

Interner Bericht



~~DESY B2-91-02~~

Juni 1991

# Elektronische Durchflussmesser für HERA-Experimente H1 und ZEUS

von

G. Kessler

Eigentum der  Bibliothek	Library
Property of  Library	Library
Zusatz	
27. AUG. 1991	
LEONHARDT	75

**DESY behält sich alle Rechte für den Fall der Schutzrechtserteilung und für die wirtschaftliche Verwertung der in diesem Bericht enthaltenen Informationen vor.**

**DESY reserves all rights for commercial use of information included in this report, especially in case of filing application for or grant of patents.**

**“Die Verantwortung für den Inhalt dieses  
Internen Berichtes liegt ausschließlich beim Verfasser”**

Interner Bericht  
DESY B2-91-02  
Juni 1991

**ELEKTRONISCHE DURCHFLUSSMESSER FÜR HERA-EXPERIMENTE H1 UND ZEUS**

von

Godehardt Keßler  
DESY - B2 -

Hamburg, den 27. Juni 1990

B2/Ke/ke PUS0001.TXT



## ELEKTRONISCHE DURCHFLUSSMESSER FÜR HERA-EXPERIMENTE H1 UND ZEUS

### 1.) Warum benötigt man elektronische Durchflußmesser?

Detektoren sind aus sehr vielen und sehr verschiedenen Einzelteilen aufgebaut. Sie enthalten Stahlkonstruktionen, Eisen- und Bleiabschirmungen, Flüssig-Argonsysteme, Elektronik und Hochspannungssysteme. Nicht zuletzt enthalten sie große Volumina, die aus gasgefüllten Detektoren - kurz: Kammern - bestehen. Diese Kammern benötigen für ihren Betrieb verschiedene - häufig vor allem brennbare - Gase. Hinzu kommt, daß sie, mechanisch betrachtet, außerordentlich "schwächliche" Gebilde sind. Man kann sie in den meisten Fällen nicht mit den in der Technik üblichen Methoden auf Dichtigkeit prüfen. So kann man z.B. im Regelfall keine Druck- oder Vakuumprobe durchführen. Bei dieser Sachlage bleibt einem nur die Überprüfung, ob genausoviel Gas aus den Kammern zurückkommt, wie hineingeht.

Daraus ergibt sich eine erste Antwort auf die am Anfang gestellte Frage. Die Verwendung von Durchflußmessern ist eine wichtige und wirkungsvolle Sicherheitsmaßnahme, um unkontrolliertes Ausströmen von brennbaren Gasen in den HERA-Experimentierhallen bzw. an den HERA-Detektoren zu vermeiden. Damit ist aber noch nicht begründet, warum diese Durchflußmesser elektronische Durchflußmesser sein müssen. Der folgende Absatz liefert zu diesem Thema eine Antwort.

### 2.) Technische Möglichkeiten zur Messung von Gasströmen.

Meßtechnisch sind bei Gasen Durchflußmessungen mit einer Genauigkeit von 1 - 5 ‰ möglich. Daraus folgt, daß man Verluste durch Undichtigkeiten, wenn man den Gesamtdurchfluß auf der Ein- und Austrittsseite entsprechend genau erfaßt und kontrolliert, bis hinunter in die Größenordnung von 1 ‰ entdecken kann. Die Gasversorgung eines Detektors erfolgt üblicherweise von einer zentralen Versorgungsanlage aus. Unmittelbar in der Nähe des Detektors wird das Gas auf viele parallele Gaskanäle für die einzelnen Kammern oder Kammergruppen aufgeteilt und auf der Austrittsseite wieder zusammengeführt. Bei Messung des Gaszu- und -abflusses in der Sammelleitung und einem Gesamtdurchfluß z.B. von 5.000 nl/h kann man Undichtigkeiten von  $\geq 50$  nl/h entdecken. Bei brennbaren Gasen ist das nicht ausreichend. Führt man die Durchflußmessung in den vielen parallelen Kanälen durch, kann man mit geringerer Genauigkeit arbeiten, aber viel kleinere Lecks entdecken, weil die Meßgrenze von 1 - 5 ‰ auch für die vielen Teilströme zutrifft. Daher muß man nach der Verteilung auf einzelne Kammern oder Kammergruppen die Teilgasströme am Eintritt und Austritt messen. Mit dieser Anordnung kann man Undichtigkeiten in der Größenordnung von  $< 0,1$  ‰ des Gesamtgasflusses entdecken. Das sind im oben genannten Beispiel  $\leq 0,5$  nl/h. Mit dieser Meßgenauigkeit kann man leben.

### 3.) Welches Meßverfahren?

In manchen Fällen kann man zum Messen des Durchflusses am Ein- und Austritt einer Kammer prinzipiell Schwebekörperdurchflußmesser, sogenannte "Rotameter", verwenden. Wenn der durch diese Durchflußmesser verursachte Druckabfall von 1 - 3 mbar nicht stört, ist das möglich.

Schwebekörper-Durchflußmesser und auch manche elektronische Durchflußmesser verursachen einen Druckabfall zwischen 1 - 5 mbar. Bei der oben erwähnten Druckempfindlichkeit der Kammern ist das auf der Austrittsseite in den meisten Fällen einfach zu viel. Elektronische Durchflußmesser dagegen kann man mit einem praktisch nicht meßbaren Druckabfall ( $\delta p \leq 0,05$  mbar) bauen.

Ein weiterer Vorteil elektronischer Durchflußmesser ist dadurch gegeben, daß man sie mit Hilfe eines Rechners in kurzer Zeitfolge sehr einfach protokollieren und überwachen lassen kann. Durch Setzen von Alarmschwellen kann man erreichen, daß das Personal nur im Alarmfall eingreifen muß.

Bei der Auswahl des Meßverfahrens waren die Forderungen nach einem praktisch vernachlässigbaren Druckabfall von  $\leq 0,05$  mbar und nach automatischer Auslesbarkeit besonders wichtig.

Nur bestimmte elektronische Durchflußmesser erfüllen diese Forderungen gleichzeitig.

### 4.) Meßprinzip

Von Anfang an wurde versucht, ein industriell angebotenes Meßsystem zu verwenden und die erforderlichen Änderungen in Zusammenarbeit mit dem Hersteller durchzuführen.

Bei Durchsicht der kommerziell angebotenen Systeme fand sich ein elektronisches Anemometer\*, das die Abhängigkeit des Wärmeübergangs von der Strömungsgeschwindigkeit zur Messung der Luftgeschwindigkeit verwendet. Das Meßprinzip besteht darin, daß man zwei geometrisch sehr kleine temperaturabhängige Widerstände (= Thermistoren,  $d \leq 0,5$  mm) in den Luftstrom bringt. Einer der beiden Thermistoren wird elektrisch so geheizt, daß er eine konstant höhere Temperatur als die an ihm vorbeiströmende Luft hat. Die Lufttemperatur wird durch den zweiten ungeheizten Thermistor gemessen. Die für das Aufrechterhalten einer erhöhten Temperatur des geheizten Thermistors erforderliche elektr. Energie liefert die Information über die Strömungsgeschwindigkeit der Luft.

Der Zusammenhang zwischen der Wärmeübergangszahl  $\alpha$  und der Strömungsgeschwindigkeit  $w$  der Luft ist durch die folgende Gleichung gegeben:

$$\alpha = \text{Konstante} \cdot (w \cdot c_p)^{0,786} \cdot \lambda^{0,214} \cdot d^{-0,16}$$

wobei  $\alpha$  die Wärmeübergangszahl,  $w$  die Strömungsgeschwindigkeit der Luft,  $c_p$  die spezifischen Wärme der Luft,  $\lambda$  die Wärmeleitfähigkeit der Luft und  $d$  der Durchmesser des geheizten Thermistors ist. Der Wärmeübergang vom geheizten Thermistor zur vorbeiströmenden Luft ist proportional  $w^{0,786}$ .

\* Air Velocity meter AVM 501 TC  
der Firma Prosser Scientific Instruments, Hadleigh, Suffolk, GB.

Die "Heizenergie" wird gemessen und ist um so größer, je intensiver der beheizte Thermistor durch die an ihm vorbeiströmende Luft gekühlt wird, d.h. je höher die Strömungsgeschwindigkeit ist. Der Heizstrom  $I_H$  bzw. die erforderliche Heizspannung  $U_H$  müssen ansteigen, um die gegenüber der Lufttemperatur erhöhte Temperatur des Thermistors aufrechtzuerhalten.

#### 5.) Temperaturkompensation

Durch die Verwendung des zweiten nicht geheizten gleichartigen Thermistors und die konstante Temperaturdifferenz von z.B. 100 ° zwischen den beiden Thermistoren ist die erforderliche Heizleistung nur von der Strömungsgeschwindigkeit der Luft abhängig und damit vom Durchfluß, jedoch nicht von der aktuellen Lufttemperatur. Man hat in einem genügend großen Temperaturbereich ein temperaturkompensiertes Meßsystem.

#### 6.) Übertragung der für das Anemometer entwickelten Meßmethode auf andere Gase

Man kann dieses Meßprinzip nicht nur für Luft sondern auch bei allen anderen Gasen verwenden. Selbstverständlich muß es für das verwendete Gas jeweils kalibriert werden, weil  $\alpha$  unter anderem von der Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  des jeweiligen Gases abhängig ist. Das kommerziell von der Firma Prosser in Ipswich, England, gefertigte Anemometer, das nach dem beschriebenen Prinzip arbeitet, wird für Luftgeschwindigkeiten von 0,1 bis 3 m/sec bzw. 1 - 30 m/sec angeboten.

#### 7.) Grenzen, die bei der Anforderung an die Genauigkeit der Meßsysteme und bei der Einstellung von Alarmschwellen beachtet werden müssen.

