

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 26 (1935)
Heft: 23

Artikel: Einige Methoden und Resultate moderner Mikrozeitmessung
Autor: Berger, K.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1060346>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 16.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

werden. Heisswasserspeicher zum Temperieren des Beriesungswassers u. a. können eher angeschlossen werden (32 a, 35—37).

Geringstes Risiko gegenüber Missernten; stärkerer Anreiz für Kleinbetriebe. Kulturen, die die Innentemperatur bestimmter Temperaturen während längerer Zeit erfordern, können im Elektrobeet statt im teuren Treibhaus gezogen werden.

Einbau in bestehende Anlagen und Erweiterungen sind leicht durchführbar. Die Heizleiter können zum Entfernen vorgesehen, revidiert, anderweitig untergebracht werden (70).

Kein Uebermass an Bodenfeuchtigkeit, an Kohlensäure und Ammoniak, somit kein Zwang zum Ventilieren bei unpassender Zeit. Grössere als die im Elektrobeet von selbst entstehende Kohlensäuremenge kann einfach und genau anderweitig erzeugt werden (33 g, 43, 46).

Ausser diesen gärtnerischen Vorteilen dürfen noch folgende allgemeine Gründe zugunsten der elektrischen Treiberei geltend gemacht werden:

Verminderung der Einfuhr. Neue Erwerbsmöglichkeit im Inland. Verbesserung der eigenen Produktion, dies auch, wo die Bodenbewirtung sonst wenig Aussicht bietet (kleine Flächen im Stadtgebiet, Meliorationen, hochgelegene Orte).

Wir erhalten zu allen Jahreszeiten hygienisch einwandfreie, im Gegensatz zu gewissen importierten Sorten besser

schmeckende und, weil richtig ausgereift, bekömmlichere Erzeugnisse.

Die Produktion geschieht mit der eigenen, stets zur Verfügung stehenden Energie.

Diese Energie wird nachts konstant, mit gutem Leistungsfaktor und günstigenfalls das ganze Jahr hindurch beansprucht. Das Elektrobeet ist dank der guten Akkumulierung ein unempfindlicher Abnehmer.

Den Werken wird die Möglichkeit gegeben, ihre Anlagen in vermehrtem Mass auszunützen, eventuell weitere Anschlüsse zu gewinnen. Das in gewissen Kreisen mangelnde Interesse an der Elektrizität als Nationalgut und zugleich Hilfsmittel könnte durch diese Anwendung weiter angeregt werden.

Es ist anzunehmen, dass sich die vermehrte Einführung der Elektrobeete mit Aussicht auf Erfolg betreiben lassen wird, denn von der Gegenseite werden zumeist nur Preis von Energie und Installation als zu schwerwiegend ins Feld geführt. Sobald mustergültige Lösungen vorliegen, dürfte auch diese Anwendung der Elektrizität an geeigneten Orten ihre Verbreitung finden.

Einige Methoden und Resultate moderner Mikrozeitmessung.

Vortrag, gehalten am 27. Mai 1935 in der Physikalischen Gesellschaft Zürich,

von K. Berger, Zürich.

531.761 : 621.317.755

Der Vortragende beschreibt einige Methoden der modernen Mikrozeitmessung. Dabei wird unterschieden zwischen der ausschliesslichen Bestimmung kurzer Zeitdauern als Selbstzweck und der impliziten Zeitmessung bei der Ausmessung rasch verlaufender Vorgänge (Zeitfunktionen). Bei den zweiten Methoden wird als universelles Messinstrument («Zeit-Mikroskop») der Kathodenstrahl-Oszillograph beschrieben. Die Mikrozeitmessung der zweiten Art erlaubt das Eindringen der Erkenntnis in Zeiträume bis herunter zu 10^{-7} bis 10^{-8} s für all jene Naturereignisse, die sich formgetreu in elektrische Spannungen umformen lassen. Sie lässt dabei erkennen, dass im physikalischen Naturgeschehen, besonders bei den elektrischen Erscheinungen, die Wellenvorgänge eine grosse Rolle spielen. Einige technisch bedeutsame Wirkungen elektrischer Leitungsquellen werden beschrieben und durch einige Mikrozeit-Oszillogramme belegt.

L'orateur décrit quelques méthodes modernes de mesure «microscopique» du temps. Il distingue entre la détermination proprement dite de brefs intervalles de temps et le relevé de phénomènes rapides (fonctions du temps). C'est l'oscillographe cathodique qui sert d'instrument universel («microscope de temps») pour ce dernier genre de mesures, permettant d'explorer des intervalles de l'ordre de 10^{-7} à 10^{-8} seconde pour tous les phénomènes qui se laissent traduire fidèlement sous forme de tensions électriques. Ces observations montrent que les processus ondulatoires jouent un grand rôle dans les phénomènes physiques naturels, notamment dans les phénomènes électriques. L'orateur décrit enfin à l'aide d'oscillogrammes quelques effets importants d'ondes électriques le long des lignes aériennes.

