSE
CALL MOTDRI
DO10K1=1,KLETZT
CALL IDATE(IDA1,IDA2,IDA3)
IF(K1.GE.KERST)CALL FILO
CALL DRI1
IF(K1.LT.KERST)GOTO9
NPPR=9
IF(NPKT.LT.9)NPPR=NPKT
DO8 K2=1,NPKT
IF(NOPT.EQ.0. AND .K2.EQ.NPPR)GOTO1
IF(NOPT.EQ.0 .AND. K2.NE.1)GOTO8
NPOT=NPIT*IWAIT
CALL DRI2
A2=ANG*XRICH*YRICH
IF(NOPT.EQ.0 .AND. K2.EQ.NPPR)GOTO8
IF(NOPT.EQ.0)CALL DRI3(A2,1)
IF(NOPT.EQ.2)GOTO4
CALL TGEBL
IF(K2.EQ.1)CALL ISLEEP(0,3,30,0)
```

1  
3

```
CALL MPIT
IWAIT=1
GOTO8
4 CONTINUE
LDR=7
IF(NOPT.EQ.3)LDR=8
DO7 I1=1,LDR
IF(IGR.EQ.0)GOTO5
IF(I1.NE.3)GOTO7
5 CONTINUE
KI1=I1
CALL DRI3(A2,KI1)
IKO=0
NNZ=0
CALL TGEBL
6 CALL TESTV
IVST=18
CALL SETGAN(0,IVST)
CALL ISLEEP(0,0,0,20)
IVST=19
CALL SETGAN(1,IVST)
CALL ISLEEP(0,0,0,20)
IF(IKO.EQ.1)GOTO6
CALL TGEBL
CALL MESS(ITES)
IF(ITES.EQ.10)GOTO6
7 CONTINUE
8 CONTINUE
CALL TIME(STRNG)
PRINT 105,(STRNG(I),I=1,8)
9 CALL DRI4
10 CONTINUE
CLOSE(UNIT=1)
CALL IDATE(IDA1,IDA2,IDA3)
PRINT 102,IDA2,IDA1,IDA3
CALL TIME(STRNG)
PRINT 105,(STRNG(I),I=1,8)
PRINT 106,X1,Y1
CALL STOPG
STOP
101 FORMAT(1H1)
102 FORMAT(' ', 'START AM ',I2,'.',I2,'.',I2)
103 FORMAT(' ', 'START UM ',BA1)
104 FORMAT(' SONDE ANGEHOHEN? WENN JA:---> RETURN')
105 FORMAT(' ', 'ENDE UM ',BA1)
106 FORMAT(' X1 = ',F10.3,' Y1 = ',F10.3)
END
```

```
C
C      SUBROUTINE AD(AP,AB,N,NZ,PFA,GR)
C
C      GRW=GR
C      NAW=0
1      PM=0.
C      PMAB=0.
C      DOZI=1,NZ
C      P=CADZFP(IADINP(,N,IDAT))
C      PM=PM+P
C      PMAB=PMAB+P*P
2      CONTINUE
C      AP=PM/FLOAT(NZ)
C      IF(AP.GT.5.1)GOTO5
C      PAB=ABS(PMAB/FLOAT(NZ)-AP*AP)
C      PAB=PAB** .5*100./AP
C      AP=AP*PFA
C      AB=PAB
C      TYPE 3,AP,AB,PFA
3      FORMAT(' ',AP,AB,PFA ',F10.3,' U ',F10.3,' % ',F10.3)
C      IF(NAW.LT.5)GOTO4
C      GRW=GRW+.5
C      PRINT 102,GRW
C      NAW=0
4      NAW=NAW+1
C      IF(AB.GT.GR)GOTO1
C      RETURN
5      PRINT 101,AP
C      CALL STOPG
C      STOP
101     FORMAT(' ',AP = ',F10.3,' WERT GROESSER ALS A/D ZULAESSIG')
102     FORMAT(' ',/,',',',GRENZWERT AUF ',F5.2,' GESETZT',/)
C      END
```

```
C      SUBROUTINE ADE(E0,E2,E3,E4,E5,E6,E7,E8,NAD,AB,ITES)
C      .
COMMON/VERS/IB,I9
COMMON/INP/NGEO,KERST,KLETZT,NPIT,NOPT,U01,U02,NN2,AREF,A4,ANGO
DIMENSION E1(8),V1(8)
IF(NN2.EQ.0)ABW=AB
ITES=0
1     CONTINUE
      NDAT=8
      DO2I=1,NDAT
      E1(I)=0.
2     V1(I)=0.
      DO3 J=1,NAD
      DO3 IC=1,7
      II=IC+3
      IF(IC.EQ.7)II=1
      A=CADZFP(IADINP(,II,IDAT))
      E1(IC)=E1(IC)+A
      V1(IC)=V1(IC)+A*A
3     CONTINUE
      DO4I=1,7
      E1(I)=E1(I)/FLOAT(NAD)
      IF(E1(I).GT.5.)GOTO8
      V1(I)=V1(I)/FLOAT(NAD)
      V1(I)=V1(I)-E1(I)*E1(I)
      V1(I)=ABS(V1(I))
      V1(I)=V1(I)**.5/E1(I)*100.
4     CONTINUE
      E0=E1(1)
      E2=E1(2)
      E3=E1(3)
      E4=E1(4)
      E5=E1(5)
      E6=E1(6)
      IF(NOPT.EQ.3)E6=1.
      E7=E1(6)
      E8=E1(7)
      IF(E3.LT.1.)GOTO8
      IF(E4.LT.1.)GOTO8
      IF=0
      DO6I=1,5
      IF(V1(I).GT.ABW)GOTO5
      GOTO6
5     IF=IF+1
      PRINT 102,IF,V1(I)
6     CONTINUE
      IF(ITES.LT.5)GOTO7
      ABW=ABW+.5
      NN2=1
      PRINT 103,ABW
      ITES=10
      RETURN
7     ITES=ITES+1
```



```
      IF(IF.GT.0)GOTO1
      RETURN
8     PRINT 101,I,E1(I)
      CALL STOPG
      STOP
101    FORMAT(' ',I = ',I3,'E = ',F10.4,'WERT GROESSER ALS A/D ZULAE
           *SST')
102    FORMAT(' ',IF=',I5,'  V =',F7.2)
103    FORMAT(' STD.-ABWEICHUNG AUF',F5.1,' GESETZT',)
      END
```

```
C      SUBROUTINE DRIVE(N,J1,J2,JSEN)
C
  DIMENSION IA1(4),IB1(4)
  DATA IA1/0,1024,512,256/
  DATA IB1/0,32,16,8/
  IF(N.EQ.0)GOTO5
  DO 3 I=1,N
  IDAT=IA1(J1)+IB1(JSEN)
  CALL DOUT(0,1848,IERR,IDAT)
  JJ=0
  DO1K=1,30
1  JJ=JJ+1
  IDAT=IA1(J2)+IB1(JSEN)
  CALL DOUT(0,1848,IERR,IDAT)
  JJ=0
  DO2K=1,30
2  JJ=JJ+1
3  CONTINUE
  CALL DOUT(0,1848,IERR,IB1(1))
  JJ=0
  DO4K=1,30
4  JJ=JJ+1
5  RETURN
  END
```

SUBROUTINE DRI1

C

```
COMMON/INP/NGEO,KERST,KLETZT,NPIT,NOPT,UO1,UO2,NN2,AREF,A4,ANGO
COMMON/DRS/IXR,IYR,X(25),Y(25),NPKT,IWAIT,XRICH,YRICH,D
COMMON/ZUST/K1,K2,ANG,X1,Y1,IDA1,IDA2,IDA3,PPIT,PREF,TREF,
  *WERT,ROREF,XNUREF
IF(NGEO.EQ.1)GOTO1
READ(1,102)NPKT,NANG
GOTO2
1 READ(1,101)NPKT
  NANG=0
2 CONTINUE
  IF(K1.LT.KERST)GOTO3
  WRITE(3)IDA2,IDA1,IDA3
  WRITE(3)UO1,UO2
  ANG=FLOAT(NANG)
  XRICH=FLOAT(IXR)
  YRICH=FLOAT(IYR)
3 CONTINUE
  IF(NGEO.EQ.1)READ(1,103)X(1)
  DO6I=1,NPKT
  IF(NGEO.EQ.1)GOTO4
  READ(1,104) X(I),Y(I)
  GOTO5
4 READ(1,103)Y(I)
  X(I)=X(1)
5 CONTINUE
6 CONTINUE
  D=ANG-ANGO+5
  IF(K1.LT.KERST)RETURN
  IWAIT=2
  ANGP=ANG
  IF(NGEO.EQ.1)ANGP=X(1)
  PRINT 105,NPKT,ANGP
  WRITE(3) ANGP,NPKT
  RETURN
101 FORMAT(I6)
102 FORMAT(2I5)
103 FORMAT(E13.6)
104 FORMAT(2E13.6)
105 FORMAT(' ANZAHL DER PUNKTE ',I5,' WINKEL = ',F7.2)
END
```

```
C
C
SUBROUTINE DRIZ
COMMON/INP/NGEO,KERST,KLETZT,NPIT,NOPT,UO1,UO2,NNZ,AREF,A4,ANGO
COMMON/DRS/IXR,IYR,X(25),Y(25),NPKT,IWAIT,XRICH,YRICH,D
COMMON/ZUST/K1,K2,ANG,X1,Y1,IDA1,IDA2,IDA3,PPIT,PREF,TREF,
*WERT
IF(K1.NE.1)GOTO1
IF(K1.EQ.KERST .AND. K2.EQ.1)TYPE 101
IF(K1.EQ.KERST .AND. K2.EQ.1)PAUSE
1 X2=X(K2)
  Y2=Y(K2)
  IF(D.GE.0)GOTO2
  Y1=Y2
  CALL MDRIVE(X1,Y1)
  X1=X2
  CALL MDRIVE(X1,Y1)
  RETURN
2 X1=X2
  CALL MDRIVE(X1,Y1)
  Y1=Y2
  CALL MDRIVE(X1,Y1)
  IF(K1.NE.KERST)GOTO3
  IF(K2.NE.1)GOTO3
  IF(K1.EQ.1)GOTO3
  TYPE 101
  PAUSE
3 RETURN
101 FORMAT(' SONDE ABGESENKT? WENN JA --->RETURN')
END
```

```
C      SUBROUTINE DRI3(A2,KI1)
C
COMMON/INP/NGEO,KERST,KLETZT,NPIT,NOPT,V01,V02,NN2,AREF,A4,ANGO
COMMON/DRS/IXR,IYR,X(25),Y(25),NPKT,IWAIT,XRICH,YRICH,D
COMMON/ZUST/K1,K2,ANG,X1,Y1,IDA1,IDA2,IDA3,PPIT,PREF,TREF,
*WERT
A3=A2+FLOAT(KI1-1)*45.
N=5*(IFIX(A3)-IFIX(A4))
J5=1
S9=1
IF(N.LT.0)GOTO1
GOTO2
1      J5=4
      S9=-1
2      CONTINUE
      N=IABS(N)
      CALL DRIVE(N,4,1,J5)
      A4=A4+S9*N/5
      TYPE 101,A4
      RETURN
101    FORMAT(' WINKEL AUF ',F7.2,' GESETZT')
      END
```

