

A 53

Bericht Nr. 516

**Über eine Anordnung zur Ermittlung
der Flammenausbreitung
in Verbrennungsmaschinen**

9280



Bericht des Technischen Prüfstandes Oppau

Nr. 515

Über eine Anordnung zur Ermittlung der Flammenausbreitung in

Verbrennungsmaschinen

Übersicht: Es wird eine Anordnung zur Ermittlung der Flammenausbreitung in Verbrennungsmotoren durch Messung der Ionisation an möglichst vielen Stellen des Zylinderkopfes angegeben. Dabei wird von der Möglichkeit der nahezu trägheitsfreien Steuerung des Elektronenstrahles einer Braun'schen Röhre Gebrauch gemacht. Mittels eines im Technischen Prüfstand entwickelten Seitenablenkgerätes wird der Strahl horizontal abgelenkt, während die Höhenablenkung über einen Verstärker von der Ionisation gesteuert wird. Da im vorliegenden Falle nur derh Beginn interessiert, wird der vertikal abgelenkte Leuchtfleck durch eine wagrecht angebrachte, schmale Schlitzblende verdeckt. Lässt man nun den Strahl nur kurzzeitig im geeigneten Zeitintervall im Schlitz verlaufen, so kann man dadurch erreichen, dass das eine Ende der Leuchtfleckbahn den Ionisationsbeginn angibt. Aus der Länge der Striche im Schlitz kann man daher den Zeitpunkt des Ionisationsbeginns bestimmen. Nach Aufzeichnen der Striche auf eine langsam umlaufende Trommel wird in einfacher Weise durch Längenmessungen die Auswertung für die einzelnen Ionisierungsstrecken und etwaige Mittelwertbildung möglich. Die erreichbare Messgenauigkeit beträgt etwa 10^{-5} Sekunden.

Ganz allgemein lässt sich die Anordnung für einmalige und für statistische Kurzzeitmessungen (etwa 10^{-5} sek) verwenden.

Absgeschlossen am: 25. September 1942 Gr.

Bearbeiter:

Dr. E. Schuch

E. Schuch

Die vorliegende Ausfertigung enthält

9 Textblätter

5 Bildblätter

Verteiler

Nr.	am	Empfänger	Nr.	am	Empfänger
1	9.10.42	Dr. Gmelin, Betriebskontrolle			
2	"	Dipl. Ing. Schulz, Erfahrungsaustausch			
3	"	Obering. Fenzig 28/3			
4	"	Dr. Schuch			
5-10		Techn. Prüfstand			

9281

Über eine Anordnung zur Ermittlung der Flammenausbreitung

in Verbrennungsmaschinen

Einleitung und Aufgabe

Um sich ein Bild von der Ausbreitung der Flamme im Brennraum von Explosionsmotoren machen zu können, muss man den Verlauf und das Fortschreiten der Flammenfront in jedem Augenblick der Verbrennung kennen. Die Lage der Flammenfront kann man dadurch ermitteln, dass man die Strahlung der Flamme selbst oder aber die durch sie bewirkte Ionisation an möglichst Stellen des Zylinderkopfes während der Verbrennung misst. Im ersten Fall bringt man möglichst viele Fenster an oder macht den ganzen Kopf aus durchsichtigem Material. Im zweiten Fall versieht man den Zylinderkopf mit möglichst vielen Ionisierungsstrecken. Bei der hier angegebenen Apparatur zur Bestimmung der Flammenausbreitung wurde die letztere Methode zur Messung herangezogen.

