

EUR 3605 d

EUROPÄISCHE ATOMGEMEINSCHAFT — EURATOM

**2,4 MW DRUCK- UND SIEDEWASSERKREISLAUF
ZUR UNTERSUCHUNG DES WÄRMEÜBERGANGS**

von

H. HERKENRATH und P. MÖRK-MÖRKENSTEIN

1967



Gemeinsame Kernforschungsstelle
Forschungsanstalt Ispra — Italien

Hauptabteilung Engineering
Wärmeübertragung

HINWEIS

Das vorliegende Dokument ist im Rahmen des Forschungsprogramms der Kommission der Europäischen Atomgemeinschaft (EURATOM) ausgearbeitet worden.

Es wird darauf hingewiesen, daß die Euratomkommission, ihre Vertragspartner und die in deren Namen handelnden Personen :

keine Gewähr dafür übernehmen, daß die in diesem Dokument enthaltenen Informationen richtig und vollständig sind, oder daß die Verwendung der in diesem Dokument enthaltenen Informationen, oder der in diesem Dokument beschriebenen technischen Anordnungen, Methoden und Verfahren nicht gegen gewerbliche Schutzrechte verstößt;

keine Haftung für die Schäden übernehmen, die infolge der Verwendung der in diesem Dokument enthaltenen Informationen, oder der in diesem Dokument beschriebenen technischen Anordnungen, Methoden oder Verfahren entstehen könnten.

Dieser Bericht wird in den auf der vierten Umschlagseite genannten Vertriebsstellen

zum Preise von DM 4.—	FF 5.—	FB 50	Lit. 620	Fl. 3.60
-----------------------	--------	-------	----------	----------

verkauft.

Es wird gebeten, bei Bestellungen die EUR-Nummer und den Titel anzugeben, die auf dem Umschlag jedes Berichts aufgeführt sind.

Gedruckt von Van Muysewinkel
Brüssel, September 1967

Das vorliegende Dokument wurde an Hand des besten Abdruckes vervielfältigt, der zur Verfügung stand.

EUR 3605 d

2,4 MW DRUCK- UND SIEDEWASSERKREISLAUF ZUR UNTERSUCHUNG
DES WÄRMEÜBERGANGS von H. HERKENRATH und P. MÖRK-
MÖRKENSTEIN

Europäische Atomgemeinschaft — EURATOM
Gemeinsame Kernforschungsstelle — Forschungsanstalt Ispra (Italien)
Hauptabteilung Engineering — Wärmeübertragung
Brüssel, September 1967 - 36 Seiten - 15 Abbildungen - FB 50

Im Zuge der fortschreitenden Entwicklung werden beim Bau von Leichtwasserreaktoren immer höhere Drücke angewandt. Aus diesem Grunde hat die Abteilung für Wärmeübertragung des Euratom Forschungszentrums Ispra ein Programm dahingehend ausgerichtet, den Wärmeübergang an Wasser bei Drücken bis zu 250 bar zu untersuchen.

Der nachfolgende Bericht beschreibt den zur Durchführung dieses Programms entwickelten Kreislauf, welcher Untersuchungen auf breiter Ebene mit Meßstrecken realistischer Abmessungen und mit Leistungen bis zu 2,4 MW erlaubt.

EUR 3605 d

2.4 MW PRESSURE AND BOILING-WATER LOOP FOR HEAT TRANSFER
STUDIES by H. HERKENRATH and P. MÖRK-MÖRKENSTEIN

European Atomic Energy Community — EURATOM
Joint Nuclear Research Center — Ispra Establishment (Italy)
Engineering Department — Heat Transfer
Brussels, September 1967 - 36 Pages - 15 Figures - FB 50

One of the most significant directions of the development of light water reactors is the application of higher system pressure.

This development led to an extensive experimental program in the framework of the heat transfer division of the Research Center of Euratom at Ispra, in the investigation of heat transfer with water in the pressure range up to 230 bar.

The following report describes the experimental facilities of this program, with special regard to the water test loop which allows investigations of test sections of realistic dimensions with a maximum power input of 2.4 MW.

EUR 3605 d

2.4 MW PRESSURE AND BOILING-WATER LOOP FOR HEAT TRANSFER
STUDIES by H. HERKENRATH and P. MÖRK-MÖRKENSTEIN

European Atomic Energy Community — EURATOM
Joint Nuclear Research Center — Ispra Establishment (Italy)
Engineering Department — Heat Transfer
Brussels, September 1967 - 36 Pages - 15 Figures - FB 50

One of the most significant directions of the development of light water reactors is the application of higher system pressure.

This development led to an extensive experimental program in the framework of the heat transfer division of the Research Center of Euratom at Ispra, in the investigation of heat transfer with water in the pressure range up to 230 bar.

The following report describes the experimental facilities of this program, with special regard to the water test loop which allows investigations of test sections of realistic dimensions with a maximum power input of 2.4 MW.

EUR 3605 d

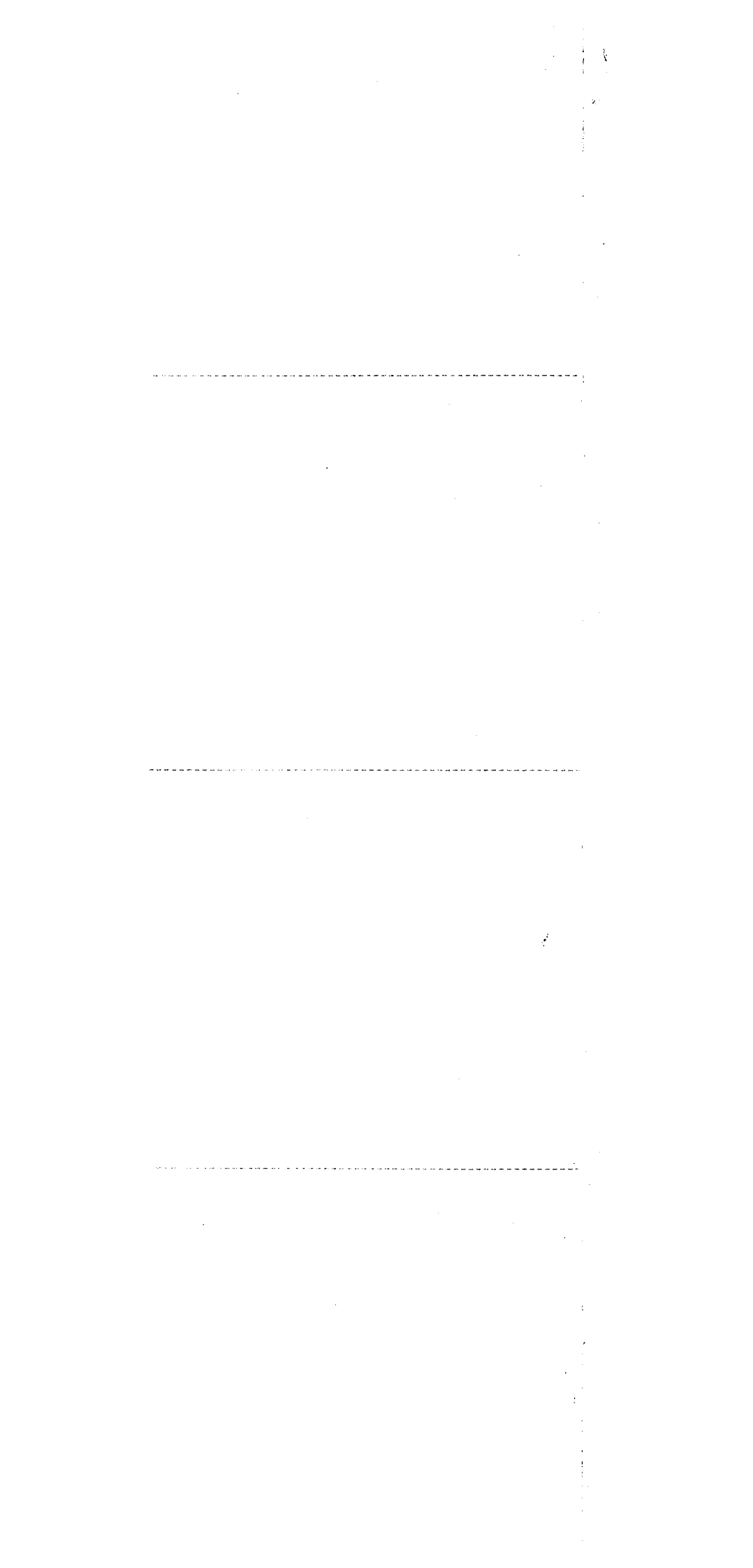
2.4 MW PRESSURE AND BOILING-WATER LOOP FOR HEAT TRANSFER
STUDIES by H. HERKENRATH and P. MÖRK-MÖRKENSTEIN

European Atomic Energy Community — EURATOM
Joint Nuclear Research Center — Ispra Establishment (Italy)
Engineering Department — Heat Transfer
Brussels, September 1967 - 36 Pages - 15 Figures - FB 50

One of the most significant directions of the development of light water reactors is the application of higher system pressure.

This development led to an extensive experimental program in the framework of the heat transfer division of the Research Center of Euratom at Ispra, in the investigation of heat transfer with water in the pressure range up to 230 bar.

The following report describes the experimental facilities of this program, with special regard to the water test loop which allows investigations of test sections of realistic dimensions with a maximum power input of 2.4 MW.



EUR 3605 d

EUROPÄISCHE ATOMGEMEINSCHAFT — EURATOM

2,4 MW DRUCK- UND SIEDEWASSERKREISLAUF ZUR UNTERSUCHUNG DES WÄRMEÜBERGANGS

von

H. HERKENRATH und P. MÖRK-MÖRKENSTEIN

1967



Gemeinsame Kernforschungsstelle
Forschungsanstalt Ispra — Italien

Hauptabteilung Engineering
Wärmeübertragung

Zusammenfassung

Im Zuge der fortschreitenden Entwicklung werden beim Bau von Leichtwasserreaktoren immer höhere Drücke angewandt. Aus diesem Grunde hat die Abteilung für Wärmeübertragung des Euratom Forschungszentrums Ispra ein Programm dahingehend ausgerichtet, den Wärmeübergang an Wasser bei Drücken bis zu 250 bar zu untersuchen.

Der nachfolgende Bericht beschreibt den zur Durchführung dieses Programms entwickelten Kreislauf, welcher Untersuchungen auf breiter Ebene mit Meßstrecken realistischer Abmessungen und mit Leistungen bis zu 2,4 MW erlaubt.

SCHLAGWORTE

REACTORS
WATER COOLANT
PRESSURE
HEAT TRANSFER

COOLANT LOOPS
MOCKUP
TESTING
DESIGN

Inhaltsverzeichnis

1.	Die Versuchsanlage	5
1.1.	Die Umwälzpumpe	7
1.2.	Die Verdampfungskühler	7
1.3.	Das Trenngefäß	8
1.4.	Der Druckhalter	8
2.	Die elektrische Anlage	9
2.1.	Die 2,4 MW Gleichstrom Anlage	9
2.2.	Die Umwälzpumpe	9
2.3.	Der Druckhalter	10
2.4.	Elektrische Hilfsantriebe	10
2.5.	Verriegelungen	10
2.5.1.	Pumpen-Anfahrverriegelung	10
2.5.2.	Gleichrichter-Einschaltverriegelung	10
2.5.3.	Druckhalter-Verriegelung	11
2.5.3.1.	Niveauabsenkung	11
2.5.3.2.	Druckabsenkung	11
2.5.3.3.	Druckerhöhung	11
2.5.4.	Not-aus	11
2.6.	Akustische und optische Signalisierung	12
3.	Kontrollinstrumentierung	12
3.1.	Kreislauf-Temperaturen	12
3.2.	Durchfluß	12
3.3.	Druck	13
3.4.	Niveaueontrolle Trenngefäße	13
3.5.	Niveaueontrolle Kühler und Kondensator	13
4.	Meßeinrichtung	13
4.1.	Temperatur	13

4.1.1.	Mediumtemperatur	13
4.1.2.	Meßstrecken-Temperaturen	13
4.2.	Durchfluß	14
4.3.	Druck	14
4.4.	Elektrische Größen	14
4.4.1.	Strom	14
4.4.2.	Spannung	15
5.	Elektrische Isolierung der Meßstrecken	15
6.	Anfahrvorgang	15
7.	Eichung der Durchflußmeßgeräte	16
	Abbildungen	

Der Druck- und Siedewasserkreislauf der Abteilung für Wärmeübertragung des Forschungszentrums Ispra wurde mit dem Ziel geplant, in ihm Kühlkanäle für projektierte Reaktoren in wärme- und strömungstechnischer Hinsicht zu erproben. Außerdem sollte die Anlage auch geeignet sein, eingehende fundamentale Untersuchungen auf dem Gebiet des Wärmeübergangs durchzuführen. Dabei war in erster Linie an Untersuchungen des Wärmeübergangs bei hohem Druck unter hohen Heizflächenbelastungen gedacht. Auf Grund dieser Gesichtspunkte wurde der Kreislauf für die folgenden Betriebswerte ausgelegt:

max. Druck	$p = 250 \text{ bar}$
max. Fördermenge	$Q_v = 30 \text{ und } 100 \text{ m}^3/\text{h}$
max. Förderhöhe	$\Delta p = 300 \text{ und } 120 \text{ mFS}$
max. mögliche Wärmezufuhr	$P = 2,4 \text{ MW}$
max. Temperatur :	
Kreislauf	$T_k = 450^\circ\text{C}$
Pumpe	$T_p = 364^\circ\text{C}$
Einbauhöhe für Meßstrecken	$l = 7 \text{ m}$

Als Kühlmittel dient vollentsalztes und entgastes Wasser.

