

Ein neuer Doppel-Kathodenstrahl-Oszillograph (DKO).

Bericht von K. Berger, Zürich, an die Forschungskommission des SEV und VSE
für Hochspannungsfragen.

621.317.755

1.

Seit der Entwicklung der Kathodenstrahl-Oszillographen (KO) mit *einem* Strahl vor ca. 12 Jahren¹⁾ sind diese Messapparate in damals kaum geahntem Mass in die Elektrotechnik eingedrungen. Einige wesentliche Fortschritte der heutigen Hochspannungstechnik wären ohne KO kaum möglich gewesen. So haben z. B. die Gewitter-Ueberspannungsmessungen zur heutigen Technik der Stoßspannungen und zum modernen Ueberspannungsableiter geführt; der Schutzwert von Kondensatoren und Kabeln wurde der zahlenmässigen Beherrschung zugänglich; die beim Abschalten von Kurzschlüssen durch Hochleistungsschalter an deren Klemmen auftretende wiederkehrende Spannung konnte genau verfolgt und ihre Bedeutung für den Schalter und für Ueberspannungsvorgänge in Netzen geklärt werden^{1a)}.

Inzwischen hat sich der Aufgabenkreis des KO stets erweitert. Wie das früher beim Schleifenoszillographen der Fall war, so auch jetzt beim KO: Man begnügt sich nicht mehr mit der Messung *einer* rasch veränderlichen Spannung oder *eines* rasch veränderlichen Stromes, sondern man möchte gleichzeitig *mehrere* solche Grössen in ihrem zeitlichen Verlauf festhalten, um sie miteinander vergleichen zu können. Daneben besteht der Wunsch, auch rasch veränderliche Leistungen (Energieschüsse) mit dem KO trägeheitslos aufzuzeichnen, entsprechend dem Gebrauch von «Wattschleifen» beim Schleifenoszillographen. In vielen Fällen sind zwingende Gründe vorhanden, welche die gleichzeitige Registrierung mehrerer raschveränderlicher Grössen verlangen:

Die Ueberspannungen auf den 3 Phasen einer Drehstromleitung während Blitzeinschlägen²⁾, der Zusammenhang zwischen wiederkehrender Spannung und abgeschaltetem Strom im Kurzschlusslichtbogen³⁾, in Hochleistungssicherungen gesteckte Energie, Stromstoss und Klemmenspannung⁴⁾ sind Werte, die nur, wenn sie zugleich erfasst werden

¹⁾ Siehe Literaturzusammenstellung am Schluss des Artikels.

können, neue Aufschlüsse und Fortschritte ermöglichen.

2.

Es bestehen bereits mehrere Ausführungsformen von Mehrfach- oder Mehrstrahl-KO. Bereits der Altmeister des technischen KO, *Dufour*, hat Hosenrohre aus Glas gebaut, in welche je ein Ablenkplattenpaar eingeschmolzen war⁵⁾. Doch liess sich die Anordnung offenbar infolge ungenügender Abschirmung nur für Niederfrequenz benutzen, wie *Dufour* schreibt.

Ferner hat *Villard* versucht, durch isolierte Blenden, welche vor die Kathode gesetzt werden, dieser mehrere Kathodenstrahlen zu entlocken⁶⁾. Die technische Ausführung führt jedoch zu verschiedenen Schwierigkeiten bezüglich Strahlqualität, welche diese Ausführung heute noch nicht als vollwertig erscheinen lassen. Bekannt sind auch die Mehrstrahl-KO der *Studien-Gesellschaft für Höchstspannungsanlagen* in Berlin⁷⁾. Bei diesen wird das Strahlenbündel durch mehrere Löcher in der Anodenblende in Teilstrahlen aufgeteilt. Leider ist deren Strahlintensität nur ein Bruchteil der beim Einstrahl-KO ausgenützten Kernintensität. Diese Apparate sind für Schaltuntersuchungen in Netzen von Vorteil, da sie auf relativ kleinem Raum die gleichzeitige photographische Aufnahme mehrerer Spannungen erlauben. Aehnlich ist die *japanische Bauart*, welche mit feinen Blechen das Kathodenstrahlbündel zerschneidet, um Teilstrahlen zu bekommen⁸⁾. Schliesslich wurde eine neuere Ausführung des KO mit 2 Strahlen kürzlich von *Thielen* beschrieben, während unser KO in der Montage war⁹⁾. Dabei werden zwei getrennte, parallele Entladerohre mit Druckausgleich zwischen beiden angewendet. Die Sammelpulen und Meßsysteme sind im gleichen Rohr ohne Zwischenwände eingebaut, wie das bereits bei den heute käuflichen abgeschmolzenen Zwei-Strahl-Röhren aus Glas üblich ist. Die Einzelregulierung beider Strahlen, die für die Erreichung verschiedener Strahlintensitäten, z. B. für die gleichzeitige Registrierung eines kurzen und eines langen Zeitintervalles nötig ist, wird

mit einer zusätzlichen Hilfsspannung einiger hundert Volt bewirkt. Keines der Ablenkplattenpaare ist verstellbar. Aehnliche Konstruktionen wurden bereits früher von W. Krug¹⁰⁾ und R. W. Whelpton¹¹⁾ angegeben.