Solche Ionisationsmessungen hat Schnauffer (1) (2) ⁺⁾ wohl zum ersten Male durchgeführt. Im Motorkopf brachte er 24 Ionisationsstrecken an, die im Augenblick der Ionisierung leitfähig wurden und dadurch die Zündung je einer Glimmlampe auslösten. Das Aufleuchten der Glimmlampen hielt er auf einer mit lichtempfindlichem Papier bespannten Trommel fest. Um genügende Messgenauigkeit zu erhalten, benutzte er Papiergeschwindigkeiten bis zu 70 m/sec. Von verschiedenen anderen Forschern (3) - (7) wurde ferner noch die Ionisierung zur Untersuchung des Verbrennungsvorganges herangezogen. Die Aufzeichnung des Ionisationsbeginns und des Verlaufes wurde dabei meist mittels Braun'scher Röhre und ablaufender Trommel bei Papiergeschwindigkeiten

⁺⁾ s. Schriftumsverzeichnis am Ende des Berichtes

bis zu 8 m/sec vorgenommen. Aus dem Diagramm konnte dann beispielsweise der oft interessierende Zündversug, d.h. die Zeit vom Einspritzbeginn bis zum Zündbeginn ermittelt werden. Ähnlich wie Schnauffer führten 1939 Rabessana und Mitarbeiter Flammenuntersuchungen durch. Sie zeigten in diesem Zusammenhang auch, wie sich die Ausbreitung der Flamme rechnerisch erfassen lässt. Auch sie verwendeten Glimmlampen und eine schnelllaufende Trommel.

Die Anwendung einer Trommel ist bei derartigen Messungen deshalb besonders vorteilhaft, weil man die Zündung der Glimmlampen direkt nebeneinander und in einfacher Weise nahezu gleichzeitig auf einem Papierstreifen registrieren kann. Jedoch sind solche Trommeln ziemlich gross und ihre Handhabung ist nicht sehr einfach, falls man grössere Papiergeschwindigkeiten benötigt, d.h. grössere Messgenauigkeit fordert.

Als daher im Technischen Prüfstand das Bedürfnis für die Ermittlung der Flammenausbreitung entstand, wurde von der Verwendung solcher schnelllaufenden Trommeln abgesehen. Es kam ausserdem nicht in Frage, stehende Ionisationsdiagramme, die etwa den Ionisationsgrad als Funktion der Zeit auf dem Schirm einer Braun'schen Röhre darstellen, mittels einer Kamera aufzunehmen. Da wegen der notwendigen Mittlung infolge des schwankenden Ionisationseinsatzes sehr viele Aufnahmen gemacht werden müssen, ist bei dieser Methode die Auswertung ziemlich umständlich. Dasselbe gilt auch für Aufnahmen mit rotierender Trommel bei nicht seitlich abgelenktem Elektronenstrahl, wozu noch die oben genannten Nachteile bei grösseren Papiergeschwindigkeiten kommen. Nun interessiert allgemein garnicht so sehr der Verlauf der Ionisation als vielmehr nur deren Beginn. Es ist danach nicht notwendig, das ganze Diagramm aufzunehmen. Daher wurde bei dem hier beschriebenen Verfahren nur der Beginn der Ionisation aufgezeichnet. Dabei wurde von der Möglichkeit der

trägheitslosen Ablenkung des Kathodenstrahls und der einfachen Registrierbarkeit mittels langsam umlaufender Trommel Gebrauch gemacht. Allerdings wurde hierbei auf die gleichzeitige Registrierung sämtlicher Ionisationsstrecken verzichtet, was jedoch zulässig sein dürfte.