Seit der Inbetriebnahme wurden Versuchsstrecken verschiedenster Art untersucht, vor allem glatte Rohre, jedoch auch Rohrbündel, Rohrspiralen, Ringspaltgeometrien und Meßstrecken zur Sichtbarmachung von Strömungsformen (Abb. 13, 14, 15). Eine ausführliche Beschreibung der Anlage wird zeigen, wie breit die Nutzungsmöglichkeit des Kreislaufes ist.

1. Die Versuchsanlage

Den Aufbau der Gesamtanlage zeigen Abb.1 und 2. Der Kreislauf arbeitet als geschlossenes System im Zwangsumlauf. Seine wesentlichen Bauelemente sind - wenn man von der Meßstrecke absieht - Pumpe, Trenngefäß, Druckhalter, Kondensator und Kühler. Die Arbeitsweise des Kreislaufes veranschaulicht das Mengestrombild Abb.3.

Manuskript erhalten am 20. Juni 1967.

Das von der Reaktorpumpe (1) umgewälzte Wasser kann zur Regelung des Durchsatzes wahlweise durch drei Rohrstränge mit verschiedenen Nennweiten und den dazugehörigen Regelventilen (2,3,4) geleitet werden. Die Rohrstränge und Ventile mit den entsprechenden Nennweiten NW 25, NW 40 und NW 50 sind so ausgelegt, daß der gesamte Mengenbereich in drei Stufen jeweils im Verhältnis 1:10 durchfahren werden kann. Im Anschluß an die Mengenregelung ist der Einbau verschiedener Meßstrecken (6) bis zu einer Länge von 7 m möglich.

Das aus der Versuchsstrecke austretende Wasserdampfgemisch wird in das Trenngefäß (7) geleitet. Der aus dem Trenngefäß austretende Dampf wird im Kondensator (8) niedergeschlagen und das Kondensat im unteren Teil des Trenngefäßes dem Wasser wieder beigemischt.

Von hier aus wird der Gesamtmengestrom dem Kühler (9) zugeleitet. In diesem wird das Medium auf die gewünschte Meßstreckeneintrittstemperatur heruntergekühlt und tritt dann wieder in die Pumpe ein.

Zur Stabilisierung des Druckes im Kreislauf, unabhängig von der Belastung der Meßstrecke, ist der Druckhalter (10) zwischengeschaltet.

Eine zusätzliche Vorheizung, von etwa 400 kW, welche es ermöglicht in die Meßstrecke bereits mit einem vorgegebenen Dampfgehalt einzutreten, ist geplant.

Da der erforderliche Mengendurchsatz oft sehr niedrig ist, die Pumpe jedoch entsprechend ihrer $Q - h$ - Linie nicht unter einer Mindestmenge betrieben werden darf, ist der Bypaß mit dem Regelventil (5) vorgesehen.

Um bei einem Bruch (burn-out) der Meßstrecke den Austritt von Hochdruckdampf aus dem Kreislauf zu vermeiden, ist das Schnellschlußventil (11) eingebaut.

Alle von Wasser umspülten Teile sind aus austenitischen Sonderstählen DIN-Bez. X8CrNiNb 1613 Werkstoff Nr. 1.4961 und DIN-Bez. X10CrNiMoNb 1810 Werkstoff Nr. 1.4580 gefertigt.

Als Kühlmittel dient, wie bereits erwähnt, vollentsalztes und entgastes Wasser mit einer elektrischen Leitfähigkeit von 0,2 Mikro-Siemens.

1.1. Die Umwälzpumpe

Die zur Verfügung stehenden Pumpen sind 3-stufige, senkrechte stopfbuchslose Umwälzpumpen, die sich hinsichtlich Fördermenge und Förderhöhe unterscheiden.

Pumpe I (KSB, Abb.4a)	: Fördermenge	max.	100 m ³ /h
		min.	40 m ³ /h
	Förderhöhe	120 m FS	
	Drehzahl	2920 U/min	
Pumpe II (Stork, Abb.4b)	: Fördermenge	max.	30 m ³ /h
		min.	18 m ³ /h
	Förderhöhe	300 m FS	
	Drehzahl	2920 U/min	

Beide Pumpen sind ausgelegt für eine max. Temperatur von 364^oC bei einem Betriebsdruck von 250 bar.

Dabei dürfen die Temperaturen im Motorteil bei Pumpe I 180^oC und bei Pumpe II 165^oC nicht überschreiten.

Um ein einwandfreies Arbeiten der Pumpe zu gewährleisten muß die Temperatur am Einlauf mindestens 20^oC unter der Siedetemperatur liegen.

Beide Pumpen sind mit Hochdruckkühlern ausgerüstet, in denen die im Motor erzeugte und die vom Kühlmittel übertragene Wärme abgeführt wird. (Schaltung s. 2.2., Verriegelung 2.5.).

1.2. Die Verdampfungskühler

Kühler und Kondensator sind als Verdampfungs-Wärmeaustauscher ausgebildet, d.h. das zur Kühlung verwendete Wasser verdampft, wodurch die gesamte Verdampfungswärme zur Verfügung steht und daher nur sehr geringe Kühlwassermengen benötigt werden.

Die Wärmeaustauschfläche besteht aus Duplex-Rohren (austenitisches Innenrohr mit übergezogenem Messingrohr). Dadurch, daß das Messingrohr nicht metallisch mit dem Austenitrohr verbunden ist,

verbleibt ein sehr schmaler Luftspalt, der den Wärmeübergang soweit verschlechtert, daß in dem austenitischen Rohr die Wärmespannungen in der Rohrwand unter einem vertretbaren Maß liegen. Vor allem gilt dies für die extremen Bedingungen bei 250 bar. Die Temperaturdifferenz zwischen dem Wasser im Rohr und dem Kühlwasser außen kann hierbei auf 300°C ansteigen, ohne daß der Wärmeübergang durch eine partielle Filmbildung gestört wird.

Sowohl Kühler als auch Kondensator sind für maximale Leistungen von je 1,2 MW ausgelegt, wobei diese Leistung durch die Höhe des Wasserstandes in weiten Grenzen geregelt werden kann. Die Regelung geschieht mittels eines Überlaufsystems, bestehend aus einem Mantelrohr und einem festen und losen Mittelrohr. Das Kühlwasser wird in das Mantelrohr gepumpt, das kommunizierend mit dem Mantelraum des Kühlers bzw. des Kondensators verbunden ist. Stellt man das lose Mittelrohr - mit Hilfe eines elektrischen Stellgetriebes - auf die gewünschte Höhe ein, so fließt das überschüssige Wasser durch die Rohre ab. (Niveauregelung siehe 2.4).

1.3. Das Trenngefäß

Das Trenngefäß besteht aus zwei senkrecht angeordneten Trommeln in denen die Trennung von Wasser und Dampf mittels Schwerkraft vorgenommen wird.

1.4. Der Druckhalter

Der Druckerzeuger bzw. Druckkonstanthalter ist bei einer Leistung von 40 kW für eine Druckwassererwärmung bis zu 250 bar und 400°C ausgelegt.

Er besteht aus 6 Patronen-Heizkörpern in Wendelteller - Ausführung mit einem Durchmesser von 37 mm und einer Länge von 2450 mm in senkrechter Anordnung. Spannung 380 Volt mit einphasigem Anschluß von je 6500 Watt. (siehe 2.3. und 2.5.).

2. Die elektrische Anlage

2.1. Die 2,4 MW Gleichstrom-Anlage

Die zur Zeit betriebsbereite Gleichstrom-Anlage besteht aus 8 Gleichrichter Einheiten von je 300 kW (Abb.5), die über Leistungsschalter und Schütze von der Schaltanlage aus fernbedient werden können.

Eine Umschaltung auf der Gleichstromseite erlaubt das Arbeiten mit folgenden Spannungs-Stufen :

384 V	-	6250 Amp
192 V	-	12500 Amp
96 V	-	25000 Amp
48 V	-	50000 Amp
(24 V	-	100000 Amp)

Die Spannung kann bis zu den entsprechenden Maximalwerten über Stelltransformatoren von 0 bis 100% stufenlos eingestellt werden. Die Verbindung zur Meßstrecke ist über Cu-Stromschienen hergestellt, in die verschiedene Shunts zur Strommessung eingebaut sind. Die Querschnittsfläche der Stromschienen beträgt 42000 mm^2 , ausgelegt für einen Dauerstrom von 50000 Amp und einen kurzzeitigen Strom von 100000 Amp.

Über einen Steuerschrank kann in "Einzel" - oder "Parallel" - Betrieb umgeschaltet werden.

Für "burn-out"-Versuche sind auf der Primärseite der Stelltransformatoren 630 Amp Schnell-Schalter (Sace) vorgesehen mit einer Abschaltzeit von 20 ms.

Für 4 Gleichrichter sind zur Konstanthaltung der Primärspannung Doppeldrehregler eingebaut.

Weitere Einzelheiten zeigt das Blockschaltbild (Abb.6). (Verriegelung siehe 2.5.2.).

2.2. Die Unwälzpumpe

Die Unwälzpumpe wird von der Schaltanlage aus über einen Leistungsschalter und ein Schütz fernbedient. (Verriegelung siehe 2.5.1.).

2.3. Der Druckhalter

Der Druckhalter wird ebenfalls von der Schaltanlage über einen Leistungsschalter und ein Schütz fernbedient. Zur Regelung der Heizleistung ist ein 40 kW Transduktor vorgeschaltet, der vom Schaltpult aus über eine Konstantstromquelle mit ± 10 mA Aussteuerung betätigt wird.

(Verriegelung siehe 2.5.3.)

2.4. Elektrische Hilfsantriebe

Die Regelventile (5) (Bypass) und (2,3,4) (Meßstrecken-Eintritt) sowie das Ausdampfventil (siehe 6) sind mit Reinecke-Antrieben versehen. Die Steuerung wird vom Schaltpult aus vorgenommen. Die Niveaueinstellung in Kühler und Kondensator geschieht über Stellmotore, die ebenfalls vom Schaltpult aus betätigt werden. Weitere Hilfseinrichtungen siehe Blockschaltbild (Abb. 6).

2.5. Verriegelungen

Zur Vermeidung von Bedienungsfehlern sind Verriegelungen und Sicherungen eingebaut.

2.5.1. Pumpen-Anfahrverriegelung

Die Umwälzpumpe kann nur eingeschaltet werden, wenn die Regelventile (5) und (2,3,4) geschlossen sind.

2.5.2. Gleichrichter-Einschaltverriegelung

Die Gleichrichter können nur in Betrieb genommen werden, wenn die Lüfter und die Stellmotoren für die Doppeldrehregler (Spannungskonstanthalter) eingeschaltet sind.

Bei Ausfall eines Lüfters oder Stellmotors fällt der entsprechende Leistungsschalter ab.

Bei stehender Umwälzpumpe lassen sich die Leistungsschalter für die Gleichrichter nicht einschalten. Fällt die Pumpe während des Betriebs aus, schalten die Leistungsschalter die gesamte Gleichrichtergruppe sofort ab.

2.5.3. Druckhalter-Verriegelung

Während einer Versuchsperiode wird der Kreislauf durch eine automatische Regelung über Nacht betriebsbereit unter Druck (je nach Versuchsprogramm ca. 50-150 bar) gehalten. Als Regler dient ein Zweipunkt-Fallbügel-Regler und als Meßwertgeber ein Kolbenmanometer (Siemens). Die dabei erforderliche Sicherheit ist durch eine mehrfache Verriegelung gewährleistet.