I. Zeitmessung.

Von Mikrozeitmessung, d. h. Messung kleiner Zeiten, kann man in zweifachem Sinne sprechen. Man kann darunter zunächst die Bestimmung kurzer Zeitdauern verstehen; diese Aufgabe ist lediglich eine Aufgabe der Zeitmessung. Im weiteren Sinne aber erstrebt die Mikrozeitmessung nicht nur die Messung eines irgendwie definierten Zeitintervalles, sondern die Registrierung irgendwelcher rascher Aenderungen einer Grösse als Ordinate über der Zeit als Abszisse. Es ist nicht möglich, die Fülle von Methoden und Resultaten der neuern Mikrozeitmessung in einem einzigen Vortrag erschöpfend zu besprechen; man muss sich auf einige Beispiele beschränken und daher jene bevorzugen, die besondere technische Bedeutung erlangt haben.

Zunächst soll das erste Problem kurz gestreift werden, um dann etwas ausführlicher das zweite Problem zu behandeln, das technisch ungleich wichtiger und interessanter ist.

Wenn man heute von Zeitmessung spricht, so geschieht dies seit dem Bekanntwerden der speziellen Relativitätstheorie mit mehr Bescheidenheit als früher. Man gibt sich keine Mühe mehr im Suchen einer absoluten Zeit; man nimmt den Zeitbegriff rein relativ hin, wie er der Erfahrung des Sonnenumlauftes, der Jahre, Monate und Tage entspricht. Wissenschaftliches Interesse hat vor allem die genaue und unbedingt konstante Unterteilung dieser uns von der Natur vorgezeichneten Intervalle. Diese Unterteilung beginnt mit der Erfindung der Pendeluhr von Huyghens im Jahre 1657; sie nimmt ihren Weg über die Federuhren (1660), Chronometer und Stoppuhren und erlaubt heute die Abstopfung von Zeitintervallen bis herunter zu $\frac{1}{100}$ s mit einer Präzision bis ca. $\frac{1}{1000}$ s. Zur Messung kürzerer Zeiten bedient man sich sehr mannigfacher, dem jeweiligen Zweck entsprechender Methoden der Zeitdauer-messung. Drei Gruppen, nämlich mechanische, elektrische und optische Zeitmessung seien angeführt.

zu den raschesten gestempelt sind. Abgesehen von den in dieser Beziehung heute noch nicht erforschten inneratomaren Vorgänge gehören hierher vor allem die makroskopischen Vorgänge beim Entstehen und Löschen des elektrischen Funkens sowie die Fortpflanzungsvorgänge elektromagnetischer Wellen. Da keine raschen Vorgänge als optische und elektrische existieren, kommen nur diese selber als Messmittel in Betracht. Da es sich hier aber stets nicht nur um die Ausmessung eines kleinen Zeitabschnittes handelt, dessen Anfang und Ende sich überdies im Verlauf eines langen Vorganges oft nur schwierig herausgreifen lässt, sondern um die Aufzeichnung des Verlaufs eines raschen Vorganges über der Zeit, so gehört diese Art Zeitmessung bereits zur *Registrierung* rascher Vorgänge, die im nächsten Kapitel besprochen werden.

II. Registrierung rascher Aenderungen.

Bei der Betrachtung der Registrierung rascher Aenderungen einer Grösse als Ordinate über der Zeit als Abszisse ist als altbekannter Vertreter dieser Gruppe Registrierapparate der *Seismograph* zu erwähnen. Dieser notiert fortlaufend die Abweichung der Lage eines bestimmten Punktes der Erdoberfläche gegenüber einem Bezugspunkt, der an der gleichmässigen Erdrotation teilnimmt.

Ohne Zweifel hat die Registrierung kurzer Zeiten mit der Entwicklung der Wechselstromtechnik einen starken Aufschwung genommen. Es erwies sich als nötig, die Kurvenform des Wechselstromes messend aufzeichnen zu können. Seit Blondel bedient man sich dazu eines möglichst trägheitsarmen, feinen Galvanometers, dessen kleinste Bewegungen mit einem Spiegelchen und einer Lichtquelle auf einen photographischen Film oder auf einen Beobachtungsschirm aufgezeichnet wer-

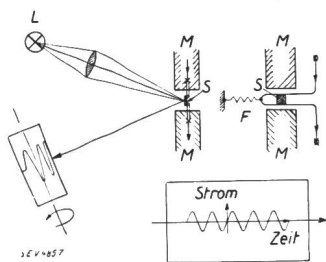


Fig. 3.
Prinzip des
Schleifen-Oszillographen.