Messanordnung

Der Beginn der Ionisation kann bei der Braun'schen Röhre durch die plötzliche Vertikalauslenkung oder durch die Intensitätssteuerung des Leuchtflecks kenntlich gemacht werden. Da man letztere im vorliegenden Falle nicht vollständig beherrscht, ist der Auslenkung des Strahles den Vorzug zu geben. Dabei wird der Strahl zunächst mittels Kippschwingergeräts oder besser mit dem im Technischen Prüfstand entwickelten Seitenablenkgerät horizontal abgelenkt. Die Vertikal-Auslenkung wird durch die Ionisierung gesteuert. Da deren Einsatz umso besser zu erkennen ist, je plötzlicher der Strahl nach oben ausgelenkt wird, wurde ein Verstärker nach Bild 1 verwendet. Danach sind zwei Verstärkerstufen vorgesehen. Doch dürfte allgemein die Verwendung einer Stufe vollauf genügen; wird doch üblicherweise bei Arbeiten mit Braun'scher Röhre für Ionisationsmessungen gar keine Verstärkung benutzt. Infolge der einsetzenden Leitfähigkeit durch die Ionisation wird über den Regler P 1 ein Spannungsabfall hervorgerufen, der nach Verstärkung den Elektronenstrahl auslenkt. Bringt man noch eine Marke, eine plötzliche kurzzeitige Auslenkung des Strahles nach oben, kurz vor dem Ionisationseinsatz an, so kann man die Zeit von der Markierung bis zur Auslenkung infolge der Ionisation bestimmen. Wie bereits erwähnt, interessiert nun hier nur diese Zeit, nicht der weitere Verlauf der Ionisation. Um nun Trommelaufnahmen ausführen zu können, wird daher der Röhrenschirm durch eine horizontal angebrachte Schlitzblende so abgedeckt, dass nur noch die Null- oder Grundlinie sichtbar ist. Im Augenblick der vertikalen Auslenkung hört dann plötzlich die Grundlinie auf. Dabei ist es allerdings notwendig, den Strahl nur kurz vor dem Ionisationseinsatz bis kurz danach auf dem nicht abgedeckten Streifen des Schirmes laufen zu lassen. Sonst ist das Aufhören der Grundlinie nicht oder nur schlecht erkennbar. Das Bild, das man jetzt auf dem Röhrenschirm-

erhält, besteht also aus einem Strich von bestimmter Länge, gegebenenfalls mit kurzzeitigen Unterbrechungen für Markierungen. Den horizontalen Strich kann man nun auf einer mit horizontaler Achse rotierenden Trommel aufnehmen. Lässt man die Trommel sich ganz langsam drehen, so erhält man Strich unter Strich, deren Enden jeweils den Zeitpunkt des Ionisationseinsatzes erkennen lassen. Macht man beispielsweise solche Aufnahmen an einem Viertaktmotor mit 1800 U/min, so muss der Papiervorschub 15 mm/sec sein, wenn der Abstand der Striche 1 mm betragen soll. Dieser Mindestabstand richtet sich nach der Strichschärfe. Nehmen wir nun einen Trommelumfang von 400 mm an, so braucht sich die Trommel in etwa 27 Sekunden nur einmal zu drehen. Während des Umlaufs der Trommel kann man die einzelnen Ionisierungsstrecken nacheinander anschliessen oder bei gleichbleibender Strecke sonst irgendwie die Betriebsbedingungen ändern. Wieviel Striche man pro Einstellung erhält, richtet sich nach der Schnelligkeit der Umstellung. Bei dauernd offener Optik wird im obigen Beispiel alle 1/15 Sek. ein Strich aufgezeichnet.

Bild 2 zeigt eine derartige Aufnahme als Beispiel. Als Motor diente dabei der I.G.-Prüfdiesel, dessen Drehzahl 900 U/min beträgt. Der Papiervorschub betrug 16,5 mm/sec., d.h. die Trommel dreht sich in etwa 24 Sekunden einmal herum. Geändert wurde der Einspritzbeginn (früherer Einspritzbeginn oben), während als einzige Ionisierungsstrecke eine Zündkerze der Firma Bosch, Type DM 20 S 148 diente. Jeweils eine Reihe von Strichen wurde bei konstanten Bedingungen aufgezeichnet. Die zwei Unterbrechungen, die in jeden Strich eingestreut sind, liegen 18° KW voneinander entfernt und ihr Beginn liegt 20 und 2° v.o.T. Man sieht, dass das dem Ionisationseinsatz, d.h. das der Ankunft der Flammenfront entsprechende Ende der Striche nach rechts wandert und dass die Schwankungen bei späterem Einspritzbeginn grösser werden (Bild 2 unten).

Wenn auch, wie die Aufnahme erkennen lässt, hier keine grosse Ablenkgeschwindigkeit verwendet wurde, so sind hierfür indessen die Grenzen

nur durch die unter Umständen nicht mehr genügende Strahlintensität gezogen. Doch liegen diese ziemlich weit, da man gegebenenfalls Braun'sche Röhren mit Nachbeschleunigung verwenden kann.