Eine zeitweilige Durchflußdifferenz in den beiden Durchflußmessern am Ein- und Austritt einer Kammer kann auch ohne das Vorhandensein einer Undichtheit auftreten. Das ist immer dann möglich, wenn der Kammerbetrieb nicht bei konstanter Temperatur und konstantem Absolutdruck erfolgt.

Eine Absolutdruckdifferenz wird z. B. durch Änderungen des Barometerdrucks verursacht. Die Größe dieser "Schein-Undichtigkeit" hängt vom Volumen ( $V_K$ ) der einzelnen Kammer und von der Barometerdruckänderung als Funktion der Zeit ( $db/dt$ ) ab.

$db/dt$  kann im Extremfall in Hamburg  $\pm 5$  mbar/h erreichen. Werte von  $\pm 2$  mbar/h sind häufig und können sehr lange (6 - 20 h) andauern. Aus einem solchen Barometerdruckanstieg ergibt sich z.B. eine scheinbare Undichtigkeit der Kammer von ca. 2 ‰ ihres Volumens/h. Bei der Festlegung des Gasflusses in einem Kammerkanal muß der gewählte Gasfluß unter Berücksichtigung der möglichen Temperatur- und Absolutdruckgradienten so gewählt werden, daß der Gasfluß deutlich größer ist als beide Effekte zusammen ausmachen können. Man sollte daher den stündlichen Gasdurchfluß  $\dot{V}$  so wählen, daß er mindestens 4 ‰ des Kammervolumens/h beträgt.

## 8.) Technische Spezifikation der Durchflußmesser

Aus dem bisher Gesagten ergibt sich die technische Spezifikation für die elektronischen Durchflußmesser.

- a. Die Durchflußmesser müssen in ihrem Arbeitsbereich einen Druckabfall  $\leq 0,05$  mbar haben.
- b. Die Meßsysteme müssen bei Erreichen bestimmter Alarmschwellen einen Alarm auslösen können.
- c. Die Meßsysteme müssen mit Hilfe einer Multiplex-Schaltung durch einen Computer oder in einer anderen Weise automatisch überwacht werden können.
- d. Die Messung sollte auf  $\pm 2,5$  % genau sein.

## 9.) Optimaler Meßbereich

Der lineare und damit besonders geeignete Meßbereich bei dieser Meßmethode liegt für Luft bei Strömungsgeschwindigkeiten von  $0,05 \leq w \leq 0,45$  m/sec. Das System kann aber für Geschwindigkeiten bis 30 m/sec verwendet werden. Oberhalb von  $w = 0,45$  m/sec wächst das Meßsignal nicht mehr linear. Der Quotient aus Signaländerung und Durchflußänderung  $dU/dV$  verkleinert sich mit zunehmender Geschwindigkeit, um bei Geschwindigkeiten  $w > 30$  m/sec schließlich gegen Null zu gehen.

Eine Durchflußerhöhung bewirkt dann keine Signaländerung mehr.

Der spezifische Druckabfall  $\delta p$  in einem Rohr von 1 m Länge ist  $w^n$  proportional. Je nach Geometrie und Strömungsgeschwindigkeit variiert der Exponent  $n$  von 1,7 bis 2.

Wenn man die Bedingung  $\delta p < 0,05$  mbar für ein glattes Rohr von 1 m Länge stellt, damit der Sensor einen vernachlässigbaren Druckabfall hat, ergeben sich bei Argon (20 °C und 1 bar) folgende max. Durchflußraten  $\dot{V}$  und Strömungsgeschwindigkeiten  $w$  als Funktion des Meßkanalinnendurchmessers  $d_1$ :

$d_1 = 4$ mm;	$\dot{V} \leq 5$ nl/h;	$w \leq 0,11$ m/sec
5	$\dot{V} \leq 12$ nl/h;	$w \leq 0,17$ m/sec
6	$\dot{V} \leq 25$ nl/h;	$w \leq 0,25$ m/sec
8	$\dot{V} \leq 78$ nl/h;	$w \leq 0,43$ m/sec
10	$\dot{V} \leq 192$ nl/h;	$w \leq 0,68$ m/sec
13	$\dot{V} \leq 552$ nl/h;	$w \leq 1,40$ m/sec

Da nach langjähriger Erfahrung im einzelnen Kanal ein Durchfluß von ca. 10 nl/h der Regelfall ist, wurde das System mit  $d_1 = 5$  mm ausgelegt. Wenn größere Durchflüsse erforderlich sind, existieren sämtliche Konstruktionsunterlagen für  $d_1 = 6$  mm. Die äußere Geometrie ist dabei nicht verändert.

## 10.) Anordnung des Meßsystems im Rohrquerschnitt

Aus der Strömungslehre weiß man, daß bei laminarer Strömung die Geschwindigkeitsverteilung über den Rohrquerschnitt durch eine Parabel dargestellt wird, bei turbulenter Strömung - mit Ausnahme der Grenzschicht - sich eine gleichmäßige Verteilung einstellt. So liegt es nahe, die beiden Thermistoren so anzuordnen, daß sich der



geheizte Thermistor genau auf dem Durchmesser befindet, auf dem die örtliche Strömungsgeschwindigkeit beim Übergang von laminarer zu turbulenter Strömung keinen Sprung macht (Abbildung Nr.1). Bei Nichtbeachtung dieses Details würde der elektronische Durchflußmesser in seiner Anzeige mindestens eine Hysterese zeigen und er würde vor allem im Grenzbereich, d.h.  $1.600 \leq \text{Reynoldszahl} \leq 2.300$ , praktisch unbrauchbar.

Aus bestimmten Gründen muß man die Meßkanäle vertikal übereinander anordnen, um wenigstens 20 Meßsysteme nebeneinander in einem 19"-Schrank unterbringen zu können. Andererseits sollte die Strömung am Meßpunkt ungestört sein, um eine hohe Meßgenauigkeit zu erzielen. Man muß daher den Meßkanal lang machen. Die zur Verfügung stehende Höhe ist begrenzt, wenn man in einem normalhohen 19"-Schrank mindestens 6 bis 8 Einschübe mit je 20 Meßsystemen übereinander einbauen möchte.

### 11.) Konstruktionsmerkmale der DESY/PROSSER Durchflußmesser

Die in Abbildung Nr. 2 gezeigte Ausführung ist ein Kompromiß zwischen einem möglichst langen Meßkanal und einer möglichst geringen Einbauhöhe des Einschubs. Der einzelne Meßkanal hat bei 5 mm Durchmesser eine Länge von 45 mm. Beide Thermistoren sind auf einem Transistorhalter montiert. Als Träger für die beiden Thermistoren wurde ein Transistorhalter mit 3 elektrisch isolierten Durchführungen ausgewählt, weil diese gasdichte elektrische Durchführungen haben und billig zu beschaffen sind. Zusammen mit den in der Meßstrecke eingebauten Thermistoren sind sie mit der Elektronik-Platine direkt verdrahtet, so daß keine Steckerverbindungen zwischen Elektronik und den Thermistoren, der eigentlichen Meßsonde, erforderlich sind.

Der Abstand zwischen beiden Thermistoren muß möglichst groß sein, um eine gute Nullpunktstabilität zu erreichen. Der geheizte Thermistor muß so genau wie möglich auf dem in Abbildung Nr. 1 gezeigten Durchmesser angeordnet sein. Einzelheiten der Anordnung auf dem Transistorhalter zeigt die Abbildung Nr. 3.

20 solcher Doppelmeßsysteme sind auf einer gemeinsamen Trägerplatte aus Aluminium montiert. In dieser Platte befinden sich die Versorgungsleitungen, die einzelnen Regelventile (Kuhnke Regulierventil SP 747.0129) für die Gasdurchflüsse und die Verschraubungen zum Anschluß der Gaszu- und Ableitungen der 20 Kammern, die damit versorgt werden können.

Zusammen mit der Stromversorgung und mit dem Multiplexsystem zur automatischen Auslesung der Meßwerte bildet dieser Modul einen 19"-Einschub mit 268 mm Höhe.

Die Aluminium-Trägerplatte und die Aluminium-Meßkanäle können mit numerisch gesteuerten Maschinen preiswert und genau gefertigt werden. Im Übrigen sind Verschraubungen, Dichtringe und Ventile Standard-Komponenten aus der Pneumatik und Hydraulik, die in großen Stückzahlen verwendet werden und dadurch preiswert sind. Als Stromversorgung benötigt die Prosser-Elektronik für einen Kanal 50 mA bei  $\pm 15$  Volt DC.

Da eine visuelle Ablesung vor Ort im Regelfall Vorteile bietet, wurde die Elektronik der Durchflußmesser grundsätzlich mit einer eigenen "Bargraphanzeige" (= örtliche Signalanzeige durch eine Diodenkette) ausgerüstet. Abbildung Nr. 14 zeigt einen Modul mit 20 Meßsystemen in einem 19"-Einschub.

## 12.) Auswertung der Meßergebnisse an Prototypen

Zunächst wurde gemessen, welcher Gasdurchfluß durch die Meßsysteme bei Verwendung des Kuhnke Regulierventils SP 747.0129 möglich ist. (Abbildung Nr.4)

Der Durchfluß von Argon, Helium, CO<sub>2</sub> und Luft wurde abhängig vom Druck vor dem Ventil und von der Zahl der Umdrehungen der Ventilspindel mit einem Seifenblasenzähler gemessen. Dabei bedeutet 0,0 Umdrehungen: Das Ventil ist geschlossen. Die Werte in der folgenden Tabelle sind gemittelte Werte, weil einzelne Ventile merklich voneinander abweichende Ergebnisse gezeigt haben.