Der Vollständigkeit halber seien schliesslich auch die aus einfachen KO zusammengestellten mehrpoligen KO mit gemeinsamer Grundplatte erwähnt. Fig. 1 zeigt z. B. den dreipoligen KO der Forschungskommission des SEV und VSE für Hoch-

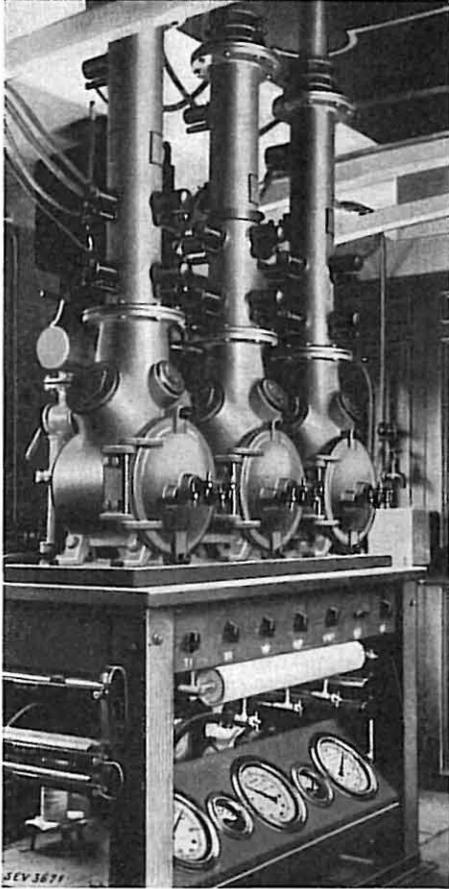


Fig. 1.
Dreipoliger Kathodenstrahl-Oszillograph für die von 1930 bis 1937 durchgeführten Gewittermessungen, eingebaut in alten SBB-Wagen.

spannungsfragen, der, in einem alten SBB-Wagen eingebaut, während 8 Jahren den schweizerischen Gewittermessungen diente.

Die grössere Anzahl bereits ausgeführter KO mit mehr als einem Strahl lassen verschiedene Grundformen erkennen. Eine klare Benennung dieser Formen wäre für die Zukunft wünschenswert. Grundmerkmale sind vor allem die Zahl der Strahlen und die Art ihrer Auslösung aus einer einzigen oder mehreren Kathoden. Von Glühkathoden wird in diesem Aufsatz abgesehen. Je nachdem, wie viele Strahlen aus derselben Kathode ausgelöst werden, könnten z. B.

Zweistrahl-, Dreistrahl-, Vierstrahl-Oszillographen usw. unterschieden werden. Hieher gehören z. B. die Ausführungen nach Villard und Knoll. Bei Erzeu-

gung mehrerer Strahlen aus verschiedenen Kathoden, die sich in der Regel in verschiedenen Entladerohren befinden, könnte besser gesprochen werden von

Doppel-, Dreifach-, Vierfach-Kathodenstrahl-Oszillographen,

usw. In diesen Fällen sind dann auch weitere Bestandteile, wie z. B. Sammelspulen, Strahlsperrungen usw. mehrfach vorhanden. Hieher gehören z. B. die Ausführungen von Whelpton, Krug und Thielen. Mit dieser Benennung ist es auch möglich, kombinierte KO eindeutig zu bezeichnen; z. B. wird ein Doppel-Zweistrahl-KO einen KO bezeichnen, der in zwei getrennten Entladerohren je zwei Kathodenstrahlen erzeugt und ausnützt. In allen obigen Fällen überschreiben alle Kathodenstrahlen einen gemeinsamen Beobachtungsschirm oder eine gemeinsame Photoschicht.

3.

Unser neuer Doppel-KO entstand aus dem Bedürfnis, für die Forschungskommission des SEV und VSE für Hochspannungsfragen (FKH) eine fahrbare Universal-Messeinrichtung für höchste Ansprüche zu schaffen, welche in einen Strassenanhängewagen eingebaut wird, so dass sie zu jeder Hochspannungsstation oder zu jedem Haus gefahren werden kann. Ein derart fahrbarer KO ist für Untersuchungen über die Fortpflanzung von Wanderwellen, für die Prüfung eingebauter Uebertragungsschutzapparate und für die Messung der Vorgänge beim Schalten in Netzen von grossem Interesse. Um in Drehstromnetzen drei Spannungen und drei Ströme zugleich messen zu können, wurden drei KO mit je zwei getrennten Strahlen für diesen Messwagen vorgesehen. Jeder KO soll den höchsten Ansprüchen bezüglich Schreibgeschwindigkeit, Genauigkeit und Zuverlässigkeit im Betrieb bei einfachster Bauart entsprechen; insbesondere wurde absolute Unabhängigkeit in der Messung der verschiedenen Grössen verlangt und daher eine Ausführung als Doppel-KO (nicht Zweistrahl-KO) gewählt.