Wie bereits erwähnt, nimmt man zweckmässigerweise die seitliche Auslenkung des Elektronenstrahls mittels eines sogenannten Seitenablenkgerätes vor, wie es in dem Bericht Nr.361 näher beschrieben ist.

Durch Ankupplung des Gerätes an die Maschine, deren Verbrennung untersucht wird, erreicht man dann immer automatisch Synchronismus, d.h. stehende Bilder, wie auch die Drehzahl des Motors schwanken mag. Durch Einstreuen mindestens zweier Unterbrechungen in die Grundlinie hat man weiter einen Zeitmasstab in $^{\circ}\text{KW}$ und ist damit auch unabhängig von etwaigen Schwankungen in der Ablenkungsgeschwindigkeit. Das Ablenkgerät gestattet diese sehr hoch zu treiben. Bei den normalerweise verwendeten Spannungen von 280 Volt kann diese über Elektroden zugeführt werden, die nur einen Winkel von etwa 30°KW bilden, d.h. der Kathodenstrahl wandert dann in 30°KW von seinem linken nach seinem rechten Endpunkt. Beträgt dabei der zurückgelegte Weg 120 mm, so entspricht 1°KW auf dem Röhrenschirm 4 mm Weg. Infolge der Verkleinerung durch die Fotografie werden daraus etwa $2-3\text{mm}/^{\circ}\text{KW}$. Man kann also den Beginn der Ionisation, so in einfacher Weise auf 0,5 mm oder etwa $0,2-0,3^{\circ}\text{KW}$ genau ermitteln. Sollte man derartige Aufnahmen mit einer schnell umlaufenden Trommel machen, so müsste die Papiergeschwindigkeit bei einer Maschine mit 1800 U/min 20 - 30 m/sec sein oder, wenn die Fotografie keine Verkleinerung mit sich bringt, sogar 40 m/sec. Das sind aber schon ziemlich grosse Geschwindigkeiten. Indessen lässt sich bei obigem Verfahren die Auflösung leicht noch weitertreiben.

Zu diesem Zweck schaltet man zwischen Ablenkgerät und Braun'scher Röhre einen Verstärker, am günstigsten einen Gegentaktverstärker etwa nach Bild 3. Die Strecke, die dann 1°KW entspricht, richtet sich dann nur nach dem Verstärkungsgrad des Verstärkers und der Stellung des Eingangsreglers P 2.

Der Verstärkereingang muss hier möglichst hochohmig sein, da das Ablenkgerät keine Belastung verträgt. Wie weit die Ablenkungsgeschwindigkeit des Kathodenstrahls getrieben werden darf, richtet sich einzig und allein nach der Strahlintensität. Auf alle Fälle kann diese Geschwindigkeit jedoch Werte erreichen, die Trommelgeschwindigkeiten über 100 m/sek entsprechen, ohne dass dadurch Schwierigkeiten mechanischer oder elektrischer Art auftreten.

Wichtig für die Trommelaufnahmen ist nun noch, dass der Leuchtfleck sich nur ganz kurze Zeit auf dem freigegebenen Streifen des Röhrenschirmes bewegt. Zu diesem Zweck wird die Höhenlage des Strahles durch eine Schaltung nach Bild 4 (rechts) gesteuert, das auch die Gesamtanordnung der Apparatur schematisch wiedergibt. Der "Abschneider" und die "Zeitmarkenscheibe" sind an den Verbrennungsmotor gekuppelt. Mit Hilfe des Reglers P wird zunächst der Strich auf den Schlitz eingestellt, wobei der Punkt A über den "Abschneider" geerdet sein muss. Durch kurzzeitige Erdung des Punktes B über eine Scheibe mit Erdungskontakten ("Zeitmarkenscheibe") wird der Strich infolge vertikaler Auslenkung kurzzeitig unterbrochen und so Zeitmarken erhalten. Beim Einsetzen der Ionisation findet dann wieder eine Vertikalablenkung des Strahles statt; der Strich hört auf. Der Abschneider (Bild 5, Zeichnung TPr 189) gestattet die Dauer der Erdung und damit das maximale im Schlitz erscheinende Stück der Leuchtfleckbahn einzustellen. Er besteht aus einer breiten Pertinaxscheibe, die auf 180° ihres Umfanges mit Messing ausgelegt ist. Auf dem Umfang schieben zwei Kohlebürsten, die verstellt werden können. Erdet man eine davon und verbindet die andere mit dem Punkt B, so lässt sich leicht durch Verstellen die interessierende Strecke auf den Schlitz einstellen.