den. Fig. 3 zeigt die schematische Anordnung eines solchen, unter dem Namen *Schleifen-Oszillograph* bekannten Apparates. Beim Durchgang eines Wechselstromes durch die feine Drahtschleife schwingt das Spiegelchen S im Magnetfeld des permanenten Magneten M hin und her, und zwar gelingt es mit den Mitteln feinsten Feinmechanik, diese Messschleife derart trägheitsarm zu machen, dass sie Wechselströme mit einer Frequenz bis zu ca. 10000/s noch richtig, das heisst mit einem festen Verhältnis von Spiegeldrehung zu Stromwert, anzeigen kann. Das System aus Stromschleife mit Spiegelchen und Zugfeder F muss dazu eine Eigenschwingung von wesentlich mehr als 10 000 Per./s besitzen. Der Schleifenoszillograph spielt in der Starkstrom-Mess-technik und auch teilweise für Tonfrequenzen eine

grosse Rolle. Für Oberwellen der Schwingungen von Tonfrequenz und besonders für rasche elektrische Schalt- und Störungsvorgänge, deren wichtige Einzelheiten sich innert 10^{-4} s abspielen, ist er dagegen zu träge. Das universelle Registrierinstrument für raschere elektrische Aenderungen ist der *Kathodenstrahloszillograph* (KO), der seit etwa 1920 aus der Braunschen Röhre entwickelt wurde. Das Prinzip der Messung einer Spannung u mit dem KO oder mit einer Braunschen Röhre ist aus Fig. 4 ersichtlich. In einem Vakuumgefäss wird eine Menge raschbewegter Elektronen in Form eines Strahlenbündels, dem Kathodenstrahl, erzeugt. Die Elektronen bewegen sich im feldfreien Vakuum,

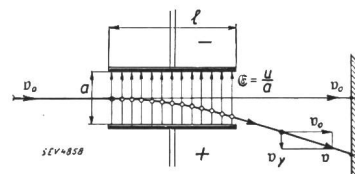


Fig. 4.

Ablenkung des
Kathodenstrahls (eines
bewegten Elektrons) im
elektrischen Feld.

wo sie keine Zusammenstösse mit Gasmolekülen erleiden, geradlinig fort. Ihre Geschwindigkeit sei v_0 . Zur Messung der elektrischen Spannung u wird mit dieser ein Plattenkondensator aufgeladen, der in die Bahn des Kathodenstrahls gelegt wird. Weil jedes Elektron eine negative Ladung q mitführt, erleidet es von der Feldstärke $\mathcal{E} = u/a$ eine Kraft, deren Grösse sich aus $K = q \cdot \mathcal{E}$ errechnet. Infolge dieser Kraft bewegt sich das Elektron nicht mehr geradlinig weiter, sondern nach Fig. 4 innerhalb des Plattenfeldes längs einer Wurfparabel. Das den Kondensator verlassende Elektron besitzt deshalb ausser der unveränderten Geschwindigkeits-Komponente v_0 eine Zusatz-Komponente v_y , deren Betrag sich ausrechnet zu

$$v_y = \frac{q \cdot \mathcal{E}}{m} \cdot t = \frac{q \cdot u}{a \cdot m} \frac{l}{v_0} = \frac{q \cdot l}{a m v_0} \cdot u.$$

Für ein Elektron mit der Fluggeschwindigkeit v_0 ist daher die Ablenkgeschwindigkeit v_y ein direktes Mass für die ablenkende Spannung u an den Ablenkplatten (Kondensatorplatten). Das gleiche gilt für die Auslenkung y des Auftreffpunktes des Elektrons aus der nicht abgelenkten Lage auf einem beliebig disponierten Beobachtungsschirm. Jeder ablenkenden Spannung u entspricht eine Elektronenbahn. Wenn immer neue Elektronen mit der Geschwindigkeit v_0 in den Plattenkondensator geschossen werden, so bewegen sich demnach die Auftreffpunkte dieser Elektronen auf dem Aufnahmeschirm genau entsprechend der Veränderung der Ablenkspannung an den Messplatten.

Damit dieses Messprinzip genaue Messungen ergibt, sind folgende drei Bedingungen zu erfüllen:

1. sollen alle Elektronen mit der gleichen Geschwindigkeit v_0 in das Ablenkfeld eintreten,
2. darf sich naturgemäss die Ablenkspannung u nicht ändern, während ein Elektron das Ablenkfeld durchfliegt, sonst würde sich die Ablenkung eines einzelnen Elektrons bereits nach einem *Mittelwert* der Ablenkspannung während der Durchlaufzeit richten,

3. soll das Randfeld des Ablenkkondensators keine störende Inhomogenität ergeben.