Das Resultat des auf Grund unserer bisherigen Erfahrungen mit Einstrahlrohren vollständig neu konstruierten Doppel-KO ist schematisch in Fig. 2 dargestellt.

Im Gegensatz zum runden Einstrahl-KO-Gehäuse wurde das Gehäuse des Doppeloszillographen mit rechteckigem Querschnitt ausgeführt. Dies aus zwei Gründen: Einmal ist die Raumausnutzung eines runden Querschnittes für zwei nebeneinander befindliche Meßsysteme schlecht, so dass unnötiges Vakuumvolumen und damit längere Pumpzeit entsteht; zweitens erlauben die gehobelten vier Seitenflächen des Gehäuses eine einfache und sehr genaue Montage aller Meßsysteme. Während diese nämlich bisher durch Einführung vom Ende des Ablenkrohres aus in dessen Innerem montiert werden mussten, können jetzt alle Präzisionsteile auf gehobelten Eisendeckeln präzis fertig montiert und dann als Ganzes von der Seite her in das Ablenk-

rohr eingesetzt werden. Derselbe Vorteil besteht beim allfälligen Auswechseln von Meßsystemen für Strom- und Spannungsmessungen. Diese Montageart wurde erstmals für alle Ablenkplatten und Sammelspulen angewendet; sie hat sich bezüglich Mess-

schirm ermöglicht wurde. Untereinander sind beide Strahlen durch eine eiserne Wand gegeneinander abgeschirmt, so dass die Beeinflussung der beiden Strahlen nicht grösser ist als bei zwei nebeneinander montierten KO.

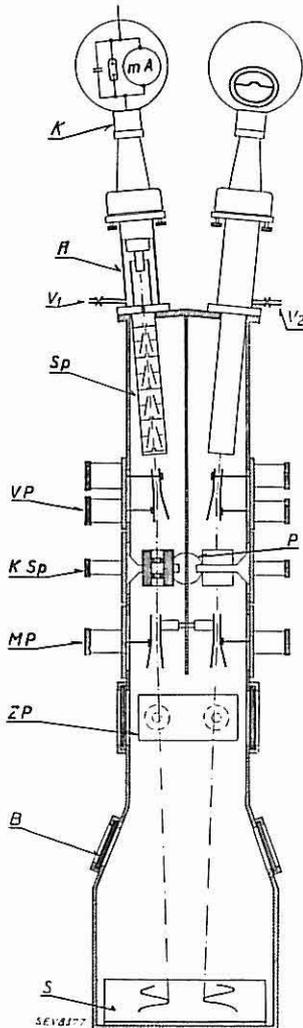


Fig. 2.

Prinzipdarstellung des Doppel-Kathodenstrahl-Oszillographen (DKO).

- K Kathode des Oszillographen mit aufgebautem mA-Meter für den Strahlstrom und Griff zur Betätigung der drehbaren Kathode.
- A Anode mit Wasserkühlung.
- V₁ Lufteinlassventile zur Einstellung des gewünschten Strahlstromes mittels Regulierung des Druckes im Entladerohr. Jedes Entladerohr besitzt ein solches Ventil, so dass beide Strahlen praktisch unabhängig voneinander reguliert werden können. Es ist z. B. möglich, bei 5 mA Stromstärke im ersten Strahl den zweiten Strahl durch Schliessen des Ventils V₂ vollständig zum Erlöschen zu bringen
- Sp Strahlsperrung der üblichen Bauart, d. h. vierstufige rein elektrische Sperrung für lange Wartezeiten.
- VP Vorablenkplatten, welche die beiden zunächst unter spitzem Winkel zueinander erzeugten Kathodenstrahlen parallel richten, d. h. in die Messplatten MP führen.
- KSp Konzentrationsspulen (Sammelspulen), welche als magnetische Sammellinsen jeden Strahl in sich selber konzentrieren, so dass der Schreibfleck möglichst klein wird.
- MP Messplatten für die zu messende Spannung oder, bei Verwendung eines Shunts, für den zu messenden Strom.
- ZP Zeitplatten für die Ablenkung des Strahles längs der Zeitaxe. In der Figur ist eine gemeinsame Zeitplatte für beide Strahlen vorhanden. Diese kommt in Anwendung, wenn beide Strahlen genau dieselbe Zeitbewegung ausführen sollen. Daneben ist auch die Montage getrennter Zeitplatten für beide Strahlen möglich, womit zugleich 2 Vorgänge mit verschiedener Dauer aufgezeichnet werden können.
- S Schreibfläche des Strahles, d. h. Leuchtschirm oder photographische Schicht eines in einer Filmkassette befindlichen Filmbandes.
- P Ansatzstelle der Hochvakuumpumpe, welche für beide Strahlen gemeinsam ist.
- B Beobachtungsfenster mit lichtdichten Deckeln. Ein ähnliches Fenster befindet sich auch im Boden des Gefässes, um bei entfernter Filmkassette auch Fernsehbilder senden oder empfangen zu können.

genauigkeit und Messempfindlichkeit des KO ausserordentlich bewährt.