Bereits bei einem Vordruck von 1,5 bar absolut ergibt sich ein mittlerer Argon-Gasfluß bei Öffnung der Ventilspindel um

1,0 Umdrehung	von	$\dot{V} =$	0,4	nl/min	bzw.	24	nl/h
2,0 Umdrehungen	"	"	1,2	"	"	72	"
3,0 "	"	"	2,2	"	"	132	"
4,0 "	"	"	3,2	"	"	192	"
5,0 "	"	"	4,5	"	"	270	"
6,0 "	"	"	5,8	"	"	348	"
7,0 "	"	"	7,2	"	"	432	"
8,0 "	"	"	8,3	"	"	498	"
9,0 "	"	"	9,8	"	"	588	"

Eine Erhöhung des Vordruckes um den Faktor 2 auf 3 bar absolut verdoppelt in erster Näherung den Durchfluß.

Die Signalspannung, die die Meßsysteme liefern, wenn man sie z.B. für einen maximalen Durchfluß von 30 nltr/h Argon kalibriert, ist weitgehend dem Durchfluß linear proportional.

Ein zweites wichtiges Ergebnis der Versuche ist das Fehlen von sichtbaren Unterschieden im Signal, wenn man den Durchfluß mit geschlossenem Ventil beginnend erhöht oder vom maximalen Durchfluß kommend erniedrigt. Bei gleichem Durchfluß liefert der DESY/PROSSER-Durchflußmesser gleiche Signale. Es fehlt jede Hysterese. (Abbildungen Nr.5 - 8)

Ein Wechsel des Gases im Meßsystem von z.B. Argon auf CO<sub>2</sub> führt zu einer Änderung des Proportionalitätsfaktors, der Durchfluß und Signalspannung verknüpft. Der Null-Punkt verschiebt sich natürlich ebenfalls. Ohne neue Kalibrierung ist das Meßsystem bei einem Wechsel von Argon zu CO<sub>2</sub> z.B. für ca. den halben Durchfluß geeignet. (Abbildungen Nr.9)

Die von Prosser entwickelte Elektronik erlaubt natürlich eine Anpassung an die unterschiedlichen Gase. Die größten Abweichungen treten bei Helium und Wasserstoff auf, weil die Wärmeleitfähigkeit am stärksten von Luft abweicht. (Abbildungen Nr.10 - 13)

Wie die Meßergebnisse zeigen, ist bei einem Wechsel des Meßgases nicht automatisch erforderlich, das System neu zu kalibrieren. Unter dem Gesichtspunkt der Sicherheit interessiert nur die Differenz zwischen Ein- und Austritt. Der Absolutwert der Anzeige ist nicht so wichtig. Bei einem Gaswechsel muß man für eine gewisse Zeit Differenzen in der Anzeige akzeptieren. Sie treten solange auf, bis das Kammervolumen vollständig mit dem neuen Gas gespült ist. Das gleiche kann aber auch auftreten, wie schon vorher erwähnt, wenn der Barometerdruck oder die Kammertemperatur zeitlich nicht konstant ist.

### 13.) Preise und Kosten für das System

Alle auf dem Markt angebotenen elektronischen Durchflußmesser nach dem genannten Prinzip sind sehr teuer. Sie kosten zwischen 2000,- und 3000,-DM. Daher wurde in Zusammenarbeit mit dem Hersteller des Anemometers, der Firma Prosser Scientific Instruments Ltd. intensiv nach Mitteln und Wegen gesucht, wie man das Meßsystem billiger bauen kann, zumal man je Kammerkanal 2 Meßsysteme benötigt.

Das Ergebnis dieser Bemühungen hat jetzt nach dem Bau und der Fertigung von 42 Prototypen dazu geführt, daß die Beschaffungskosten für einen Kanal bei 600,-DM liegen. Dieser Preis enthält alle mechanisch erforderlichen Teile, den doppelten Meßkanal, die 4 Thermistoren, die Elektronik der beiden Meßsysteme einschließlich der Bargraph- und der Alarmanzeige, das Regulierventil, die beiden Verschraubungen für die Schläuche zu und von den Kammern, weiterhin 1/20 des Netzgerätes, der Verkabelung und der Aluminium-Trägerplatte.

Darin nicht enthalten sind die Aufwendungen für den Elektronik-Schrank zum Einbau, die Digitalisierung der Meßspannungen sowie das System, um die Meßspannungen automatisch vom Computer abzufragen und auszuwerten.

### 14.) Acknowledgement:

In besonderer Weise bin ich Dr. Jeremy Prosser und David C. Jessop von der Firma Prosser Ltd. in Hadleigh, Ipswich zu Dank verpflichtet. Sie haben neben vielen anderen Anregungen ihr Meßverfahren und die Weiterentwicklung der Elektronik in das Projekt eingebracht.

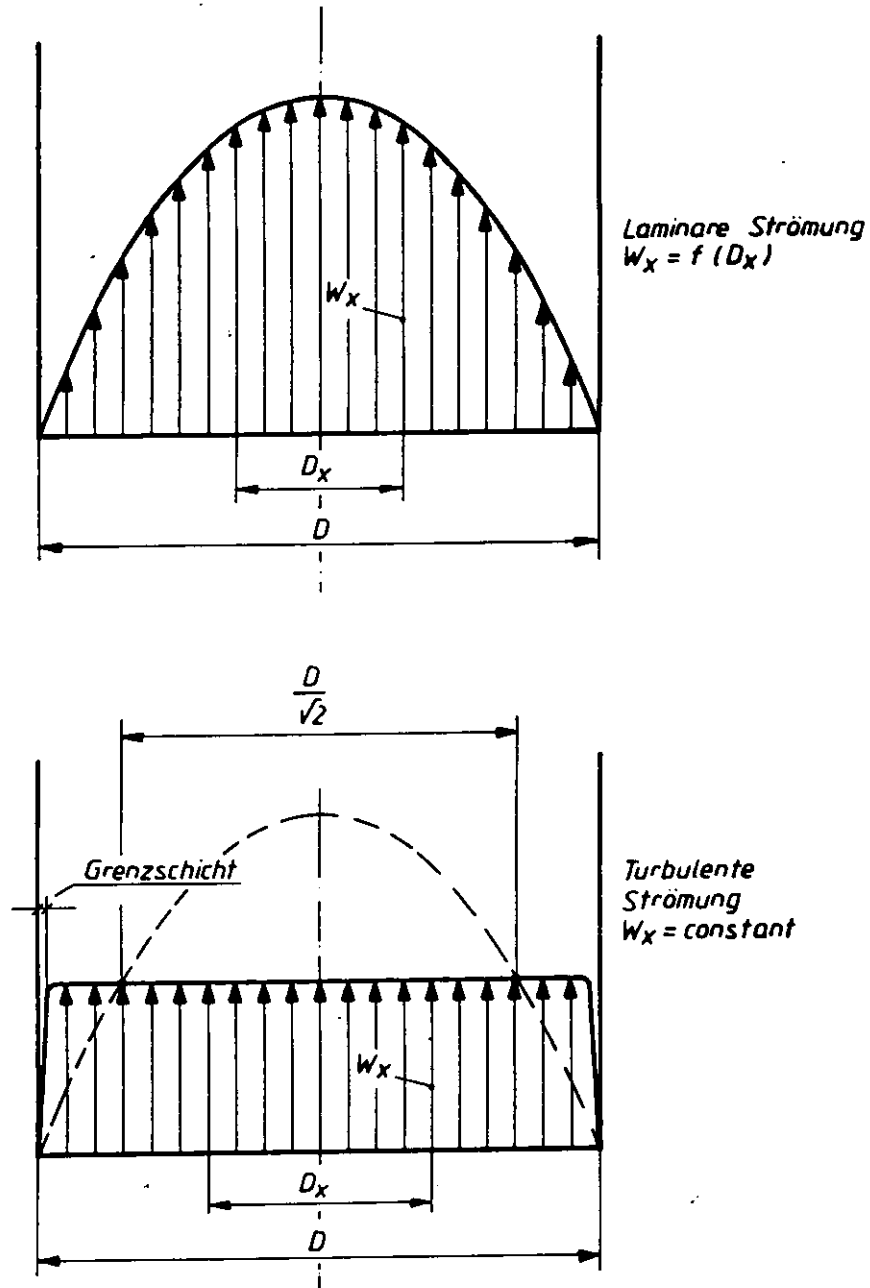
Dann geht mein Dank an meine Kollegen und Mitarbeiter bei DESY in den Gruppen B2, H1, ZEUS und F56, die bei der Ausarbeitung und Entwicklung der DESY/PROSSER Durchflußmesser durch Diskussionen und vielfältige Anregungen geholfen haben.

In besonderer Weise hat bei der Konstruktionsarbeit und beim Erstellen der Fertigungszeichnungen Frau Christine Kretschmann - B2- wertvolle Hilfe geleistet. Das Testen der Prototypen und die Darstellung der Meßergebnisse hat dankenswerterweise Herr Wolfgang von Schröder -B2- durchgeführt.

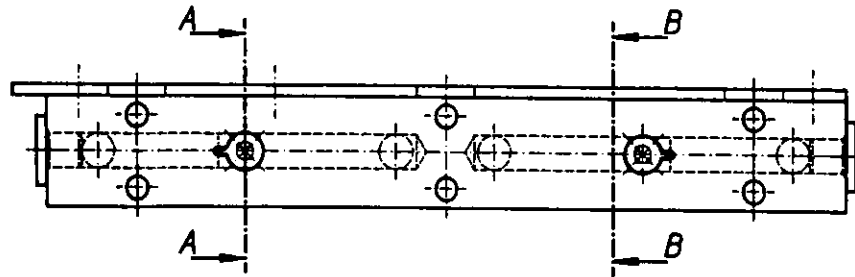
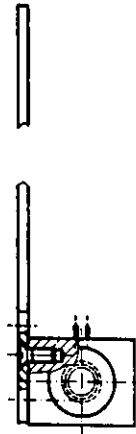
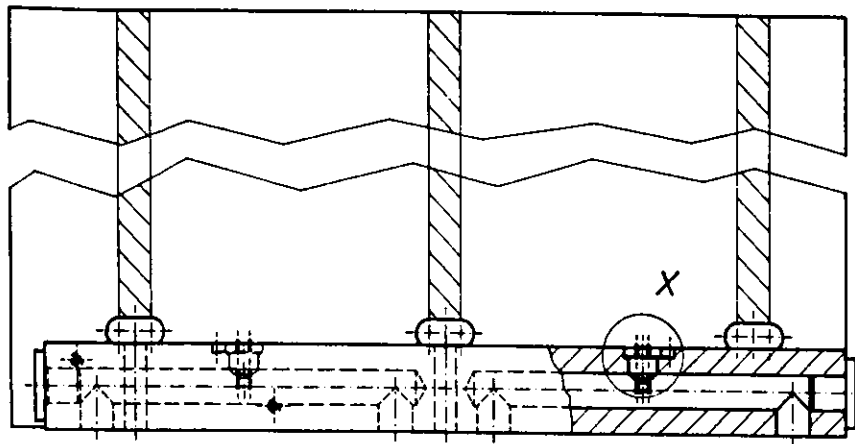
Letztendlich hat Herr Dr. H.F. Hoffmann als Z-Bereichsleiter bei DESY die Entwicklungsarbeiten ermöglicht und gefördert.

