

Bericht *Untersuchung von Ablenk-
geräten für Kathodenstrahlröhren.*

Technischer Prüfstand Op.

Nr. *361.*

Verfasser *Dr. Schüch.*

I-86

Tag *20. Oktober* 19*38.*

Gesehen von der Direktion *ZWZ*

Zur Kenntnis an:

Empfänger	Ein- gang	Weiter	Unterschrift
28904			

I.G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft
Ludwigshafen a. Rh.
Techn. Prüfstand Op 200
Bericht Nr. 361
- 0 -

B e r i c h t

über

"Untersuchung von Ablenkeuräten für Kathodenstrahlröhren."

28905

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Zusammenfassung.	1
1.) Allgemeines.	1
2.) Kurbelwinkel-Ablenkgerät.	3
a) Aufbau und Wirkungsweise.	3
b) Verlauf der Spannungskurve: Kurbelwinkel als Funktion der Zeit.	4
c) Störungen.	5
3.) Kolbenweg-Ablenkgerät.	8
a) Aufbau und Wirkungsweise.	8
b) Verlauf der Spannungskurve: Kolbenweg als Funktion der Zeit.	11
c) Einzelheiten über die Ausführung.	11
4.) Druckdiagramme von Verbrennungsmaschinen.	12

B e r i c h t

über

"Untersuchung von Ablenkgeräten für Kathodenstrahlröhren."

Zusammenfassung:

Die im Folgenden beschriebenen Ablenkgeräte ermöglichen die Erzeugung stehender Druckdiagramme von Verbrennungsmaschinen auf dem Schirm von Kathodenstrahlröhren. Sie gestatten in einfacher Weise die seitliche Ablenkung des Kathodenstrahls, die vollkommen synchron mit dem Umlauf der Maschine erfolgt, mit der sie gekuppelt sind, wie sich auch immer die Umdrehungszahl ändern möge. In Verbindung mit einem Druckindikator liefern sie somit stehende Diagramme.

An Hand von Aufnahmen wird die Brauchbarkeit der Geräte nachgewiesen. Es wird dabei auf Störungen eingegangen, die den erwarteten Verlauf der Kurbelwinkel-Zeit- bzw. Kolbenweg-Zeitkurven beeinflussen.

Zum Schluß werden noch einige Aufnahmen von stehenden Druck-Kurbelwinkel- bzw. Druck-Kolbenweg-Diagrammen gebracht, wie sie auf dem Schirm der Kathodenstrahlröhre mit Hilfe der beschriebenen Ablenkgeräte erhalten wurden.

1.) Allgemeines.

Zur Horizontalablenkung des Kathodenstrahls von Braunsehen Röhren werden vielfach sogen. Kippchwingungsgeräte verwendet. Die Vertikalablenkung wird mittel- oder unmittelbar von dem zu beobachtenden Vorgang gesteuert. Naturge-

man erhält man nur dann stehende Bilder auf dem Röhrenschärm, wenn die beiden Ablenkungen des Kathodenstrahls synchron erfolgen. Allgemein ist daher eine besondere Synchronisierung des Kippvorganges notwendig, die durch Nachregulieren am Kippgerät oder auch vollkommen automatisch erfolgen kann. Die automatische Synchronisierung ist jedoch nur beschränkt möglich und führt bei Beobachtung von Druckverläufen in Verbrennungsmaschinen zu keinem zufriedenstellenden Ergebnis. Außerdem haften den rein elektrisch arbeitenden Kipp- und Schwingungsgeräten der Mangel an, daß die Ablenkungsbreite mit der Kippfrequenz schwankt. Daher wurden im Technischen Prüfstand Oppari 2 Ablenkgeräte entwickelt, die frei von diesen Fehlern sind. Abb. 1-3 zeigen einige Ausführungsformen. Das eine Ablenkgerät ermöglicht Druck-Kurbelwinkel-Diagramme herzustellen, während das andere eine dem Kolbenweg proportionale Seitenablenkung liefert, also Druck-Kolbenweg-Diagramme ermöglicht.

Beide Geräte sind Spannungsteiler mit verhältnismäßig hohem Innenwiderstand. Da in unseren Fällen destilliertes Wasser als Widerstand dient, tauchen die Zuführungen als Elektroden in das Wasser ein, während der Abnehmer der Spannung durch einen ebenfalls in das Wasser hineinragenden Finger erfolgt. Es liegt im Aufbau der Ablenkgeräte begründet, daß entweder der Elektrolyt oder der die Spannung abgreifende Finger rotieren muß. Der Finger selbst darf keinen im Verhältnis zum Spannungsteilerstrom nennenswerten Strom ableiten, sonst gilt das einfache Spannungsteiler-Gesetz nicht mehr und die Ablenkungsbreite und die Ablenkung selbst wird empfindlich gestört. Bei dem Aufbau der Geräte war daher auf sorgfältigste Isolation (Trol on A) des Fingers gegen Erde und die Elektroden zu achten; zur Ablenkung des Kathodenstrahls wird ja kein nennenswerter Strom verbraucht. Als Stromzuführungen eignen sich wegen der Elektrolyse am besten Platin-Elektroden, während das Material des Fingers nicht in dem Maße wichtig ist. Der Finger darf sich nur

nicht infolge der dauernden Berührung mit dem Wasser mit einer nichtleitenden Schicht überziehen bzw. korrodieren. Der Einfachheit halber benutzen wir Platindraht. Die Isolation der Elektroden untereinander außerhalb des leitenden Wassers und gegen Erde ist nur insofern wichtig, als durch deren geringen Wert eine unnütze Belastung der Spannungsquelle erfolgt.

2.) Kurbelwinkel-Ablenkgerät.

a) Aufbau und Wirkungsweise.

Da bereits in dem Bericht Nr. 379 der Betriebskontrolle Oppau auf das Prinzip der Ablenkung eingegangen ist, so sei die Anordnung hier nur kurz gestreift.

Abb. 4a zeigt die elektrische Schaltung, während Abb. 4b den grundsätzlichen Aufbau erkennen läßt. Der Isolationskörper 1 (Mipolan) umschließt einen röhrenförmigen Hohlraum 2, der nach einer Seite hin offen ist. In den Hohlraum wird destilliertes Wasser (normalerweise 5-10 cm) eingefüllt. Bei Rotation des Isolationskörpers bildet sich infolge der Zentrifugalkraft der Wasser-ring 3, der aus 2 parallel geschalteten Spannungsteilern besteht. Zu diesem Zweck wird durch die Elektroden 6 und 7 über Schleifringe 4 und 5 eine Gleichspannung zugeführt. Der Finger 8 taucht in das Wasser ein und nimmt jeweils die in dem betreffenden Punktherrschende Spannung an. Die der einen Ablenkplatte für die Horizontalablenkung der Kathodenstrahlröhre zugeführt wird, während die andere Platte auf festem Potential liegt. Der Abstand der Elektroden 6 und 7 kann sehr gering gemacht werden. Die Anordnung erlaubt daher eine sehr starke Auseinandersetzung des jeweils interessierenden Vorganges. Innerhalb des Winkels α steigt das Fingerpotential von den niedrigsten bis zu den höchsten Werte an, um dann im Winkelbereich von $360 - \alpha$ wieder auf den niedrigsten Wert zurückzugehen. Der Leuchtpunkt wandert also allgemein, von $\frac{180}{\alpha}$

abgesehen, sehr rasch nach dem einen Richtungs und nicht so nach dem anderen von $350^\circ - \alpha$. mehr oder weniger konstante Spannungslage annehmen. Bei jeder Umdrehung wiederholt sich das Spiel. Durch den guten Kontakt der Teile des Abstrahlgerätes an die Kathodenröhre können die Messungen mit größtmöglicher Genauigkeit durchgeführt werden. Die Messungen sind in der folgenden Tabelle praktisch genügend genau. Die Messungen sind in der folgenden Tabelle mit größtmöglicher Genauigkeit durchgeführt worden.

b) Verlauf der Spannungsanstreue.

Zur Nachprüfung der Proportionalität von Spannung und Zeit wurde die Spannung an die Platten einer Kathodenstrahlröhre angelegt, die die Ablenkung des Kathodenstrahls in vertikaler Richtung ermöglicht. Die Ablenkung des Kathodenstrahls wurde durch ein magnetisches Feld, das durch eine mit vertikaler Achse gedrehten Stromkreis erzeugt war, zeitlich veränderlich gemacht. Die Ablenkung des Kathodenstrahls wurde durch ein magnetisches Feld, das durch eine mit vertikaler Achse gedrehten Stromkreis erzeugt war, zeitlich veränderlich gemacht. Die Ablenkung des Kathodenstrahls wurde durch ein magnetisches Feld, das durch eine mit vertikaler Achse gedrehten Stromkreis erzeugt war, zeitlich veränderlich gemacht.