```
C
C      SUBROUTINE DRI4
COMMON/INP/NGEO,KERST,KLETZT,NPIT,NOPT,U01,U02,NN2,AREF,A4,ANGO
COMMON/DRS/IXR,IYR,X(25),Y(25),NPKT,IWAIT,XRICH,YRICH,D
COMMON/ZUST/K1,K2,ANG,X1,Y1,IDA1,IDA2,IDA3,PPIT,PREF,TREF,
*WERT
IF(NGEO.EQ.1)GOTO2
READ(1,101) X2,Y2
101  FORMAT(2E13.6)
IF(NOPT.EQ.0)GOTO2
IF(K1.LT.KERST)RETURN
IF(D.GE.0)GOTO2
Y1=Y2
CALL MDRIVE(X1,Y1)
X1=X2
CALL MDRIVE(X1,Y1)
GOTO2
1    X1=X2
CALL MDRIVE(X1,Y1)
Y1=WERT
CALL MDRIVE(X1,Y1)
2    IF(K1.LT.KERST)RETURN
CLOSE(UNIT=3)
RETURN
END
```

```
C
C
SUBROUTINE FILO
COMMON/FIL/FILE(12),FALE(12),NOANG(10)
COMMON/ZUST/K1,K2,ANG,X1,Y1,IDA1,IDA2,IDA3,PPIT,PREF,TREF,
*WERT,ROREF,XNUREF
LOGICAL*1 FILE,FALE,NOANG
KX=0
IF(K1.GE.10)KX=1
IF(K1.GE.20)KX=2
KY=K1
IF(KX.EQ.1)KY=K1-10
IF(KX.EQ.2)KY=K1-20
IF(KX.EQ.0)KX=10
IF(KY.EQ.0)KY=10
FILE(6)=NOANG(KX)
FILE(7)=NOANG(KY)
TYPE 101,(FILE(L),L=1,12)
OPEN(UNIT=3,NAME=FILE,FORM='UNFORMATTED')
RETURN
101 FORMAT(' ',12A1)
END
```

C

SUBROUTINE INPUT

C

COMMON/PP/ ADVER(8),NPOT,NAD,GRAD,GRSTA,PFAKT,IGR,PFEST,ZZ  
COMMON/INP/NGEO,KERST,KLETZT,NPIT,NOPT,U01,U02,NN2,AREF,A4,ANGO  
COMMON/FIL/FILE(12),FALE(12),NOANG(10)  
COMMON/VERS/I8,I9,IKO,JD,JE  
COMMON/DRI/N2,M2

LOGICAL\*1 FILE,FALE,NOANG

NN2=0

N2=0

M2=0

AREF=0.

ANGO=0.

A4=0.

I8=32

I9=32

GRSTA=2.

GRAD=2.

PFAKT=2.

NX1=1

TYPE 101

ACCEPT 103,IGR

TYPE 102

ACCEPT 103,NGEO

TYPE 105

ACCEPT 103,KERST

TYPE 106

ACCEPT 103,KLETZT

TYPE 107

ACCEPT 103,NPIT

TYPE 108

ACCEPT 103,NAD

TYPE 109

ACCEPT 103,NOPT

TYPE 110

ACCEPT 104,U01

TYPE 111

ACCEPT 104,U02

TYPE 112

ACCEPT 113,(FALE(KL),KL=1,12)

OPEN(UNIT=1,NAME=FALE,READONLY,TYPE='OLD')

TYPE 114

ACCEPT 115,(FILE(I),I=3,5)

RETURN

101 FORMAT(' FUER GERADEN EINZEL-DRAHT : 1 , SONST : 0 : ',#)

102 FORMAT(' X/Y:1 ODER R/PHI:2 : ',#)

103 FORMAT(I5)

104 FORMAT(F5.2)

105 FORMAT(' 1. TRAVERSE : ',#)

106 FORMAT(' LETZTE TRAVERSE MAX=20 : ',#)

107 FORMAT(' ANZAHL DER PITOTROHR-MESSUNGEN : ',#)

108 FORMAT(' ANZAHL DER A/D-MESSUNGEN : ',#)

109 FORMAT(' PRESTONROHR: 0 ,PITOTROHR: 1 ,HITZDRAHT: 2 ,X-DRAHT: 3



```
      *: ', $)
110  FORMAT(' NULLSPANNUNG DRAHT 1 : ', $)
111  FORMAT(' NULLSPANNUNG DRAHT 2 : ', $)
112  FORMAT(' FILE-NAME FUER KOORDINATEN : Z.B. : 1:RP15A.DAT : ', $)
113  FORMAT(12A1)
114  FORMAT(' FILE-NAME FUER DATEN : XXX Z.B. : XRP ODER PXY : ', $)
115  FORMAT(3A1)
      END
```

```
C
SUBROUTINE LUFT(T,A,RO, XMUE, XNUE)
C.....LUFTSTOFFWERTE
C
  DIMENSION R(10)
  P=A
  R(1)=1.02
  R(2)=1.048
  R(3)=1.076
  R(4)=1.103
  R(5)=1.13
  R(6)=1.157
  R(7)=1.183
  R(8)=1.209
  R(9)=1.234
  R(10)=1.259
  P=P/1.333227
  T1=T+273.15
  RO=P/T1/2.15297
  IF(T1.LT.270.)GOTO3
  IF(T1.GT.370.)GOTO3
  DO 1 I=1,10
  I1=I
  IF(T1-(270.+FLOAT(10*I)).LT.0)GOTO2
1 CONTINUE
2 XMUE=R(I1-1)+(R(I1)-R(I1-1))*(T1-(270.+FLOAT(10.*(I1-1))))/10.
  XNUE=XMUE*1.716E-05/RO
  GOTO4
3 PRINT *, 'TEMPERATUR AUSSERHALB VON 270-370 K'
4 RETURN
END
```

C  
C

SUBROUTINE MDRIVE(X1,Y1)

```
COMMON/DRI/N2,M2
N1=IFIX(100.*X1)
M1=IFIX(100.*Y1)
N1=N1-N2
IF(N1.LT.0)J3=2
IF(N1.GT.0)J3=1
N2=N2+N1
M1=M1-M2
IF(M1.LT.0)J4=1
IF(M1.GT.0)J4=3
M2=M2+M1
JSEN=J3
N=IABS(N1)
CALL DRIVE(N,2,1,JSEN)
N=IABS(M1)
JSEN=J4
CALL DRIVE(N,1,3,JSEN)
JJ=0
DO1K=1,20
JJ=JJ+1
X1=FLOAT(N2)/100.
Y1=FLOAT(M2)/100.
RETURN
END
```

1

C

SUBROUTINE MESS(ITES)

C

```
COMMON/PP/ ADVER(8),NPOT,NAD,GRAD,GRSTA,PFAKT,IGR,PFEST,ZZ
COMMON/ZUST/K1,K2,ANG,X1,Y1,IDA1,IDA2,IDA3,PPIT,PREF,TREF,
  *WERT,ROREF,XNUREF
COMMON/VERS/I8,I9,IKO,JD,JE
DIMENSION EW(8)
CALL ISLEEP(0,1,0,0)
CALL ADE(EGRMS,ESRMS,EG,ES,EGES,ESES,EPLU,EMIN,NAD,GRAD,ITES)
IF(ITES.EQ.10)RETURN
GCHO=100./10.**(.375/20.*FLOAT(I8))
GCH1=100./10.**(.375/20.*FLOAT(I9))
K18=I8
K19=I9
EW(1)=EGRMS/GCH1/ADVER(1)
EW(2)=ESRMS/GCHO/ADVER(2)
EW(3)=EG/ADVER(3)+ABS(EMIN)
EW(4)=ES/ADVER(4)+ABS(EMIN)
EW(5)=EGES/GCHO/GCH1/ADVER(5)
EW(6)=ESES/ADVER(6)/(GCHO*GCHO)
EW(7)=EPLU/ADVER(7)
EW(8)=EMIN/ADVER(8)
WRITE(3)PPIT,PREF,TREF
WRITE(3)K18,K19
WRITE(3)(EW(J),J=1,8)
PRINT 100,PPIT,PREF,TREF,K18,K19,(EW(J),J=1,8)
FORMAT(' ',F6.3,F7.1,F6.2,2I3,8E13.6)
RETURN
END
```

100

C  
C  
C

SUBROUTINE MOTDRI  
STAND: 24.05.84

COMMON/INP/NGEO,KERST,KLETZT,NPIT,NOPT,UO1,UO2,NN2,AREF,A4,ANGO  
COMMON/DRS/IXR,IYR,X(25),Y(25),NPKT,IWAIT,XRICH,YRICH,D  
COMMON/ZUST/K1,K2,ANG,X1,Y1,IDA1,IDA2,IDA3,PPIT,PREF,TREF,  
\*WERT,ROREF,XNUREF  
IF(NGEO.EQ.1)GOTO1  
1 READ(1,101) ANGO,WERT  
2 READ(1,102) IXR,IYR  
3 READ(1,101)X1,Y1  
CALL MDRIVE(X1,Y1)  
NN2=NN2+1  
IF(NGEO.EQ.2)GOTO2  
IF(NN2.EQ.1)GOTO3  
I5=4  
IF(IYR.LE.0)I5=1  
IF(NOPT.EQ.2)CALL DRIVE(450,4,1,I5)  
IF(NOPT.EQ.0)CALL DRIVE(450,4,1,I5)  
GOTO4  
2 IF(NOPT.EQ.1)GOTO4  
IF(IXR.LE.0)CALL DRIVE(900,4,1,1)  
4 KMAX=20  
IF(NGEO.EQ.1)READ(1,103)KMAX  
IF(KLETZT.GT.KMAX)KLETZT=KMAX  
KGES=KLETZT-KERST+1  
RETURN  
101 FORMAT(2E13.6)  
102 FORMAT(2I6)  
103 FORMAT(I6)  
END

```
C
C
SUBROUTINE MPIT
COMMON/PP/ ADVER(8),NPOT,NAD,GRAD,GRSTA,PFAKT,IGR,PFEST,ZZ
COMMON/ZUST/K1,K2,ANG,X1,Y1,IDA1,IDA2,IDA3,PPIT,PREF,TREF,
  *WERT,ROREF,XNUREF
CALL ISLEEP(0,1,30,0)
CALL AD(PP,PPAB,1,NPOT,PFAKT,GRSTA)
PRINT 101,PP,PPAB
101 FORMAT(' ', 'P= ',F8.5,' MBAR   STD.-ABW. ',F7.4,' %')
WRITE(3)PP
RETURN
END
```