Abbildung Nr.1

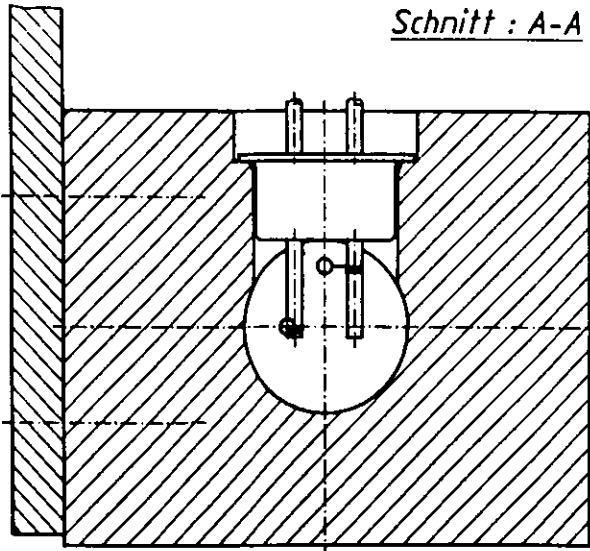
Mögliche Strömungsprofile für konstanten Durchfluß  
im Übergangsbereich  $1600 \leq Re \leq 2300$



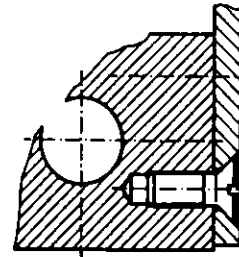
Nur auf dem Umfang eines Kreises mit dem Durchmesser  $D_x = \frac{D}{\sqrt{2}}$  ändert sich die örtliche Geschwindigkeit  $w_x$  nicht, wenn in einem Rohr laminare in turbulente oder turbulente in laminare Strömung umschlägt.



Schnitt : A-A



Schnitt : B-B



Einzelheit : X

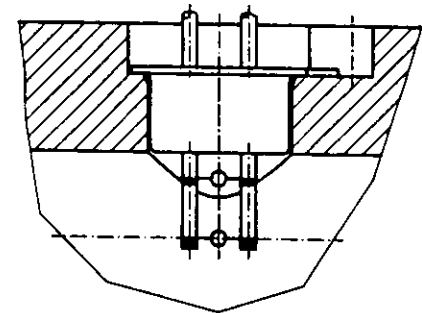
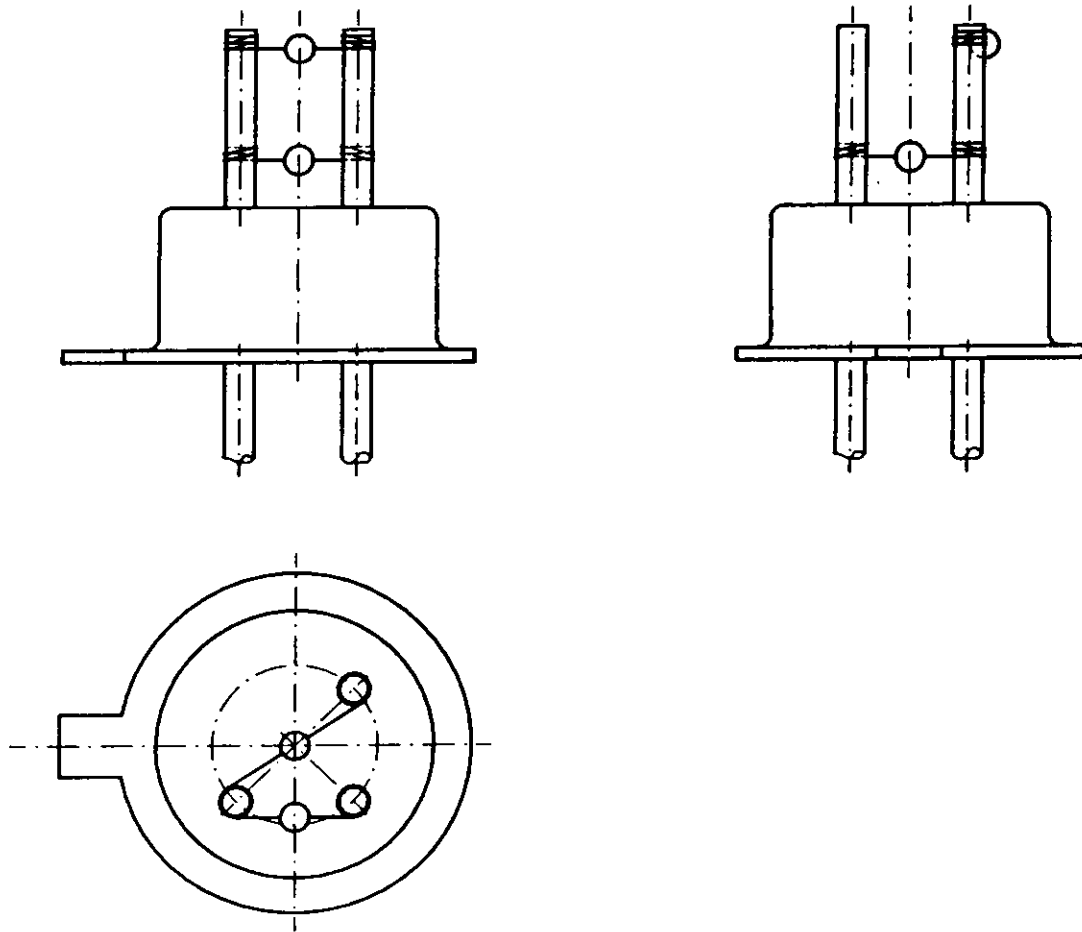


Abbildung Nr.3

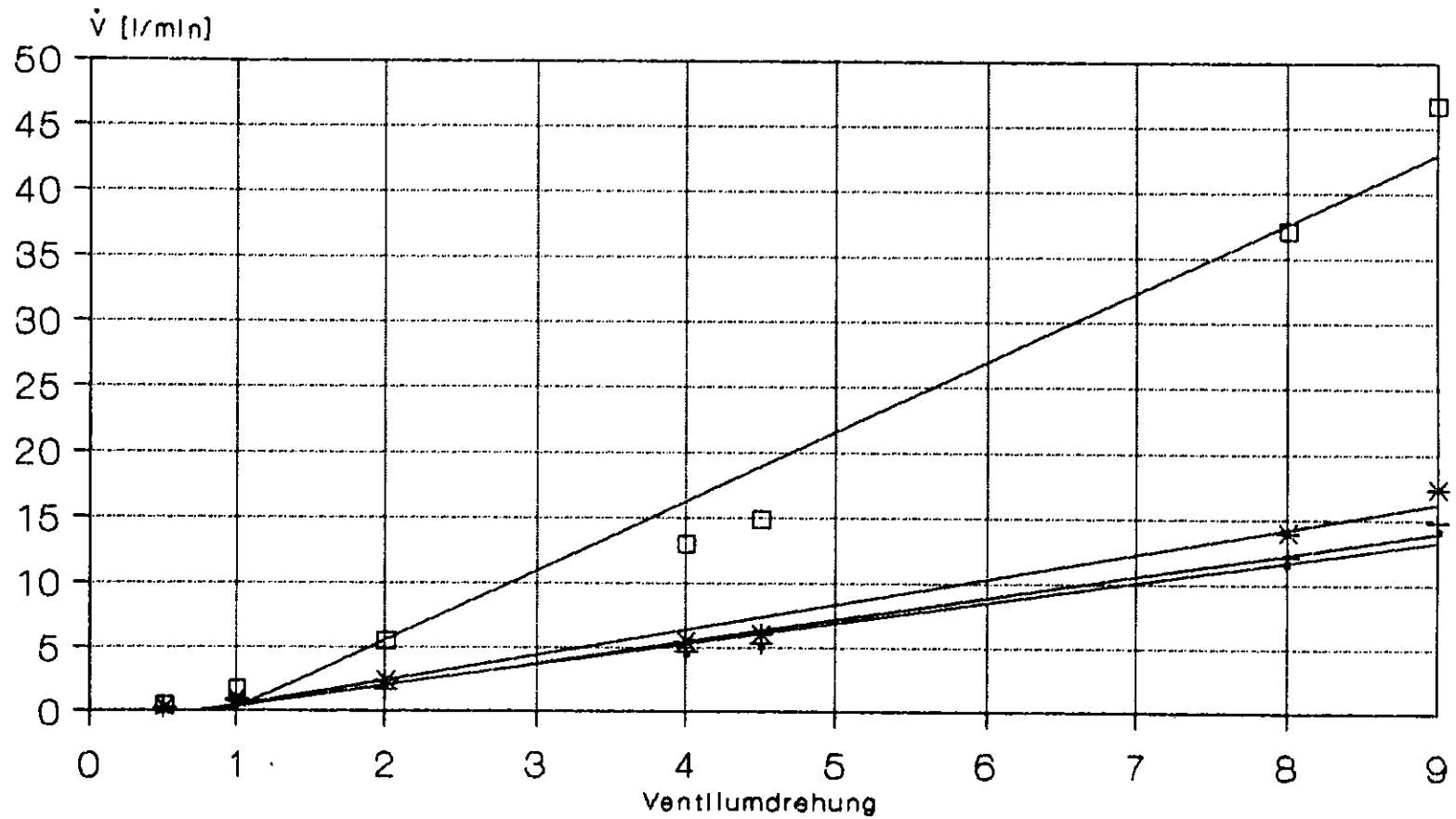


*Die Enden der Thermistoren werden an den Stiften  
des Transistorhalters punktgeschweißt.*