Die Aufnahmen 1-12 zeigen den Verlauf für verschiedene Winkel α . Insbesondere auffällig, sind die außerordentlich scharf ausgeprägten Maxima und Minima der Spannung, obgleich der Finger nie die Elektroden selbst berührt. Der Steilanstieg bzw. der Steilabfall gibt das Ansteigen bzw. Abfallen der Spannung innerhalb des Winkelbereiches α wieder. Allgemein interessante gerade dieser Bereich, nur für $\alpha = 180^\circ$ sind beide Bereiche gleich wichtig. Sowohl für $\alpha = 45^\circ$ als auch für $\alpha = 90^\circ$ zeigt sich meist gute Zeitproportionalität der Spannung. Im Bereich $360^\circ - \alpha$ sind allerdings die Abweichungen

unter besonderen Umständen recht erheblich, wenn die Winkel α von 180° von Bedeutung ist.

Je größer der Winkel α , desto mehr tritt die Kurve steiler hervor. Für $\alpha = 180^\circ$ sind die Abweichungen von der Teilproportionalität hervor. Die Abweichungen sind möglichst große Winkel von $360 - \alpha$ die Abweichungen im letzten kongruenten, und etwaige Änderungen somit am leichtesten erkennbar sind, wurden die folgenden Untersuchungen vor allem für $\alpha = 45^\circ$ oder 90° vorgenommen.

e) Störungen.

Zwei Ursachen stören den linearen Verlauf der Spannungskurve. Auf den meisten Aufnahmen ist etwa in der Mitte des kargen anweisenden Teiles der Kurve die sogenannte Nullpunkts-Anomalie der Kathodenstrahlröhren zu beobachten. Diese rührt davon her, daß der interne Widerstand zwischen den Elektroden der Braunischen Röhre in der Größenordnung der des Spannungsteilers liegt. Dadurch wird die Spannungsteilung im Spannungsteiler gestört, was sich am meisten in der Nähe der Null-Lage (Ausgangslage) des Strahles auswirkt, die Ablenkungsempfindlichkeit wird dort dadurch scheinbar verringert. Diese scheinbare Verringerung der Ablenkungsgeschwindigkeit ist den Aufnahmen an der geringen Steilheit der Kurven erkennbar. Daß noch eine weitere Störung hinzukommt, zeigen die Kurven erkennen, die keinen Nullpunkts-Fehler zeigen. Es findet eine Ausbauchung der Kurven nach einer Seite zu statt, worauf weiter unten eingegangen ist.

Eine geringe Nullpunkts-Anomalie wirkt günstig auf die Abweichungen ein insofern, als die der Ausbauchung der Spannungskurven entgegenwirkt. Soweit der Nullpunkts-Fehler auf den obigen Punkt zurückzuführen ist, gibt es zwei Mittel zu dessen Beseitigung: Verminderung des Innenwiderstandes des Spannungsteilers und negative Vorspannung der Ablenkplatten, so daß die Elektronen

abgestoßen werden.

Besonders einfach ist in unserem Fall den Innenwiderstand des Spannungsteilers herabzusetzen. Zu diesem Zweck wurde das destillierte Wasser angesäuert, oder mit gewöhnlichem Leitungswasser vermischt. Tatsächlich lieferte die Herabsetzung des Widerstandes das erwartete Ergebnis. Dabei war es unwesentlich, ob die Spannung Batterien oder dem Piezo-Indikator, Bauart I.G.Farben, entnommen wurde. Die Aufnahmen 1-7 zeigen den Rückgang des Nullpunkt-Fehlers für 45 und 90° für je ein Ablenkgerät. In den Aufnahmen 4 und 5 treten die Abweichungen besonders stark hervor; sie lassen sich jedoch aufhior beseitigen (Aufnahme Nr.7). Aufnahme Nr.6 zeigt den günstigen Einfluß der Nullpunkts-Anomalie. Die Erfahrung lehrt, daß hinsichtlich der zulässigen bezw. erwünschten Anomalie der innere Widerstand des Spannungsteilers 300 000 - 400 000 Ohm nicht überschreiten darf. Allgemein gilt: je geringer der Widerstand, desto mehr tritt die Nullpunkts-Anomalie zurück. Aus dem Gesamtwiderstand R errechnen sich die Widerstände R_1 und R_2 der einzelnen Spannungsteiler nach folgenden Formeln:

$$R_1 = \frac{360}{360-\alpha} \cdot R \qquad R_2 = \frac{360}{\alpha} \cdot R$$

Beispiel: $\alpha = 45^\circ$, $R = 60\ 000$, $R_1 = \sim 70\ 000$ Ohm, $R_2 = 480\ 000$ Ohm

Das Verhalten der Nullpunkts-Anomalie bei negativer Vorspannung der Ablenkplatten wurde mit Hilfe von Batterien nach der Schaltung in Abb.5 nachgeprüft. (Aufnahmen 8-10). Bei -80 Volt Vorspannung ist der Nullpunkts-Fehler kaum noch angedeutet. Bei negativer Vorspannung von 200-300 Volt ist nichts mehr festzustellen. Jedoch ist wegen der Umständlichkeit der negativen Vorspannung der ersten Methode zur Beseitigung der Nullpunkts-Anomalie den Vorzug zu geben.

Wesentlich schwieriger als die Nullpunkts-Anomalie ist die auf Seite 5 angegebene Ausbauchung der Spannungskurven zu beseitigen. Zunächst wurden

die Versuchsbedingungen im Ablenkgerät geänderte Änderung der Auslenkung des Spannungsteilers bei konstant gehaltenem Widerstand und vernachlässigbare Nullpunkts-Auslenkung brachte keine erkennbare Veränderung der Ablenkung. Die Änderung der Plattenvorspannung nach Abb. 5 hatte ebenfalls nur ein negatives Ergebnis. Auch die Steuerung des Spannungverlaufs bei einem 180°-Ablenkgerät durch Anlegen der halben Spannung bei 90° führte nicht zu gewünschtem Erfolg.

Bei dem Piezo-Indikator, Bauart I.G., ist es notwendig, den korrekterweise etwa in der Mitte stehenden Leuchtpunkt des Kathodenträgers mittels eines Magneten etwas nach unten zu drücken. Dieser Magnet kann die Ablenkung beeinflussen, jedoch kann seine Lage so gewählt werden, daß er keinen Einfluß ausübt. So blieb bei dem zunächst verwendeten Plattenpaar die Auslenkung auch ohne Magnet bestehen. Erst, nachdem das andere Plattenpaar zur Ablenkung benutzt wurde, konnte bei sonst unveränderter Schaltung eine fast vollkommene Proportionalität zwischen Zeit und Spannung erzielt werden. Von Bedeutung war auch, welche der beiden Platten auf festem Potential gehalten wurde. Die erreichte Zeitproportionalität zeigen die Aufnahmen 11 und 12. Somit ist allerdings noch nicht eindeutig erwiesen, daß das Kurbelwinkel-Schichtenablenkgerät eine vollkommen zeitproportionale Spannung liefert.

Zur Beseitigung der Auslenkung der Spannungskurve läßt sich danach kein allgemeines Mittel angeben. Verlangt man größere Genauigkeit, so dürfte es immer ratsam sein, in obiger Weise die Spannung als Funktion der Zeit auszunehmen und so das günstigste Plattenpaar oder die günstigste Schaltung bzw. die günstigste Anordnung der Magneten zu ermitteln.

Beobachtet man die Länge der Ablenkung auf dem Schirm der Braunschen Röhre, so stellt man fest, daß diese nicht immer konstant ist. Wie eine eingehende Untersuchung ergab, ist es wichtig, möglichst wenig Wasser zu verwenden.

den. Bei konstanter Spannung und verschiedenen Wassermengen wurde die größte Ablenkungsbreite mit etwa 10 ccm Wasser erzielt. Bezüglich der entsprechenden Stromaufnahme ist zu unterscheiden, ob mit Batterien nach Abb. 6 (~~negativ~~ ^{negative} Vorspannung = 0) gearbeitet wird, oder ob die schrankende Spannung über einen Kondensator (8 μF) auf die Platten gegeben wird, wie es bei dem Piezo-Indikator, Bauart I.G., geschieht. Im ersteren Falle spielt die Höhe des Stromes keine Rolle, während im zweiten Falle sich für kleine Ströme eine geringere Ablenkung ergibt als für große. Erst mit dem Verschwinden der Nullpunkts-Anomalie ergibt sich die maximale Ablenkung. (Für $\alpha = 45^\circ$ bei 225 Volt 4-5 mA Stromaufnahme, Ablenkungsbreite 114 mm).

Allgemein läßt sich somit sagen; daß Kurbelwinkel-Ablenkgerät arbeitet dann am einwandfreiesten, wenn der Querschnitt des Wasserringes möglichst klein ist und seine Leitfähigkeit nicht allzu schlecht ist (s.oben). Destilliertes Wasser hat zu hohen Widerstand, seine Leitfähigkeit muß daher verbessert werden, was beispielsweise durch Ansäuern oder durch Vermengen mit Leitungswasser geschehen kann.

Vergleichen wir in den Aufnahmen 1-12 die zum Spannungsanstieg und zum Abfall gehörigen Zeiten, so stellen wir fest, daß die Zeiten, die dem Steilanstieg entsprechen, so ^{oder so klein} groß sind (etwa 1 % der Gesamtdauer). Die Ursache für ^{hierfür} ~~dieser Umkehrstellung~~ konnte bisher noch nicht einwandfrei gefunden werden. Ein etwa ungenauer Einbau der Elektroden ist nicht daran schuld.