```
C
C
SUBROUTINE SETGAN(IC, IVER)
  INTEGER BIT
  IB=IC+128
  CALL DOUT(0,129,IERR,IB)
  K=0
  DO1J=1,500
  K=K+1
1  CONTINUE
  IB=0
  CALL DOUT(0,129,IERR,IB)
  K=0
  DO2J=1,500
  K=K+1
  DO5I=1,7
  BIT=0
  IF(IVER .NE. 2*(IVER/2)) BIT=1
  IB=BIT+128
  CALL DOUT(0,129,IERR,IB)
  K=0
  DO3J=1,500
  K=K+1
  IB=0
  CALL DOUT(0,129,IERR,IB)
  K=0
  DO4J=1,500
  K=K+1
  IVER=IVER/2
4  CONTINUE
5  K=0
  DO6I=1,2000
  K=K+1
6  RETURN
  END
```

```
C  
C      SUBROUTINE STOPE  
C      ABSCHALTUNG DER STROMVERSORGUNG  
C      ERSTER SCHRITT: UNLOAD DISK  
C  
      CALL DOUT(0,2048,IERR,2048)  
      CALL ISLEEP(0,0,10,0)  
      CALL DOUT(0,2048,IERR,0)  
      RETURN  
      END
```



```
C  SUBROUTINE STOPG
    SCHALTET GEBLAESE AB
    CALL DOUT(0,2048,IERR,2048)
    CALL ISLEEP(0,0,0,10)
    CALL DOUT(0,2048,IERR,0)
    RETURN
    END
C  SUBROUTINE INC
    DREHZAHL ERHOEHEN
    CALL DOUT(0,8192,IERR,8192)
    CALL ISLEEP(0,0,0,2)
    CALL DOUT(0,8192,IERR,0)
    RETURN
    END
    SUBROUTINE DEC
    CALL DOUT(0,4096,IERR,4096)
    CALL ISLEEP(0,0,0,2)
    CALL DOUT(0,4096,IERR,0)
    RETURN
    END
```

```
C      SUBROUTINE TESTV
C
COMMON/VERS/IB,I9,IKO,JD,JE
IF(IKO.EQ.1)GOTO1
JD=0
JE=0
1  AM=0.
   MA=0
   IRR=0
   MB=0
   BM=0.
   DOZI=1,5000
   A=CADZFP(IADINP(,10,IDAT))
   B=CADZFP(IADINP(,11,IDAT))
   IF(ABS(A).GT.5.0)MA=MA+1
   IF(ABS(B).GT.5.0)MB=MB+1
   IF(ABS(A).GT.AM)AM=ABS(A)
   IF(ABS(B).GT.BM)BM=ABS(B)
2  CONTINUE
   TYPE 101,AM,BM
   TYPE 102,MA,MB
   IF(MA.GE.5)GOTO3
   IF(AM.LT.4.9)GOTO4
   GOTO5
3  IB=IB+1
   TYPE 103,IB
   JD=1
   IF(IB.GE.137)IB=137
   GOTO5
4  IF(JD.EQ.1)GOTO5
   IB=IB-1
   IF(IB.LE.0)IB=1
   TYPE 104,IB
   IRR=1
5  IF(MB.GE.5)GOTO6
   IF(BM.LT.4.9)GOTO7
   GOTO8
6  I9=I9+1
   TYPE 105,I9
   JE=1
   IF(I9.GE.137)I9=137
   GOTO8
7  IF(JE.EQ.1)GOTO8
   I9=I9-1
   IF(I9.LE.0)I9=1
   TYPE 106,I9
   IRR=1
8  CONTINUE
   IKO=0
   IF(MA.GE.5)IKO=1
   IF(MB.GE.5)IKO=1
   IF(IRR.EQ.1)IKO=1
RETURN
```

```
101  FORMAT( ' ', 'AM,BM ', 2E13.6)
102  FORMAT( ' ', 'MA,MB ', 2I5)
103  FORMAT( ' I8= ', I5, ' VERST. ABGESCHW. ')
104  FORMAT( ' I8= ', I5, ' VERST. ANGEHOBEN ')
105  FORMAT( ' I9= ', I5, ' VERST. ABGESCHW. ')
106  FORMAT( ' I9= ', I5, ' VERST. ANGEHOBEN ')
      END .
```

```
C      SUBROUTINE TGEBL
C      STAND: 24.05.84
C
COMMON/INP/NGED,KERST,KLEZT,NPIT,NOPT,U01,U02,NN2,AREF,A4,ANGO
COMMON/PP/ ADVER(8),NPOT,NAD,GRAD,GRSTA,PFAKT,IGR,PFEST,ZZ
COMMON/ZUST/K1,K2,ANG,X1,Y1,IDAT1,IDAT2,IDAT3,PPIT,PREF,TREF,
  *WERT,ROREF,XNUREF
DO4ITES=1,20
CALL AD(PREF,DD,0,NPOT,1.,GRSTA)
PREF=ABS(PREF*40.+900.)
TYPE 102,PREF
CALL AD(TREF,DD,3,NPOT,1.,GRSTA)
TREF=TREF*20.+7
TYPE 103,TREF
CALL LUFT(TREF,PREF,RO,XMUE,XNUE)
TYPE *, ' Nue = ',XNUE,' RO = ',RO
ZWERT=ZZ*RO/ROREF*(XNUE/XNUREF)**2
TYPE *, ' ZIELWERT = ',ZWERT,' ZZ = ',ZZ
CALL ISLEEP(0,0,20,0)
CALL AD(PPIT,PAB,2,NPOT,PFEST,GRSTA)
TYPE *, ' PFEST = ',PPIT
ABG=PPIT/ZWERT
TYPE *, ' ABW. = ',ABG
IF(ABG.GE.1.003)GOTO3
IF(ABG.LE.0.997)GOTO2
GOTO5
2     CALL INC
TYPE *, ' INC'
GOTO4
3     CALL DEC
TYPE *, ' DEC'
4     CONTINUE
5     TYPE *, ' NORMAL'
IF(NOPT.EQ.2)RETURN
IF(NOPT.EQ.3)RETURN
WRITE(3)PPIT,PREF,TREF
RETURN
102  FORMAT(' ', 'P=',E13.6, 'MB')
103  FORMAT(' ', 'T=',E13.6, 'GRD C')
END
```

```
C
C
C.....BERECHNUNG DER KOORDINATEN FUER TRAVERSESEN
C.....PROGRAMM:KOR13.FOR
C      .   STAND : 20.02.1984
C      .   AUTOR : K. REHME
C
COMMON A1(3),B1(3),X4(7),X5(30),C1(15),IX4(7)
COMMON N1,N2,M1,M2,IQ,X1,X2,Y1,Y2
COMMON J5(21,2),K,X9(25),Y9(25)
COMMON/SYM/NMAX(25),AH1,ARW,AXS,AH2,IDRUCK,ALFAM
DIMENSION J6(46)
LOGICAL*1 FILE(12)
DATA X5/1.3,1.5,1.7,2.,2.5,3.,4.,5.,7.5,10.,12.5,15.,20.,
      *25.,30.,15*1./
N2=0
NX2=0
M2=0
TYPE 3
3  FORMAT(' STABDURCHMESSER MM   : ',#)
   ACCEPT 4, X4(1)
4  FORMAT(F10.3)
   X4(1)=X4(1)/2.
   TYPE 5
5  FORMAT(' SPALT WAND-ROHR   1 (MIKROSKOP) : ',#)
   ACCEPT 4,SPALT1
   X4(2)=1.+SPALT1/X4(1)*.5
   TYPE 6
6  FORMAT(' SPALT WAND-ROHR   2   : ',#)
   ACCEPT 4,SPALT2
   X4(3)=1.+SPALT2/X4(1)*.5
   TYPE 7
7  FORMAT(' SPALT ROHR-ROHR   : ',#)
   ACCEPT 4,SPALT3
   X4(4)=1.+SPALT3/X4(1)*.5
   TYPE 8
8  FORMAT(' ABSTAND VON WAND 1-MIKROSKOP : ',#)
   ACCEPT 4,X4(5)
   TYPE 9
9  FORMAT(' QUADRANT X: + ODER -1   : ',#)
   ACCEPT 10,IX4(6)
   TYPE 11
10 FORMAT(I5)
11 FORMAT(' QUADRANT Y:+ ODER -1   : ',#)
   ACCEPT 10,IX4(7)
   J=2
   IF(IX4(7).LT.0)GOTO12
   GOTO13
12 J=3
13 DO14I=13,30
   X5(I)=X5(I-1)+5.
14 CONTINUE
   X1=0.
   Y1=0.
   C1(1)=X4(1)*X4(4)
```

```
C1(2)=X4(1)*(2.*X4(2)-1.)+X4(5)
C1(3)=FLOAT(IX4(7))*(2.*X4(J)-1.)/X4(4)
C1(4)=X4(1)+.35*(X4(J)-1.)*X4(1)*2.
C1(10)=X4(5)+((FLOAT(IX4(7))-1.)/(-2))*(2*X4(1)*(X4(2)+X4(3)-1))
C1(5)=C1(2)*C1(3)+C1(1)-C1(3)*C1(10)
C1(6)=1+C1(3)*C1(3)
C1(7)=C1(1)*C1(1)+C1(2)*C1(2)+C1(10)*C1(10)-2*C1(2)*C1(10)
C1(7)=C1(7)-C1(4)*C1(4)
C1(8)=C1(5)-(C1(5)*C1(5)-C1(6)*C1(7))**.5
C1(8)=C1(8)/C1(6)
C1(9)=C1(8)*C1(3)+C1(10)
C1(11)=2*X4(1)*.65*(X4(J)-1)+C1(10)
PRINT 15,X4(1)
15  FORMAT(' STABRADIUS MM : ',F10.3)
    PRINT 16,X4(2)
16  FORMAT(' W/D-VERHAELTNIS 1 : ',F7.5)
    PRINT 17,X4(3)
17  FORMAT(' W/D-VERHAELTNIS 2 : ',F7.5)
    PRINT 18,X4(4)
18  FORMAT(' P/D-VERHAELTNIS : ',F7.5)
    PRINT 19,X4(5)
19  FORMAT(' MIKROSKOP-ABSTAND : ',F10.3)
24  FORMAT(' DIAGONALEN-SCHNITTPKT. X=',F10.5,' Y=',F10.5)
    PRINT 40,IX4(6),IX4(7)
40  FORMAT(' QUADRANT-NR. X = ',I3,' Y = ',I3)
    TYPE 41
41  FORMAT(' PROG=1 : X/Y ; PROG=2 : R/PHI : ',%)
2001 FORMAT(' ',I5,E13.6)
    ACCEPT 10,IQ
    TYPE 777
777  FORMAT(' FILE-NAME:U:XXXXX.YYY : ',%)
    ACCEPT 778,(FILE(LK),LK=1,12)
778  FORMAT(12A1)
    AH1=X4(2)*X4(1)*2.-X4(1)
    AH2=X4(3)*X4(1)*2.-X4(1)
    AXS=X4(4)*X4(1)
    ARW=X4(1)
    IF(IQ.EQ.1)IDRUCK=-1
    IF(IQ.EQ.2)IDRUCK=1
    CALL SYMAX
    OPEN(UNIT=2,NAME=FILE)
    IF((IQ-2).EQ.0)GOTO26
    WRITE(2,1001)IX4(6),IX4(7)
    N=IFIX(C1(1)/5)
    N=N+2
    J6(1)=N
    C1(12)=C1(10)+X5(1)*FLOAT(IX4(7))
    X2=0
    Y2=C1(12)+3.
    IF(IX4(7).LE.0)Y2=C1(12)-3.
    CALL NC
    WRITE(2,1000)X1,Y1
    X2=C1(1)
    X3=X2
    X2=X2*FLOAT(IX4(6))
```