Die leichte Montage, Einstellung und Kontrolle der Ablenkplatten sowie die Auswechslungsmöglichkeit von Messplatten gegen Meßspulen für Strom- oder Energiemessungen usw. wird begünstigt durch die Anordnung von Durchsichtfenstern in der vollen Grösse der Ablenkplatten. Fig. 3 zeigt eine Ansicht der Ablenkplattenfenster, deren an Scharnieren befindliche Deckel im Bilde geöffnet sind.

Um für das Vakuumgefäss den stets mehr oder weniger porösen Guss zu vermeiden, wurde das gesamte Oszillographengehäuse ausschliesslich aus geschweisstem Eisen hergestellt. Die beschriebene neue Einbauart der Meßsysteme erlaubt nun, das Gehäuse aus einem einzigen Stück herzustellen, wodurch einerseits einige Vakuumdichtungen überflüssig werden und andererseits die magnetische Kapselung der Strahlen gegen äussere magnetische und elektrische Felder von der Kathode bis zum Leucht-

Die beiden *Entladerohre* sind unter spitzem Winkel zueinander auf das Vakuumgefäss aufgesetzt. Durch 2 Lufteinlassventile kann der Betriebsdruck von ca. 0,01 mm Hg-Säule im massgebenden Bereich in beiden Entladerohren praktisch unabhängig reguliert werden; damit lässt sich die Intensität beider Kathodenstrahlen einstellen. Sie beträgt in der Regel weniger als 1 mA. Die exzentrisch in den Entladerohren gelagerten Kathoden können ohne Vakuumstörung um ihre Axe gedreht werden, wodurch sich etwa ein Dutzend verschiedener Ansatzstellen des Kathodenflecks ausnützen lässt, bevor nachpoliert werden muss. Für den gesamten Demonstrationsbetrieb der Schweizerischen Landesausstellung 1939 genügte ein und dieselbe Kathode ohne Nachpolierung.

Sämtliche *Meßsysteme* sind mit Federkörpern verstellbar, welche unter Vakuum und mit angeschlossenen Messleitungen von Hand verstellt werden können. Auf den Montagedeckeln der Messsysteme sind nun alle erforderlichen elektrischen

Zubehörteile für die Messung von Stoßspannungen, nämlich Abgleichwiderstände, Dämpfungswiderstände und Schubkondensatoren fest und übersichtlich unter Abschirmhauben angebaut. Das Mess- oder Verzögerungskabel ist von dort bis zur Anschlussstafel des KO fest verlegt und mit Steckanschluss versehen, so dass keine Leitungen mehr am KO selber angesteckt oder angeschlossen werden müssen. Dadurch ist das bisher übliche Herumhängen von Messdrähten am KO vermieden.

Fig. 4 zeigt die Anordnung dieser Messzubehör einer der beiden äusseren Messplatten mit abgehobenem Abschirmdeckel. Die innern Messplatten sind ebenfalls an gleiche Abgleichsysteme geführt, die unter vorne befindlichen Abschirmhauben angebracht sind, wie Fig. 3 erkennen lässt. Insgesamt können somit vier Messkabel am KO angeschlossen und abgeglichen werden. Die genaue Parallelfüh-

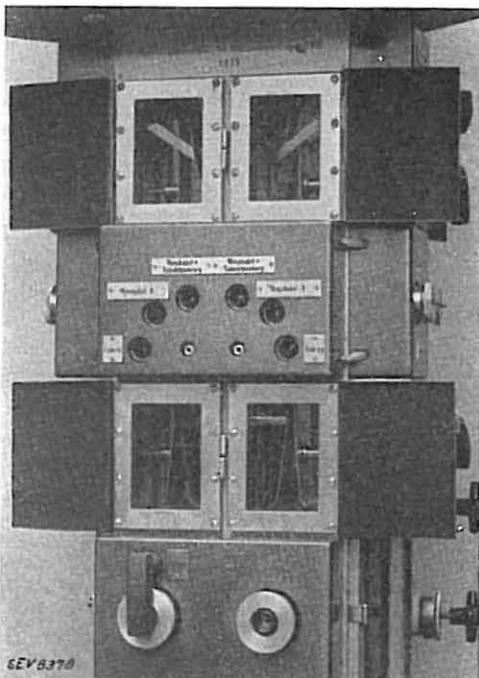


Fig. 3.
Ansicht der Mess- und Vorablenkplatten von vorn mit geöffneten Lichtverschlüssen und rechteckigen Durchsicht-Glasfenstern.

rung der Messplatten mittels der vor dem Einsetzen montierbaren Präzisionsmeßsysteme ermöglicht nebenbei, eine grössere Ablenkempfindlichkeit als bisher zu erreichen. Bei 50 kV Strahlspannung sind minimal 4 Volt pro mm Ablenkamplitude erforderlich. An die Messplatten kann auch eine mittels besonderer Gleichrichter im Pult erzeugte Gleichspannung angeschlossen werden, welche die Nulllinie der beiden Oszillogramme gegeneinander zu verschieben erlaubt. Wenn dies erwünscht ist, können beide normal 100 mm gegenseitig entfernten Nulllinien ganz zusammengeschoben werden. Auch die Anwendung einer Kompensationsmethode zur genauen Messung von Stoßspannungen ist auf einfache Art möglich¹²⁾.