2.5.3.1. Bei Niveauabsenkung d.h. bei Wasserverlust unter einen Mindeststand durch unerwartetes Leck wird über einen Fallbügelregler der Leistungsschalter abgeschaltet.

2.5.3.2. Bei Druckabsenkung tritt ein am oberen Teil des Trenngefäßes angebrachtes Kontaktmanometer in Funktion und schaltet das Schütz ab.

2.5.3.3. Eine Druckerhöhung ist durch eine dreifache Verriegelung abgesichert.

I. Stufe : Bei Druckanstieg auf 170 at schaltet Druckschalter I, parallel angebracht zum Kontaktmanometer (2.5.3.2.) das Schütz ab.

II. Stufe : Fällt der Druckschalter I aus, so tritt bei weiterem Druckanstieg Druckschalter II am Kondensator in Funktion. Letzterer schaltet bei Erreichen von 190 at den entsprechenden Leistungsschalter und damit die Heizleistung ab.

III. Stufe : Sollte auch Druckschalter II nicht ansprechen, so dient als dritte Drucksicherung eine Berstscheibe. Diese ist für einen Druck von 227 at ($\pm 10\%$) ausgelegt.

2.5.4. Not-aus

Bei Bruch der Meßstrecke ist es erforderlich, daß die gesamte Heizleistung (Gleichrichter und Druckerzeuger) sofort abgeworfen wird und die Ventile (2,3,4) sowie das Schnellschlussventil (11) zugefahren werden.

Diese Funktionen sind auf einem "Not-aus"-Schalter im Schalt-pult vereinigt.

2.6. Akustische und optische Signalisierung

Das Fehlen verschiedener Funktionen während des Betriebes wird durch Hup- und Lichtsignale angezeigt. Es wird angezeigt :

- 1 - Fehlen des Kühlwassers für die Umwälzpumpe
- 2 - Kühlwassertemperatur für Pumpe ist zu hoch (max. 80°C)
- 3 - Konstantstromquellen ausgefallen
- 4 - Ist bei Umstellung auf Nachtbetrieb die "Automatic" für Druckregelung nicht eingeschaltet, leuchtet Signal "P₃ Alarm fehlt" auf
- 5 - Wird "Not-aus" gedrückt und werden damit die Regelventile (2,3,4) und das Schnellschlußventil (11) geschlossen, so leuchtet Signal "Ventile zu" auf, ebenso bei Netzausfall. Die Ventile (2,3,4) lassen sich erst dann wieder verstellen, wenn "Ventile zu" quittiert ist und das Signal erlischt.

3. Kontrollinstrumentierung

3.1. Kreislauftemperaturen

An 12 wichtigen Stellen im Kreislauf sind Thermolemente angebracht, die fortlaufend die Temperaturen an diesen Stellen überwachen und über einen 12-Punktendrucker (Polycomp H & B) registrieren.

Ein weiteres Thermolement, welches die Pumpenkühlwassertemperatur überwacht, ist zusätzlich auf einen Fallbügelregler geführt, der bei zu hoher Kühlwassertemperatur Licht- und Hup-Signal auslöst.

3.2. Durchfluß

Zur Überwachung des Durchflusses steht eine Bartonzelle in Verbindung mit einem Anzeigegerät und einem Linienschreiber zur Verfügung.

Die Bartonzelle ist parallel zu einem U-Rohrmanometer (siehe 4.2.) an einer Meßblende angeschlossen.

3.3. Druck

Zur Kontrolle des Betriebsdruckes dienen mehrere Rohrfeder-
manometer (Anzeigebereich 0 - 400 atü).

3.4. Niveauekontrolle Trenngefäß

Das Niveau in den Trommeln des Trenngefäßes wird über Barton-
zellen (3600 mm WS) an Schalttafelinstrumenten angezeigt.

3.5. Niveauekontrolle Kühler und Kondensator

Das Kühlwasserniveau in Kühler und Kondensator wird ebenfalls
an Schalttafelinstrumenten angezeigt. Als Meßwertgeber dienen
Rohrfedermanometer (3000 mm WS).

4. Meßeinrichtung

4.1. Temperatur

4.1.1. Die Mediumtemperatur

an Ein- und Austritt der Versuchsstrecke wird mit eingeschweißten
Mantel-Thermoelementen gemessen.

4.1.2. Meßstrecken-Temperaturen

Zur Registrierung der Temperaturen an der Versuchsstrecke
selbst steht für den stationären Zustand ein Integral-Digital-
Voltmeter (Hewlett-Packard) einschließlich eines Datendruckers
zur Verfügung.

Um eine Messung möglichst schnell abwickeln zu können, ist ein
automatischer Meßstellenumschalter, an den bis zu 600 Meßstellen
angeschlossen werden können, eingebaut.

Nichtstationäre Messungen können entweder mit Linienschreibern
(Linecomp H & B, Güteklasse 0,25%) oder mit einem Lichtstrahl-
schnellschreiber mit 22 Kanälen (H & B Lumiscript) durchgeführt
werden.

Zur Nullpunktsunterdrückung dient ein Knick-Normalspannungsgeber.

Außerdem kann während des Anfahrens und während der Neueinstellung einer Messung ein Teil der Meßstrecken-Temperaturen über 20 Profilanzeigeegeräte (Anzeigebereich 0 - 800°C) beobachtet werden.

Diese Anzeigeegeräte sind über Relais abschaltbar.

4.2. Durchfluß

Entsprechend der benötigten Kühlmittelmenge können wahlweise zwei Blendenmeßstrecken eingebaut werden. In jeder dieser Meßstrecken sind zwei Ringkammern vorhanden zur Aufnahme von Meßblenden mit verschiedenen Durchmessern. (Eichung siehe 7). Der Wirkdruck wird mit Quecksilber-U-Rohr-Manometern (Debro, ND 400, Meßbereich 800 mm Q.S., Ablesegenauigkeit 1/10 mm Q.S.) mit magnetischer Anzeige gemessen (Abb.8).

4.3. Druck

Die an Ein- und Austritt gemessenen Drücke sowie der Systemdruck werden über Siemens-Drehkolbenmanometer aufgenommen (Anzeigefehler 0,1% vom Meßbereich-Endwert) (Abb.8).

Meßspanne 6 at

Nullpunktsunterdrückung minimal 12 at

maximal 258 at

Zur Messung des Druckverlustes an der Versuchsstrecke ist an den Druckmeßstutzen von Ein- und Austrittsdruck ein Quecksilber-U-Rohr-Manometer (Debro, ND 400, Meßbereich 2400 mm Q.S., Ablesegenauigkeit 2/10 mm Q.S.) angeschlossen.

4.4. Elektrische Größen

4.4.1. Die Strommessung geschieht mittels Iso-Shunts von 15000, 30000 und 60000 A (Compagnie des Compteurs, Güteklasse 0,1%) an welche ein Linienschreiber bzw. ein Millivolt-Spiegelgalvanometer (Klasse 0,5%) angeschlossen ist.

4.4.2. Die Spannung kann entweder an einem Digital-Voltmeter abgelesen oder mit einem Linienschreiber registriert werden. Außerdem können verschiedene direktanzeigende Tischinstrumente (Drehspul- oder Dreheiseninstrumente, Klasse 0,2) verwendet werden.

5. Elektrische Isolierung der Meßstrecken

Die überwiegend verwendete Form der Direktbeheizung macht eine strom-isolierte Aufhängung der Meßstrecken erforderlich. Dazu wurde eine im Institut für Wärmeübertragung entwickelte Flanschverbindung^{x)} gewählt, bei der Isolierringe aus SPK-Oxydkeramik (Al_2O_3) verwendet werden.

Abb.9 zeigt derartige Flanschverbindungen und Abb.10 Isolierringe und Dichtungskörper verschiedener Größe und Ausführung. Zur Erhöhung der Dichtwirkung des linsenförmigen Dichtkörpers und zur teilweisen Kompensierung der unterschiedlichen Ausdehnung von Keramik und Austenit sind die Dichtflächen mit einer dünnen Silberschicht versehen.

6. Anfahrvorgang

Nach vollständigem Füllen und Entlüften wird die Anlage geschlossen und der Druckhalter in Betrieb genommen.

Nachdem sich durch die Aufwärmung des Wassers ein Druck von 15 bis 20 atü aufgebaut hat, wird über ein am Kondensator angebrachtes Ventil, das mittels eines Stellmotors vom Meßpult aus zu regeln ist, der Kreislauf langsam ausgedampft.

Hierbei findet gleichzeitig eine Nachentgasung statt.

Der Ausdampfvorgang wird solange durchgeführt, bis das Niveau in den Trenngefäßen auf einen Wert entsprechend dem für die Versuche festgelegten Druck absinkt (Ausdampfzeit ca. 4-5 Stunden).

x) DBP 1223 634, Elektrisch isolierende Flanschverbindung für Rohrleitungen (W. Schupp)

Hierauf wird die Anlage wieder geschlossen und mittels Druckhalter auf einen höheren Druck (je nach Versuchsprogramm 50-150 atü) gebracht. Durch die in Absatz 2.5.3. genannten Einrichtungen kann die Anlage während der Nacht unter diesem Druck gehalten werden.

Vor Beginn einer Meßreihe muß zunächst ein Temperatúrausgleich im Kreislaufes herbeigeführt werden. Dazu wird die Pumpe in Betrieb genommen und der Durchsatz zunächst nur über den Bypass geführt. Die zulässige Aufheiz- bzw. Abkühlgeschwindigkeit beträgt sowohl für das Rohrsystem als auch für die Pumpe 5°C pro Minute.

Abhängig vom Ausgleich der Temperaturen wird der Durchsatz dann auch über die Meßstrecke geleitet und zur Erreichung des Betriebsdruckes bereits ein Teil der Leistung der Meßstrecke zugeführt. (Nach Durchführung der geplanten Erweiterung der Anlage wird diese Funktion von einer Vorheizung übernommen).

Nachdem die Anlage bereits ausgedampft und über Nacht auf Druck gehalten wurde, benötigt man bis zur Erreichung des Betriebszustandes etwa 3 Stunden.

Das Abfahren nimmt ca. 1,5 Stunden in Anspruch.

7. Eichung der Durchflußmeßgeräte

Da ein Großteil der bisherigen Untersuchungen mit sehr kleinen Mengenströmen (bis unter 100 l/h) durchgeführt wurden, bereitete die Durchflußmessung Schwierigkeiten.

Zur Verfügung standen neben den unter 4.2. beschriebenen Blendenmeßstrecken Durchflußmesser mit Schwebekörpern sowie Turbinenzähler.

Die beiden letztgenannten Meßgeräte haben sich bei den gegebenen Betriebsbedingungen nicht bewährt.

Die Schwebekörper-Durchflußmesser sind jeweils für bestimmte Bedingungen ausgelegt und geeicht. Eine Umrechnung auf die momentanen Betriebszustände hat zu keinen befriedigenden Ergebnissen geführt. Die Durchflußmessung mit einem Turbinenzähler scheiterte dagegen an rein technologischen Schwierigkeiten. Die Saphirlagerung des Flügelrades war den hohen Temperaturanforderungen nicht gewachsen und brach bereits nach wenigen Betriebsstunden.