3.) Kolbenweg-Ablenkgerät.

a) Aufbau und Wirkungsweise.

Mittels des Kolbenweg-Ablenkgerätes wird eine dem Kolbenweg proportionale Ablenkspannung erzeugt. Bekanntlich besteht für die zeitliche Abhängigkeit des Kolbenweges folgende Beziehung:

$$s = r \cdot \cos \varphi \pm l \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{r}{l}\right)^2 \cdot \sin^2 \varphi} \quad (1)$$

oder mit hinreichender Genauigkeit für $r:l \approx 1:4$

$$s = r \cdot \cos \varphi \pm \frac{r^2}{4l} \cdot \cos 2\varphi \pm 1 \cdot \left(1 - \left(\frac{r}{2l}\right)^2\right) \quad (2)$$

Darin sind

$r:l$ = Schubstangenverhältnis

und $\varphi = \omega t$, worin ω die Kreisfrequenz und t die Zeit bedeutet.

Der Spannungserzeuger hat nun eine Spannung zu erzeugen, für die genau die gleiche Abhängigkeit von der Zeit besteht. Zu diesem Zweck legt man nach Abb. 6a und 6b an die schwach gebogenen flächenförmigen Elektroden 1 und 2 eine Gleichspannung. Zwischen den Elektroden befindet sich als Widerstand/destilliertes Wasser, in das der Finger 4 eintaucht. Rotiert die Platte 6 (Trommel A) mit dem Abgriff 4, so nimmt dieser wechselnde Spannung an, die über einen Schleifring der einen Ablenkplatte der Kathodenstrahlröhre zugeführt wird, während die andere Platte auf festem Potential liegt.

Die Ausbildung der Elektroden bestimmt den Verlauf der Wechselspannungskurve. Bei Verwendung von vollkommen ebenen Platten, die parallel zueinander angeordnet sind, hat die zwischen einer Platte und dem Stift auftretende Spannung reine Sinus-Form, überlagert von einem Gleichspannungsanteil, der hierbei unwesentlich ist. Die Sinus-Linie entspricht eine Schubstangenlänge $l = \infty$. Nun ist die geforderte Kurve eine Sinus-Linie, die nach Gleichung 2) eine Kurve doppelter Frequenz überlagert ist. In unserem Ablenkgerät wird das dadurch erreicht, daß die Elektroden so gekrümmt sind, daß sie als Teile zweier konzentrischer Zylinder aufgefaßt werden können. Die durch die angelegte Spannung entstehenden Niveauflächen sind sodann ebenfalls gekrümmt und verlaufen parallel zu den Metallplatten. Durch die Krümmung wird der bei parallelen Platten streng lineare Spannungsabfall nur wenig gestört, wenn diese nur gering gekrümmt bleibt; es ist weiter unten darauf eingegangen. Je kleiner der Krümmungsradius der inneren Platte ist, desto stärker weicht die zwischen dem Abnehmer und einer Elektrode entstehende Spannungskurve von der Sinus-Form ab. Unter der

Annahme eines völlig linearen Spannungsabfaller und Berührung der Flächen. Elektrische durch den von Finger beschriebenen Kreis läßt sich der Kurvenverlauf dieser Wechselspannung am leichtesten zeichnerisch ornieren. In Abb. 7 sind zwei gezeichnete Kurven zu sehen; sie stellen den Kolbenweg als Funktion der Zeit dar für die Schubstangenverhältnisse $\lambda = r:2 = 1:4$ und $\lambda = 1:5$. Die entsprechenden Punkte geben die Spannungswerte an, wenn die innere Elektrode die Durchmesser $R_1 = 3 r$ und $3,5 r$ bzw. $R_1 = 4 r$ und der Fingerkreis den Durchmesser $2 r$ besitzen. Im Falle $\lambda = 1:5$ ist die Annäherung durch $R_1 = 4 r$ sehr gut, so daß sie sich für $\lambda = 1:4$ nur bei $R_1 = 3 r$ nur auf etwa 1 % annähern läßt.

Es ist hier nur des Richteren Vergleiches wegen die Durchmesser des Fingerkreises gleich dem Kolbenhub gewählt worden. Allgemein muß nur die Bedingung eingehalten werden, daß R_1 ein Vielfaches des Durchmessers der Fingerkreise ist. (2g)

Unter den oben genannten Voraussetzungen ist die Spannungscurve auch rechnerisch erfassbar, was am Schluß des Berichtes ausgeführt sei. Die Rechnung bestätigt den zeichnerischen Befund. Streng genommen sind jedoch ~~unvollständig~~

~~bedeutend~~ ~~der~~ ~~Spannungsabfall~~ logarithmisch . Der Spannungsabfall ist daher in der Nähe

der inneren Elektrode stärker als in der der äußeren. Bei einem $R_1 = 250$ mm und $2 \varnothing = 90$ mm beträgt die Abweichung $\pm 1,5$ %, oder, falls man die Maxima und die Minima der Spannung als genau ansieht, beträgt die Ausbauchung in der Mitte etwa 3 %; für $R_1 = 550$ mm und $2 \varnothing = 90$ mm sind die entsprechenden Daten $\pm 0,75$ bzw. 1,5 %. Der logarithmische Spannungsabfall wirkt in gleichem Sinne wie die Krümmung der Elektroden. Wenn wir also nach der obigen Erkenntnis ohne Rücksicht auf den logarithmischen Verlauf des Spannungsabfaller die Krümmung wählen, so würde sich nur für den Fall $r:2 = 1:5$ und $R_1 = 550$ mm, d.h. für $2 \varnothing$ etwa 275 mm, ein brauchbares Resultat ergeben. Das ist praktisch jedoch nicht

möglich. Für destilliertes Wasser dürfte ein Elektrodenabstand von 100 mm und ein Fingerkreis von etwa 90 mm das Gegebene sein. Eine Berührung der Elektroden durch den Finger ist unzulässig. Damit ist aber R_1 mit $(\frac{1}{\lambda} - 1) \varnothing$ festgelegt, z.B. $\lambda = 1:5$, $R_1 = 180$ mm. Um zu verhindern, daß die Abweichungen/nicht linearen Spannungsabfall in der Mitte etwa 3 % erreichen, ist es ratsam, R_1 größer zu nehmen.

b) Verlauf der Spannungskurve: Kobenweg als Funktion der Zeit.

Für $r:1 = 1:4,5$ wurde ein Seitenablenkgerät gebaut und auf Grund der obigen Überlegungen die folgenden Abmessungen gewählt:

$$R_1 = 260 \text{ mm, (statt } 3,5 \times 45 = 158 \text{ mm)} \quad 2 \varnothing = 90 \text{ mm.}$$

Zwei der erhaltenen Spannungs-Zeit-Kurven zeigen die Aufnahmen 13 und 14. Wir stellen noch geringe Abweichungen fest, die jedoch unerheblich sind. Die Nullpunkts-Anomalie tritt hier wegen des niedrigen Innenwiderstandes des Spannungsteilers kaum hervor. Was die oben erwähnte Ausbauchung der Spannungskurve betrifft, so ist hier ihr Einfluß sehr schwer erkennbar. Man muß daher ein Plattenpaar benutzen, das auf andere Weise als einwandfrei erkannt wurde, oder aber die Abweichung bei der Ausbildung der Elektroden berücksichtigen. Damit ist auch die Brauchbarkeit dieses Ablenkgerätes erwiesen.

c) Einzelheiten über die Ausführung.

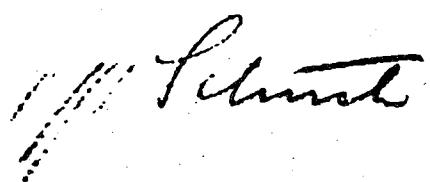
Zu vermerken ist noch, daß der Finger möglichst klein im Durchmesser sein muß, damit er den Spannungsabfall nicht beeinflusst. Wie schon eingangs erwähnt muß auch hier die Isolation des Fingers gegen Gehäuse und Elektroden (außerhalb des Wassers) äußerst gut sein. Die Abdichtung des Wasserraumes gegen die Antriebsseite erfolgte durch eine Simerring-Dichtung, die auf einem Ring aus V2A-Stahl drückte. Der richtige Druck der Dichtung ist wesentlich für die Lebensdauer des Gerätes. Bei zu schwachem Druck oder nicht völlig einwandfreiem Sitz ist die Dichtung ungenügend; das durchsickernde Wasser kann zur Zerstörung der Isolation beitragen. Ist andererseits der Druck zu groß, so läuft die Dichtung heiß, was zur Erweichung oder auch Verschlechterung der elektri-

sehen Eigenschaften des Isolationsmaterials führen kann. Es war daher notwendig, ein Kompromiß zwischen diesen beiden Extremen zu schließen. Dabei erwies es sich als das beste, das Wasser zirkulieren zu lassen. Zu diesem Zweck wurde der Wasserraum mit 2 Öffnungen, eine in der Mitte und eine senkrecht darüber, möglichst an der höchsten Stelle des Wasserraumes, versehen. In der Mitte wurde destilliertes Wasser aus einer Glasflasche zugeführt, aus der oberen Öffnung lief das Wasser wieder in die Flasche zurück. Die Anordnung wirkt als Zentrifugalpumpe. Etwa vorhandene Luft konnte ebenfalls durch die obere Öffnung entweichen. Die Gesamtwassermenge betrug etwa 2-3 Liter. Bei guter Dichtung war dann die Erwärmung nur noch gering. Es war darauf zu achten, daß die Simmorring-Dichtung auch bei Nichtgebrauch des Gerätes naß blieb. Es ist klar, daß bei dauernder Rotation allmählich Verunreinigungen in den Wasserraum gelangen, vor allem durch Lösen des in der Dichtung enthaltenen Fettes. Daher mußte das Wasser von Zeit zu Zeit erneuert werden.