```
CALL NC
WRITE(2,1000)X1,Y1
WRITE(2,1001)J6(1)
DO27 K=1,J6(1)
X2=C1(1)-5.*(FLOAT(K)-1)
IF(NX2.EQ.1)GOTO110
IF(X2.GT.0.)GOTO110
X2=0.
NX2=1
GOTO111
110 CONTINUE
IF(NX2.EQ.1)X2=C1(1)-5.*(FLOAT(K)-3)
111 CONTINUE
X3=X2
X2=X2*FLOAT(IX4(6))
Y2=C1(12)
CALL NC
K2=NMAX(K)
Y9(1)=Y1
IF(K2.LT.1)GOTO36
DO37K1=2,K2
Y2=Y2+FLOAT(IX4(7))*(X5(K1)-X5(K1-1))
CALL NC
Y9(K1)=Y1
37 CONTINUE
36 Y2=C1(10)+X5(1)*FLOAT(IX4(7))
WRITE(2,1001) K2
WRITE(2,1000) X1
DO38I=1,K2
WRITE(2,1000) Y9(I)
38 CONTINUE
CALL NC
27 CONTINUE
26 X2=0
CALL NC
Y2=C1(2)
CALL NC
IF(IQ.EQ.2)GOTO998
WRITE(2,1000)X1,Y1
1000 FORMAT(2E13.6)
1001 FORMAT(2I6)
IF(IQ.EQ.1)GOTO999
998 CALL RPHI
999 CLOSE(UNIT=2)
STOP
END

C
C
SUBROUTINE RPHI
COMMON A1(3),B1(3),X4(7),X5(30),C1(15),IX4(7)
COMMON N1,N2,M1,M2,IQ,X1,X2,Y1,Y2
COMMON J5(21,2),K,X9(25),Y9(25)
COMMON/SYM/NMAX(25),AH1,ARW,AXS,AH2,IDRUCK,ALFAM
MOD=1
```

```
IF(IX4(6).LT.0)MOD=-1
IF(MOD.LT.0)IX4(6)=1
PI=3.1415927
X1=FLOAT(N2)/100.
Y1=FLOAT(M2)/100.
C1(14)=C1(10)
C1(13)=C1(3)
C1(13)=ABS(C1(13))
C1(13)=ATAN(C1(13))*180./PI
C1(15)=X4(5)+.6*(X4(2)-1)*X4(1)
J=2
2000 FORMAT(' ',I5,E13.6)
IF(IX4(7).LT.1)GOTO1
GOTO2
1 C1(15)=X4(1)*(2*(X4(2)-1)+1.4*(X4(3)-1)+2)+X4(5)
J=3
2 C1(11)=X4(1)*(1+1.6*(X4(4)-1))
C1(12)=X4(1)*1.4*(X4(J)-1)+X4(1)
WRITE(2,1000)C1(13),C1(15)
1000 FORMAT(6E13.6)
WRITE(2,1001)MOD,IX4(7)
1001 FORMAT(2I6)
C1(14)=C1(1)-C1(11)
DO3K=2,20
T1=-5+5*FLOAT(K-1)
T2=T1*PI/180
T3=ABS(T2)
T3=COS(T3)
X1=FLOAT(N2)/100.
Y1=FLOAT(M2)/100.
WRITE(2,1000)X1,Y1
J5(K,2)=IFIX(T1)
2003 FORMAT(' ',5E13.6,I10)
IF(T3.LT.1.E-5)GOTO4
C1(3)=SIN(T2)/COS(T2)*FLOAT(IX4(6)*IX4(7))
C1(10)=-C1(3)*C1(1)+C1(2)
C1(4)=X4(1)+X5(1)
C1(5)=C1(2)*C1(3)+C1(1)-C1(3)*C1(10)
C1(6)=1+C1(3)*C1(3)
C1(7)=C1(1)*C1(1)+C1(2)*C1(2)+C1(10)*C1(10)-2*C1(2)*C1(10)
C1(7)=C1(7)-C1(4)*C1(4)
C1(8)=C1(5)-(C1(5)*C1(5)-C1(6)*C1(7))**.5
C1(8)=C1(8)/C1(6)
C1(9)=C1(3)*C1(8)+C1(10)
X=C1(8)
Y=C1(9)
IF(T1.GT.ALFA)GOTO40
Y2=Y
CALL NC
X2=X*FLOAT(IX4(6))
CALL NC
X9(1)=X1
Y9(1)=Y1
J5(K,1)=NMAX(K-1)
K3=J5(K,1)
```



```
IF(K3.LE.1)GOTO7
D08K2=2,K3
XL=X5(K2)-X5(K2-1)
X2=X1-FLOAT(IX4(6))*XL/((1+C1(3)*C1(3))**.5)
CALL NC
Y2=C1(3)*X2+C1(10)
CALL NC
X9(K2)=X1
Y9(K2)=Y1
8 CONTINUE
7 X2=0
CALL NC
WRITE(2,100)J5(K,1),J5(K,2)
100 FORMAT(10I5)
101 FORMAT(6E13.6)
D015I=1,K3
X9(I)=X9(I)*MOD
WRITE(2,101)X9(I),Y9(I)
15 CONTINUE
GOTO3
40 CONTINUE
Y3=C1(15)
X2=X
CALL NC
Y2=Y
CALL NC
X9(1)=X1
Y9(1)=Y1
J5(K,1)=NMAX(K-1)
K3=J5(K,1)
IF(K3.LE.1)GOTO9
D010K2=2,K3
XL=X5(K2)-X5(K2-1)
X2=X1-FLOAT(IX4(6))*XL/(1+C1(3)*C1(3))**.5
CALL NC
Y2=C1(3)*X2+C1(10)
CALL NC
X9(K2)=X1
Y9(K2)=Y1
10 CONTINUE
9 Y2=Y3
CALL NC
WRITE(2,100)J5(K,1),J5(K,2)
D016I=1,K3
X9(I)=X9(I)*MOD
WRITE(2,101)X9(I),Y9(I)
16 CONTINUE
GOTO3
4 X2=C1(1)
CALL NC
Y=X4(5)+2.*X4(1)*(X4(2)-1)-X5(1)
Y3=C1(15)
IF(IX4(7).LT.0)GOTO11
GOTO12
11 Y=X4(5)+X5(1)+2.*X4(1)*X4(2)
```

```
Y3=C1(15)
12 Y2=Y
CALL NC
X9(1)=X1
Y9(1)=Y1
J5(K,1)=NMAX(K-1)
K3=J5(K,1)
IF(K3.LT.1)GOTO13
DO14 K2=2,K3
XL=X5(K2)-X5(K2-1)
Y2=Y1-XL*FLOAT(IX4(7))
CALL NC
X9(K2)=X1
Y9(K2)=Y1
14 CONTINUE
13 K3=K3+1
X9(K3)=0
Y9(K3)=C1(2)*100.
IY=IFIX(Y9(K3))
Y9(K3)=FLOAT(IY)/100.
WRITE(2,100)J5(K,1),J5(K,2)
DO17I=1,K3
X9(I)=X9(I)*MOD
WRITE(2,101)X9(I),Y9(I)
17 CONTINUE
3 CONTINUE
X2=0
CALL NC
Y2=C1(2)
CALL NC
RETURN
END

C
C
SUBROUTINE NC
C
COMMON A1(3),B1(3),X4(7),X5(30),C1(15),IX4(7)
COMMON N1,N2,M1,M2,IQ,X1,X2,Y1,Y2
COMMON J5(21,2),K,X9(25),Y9(25)
N1=IFIX(100.*(X2-X1))
M1=IFIX(100.*(Y2-Y1))
N2=(N2+N1)
M2=(M2+M1)
X1=FLOAT(N2)/100.
Y1=FLOAT(M2)/100.
RETURN
END

C
C
SUBROUTINE SYMAX
C
COMMON A1(3),B1(3),X4(7),X5(30),C1(15),IX4(7)
COMMON N1,N2,M1,M2,IQ,X1,X2,Y1,Y2
COMMON J5(21,2),K,X9(25),Y9(25)
COMMON J6(46)
```

```
COMMON/SYM/NMAX(25),AH1,ARW,AXS,AH2,IDRUCK,ALFAM
DIMENSION POSP(30),POSB(30),YMAX(30)
PI=3.1415927
IF(IDRUCK.GT.0)NREI=19
IF(IDRUCK.LE.0)NREI=25
PRINT 203,AH1,ARW,AXS,AH2,IDRUCK
203  FORMAT(' ',4F10.4,I5)
NRAI=NREI
AH=AH1
IF(IX4(7).LE.0)AH=AH2
P=AXS/ARW
OHM=(AH-ARW)/ARW*.5
GAMA=P/(1.+OHM)*.5
ALFAH=2.*ATAN(GAMA)
ALFAH=ALFAH/PI*180.
ALFAM=90.-ALFAH
ALFAMR=ALFAM*PI/180.
CSAM=COS(ALFAMR)
YAXS=ARW*(P/CSAM-1.)
DO10I=1,NREI
IF(IDRUCK.LT.0)GOTO11
POSP(I)=FLOAT(I-1)*5.
POSB(I)=POSP(I)*PI/180.
IF(POSP(I).GT.ALFAM)GOTO12
CSA=COS(POSP(I)*PI/180.)
YMAX(I)=ARW*(P/CSA-1.)
GOTO9
12  CSA=COS((90.-POSP(I))*PI/180.)
YMAX(I)=ARW*((2.*OHM+1-CSA)/(1+CSA))
GOTO9
11  POSP(I)=FLOAT(I-1)*5.
IF((AXS-POSP(I)).LE.0)POSP(I)=AXS
IF(POSP(I).EQ.AXS)NRAI=I
POSB(I)=POSP(I)
IF(POSB(I).EQ.0)GOTO13
ARG=2.*ATAN(POSB(I)/(ARW+AH))
YMAX(I)=POSB(I)/SIN(ARG)-ARW
GOTO9
13  YMAX(I)=(AH-ARW)*.5
9   IF(I.EQ.NRAI)GOTO14
10  CONTINUE
14  CONTINUE
IF(IDRUCK.GT.0)NRAI=NREI
PRINT 201,ALFAM,GAMA,OHM,P,YAXS
PRINT 200,(POSP(I),I=1,NRAI)
PRINT 200,(YMAX(I),I=1,NRAI)
200 FORMAT(' ',10F10.4)
201 FORMAT(' ',5F10.4)
DO1J=1,NRAI
DO2,I=1,30
NMAX(J)=I
IF(X5(I).GT.YMAX(J))GOTO1
2  CONTINUE
1  CONTINUE
PRINT 202,(NMAX(I),I=1,NRAI)
```