Verzeichnis der Abbildungen

- Abb. 1 Druck- und Siedewasserkreislauf der Versuchsanlage
- Abb. 2 Ansicht des Druck- und Siedewasserkreislaufs
- Abb. 3 Mengenstrombild
- Abb. 4a Umwälzpumpe (KSB)
- Abb. 4b Umwälzpumpe (Stork)
- Abb. 5 Gleichrichtergruppe mit Stromschienen und Iso-Shunts
- Abb. 6 Elektr. Übersichtsschaltplan des Kreislaufs
- Abb. 7 Kontroll- und Meßpult
- Abb. 8 Durchfluß- und Druckmeßeinrichtung
- Abb. 9 Elektrische Flanschisolierung
- Abb.10 Isolierringe aus SPK-Oxykeramik (Al_2O_3)
- Abb.11 Eichkurve ($D = 32,25 \text{ mm}$, $d = 8,7 \text{ mm}$)
- Abb.12 Eichkurve ($D = 20,0 \text{ mm}$, $d = 5 \text{ mm}$)
- Abb.13 Meßstrecke zur Untersuchung des Wärmeübergangs bei hohen Drücken
- Abb.14 Meßstrecke zur Sichtbarmachung von Strömungsformen
- Abb.15 Meßstrecke mit Wirbelerzeugern (nach SNECMA)

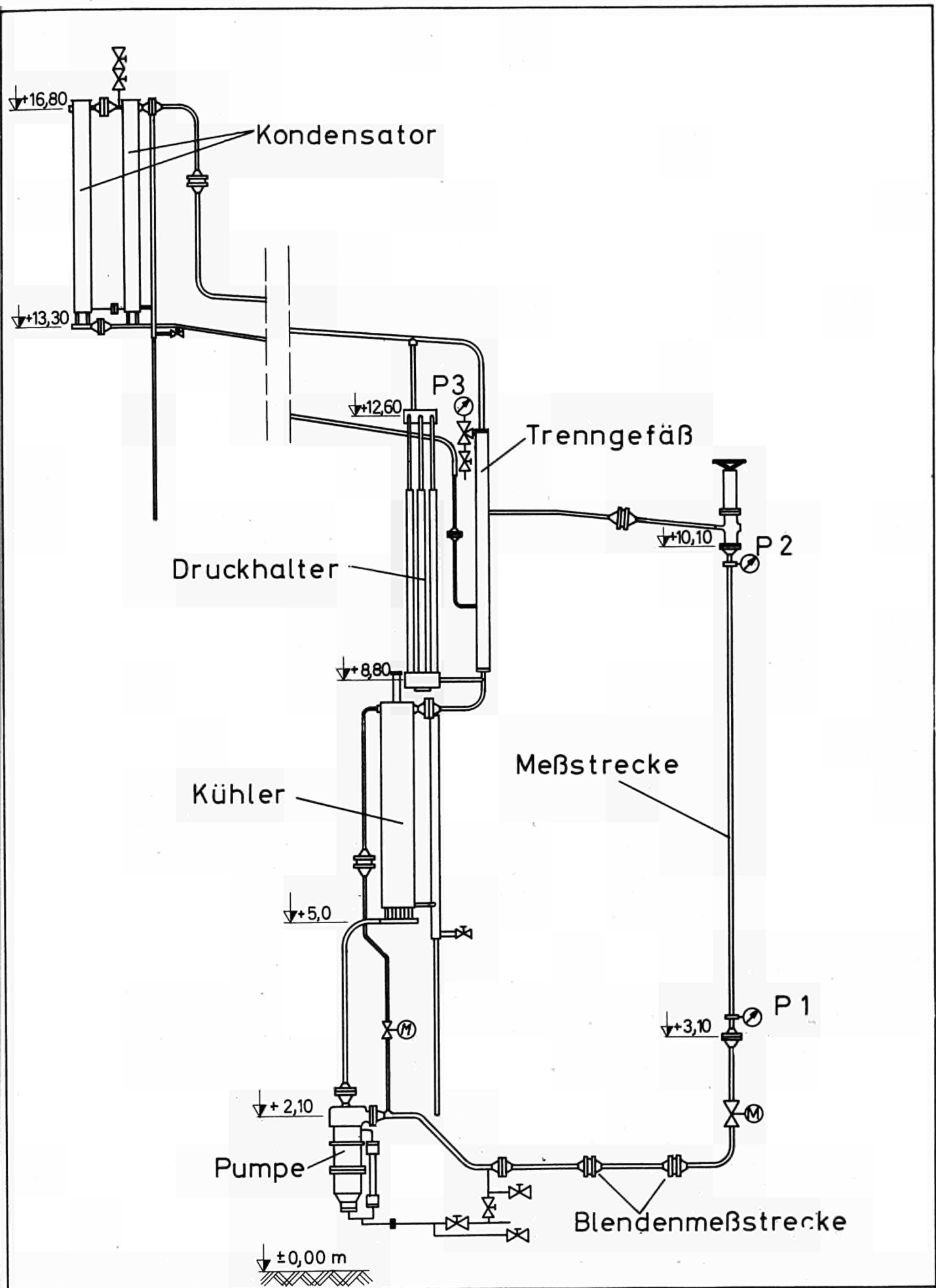
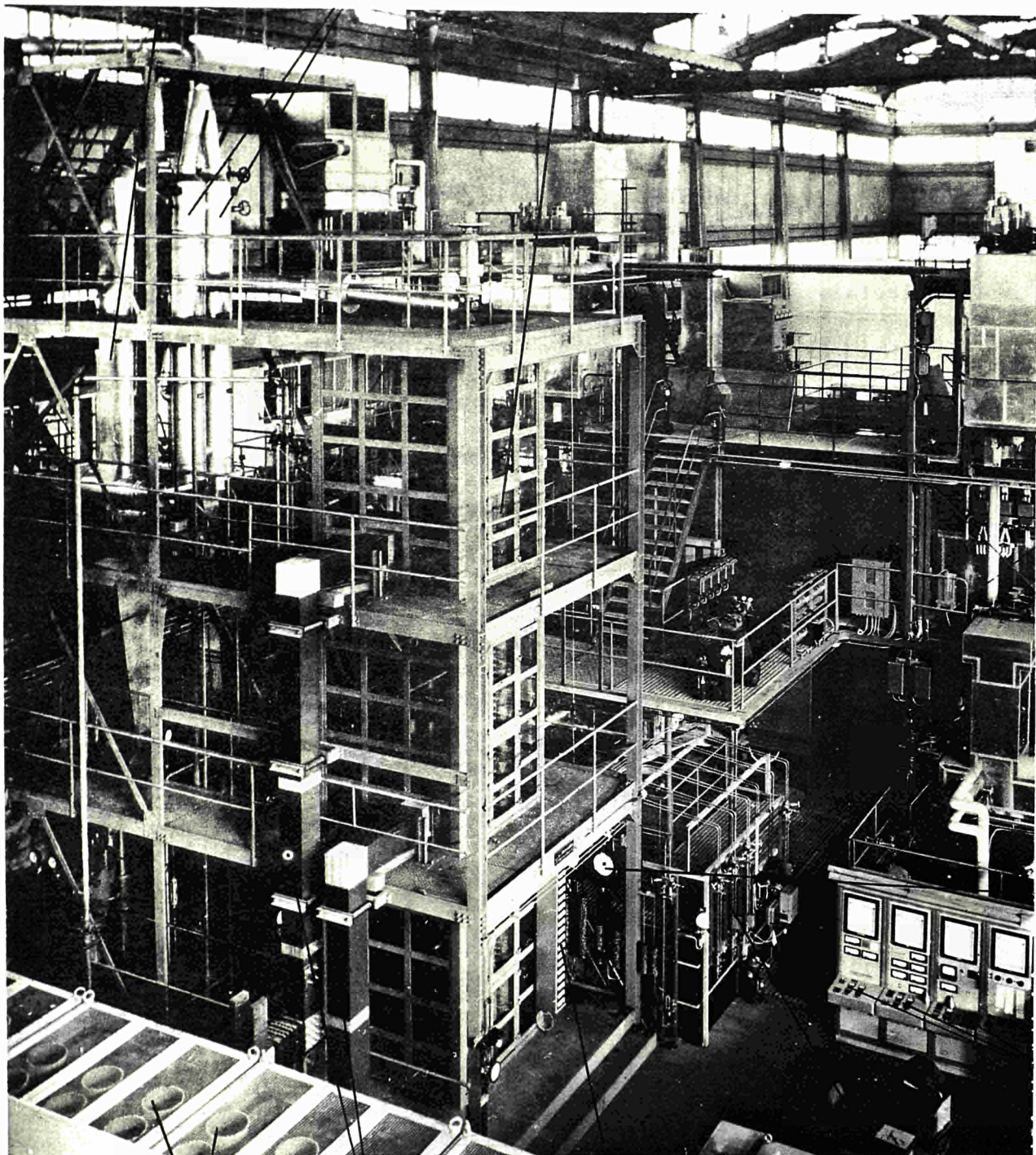


Abb.1 Druck- und Siedewasserkreislauf der Versuchsanlage

Druckhalter

Trenngefäß

Meßstrecke

Druck P_3

Meßpulte

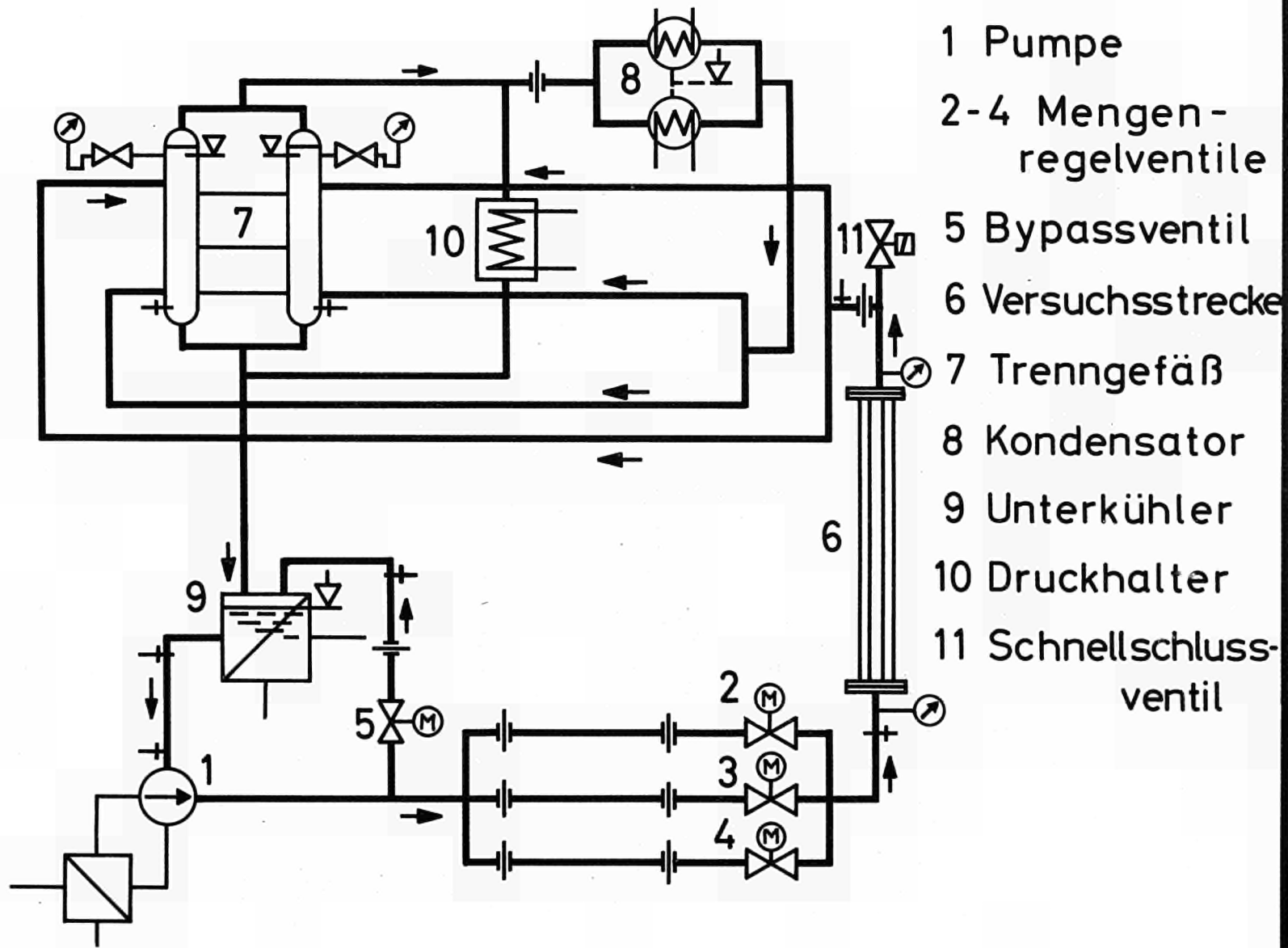
Gleichrichter

Stromschiene

Profilanzeiger (T_w)

Durchflußmessung

Abb. 2 Ansicht des Druck- und Siedewasserkreislaufs



- 1 Pumpe
- 2-4 Mengenregelventile
- 5 Bypassventil
- 6 Versuchsstrecke
- 7 Trenngefäß
- 8 Kondensator
- 9 Unterkühler
- 10 Druckhalter
- 11 Schnellschlussventil