Auf die erste Bedingung soll hier nicht eingetreten werden, trotzdem ihre Konsequenzen von manchen Experimentatoren nicht genau genug gezogen werden. Die zweite Bedingung fordert möglichst rasch bewegte Elektronen. In modernen KO wird mit einer Elektronengeschwindigkeit von etwa halber Lichtgeschwindigkeit gearbeitet. Für das Durchfliegen einer Ablenkplattenlänge von z. B. 3 cm ergibt sich demnach eine Zeit

$$t = \frac{3}{1,5 \cdot 10^{10}} = 0,2 \cdot 10^{-9} \text{ s.}$$

Innert dieser Zeit darf sich die ablenkende Spannung u nicht wesentlich ändern, wenn die Ablenkung y des Schreibfleckes ein Mass für die Spannung u sein soll. Somit können in dieser Beziehung vom KO Frequenzen bis zu höchstens 10 bis 100 Millionen Per./s noch grössengetreu aufgezeichnet werden. Eine wesentliche Erhöhung dieser Messgrenze ist für zahlenmässig richtige Messungen prinzipiell ausgeschlossen, da auch die Geschwindigkeit des Elektrons niemals die Geschwindigkeit des Lichtes erreichen kann, weil sich seine Masse m bei Geschwindigkeiten, die sich der Lichtgeschwindigkeit nähern, scheinbar vergrößert. Bekanntlich wurden gerade mit einer Anordnung nach Fig. 4 klassische Messungen der Elektronenmasse und der Elementarladung durchgeführt, die eine Grundlage der speziellen Relativitäts-Theorie bilden.

Bis zu den genannten Aenderungsgeschwindigkeiten elektrischer Spannungen ist der KO prinzipiell trägheitsfrei, und bis zu diesen Grenzen ist er auch technisch bereits durchgebildet.

Das schematische Bild Fig. 5 zeigt den KO, der in den Werkstätten des SEV aus dem Dufourschen Apparat zur Messung atmosphärischer Ueberspannungen entwickelt wurde und der heute von der A.-G. Trüb, Täuber & Cie. für den Verkauf hergestellt wird. Im röhrenförmigen Vakuumgefäß werden im Entladerohr E fortwährend raschbewegte Elektronen erzeugt, und zwar in unserm Fall mit Hilfe einer Elektronen- und Ionenlawine, welche unter dem Einfluss einer Gleichspannung von ca. 60 000 V zwischen Kathode K und Anode A bei einem Druck von ca. 0,01 mm Hg entsteht. Die Druckregulierung geschieht durch ein Regulier-Einlassventil L. Der Kern dieses Bündels freier Elektronen fliegt durch mehrere Diaphragmen

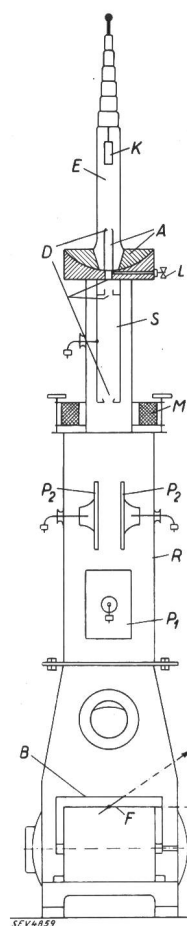


Fig. 5.
Prinzipbild des
Kathodenstrahl-
Oszillographen.
A₁ Spannungsaxe.
A₂ Zeitaxe des
Oszillogramms.
A Anode.
K Kathode.

D und durch eine elektrische Sperrung S in den Ablenkraum, in welchem mehrere Paare der vorhin beschriebenen Messplatten P angebracht sind. Vor der Ablenkung erfahren die Elektronen die Wirkung einer kurzen magnetischen Sammelspule M, welche nach den Rechnungen von Busch dieselbe Wirkung auf den Kathodenstrahl ausübt, wie eine Sammellinse auf einen Lichtstrahl, indem auch hier das Linsengesetz gilt, nämlich $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$, wo a

und b die Gegenstands- und Bildweite und f die Brennweite darstellen. Letztere ist durch die Durchflutung der Spule bestimmt und kann deshalb durch Aendern des Erregerstromes verändert werden. Durch Ausnutzung dieser Analogie-Erkenntnisse elektronenoptischer und wellenoptischer Erscheinungen wurden in Deutschland bereits Elektronen-Mikroskope gebaut, welche die besten optischen Mikroskope an Auflösungsvermögen übertreffen sollen²⁾. Der Braunschen Röhre scheint demnach nicht nur als Zeit-Mikroskop, sondern auch als Raum-Mikroskop eine Zukunft beschieden zu sein.

Nach erfolgter Ablenkung prallen die Elektronen schliesslich auf einen Beobachtungsschirm B aus Zinksulfid oder Calciumwolframat, welche Substanzen durch den Aufprall der Elektronen zum Nachleuchten angeregt werden, oder auf die photographische Aufnahmeschicht F. Die Bremsung der Elektronen bewirkt einen Schwärzungseffekt, wie wenn die Silberschicht von einem Lichtstrahl getroffen worden wäre. Die aufnehmende Photoschicht wird zum Teil wie bei den Schleifenzosillographen auf eine rotierende Trommel aufgespannt, die sich im Vakuumgefäß befindet und durch ein magnetisches Drehfeld von aussen her angetrieben wird. Fig. 6 zeigt eine solche Ausführung. Durch die Drehung der Filmtrommel entsteht eine Zeitaxe, über welcher in senkrechter Richtung die Auslenkung des Kathodenstrahles aufgezeichnet erscheint, genau wie beim Schleifenzosillographen die Auslenkung des Lichtstrahles. Da grössere Umfangsgeschwindigkeiten des Filmes als max. 100 m/s nicht möglich sind, so kann die Zeitaxe auf höchstens ca. 0,1 mm/ μ s ausgezogen werden.