Die *Filmkassette* ist in Fig. 5 abgebildet. Sie enthält bis ca. 30 m des in unsern Apparaten üblichen,

15 cm breiten Filmbandes. Die maximale Oszillogrammfläche für beide Strahlen beträgt 200×145 mm. Die Stellung des Filmes ist jederzeit an einem auf der Türe des KO-Gefässes sichtbaren Vorschubzähler ersichtlich. Dieser zählt den Vorschub des Filmes in beiden Richtungen in cm. Die Betäti-

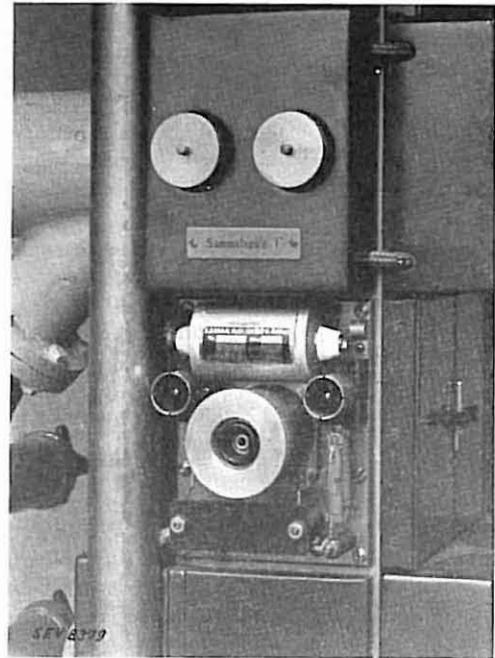


Fig. 4.
Ansicht eines seitlichen Messplatten-Deckels mit abgehobener Abschirmhaube: Abgleich- und Dämpfungswiderstand, Schubkondensator und Steckerhülsen. Links Verteilrohr für sämtliche Leitungen.

gung des Zählers wird direkt vom Film abgenommen, so dass ein Irrtum infolge abgelaufenen Filmes etc. nicht möglich ist. Die Anzeige des Vorschubes in cm an Stelle von Bildzählern hat den Vorteil, dass die Oszillogrammbreite beliebig gewählt werden kann, gerade so, wie der zu messende

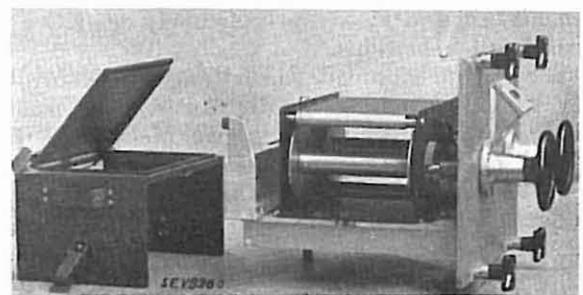


Fig. 5.
Filmkassette in geöffnetem Zustand. Links aufgeklappter Beobachtungsschirm, rechts Türe mit schliffflosen Vakuumantrieben und Filmstellungszeiger.

Vorgang es wünschenswert erscheinen lässt. Der Antrieb des Filmvorschubes wie auch des Kassettendeckels, auf dem sich der Leuchtschirm für direkte Beobachtung befindet, geschieht durchweg ohne Verwendung von Schliffen mittels sog. «Katzenschwanzantriebe»; das sind elastische vakuump-

dichte Drehverbindungen zwischen Antriebsgriff und Filmtrommeln.

Schliffe mit Fett- oder Pizeindichtungen sind am ganzen KO vermieden, auch an den in Fig. 6 hinten sichtbaren Vakuumbahnen. Durchwegs wurden Gummidichtungen und elastische Metallverbindungen als Vakuumdurchführungen benützt.

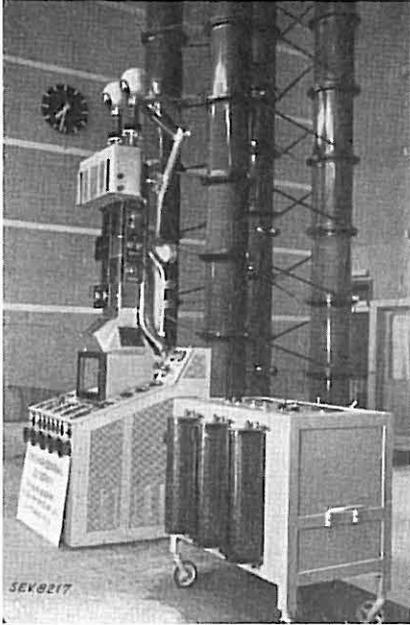


Fig. 6.

