

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM
KARLSRUHE**

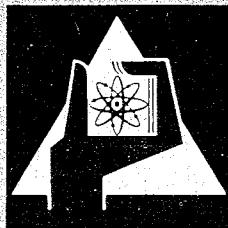
April 1969

KFK 951
EUR 4170 d

Institut für Reaktorbauelemente

Eine hydraulische bzw. pneumatische Vorrichtung für die Anzeige
der Stellung eines Regelstabes in einem Kernreaktor

O. Mühlhäuser



GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.

KARLSRUHE

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

April 1969

KFK 951

EUR 4170 d

Institut für Reaktorbauelemente

Eine hydraulische bzw. pneumatische Vorrichtung für
die Anzeige der Stellung eines Regelstabes in einem
Kernreaktor.

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.

Eine hydraulische bzw. pneumatische Vorrichtung für die Anzeige der Stellung eines Regelstabes in einem Kernreaktor.

=====

Aus Sicherheitsgründen ist es erforderlich, die Stellung eines Regelstabes im Core eines Reaktors noch durch eine zweite Einrichtung anzuzeigen, die von der des Verstellmechanismus völlig getrennt und unabhängig ist.

Prinzipkonstruktion und Erprobungsergebnisse für eine solche Stellungsanzeige sind der Gegenstand der vorliegenden Arbeit.

Die Einrichtung wird pneumatisch oder hydraulisch betrieben und benutzt als Betriebsmedium das Betriebsmittel des Reaktors, d.h. je nach dem Wasser, Dampf oder Gas, wobei die Arbeitstemperatur des betreffenden Mediums von untergeordneter Bedeutung ist.

Dem Prinzip nach besteht die Anzeigevorrichtung in einer viergliedrigen hydraulischen Brückenschaltung, bei der 2 Glieder veränderlich sind, wobei die Veränderung dieser beiden Glieder eine Funktion des Verschiebeweges des Regelstabes sind. Das erforderliche Druckgefälle zum Betrieb der Brücke wird durch Druckabsenkung des angezapften Reaktordruckes geschaffen und durch einen Regeler auf konstanter Höhe gehalten.

Den funktionellen Aufbau der Vorrichtung zeigt im Schema Abb. 1.

In diesem Bild ist mit Regelstabstange ein verschiebliches Teil des Regelstabantriebes oder ein solches des Regelstabes selber bezeichnet, das dieselbe Verschiebung macht wie der Regelstab. Auf diesem Bauteil sind zwei gegenüberliegende Laufflächen vorgesehen. In jede dieser Laufflächen ist eine

Längsnut eingearbeitet, deren Länge dem zu messenden Verschiebeweg entspricht und die eine über ihre Länge kontinuierlich veränderliche Breite hat. Mit den Laufflächen korrespondiert je ein Abgriffkopf, der auf diesem verschoben werden kann bzw. unter dem sich die Laufflächen vorbeibewegen. Diese Abgriffköpfe sind mit einer, einer jeden Lauffläche bzw. Nut zugewendeten Schlitzblende versehen. Diese Schlitzblende liegt unmittelbar auf der Lauffläche auf und erstreckt sich senkrecht zur Verschieberichtung. Die Schlitze selbst sind sehr schmal und etwas länger als die größte Nutbreite. Bei der Verschiebung der Abgriffköpfe auf der Lauffläche wird dann bei jeder der Schlitzblenden ein der jeweiligen Nutbreite entsprechender freier Schlitzquerschnitt eingestellt.

Die zwei weiteren Glieder der Brückenschaltung werden entsprechend Abb. 1 durch feste Drosseln gebildet. Die Durchströmrichtung durch die Brücke ist so festgelegt, daß zunächst die Schlitzdrosseln und dann die festen Drosseln durchströmt werden. Dadurch kann in einfachster Weise der abgesenkte Kesseldruck des Reaktors zum Betrieb der Meßeinrichtung herangezogen werden.

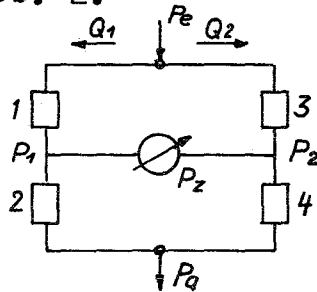
Bei gegebenem Verlauf der Nutbreite in Abhängigkeit von der Regelstabstellung ergibt sich den Strömungsgesetzen der Brückenströmung entsprechend eine diskrete Abhängigkeit der Anzeige von der Stabstellung.

Das Druckgefälle über der Brücke ist damit das Maß für die jeweilige Stellung des Regelstabes.

Der Verlauf dieser Abhängigkeit soll im Nachfolgenden untersucht werden.

Theoretische Untersuchung

Für die hydraulische Brücke gilt das Ersatzschaltbild entsprechend Abb. 2.



Unter der Voraussetzung, daß sämtliche Drosseln Blendendrosseln sind, gilt für die einzelne Blende:

$$Q = \mu \cdot F \cdot v$$

$$Q = \mu \cdot F \cdot \sqrt{\frac{2 \Delta P}{\rho}} \quad (1)$$

Aufgrund der konstruktiv gegebenen Verhältnisse kann μ und ρ für die 4 Blenden als gleich angesehen werden. In der Brücke werden die Blenden 1 und 2, die in Abb. 2 als Widerstände dargestellt sind, von der Menge Q_1 und die Blenden 3 und 4 von der Menge Q_2 durchströmt. Es sind weiter

P_e = Eingangsdruck

P_a = Ausgangsdruck

P_1 bzw. P_2 = Zwischendruck

$(P_1 - P_2) = P_z$ = Anzeigedruck

Dann gilt

$$Q_1 = \mu \cdot F_1 \cdot \sqrt{\frac{2(P_e - P_1)}{\rho}} \quad (2)$$

$$Q_2 = \mu \cdot F_2 \cdot \sqrt{\frac{2(P_1 - P_a)}{\rho}} \quad (3)$$

und

$$Q_2 = \mu \cdot F_3 \sqrt{\frac{2(P_e - P_2)}{\rho}} \quad (4)$$

$$Q_2 = \mu \cdot F_4 \sqrt{\frac{2(P_2 - P_a)}{\rho}} \quad (5)$$

Aus konstruktiven Gründen werden die festen Drosseln ebenfalls als Schlitzdrosseln ausgeführt und die Breite bei sämtlichen 4 Drosseln gleich gehalten. Ferner werden bei den beiden festen Drosseln die Schlitzte gleich lang gemacht, so daß diese beiden Drosseln gleich sind.

Dann ist

$$\begin{aligned} F_1 &= s \cdot L_1 \\ F_2 &= s \cdot L_2 \\ F_3 &= s \cdot L_3 \\ F_4 &= s \cdot L_4 \end{aligned} \quad (6)$$

und

$$L_2 = L_4 \quad (7)$$

Mit diesen Werten wird (2) - (5)

$$Q_1 = \mu \cdot s \cdot L_1 \sqrt{\frac{2(P_2 - P_1)}{\rho}}$$

$$Q_1 = \mu \cdot s \cdot L_2 \sqrt{\frac{2(P_1 - P_a)}{\rho}}$$

$$Q_2 = \mu \cdot s \cdot L_3 \sqrt{\frac{2(P_e - P_2)}{\rho}}$$

$$Q_2 = \mu \cdot s \cdot L_4 \sqrt{\frac{2(P_2 - P_a)}{\rho}}$$

Mit der Abkürzung

$$\mathcal{R} = \frac{2 \cdot \mu^2 \cdot s^2}{\rho}$$

ergibt sich dann

$$P_e - P_1 = \frac{Q_1^2}{\mathcal{R} L_1^2}$$

$$P_1 - P_a = \frac{Q_1^2}{\mathcal{R} L_2^2}$$

$$P_e - P_2 = \frac{Q_2^2}{\mathcal{R} L_3^2}$$

$$P_2 - P_a = \frac{Q_2^2}{\mathcal{R} L_4^2}$$

Die Mengen Q jeweils gleichgesetzt ergibt

$$L_1^2 (P_e - P_1) = L_2^2 (P_1 - P_a)$$

bzw.

$$L_3^2 (P_e - P_2) = L_4^2 (P_2 - P_a)$$

daraus erhält man dann

$$P_1 = \frac{L_1^2 P_e + L_2^2 P_a}{L_1^2 + L_2^2}$$

$$P_2 = \frac{L_3^2 P_e + L_4^2 P_a}{L_3^2 + L_4^2}$$

Schreibt man für das Gesamt-Betriebs-Druckgefälle

$$P_e - P_a = \Delta P$$

bzw.

$$P_e = \Delta P + P_a$$

so erhält man

$$P_1 = \frac{L_1^2}{L_1^2 + L_2^2} \Delta P + P_a \quad (8)$$

$$P_2 = \frac{L_3^2}{L_3^2 + L_4^2} \Delta P + P_a \quad (9)$$

Der Anzeigedruck P_z ist

$$P_z = P_1 - P_2$$

also

$$\frac{P_z}{\Delta P} = \frac{L_1^2}{L_1^2 + L_2^2} - \frac{L_3^2}{L_3^2 + L_4^2}$$

oder

$$\frac{P_z}{\Delta P} = \frac{1}{1 + \frac{L_2^2}{L_1^2}} - \frac{1}{1 + \frac{L_4^2}{L_3^2}} \quad (10)$$

Wie oben dargelegt, werden die Schlitzlängen L_1 bzw. L_3 von der Nutbreite, die zu einer diskreten Stellung des Regelstabes gehört, bestimmt.

Die Nutbreiten sind in Abhängigkeit von der Verschiebelänge so auszulegen, daß in der einen Endstellung des Stabes am Anzeigegerät ein Druck 0 oder nahe 0 besteht, in der anderen Endstellung ein positiver Druck der in die Nähe des Betriebsdruckes kommen sollte.