Sollen Einzelheiten von wenigen μ s oder von weniger als 1 μ s sichtbar gemacht werden, so kommt man mit der mechanischen Filmbewegung nicht mehr aus. Man ersetzt sie durch eine zweite Ablenkung des Kathodenstrahles in einer Ebene durch den Kathodenstrahl und die Zeitaxe. In Fig. 5 ist ein zum ersten senkrechtes zweites Ablenkplattenpaar sichtbar. Legt man an dieses eine elektrische Spannung, die sich linear mit der Zeit ändert, so erfährt der Kathodenstrahl und sein Auftreffpunkt auf dem photographischen Film die gleiche relative Bewegung gegenüber dem Film wie bei einer ent-

²⁾ Siehe z. B. B. v. Borries und F. Ruska, ZVDI 1935, S. 519; M. Knoll und E. Ruska, Ann. Physik 1932, Bd. 12, S. 607; E. Ruska und M. Knoll, Z. techn. Physik 1931, Bd. 12, S. 396, und Literaturzusammenstellung: E. Brüche, Arch. Elektrotechn. 1935, Heft 2. — Vgl. Bull. SEV 1935, Nr. 22, S. 624.

sprechend raschen Filmbewegung. Man darf dann den Film während der Aufnahme von Oszillogrammen unbewegt liegen lassen. Diese Methode von zwei Ablenkungen des Kathodenstrahles in zwei zueinander senkrechten Richtungen hat überdies den Vorteil, dass bei der direkten Beobachtung des Leuchtschirmes das Oszillogramm unmittelbar in rechtwinkligen Koordinaten sichtbar wird. Es ist

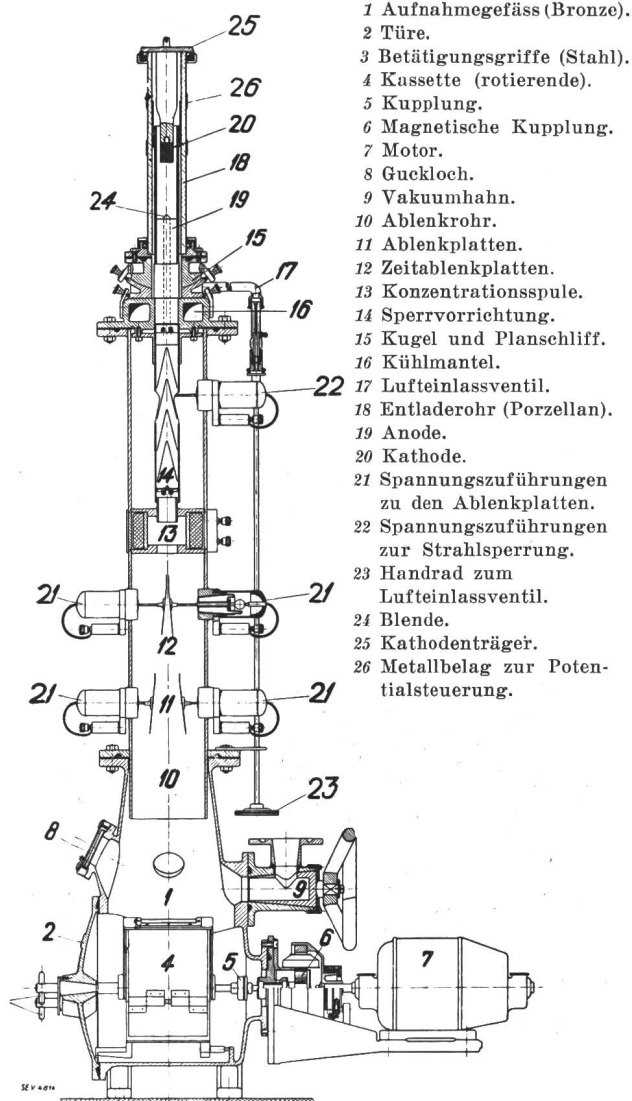


Fig. 6.

Schnitt durch einen konstruktiv durchgebildeten Kathodenstrahloszillographen.

ausserdem nicht immer nötig, diese zweite Strahl-ablenkung gleichförmig zu machen. Schon bei den Braunschen Röhren wird oft eine sinusförmige Spannung in der zweiten Koordinatenrichtung verwendet, welche der Zeitaxe entspricht. So entstehen die bekannten Lissajou-Figuren. Man kann damit einen sinusförmigen Zeitmaßstab erreichen. Auch exponentielle Zeitmaßstäbe sind gebräuchlich. Sie können ja stets durch Aufnahme des Oszillogrammes einer bekannten Wechselstromfrequenz geeicht werden.