Ansicht des Doppel-KO an der Schweiz. Landesausstellung. Im Hintergrund der 2-Millionen-V-Stossgenerator, rechts vorn dessen Bedienungspult. Zuleitung der Strahlspannung (60 kV) durch berührungssicheres Kabel. Rechts sind die schliff- und fettlosen Hoch- und Vorvakuumhahnen sichtbar.

Als Zubehör gehört grundsätzlich das *Zeitrelais*, d. h. die Schaltung zur Erzeugung der Ablenkspannungen für die Ablenkung längs der Zeitaxe der Oszillogramme und zur Lösung der Strahlsperrung in unmittelbare Nähe des KO. Wie Fig. 6 zeigt, befindet sich dieses Zeitrelais in der Höhe der beiden Strahlsperrungen S_p am KO-Gehäuse. Derart wurden die Zuleitungslängen zu den Sperrungen und Zeitplatten auf ein Minimum reduziert, und diese beiden zusammengehörigen Teile zu einem kompakten Ganzen vereint. Das Zeitrelais stellt eine neue Ausführung dar, mit der er möglich ist, sowohl einmalige, als auch wiederholte Zeitablenkung des Strahles auf einfachste Art zu bewirken. Die für wiederholte Zeitablenkung angenähert lineare Zeitablenkung wird mit Hilfe einer einzigen Elektronenröhre erzeugt, sofern keine Synchronisierung mit dem Messvorgang nötig ist. Andernfalls sind es zwei Elektronenröhren. Das Relais erlaubt somit:

1. Einmaliges Ueberfahren der Nulllinie in ca. 1 bis 1000 μs .
2. Einmaliges Ueberfahren der Zeitlinie in umgekehrter Richtung in ca. 0,001 bis 1 s.
3. Beliebig oft wiederholtes Ueberfahren der Zeitlinie nur in einer Richtung, höchstens ca. 10 000-

mal pro Sekunde, wobei die Zeitskala angenähert linear ist und das Rückkippen in ca. 1 μs erfolgt.

Wie Fig. 6 und 7 weiter zeigen, ist der Doppel-KO auf ein Bedienungspult aufgebaut, in dem sich alle Zubehörenden, mit Ausnahme der Vorvakuum-pumpe und der Strahlspannungsquelle, befinden; letztere muss in dem vorgesehenen Messwagen alle drei Doppel-KO speisen. Sie wurde entsprechend bemessen und separat placiert. Die Zuleitung der Strahlspannung von max. 60 kV erfolgt durch ein flexibles Gummikabel, das die beiden Kathoden des Doppel-KO über die üblichen Beruhigungswiderstände aus feinem Draht speist. Die Anordnung ist ebenfalls aus Fig. 6 ersichtlich.

Im Pult sind drei Hilfsgleichrichter für 4000 V, nämlich für das Zeitrelais und für alle erforderlichen positiven und negativen Schubspannungen untergebracht. Die Vorablenkung V_P (Fig. 2) wird mit einem konstanten Bruchteil der Strahlspannung gespeist. Dies ist erforderlich, damit die Lage des Schreibfleckes genau die gleiche bleibt, auch wenn die Strahlspannung variiert. Für alle Vakuumhah-

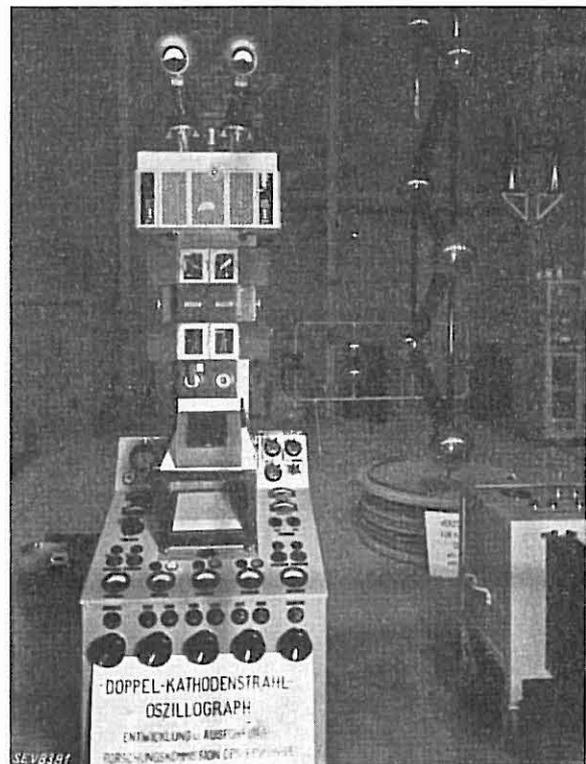


Fig. 7.