# KUHNKE Regulierventil SP 747.0129

Mittelwert: Vordruck 0,5/1,0/2,0 bar

Abbildung Nr. 4



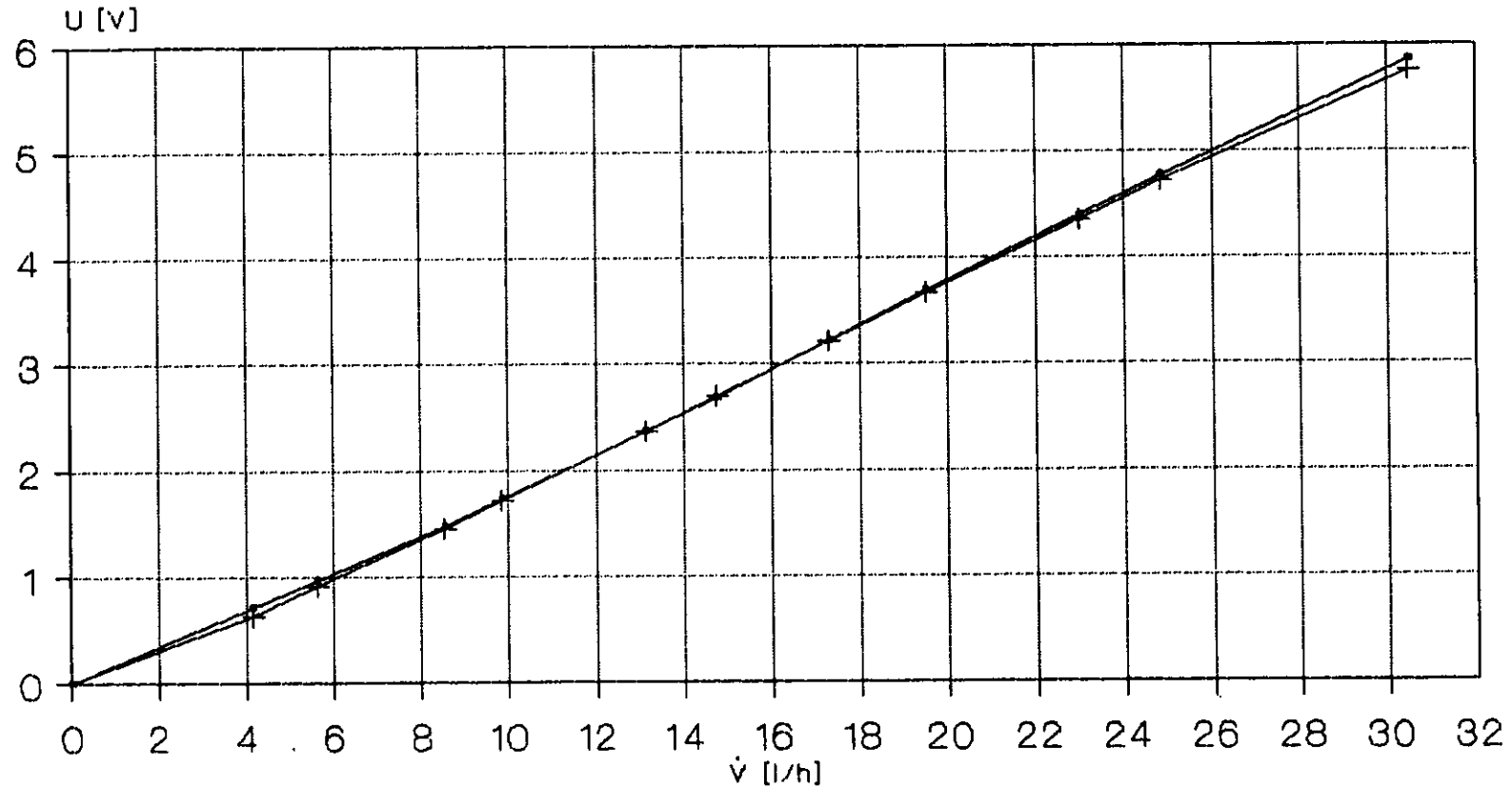
—●— Kohlendioxid    —+— Argon    —\*— Luft    —□— Helium