Für die Aufzeichnung einmaliger, kurz dauernder Spannungsänderungen ist nun die Freigabe der Strahlspernung und die Einleitung der Zeitablenkung des Kathodenstrahles genau in dem Moment nötig, wo der aufzunehmende Vorgang beginnt, oder sogar etwas früher. Die Lösung dieser Aufgabe ist besonders dann interessant, wenn Spannungen gemessen werden sollen, die nicht willkürlich produziert werden können. Das trifft vor allem bei der Störungsüberwachung elektrischer Anlagen zu, insbesondere bei den von Blitzen erzeugten Ueberspannungen. Die Oszillogrammaufzeichnung muss hier von dem aufzunehmenden Vorgang aus mit möglichst kleiner Verzögerung gesteuert werden.

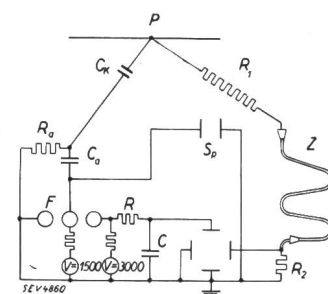


Fig. 7.

Beispiel einer Auslöse-Schaltung für registrierende Kathodenstrahl-Oszillographen.

Das Prinzip einer zweckmässigen Schaltung zeigt Fig. 7. Für die Messung der Spannung des Punktes P wird dieser zunächst über eine kleine Kapazität C_K auf kürzestem Weg mit der Auslöseschaltung aus Doppelfunkstrecke F, Widerstand R und Kondensator C verbunden. Jede rasche Spannungsänderung in P verändert das Potential der mittleren Elektrode von F derart, dass die Doppelfunkstrecke anspricht und der Kondensator C über den Widerstand R entladen wird. Damit wird die Sperrung S_P freigegeben und die Zeitablenkung des Strahles eingeleitet. Während dieser Einleitung der Schreibtätigkeit des KO hat die zu messende Spannung des Punktes P einen Strom in den Widerstand R_1 und das homogene Messkabel Z entsandt. Dadurch, dass dieses Messkabel Z nach Dufour und Gábor länger gemacht wird als die Zuleitung zur Auslöse-Schaltung, oder dass es aus Stoffen mit kleiner Wellengeschwindigkeit hergestellt wird, lässt man die zu messende Spannung mit einer Verspätung an die Messplatte des KO gelangen. Dieser beginnt bei richtiger Ausföhrung die Niederschrift bereits etwas vor der Ankunft der zu messenden Spannung. Man kann somit den Spannungsverlauf in P von seinem Anfang an im Oszillogramm sehen. Bei richtiger Abgleichung des Widerstandes R_2 mit Z ist der Messfehler, der durch das Messkabel Z entsteht, von ganz untergeordneter Bedeutung. Mit solchen Schaltungen wird heute in der Regel gearbeitet. Es können damit Zeitintervalle von weniger als $1 \mu s$ auf die verfügbare Filmbreite niedergeschrieben werden, so dass Zustände, die nur den hundert-millionsten Teil einer Sekunde dauern, noch aufgezeichnet werden können. Die Schreibgeschwindigkeit, mit welcher der Aufprallpunkt der Elektronen über den photographischen Film hinfährt,

erreicht bei technischen Aufnahmen ungefähr 1000 km/s, sie kann aber noch wesentlich höher getrieben werden, nach Krug und Rogowski bis ca. 50 000 km/s. Dabei bleibt die durchlaufene Spur auf dem Photofilm noch knapp sichtbar.

III. Resultate der Mikrozeitmessung.

Aus der Menge neuer Beobachtungen rascher Vorgänge fällt zunächst das eine auf: Bei fast allen räumlich ausgedehnten raschen Änderungen einer Grösse stösst man auf *Wellenerscheinungen*. Jede plötzliche Zustandsänderung in einem bestimmten Punkt bereitet sich mit endlicher Geschwindigkeit aus, mögen es nun elektrische oder mechanisch-elastische Vorgänge sein. Auf homogenen linearen Leitungen werden diese Wellen besonders deutlich. Sie bewegen sich dort mit fast konstanter Geschwindigkeit über die Leitungen hin. Es ist in dieser Hinsicht recht interessant, das klassische Büchlein K. W. Wagners (1908) über elektrische Drahtwellen mit dem später erschienenen Buch von Allievi, *Le coup de bélier* (1914), über hydraulische Wellen in Rohrleitungen zu vergleichen.

Der Bewegungsenergie der trägen Massen entspricht die magnetische Energie des elektrischen Stromes, der elastischen (potentiellen) Energie die des elektrischen Feldes. Massendichte und Induktivität, mechanische Elastizität und elektrische Kapazität entsprechen sich vollständig. Diese für stationäre Schwingungen oft benutzte Analogie gilt auch für rasche Wellenvorgänge.