Abb. 3

Mengenstrombild

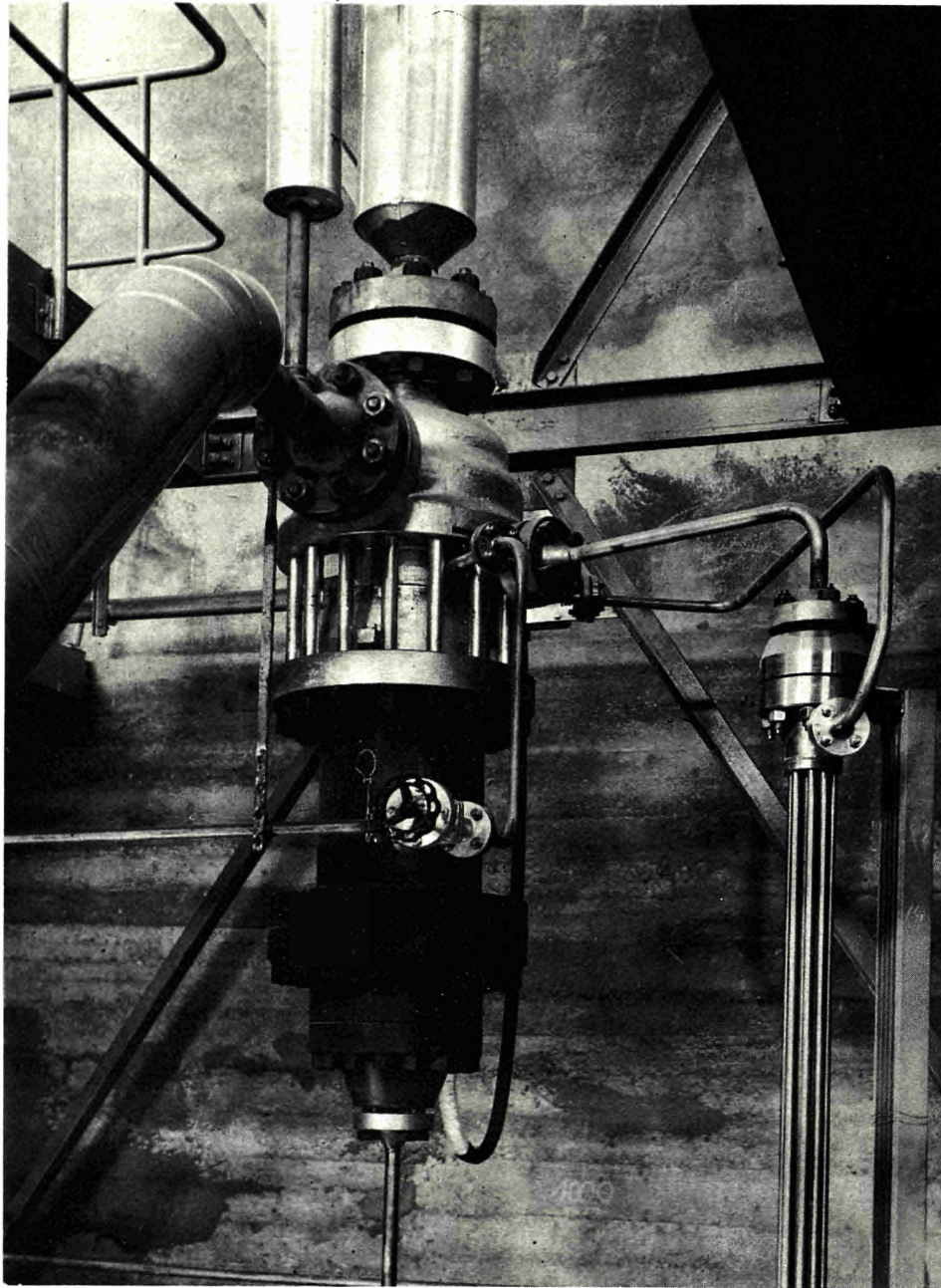


Abb. 4a Umwälzpumpe (KSB)

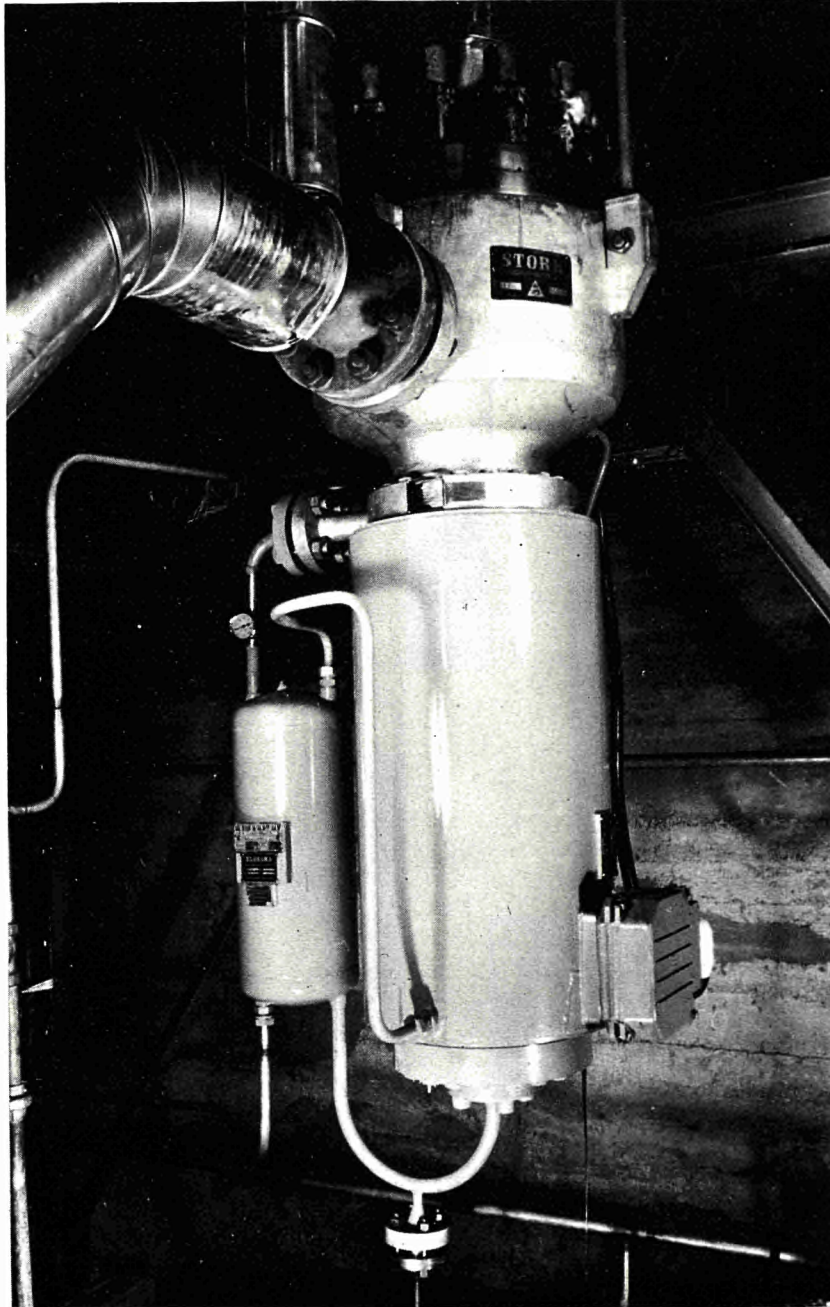


Abb. 4b Umwälzpumpe (Storck)