Meßkanal d = 8 mm

20.2.90  
W. v. Schröder - B 2 - 0018

# Elektronische Durchflußmesser

Medium: Luft  
Druck: 1,0 bar Temp.: 20 °C



—•— A    —+— B    steigd./fallend

Messkanal  $d = 5$  mm  
A: Eintritt B: Austritt

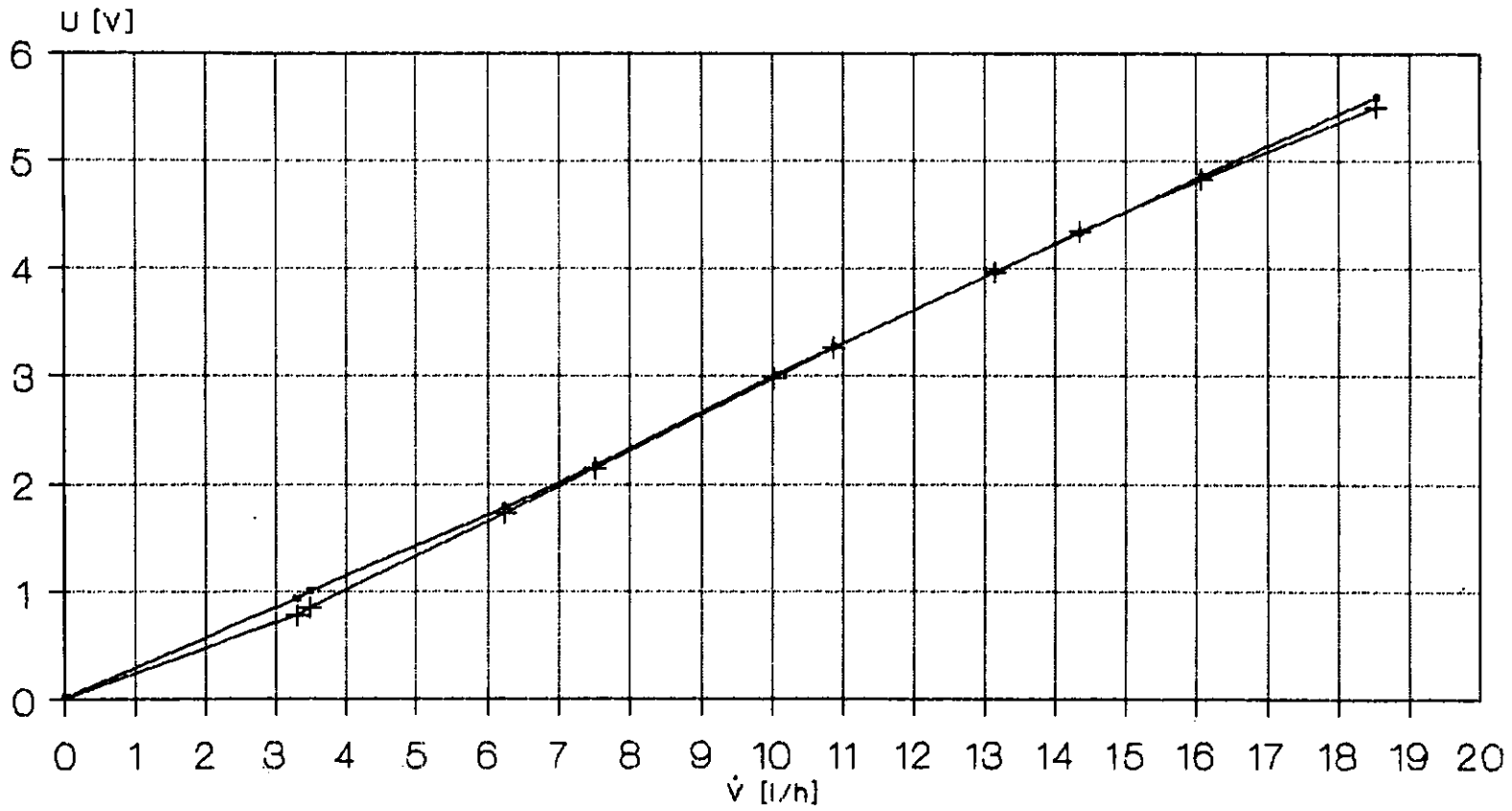
22.2.1990 W. v. Schröder - B 2 - 0001



# Elektronische Durchflußmesser

Medium: Kohlendioxid  
Druck: 1,0 bar Temp.: 20° C

Abbildung Nr. 6



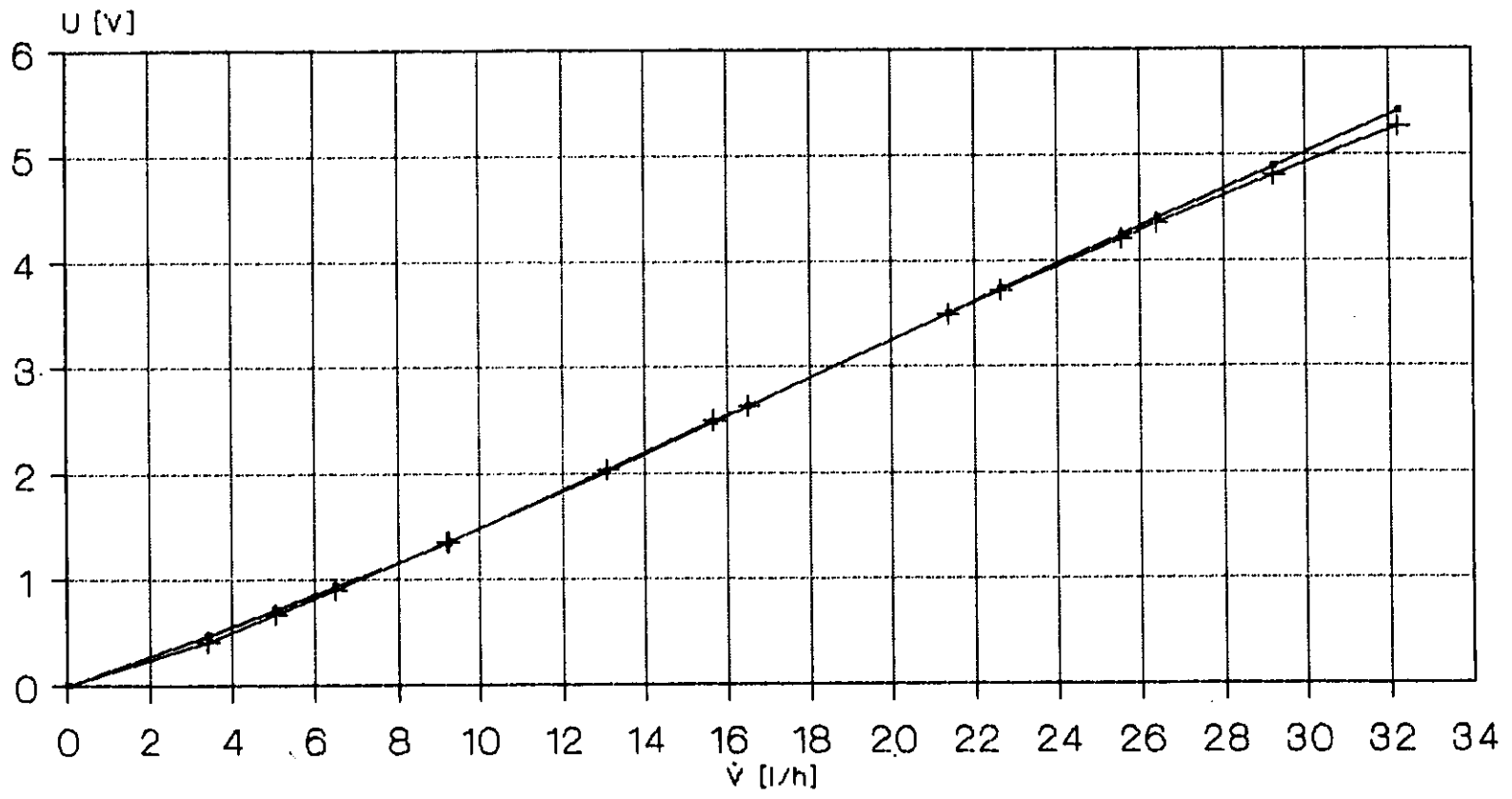
—•— A    —+— B steigd./fallend

Meßkanal d = 6 mm  
A: Eintritt B: Austritt

22.2.1990 W. v. Schröder - B 2 - 0002

### Elektronische Durchflußmesser

Medium: Argon  
Druck: 1,0 bar Temp.: 20 °C



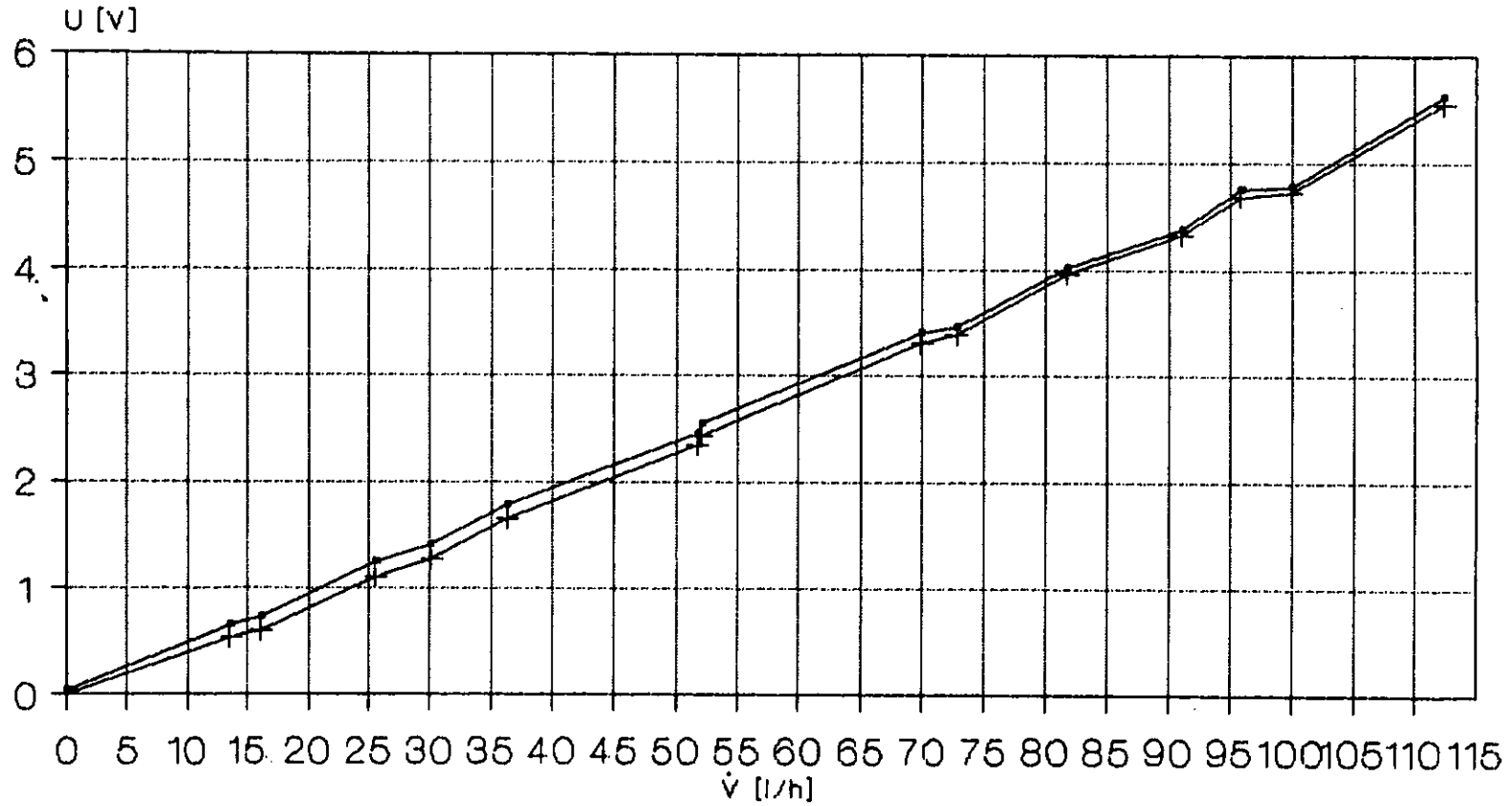
—●— A    —+— B steigd./fallend

Meßkanal d = 6 mm  
A: Eintritt B: Austritt

# Elektronische Durchflußmesser

Medium: Helium  