Es gilt also für die eine Stellung

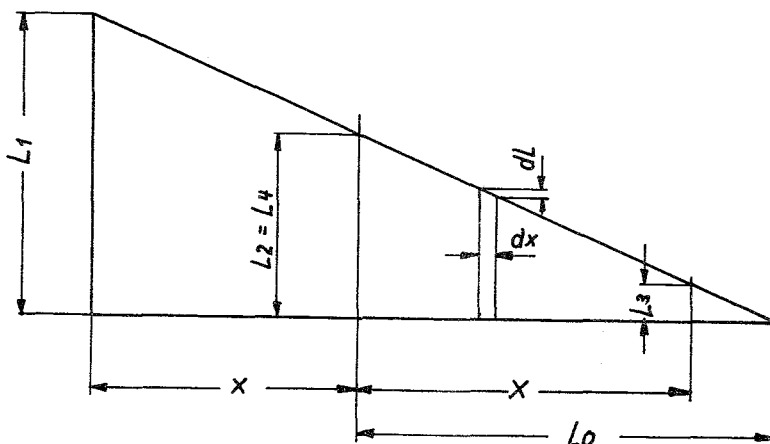
$$\frac{P_z}{\Delta P} \equiv Q$$

dann muß ein

$$L_1 = L_2 = L_3 = L_4$$

D.h. beide Nuten haben in der Endstellung die gleiche Breite. Die Schlitzlänge der festen Drosseln entspricht dieser Nutbreite. Der zunehmenden Verschiebung entsprechend verkleinert die eine Nut ihre Breite, während die der anderen Nut sich vergrößert.

Zur Erläuterung dieser Zusammenhänge diene Abb.3.



Die Steigung beider Nuten sei gleich und von der Größe

$$\boxed{\frac{dx}{dL} = a = \frac{L_2}{L_0}} \quad (11)$$

Dann ist

$$\boxed{\begin{array}{l} L_1 = L_2 + ax \\ L_2 = L_2 - ax \end{array}} \quad (12)$$

damit wird

$$\frac{P_z}{\Delta P} = \frac{1}{1 + \frac{L_2^2}{(L_2 + ax)^2}} - \frac{1}{1 + \frac{L_2^2}{(L_2 - ax)^2}}$$

Führt man a aus (11) ein, so ergibt sich

$$\frac{P_z}{\Delta P} = \frac{\left(1 + \frac{x}{L_0}\right)^2}{\left(1 + \frac{x}{L_0}\right)^2 + 1} - \frac{\left(1 - \frac{x}{L_0}\right)^2}{\left(1 - \frac{x}{L_0}\right)^2 + 1}$$

für $\frac{x}{L_0} = f$ gesetzt erhält man schließlich

$$\boxed{\frac{P_z}{\Delta P} = \frac{(1+f)^2}{1+(1+f)^2} - \frac{(1-f)^2}{1+(1-f)^2}} \quad (13)$$

Den Verlauf dieser Funktion in Abhängigkeit von f zeigt Abb.4.

Man sieht, daß die Kurven in dem Bereich $f = 0 - 0,6$ einen geradlinigen Verlauf hat. Dementsprechend wird man den Arbeitsbereich auf diese Spanne beschränken. Damit ergibt sich die maximale bzw. minimale Nutbreite zu

$$L_1 \text{ max} = L_2 + 0,6 L_2$$

$$\boxed{L_1 \text{ max} = 1,6 L_2} \quad (14)$$

$$\boxed{L_3 \text{ max} = 0,4 L_2} \quad (15)$$

entsprechend

Versuche:

Grundsätzliches

Versuche wurden durchgeführt

1. an einem Gerät, das mit Luft betrieben werden konnte;
2. an einem Gerät, das speziell für Untersuchungen mit Satt- bzw. Heißdampf entworfen war.

Es sind mit diesem jedoch auch Versuche mit Luft und Wasser als Betriebsmedium durchgeführt worden.

Die anstehenden Drücke wurden mit Quecksilber U-Rohrmanometer gemessen.

Das unter 1. angeführte und mit Luft betriebene Gerät sollte zunächst nur die grundsätzliche Brauchbarkeit des Verfahrens nachweisen

Bei diesem Gerät war die Nutbreite so ausgelegt, daß in der Mitte der Verschiebelänge beide Nuten gleich breit waren; nach einem der beiden Enden nimmt die Breite der einen Nut ab und die der anderen vergrößert sich. Damit ergeben sich für den Zwischendruck P_z Werte, die von + nach - durch Null hindurch gehen. Da sich im Bereich des Nulldurchganges größere Anzeigegenauigkeiten ergaben, wurde bei dem Gerät nach 2. dieses Nutkonzept jedoch verlassen. Immerhin befriedigte das hier gewonnene Ergebnis ausreichend, so daß sich der Bau eines zweiten Gerätes als zweckmäßig erwies.

Gerät 1

a) Aufbau

Das Versuchsgerät ist in Abb.5 dargestellt. Die zugehörige Schaltung mit Meßgerät zeigt Abb.6.

Das Gerät selbst besteht aus einer mit Regelstabstange bezeichneten rechteckigen Stange aus Stahl, 1500 mm lang, die auf dem Versuchstisch mittels an den Enden Befindlichen Halterungen befestigt ist. In zwei gegenüberliegenden Längsseiten dieses Teiles sind die beiden sich über die ganze Baulänge der Steuerung erstreckenden Nuten, mit vorderer und rückseitiger Nut bezeichnet, eingearbeitet.

Über die Stange greift der Verschiebekopf hinweg. Dieser besteht aus zwei Gleitstücken, die durch insgesamt 4 Fede

gegenseitig auf die Stange gepreßt werden. Ein gegenseitiges Verschieben der Gleitstücke wird durch eine Führungsplatte verhindert. In jedes Gleitstück ist ein Abgriffschlitz eingearbeitet, der quer zur Verschieberichtung liegt. Die Breite des Abgriffschlitzes beträgt 0,3 mm. Der Schlitz ist an seiner der Nut abgewandten Seite auf 3 mm verbreitert und so tief eingesenkt, daß die Schlitzblendenstärke in Strömrichtung nur ca. 0,5 mm beträgt. Das Gleitstück wird überdeckt durch eine Druckkammer, die einen Schlauchanschluß trägt.

Das Gerät wurde, wie der Abb. 6 entnommen werden kann, mit Saugluft betrieben, die von einer normalen Vakuumpumpe erzeugt wurde.

Die Messung des entstehenden Druckgefälles wurde mit Hg-U-Rohrmanometer vorgenommen.

Weitere Einzelheiten können den Fotos Abb. 7, 8 und 9 entnommen werden. In Abb. 7 ist auf die beiden in die Schlauchleitung eingebauten festen Drosseln durch Pfeile hingewiesen.

Abb. 8 zeigt den Verschiebekopf mit 2 Federn und der Führungsplatte. Abb. 9 zeigt die Unterseite der Gleitstücke. Der mitfotografierte Schraubenzieher deutet auf den Abgriffschlitz.

b) Versuchsergebnis

Abb. 10 zeigt eine repräsentative Kurve aus mehreren gemessenen für den Druckverlauf am U-Rohrmanometer, aufgetragen über der Verschiebelänge des Abgriffkopfes. Der Druck verläuft, wie zu ersehen ist, oberhalb und unterhalb der Abzissenachse befriedigend nach einer geraden Linie. Lediglich in der Nähe des Nulldurchganges tritt eine seitliche Verschiebung auf. Diese

mag ihre Ursache in Unsymmetrien der Strömungskanäle (Schlauchleitungen und Verbindungsstücken) haben, die sich natürlich besonders stark bei kleinen Druckunterschieden bemerkbar machen.

Das Ergebnis war jedoch insgesamt durchaus befriedigend. Der Einfluß des Nulldurchganges wurde dadurch kompensiert, daß, wie schon geschrieben, eine zweite Vorrichtung (Gerät 2) so ausgelegt worden ist, daß der Anzeigedruck ausschließlich positive Werte ergab.

Gerät 2

Das Gerät 2 ist im Prinzip analog dem Gerät 1 aufgebaut und in Abb. 11 und 12 dargestellt. Wie bereits gesagt, ist es für den Betrieb mit Satt- oder Heißdampf ausgelegt. Es kann jedoch auch mit Luft und Wasser betrieben werden. Versuche mit diesen Medien wurden ebenfalls durchgeführt. Die Durchströmung erfolgte in gleicher Richtung wie bei Gerät 1, d.h. vom Druckgefäß aus zuerst durch die veränderlichen Schlitzblenden und dann durch die festen Drosseln.

Die zugehörige Schaltung zeigt Abb.14.

Abb. 11 zeigt den Gesamtaufbau der Einrichtung,

Abb. 12 ein Foto des Aufbaues, jedoch ohne U-Rohr-Manometer,

Abb. 13 die kennzeichnenden Einzelheiten.

Die Einrichtung besteht aus dem Druckgefäß mit Meßkopf der durch das Druckgefäß hindurch geführten Regelstabstange, der Verschiebeeinrichtung, die ihrerseits aus einer Zahnstange mit Ritzel und Handrad besteht. Die Zahnstange ist mit Rollen auf einer Laufleiste geführt und mit der Regelstabstange festgekoppelt. An der Kupplung ist ein Zeiger befestigt, der auf einer Maß-Skala die jeweilige Stellung der Regelstabstange relativ zum Meßkopf festzustellen gestattet.

Die ganze Einrichtung ist auf einer Profilschiene als Chassis festgeschraubt.

Die Regelstabstange ist zweiseitig abgeflacht und wie beim Gerät 1 wieder auf beiden Flachseiten mit je einer Nut versehen. Im vorliegenden Fall ist jedoch die Breite der Nuten so ausgelegt, daß beide Nuten am einen Stangenende gleich breit sind; zum anderen Stabende hin verkleinert sich die Breite der einen Nut, während die der anderen sich vergrößert. Dadurch wird ein Nulldurchgang des Anzeigedruckes vermieden und man erhält einseitig positive Druckwerte als Meßgröße für die Stellung der Stange.

Im Meßkopf befinden sich die beiden Meßabgriffe, die durch Schrauben gehalten sind und leicht ein- bzw. ausgebaut werden können.

Die Meßabgriffe tragen auf der der Regelstabstange zugewandten Seite in einer verschieblichen Büchse die veränderlichen Schlitzblenden. Diese Büchse ist im Meßabgriff mit geringem Spiel beweglich gelagert und mittels eines Federbalges gegen den Außenraumdruck gedichtet. Sie wird mittels einer Feder an die Regelstab-Stange gedrückt. Der Federdruck ist so bemessen, daß eine gute Abdichtung der Schlitzüberdeckung gegeben ist, ohne daß die Reibung zwischen Regelstabstange und Abgriff zu groß wird. Im äußeren Teil eines jeden Abgriffes befindet sich die feste Schlitzblende. Zwischen diesen beiden Schlitzblenden liegt der Meßwertanschluß.

