

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

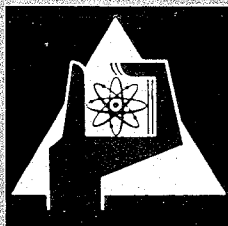
November 1967

KFK 665
EUR 3699 d

Institut für Reaktorbauelemente

Zur Entwicklung eines vollhydraulisch betriebenen
und gesteuerten Regel- und Abschaltsystems für
wasser- bzw. dampfgekühlte Kernreaktoren

O. Mühlhäuser



GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.
KARLSRUHE



KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

Nov. 1967

KFK 665

EUR 3699 d

Institut für Reaktorbauelemente

Zur Entwicklung eines vollhydraulisch betriebenen
und gesteuerten Regel- und Abschaltsystems für
wasser- bzw. dampfgekühlte Kernreaktoren. +)

von

O. Mühlhäuser

GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG MBH., KARLSRUHE

+) Diese Arbeit wurde im Rahmen der Assoziation zwischen der Europäischen Atomgemeinschaft und der Gesellschaft für Kernforschung mbH., Karlsruhe, auf dem Gebiet der Schnellen Reaktoren durchgeführt.

A. Allgemeines

1. Aufgabenstellung

Der Einsatz eines vollhydraulisch angetriebenen und gesteuerten Regelstabes im Reaktor bietet dadurch große Vorteile, daß mit ihm die Möglichkeit gegeben ist, den gesamten Antrieb des Regelstabes in das Reaktordruckgefäß hineinzulegen. Die bisher bei mechanischem Antrieb notwendig gewesene Durchführung bewegter Teile des Antriebes durch die Wand des Reaktordruckgefäßes erübrigt sich damit. Die Verbindung des Stabantriebes mit den außerhalb des Druckgefäßes befindlichen, zum Antrieb gehörenden Baugruppen, erfolgt lediglich über Rohrleitungen relativ kleinen Durchmessers, die vorzugsweise Flüssigkeit führen.

Der hydraulische Stellantrieb des Regelstabes stellt einen Teil der Regelkette des Reaktors dar. Bei dieser wird aus der Flußmessung im Core durch eine elektronische Einrichtung eine elektr. Stellgröße für eine notwendig gewordene Verstellung des Regelstabes gegeben. Diese elektr. Größe wird in eine mechanische Längsverschiebung umgewandelt, die über eine hydraulische Nachfahreinrichtung die Verschiebung des Regelstabes in die geforderte Sollstellung bewirkt.

Zum Betrieb der hydraulischen Geräte wird Betriebswasser des Reaktors benutzt.

Der Gegenstand des vorliegenden Berichtes ist die gesamte Einrichtung von der Eingabe des elektrischen Impulses bis zum Regelstab selber.

2. Aufbau der Einrichtung

Abb. 1 zeigt schematisch Aufbau und die hydraulische Schaltung der Einrichtung, wobei vorausgesetzt ist, daß der Regelstabantrieb sich unterhalb des Cores befindet und der Absorberteil des Regelstabes durch Abwärtsbewegen in dieses eingefahren wird.

Die drei wesentlichen Bauglieder der Anordnung sind:

1. der hydraulische Kolbenmotor, der, wie später genauer dargestellt wird, mit einem hydraulischen Potentiometer zur Erfassung der Regelstabstellung kombiniert ist;
2. das hydraulische Sollwertvorgabegerät, dessen Aufgabe es ist, den von dem elektrischen Teil des Regelkreises kommenden Stellimpuls in einen adäquaten hydraulischen Druck umzuformen;
3. der Steuerschieber, der die stellungsabhängigen Drücke der Potentiometer am Sollwertgeber und am Kolbenmotor vergleicht und einen dem Vergleichergebnis entsprechenden hydraulischen Verschiebeimpuls zum Kolbenmotor gibt.

Darüberhinaus gehören nachfolgende Bauglieder zur Anlage:

4. Ein Stellungsvergleicher, der den Relativstand des Regelstabes zum Sollwert erkennen läßt. Er zeigt ein Hängenbleiben des Stabes an;
5. eine zweite, von dem beschriebenen Kreis völlig unabhängige Anzeige der Regelstabstellung ist ihm parallel geschaltet. Sie wird unten näher beschrieben;
6. zur Sicherung gegen ungewolltes Ausfahren des Regelstabes aus dem Core ist noch eine einseitig wirkende, in Abb. 1 jedoch nicht dargestellte Klemmsperre eingebaut, die bei der Regelbetätigung entsperrt wird;
7. das Schnellventil stellt im Schnellschlußfall zwischen Unterseite des Kolbenmotors und einem Behälter sehr niederen Druckes (z.B. dem Vakuumkessel) in kürzesten Zeiten eine Verbindung her und sperrt gleichzeitig die übrigen Teile der Steuereinrichtung gegen den Kolbenmotor.

Das erforderliche Druckgefälle zum Betrieb der hydraulischen Geräte wird vorteilhafterweise durch Anzapfen des Reaktor-Kesseldruckes und durch Druckabsenkung um ein festes Maß, dessen Größe von einem Regler eingestellt wird, geschaffen. Die Höhe des Druckgefälles richtet sich nach dem Gewicht der zu verschiebenden Kolbenmotormassen. Es dürfte kaum den Betrag von 5 atü überschreiten.

Speisewasserbehälter und Speisepumpe sind Teile der Gesamt-Reaktoranlage.

Von der Einrichtung wurden zunächst die einzelnen Komponenten, soweit sie neu waren, gebaut und erprobt. Der gesamte Regelkreis befindet sich für den Betrieb mit kaltem Wasser im Aufbau. Ein kompletter Antrieb entsprechend der Abb. 3 mit hydraulischem Regelkreis zum Betrieb unter Reaktorbedingungen, 150 atü, Siedetemperatur befindet sich in Vorbereitung.

3. Wirkungsweise der Einrichtung

Das zur Einrichtung gehörende Blockschaltbild (Signalflußbild) zeigt Abb. 2.

Regelgröße ist die Verschiebung des Regelstabes bzw. das Einfahren und Festhalten in einer diskreten Sollstellung.

Die Führungsgröße ist die elektrische Eingabe in das Stellgetriebe des Sollwertgebers.

Die Führungsgröße selbst ist wiederum Ausgangsgröße des elektrischen Teiles der Reaktorregelung. Sie wird hier als gegebene Größe betrachtet.

Wird durch die Eingabe eines elektrischen Impulses in das System der elektrische Stellantrieb, Abb. 1, des Sollwert-Vorgabegerätes in Bewegung gesetzt, so wird über das zu diesem gehörende Getriebe (a) die mit diesem in Eingriff stehende Potentiometerspindel und damit der Potentiometerkolben (b) z.B. nach oben verschoben.

Dieser neuen Potentiometerstellung entspricht ein veränderter Druck -hier ein Ansteigen- am Potentiometerabgriff.

Dieser Druck wird der linken Kammer (c) des Steuerschiebers, Abb. 1, zugeführt und bewirkt eine Verschiebung des Steuerkolbens nach rechts.

Dadurch gibt die Steuerkante des Steuerschiebers den Zufluß zum Kolbenmotor frei, der von diesem Zufluß bzw. dem mit diesem parallel gehenden Druck entsprechend nach oben verschoben wird. Gleichzeitig wird das Potentiometer (e) des Kolbenmotors mit verschoben, an dessen Abgriff damit ebenfalls ein höherer Druck entsteht.

Dieser ansteigende Druck wird der rechten Kammer (d) des Steuerschiebers zugeführt und führt den Steuerschieber wieder in seine Ausgangsgleichgewichtslage zurück.

Der Soll- und Ist-Wert-Vergleicher läßt erkennen, ob der Kolbenmotor der Vorgabe gefolgt ist, ferner, ob das System sich stabil verhält oder zum Pendeln neigt.

B. Komponenten

1. Hydraulischer Kolbenmotor mit Regelstab, Abb.3

Das Konzept des Antriebes geht, wie schon gezeigt, davon aus, daß der Regelstab von oben in das Core eingefahren wird. Beim Versagen des Antriebes wird also der Regelstab durch die Schwerkraft in das Core, d.h. 'Aus'-Stellung von selbst einlaufen.

Der Kolbenmotor befindet sich unterhalb des Cores. Kolben und Regelstab sind durch eine Stange verbunden. Der Hub des Kolbenmotors entspricht etwa der Core-Höhe.

Die Kolbenstange ist über eine entsprechende Länge abgeflacht und mit Nuten für die zweite Stellungsmeldung versehen.

Weiter greift an ihr die Klemmsperre an.

Der Kolben des Antriebes ist im Zylinder mit einem Spalt gedichtet und wird hydraulisch zentriert.

Das Stellungspotentiometer ist in der hohlen Kolbenstange eingebaut.

Die Dichtung zwischen dem oberen Zylinderraum und dem Kesselraum ist ebenfalls eine zentrierende Spaltdichtung.

Im unteren Boden des Antriebszylinders befindet sich die Abfang- und Dämpfungsfeder.

Bei diesem Konzept sind dann aus dem Reaktordruckkessel folgende Rohrleitungen herauszuführen:

1. Antriebsleitung zum unteren Zylinderraum
2. Abgangsleitung aus dem oberen Zylinderraum
3. Potentiometerabgriff
4. Betätigung der Klemmsperre
5. Abgangsleitung der zweiten Stellungsmeldung
6. 2 Meßleitungen der zweiten Stellungsmeldung.

Zusammen 7 Leitungen.

Die Abmessungen der Leitungen 1 und 2 liegen bei etwa 15-20 mm, die der anderen Leitungen 8 - 10 mm Innendurchmesser.

Über die einzelnen Bau-Komponenten des Antriebes, soweit sie Neuentwicklungen sind, wird unten gesondert berichtet.

Diese Elemente sind:

1. Das Potentiometer
2. Die Klemmsperre
3. Die zweite Stellungsanzeige
4. Abfang- und Dämpfungsfeder.

Antriebskolben und Zylinder sind konventioneller Bauform.

Sämtliche Bauteile des Antriebes sind von einem Rohrgehäuse umschlossen. Zwischen dem Antriebszylinder und dem Rohrgehäuse werden alle Rohrleitungen des Aggregates nach unten, d.h. durch dessen Boden nach außen geführt.

Die Halterung des ganzen Antriebes im Reaktordruckkessel oder an dessen Wandungen ist nicht Gegenstand der vorliegenden Untersuchung, daher auch nicht in Abb. 3 dargestellt. Auch der Regelstab und die Kupplung zwischen der Kolbenstange und dem Regelstab gehört nicht zum speziellen Bereich der Arbeiten. Ihre Form und Konstruktion sind ohne wesentlichen Einfluß auf die Gestaltung des Antriebes.

2. Das hydraulische Potentiometer

Aufgabe des hydraulischen Potentiometers ist es, die Stellung des Regelstabes relativ zum Core in einen dieser proportionalen Flüssigkeitsdruck umzusetzen, der zur Rückmeldung der Stellung in das Regelsystem und zur Anzeige der Stellung benutzt werden kann.

Im Prinzip besteht ein hydraulisches Potentiometer aus einem Strömungskanal konstanter Querschnitte s , dem an der einen Seite eine Flüssigkeit oder Gas unter Druck zugeführt wird und das an der anderen Seite des Kanales abzufließen vermag.

Zwischen Zu- und Ablauf besteht ein Druckgefälle, das sich entlang der Kanalerstreckung linear abbaut. Zwischen Zu- und Ablauf ist der Kanal mit einer verschieblichen Anzapfung versehen, die gestattet, den an dem Ort der Anzapfung bestehenden Flüssigkeitsdruck abzugreifen.

Von einem funktionsfähigen Potentiometer wird verlangt, daß Proportionalität zwischen Verschiebung X und dem Abgriffdruck P_p innerhalb der Genauigkeitsgrenzen eines guten Meßgerätes gegeben ist.

Die einfachste Form eines hydraulischen Potentiometers besteht aus einer langen Zylinderbüchse, die Zu- und Ablauf trägt und einem in dieser verschieblichen Kolben definierter Länge, der mit einem definierten, über die ganze Länge gleichbleibenden Spalt in die Büchse eingepaßt ist. Zwischen Zu- und Ablauf befindet sich an entsprechender Stelle der Abgriff.

Es hat sich jedoch gezeigt, daß derartige einfache Potentiometer keine zureichende Genauigkeit liefern.

Der Grund ist der, daß bei exzentrischer Lage des Bolzens in der Zylinderbüchse, also bei exzentrischem Spalt, sich die Durchflußmenge erheblich ändert. Liegt der Bolzen schief, z.B. über Eck in der Büchse, so resultiert aus der von Ort zu Ort veränderlichen Exzentrizität des Bolzens eine nicht mehr gerade Kennlinie. Die hierdurch entstehenden Fehler können bis ca. 30 % des jeweiligen Stellungswertes ausmachen.

Arbeiten des Verfassers, über die an anderer Stelle noch gesondert berichtet werden soll, [1] führten zu einer Lösung, wie sie in Abb. 4 dargestellt ist. Die dargestellte Ausführung gilt bereits für die Verhältnisse des Regelstabantriebes.