(Zahlreiche Versuche, Lichtbilder und ein Film erläuterten im Vortrag das Wesen der mechanischen und elektrischen Wellen und deren Analogie.)

IV. Wirkungen elektrischer Leitungswellen.

Einige besonders deutliche Erscheinungen sollen aufgezählt und an Hand von Oszillogrammkopien erläutert werden.

Fig. 8 zeigt den mit dem KO gemessenen Spannungsverlauf am Ende einer offenen Freileitung von 900 m Länge. Es handelt sich hier um Wellen zwischen zwei Leitungsseilen, wobei das eine Seil positiv, das andere Seil gleichzeitig und gleich stark negativ gegen Erde aufgeladen wird. Man erkennt die ausserordentlich schwache Dämpfung der entstehenden Wellenschwingung. Die Dauer eines Rückens der Schwingung ist jedesmal $6 \mu\text{s}$, die Dauer der Front (Anstiegsdauer) ist noch viel kleiner, nämlich nur wenige Zehntel μs . Selbst nach zehnmalem Hin- und Rücklauf der Welle bleibt diese noch ausserordentlich steil.

Fig. 9 zeigt den analogen Spannungsverlauf am offenen Ende der gleichen Freileitung, wenn die Welle zwischen einem Leitungsseil und Erde auf die Leitung geschickt wird. Die rechteckige Form geht rasch über in eine abgerundete, sinusähnliche Form. Es ist daraus der entscheidende Einfluss der Erde auf die Ausbreitung elektrischer Wellen er-

sichtlich. Dieser Einfluss ist kompliziert, was sich besonders in den hier nicht näher zu beschreibenden Influenzerscheinungen von benachbarten Leitern äussert.

Fig. 10 zeigt die Formänderung, welche der Wellenkopf durch ein am Leitungsende angeschlossenes

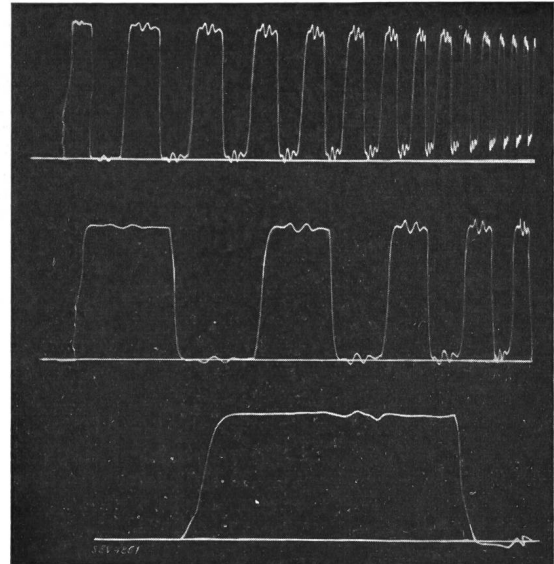


Fig. 8.

Symmetrische Einschaltwelle zwischen 2 Seilen einer 900 m langen Freileitung. Periodendauer der Wellenschwingung = ca. $12 \mu\text{s}$.
3 verschiedene Zeitmaßstäbe.

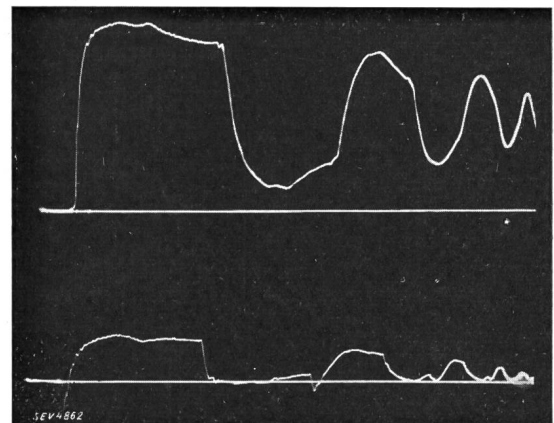


Fig. 9.

Einschaltwelle (oben) und Influenzwelle (unten) zwischen einem Leitungsseil und Erde einer 900 m langen Freileitung.

kurzes Kabelstück erleidet. Man erkennt die Abflachung der Front in den zwei untern Bildern. Zugleich ist die Steilheit des Spannungszusammenbruches ersichtlich, welche die Dauer von rund 10^{-7} s besitzt ($1/10 \mu\text{s}$).

Fig. 11 zeigt die Verflachung noch deutlicher, da hier eine dreimal grössere Kapazität angeschlossen ist.

Fig. 12 illustriert die unter Umständen spannungserhöhende Wirkung einer zwischen Freileitung und kurzem Kabelstück eingeschalteten Drosselspule. Am offenen Kabel tritt dabei kein ein-

facher Spannungsschoss, sondern eine Schwingung auf, die unter Umständen eine unerwünschte Spannungserhöhung am Kabel mit sich bringt.