Die Regelstabstange war aus V2A-Stahl (ungehärtet), die Schlitzbuchse aus Bronze gefertigt. Es hat sich jedoch gezeigt, daß diese Werkstoffpaarung ungeeignet ist, da beide Werkstoffe nicht ausreichend abriebfest sind.

Der zum Betrieb des Gerätes erforderliche Dampf wurde einem kleinen Dampfkessel des Instituts entnommen. Der Dampf war Satttdampf. Es war daher bei den Messungen besonderes Augenmerk auf das Vermeiden von Kondensation in den Zuleitungen und im Meßgerät selber zu legen.

Insbesondere durfte in den Schlitzblenden keine Wasserabscheidung erfolgen bzw. der Dampf durfte auch dort keine in Form größerer Tropfen vorliegende Feuchtigkeit haben.

Das gesamte Druckgefäß war daher isoliert und zusätzlich mittels elektrischen Heizkabels von außen beheizt.

Vor den Hg-Manometern waren Wasserfallen angeordnet, die eine konstante Wasserhöhe in den U-Rohr-Manometern garantieren sollten.

Bei den Messungen mit Luft wurde im Institut vorhandene Preßluft, die mit einem Druck bis zu 10 atü zur Verfügung stand, benutzt.

Für die Untersuchungen mit Wasser wurde das Druckgefäß an die Hauswasserleitung, bei der ein Druck von maximal ca. 4 atü zur Verfügung stand, angeschlossen. Schaltung und Meßeinrichtung blieben gegenüber Dampf und Luftbetrieb ungeändert.

Versuchsergebnisse

1) Dampf

Die anfänglich erzielten Meßergebnisse befriedigten keineswegs. Nach Beseitigung der als Ursache vermuteten Kondensationsvorgänge in Rohrleitungen und im Gerät selber durch den Einbau entsprechender Entwässerungen und einer Isolierung und Beheizung der Anlage waren die Ergebnisse noch nicht befriedigend. Auch eine Überprüfung des Meß-Systems ergab keine grundsätzliche Verbesserung.

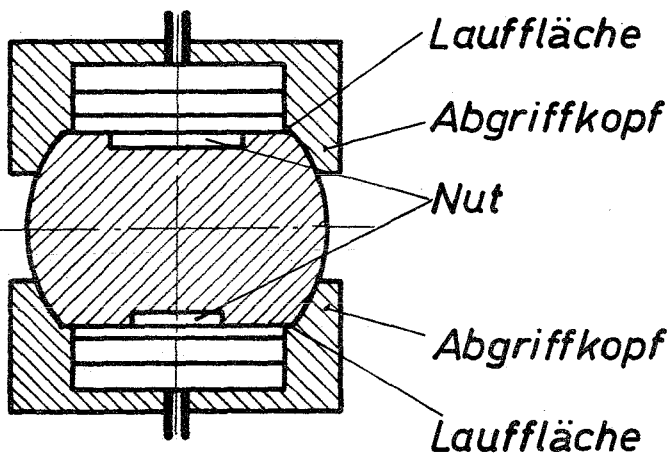
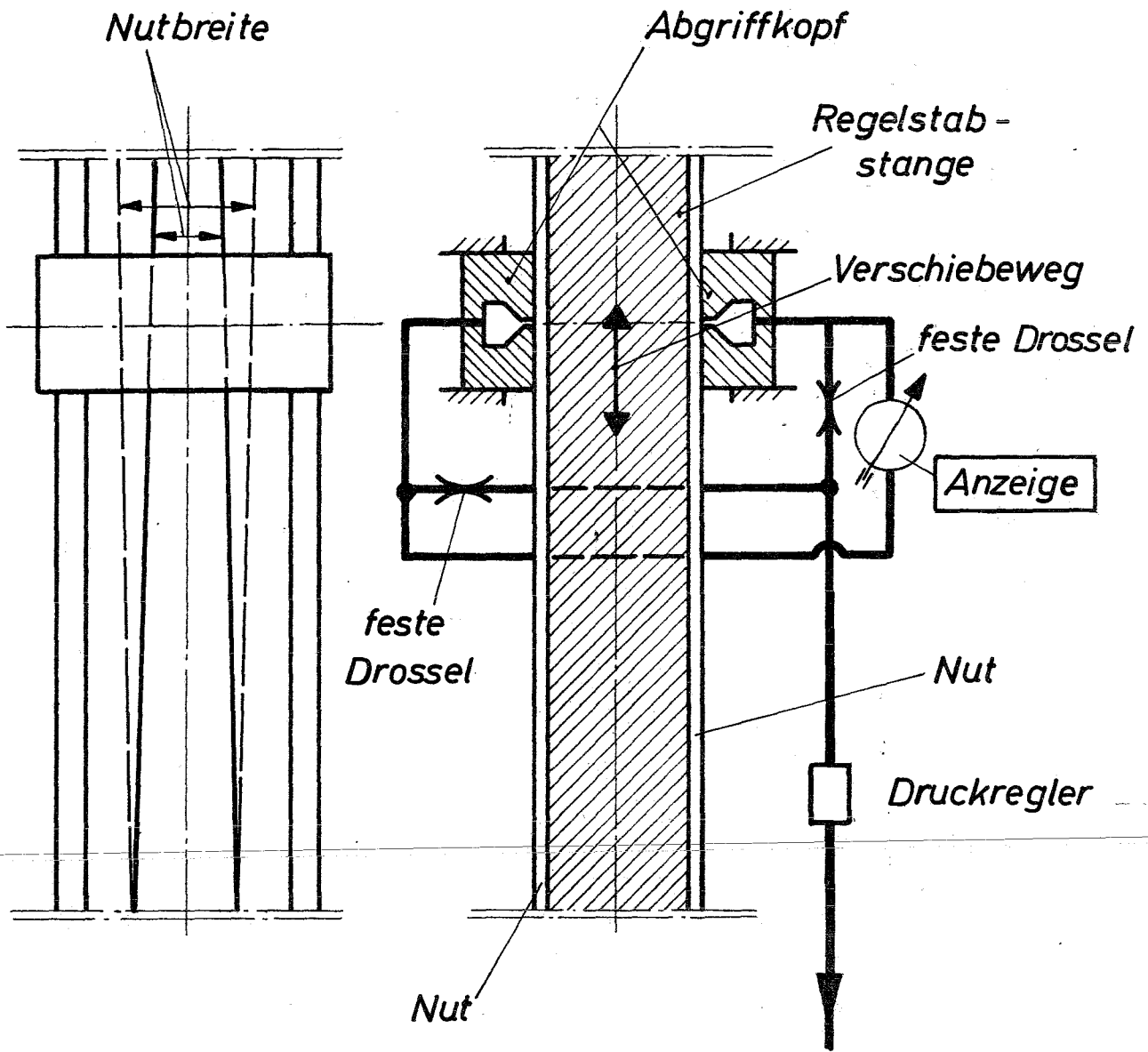
Die Ursache für dieses zunächst unbefriedigende Ergebnis wurde schließlich in 2 konstruktiven Umständen gefunden.

- 1) Die Drosselblenden, also die veränderlichen Schlitzblenden und die feste Drossel waren als Schlitzblenden mit einer Schlitzbreite von 0,3 mm ausgeführt worden. Durch Verbreitern der Schlitze aller Blenden konnte eine wesentliche Verbesserung der Anzeigeempfindlichkeit und Genauigkeit erzielt werden.

Die entsprechenden repräsentativen Kurven aus einer Vielzahl gemessener, sind Abb. 15 für eine Schlitzbreite 0,3 mm, Abb. 16 für eine solche von 0,5 mm und Abb. 17 für 0,6 mm breite Schlitze. Die jeweils benutzten Betriebsdrücke bewegten sich zwischen 5 - 8 atü.

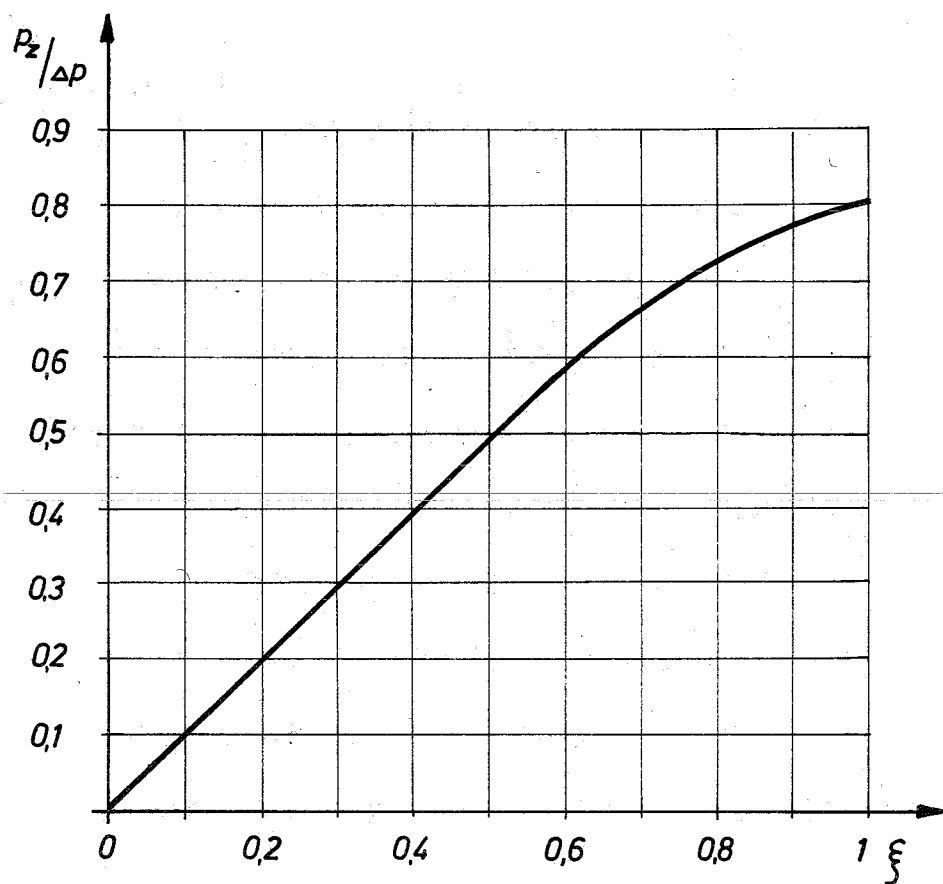
Die auch bei den breiteren Schlitzten immer noch bestehenden Mängel, insbesondere die Unterschiede in den Anzeigewerten beim Hin- und Rückweg, waren auf nachfolgende Ursache zurückzuführen.