Auch hier besteht das Potentiometer aus einer Zylinderbüchse und einem in dieser verschieblichen Kolben. Die definierte Potentiometerlänge ist hier in die Zylinderbüchse eingearbeitet und der Abgriff in den Kolben. Der Strömungskanal wird nicht mehr allein durch den zwischen Kolben und Zylinderwand

bestehenden Ringspalt gebildet, sondern es sind diesem eine Anzahl Radial-Längskanäle parallelgeschaltet. Dadurch wird der Einfluß unterschiedlicher Weiten des Spaltes über die Potentiometerlänge weitgehend eliminiert. Durch kleine Erhebungen auf dem Kolben oder auf der Zylinderwand ist ferner dafür Sorge getragen, daß der Kolben in der Büchse eine genau definierte Lage bekommt und innerhalb gewisser Grenzen beibehält. Durch diese Maßnahmen konnte eine Anzeigegenauigkeit von unter 1% des Stellungswertes erreicht werden, wenn folgende Bedingung eingehalten wurde.

Entsprechend Abb.4 hat zu gelten

$$X = \frac{n \cdot b \cdot S_2^3}{D \cdot S_1^3} \geq 50$$

Meßergebnisse bestätigen die theoretischen Untersuchungen. Diagramm Abb.5 zeigt das Ergebnis der Messung an einem mit Wasser betriebenen Potentiometer mit einer Meßlänge von 1500 mm, einem Durchmesser von 8 mm und mit einem X-Wert von ca. 200.

Die Kurve deckt sich weitgehend mit einer geraden Linie. Die Abweichungen sind, wie inzwischen erkannt worden ist, darauf zurückzuführen, daß die Längsnuten nicht in einem Arbeitsgang über die ganze Länge, sondern aus werkstatt-technischen Gründen abschnittsweise eingearbeitet werden. Außerdem sind die Nuten, die ursprünglich 0,25 mm Weite hatten, auf eine Weite von 0,5 mm nachgefräst worden; dadurch ergaben sich über die Länge Abweichungen an deren Sollweite, die zu den Maßabweichungen Anlaß geben.

Die in Abb.6 gebrachte Kurve wurde mit einem Potentiometer ebenfalls mit Wasser gewonnen, der aber eine Meßlänge von 900 mm bei einem Durchmesser des Kolbens von 18 mm hatte und einem X-Wert von ca 2900.

Bei der Fertigung des Kolbens wurde auf einwandfreie Herstellung der Nuten geachtet.

Der Druckverlauf als Funktion der Meßlänge liegt hier im Rahmen der Meß- und Zeichengenauigkeit völlig auf einer geraden Linie. Vor- und Rücklauf decken sich fast absolut.

Damit war der Beweis für die Brauchbarkeit des hydraulischen Potentiometers erbracht.

3. Sollwert-Vorgabegerät

Das Sollwert-Vorgabegerät des hydraulischen Systems ist im Prinzip das gleiche Potentiometer, wie es im Antriebskolben eingebaut ist. Lediglich seine Länge ist kürzer gehalten. Sie ist soweit reduziert, wie es die geforderte Stellgenauigkeit noch zuläßt.

Das in Abb.7 gezeigte Gerät ist ein Versuchsgerät für Niederdruckverhältnisse und kaltes Wasser. Hier erfolgt die Verstellung des Potentiometerkolbens über eine Zahnstange, die von einem nicht dargestellten E-Motor mit Getriebe, verschoben wird.

Ein für Hochdruck geeignetes Vorgabegerät ist prinzipiell von gleicher Bauform. Lediglich Dichtungen und Druckausgleich für den Potentiometerkolben werden zusätzliche Bauglieder ausmachen.

4. Steuerschieber

Der Steuer-Schieber, wie er in Abb.8 dargestellt ist, die Konstruktion für eine Niederdruck-Versuchsausführung. Sie ist jedoch in gleicher Art und Ausführung für ein Hochdruckgerät verwendbar.

Kennzeichnend für den Schieber und damit abweichend von den in der konventionellen Hydraulik gebräuchlichen Formen ist die Ausführung der beiden Meßkammern an den beiden Enden des Schiebers. Diese Meßkammern stehen je mit den Potentiometerabgriffen des Kolbenmotors und des Sollwert-Vorgabegerätes in Verbindung. Die Kammern sind mit Federbälgen flüssigkeitsdicht ausgeführt, da Potentiometer nur dann richtige Abgriffdrücke geben, wenn der Abgriff ohne Verbrauch und zur Einstellung des Nullwertes verschieblich ist.

Der Schieber selber ist ein Steuerkantenschieber, der zur Aufhebung der Reibung an den Enden hydraulisch zentriert ist.

5. Klemmsperre

Aufgabe der Klemmsperre ist es, ungewollte und unkontrollierte Bewegungen des Regelstabantriebes, gleich welche Ursache diesen Bewegungen zugrunde liegt, die den Regelstab in Richtung zu höherer Kritikalität des Reaktors, also zum Betriebszustand 'Ein' zu verfahren trachten, mit Sicherheit zu verhüten.

Bewegungen dagegen, die in Richtung zum Betriebszustand 'Aus' führen, sollen zugelassen sein.

Übliche Klinkensperren widersprechen dem Sinn des kontinuierlichen Regeln. Es wurde deshalb eine auf dem Prinzip der Freilaufsperrern beruhende Sperre entwickelt, die auf einfache Art und Weise für die Durchführung des Regelvorganges gelöst werden kann.

Der prinzipielle konstruktive Aufbau einer solchen Sperre ist in Abb.9 gezeigt. Der Einbau im Regelsystem und die zugehörige Löse-Einrichtung in der Schaltung ist in Abb.10 angegeben. Den Ort des Einbaues der Sperre im Regelstabantrieb, d.h. am Kolbenmotor, zeigt Abb.3.

Nach der Darstellung Abb.9 besteht die Sperre aus einem kräftigen Gehäuse, das die Kolbenstange des Stabantriebes umschließt. Im vorliegenden Fall stützen sich 8 Klemmschuhe unter Zwischenschaltung von Wälzkörpern gegen entsprechende Keilflächen im Gehäuse einerseits und gegen die Kolbenstange andererseits ab. Sämtliche Klemmschuhe werden durch eine federbelastete Andrückplatte, wieder unter Zwischenschaltung von Wälzkörpern auf Reibungsschluß an die Kolbenstange angelegt.

Im Falle eines Bewegungseinsatzes im Sinne des durchkreuzten Pfeiles, d.h. nach oben, werden dann in bekannter Weise die Klemmschuhe gegen die Keilfläche gezogen und arretieren so die Kolbenstange. Eine Gegenbewegung löst die Schuhe und gibt die Bewegung der Stange frei.

Für die Regelbewegung muß der Antrieb und damit die Kolbenstange in beiden Bewegungsrichtungen frei sein. Zu diesem Zweck, dem Lösevorgang, wird mittels hydraulisch oder pneumatisch betätigten Kolben die Andrückplatte gegen die Kraft der Anpreßfeder mitsamt der Klemmschuhe, die in nicht dargestellter Weise, beweglich mit der Andrückplatte gekoppelt sind, von der Stange bzw. der Keilfläche frei gefahren. Die Klemmschuhe sind untereinander durch kleine Federn verbunden, die beim Lösen die Schuhe von der Stange abheben. Das Lösen der Klemmsperre ist unmittelbar mit der Einleitung einer Regelstabverschiebung gekoppelt.

Wird dem Sollwertvorgabegerät ein elektrischer Stellimpuls eingepreßt, so bewirkt dieser ein Anlaufen des Motors. Diese Anlaufbewegung bewirkt unter Zwischenschaltung einer Strömungs- oder Magnetkupplung die Verstellung eines hydraulischen Schiebers, der damit eine Druckquelle auf die Lösekolben der Klemmsperre schaltet. Von einer Betätigung des hydraulischen Schiebers durch den elektrischen Stellimpuls wurde abgesehen, da im Falle des Versagens des E-Motors die Klemme gelöst würde, ohne daß eine Regelverschiebung stattfindet.

Nach Stillstand des Motors ist der Einstellvorgang der hydraulischen Einrichtung noch nicht zu Ende. Es ist deshalb in die Leitung zu den Lösekolben ein aus Rückschlagventil mit Drossel bestehendes Verzögerungsglied eingebaut, das den Lösekolben so lange offen hält, bis der Einstellvorgang mit Sicherheit beendet ist.

Sollte durch irgendwelche Umstände während eines Lösezeitraumes der Sperre dem Kolbenmotor eine größere Druckdifferenz zwischen den beiden Zylinderräumen derart aufgepreßt werden, daß diese den Kolben schneller als der Regelimpuls in die Stellung 'Ein' zu führen trachtet, so werden durch ein von dieser Druckdifferenz beaufschlagtes Arretierventil die unter Druck stehenden Lösekolben sofort entlastet, die Klemme damit in Sperrstellung gebracht und der Antrieb festgehalten. Eine Klemmsperre für den Hochdruck-Versuch eines Stabantriebs befindet sich in Vorbereitung.

6. Stellungsanzeige II

Aus Sicherheitsgründen ist es erwünscht, bei dem hydraulisch angetriebenen Regelstab neben der von sich aus im Regel- bzw. Nachfahrssystem befindlichen Stellungsanzeige noch über eine Anzeige für die Stellung des Regelstabes verfügen zu können, die vom hydraulischen System des Stabantriebes völlig unabhängig ist.

Das zweite Anzeigesystem sollte möglichst auch mit einem Strömungsmittel arbeiten, also von elektrischen Strömen und magnetischen Kräften frei sein, damit es im Reaktor selber untergebracht werden kann.

Als Betriebsmedium wurde zunächst Dampf vorgesehen. Es zeigte sich bei Versuchen, daß die Einrichtung nicht nur mit Dampf, sondern auch mit Wasser und mit Luft gleich brauchbare Ergebnisse lieferte.

Eine solche zweite Stellungsmeldung wurde konzipiert, in einem Versuchsmodell entworfen und untersucht. Ein diesbezüglicher eingehender Bericht ist in Vorbereitung [2].

Das Prinzip der Einrichtung zeigt schematisch Abb.11.

Sie arbeitet nach dem Prinzip der hydraulischen Brückenschaltung.

2 Glieder der Brücke sind hierbei veränderliche Drosseln, 2 andere feste Drosseln. Der Wert der veränderlichen Drosseln ist hierbei eine Funktion des Verschiebeweges des Regelstabes. Die veränderlichen Drosseln bestehen aus einem schmalen Schlitz, dessen Breite durch eine Nut bestimmt wird, die von veränderlicher Breite ist und an dem Schlitz senkrecht zu dessen Erstreckung vorbeigeführt wird.

Beim praktischen Anzeigegerät sind diese Nuten in die Kolbenstange des Regelstabantriebes eingearbeitet. Die Schlitz sind in am Gehäuse des Antriebs festliegenden Abtastköpfen, Abb.12, angebracht. Die Brückenordnung wird entsprechend der Abb.11 von der Seite der Abtastköpfe her durchströmt. Das erforderliche Druckgefälle entsteht durch Anzapfen des Reaktorkesseldruckes und Absenken des Druckes über einen Regeler, der gegen ein

Druckpotential niederen Druckes, z.B. den Druck des Kondensators, ein konstantes Druckgefälle einregelt. Der gemessene Druckunterschied in den beiden Zweigen der Brücke ist ein Maß für den jeweiligen Ort des Abtastkopfes relativ zum Regelstab.

Konstruktive Einzelheiten über die Ausbildung der Abgriffvorrichtung zeigt Abb.12. Sie zeigt die Halterung mit den beiden Abtastköpfen der untersuchten Versuchsausführung.

Die runde Kolbenstange ist auf 2 gegenüberliegenden Seiten abgeflacht. In diese Abflachung sind je eine Nut eingearbeitet. Die Breite der Nut ist über die Meßlänge, die bei der Versuchsausführung 480 mm betrug, veränderlich und zwar so, daß beide Nuten am einen Ende gleiche Breite haben. Zum anderen Ende hin nimmt die Breite der einen Nut ab, die der anderen dagegen zu. Die Nuten waren so ausgelegt, daß die max. entstehende Druckdifferenz noch mit einem Hg-Manometer von ca 800 mm Meßlänge erfaßbar war.

Auf den beiden Abflachungen sitzt je ein Abgriffkopf. Dieser trägt an seinem der Abflachung zugewandten Ende ein Abtaststück, in das schmale 0,3 mm breite Schlitzze, die senkrecht zur Stangenachse liegen, eingearbeitet sind. Die Frontseite des Abtaststücks ist bis auf einen schmalen Streifen parallel zum Schlitz etwas zurückgearbeitet. Das Stück ist so geführt, daß es leichten Drehungen der Kolbenstange zu folgen vermag, ohne einseitig abzuheben. Senkrecht dazu ist es enger geführt, d.h. nur in Richtung seiner eigenen Achse verschieblich. Durch Federdruck wird das Abtaststück formschlüssig an der Kolbenstange gehalten. Im äußeren Teil des Abtastkopfes ist die feste Drossel untergebracht. Sie ist ebenfalls als Schlitzdrossel ausgeführt. Die zwischen beiden Drosselschlitzzen befindliche Kammer wird vom Meßanschluß angezapft. In dieser Kammer besteht der der Kolbenstangenstellung entsprechende Meßdruck.

Die dargestellte Versuchsausführung ergab recht befriedigende Ergebnisse. Es besteht gute Proportionalität zwischen Stellung und Anzeigedruck. Sie ist nicht absolut linear, kommt dieser jedoch sehr nahe. Gemessen wurde mit Dampf, Preßluft und Wasser als Strömungsmittel.

Der Verlauf der Kurve war in allen Fällen der gleiche. Schwierigkeiten ergaben sich lediglich durch Schwankungen des zuströmendrucks; sie machten die Ablesung ungenau. Die Einstellung des Gesamtdruckgefälles, das etwa bei 1 atü lag, mußte von Hand erfolgen, da ein geeigneter Regler nicht zur Verfügung stand. Der Druck im System hatte verschiedene Höhen.