4.) Druckdiagramme von Verbrennungsmaschinen.

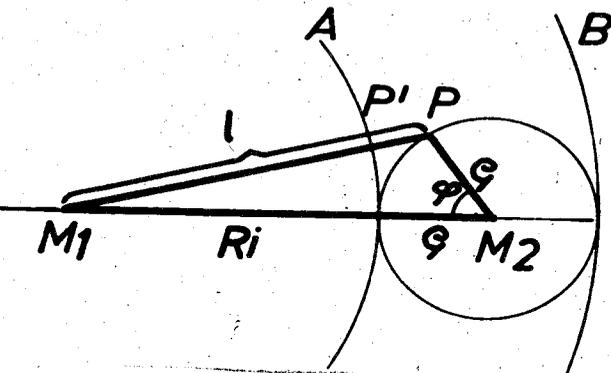
Die Aufnahmen 15-17 zeigen noch 3 Fotos von Druckdiagrammen, wie sie mit Hilfe der oben beschriebenen Ablenkgeräte auf dem Schirm der Kathodenstrahlröhre erhalten werden. Aufnahme ¹⁵ ~~15~~ stellt ein versetztes 90°-Kurbelwinkel-Druckdiagramm dar, Aufnahme ¹⁶ ~~16~~ ein versetztes 180°-Kurbelwinkel-Druckdiagramm, während die Aufnahme 17 ein regelrechtes Kolbenzug-Druckdiagramm zeigt.

Anlagen: 3 Blatt Lichtbilder
4 Blatt Schaubilder
8 Blatt Kontaktfotien.



Berechnung des Spannungverlaufes.

A und B seien die Elektroden mit dem Krümmungsmittelpunkt M_1 . Zwischen A und B liege die Spannung U . Der Kreis um M_2 durch P stelle den Fingerkreis dar. Zu ermitteln ist nun die Spannung des Punktes P als Funktion des Winkels φ . Dies ist aber proportional der Strecke PP' wegen des vorausgesetzten linearen Spannungsabfalles.



Es ist zulässig, hier durchweg mit Strecken zu rechnen. Statt mit PP' rechnen wir mit $M_2P = l$.

$$l = \sqrt{\varphi^2 + (R_1 + \varphi)^2} - 2(R_1 + \varphi)\varphi \cos \varphi$$

$$= \sqrt{\varphi^2 + (R_1 + \varphi)^2} \sqrt{1 - 2 \frac{(R_1 + \varphi)\varphi}{(R_1 + \varphi)^2 + \varphi^2} \cos \varphi}$$

Wir setzen

$$\frac{(R_1 + \varphi)\varphi}{\varphi^2 + (R_1 + \varphi)^2} = A$$

und entwickeln:

$$l = \sqrt{\varphi^2 + (R_1 + \varphi)^2} \left\{ 1 - A \cos \varphi - \frac{1}{2} A^2 \cos^2 \varphi - \frac{1}{2} A^3 \cos^3 \varphi - \frac{5}{8} A^4 \cos^4 \varphi \right\}$$

oder:

$$(3) l = \sqrt{\varphi^2 + (R_1 + \varphi)^2} \left[1 - \frac{A^2}{4} - \frac{45}{64} A^4 - A \left\{ \left(1 + \frac{3}{8} A^2\right) \cos \varphi + \left(\frac{A}{4} + \frac{5}{16} A^3\right) \cos 2\varphi + \frac{A^2}{8} \cos 3\varphi + \frac{5}{64} A^3 \cos 4\varphi \right\} \right]$$

Es sei nun:

$$\underline{R_1 = 4 \varphi}$$

$A = \frac{5}{26}$. Dann werden die Faktoren von:

$\cos \varphi$: 1,0139

$\cos 3\varphi$: etwa 0,005

$\cos 2\varphi$: 0,05

$\cos 4\varphi$: < 0,001

(3')

Für $R_1 = 3 \varphi$ gilt:

$$A = \frac{4}{17}$$

Die Faktoren von $\cos \varphi$, $\cos 2\varphi$.. sind sodann:

$$\cos \varphi: 1,0207$$

$$\cos 3\varphi: 0,00692$$

(3'')

$$\cos 2\varphi: 0,0624$$

$$\cos 4\varphi: 0,001035$$

Es ist nun $PP' = l - R_1$ proportional der in P herrschenden Spannung.

Die konstanten Glieder von l interessieren uns hier nicht, da sie Gleichspannungen proportional sind. Nach Gleichung (2), S.9, besteht für den Kolbenweg s folgende Beziehung:

$$s = r(\cos \varphi \pm \frac{r}{4l} \cos 2\varphi) + \text{Konst.} \quad (2)$$

Nehmen wir nun $\frac{r}{l} = \frac{1}{5}$ an, dann geht (2) über in

$$s = r(\cos \varphi \pm 0,05 \cos 2\varphi) + \text{Konst.} \quad (2')$$

Der Anteil der Schwingung doppelter Frequenz beträgt 5 %.

$$\frac{r}{l} = \frac{1}{4}$$

$$s = r(\cos \varphi \pm 0,066 \cos 2\varphi) + \text{Konst.} \quad (2'')$$

Die Oberwelle doppelter Frequenz ist mit 6,67 % vertreten.

1. Fall: $\frac{r}{l} = \frac{1}{5}$

Die Annäherung durch eine Spannungskurve, für die $R_1 = 4 \varphi$ ist, ist gut. Die in der Zeichnung (Abb.7) festzustellenden Abweichungen bis 0,5 % werden durch den Einfluß von $\cos 3\varphi$ hervorgerufen.

[Vgl. (2') mit (3'')]

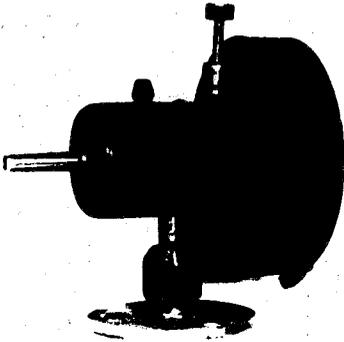
2. Fall: $\frac{r}{l} = \frac{1}{4}$

Die Amplitude der 1. Oberwelle beträgt für $R_1 = 3 \varphi$ etwa 6,1 % der Amplitude von $\cos \varphi$. Gefordert wird ein Anteil von 6,67 % von $\cos 2\varphi$. Der Unterschied beträgt danach etwa 0,6 %. Die tatsächlich (Abb.7) gefundene Abweichung von 1 % rührt von Einfluß von $\cos 3\varphi$ her, diese Oberwelle ist mit 0,7 % vertreten.

[Vgl. (2'') mit (3'')]

Schmitt

Abb.1

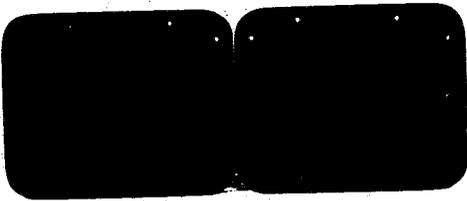


Kurbelwinkel-Ablenkgörät für

45 und 90°

(Zeichnung TPr 110)

Abb.2



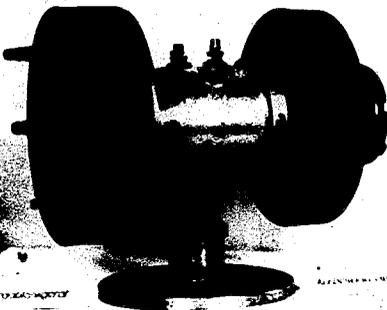
Kolbenweg-Ablenkgörät

(Zeichnung Nr. TL 1224)

auseinandergenommen:

Scheibe mit Abnehmer (a), Nasa-
raum mit Elektroden und Zu- und
Abflußöffnungen (r)