- 2) Wie der Beschreibung und der Konstruktionszeichnung entnommen werden kann, sind die beweglichen Schlitzblenden jeweils im Boden einer verschieblichen zylind-



Funktionsschema

Abb. 1



Stellungsanzeige

Abb. 4

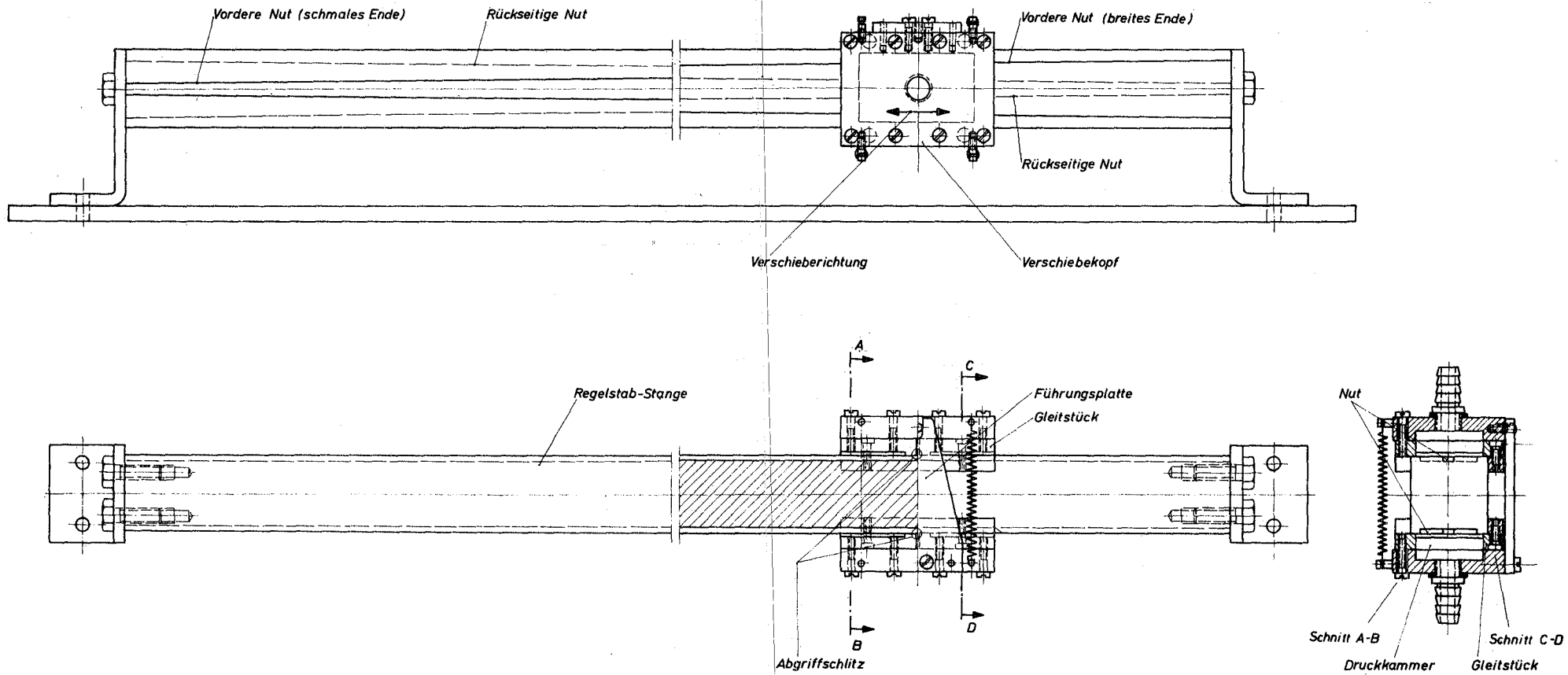
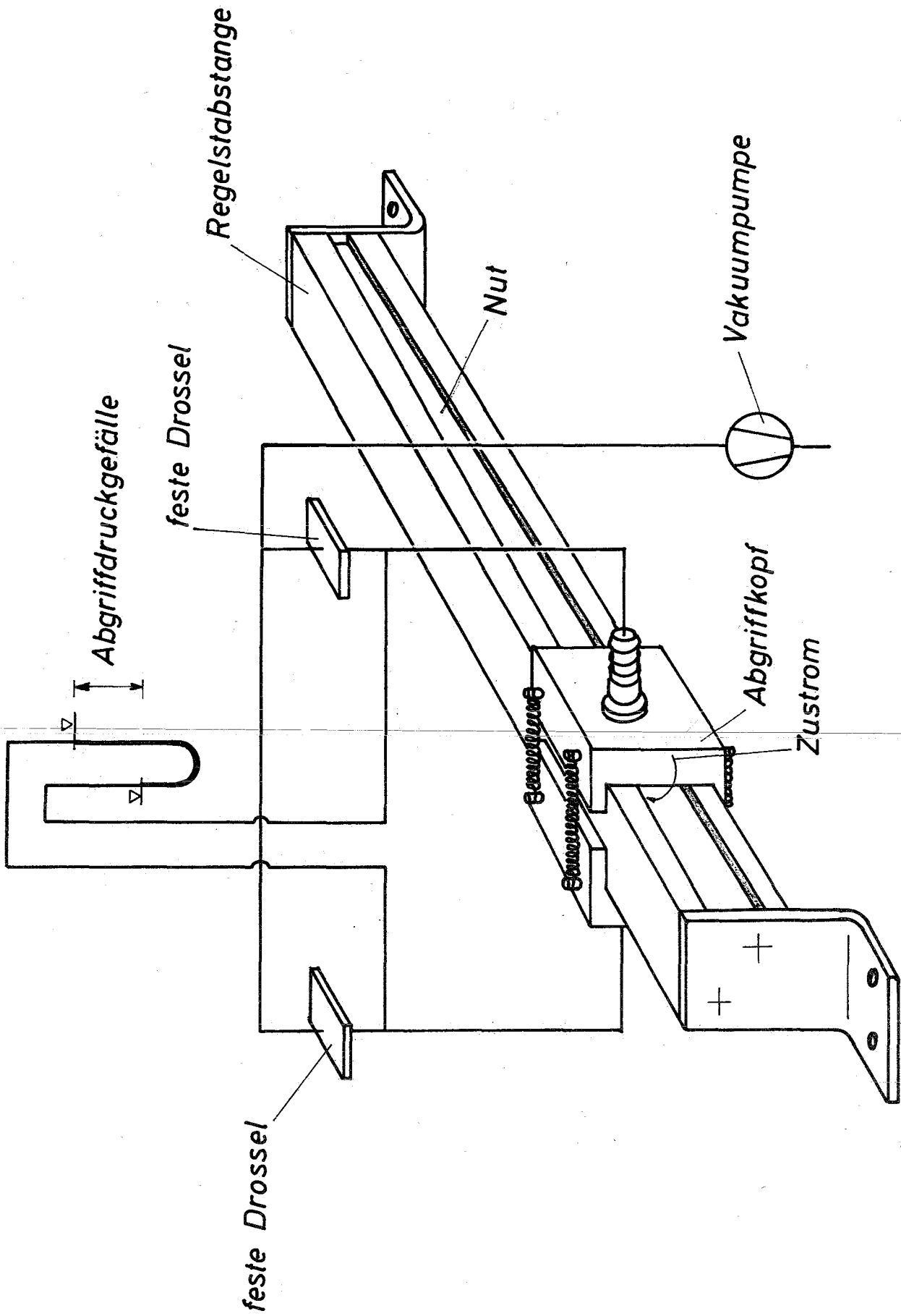


Abb. 5

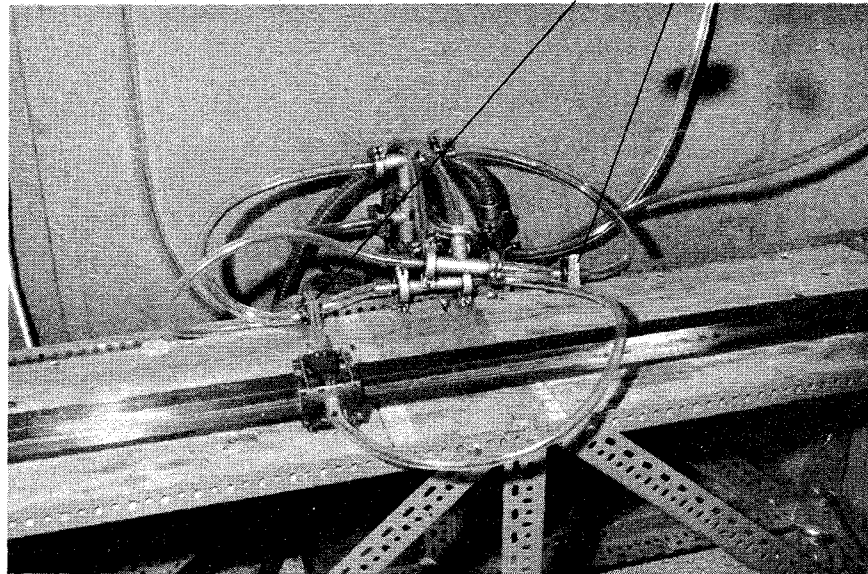
Versuchsgerät 1 (Saugluft)



Versuchsgerät Saugluft (Schaltung)