Ansicht des Doppel-KO von vorn. Rechts die 2-Millionen-V-Spannungsteilung mit Hochfrequenz-Verzögerungskabel. Provisorischer Leuchtschirm 300×260 mm für die Demonstrationen der Ausstellung.

nen und Leitungen samt Vorvakuummessinstrument und Wasserkühlung ist ein einfaches Prinzipschema auf dem Pult angebracht, welches auch dem Laien die Bedeutung der einzelnen Hahnen erkennen lässt und die Bedienung ermöglicht.

4.

Der beschriebene KO wurde auf den 6. Mai 1939, nämlich den Beginn der Schweiz. Landesausstellung in Betrieb gesetzt, nachdem seine Herstellung am 16. November 1938 beschlossen worden war. Er

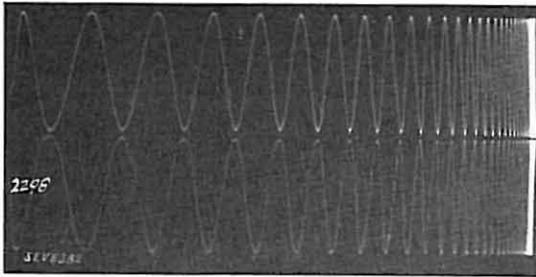


Fig. 8
Oszillogrammbeispiel für die Gleichzeitigkeit der Schrift beider Kathodenstrahlen.
(Frequenz 1 MHz.)

diente seit der Eröffnung samt einem ebenfalls neu entwickelten Spannungsteiler *) zur Messung der 2 000 000-V-Stoßspannung im Höchstspannungsraum

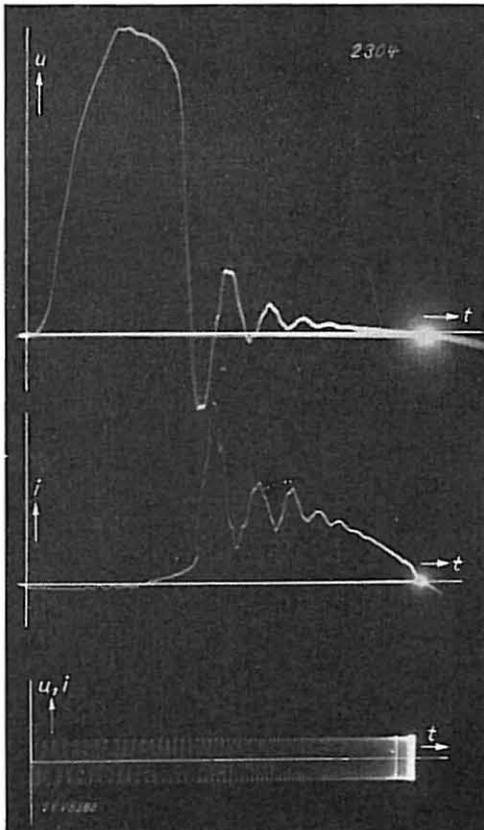


Fig. 9.
Stoßspannung u und Strom i im Funken auf das Blitzmodell der Ausstellung.
Zeiteichung 5 MHz nachträglich aufgezeichnet.

der LA¹³) und zu andern Vorführungen rasch veränderlicher Vorgänge (Abschaltung von Gleichströ-

*) Ueber diese Spannungsteilung, die ebenfalls eine neue Ausführung darstellt, wird später getrennt berichtet werden.

men mittels eines Schnellschalters, explosionsartiges Verdampfen eines feinen Drahtes im Lichtbogen, Tonfrequenzen usw.).

Die Betriebserfahrungen mit dieser neuen Ausführung während des täglichen Demonstrations-

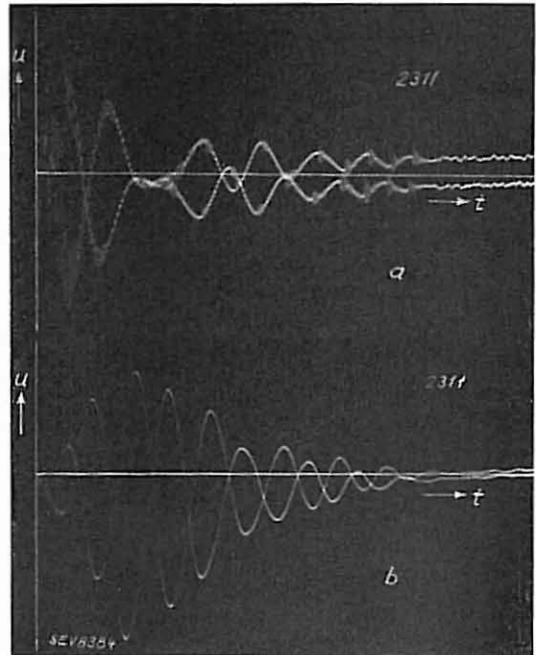


Fig. 10.
Ober- und Unterspannung des Tesla-Transformators der Ausstellung, mit beiden Strahlen 2mal überschrieben.
a Oberspannung des Transformators.
b Unterspannung des Transformators.

betriebes sind durchaus befriedigend. Einige Oszillogramme sind in Fig. 8 bis 10 wiedergegeben. Sie zeigen insbesondere einen ausserordentlich feinen Strich von ca. 0,2 mm Breite; ferner hat sich erwiesen, dass von der Vorbelychtung, die in früheren Konstruktionen als Röntgen- und Ionenschleier gelegentlich entstand, keine Andeutung mehr vorhanden ist.