Bei Dampf wurde mit Drücken bis 25 atü gemessen. Eine repräsentative Kurve mit Dampf gemessen zeigt Abb.13. Eine solche mit Luft gemessen Abb. 14, eine mit Wasser gemessene Kurve zeigt Abb.15. Hier wurde das beste Ergebnis nur deswegen erzielt, weil der erforderliche Druck von einem geschlossenen Pumpenkreis mit absolut gleicher Druckhöhe und ohne Schwankungen geliefert wurde.

Über die Entwicklung und Untersuchung ist ein spezieller Bericht in Vorbereitung.

7. Abschalt-Ventil

Wie bereits eingangs kurz erwähnt, soll das Schnellabschalten des Reaktors dadurch geschehen, daß mehrere Regelstäbe sehr rasch in das Core eingefahren werden. Grundsätzlich geschieht dies so, daß die Kolbenunterseite in kürzester Zeit vom Druck entlastet wird.

Dadurch strömt das unter Systemdruck stehende Wasser aus und entlastet die Kolbenunterseite. Die auf der Kolbenoberseite dieser gleichlaufenden Druckentlastung bringt das dort befindliche heiße Wasser zum Ausdampfen und liefert somit das zum Verschieben des Kolbens nach unten notwendige Nachfüllvolumen.

Die Druckentlastung der Kolbenunterseite geschieht dadurch, daß diese in kürzester Zeit mit einem Raum von erheblich niedrigerem Druck als der Kesseldruck, z.B. dem Kondensatorraum der Anlage, verbunden wird. Diese Verbindung wird durch ein geeignetes schnellöffnendes Ventil (Schnellventil) hergestellt.

Zum Verschieben des Abschaltstabes über die Kritikalitätsgrenze des Cores genügen meist relativ kleine Wege, wenn ein größerer Teil der Stäbe gleichzeitig in das Core eingefahren wird. Diesem Umstand zufolge ist es möglich, die Abschaltstäbe nur über ein kurzes Wegstück zu beschleunigen und dann sofort wieder zu verzögern. Das bedeutet, daß je Abschaltstab nur kleine Nachschubvoluminas zur Verfügung zu stellen sind, die in kurzen Zeiten ausgedampft werden können.

Diese erste Verzögerung des Stabes geschieht auf folgende Art und Weise:

In der Abströmleitung befindet sich unterhalb des Schnellventiles, Abb.1, in einem definierten Abstand vom Ventil eine feste Drossel. Wird das Ventil geöffnet, so wird zunächst das in der Rohrleitung befindliche Gas- oder Dampfvolumen vor dem aus dem Ventil strömenden Wasser hergeschoben und mit relativ geringem Druckverlust durch die Drossel gepreßt.

Das bedeutet, daß während dieser Zeit das Entlasten des Kolbens praktisch ungehindert vor sich gehen kann. In dem Augenblick jedoch, in dem die ausströmende Wassermasse die Drossel erreicht, tritt eine Erhöhung des Durchflußwiderstandes durch diese ein, die Ausströmung wird verzögert und die Beschleunigung des Kolbens beendet bzw. in eine Verzögerung umgekehrt.

Das Abschalten muß in sehr kurzen Zeiten vor sich gehen, d.h. sämtliche Glieder der Abschaltkette sollen extrem kurze Totzeiten haben, also auch das Abschaltventil.

Ein solches Ventil wurde entwickelt und erprobt. Es sind dabei Totzeiten von ca. 3 msec zwischen dem Eingeben des Öffnungsimpulses in das Ventil bis zum Beginn der Ausströmung und Ventilspindelöffnungszeiten für den vollen Hub von 6 mm von 6 - 7 msec erreicht worden.

Die Konstruktion des Versuchventils, das für die nachfolgenden Daten ausgelegt war, zeigt Abb. 16

Arbeitsdruck $P_a = 150 \text{ ata}$
Ventilsitz 25 mm \emptyset
Ventilhub max 6 mm
Durchtrittsfläche 4,7 cm²

Das Ventil ist ein Sitzventil und wird durch eine Kniehebel-übertotpunktsperre gegen den Systemdruck geschlossen gehalten. Das Auslösen des Ventiles erfolgt durch den Überschlag eines elektrischen Knallfunkens in einer Wasserkammer. Die dabei entstehende spontane Verdampfung des Wassers liefert einen Druckimpuls, der über einen Kolben auf die Kniehebelsperre einwirkt, diese über den Totpunkt durchschlägt und das Ventil entsperrt bzw. öffnet. Einzelheiten und Ergebnisse sind in einem gesonderten Bericht des Verfassers gebracht. [3]

8. Abfang- und Dämpfungsfeder

Das durch das Öffnen des Schnellventiles eingeleitete Einschließen des Regelstabes in das Core zum Schnellabschalten des Reaktors muß durch ein Abfangen des Stabes wieder beendet werden, d.h. die dem Stab beim Einschließen mitgeteilte Energie muß auf irgend eine Art und Weise diesem wieder entzogen werden.

Teilweise geschieht dies, wie bereits beschrieben, durch die Vernichtung von Strömungsenergie in der dem Schnellventil nachgeschalteten Drossel. Der Rest an Energie muß in einem gesonderten Bauteil des Antriebes vernichtet werden.

Konventionelle Bauformen die aus Kombinationen von Federn, z.B. Spiral- oder Tellerfedern mit Kolbendämpfern üblicher oder von diesen abgewandelten Bauformen bestehen, sind für diese Aufgabe grundsätzlich einsetzbar. Sie erscheinen jedoch relativ aufwendig und für die Verwendung von Wasser als Dämpfungsmedium nicht gut geeignet.

Es wurde deshalb ein von den bisherigen Bauformen völlig abweichendes Feder- und Dämpferelement theoretisch untersucht und eine versuchmäßige Untersuchung, zunächst an Plexiglasmodellen in Angriff genommen.

Das Feder- und Dämpfungselement besteht aus einer Aufschichtung von nach der Form einer Sattelfläche verwölbten elastischen Scheiben oder Platten, die so übereinandergeschichtet und gegeneinander fixiert werden, daß zwischen diesen Scheiben ein flächenförmiger Hohlraum entsteht.

Das aus diesen Scheiben, die vorzugsweise rund sind, gebildete Paket befindet sich in einem Gefäß, dessen Innendurchmesser etwas größer ist als der Scheibendurchmesser. In dem Gefäß befindet sich das Dämpfungsmedium. Beim Zusammenpressen des Federpaketes wird der Zwischenraum zwischen den einzelnen Scheiben verkleinert und die dort befindliche Flüssigkeit herausgedrückt. Dabei erfährt diese einen Strömungswiderstand, der sich als Federdämpfung bemerkbar macht.

Die nach außen gedrückte Flüssigkeit strömt weiter durch den zwischen Scheiben und Gefäßwand bestehenden Spalt entgegen der Bewegungsrichtung des Paketes ab und erfährt dabei einen weiteren Strömungs- d.h. Dämpfungswiderstand.

Durch die homogene Verteilung von Federkraft und Dämpfung ergibt sich ein sehr kompaktes aber auch höchst wirksames Bauelement.

Die Form eines einzelnen Federelementes, z.B. eines runden und eines quadratischen, zeigt Abb.17 und 18. Die Schichtung mehrerer runder Federscheiben mit dazugehörigen Führungsleisten zeigt das Modell im Foto 1; Abb.19. Ein ganzes Feder- und Dämpferelement im Zylinder mit farbigem Wasser gefüllt (Plexiglas) zeigt Foto 2, Abb.20.

Bisher durchgeführte Rechnungen und Messungen an einzelnen Federscheiben von kreisrunder und quadratischer Form ergaben eine leicht degressive Kennlinie.

Die Schichtung mehrerer gleicher Federscheiben übereinander ergab durch einen gegenseitigen Stützeffekt über den größten Federweg eine annähernd gerade Kennlinie, die gegen Ende des Weges progressiv wurde.

Der Werkstoffausnutzungsgrad der Feder ist sehr gut, etwa gleich hoch wie bei einer Schraubenfeder, d.h. ca. 50 %. Vergleichsweise liegen Tellerfedern bei etwa 10 - 15 % Werkstoffausnutzungsgrad. Der Bauraumausnutzungsgrad liegt sehr hoch, etwa bei 90 %. Die Kennlinie der Dämpfung eines Paketes ist grundsätzlich progressiv. Sie kann jedoch durch entsprechende Gestaltung der Innenwand des Dämpfungszylinders und durch die Weite des Spaltes zwischen Federscheibenrand und Innenwand weitgehend variiert werden.

Ein besonderer Vorteil des Elementes liegt noch darin, daß keine komplizierten Passungen oder Dichtungen erforderlich sind, ferner, daß der Bruch einer Federscheibe die Funktionstüchtigkeit kaum beeinträchtigt. Außerdem kann durch die Wahl von Scheiben verschiedenster Stärke und Wölbung leicht eine Anpassung an geforderte Kennlinien erreicht werden.

Einzelheiten hierzu können einem in Vorbereitung befindlichen Sonderbericht entnommen werden. [4]

Zusammenfassung

Es wird über ein vollhydraulisches Regelstabantriebssystem berichtet, bei dem sowohl die Verschiebung des Regelstabes als auch die Erfassung des Verschiebeweges hydraulisch erfolgt.

Die Verschiebung des Regelstabes geschieht durch einen hydraulischen Kolbenmotor konventioneller Bauform;

die Erfassung des Verschiebeweges mit einem neu entwickelten hydraulischen Potentiometer hoher Anzeigegenauigkeit.

Kolbenmotor und Potentiometer sind unmittelbar und fest miteinander gekoppelt und Teile eines hydraulischen Nachfahrsystems, dem aus dem elektrischen Kreis der Reaktorregelung die Führungsgröße eingeprägt wird.

Eine Vervollständigung des Antriebssystems zur Erhöhung der Sicherheit besteht noch in einer von den Schaltimpulsen der Nachfahrhydraulik beeinflussbaren Klemmsperre, die ein ungewolltes und unkontrolliertes Einfahren des Regelstabes in das Core verhindert, sowie in einer zweiten vom Nachfahrkreis unabhängigen Anzeigevorrichtung, die ebenfalls mit Strömungsmitteln arbeitet.

Ein ebenfalls beschriebenes schnellöffnendes Ventil mit Öffnungszeiten von einigen msec setzt die Einrichtung in Stand, auch für den Schnellschluß-Fall, die gleichen Regelstäbe einzusetzen.

Zum Abfangen der für den Scram-Fall eingeschossenen Regelstäbe wurde ein einfach aufgebautes, aber hoch wirksames und unempfindliches Brems- und Dämpferfederpaket entwickelt, das darüber hinaus bestens geeignet ist, als Abfangfeder für herabfallende Brennstoffbündel zu dienen.

Die verschiedenen neuen Bauelemente wie das Potentiometer, die zweite Stellungsanzeigevorrichtung, das Schnellschlußventil, die Dämpferfeder wurden im einzelnen entwickelt und erprobt. Kolbenmotor und Klemmsperre können von bewährten Bauelementen abgeleitet werden.

Ein komplettes Regelstabantriebssystem mit sämtlichen Komponenten ausgerüstet und für Reaktorbedingungen (150 atü, Siedetemperatur) ausgelegt, ist zur Erprobung in Vorbereitung.

Über die neu entwickelten Elemente wird in Kürze in Sonderberichten Näheres gebracht.

Mühlhäuser: Das hydraulische Potentiometer als Steuer-
element und Weganzeigegerät (in Vorbereitung).
KFK-Bericht Nr. 734, EUR 3719 d,
IRB-Bericht Nr. 52/68
März 68

Mühlhäuser: Eine hydraulische bzw. pneumatische Vorrich-
tung für die Anzeige der Stellung eines Regel-
stabes in einem Kernreaktor (in Vorbereitung).
PSB-Bericht Nr. 292, IRB-Bericht Nr. 53/68
April 68

Mühlhäuser: Zur Entwicklung eines Schnellventiles für die
Betätigung eines Reaktorabschaltstabes.
PSB-Bericht Nr. 274, IRB-Bericht Nr. 28/67,
August 67.
Nachtrag in Vorbereitung,
PSB-Bericht Nr. 291, IRB-Bericht Nr. 54/68
Februar 68

Mühlhäuser: Hydraulisch gedämpftes Federpaket hoher
Leistungsfähigkeit als Brems- und Abfang-
element für Kernreaktor-Regelstäbe.
KFK-Bericht Nr. 735, EUR 3720 d,
IRB-Bericht Nr. 55/68
Februar 68