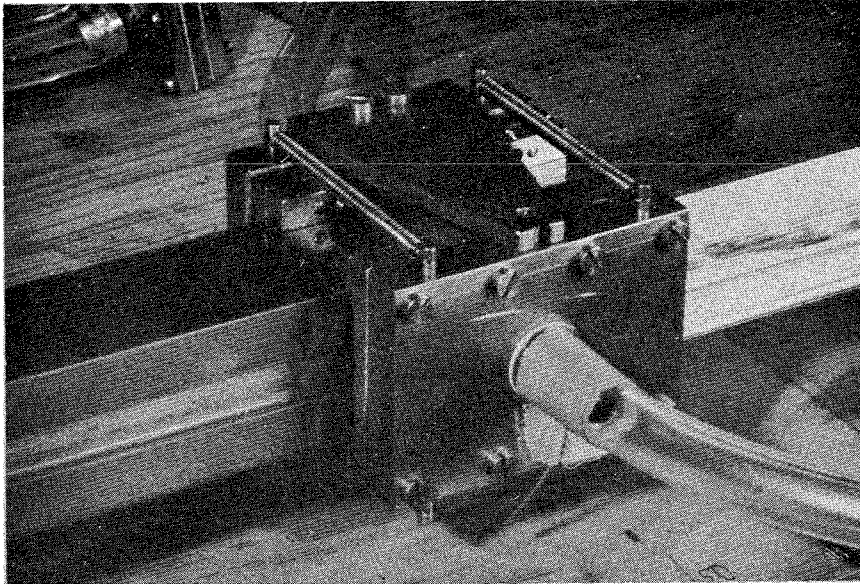
Abb. 6

feste Drosseln



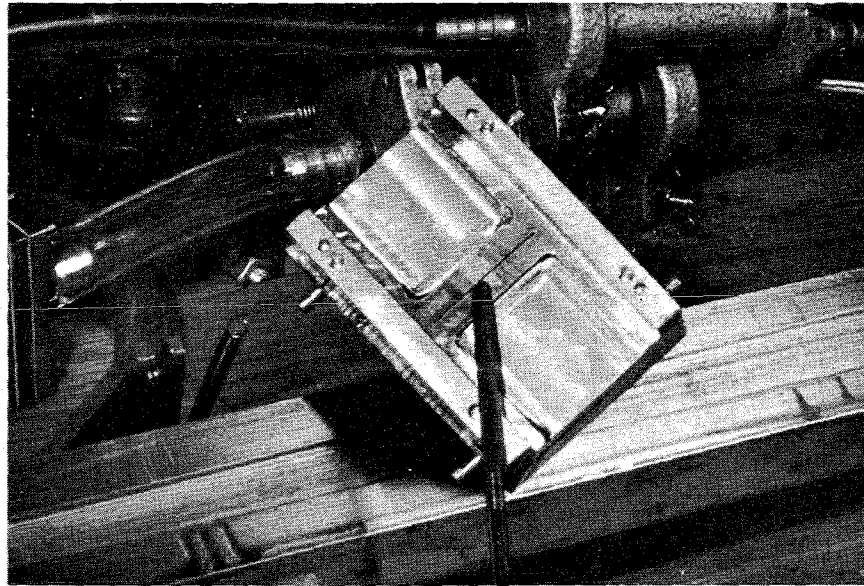
Versuchsgerät 1 (Saugluft)

Abb.7



Versuchsgerät 1 (Verschiebekopf)

Abb. 8



↑
Meßschlitz

Versuchsgerät 1 (Meßschlitz)

Abb.9

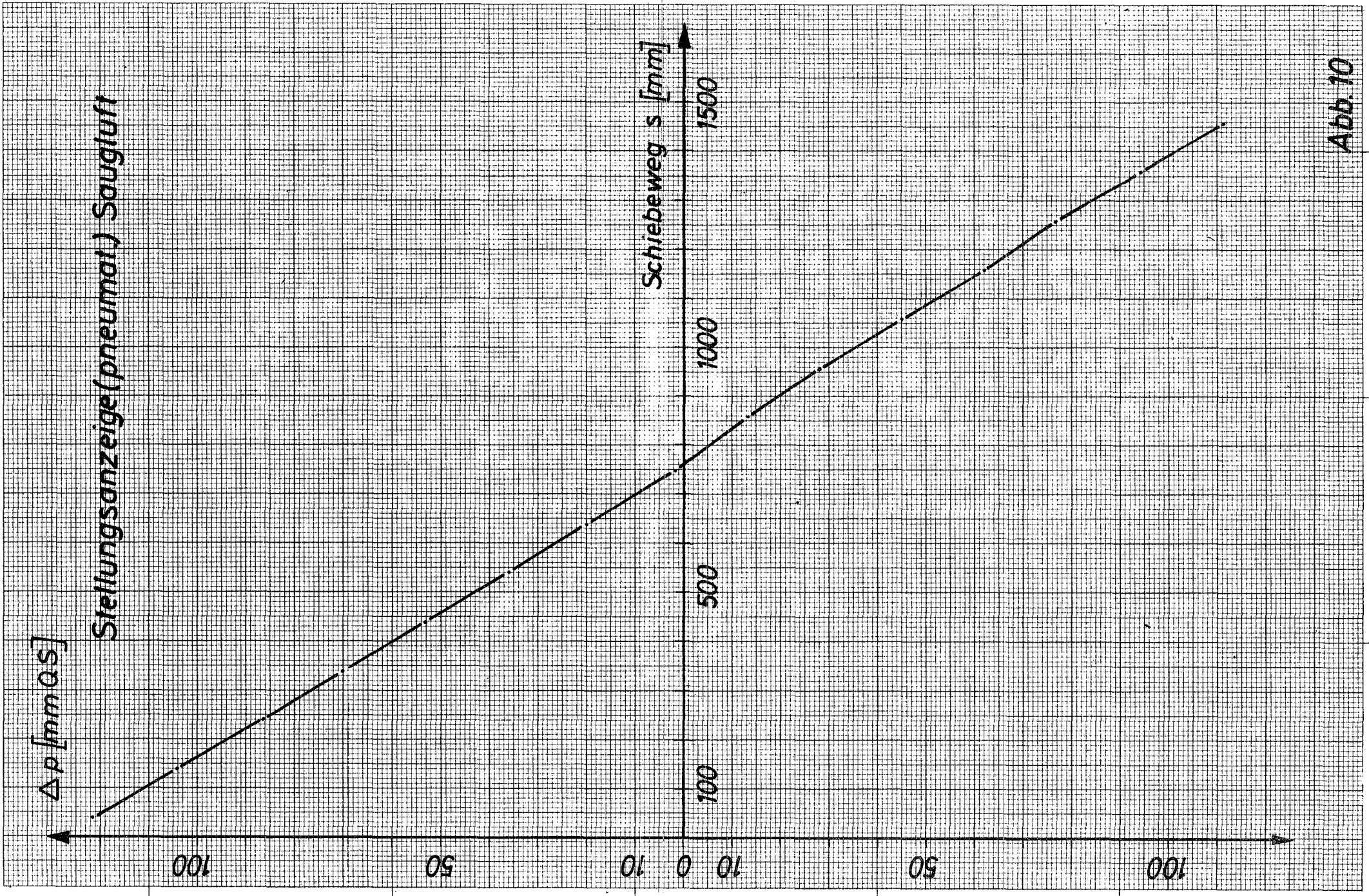
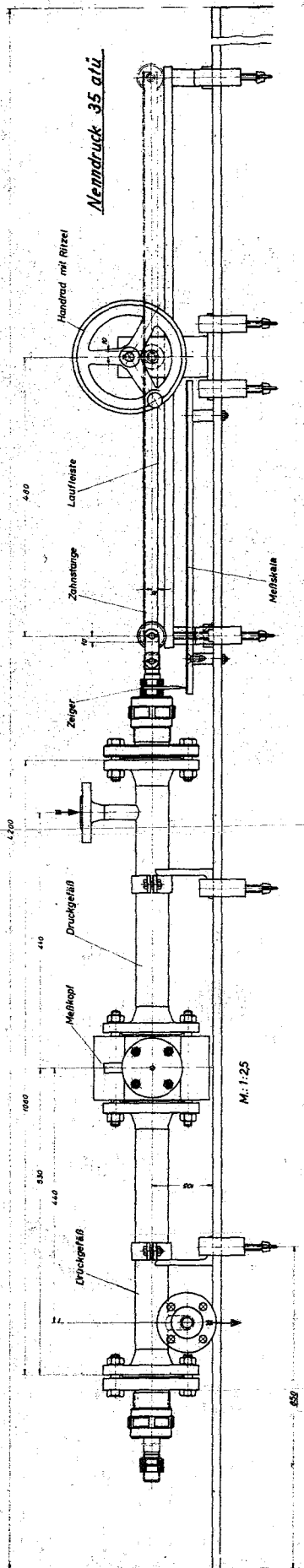
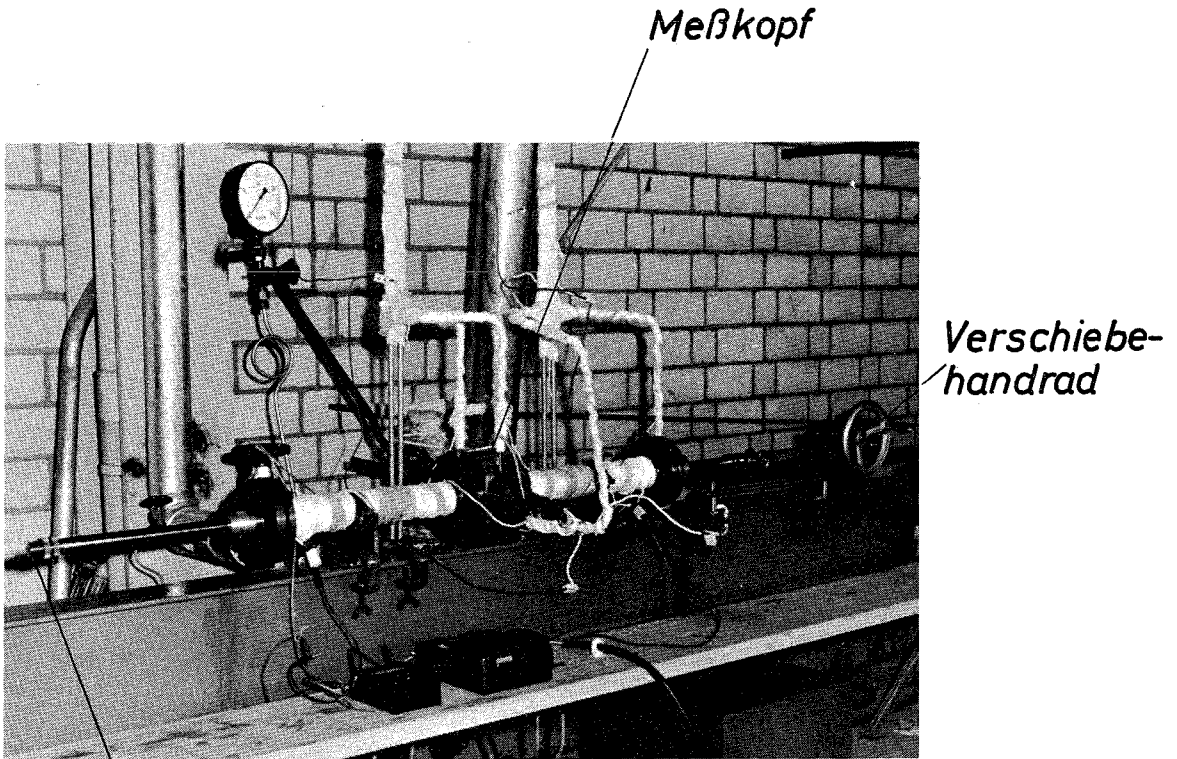