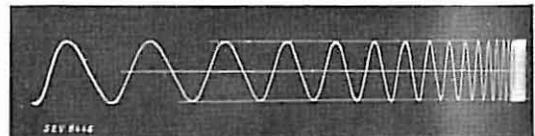


Fig. 11.
Aufzeichnung einer Eichfrequenz von 5 MHz mit einer Zeitkonstanten der Zeitablenkung $T = 0,905 \mu s$

Als Auswertung des Oszillogramms Fig. 11, das eine Eichfrequenz von 5 MHz darstellt, zeigt schliesslich Fig. 12, dass bei sehr rascher Zeitablenkung, nämlich mit Zeitkonstanten bis herunter zu $T = 1 \mu s$ eine ausgezeichnete Uebereinstimmung der tatsächlich vorhandenen mit der erwünschten exponentiellen (logarithmischen) Zeitskala erreicht werden kann. Die Zeitskala ergibt sich deshalb aus der Oszillogrammlänge rein rechnerisch, so dass eine Zeiteichung, wie sie z. B. bei linearer Zeitskala

unbedingt nötig wäre, wegfallen kann. Die Erreichung noch kürzerer Zeitablenkungs-Zeitkonstanten unter Wahrung der exponentiellen Skala scheint möglich zu sein.

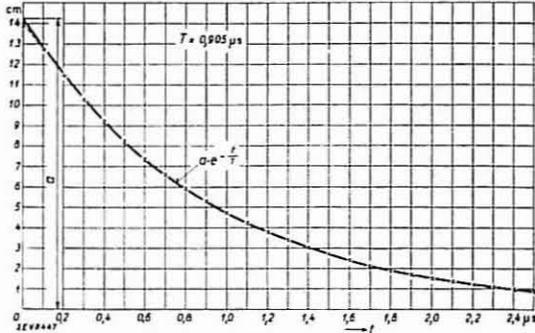


Fig. 12.

Vergleich der errechneten exponentiellen Zeitskala (ausgezogene Kurve) mit den im Oszillogramm der Fig. 11 ermittelten gemessenen Punkten (gekreuzte Punkte).

Zum Schluss möchte der Berichtersteller auch seinen beiden Assistenten, Herrn R. Pichard und Herrn W. Baumann, für ihre Mitarbeit bei der Herstellung des Doppel-KO bestens danken.

Literaturverzeichnis.

- 1) Siehe z. B. K. Berger, Bull. SEV 1928, S. 292 und 688.
- 10) W. Wanger u. H. Puppikofer, Bull. SEV 1939, Nr. 13 und 14: Bericht der Diskussionsversammlung des SEV vom 26. November 1938 in Bern.
- 2) Bull. SEV 1931, Nr. 12; 1934, Nr. 9; 1936, Nr. 6: Ergebnisse der Gewittermessungen.
- 3) H. Puppikofer, CIGRE 1937, Bericht Nr. 141. Arc de rupture et rétablissement de la tension.
- 4) A. Gantenbein, CIGRE 1939, Bericht Nr. 131. Disjonction dans les fusibles, etc.
- 5) Dufour, L'oscillographe cathodique, Ed. Chiron, Paris 1923.
- 6) Villard, ferner H. Boekels und M. Dicks, Arch. Elektrotechn. 1933, S. 134.
- 7) M. Knoll, Mehrfach-KO, ETZ 1932, S. 1101. Matthias, Knoll und Knoblauch, Z. f. Techn. Ph. 1930, S. 276.
Ein eingehendes Literaturverzeichnis bis 1932 findet sich bei B. v. Borries, Forschungsheft 3 der Studiengesellschaft für Höchstspannungsanlagen, Berlin.
- 8) K. Kasai, J. J. E. E. Japan 1934, S. 34.
- 9) K. Kasai und J. Satoh, Arch. Elektrotechn. 1937, S. 551.
- 10) H. Thielen, Ein empfindlicher Zweistrahl-KO, Arch. Elektrotechn. 1939, S. 189.
- 11) W. Krug, Vierfach-KO, Arch. Elektrotechn. 1936, S. 157.
- 12) R. W. Whelpton, Dreifach-KO, J. Instr. 1935, S. 22.
- 13) K. Berger und B. C. Robinson, CIGRE 1939, Bericht Nr. 134.
- 14) A. Métraux, Der Stossgenerator von 2 Millionen Volt, Bull. SEV 1939, Nr. 13, S. 343.