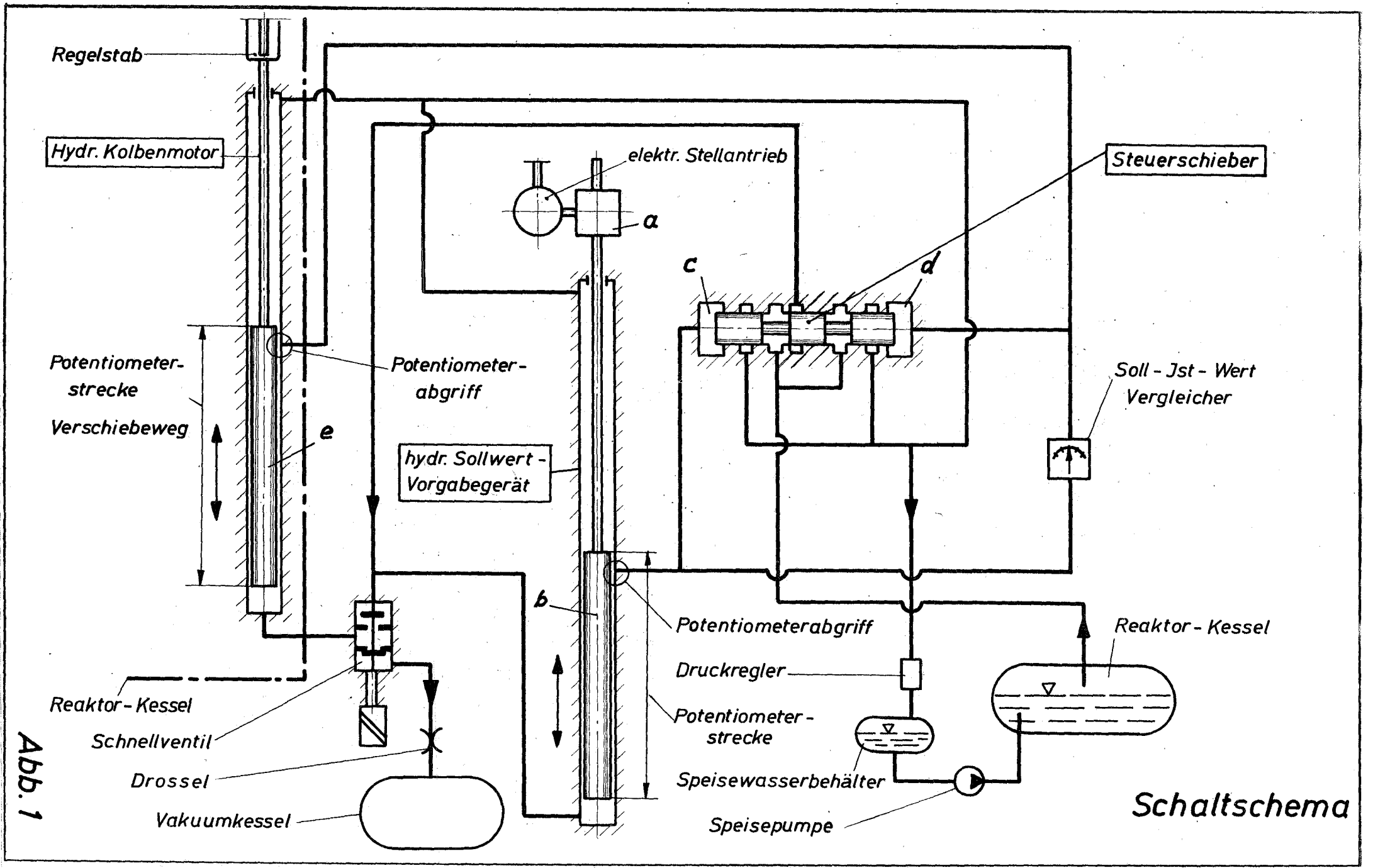
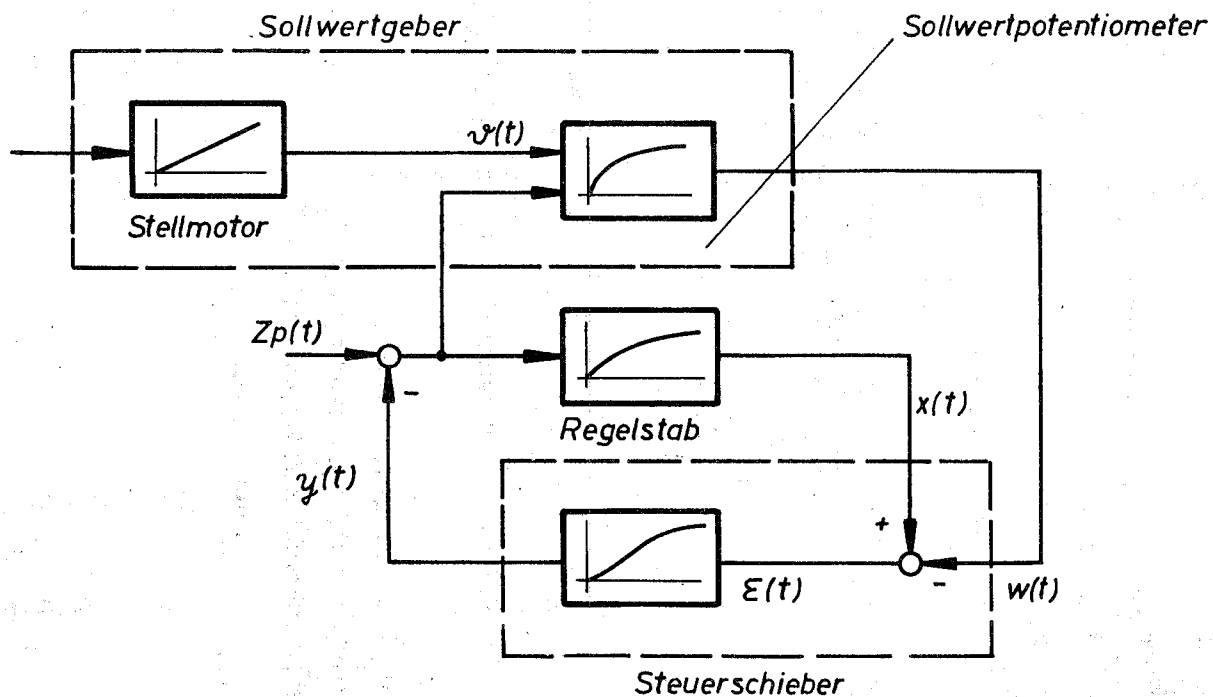


Abb. 1

Schaltschema



$v(t)$ = Führungsgröße [m]

$w(t)$ = Sollwert [$\frac{kp}{m}$]

$x(t)$ = Regelgröße [$\frac{kp}{m}$]

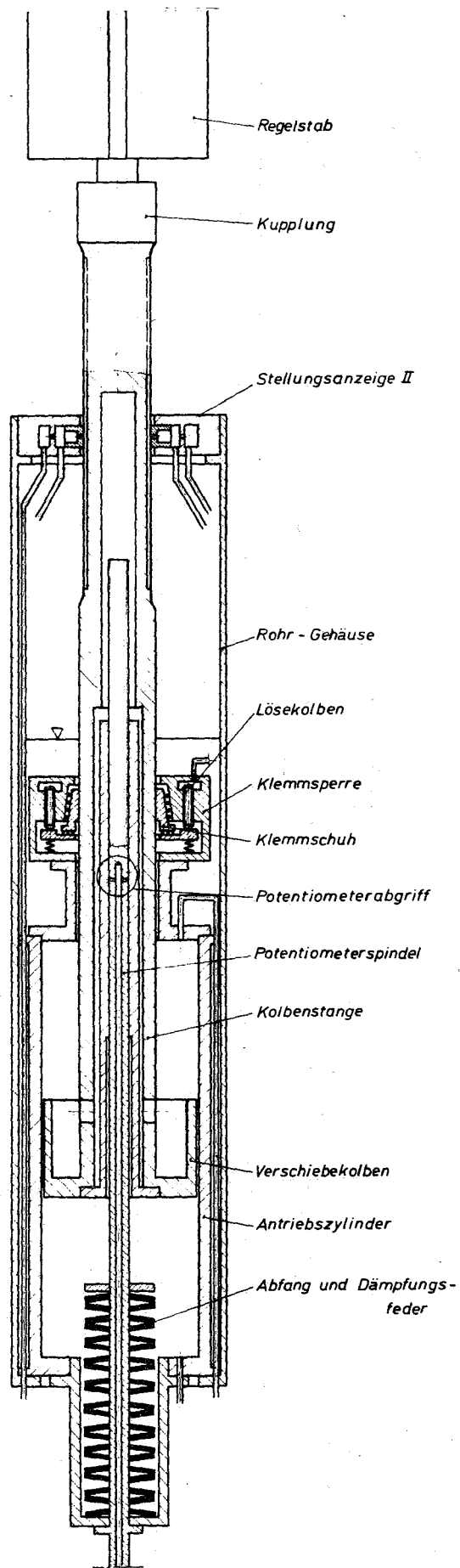
$y(t)$ = Stellgröße [$\frac{kp}{m}$]

$z_p(t)$ = Störgröße [$\frac{kp}{m}$]

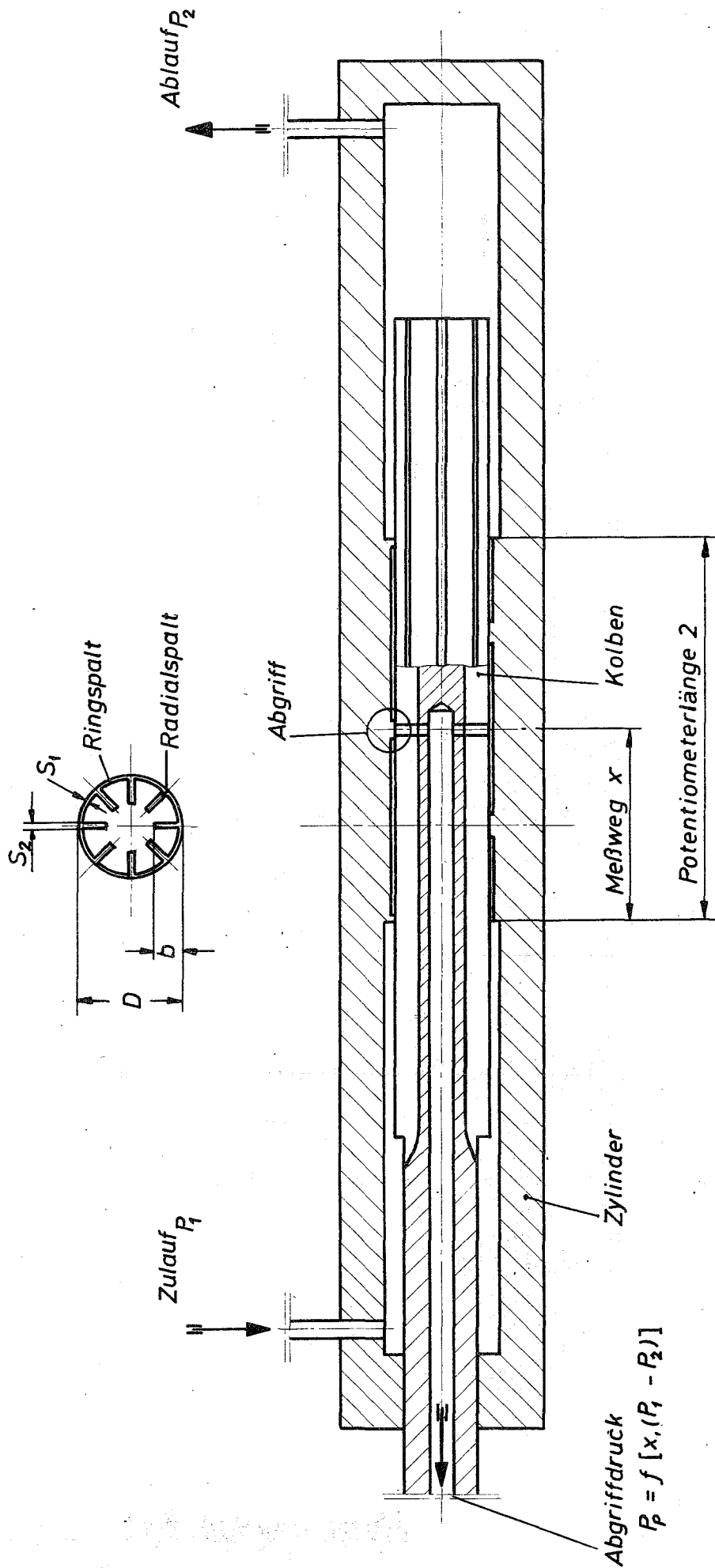
$\epsilon(t)$ = Regelabweichung [$\frac{kp}{m}$]

Abb. 2

Signalflußbild



Hydr. Regelstab - Antrieb
Abb. 3



Hydr. Potentiometer

Abb. 4

b/a'