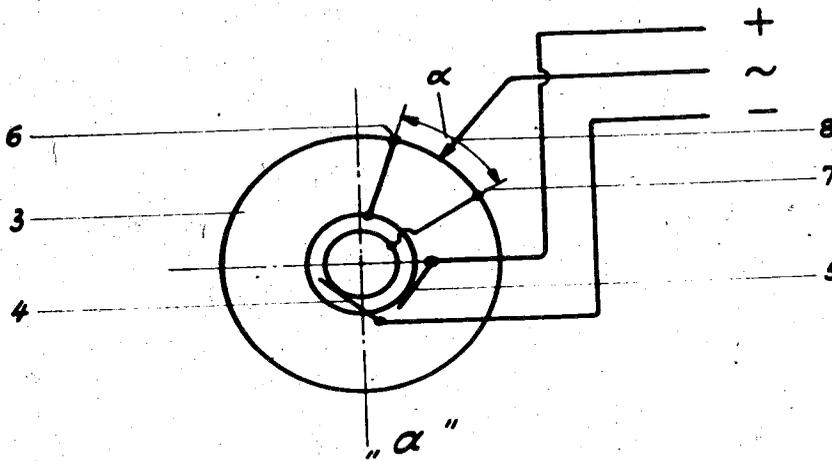
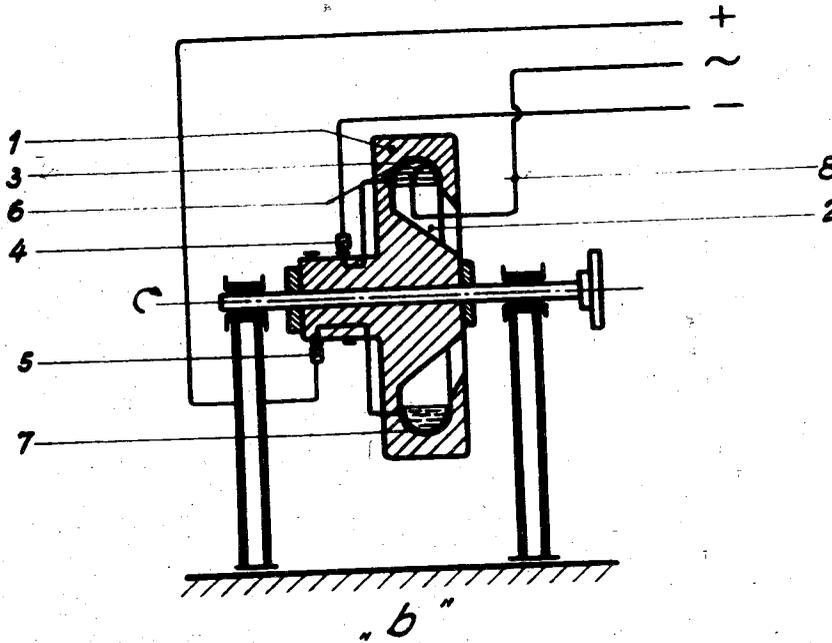
Abb.3



Kombiniertes Ablenkgörät für Kur-
belwinkel- oder Kolbenwegablenkung

(Zeichnung Nr. 1285)

Abb. 4 Kurbelwinkelablenkgerät



α Schaltschema

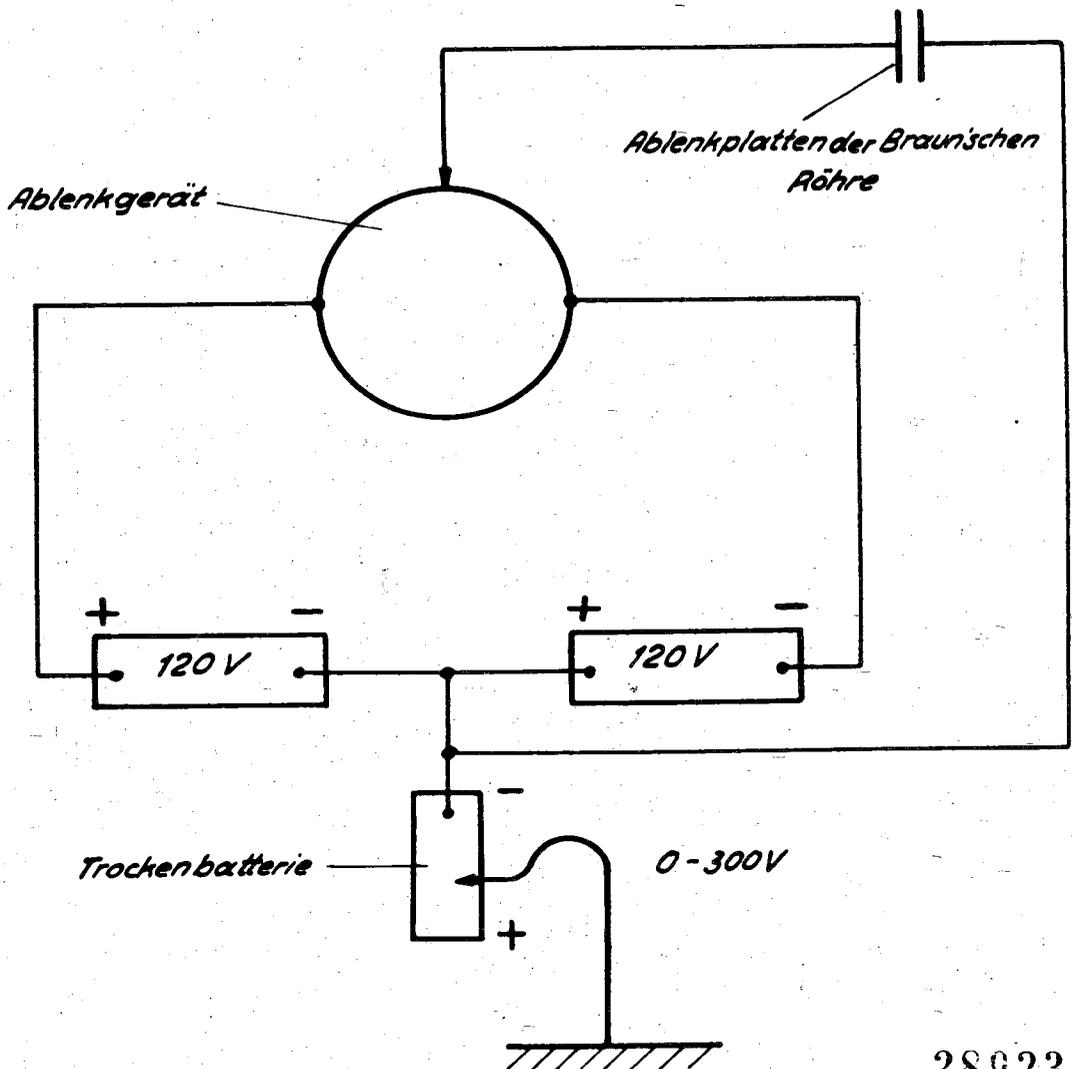
b Grundsätzlicher Aufbau

28922

TPrS 257

N2350-16

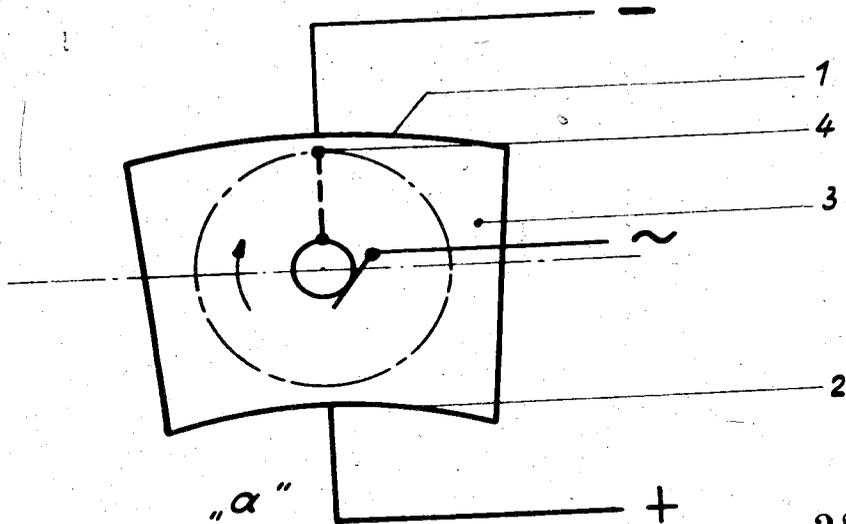
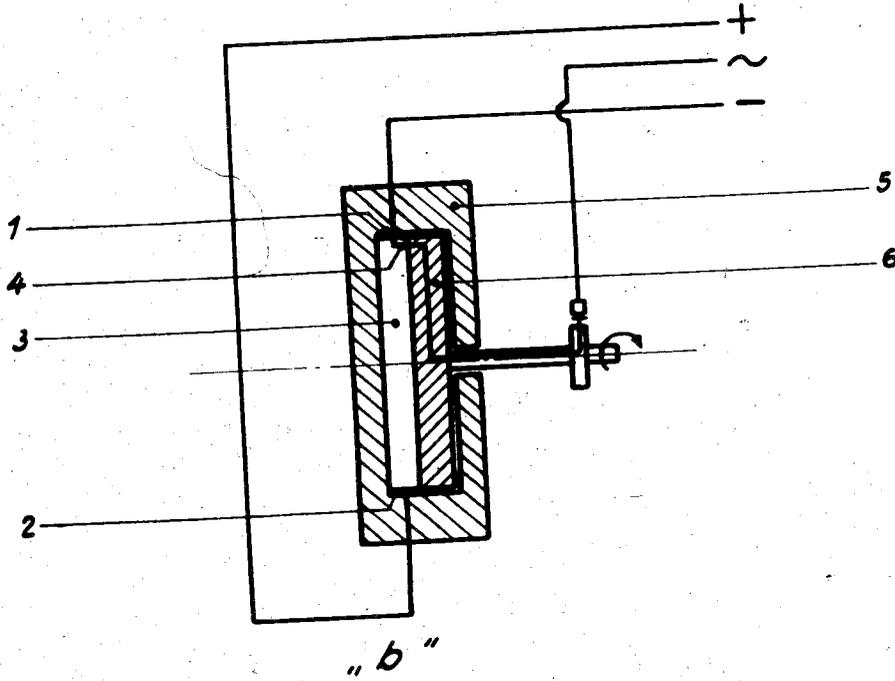
Abb. 5 Schaltung für Aufnahmen mit negativen
Vorspannungen der Ablenkplatten der Braunschen Röhre