Wenn auch die angegebene Anordnung wegen der Höhensteuerung des Elektronenstrahls über den Verstärker nach Bild 1 zunächst nur für Ionisationsmessungen oder auch für Strahlungsmessungen mittels Fotozelle verwendbar erscheint, so ist damit ihr Anwendungsgebiet noch lange nicht erschöpft. Ganz allgemein ist die Apparatur nach entsprechender Abänderung jenes Schaltelementes für alle Kurzzeitmessungen geeignet, insbesondere wo

kurze Zeiten infolge starker Streuungen nur als Mittelwerte bestimmt werden können. Wie aus Obigem hervorgeht, muss dabei allerdings das zu messende Zeitintervall in die vom Abscheider zur Messung freigegebene Zeit fallen. Die Kurzzeiten, die noch zu messen sind, liegen in der Grössenordnung 10^{-4} - 10^{-5} Sekunden, wobei angenommen ist, dass der Elektronenstrahl aus Rücksicht auf genügende Intensität mit einer maximalen Ablenkgeschwindigkeit von etwa 100 m/sek seitlich bewegt wird.

Schrifttum

- 1) K.Schnauffer: Das Klopfen von Zündarmotoren
ZdVDI, 75, 1931, 455 und Jahrbuch 1931 der DVL S. 375
- 2) K.Schnauffer: Engine cylinder flame propagation studied by new
methods
SAE Journal 34 (1934) 17
- 3) K.Kuchtner: Elektrische Messungen der Zündgeschwindigkeit in einer
Verbrennungskraftmaschine
Forschg. Ing.Wes. Bd.2, 1931, S.197
- 4) L.Brewes: Die Fortpflanzung der Verbrennung im Dieselmotor
Forschg. Ing.Wes. 6, 1935, 183
- 5) F.Kneule: Beitrag zur Erforschung des Verbrennungsvorganges im
schnellaufenden Dieselmotor
Deutsche Kraftf.Forschung H.5, Berlin 1938
- 6) L.Herzle: Zündverzögerung und Ausbreitung der Verbrennung im Diesel-
motor mit Strahleinspritzung
Forschg.Ing.Wesen, 10.Bd., 1939, S.15
Diss.T.H.München 1939
- 7) H.Rabazzana, St. Kalmar und A.Candelise: Gasoline Engine Combustion
Automotive Ind.81, 1939, S.534 und 632

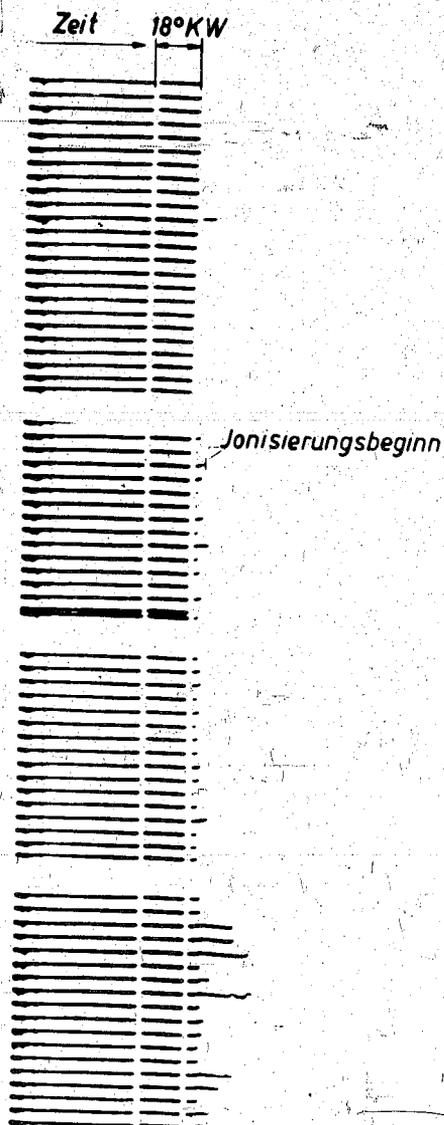


Bild 2 Beispiel für die Ermittlung des Ionisationseinsatzes
Beginn der Marken 20° u. 2° KW v.o.T.
Motor: I.G. Prüfdiesel 900 U/min
Jonisierungsstrecke: Bosch - Zündkerze DM 20 S148
Einspritzbeginn jeweils um 1,5° KW verstell