1,0

0,9

0,8

0,7

0,6

0,5

0,4

0,3

0,2

0,1

Meßdruck

b' = Abgriffdruck

a' = Gesamtdruck

Hydr. Potentiometer I

Durchmesser D = 8 mm

8 Längskanäle

Tiefe der Kanäle = 1,5 mm

Weite der Kanäle = 0,5 mm

Verschiebeweg
mm

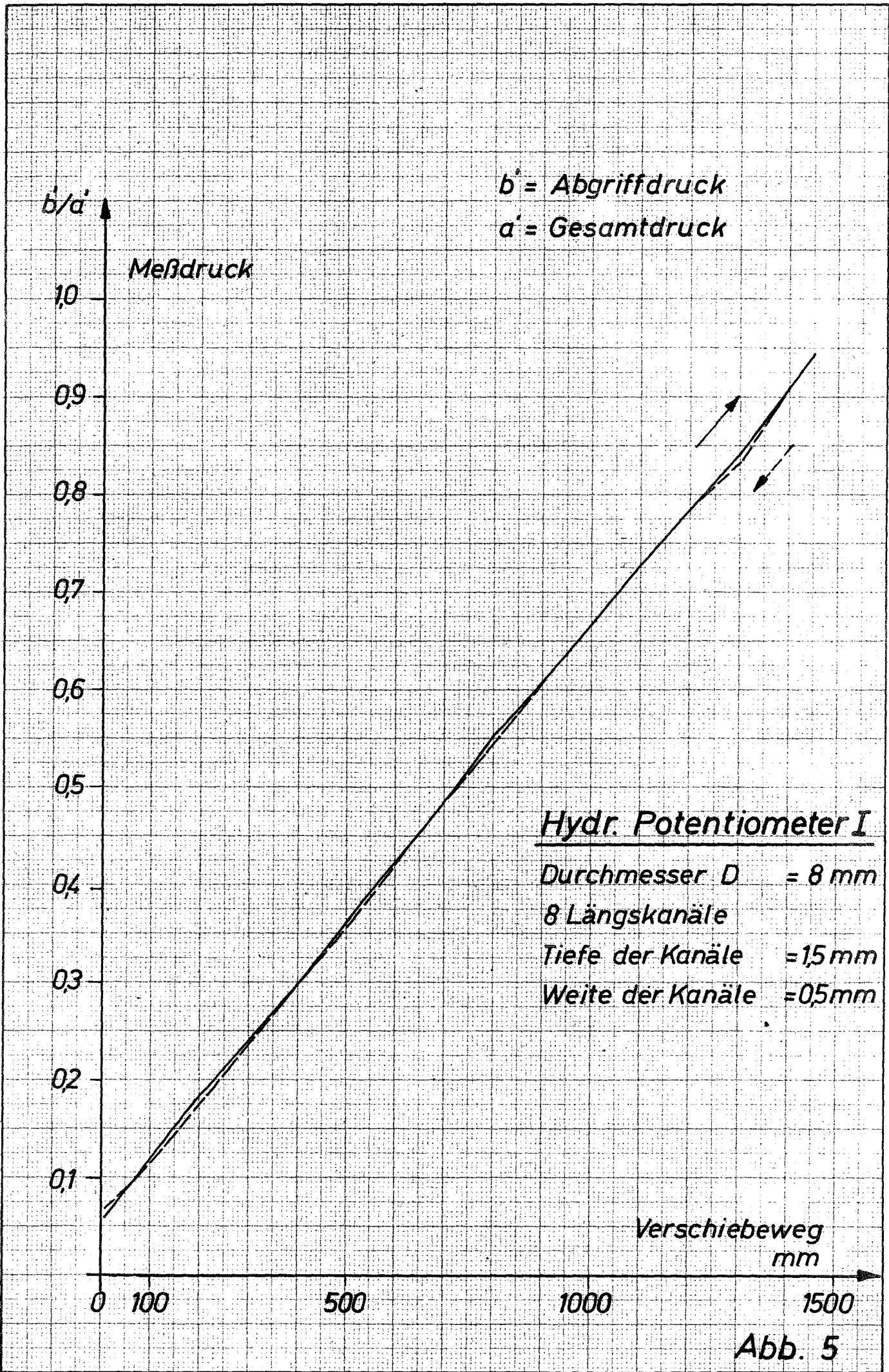
0 100

500

1000

1500

Abb. 5



Hydr. Potentiometer II

Kolben- ϕ 18mm, 8Nuten 5x0,4

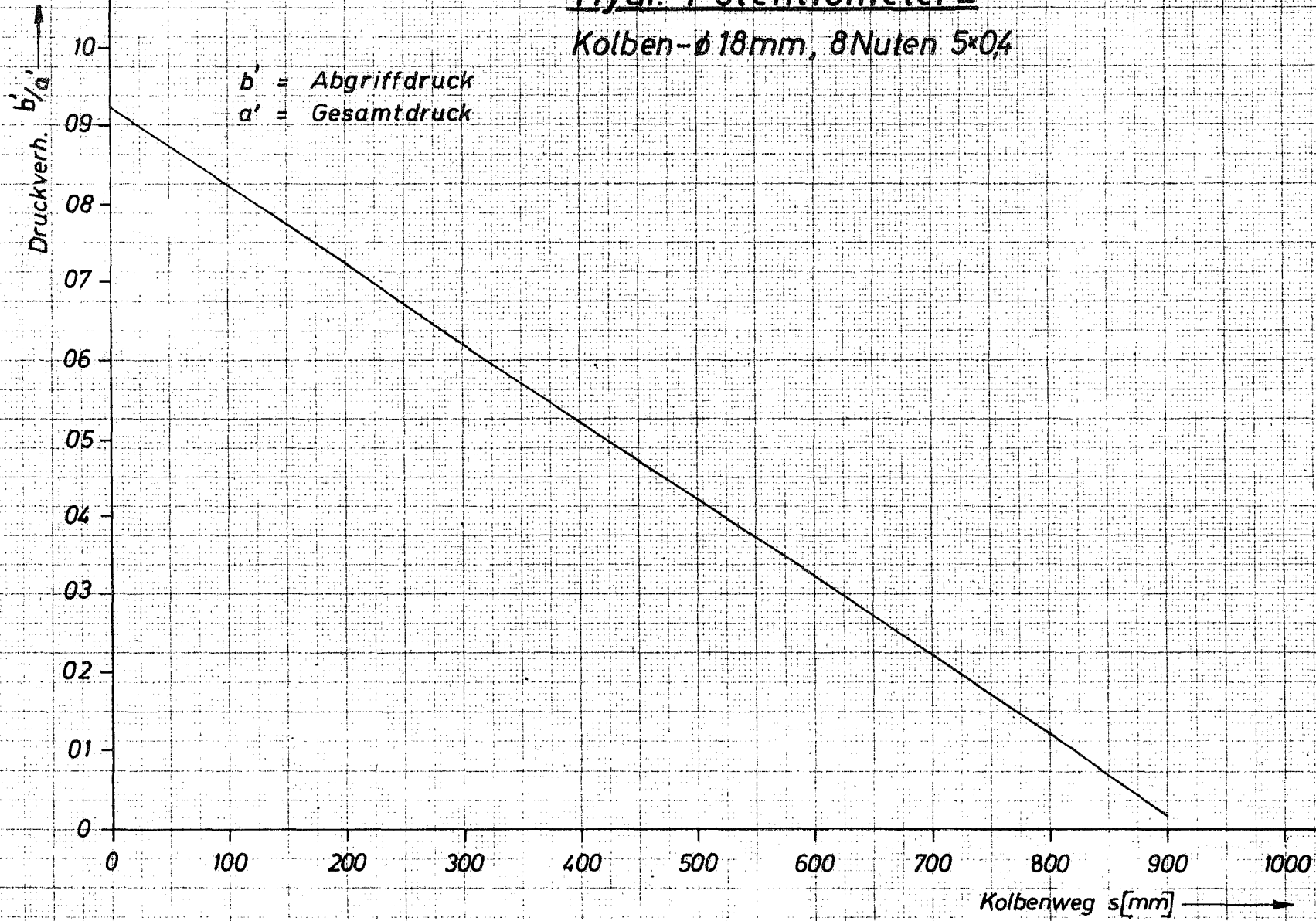
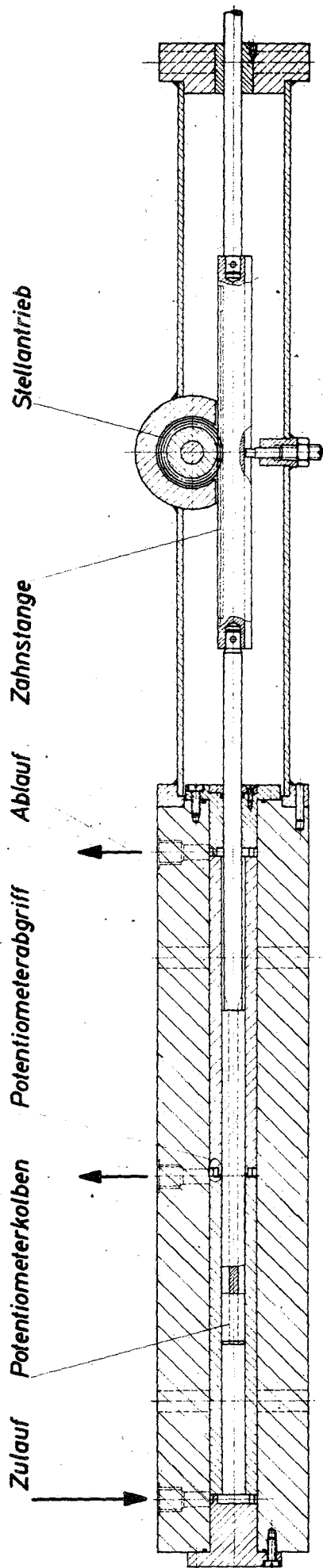
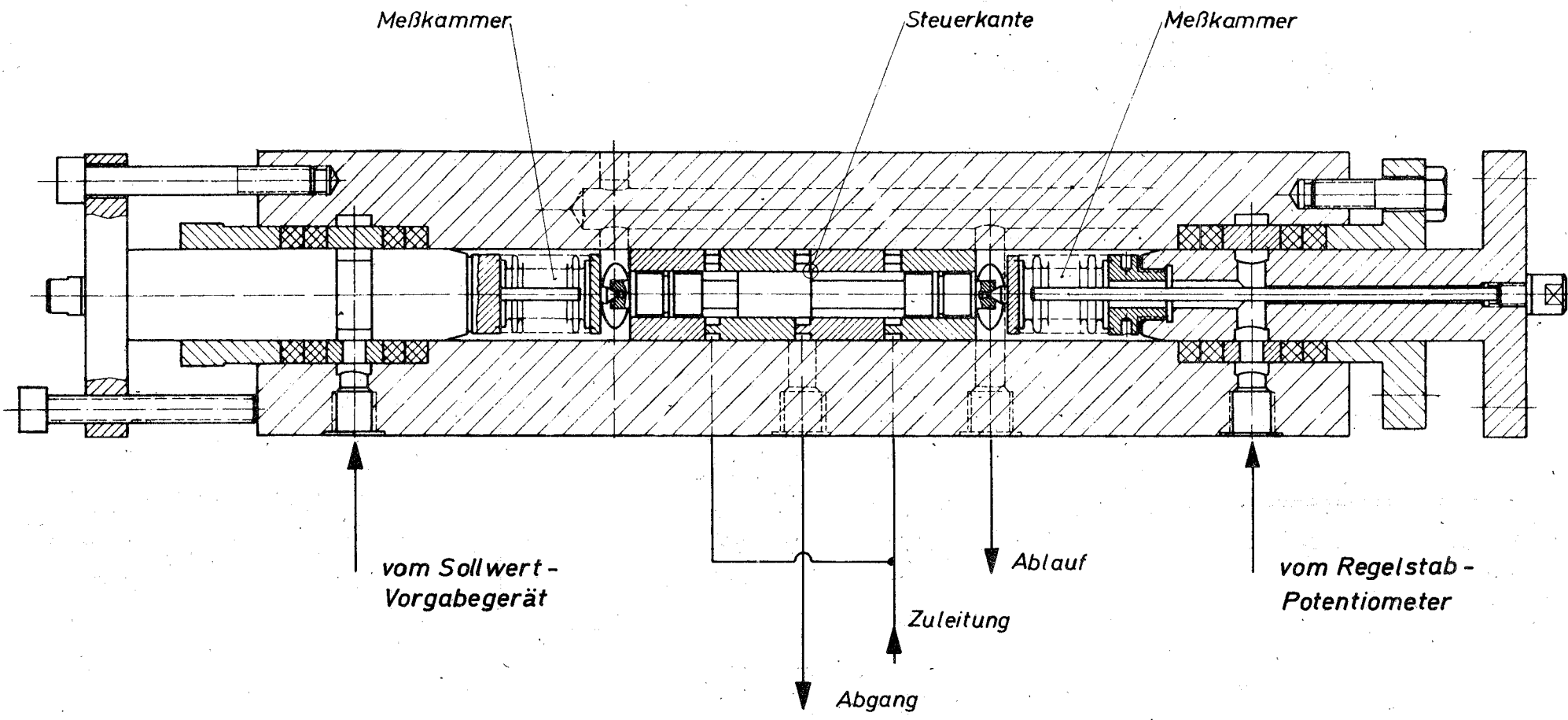