28923

TPr-S 258

Abb. 6 Kolbenweg - Ablenkgerät



α Schaltschema

b Grundsätzlicher Aufbau

28924

TPr-S 259

N 2352-16

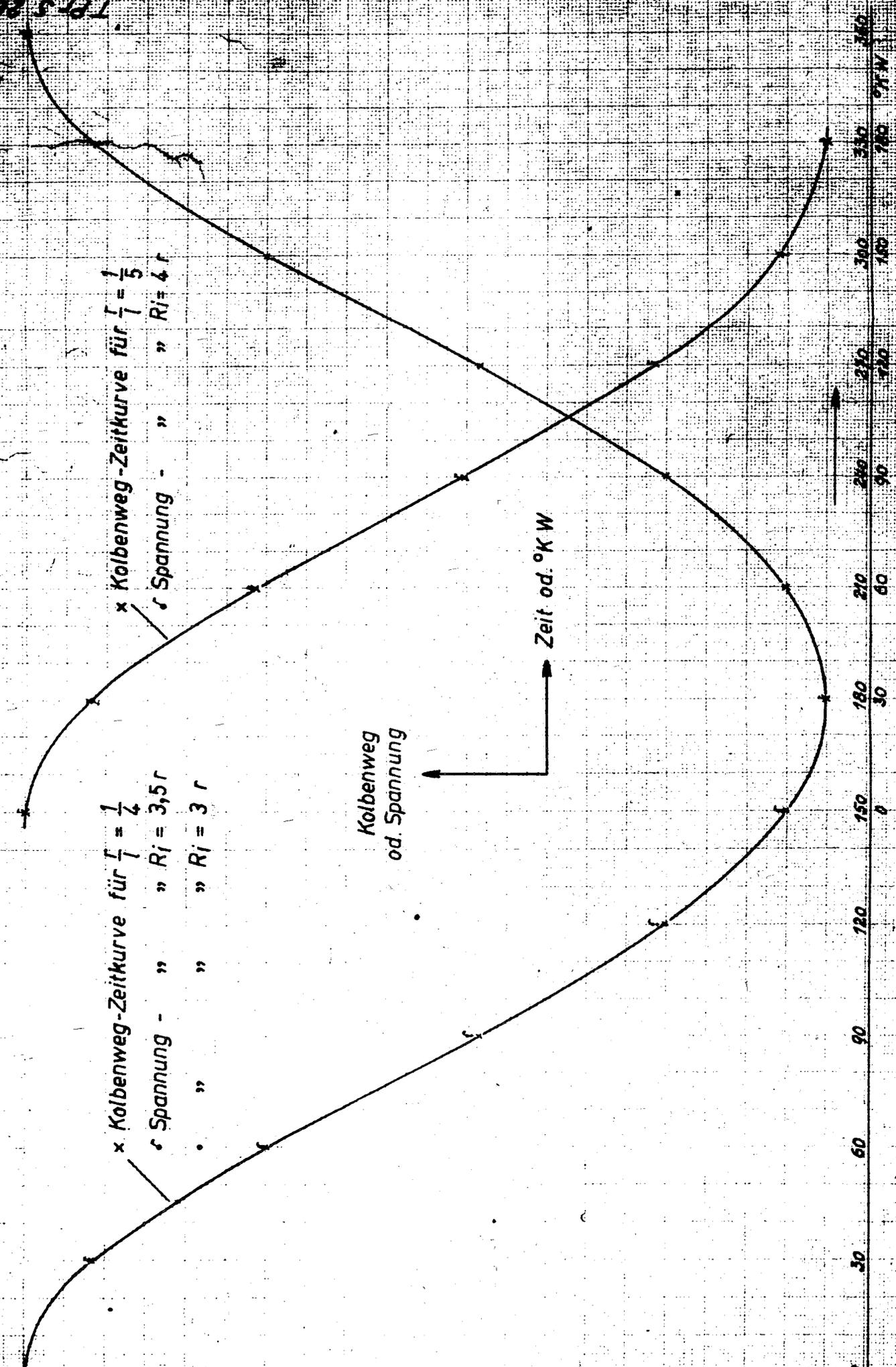
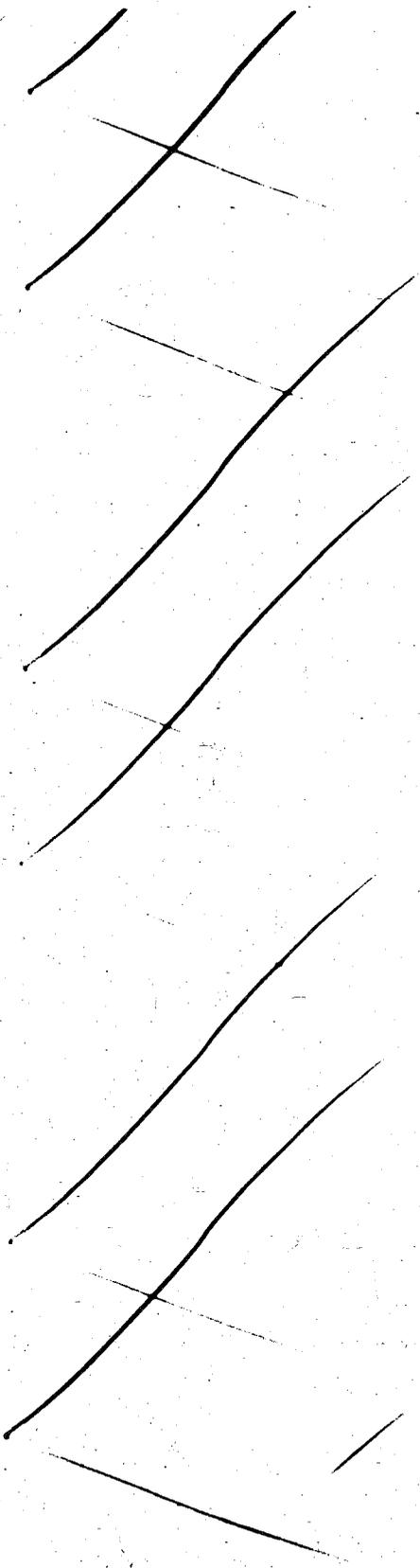


Abb. 7 Verlauf des Kolbenweges für $f_1 = \frac{1}{4}$ u. $f_1 = \frac{1}{5}$ u. der Spannungen für $R_i = 3,5r$ u. $R_i = 3r$ bezw. $R_i = 4r$ als Funktion der Zeit