```
202  FORMAT( ' ',2015)  
      RETURN  
      END
```

STABDURCHMESSER MM : 139.0  
SPALT WAND-ROHR 1 (MIKROSKOP) : 10.3  
SPALT WAND-ROHR 2 : 30.9  
SPALT ROHR-ROHR : 20.6  
ABSTAND VON WAND 1-MIKROSKOP : 76.16  
QUADRANT X: + ODER -1 : 1  
QUADRANT Y:+ ODER -1 : 1  
PROG=1 : X/Y ; PROG=2 : R/PHI : 2  
FILE-NAME:U:XXXXX.YYY : 1:RP13.DAT

Eingabebeispiel für Koordinaten-Programm

FUER GERADEN EINZEL-DRAHT : 1 , SONST : 0 : 0  
X/Y:1 ODER R/PHI:2 : 2  
1. TRAVERSE : 1  
LETZTE TRAVERSE MAX=20 : 19  
ANZAHL DER PITOTROHR-MESSUNGEN : 500  
ANZAHL DER A/D-MESSUNGEN : 5000  
PRESTONROHR: 0 , PITOTROHR: 1 , HITZDRAHT: 2 , X-DRAHT: 3 : 2  
NULLSPANNUNG DRAHT 1 : 2.999  
NULLSPANNUNG DRAHT 2 : 2.999  
FILE-NAME FUER KOORDINATEN : Z.B. : 1:RP15A.DAT : 1:RP13.DAT  
FILE-NAME FUER DATEN : XXX Z.B. : XRP ODER PXY : SRP

Eingabebeispiel für Steuerprogramm

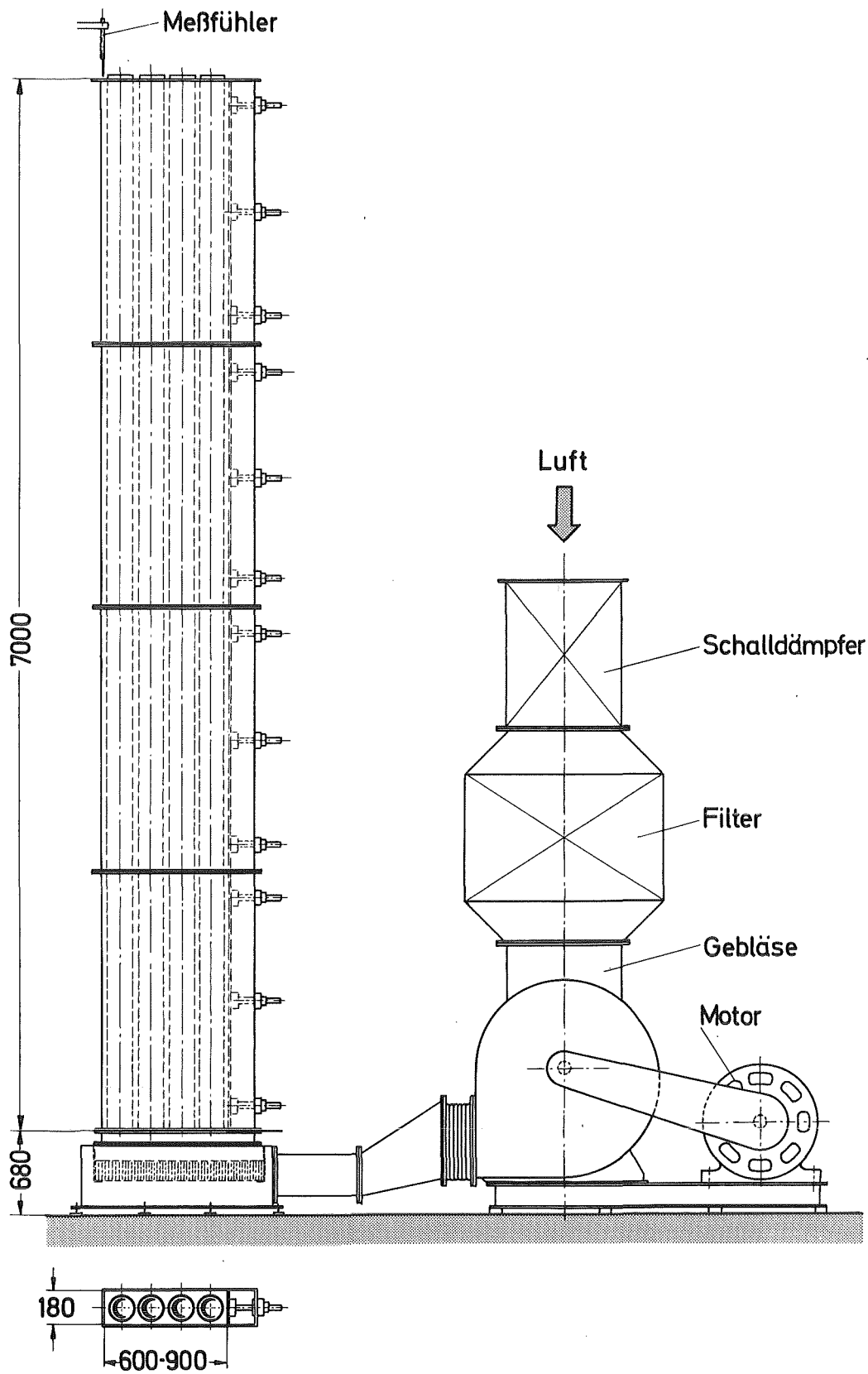


Abb.1: Schema der Versuchsanlage zur Messung von Geschwindigkeits- und Turbulenzverteilungen in Unterkanälen von Stabbündeln



Abb.2: Gesamtansicht der Versuchsanlage

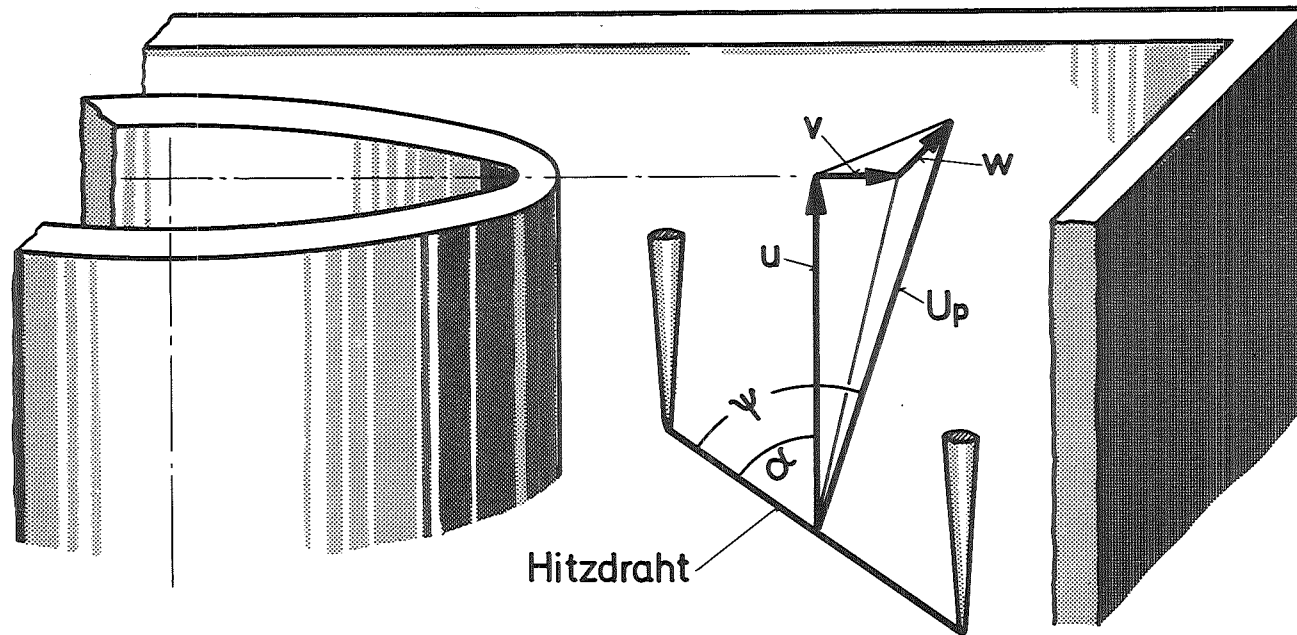