Abb. 6



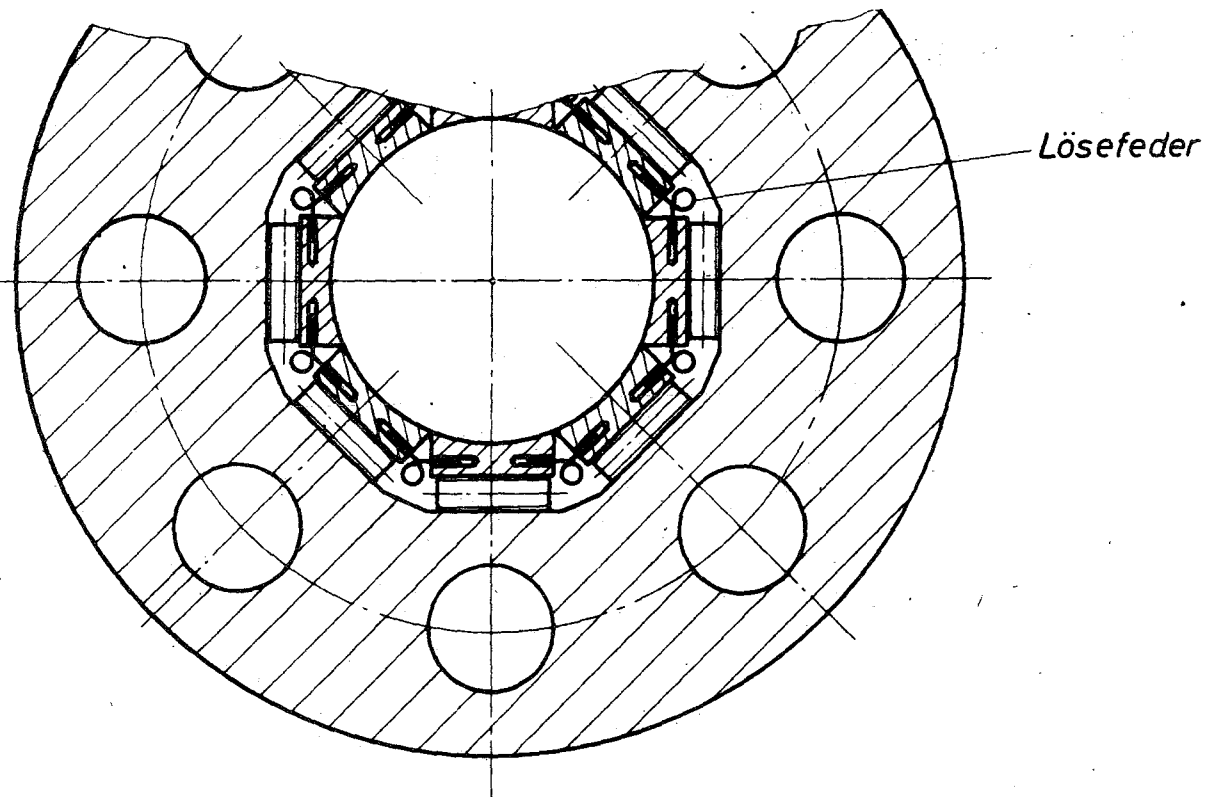
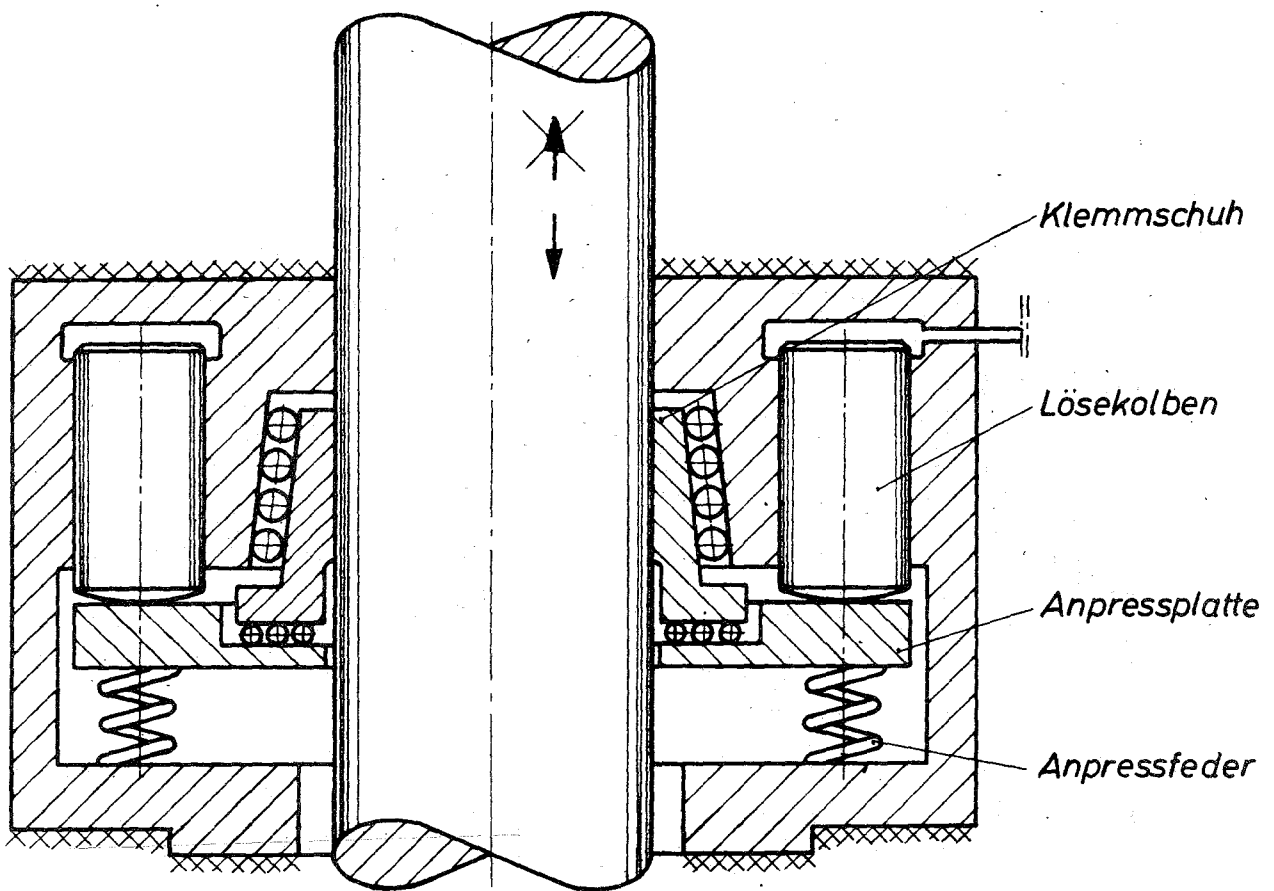
Sollwert - Vorgabegerät

Abb. 7

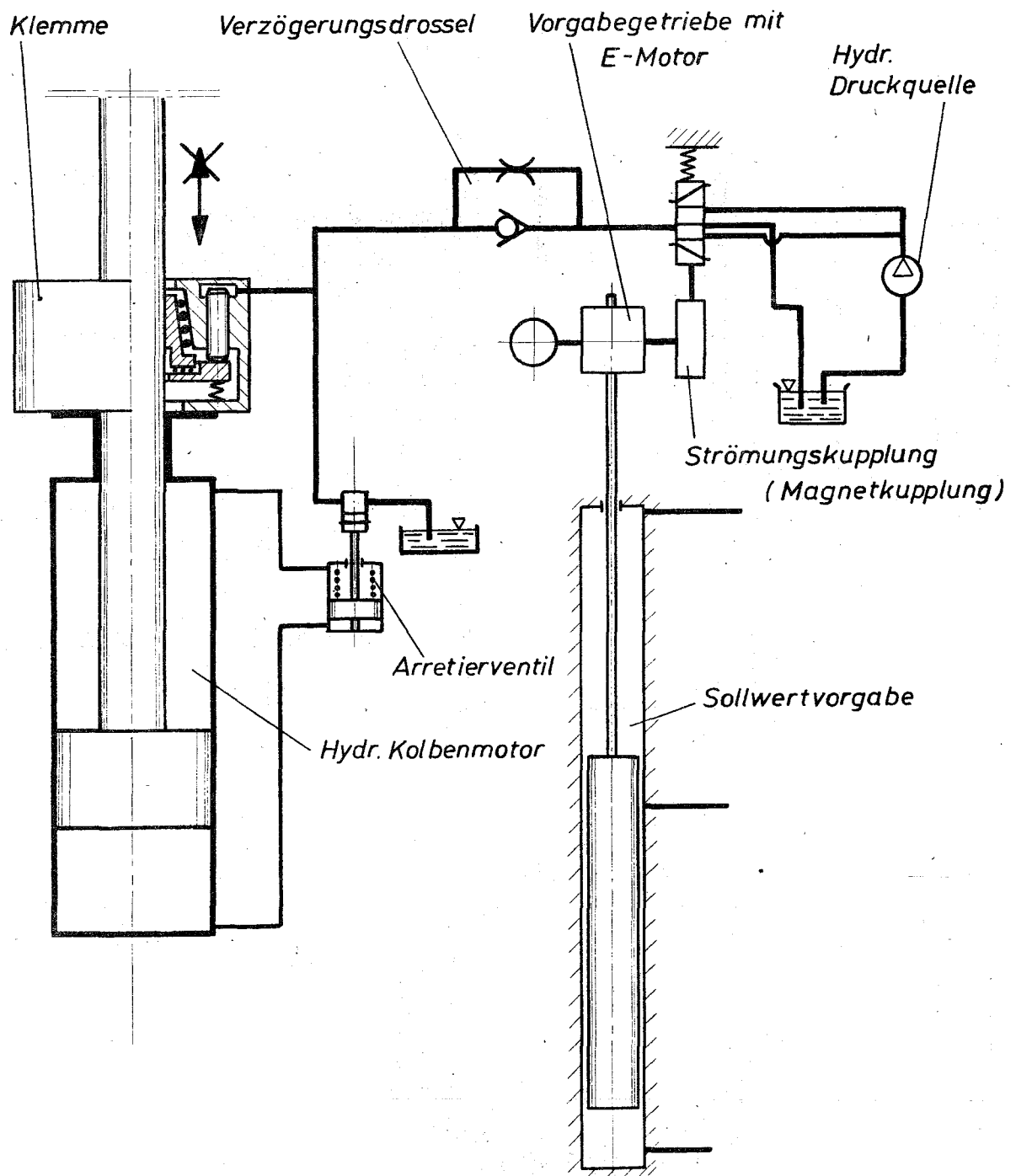


Steuerschieber

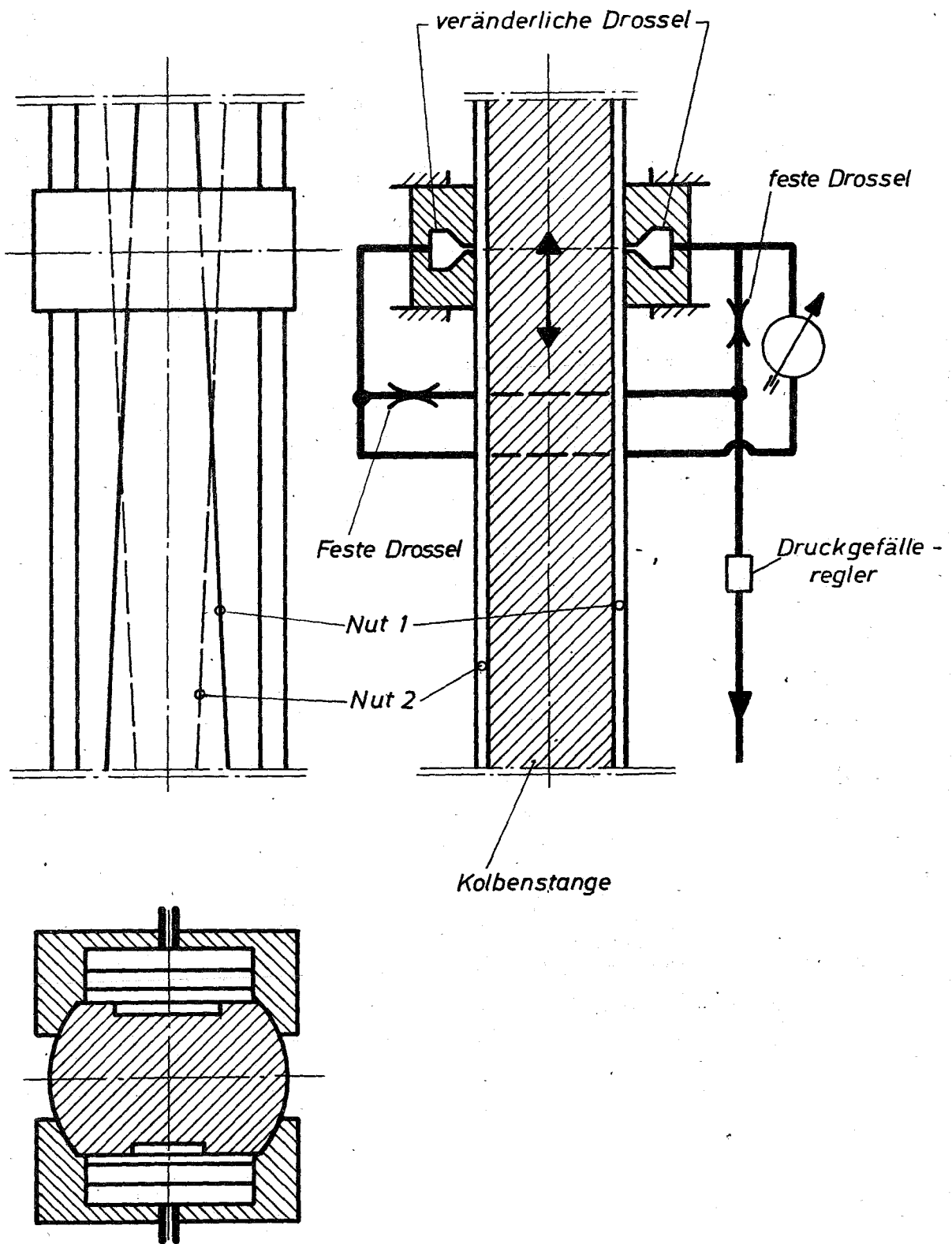
Abb. 8



Klemmsperre
Abb. 9



Klemmsperre mit Löseschaltung
 Abb. 10



Regelstab - Stellungsanzeige II
Schaltschema

Abb. 11

Meßanschluß

Abstrom

feste Drossel (Schlitz)