9291

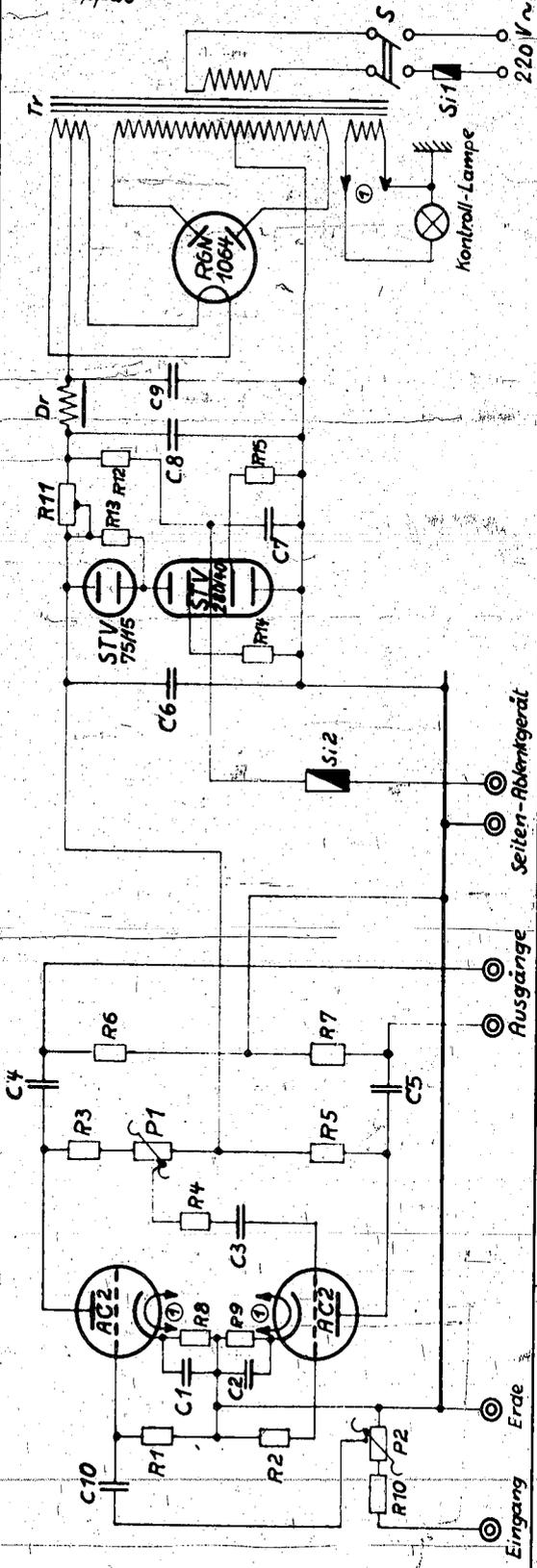


Bild 3
Schaltbild
für Gegentakt-Verstärker

Tr = Netztrafo Me 275 B	R1 = 2 MΩ 0,5 W	R11 = 100 MΩ 12 V EI
Dr = Drossel D 21	R2 = 1 MΩ 0,5 W	R12 = 100 MΩ 12 V EI
S = Schalter doppelpolig	R3 = 60 KΩ 0,5 W	R13 = 0,5 MΩ
Si1 = Sicherung 0,3 A	R4 = 20 KΩ 0,5 W	R14 = 0,5 MΩ
Si2 = Sicherung 10 mA	R5 = 80 KΩ 1 W	R15 = 0,5 MΩ
P1 = 20 KΩ 0,5 W	R6 = 2 MΩ 0,5 W	R16 = 8 MΩ 500 V EI
P2 = 1 MΩ 0,5 W	R7 = 2 MΩ 0,5 W	R17 = 16 MΩ 500 V EI
	R8 = 5 KΩ 1 W	R18 = 6 MΩ 650 V
	R9 = 5 KΩ 1 W	R19 = 4 MΩ 850 V
	R10 = 1 MΩ 0,5 W	R20 = 0,5 MΩ
	R11 = 20 KΩ Varol	
	R12 = 25 KΩ 12 W	
	R13 = 20 KΩ 1 W	
	R14 = 1 MΩ 0,5 W	
	R15 = 1 MΩ 0,5 W	