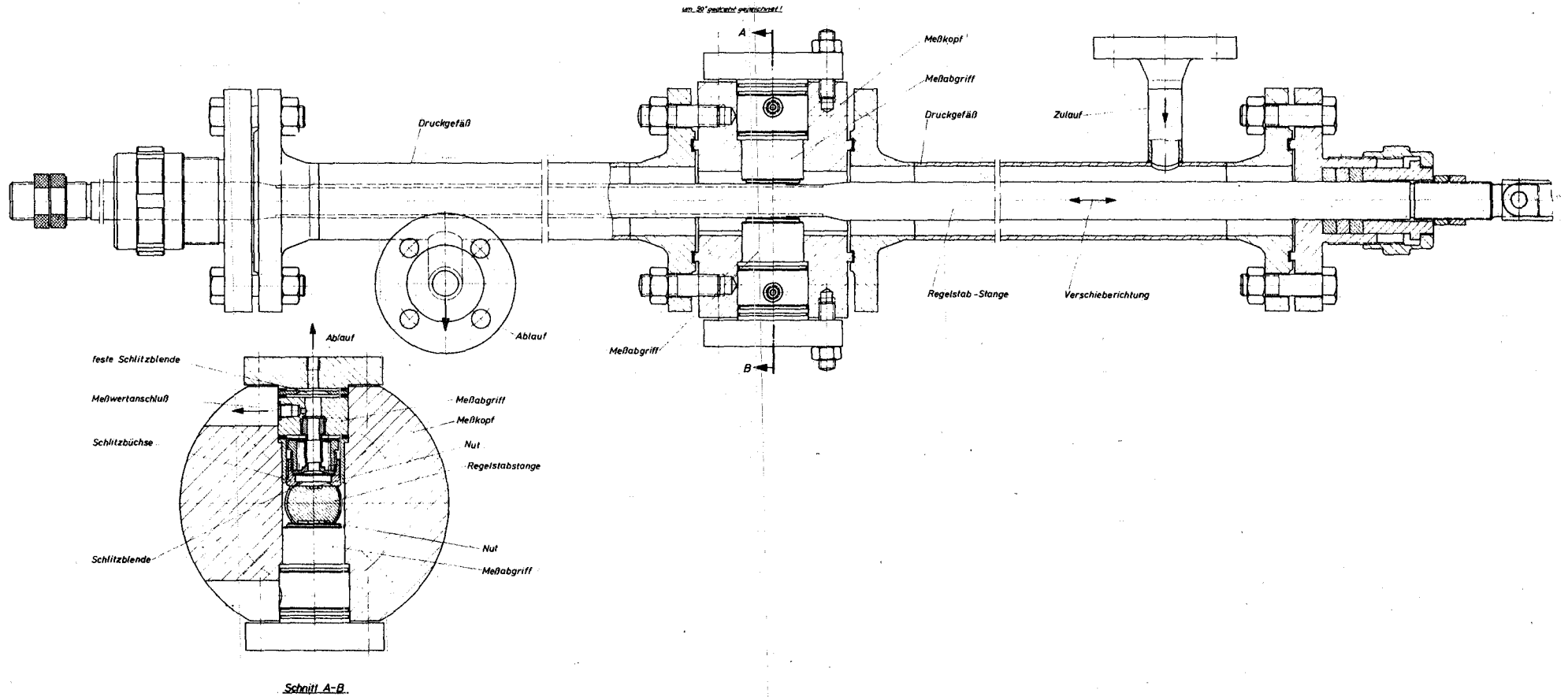
Abb. 10



Versuchsgerät 2 (Dampf, Luft, Wasser)

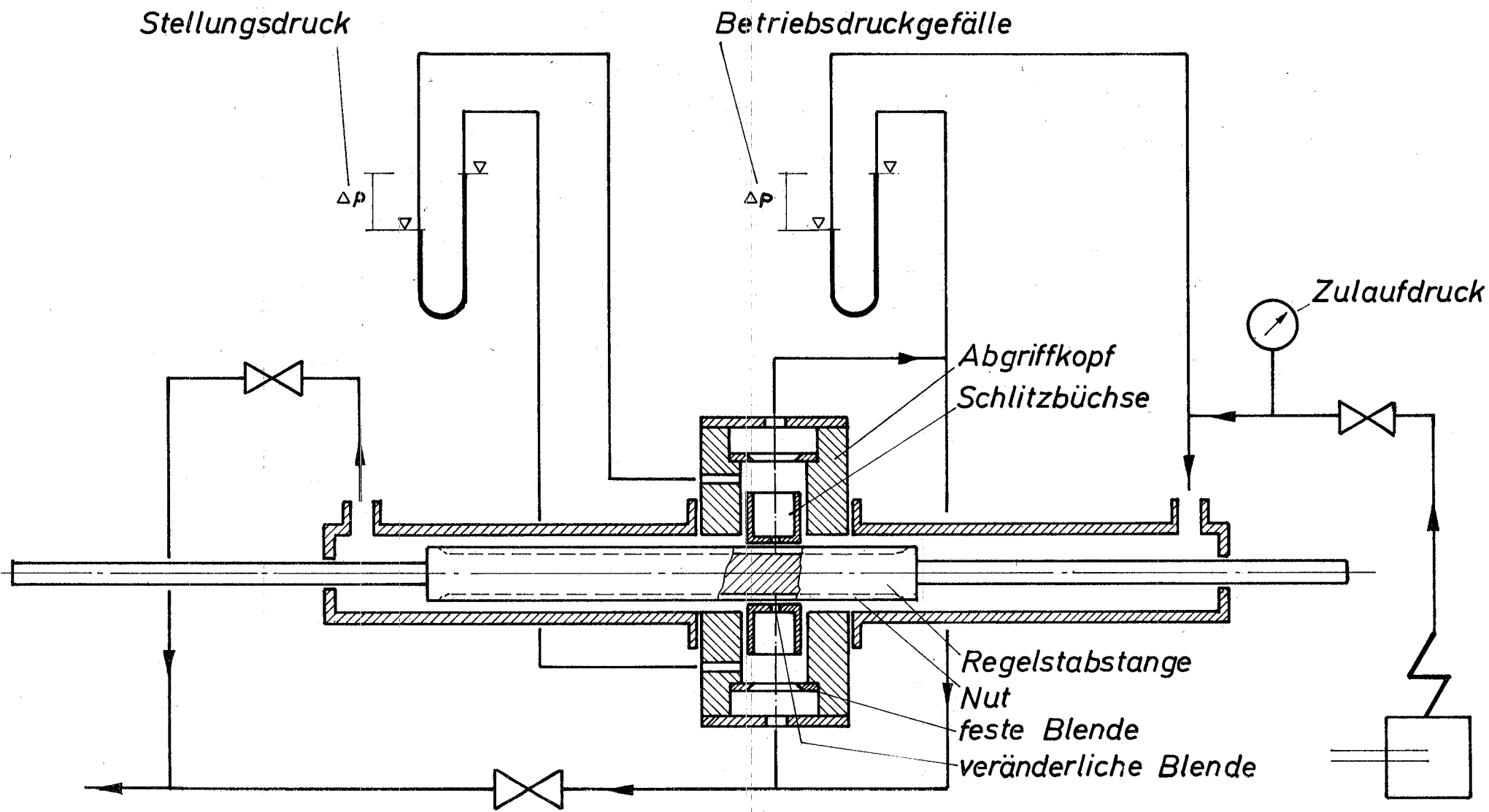


Versuchsgerät 2 (Gesamtaufbau)



Versuchsgerät 2 / Detail
 (Dampf Luft Wasser)

Abb. 13



Stellungsmeldung, Gerät 2 (Schema)