Abtaststück

Zustrom

Nut 1

Schlitzbreite

Nut 2

Meßanschluß

Abstrom

Abtastkopf

Abtastschlitz

Nut 1

Kolbenstange

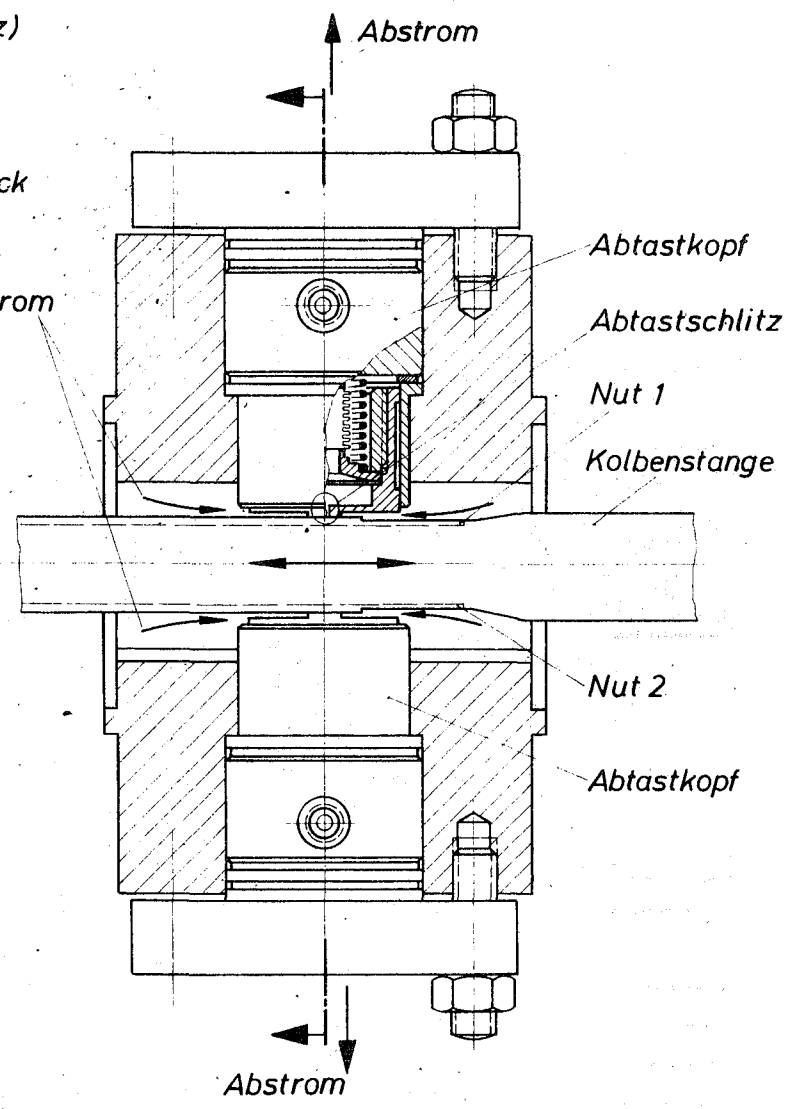
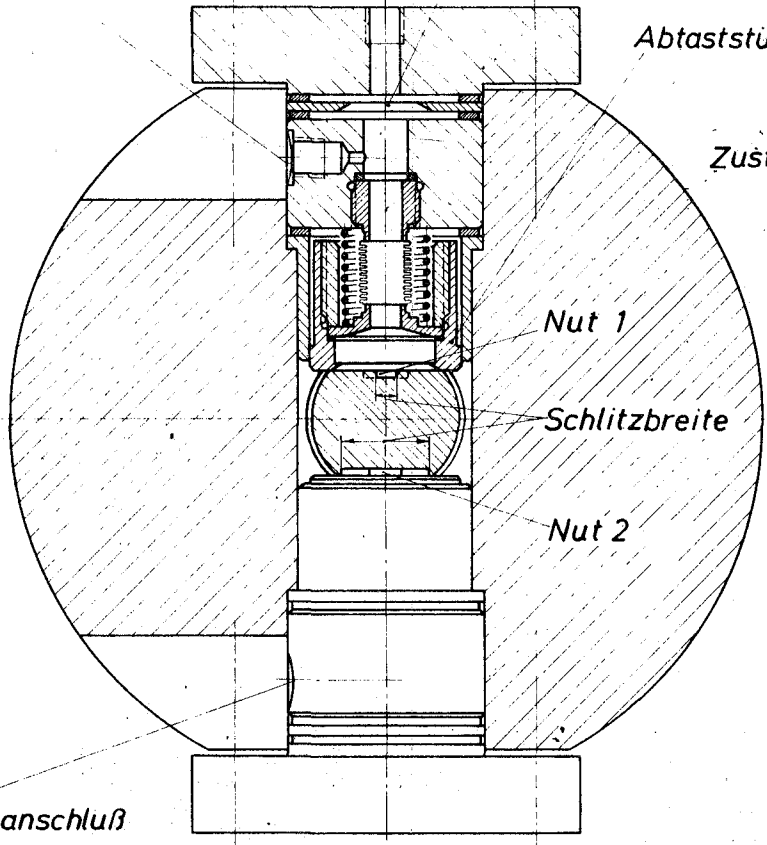
Nut 2

Abtastkopf

Abstrom

Regelstab - Stellungsanzeige II
(Versuchsausführung)