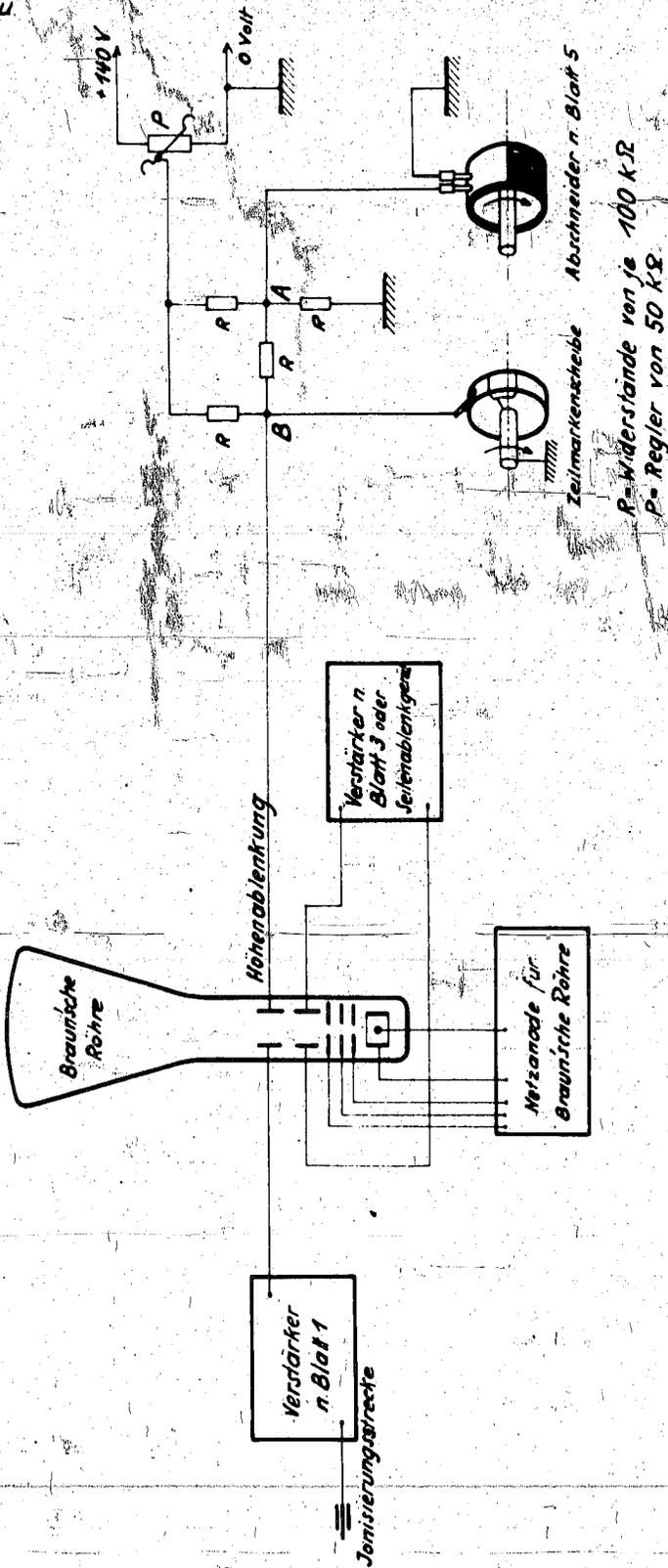
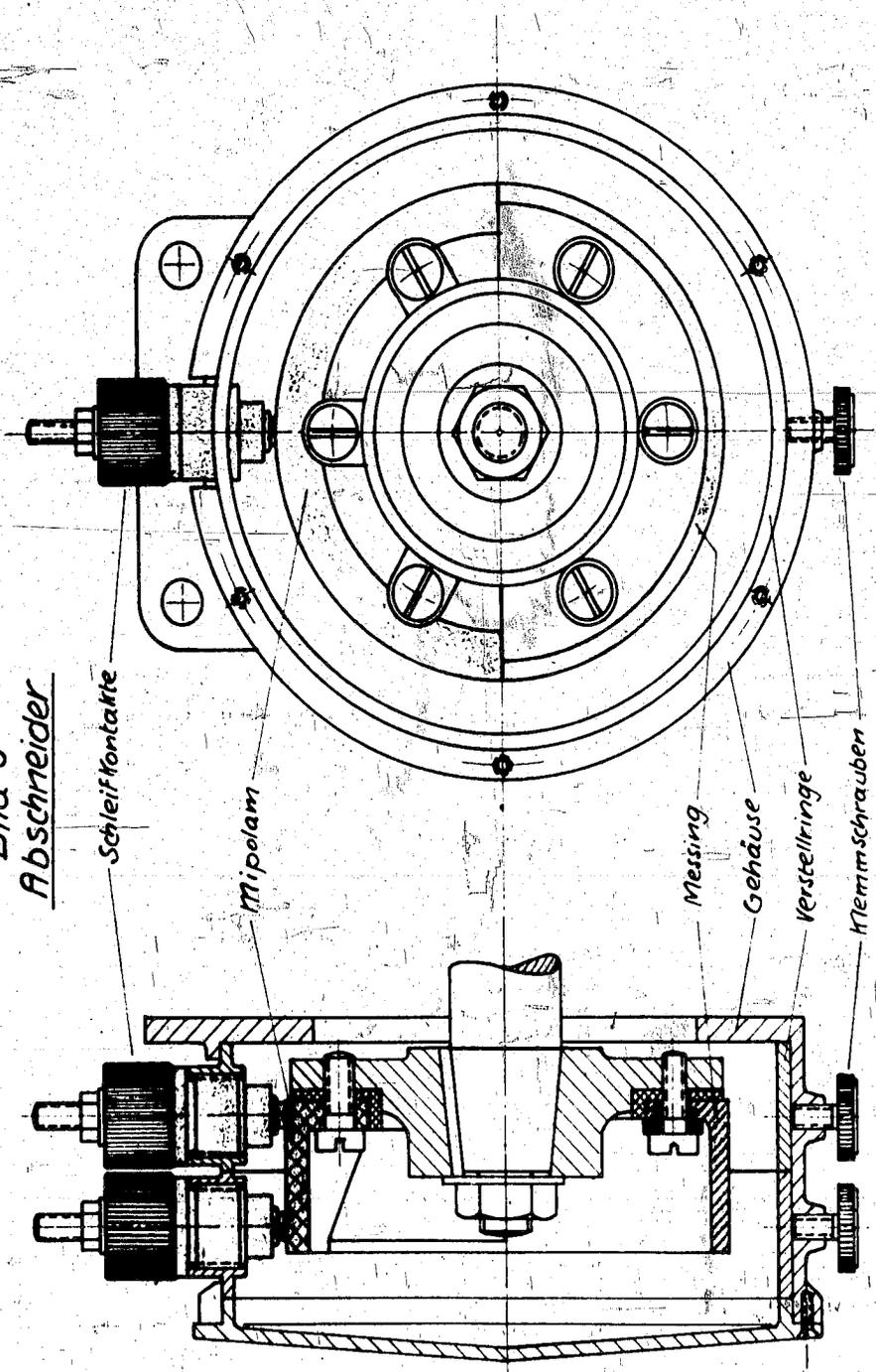


Bild 4. Gesamtanordnung der Apparatur
(schematisch)

9293

Bild 5
Abschneider



9294