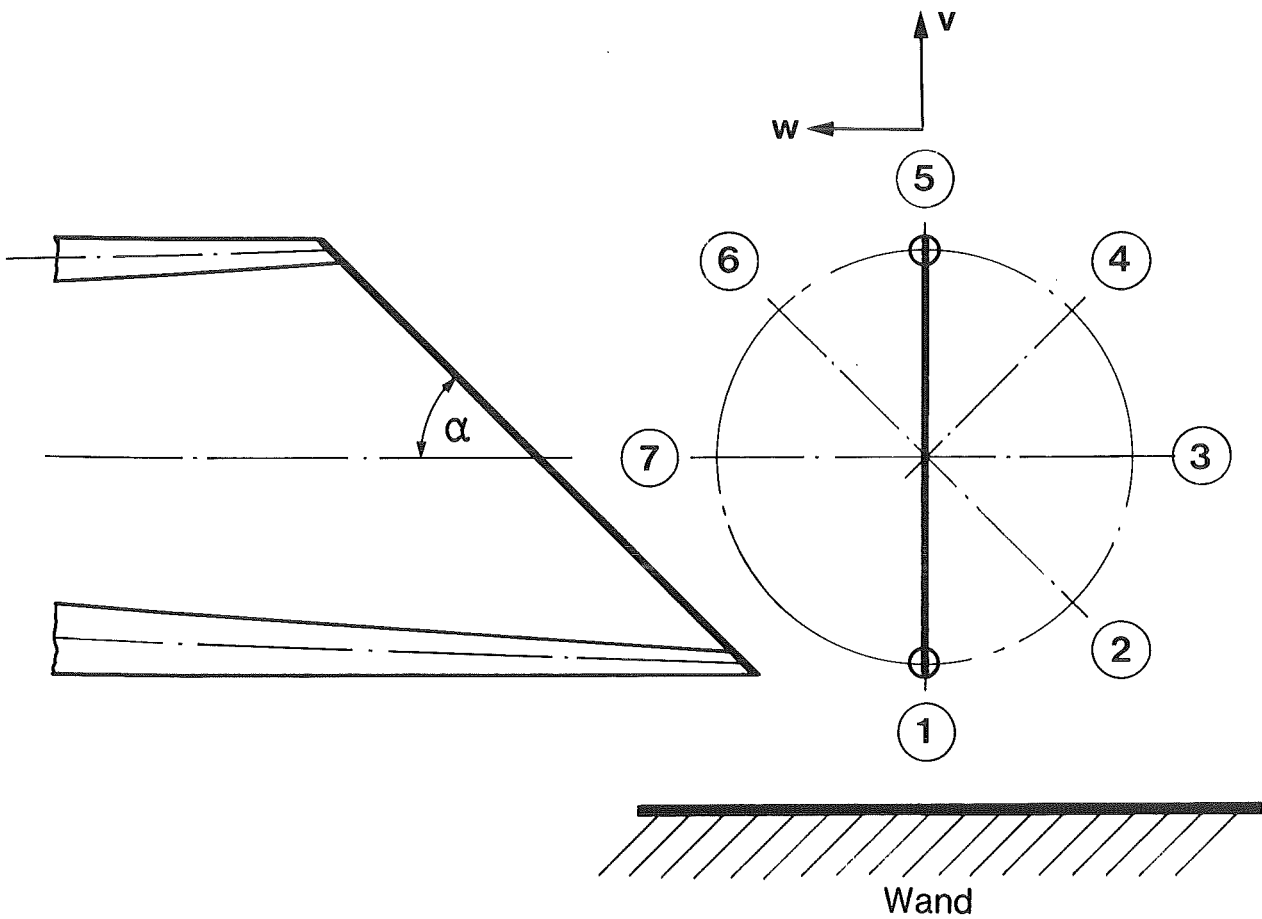


Abb.3: Geschwindigkeitskomponenten und Anströmrichtung des Hitzdrahtes





KfK

Abb.4: Meßpositionen mit einem schrägen Hitzdraht

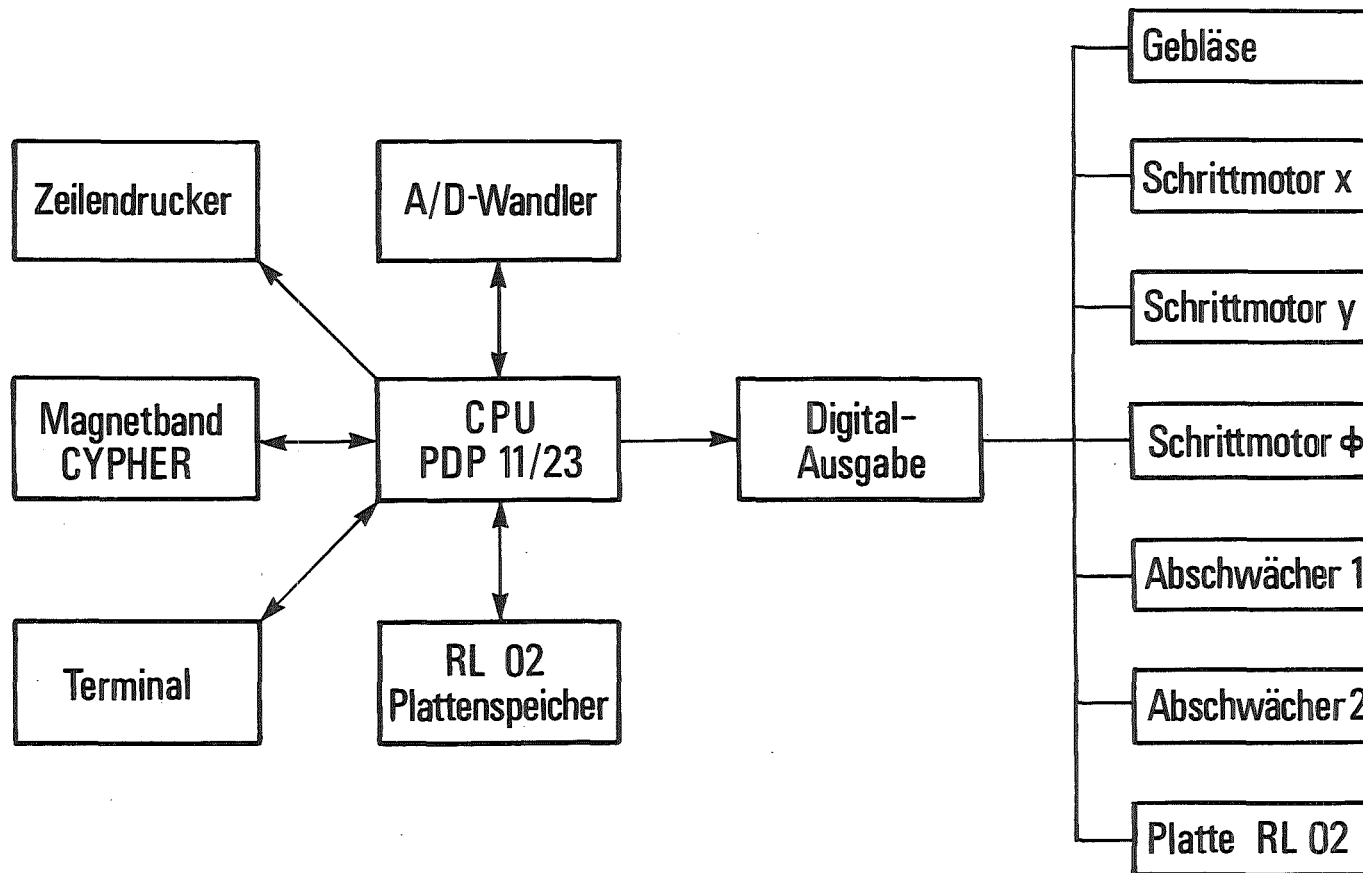


Abb.5: Rechner und Peripherie für die Steuerung und Meßwerterfassung

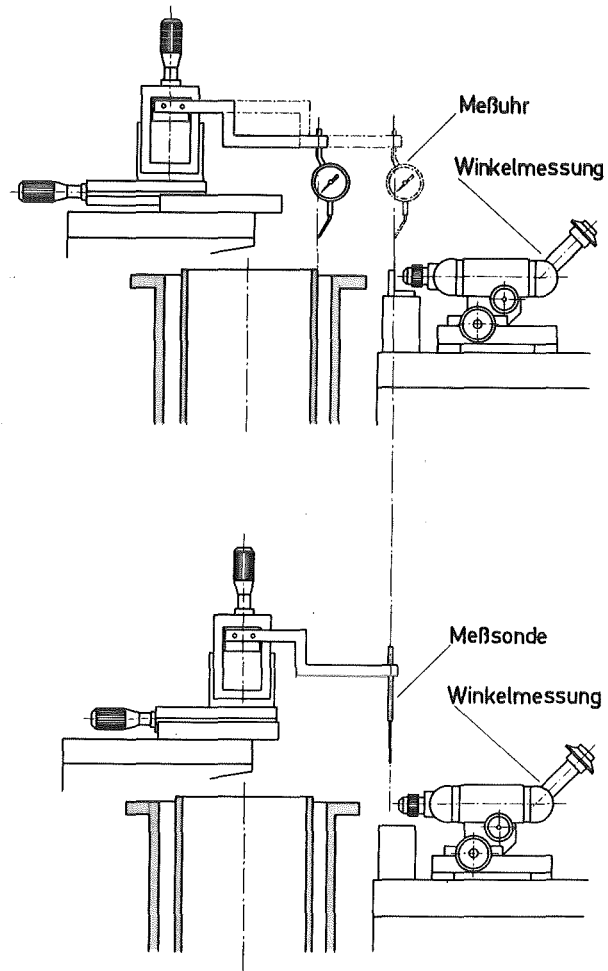
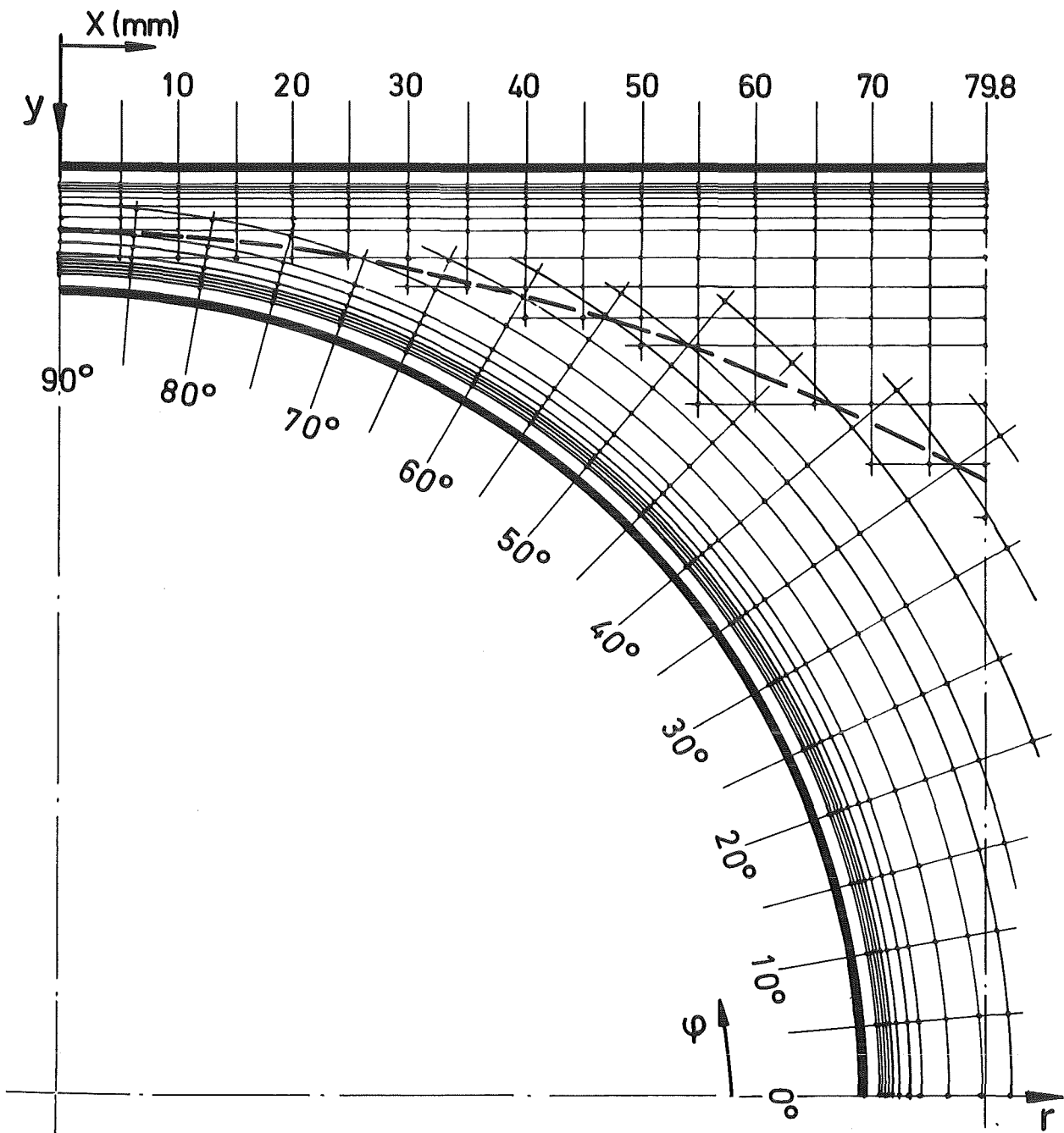


Abb.6: Einmessen der Sonden



KfK

Abb.7: Aufteilung und Meßpositionen im Strömungsquerschnitt

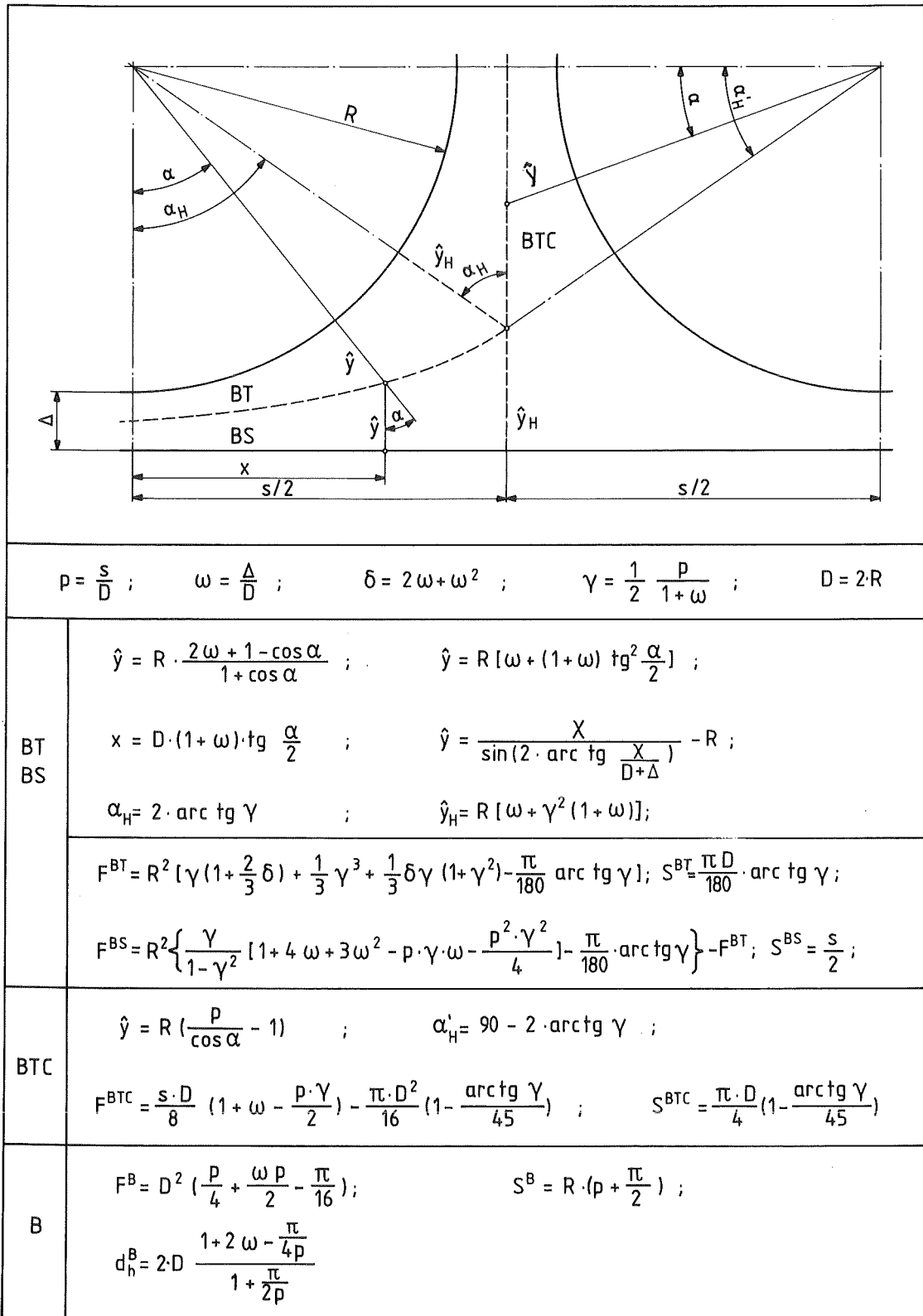
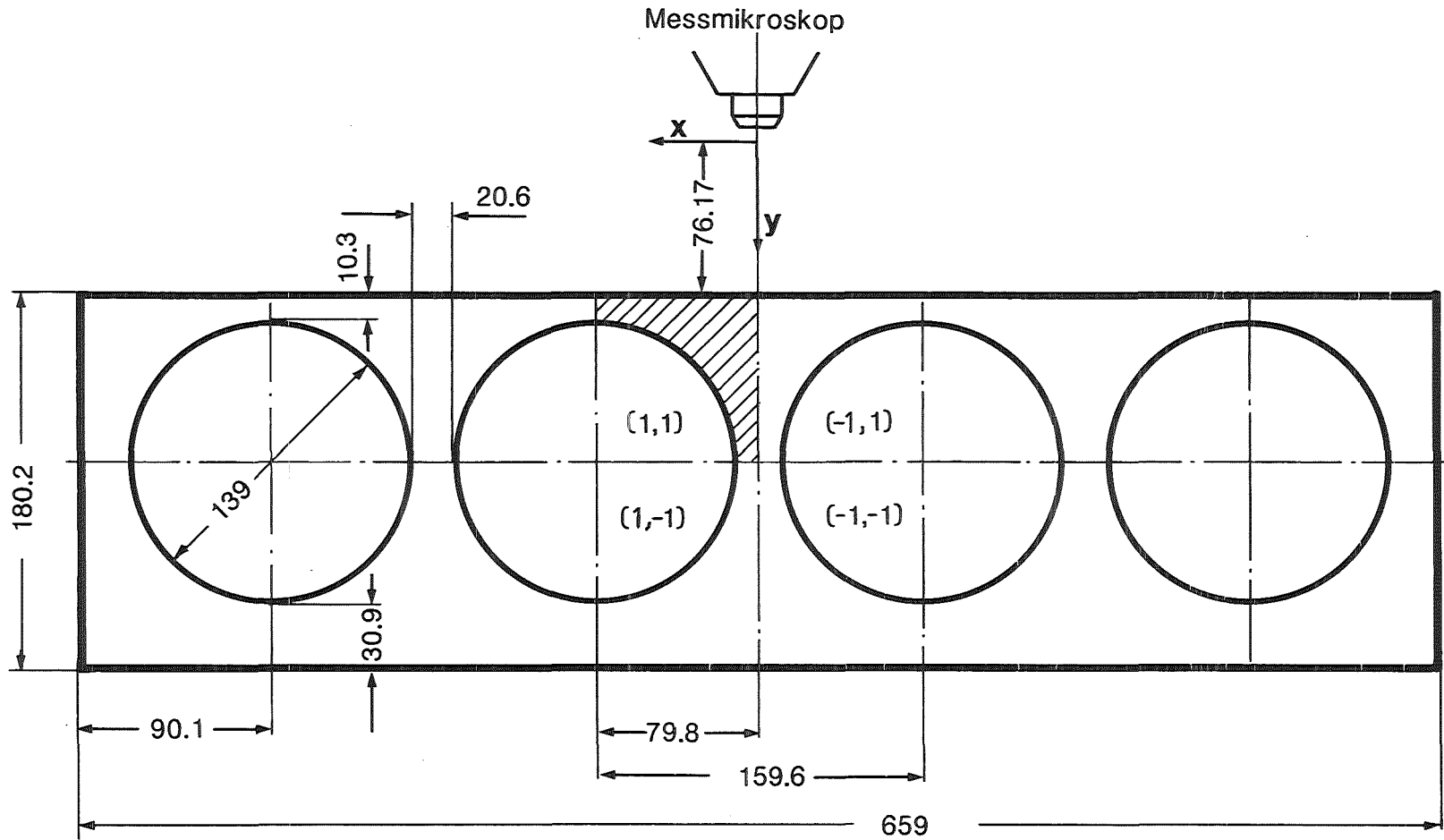