Abb. 12



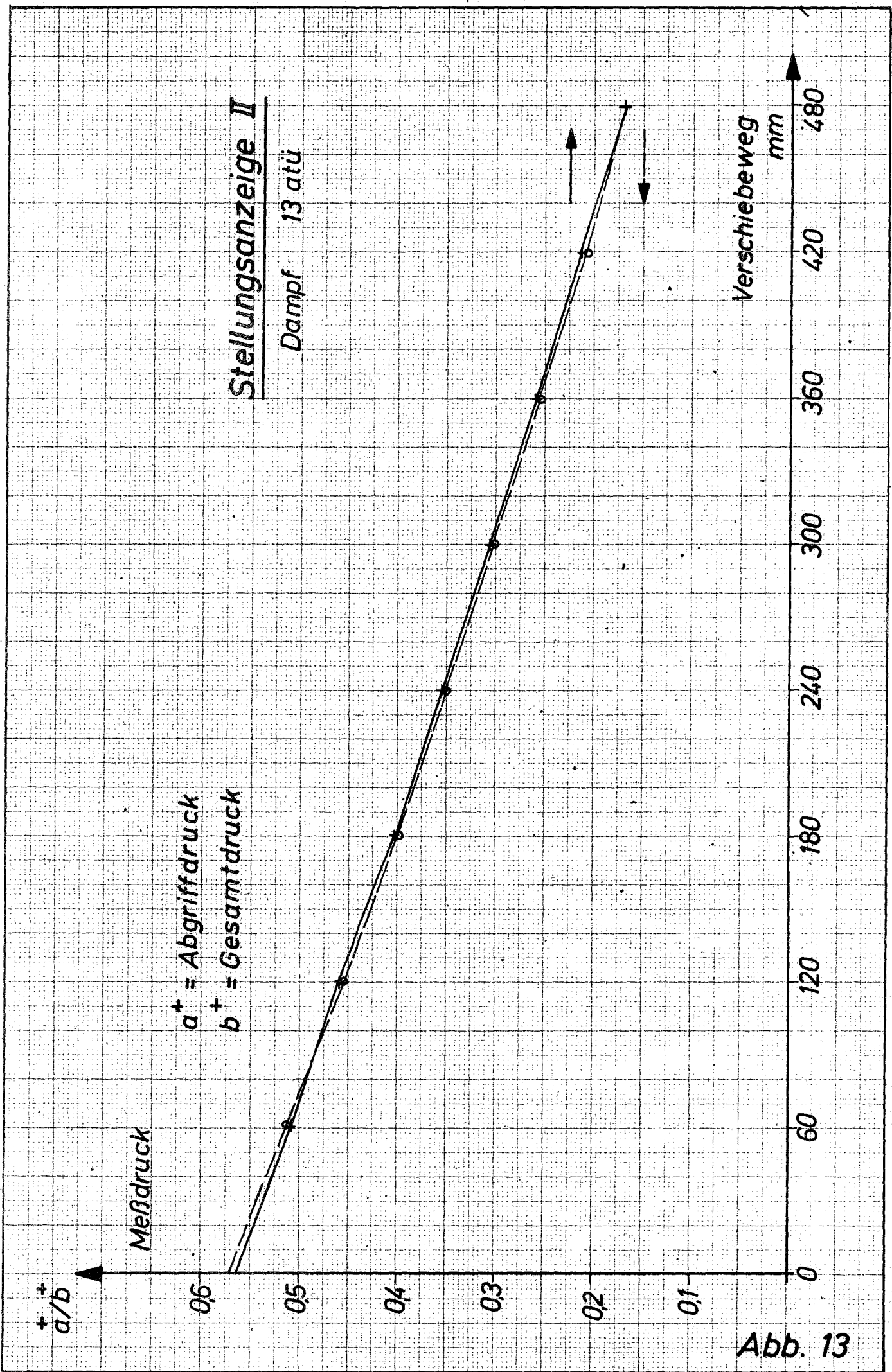


Abb. 13

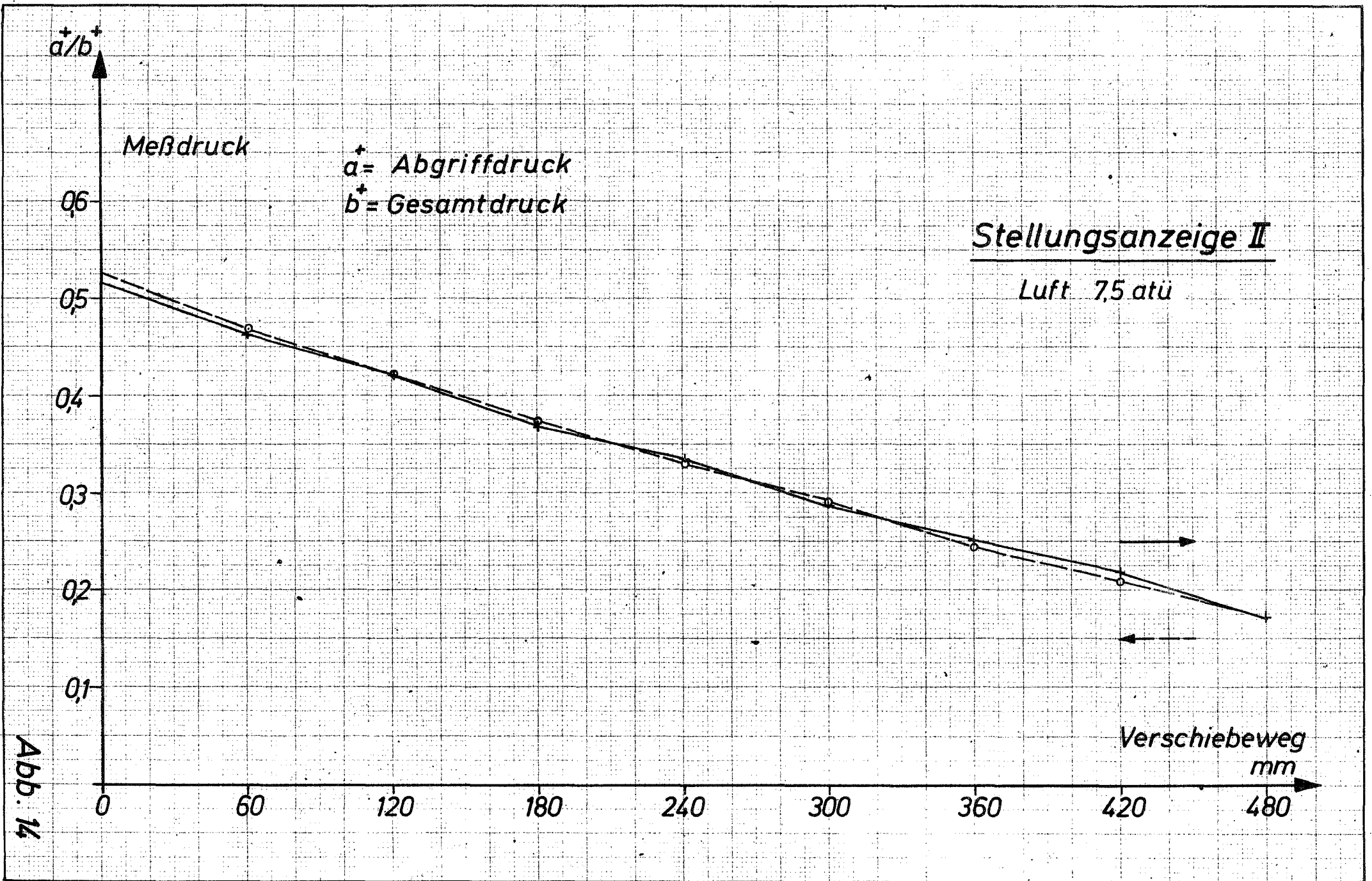
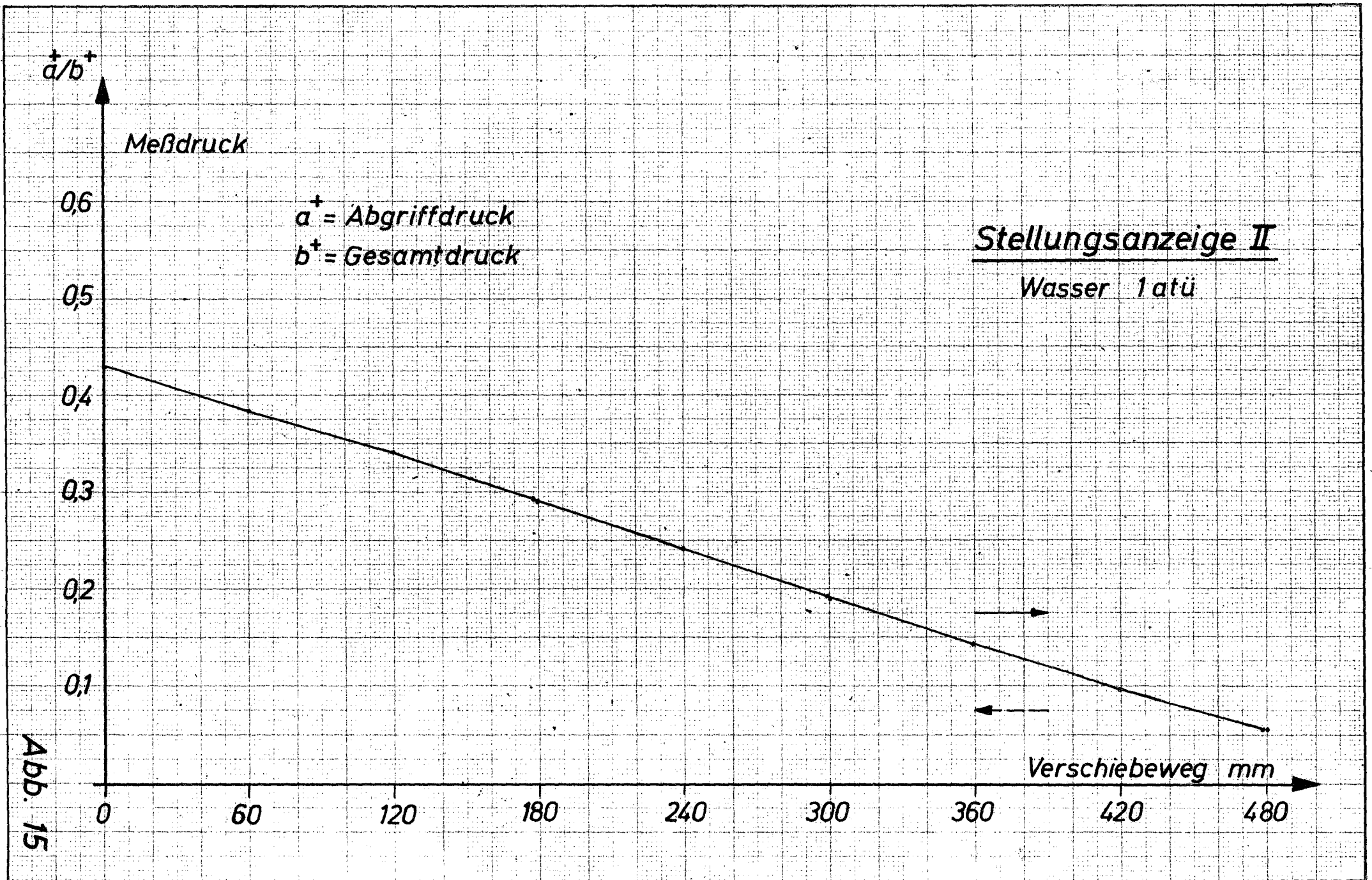
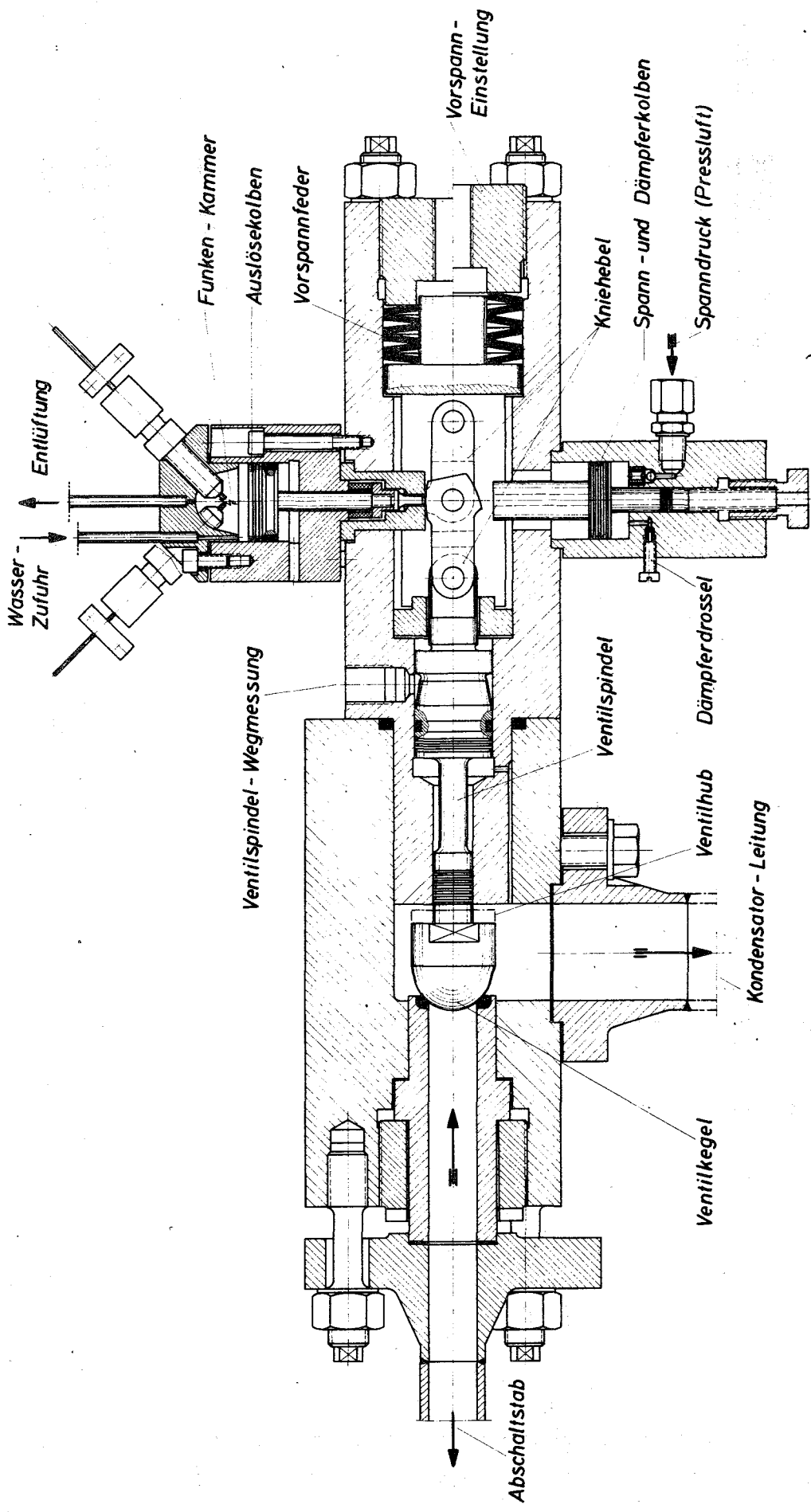


Abb. 14





Schnellventil

Abb. 16

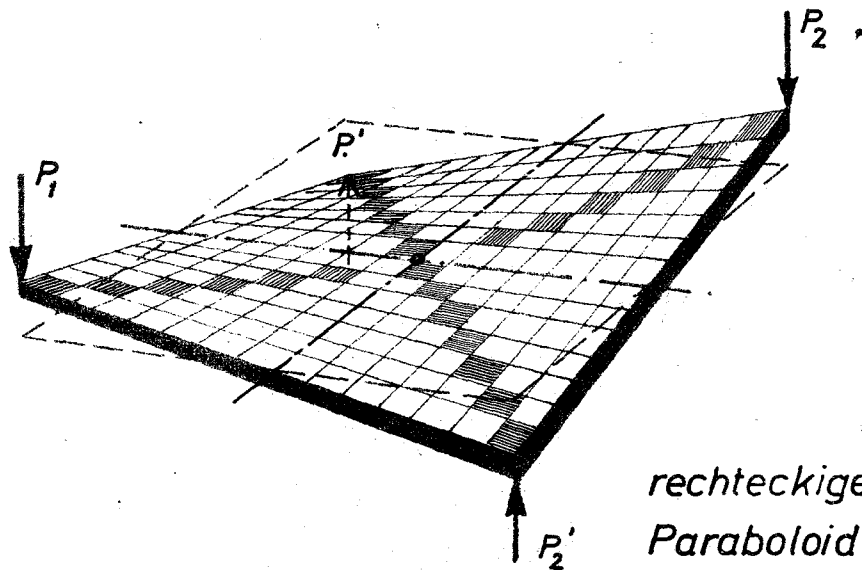


Abb. 17
 rechteckiges hyperbolisches
 Paraboloid (Sattelfläche)

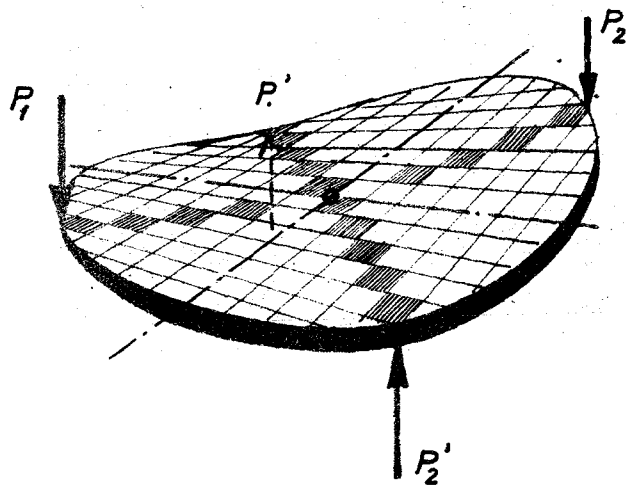


Abb. 18
 rundes hyperbolisches
 Paraboloid

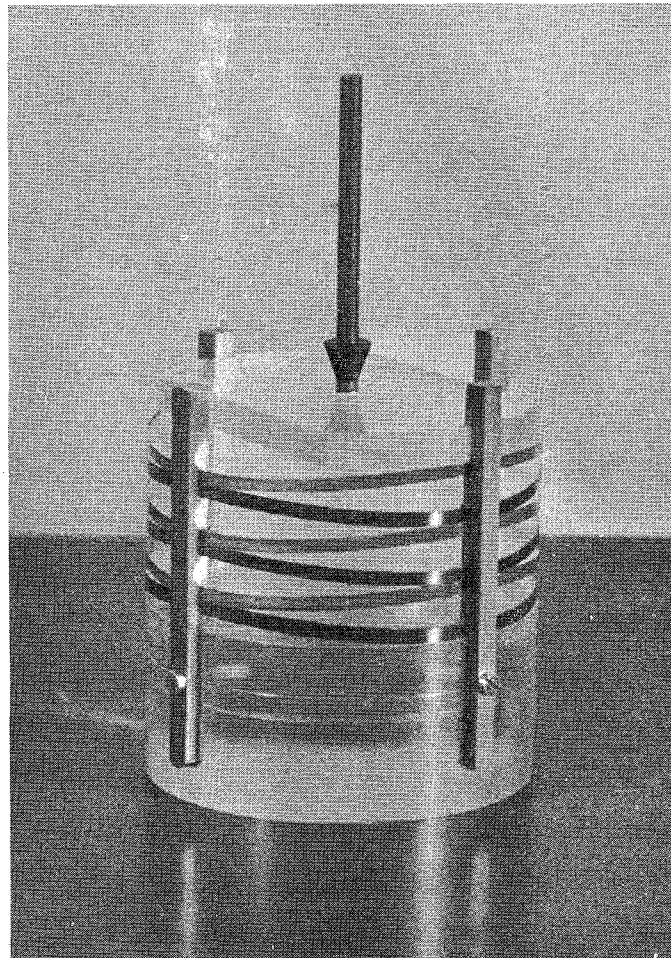


Foto 1
Abb. 19

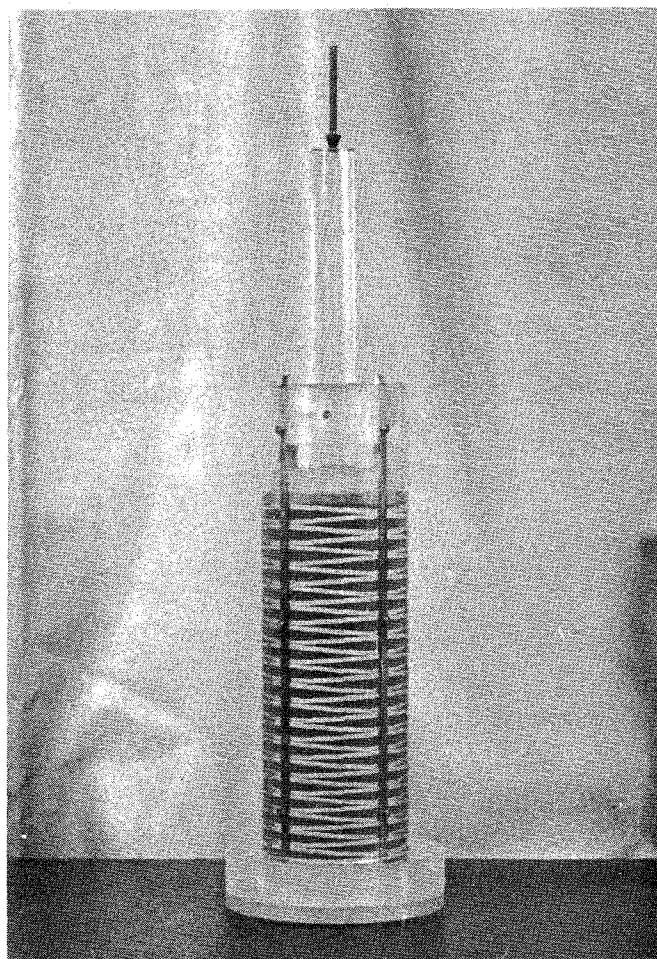


Foto 2
Abb. 20