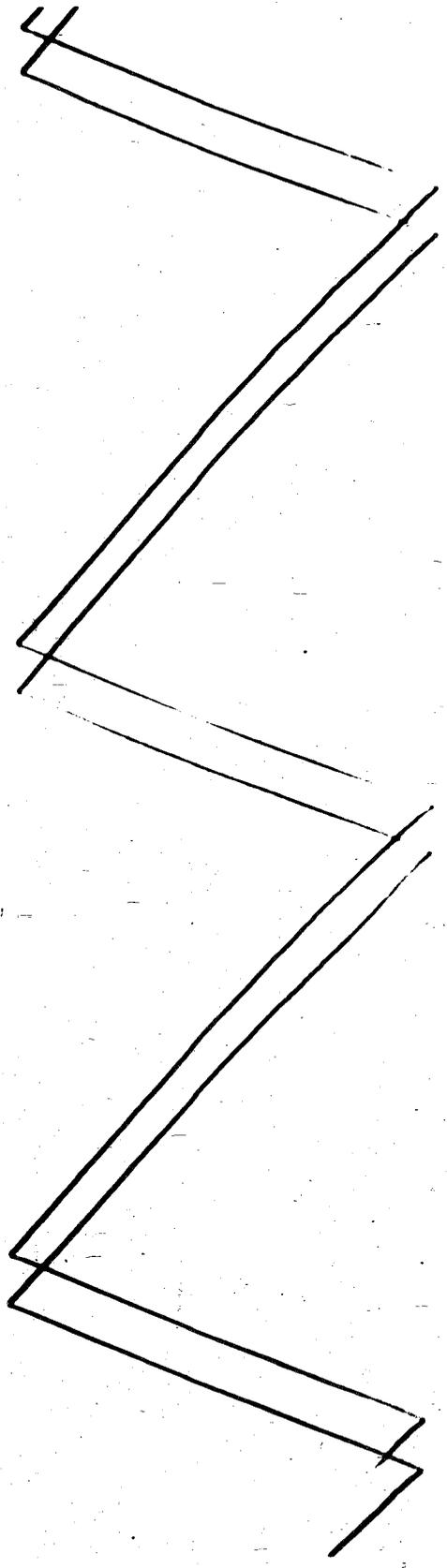
28925

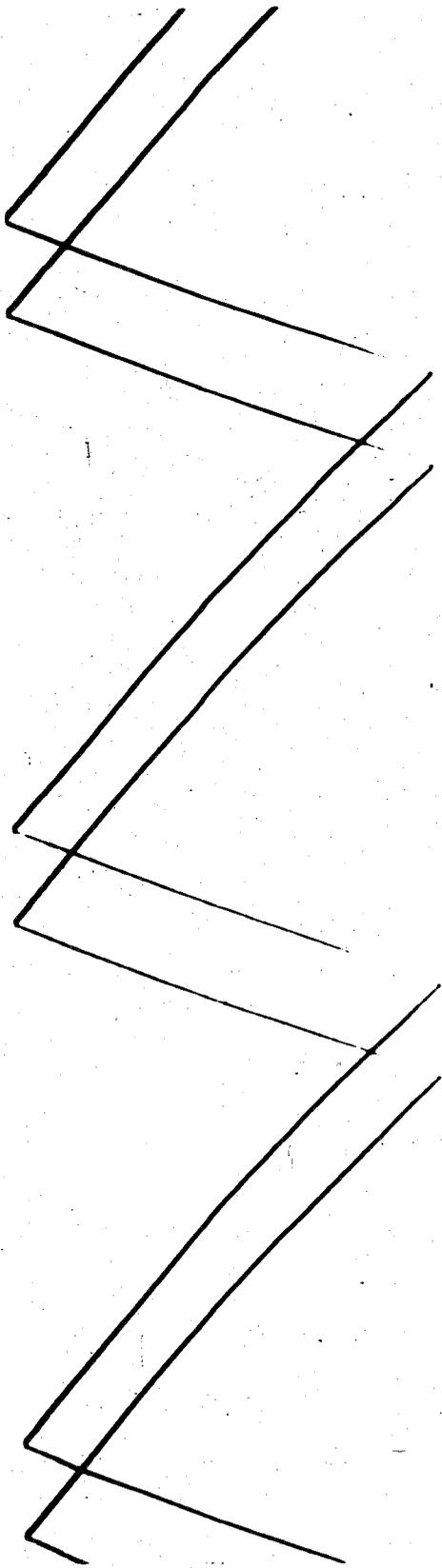
28925

Aufn. Nr. 1: Spannung-Zeitkurve für V_{100} (nach Zeitstandstabelle Nr. 7L 1235)
 $R_1 = 520 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 1500 \text{ k}\Omega$.

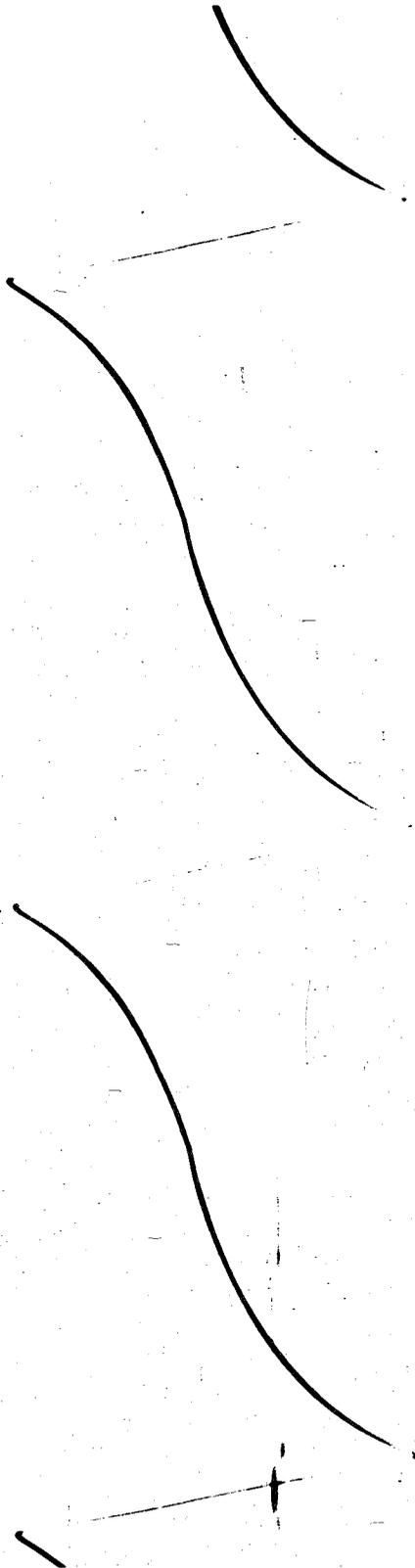


Aufn. Nr. 2: Spannung-Zeitkurve für V_{100} (nach Zeitstandstabelle Nr. 7L 1235)
 $R_1 = 10^4 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 1500 \text{ k}\Omega$.





Aufn. Nr.3: Spannung-Zeitkurve für $\alpha = 90^\circ$ (Kont. Seitenableitgerät nach Zeichnung TL 1285,
 $R_1 = 550\Omega$, $R_2 = 100k\Omega$.)

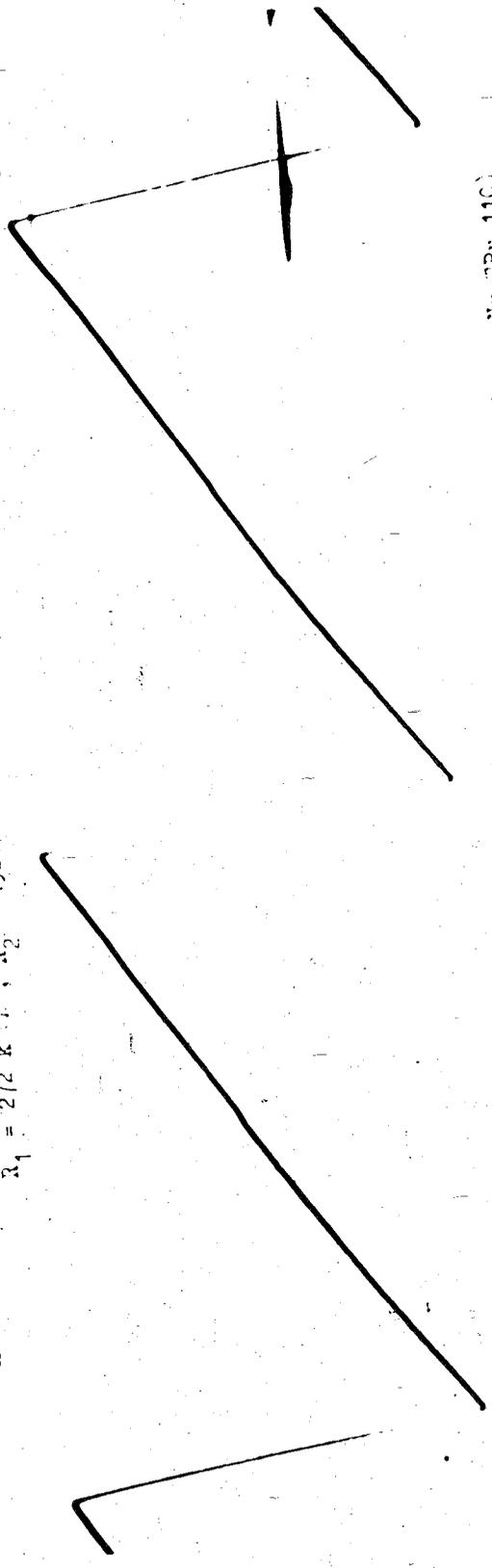


Aufn. Nr.4: Spannung-Zeitkurve für $\alpha = 90^\circ$ (Ableitgerät nach Zeichnung Nr. TPr 110)
 $R_1 = 121k\Omega$, $R_2 = 850k\Omega$.)



Ablenkerät nach Zeichnung Nr. TPr 110)

Aufn. Nr. 5: Spannung-Zeitkurve für $\alpha = 45^\circ$
 $R_1 = 272 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 1920 \text{ k}\Omega$.