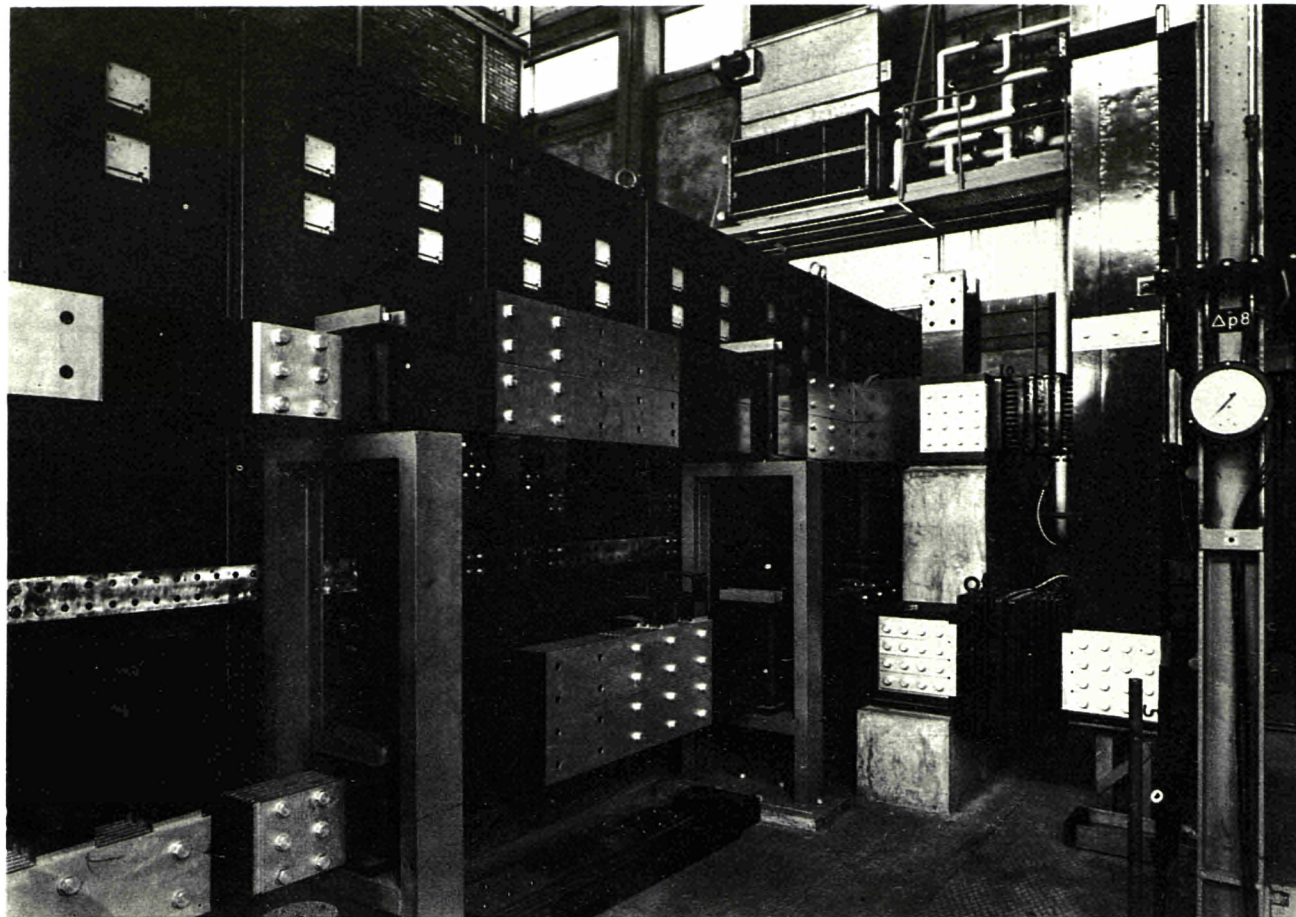


Abb. 5 Gleichrichtergruppe mit Stromschienen
und Iso-Shunts

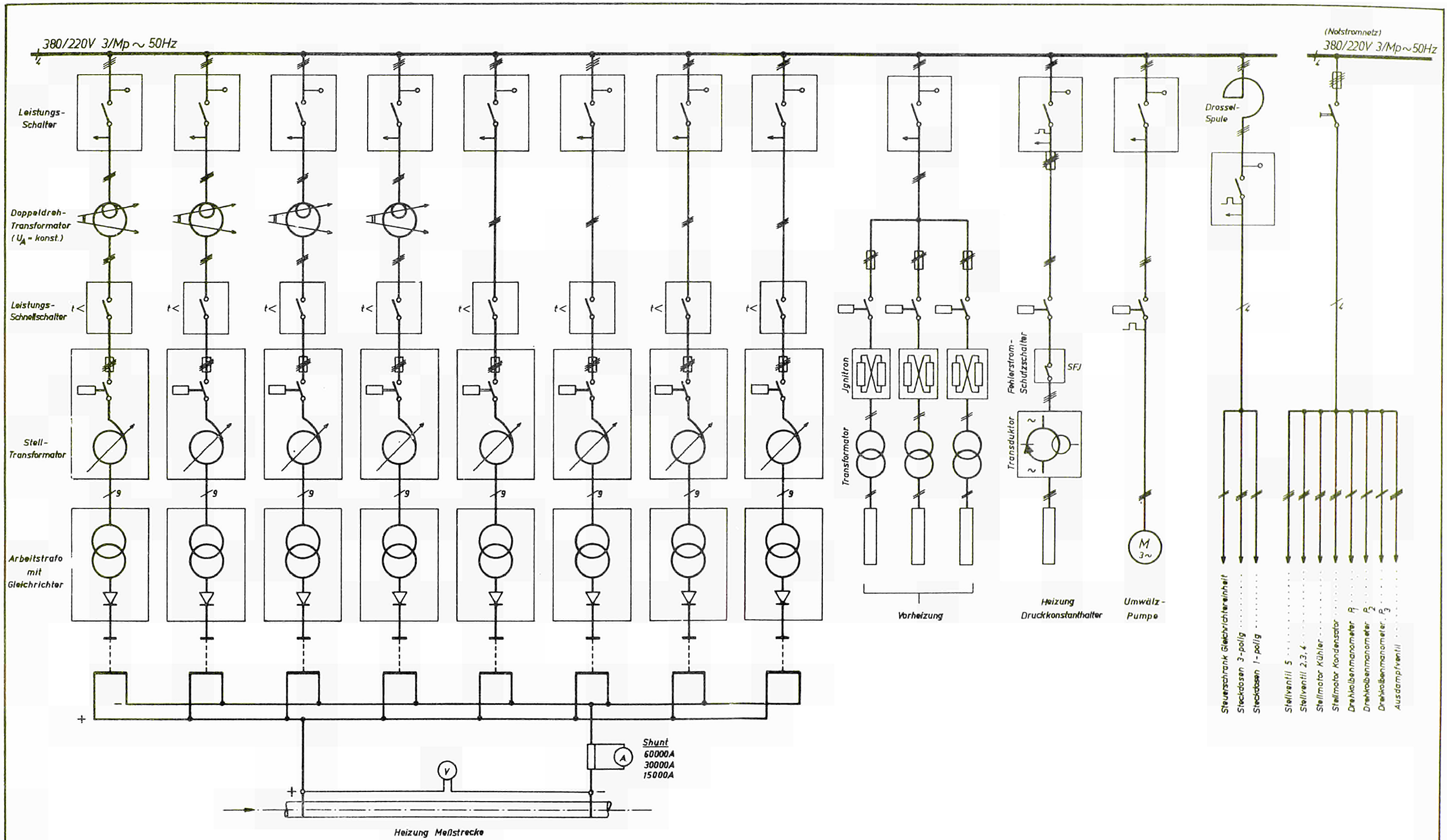


Abb. 6

Elektr. Übersichtsschaltplan des Kreislaufs

(mit Meßstrecke in zweipoliger Darstellung)