Abb. 14

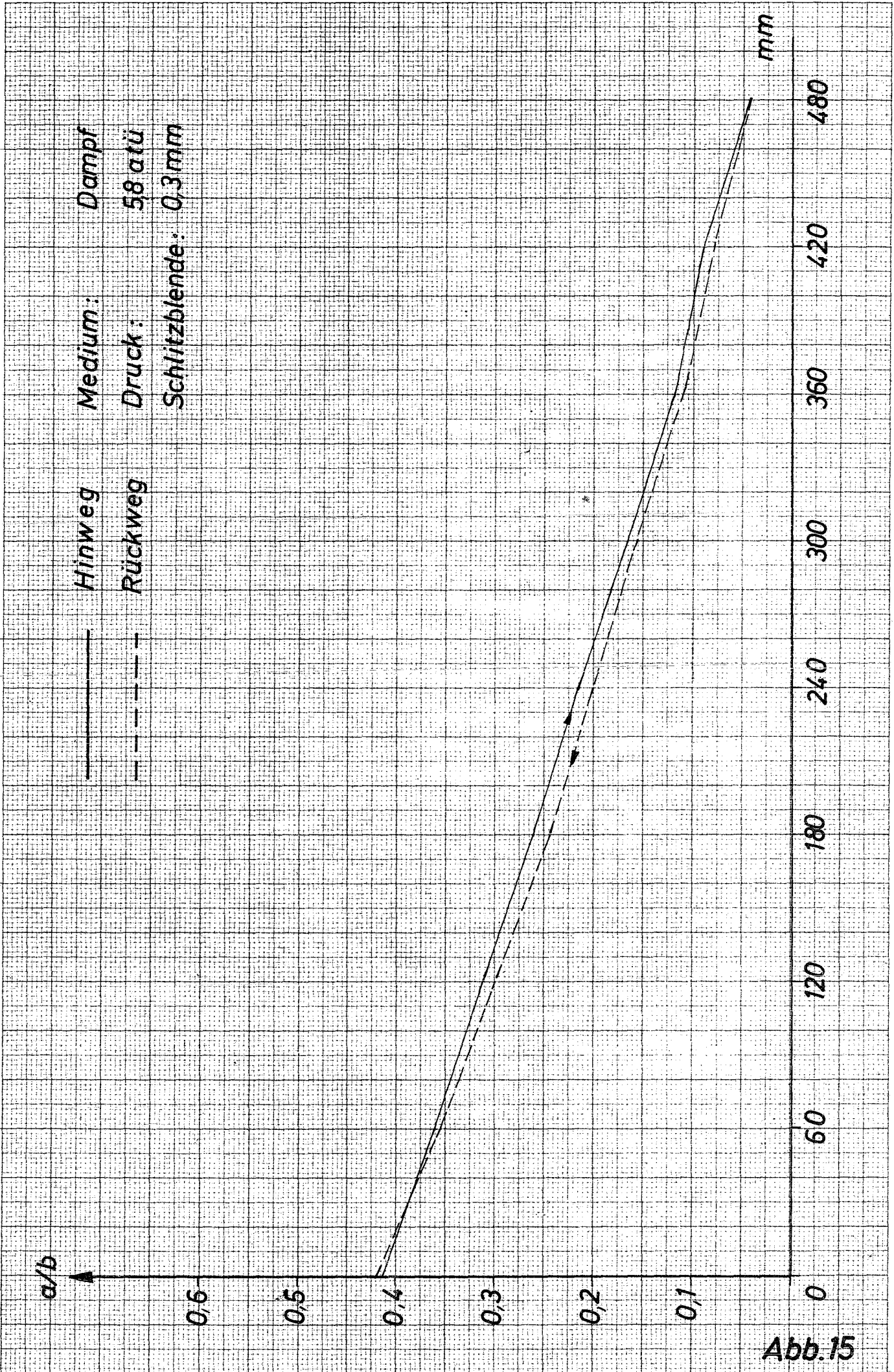


Abb.15

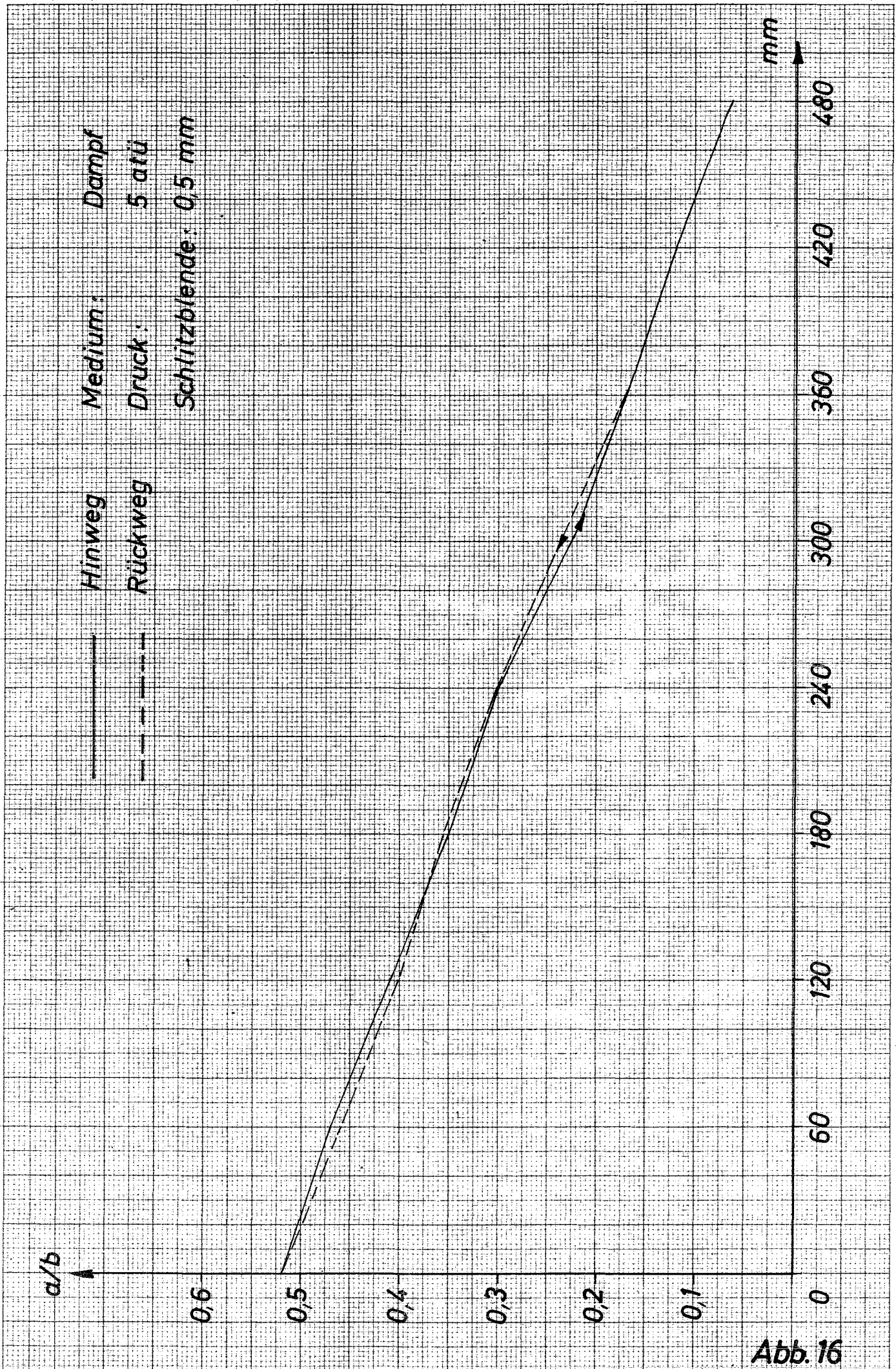


Abb. 16

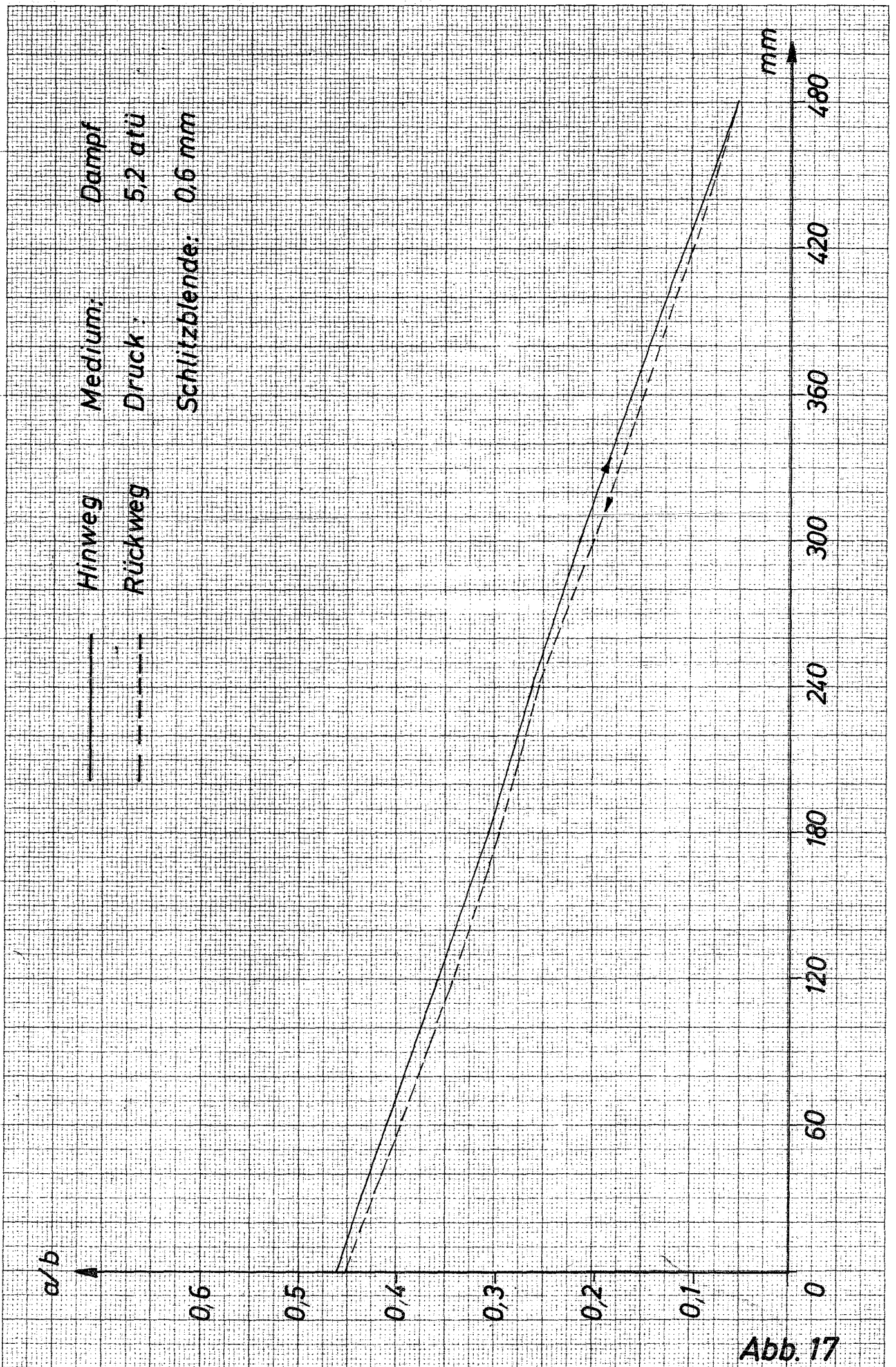
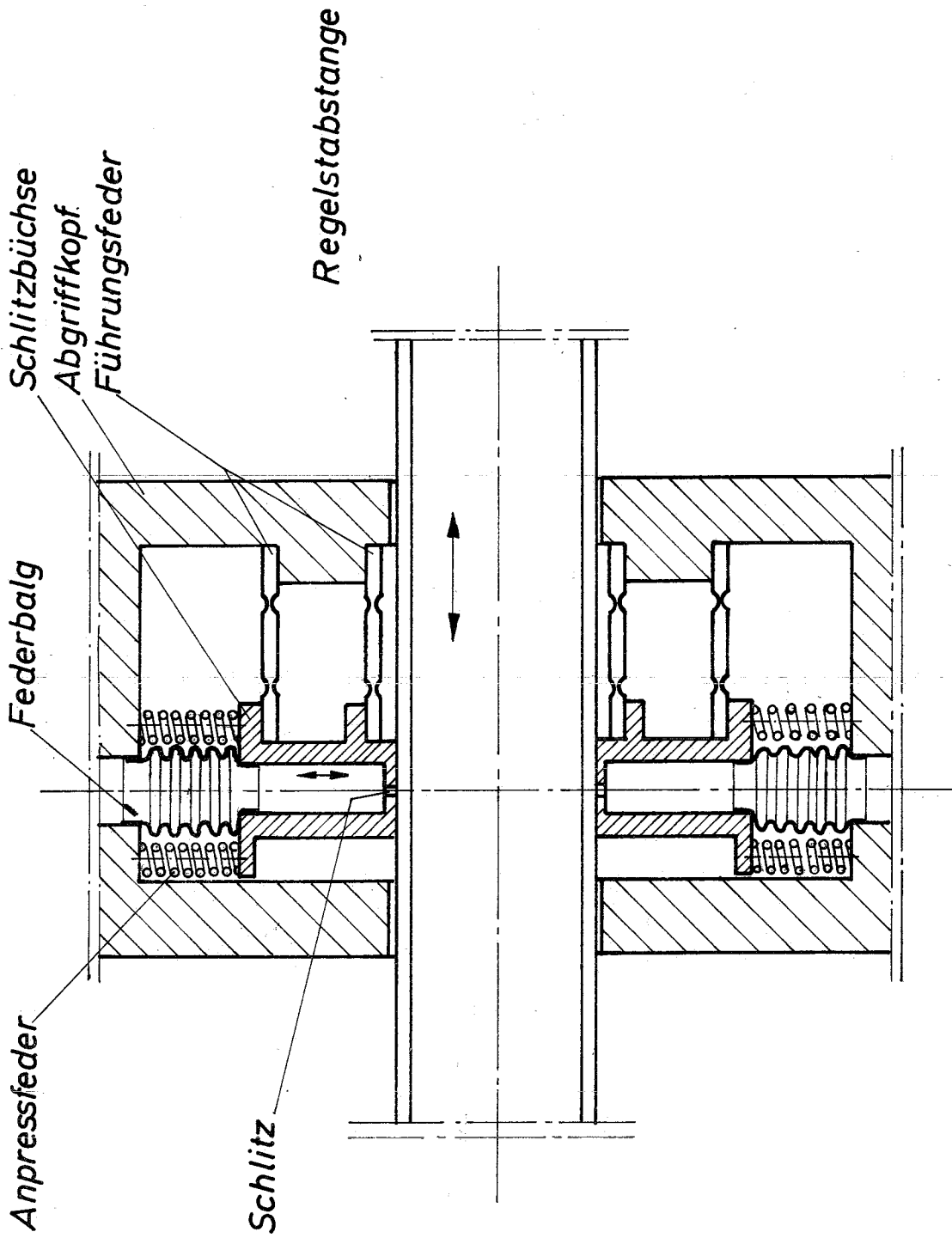