Druck: 1,0 bar Temp.: 20 °C

Abbildung Nr. 8



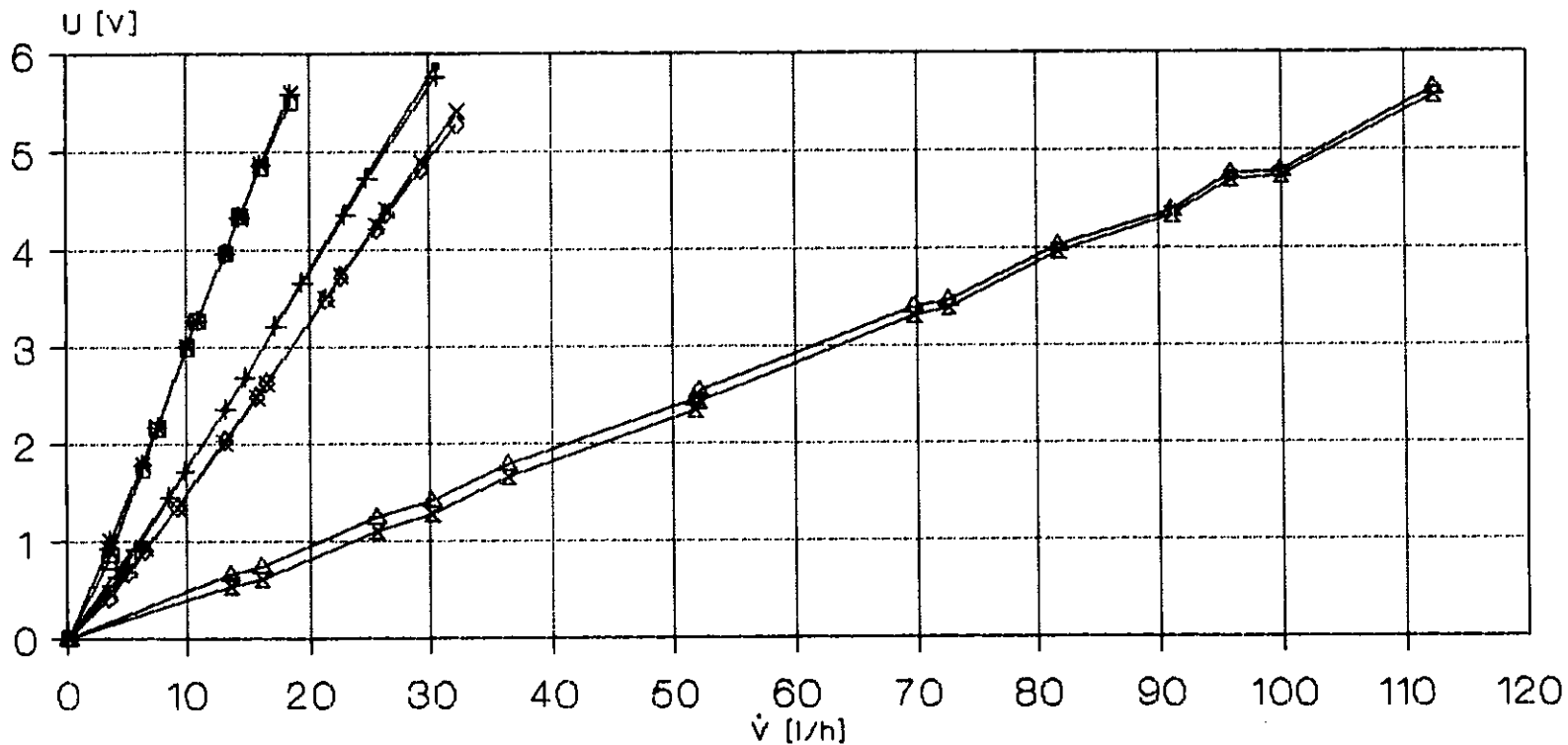
—○— A    —+— B steigd./fallend

Meßkanal  $d = 6$  mm  
A: Eintritt B: Austritt

22.2.1990 W. v. Schröder - B 2 - 0014

# Elektronische Durchflußmesser

Medium: Luft/CO<sub>2</sub>/Ar/He  
Druck: 1,0 bar Temp.: 20 °C



—●— A Luft

—+— B Luft

—\*— A CO<sub>2</sub>

—□— B CO<sub>2</sub>

—×— A Argon

—◇— B Argon

—△— A Helium

—⊠— B Helium

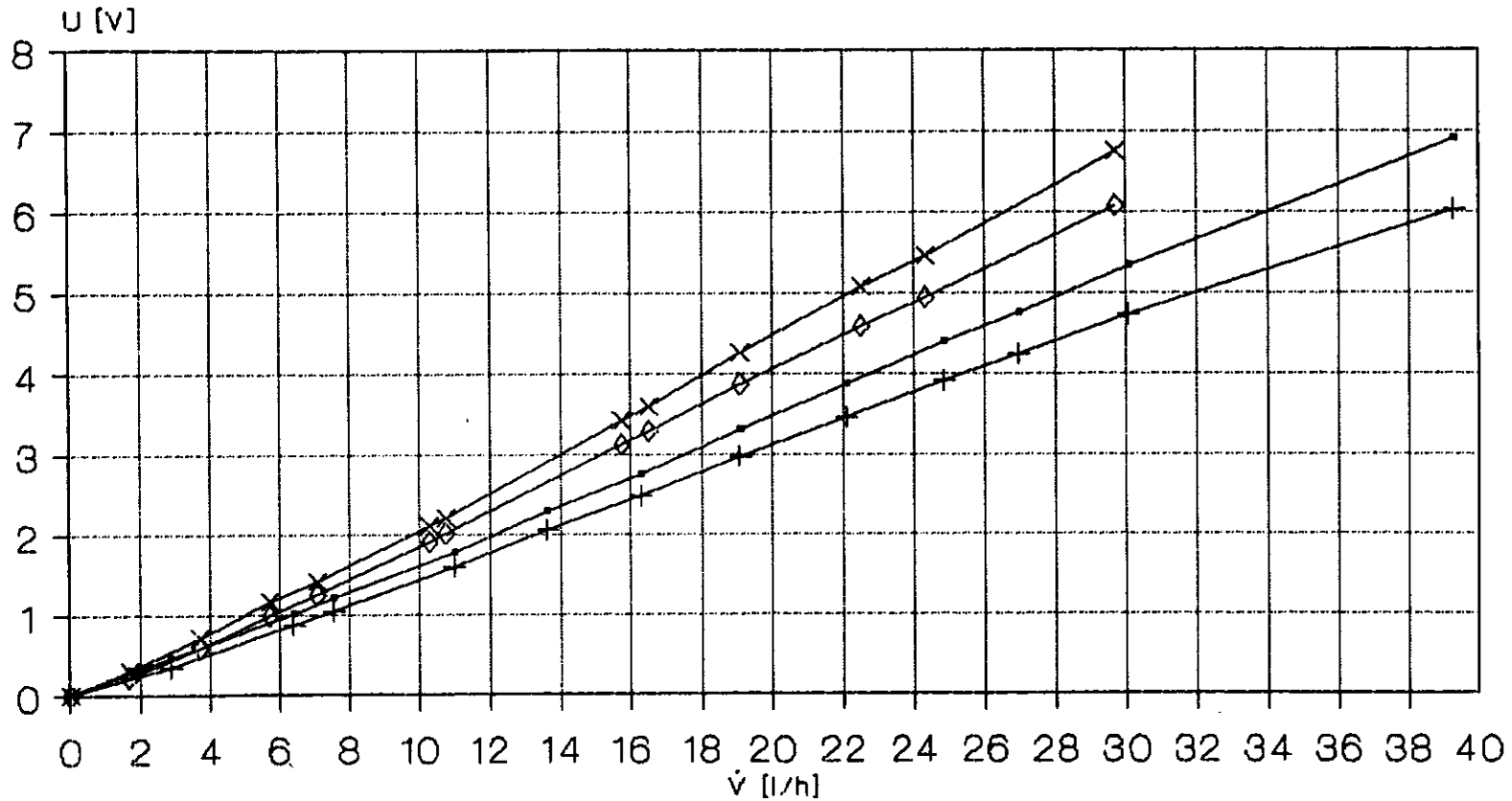
Meßkanal  $d = 5$  mm  
A: Eintritt B: Austritt

22.2.1990 W. v. Bohróder - B 2 - 0025

# Elektronische Durchflußmesser

Medium: Luft

Druck: 1,0 bar Temp.: 20 °C



● A Gain: 0  $\Omega$  + B Gain: 0  $\Omega$  × A Gain: 200 k $\Omega$  ◊ B Gain: 200 k $\Omega$

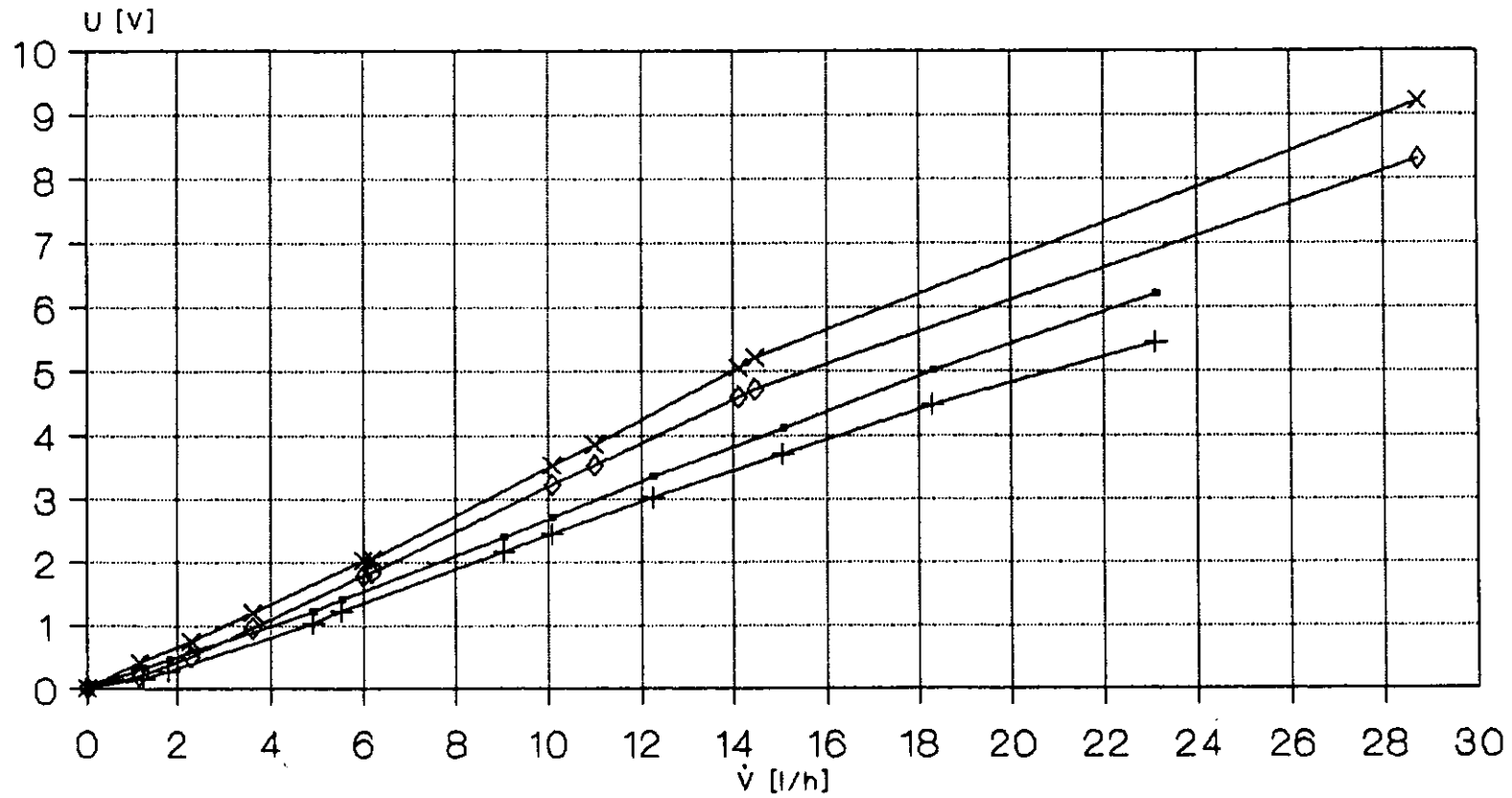
Meßkanal d = 5mm  
A = Eintritt B = Austritt