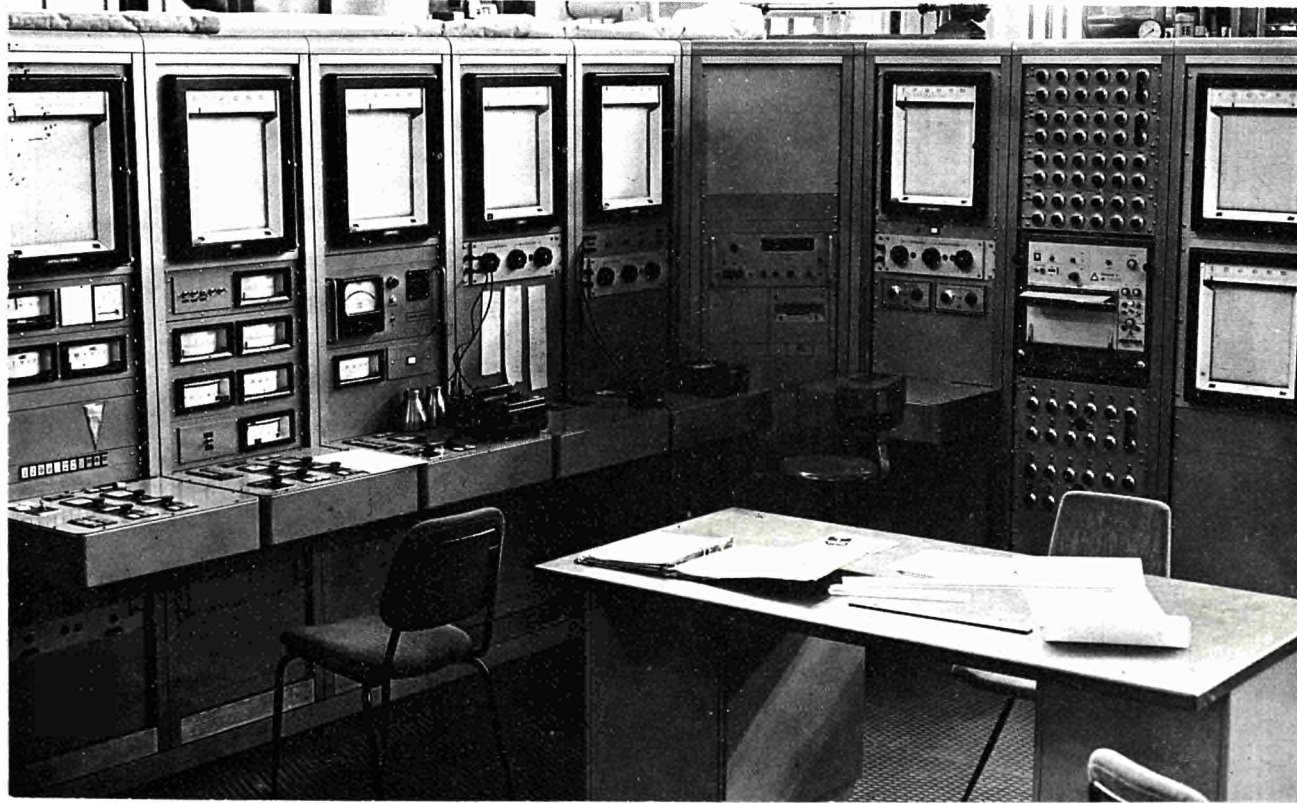


Abb. 7 Kontroll- und Meßpult

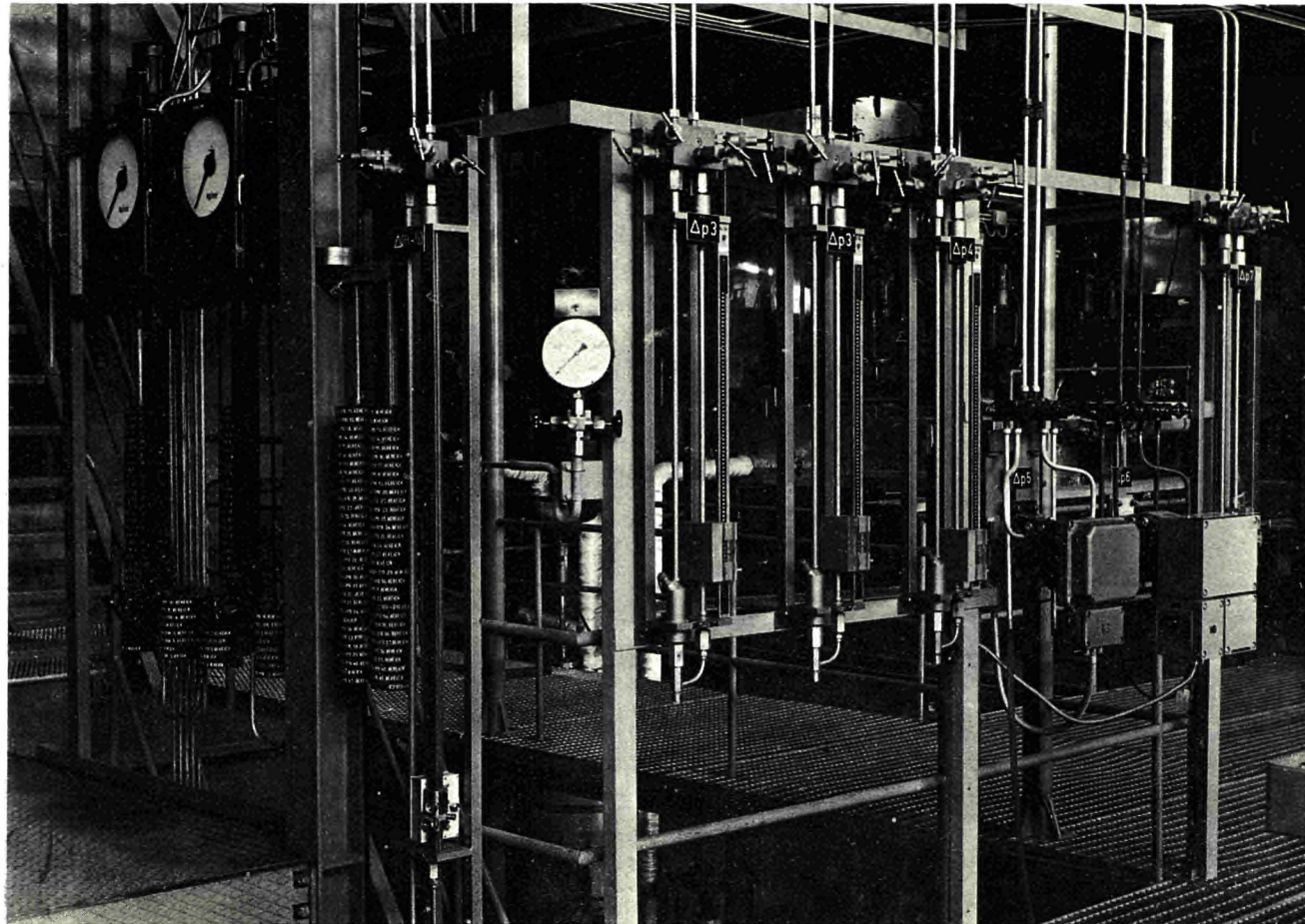


Abb. 8 Durchfluß- und Druckmeßeinrichtung

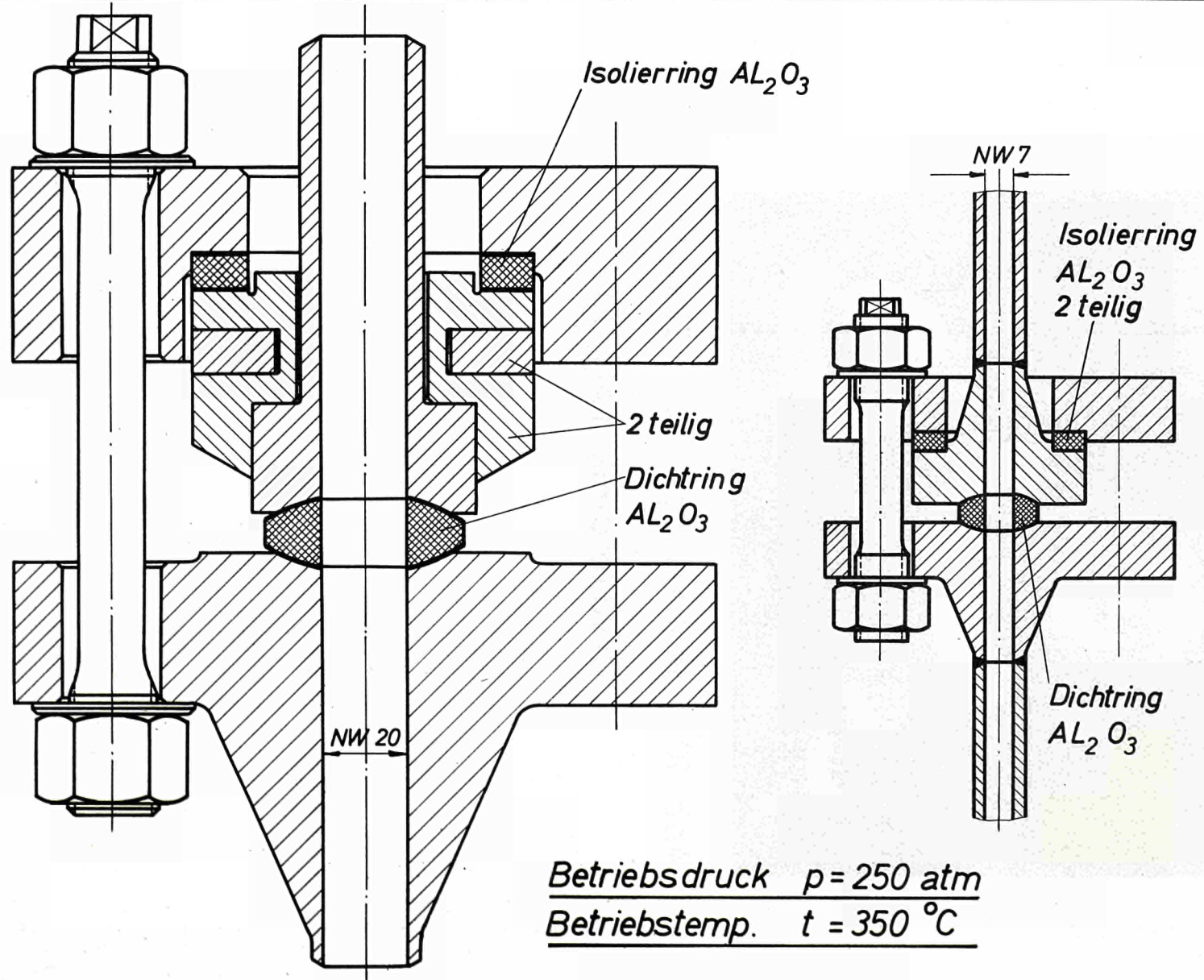


Abb. 9

Elektrische Flanschisolierungen

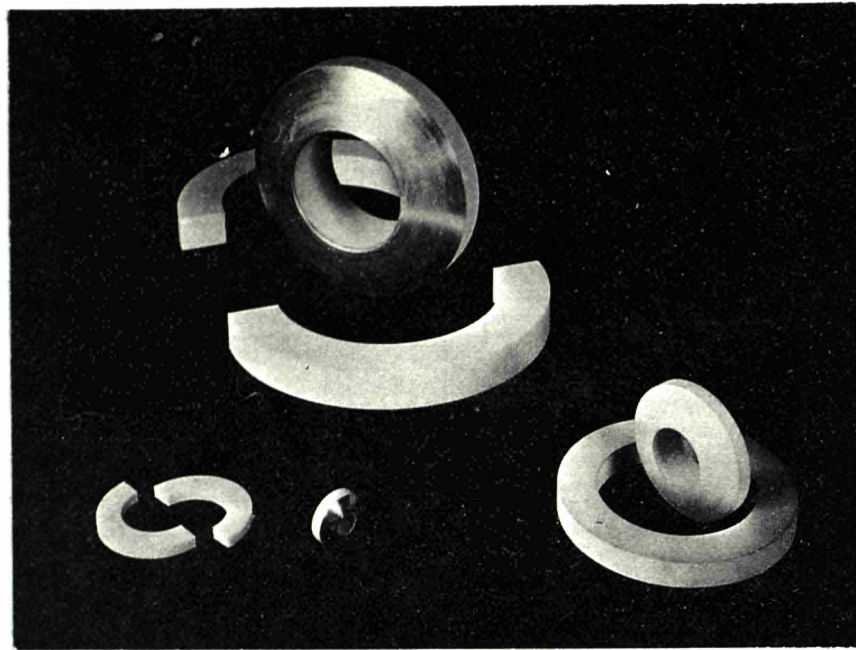


Abb. 10 Isolierringe aus SPK-
Oxydkeramik (Al₂ O₃)