Abb. 17



Vorschlag für Schlitzblenden-Führung

a/b

Hinweg: Luft
Rückweg: 8 atü
Schlitzblende: 0.3 mm

Hinweg
Rückweg

0.6

0.5

0.4

0.3

0.2

0.1

0

mm

480

420

360

300

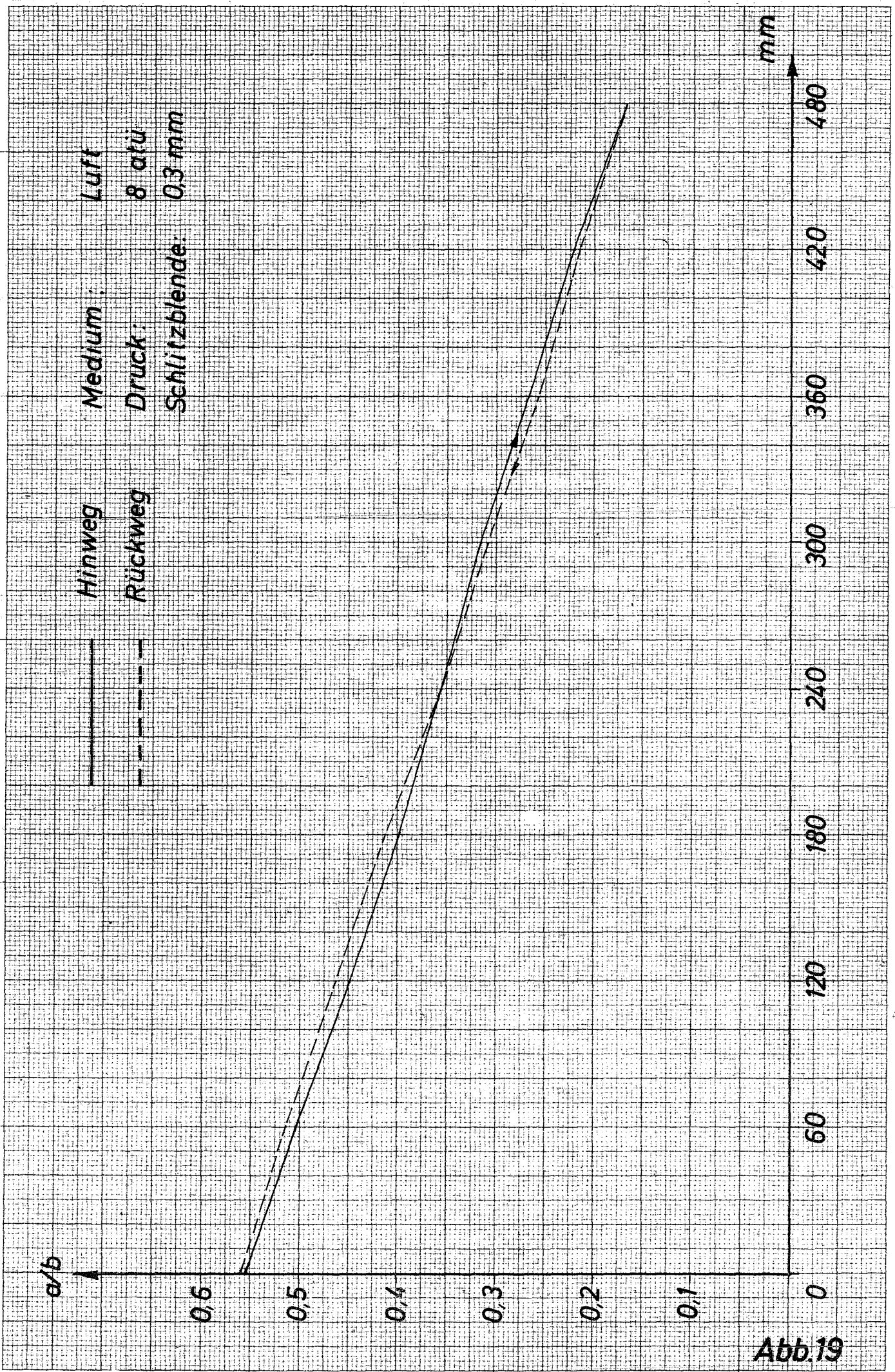
240

180

120

60

Abb.19



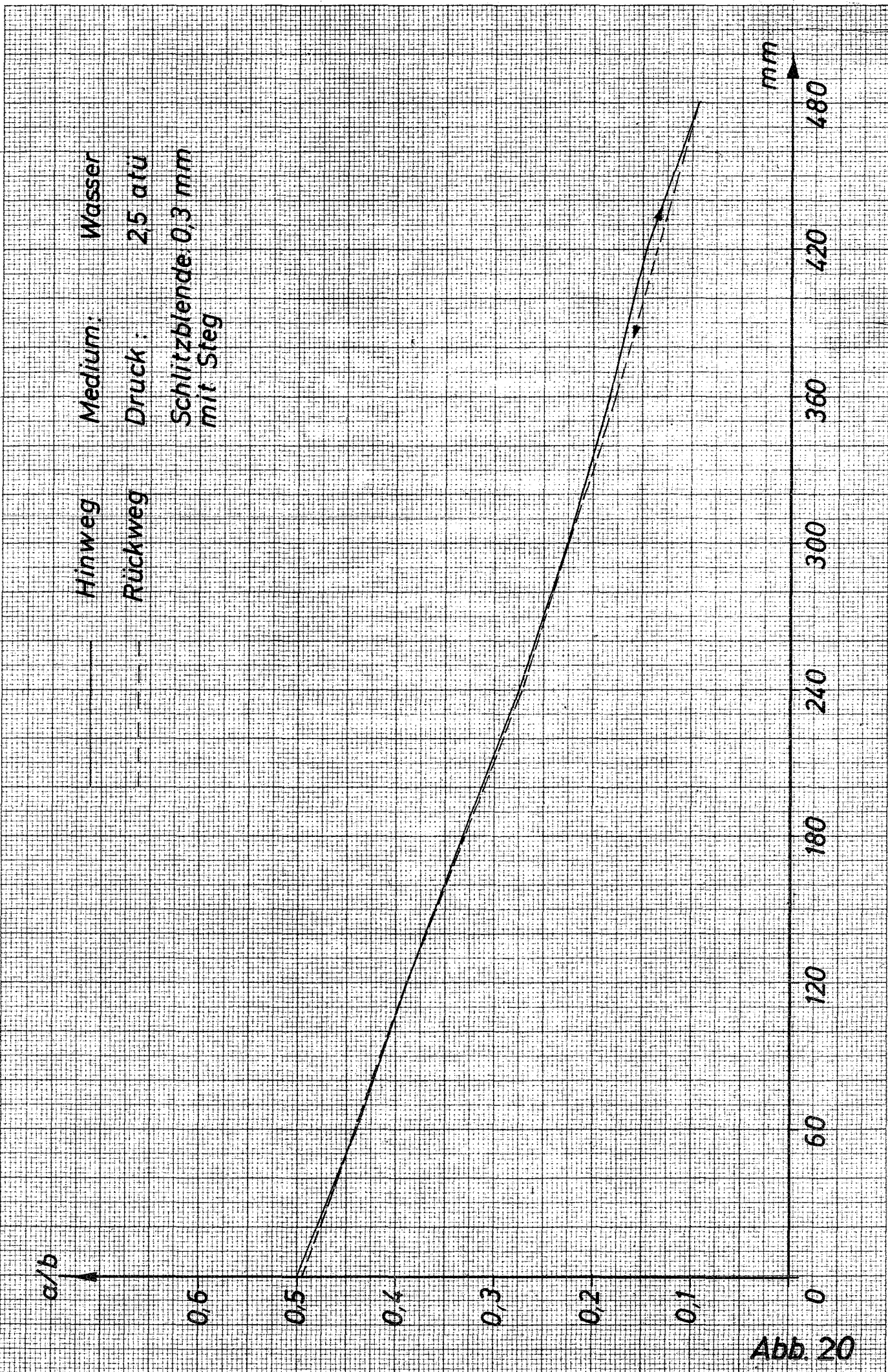


Abb. 20