Ablenkerät nach Zeichnung Nr. TPr 110)

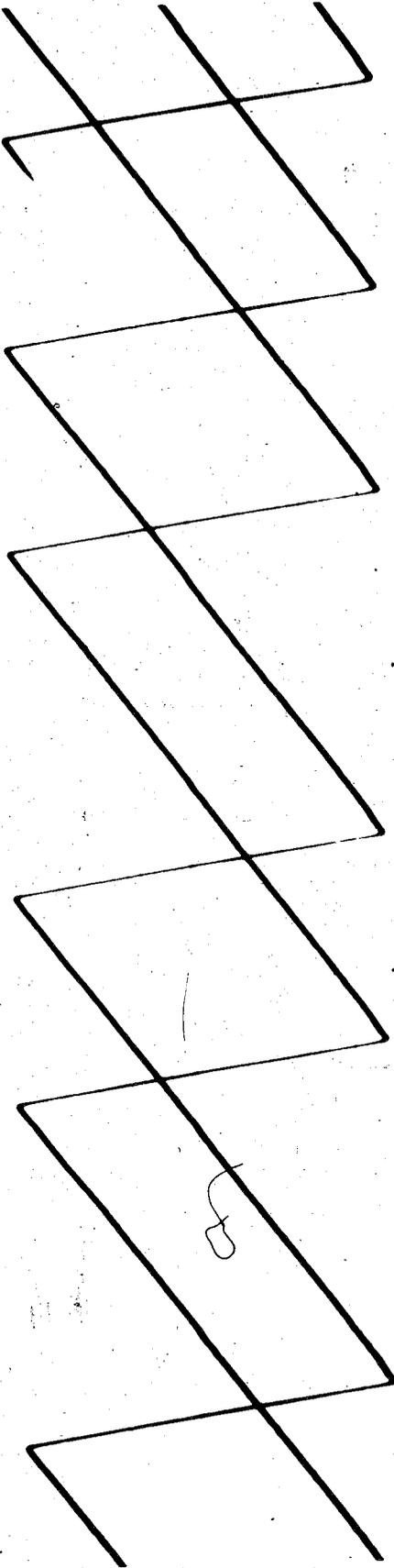
Aufn. Nr. 6: Spannung-Zeitkurve für $\alpha = 45^\circ$
 $R_1 = 51 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 30 \text{ k}\Omega$.

Aufn. Nr.7: Spannung-Zeitkurve für $\alpha = 45^\circ$ (Ablenkgerät nach Zeichnung Nr. TPr 110)
 $R_1 = 13,5 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 94 \text{ k}\Omega$.

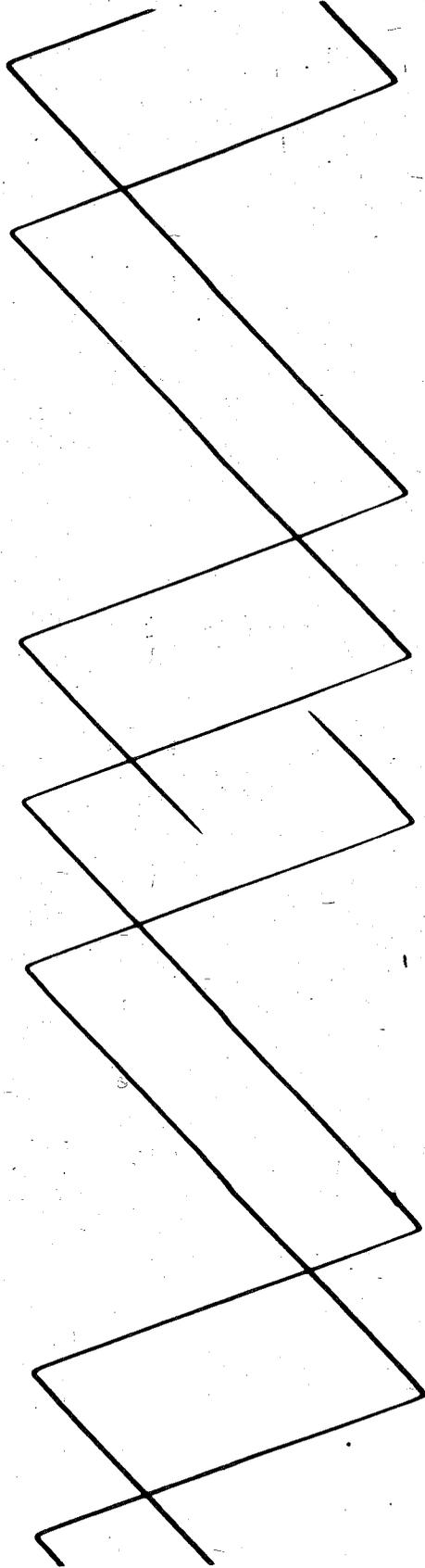
Aufn. Nr.6: Spannung-Zeitkurve für $\alpha = 45^\circ$ (Ablenkgerät nach Zeichnung TPr 110)
Schaltung nach Abb.5, Blatt 3. Vorspannung C Volt, R_2 etwa $460 \text{ k}\Omega$.

Aufn. Nr. 9: Spannung-Zeitkurve für $\alpha = 45^\circ$ (Ablenkgerät nach Zeichnung Nr. TPr 110)
Schaltung nach Abb. 5, Blatt 3. Vorspannung-90 Volt, R_2 etwa 1000 k Ω .

Aufn. Nr. 10: Spannung-Zeitkurve für $\alpha = 45^\circ$ (Ablenkgerät nach Zeichnung Nr. TPr 110)
Schaltung nach Abb. 5, Blatt 3. Vorspannung-330 Volt, R_2 etwa 1000 k Ω .



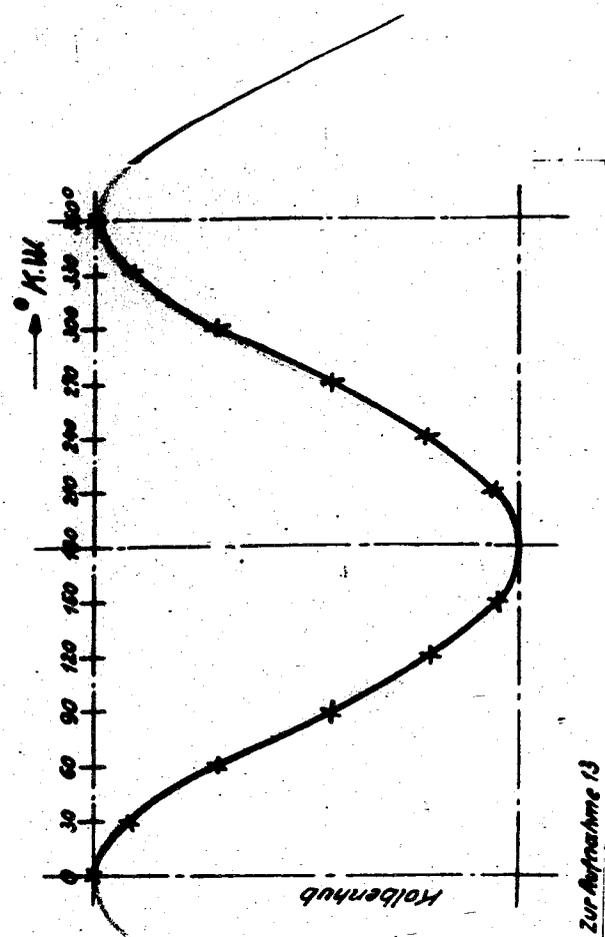
Aufn.Nr.11: Spannung-Zeitkurve für $\alpha = 45^\circ$. Die Abweichungen von der Proportionalität zwischen Spannung und Zeit sind nur noch gering.



Aufn.Nr.12: Spannung-Zeitkurve für $\alpha = 90^\circ$. Die Proportionalität zwischen Spannung und Zeit ist sehr gut.

Hubweg als Funktion des Hubwinkels

für $\lambda = r:l = 1:4,5$

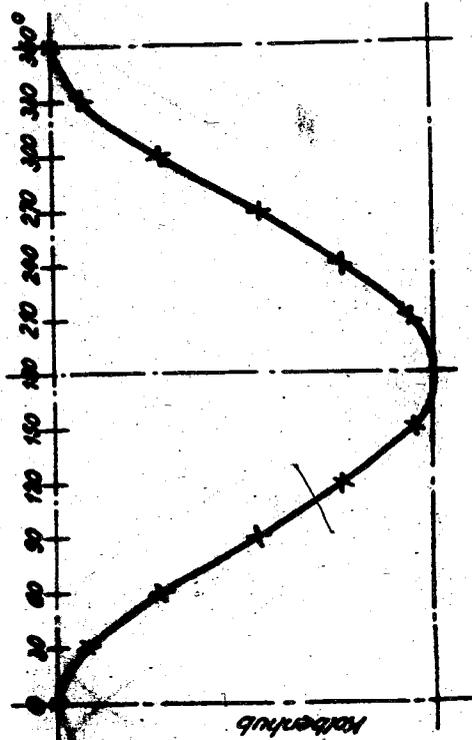


Zur Aufnahme 13

Halberweg als Funktion des Kurbelwinkels

für $A:r:l = 1:4,5$

→ ° K.W.



Zur Aufnahme 19

Aufn. 15

Versetztes Druck-Kurbelwinkel
Diagramm für $\alpha = 90^\circ$

(Dieselmotor)

Nach der Explosion treten im
Kanal zwischen Verbrennungs-
raum und Quarzdosensmembran
Schwingungen der Gasäule auf

Aufn. 16

Versetztes Druck-Kurbelwinkel
Diagramm für $\alpha = 180^\circ$

(Dieselmotor)

Aufn. 17

Druck-Kolbenweg-Diagramm für
Dieselmotor