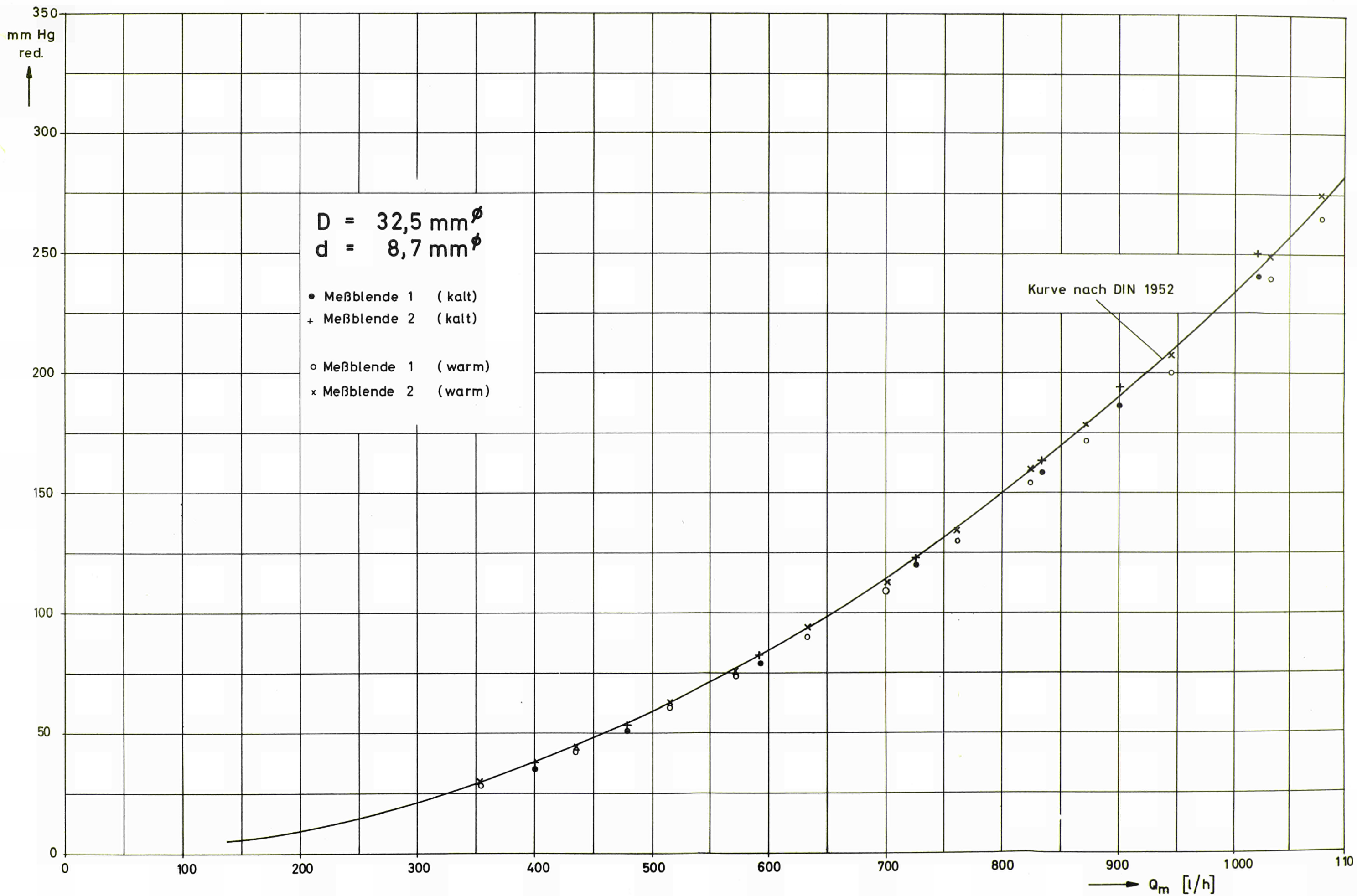


Abb. 11

Eichkurve Blendenmeßstrecke I

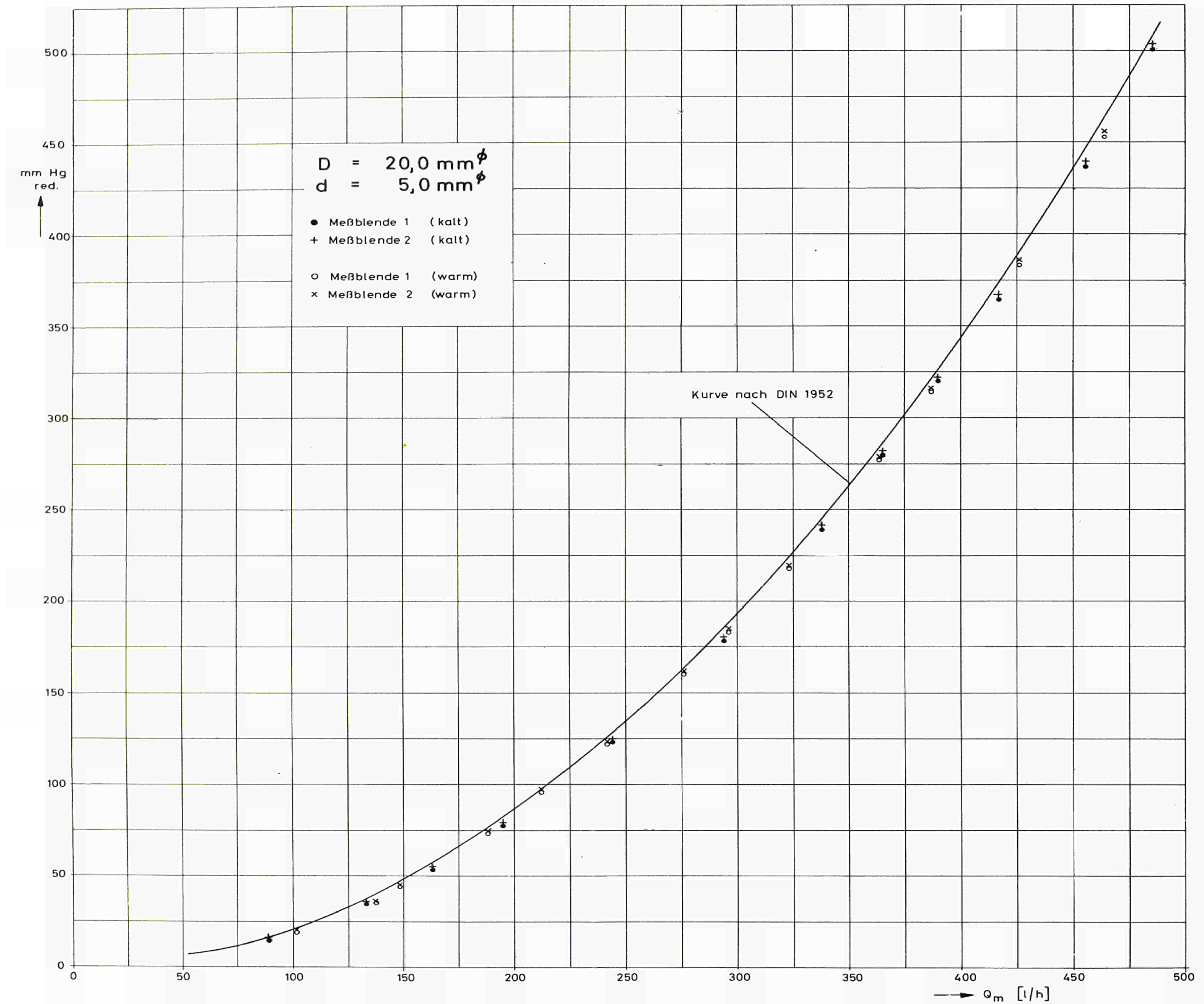


Abb. 12

Eichkurve

Blendenmeßstrecke II

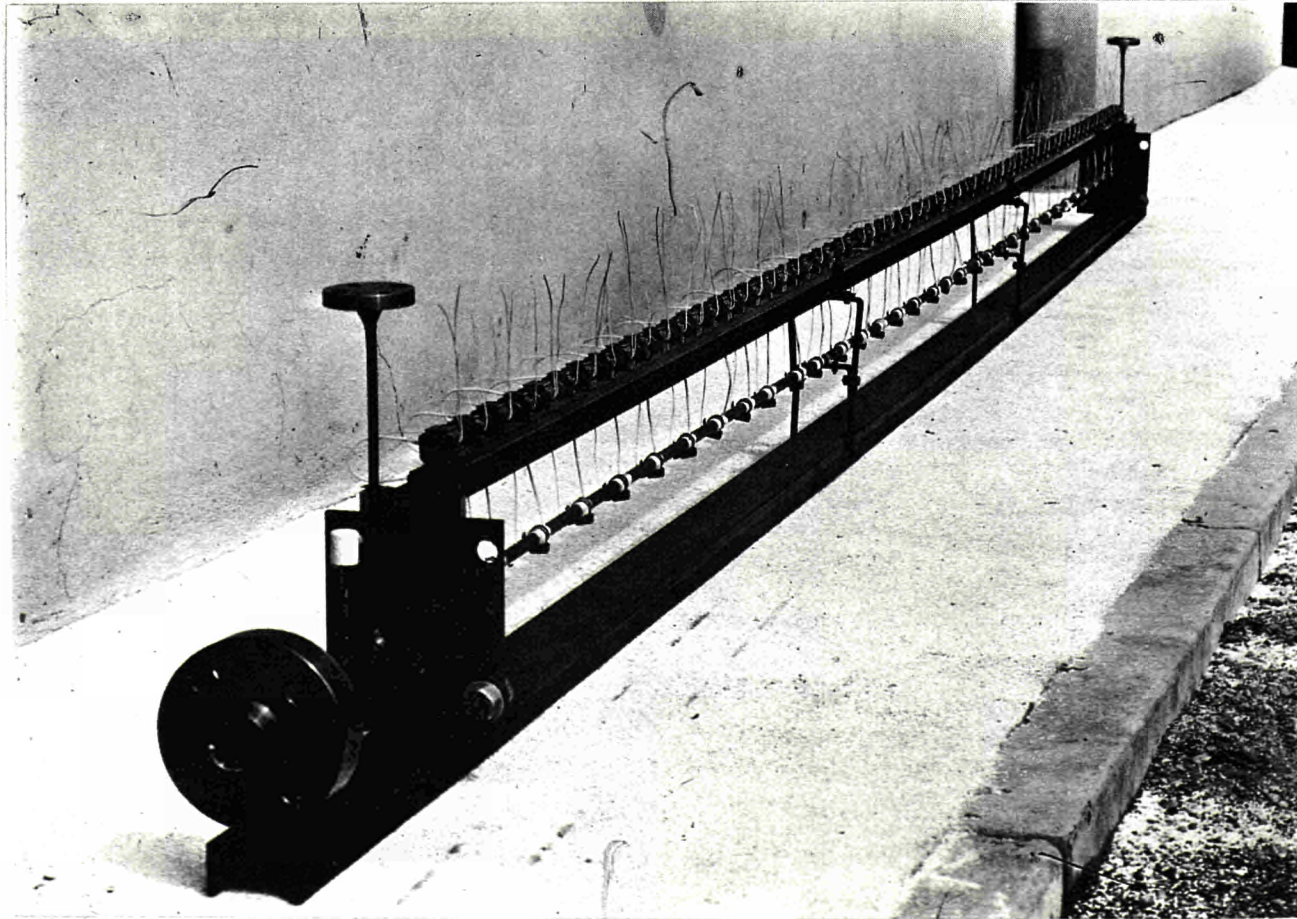


Abb.13 Meßstrecke zur Untersuchung des Wärmeübergangs bei hohen Drücken

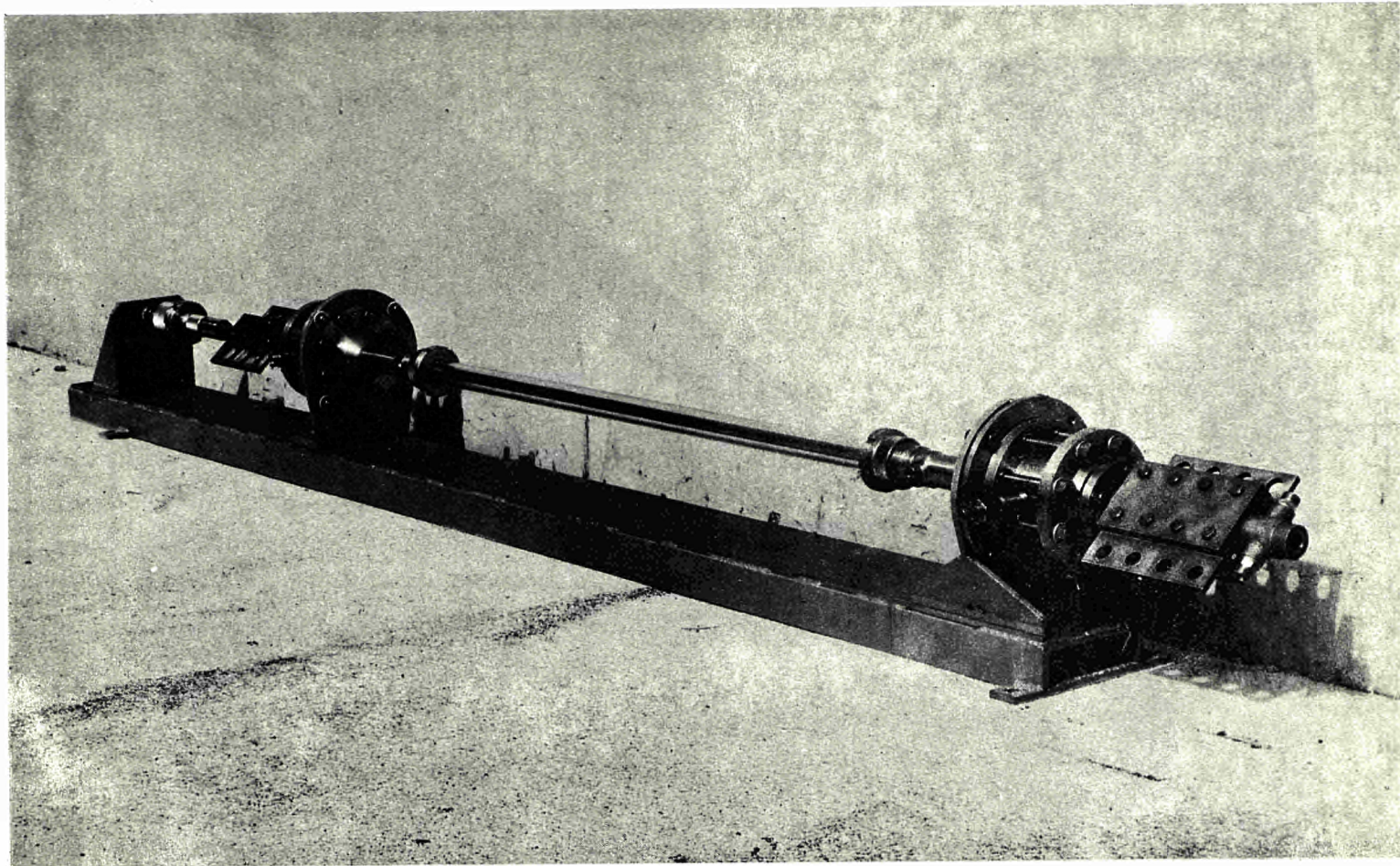


Abb.14 Meßstrecke zur Sichtbarmachung von Strömungsformen

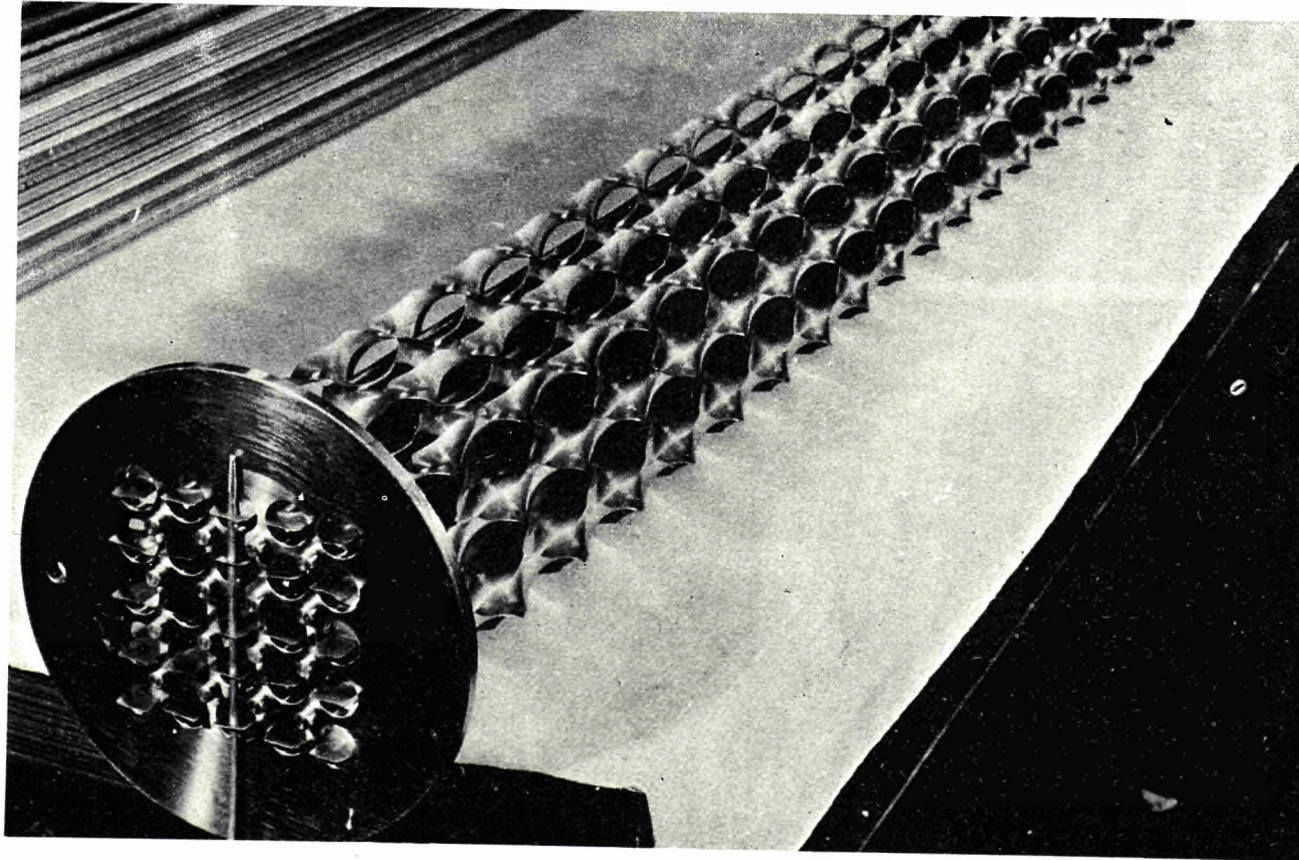


Abb. 15 Meßstrecke mit Wirbelerzeugern (nach SNECMA)

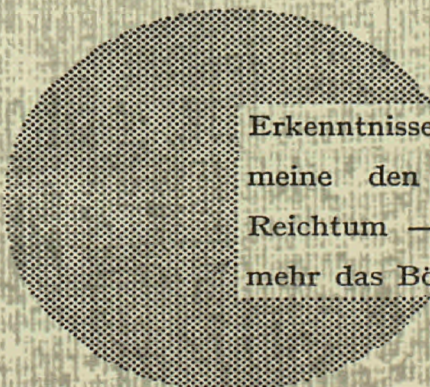
AN UNSERE LESER

Alle Euratom-Berichte werden nach Erscheinen in der von der Zentralstelle für Information und Dokumentation (CID) herausgegebenen Monatszeitschrift **EURATOM INFORMATION** angezeigt. Abonnements (1 Jahr : DM 60) und Probehefte sind erhältlich bei :

Handelsblatt GmbH
"Euratom Information"
Postfach 1102
D-4 Düsseldorf (Deutschland)

oder

Office central de vente des publications
des Communautés européennes
2, Place de Metz
Luxembourg



Erkenntnisse verbreiten ist soviel wie Wohlstand verbreiten — ich meine den allgemeinen Wohlstand, nicht den individuellen Reichtum — denn mit dem Wohlstand verschwindet mehr und mehr das Böse, das uns aus dunkler Zeit vererbt ist.

Alfred Nobel

VERTRIEBSSTELLEN

Alle Euratom-Berichte sind bei folgenden Stellen zu den auf der ersten Rückseite des Umschlags angegebenen Preisen erhältlich (bei schriftlicher Bestellung bitte die EUR-Nummer und den Titel, die beide auf der ersten Umschlagsseite jedes Bericht stehen, deutlich angeben).

OFFICE CENTRAL DE VENTE DES PUBLICATIONS DES COMMUNAUTES EUROPEENNES

2, place de Metz, Luxembourg (Compte chèque postal N° 191-90)

BELGIQUE — BELGIË

MONITEUR BELGE
40-42, rue de Louvain - Bruxelles
BELGISCH STAATSBLAD
Leuvenseweg 40-42 - Brussel

LUXEMBOURG

OFFICE CENTRAL DE VENTE
DES PUBLICATIONS DES
COMMUNAUTES EUROPEENNES
9, rue Goethe - Luxembourg

DEUTSCHLAND

BUNDESANZEIGER
Postfach - Köln 1

NEDERLAND

STAATSDRUKKERIJ
Christoffel Plantijnstraat - Den Haag

FRANCE

SERVICE DE VENTE EN FRANCE
DES PUBLICATIONS DES
COMMUNAUTES EUROPEENNES
26, rue Desaix - Paris 15^e

ITALIA

LIBRERIA DELLO STATO
Piazza G. Verdi, 10 - Roma

UNITED KINGDOM

H. M. STATIONERY OFFICE
P. O. Box 569 - London S.E.1

EURATOM — C.I.D.
51-53, rue Belliard
Bruxelles (Belgique)

CDNA03605DEC