Abb.8: Geometriebeziehungen für einen Wandkanal



$P/D = 1.148$

$W/D = 1.074$  (eng)

$W/D = 1.222$  (weit)

( ix, iy ) Kennzeichnung der auszumessenden Quadranten

KfK

Abb.9: Beispiel einer ausgemessenen Anordnung

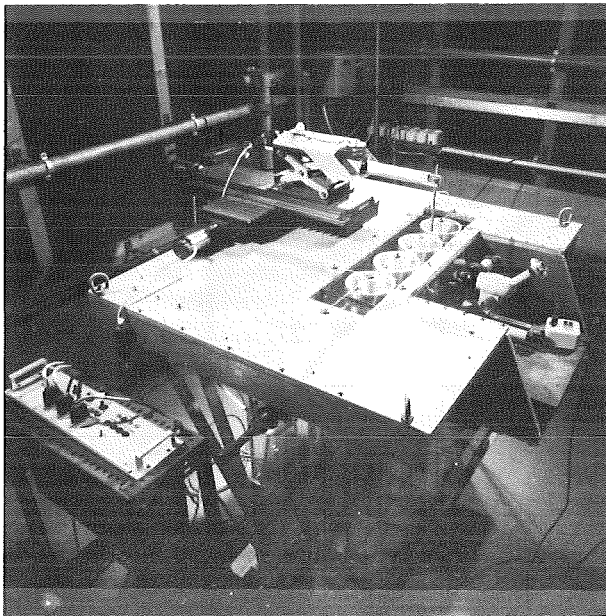


Abb.10: Steuereinrichtungen zum Positionieren der Meßsonden

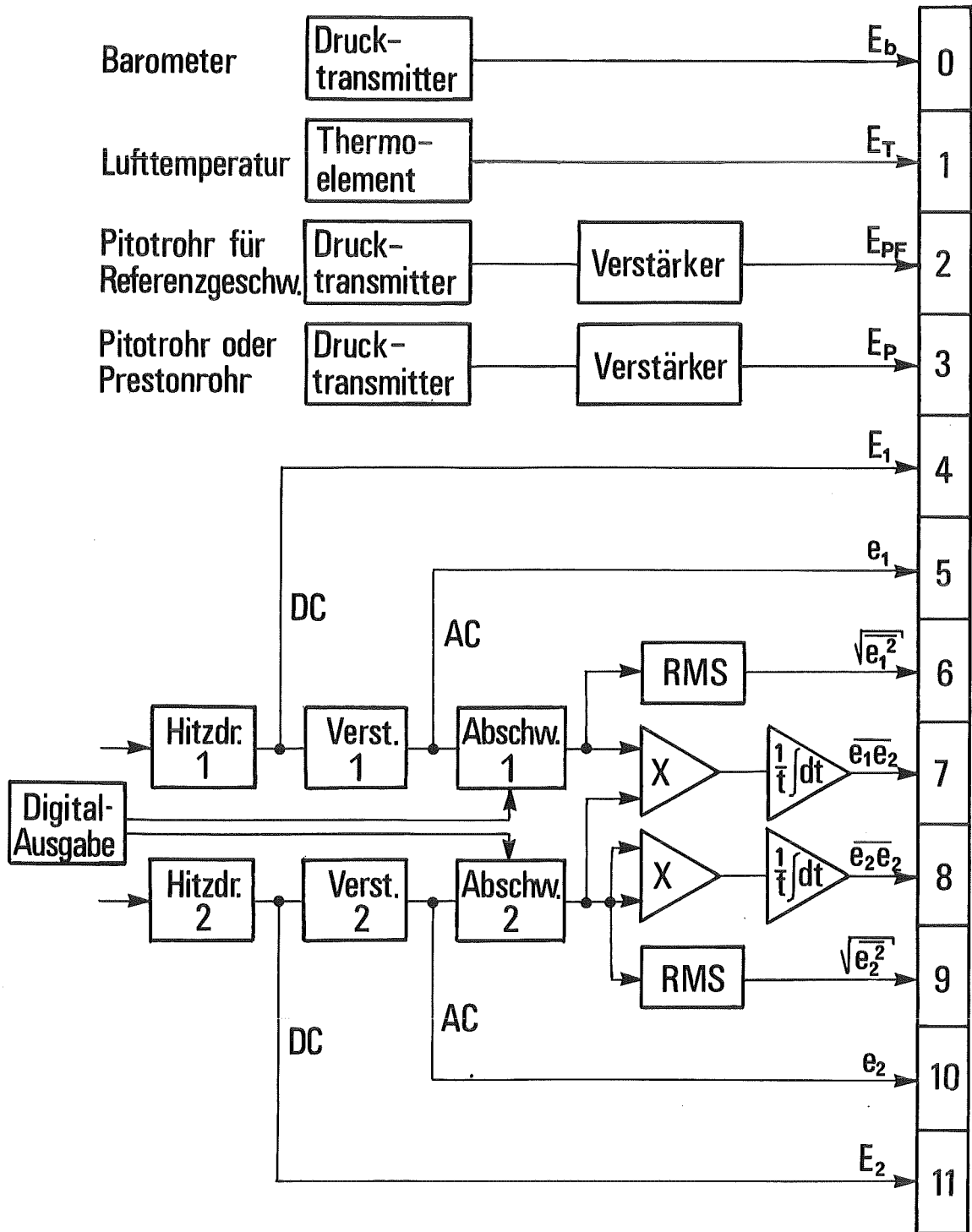


Abb.11: Schema der Meßwerterfassung



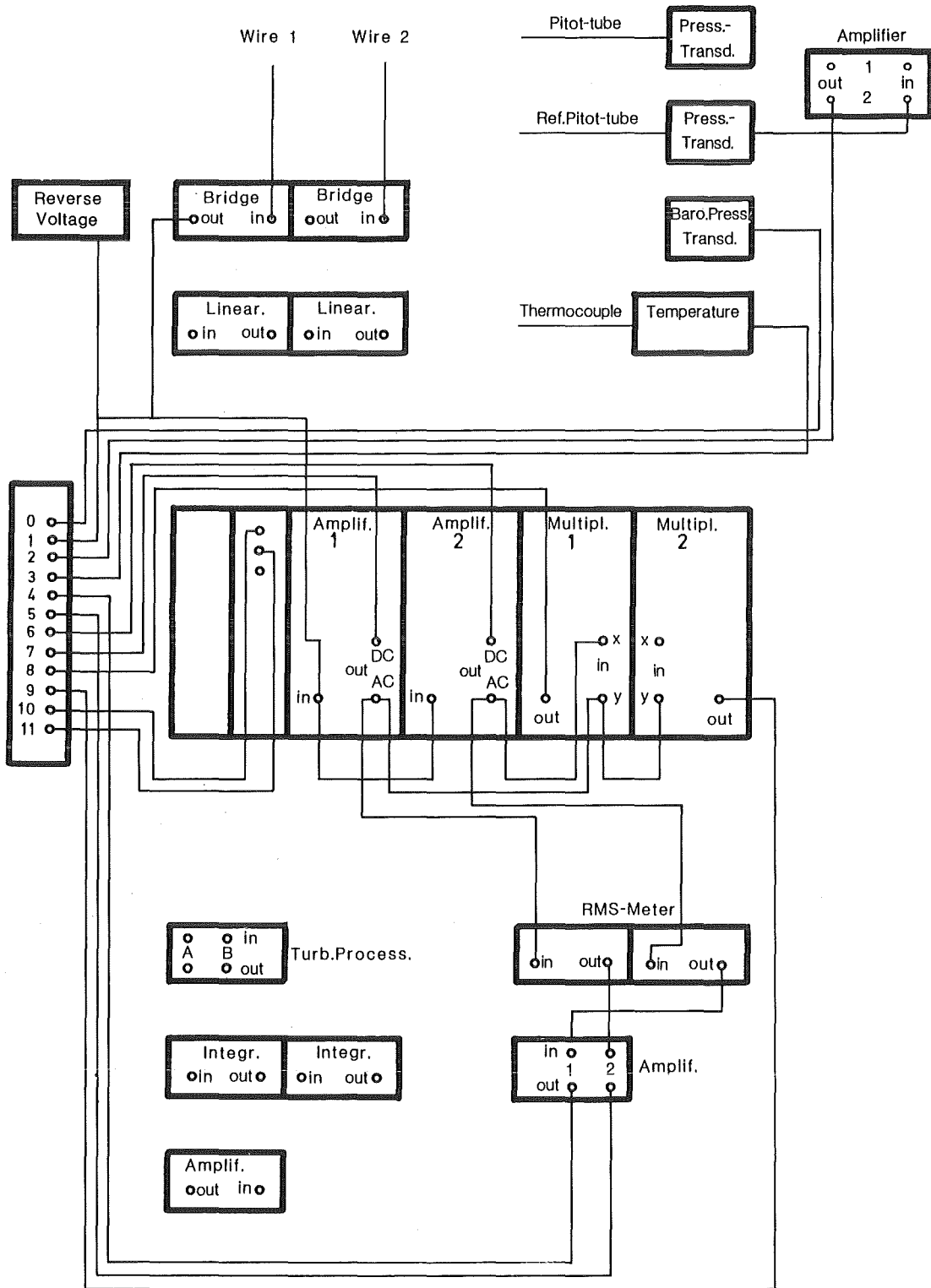


Abb.12: Verdrahtungsplan für Einzeldraht-Messungen

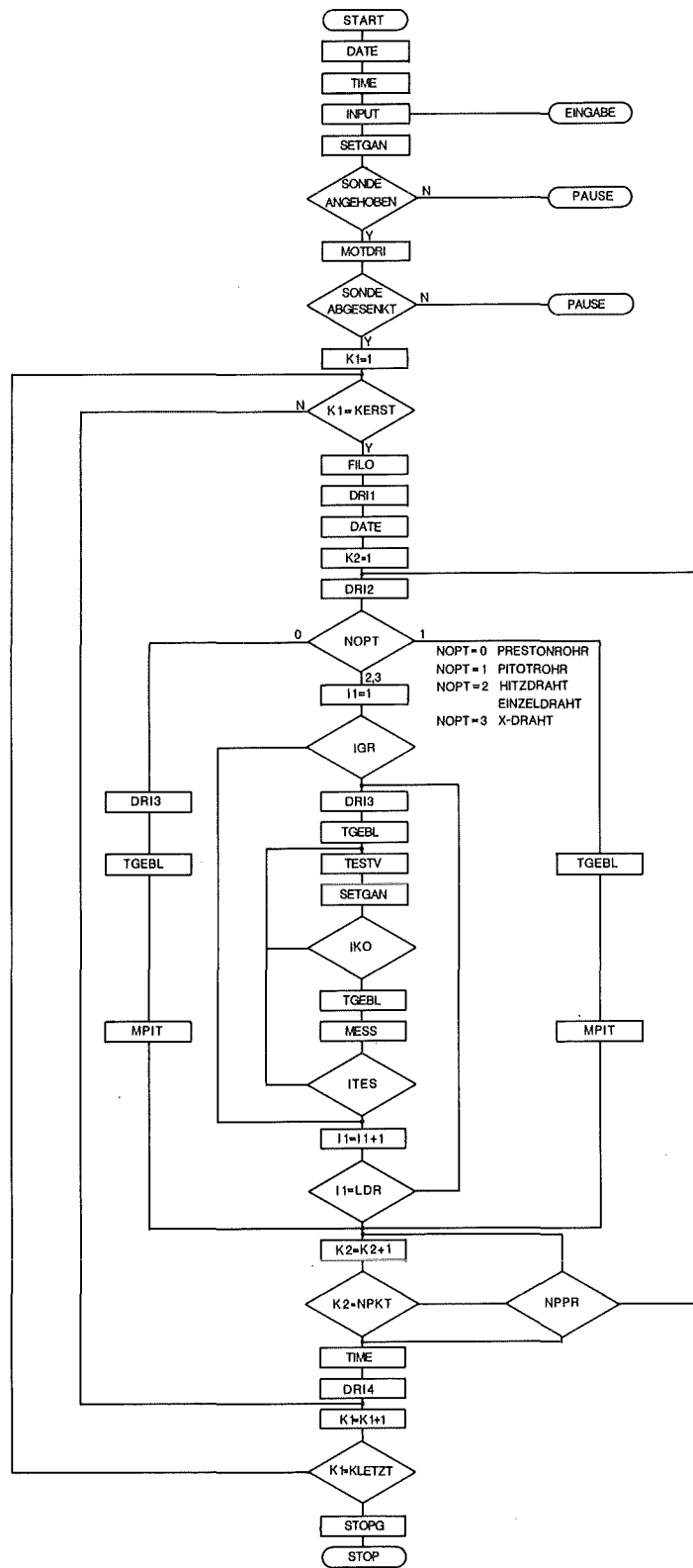


Abb.13: Blockschaltbild des Steuerprogramms