22.2.90 W. v. Schröder - B 2 - 0019

# Elektronische Durchflußmesser

Medium: Kohlendioxid  
Druck: 1,0 bar Temp.: 20 °C

Abbildung Nr. 11



—•— A Gain: 0  $\Omega$  —+— B Gain: 0  $\Omega$  —\*— A Gain: 200 k $\Omega$  —◇— B Gain: 200 k $\Omega$

Meßkanal d = 5mm  
A - Eintritt B - Austritt

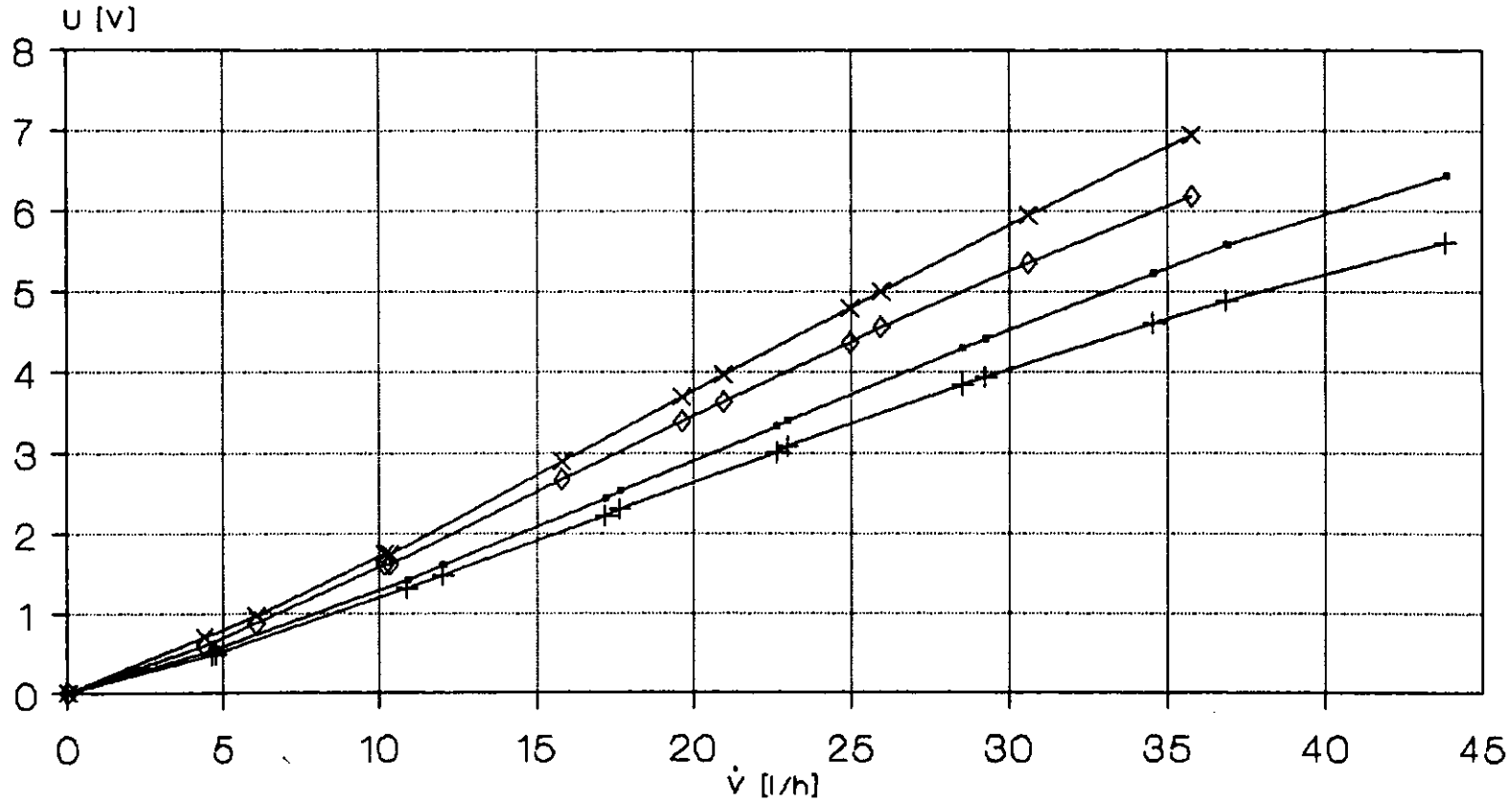
22.2.90 W. v. Schröder - B 2 - 0018

# Elektronische Durchflußmesser

Medium: Argon

Druck: 1,0 bar Temp.: 20 °C

Abbildung Nr. 12



—○— A Gain: 0  $\Omega$  —+— B Gain: 0  $\Omega$  —×— A Gain: 200 k  $\Omega$  —◇— B Gain: 200 k  $\Omega$

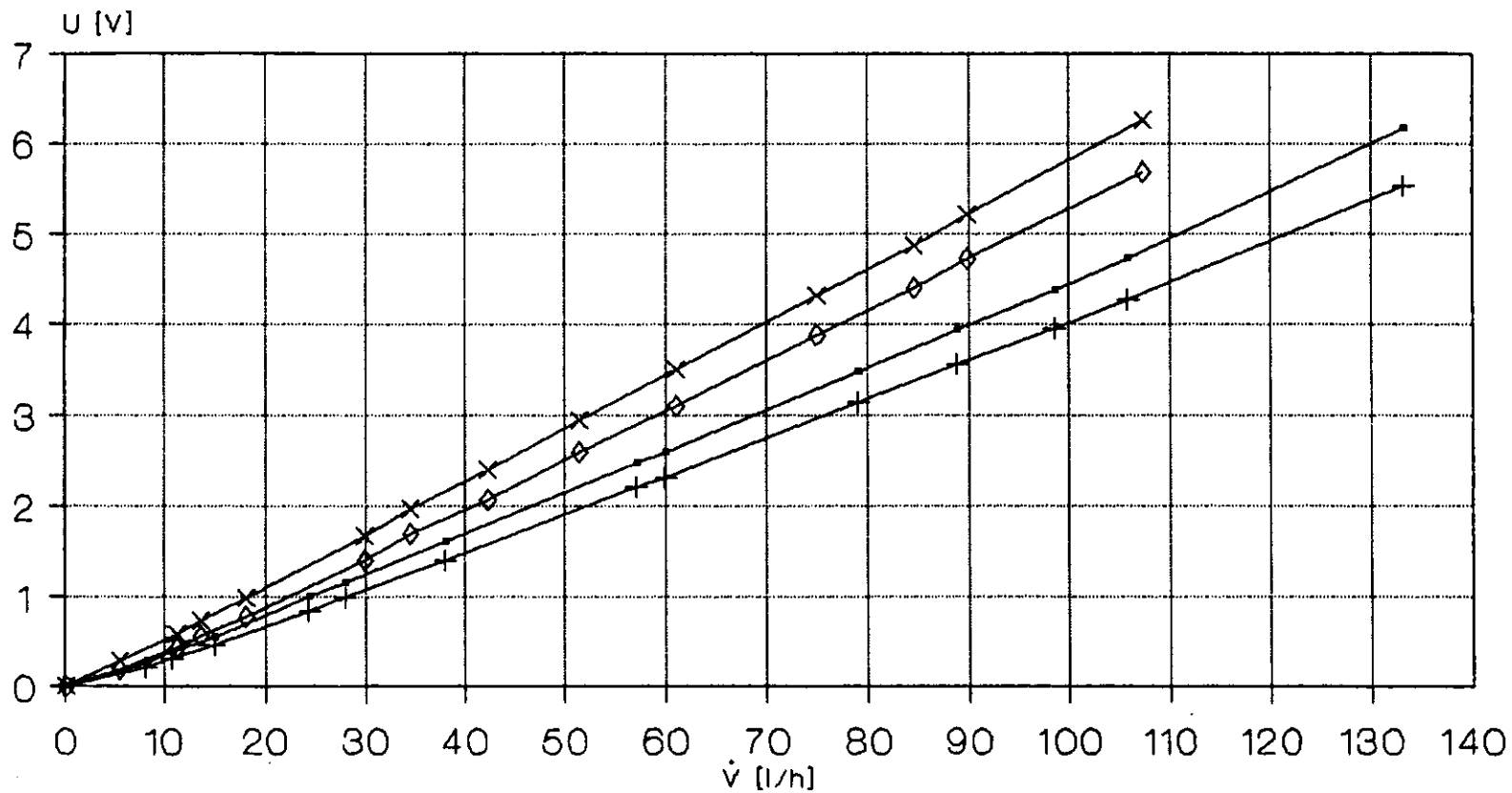
Meßkanal d = 5mm  
A = Eintritt B = Austritt

22.2.90 W. v. Schröder - B 2 - 0017

# Elektronische Durchflußmesser

Medium: Helium  
Druck: 1,0 bar Temp.: 20°C

Abbildung Nr. 13



—•— A Gain: 0  $\Omega$  —+— B Gain: 0  $\Omega$  —x— A Gain: 200 k  $\Omega$  —◇— B Gain: 200 k  $\Omega$

Meßkanal d = 5mm  
A = Eintritt B = Austritt

22.2.90 W. v. Schröder - B 2 - 0020



Abbildung Nr.14      Prototyp des 19" - Modul mit 20 Doppelmeß-  
Systemen für Vor- und Rücklaufüberwachung  
DESY - PROSSER.