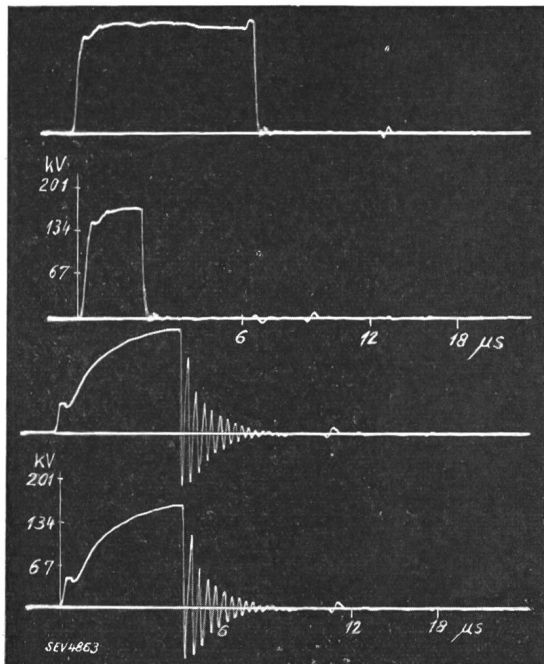


Fig. 10.

Ansprechen einer Kugel-Messfunkenstrecke bei Stoßspannung mit steiler Front (oben) und mit verflachter Front (unten). Entladeschwingung des zur Wellenverflachung angeschlossenen Kabelstückes (unten) beim Ansprechen der Messfunkenstrecke.

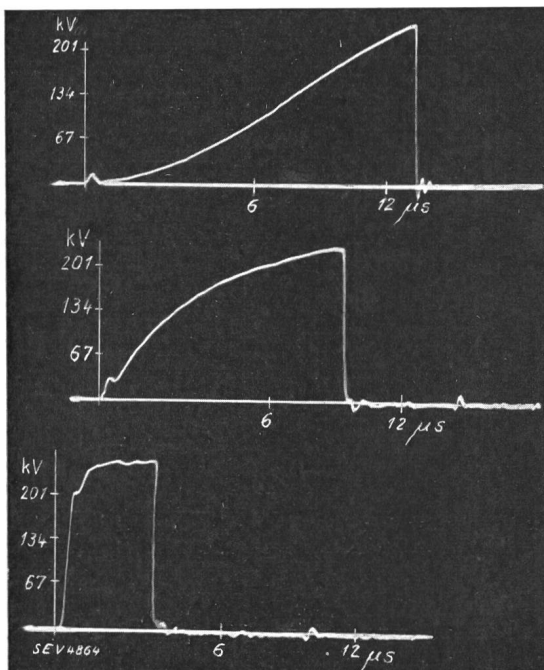


Fig. 11.

Verflachung einer Wellenfront (unten):
a) durch kurzes Kabelstück (Mitte);
b) mit kurzem Kabelstück + Drosselspule (oben), mit anschließendem Ansprechen einer Messfunkenstrecke.

Fig. 13 und 14 zeigen den Stromverlauf am Ende der gleichen Leitung wie beim Oszillogramm Fig. 8, wenn beide Leitungsseile am Ende kurz geschlossen

werden. Es tritt dabei ein Wellenspiel auf der Leitung auf, durch welches der Strom treppenweise zu höherem Werte aufsteigt. Man sagt, dass sich der Strom «aufschaukelt». Erst nach Ablauf von vielen solchen Treppen stellt sich im allgemeinen der altbekannte Kurzschlußstrom ein, der sich aus der gewohnten Rechnung nach dem Ohmschen Gesetz für konzentrierte Kapazitäten und Induktivitäten ergibt.

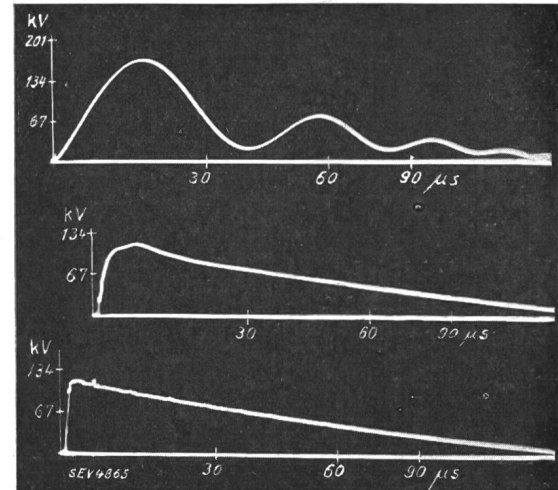


Fig. 12.

Verformung einer Welle (unten):

a) durch kurzes Kabelstück (Mitte);
b) durch kurzes Kabelstück + Drosselspule (oben), Ausbildung einer «Eingangsschwingung».

Treffen Ueberspannungswellen auf Isolatoren und ist die Wellenspannung genügend hoch, so

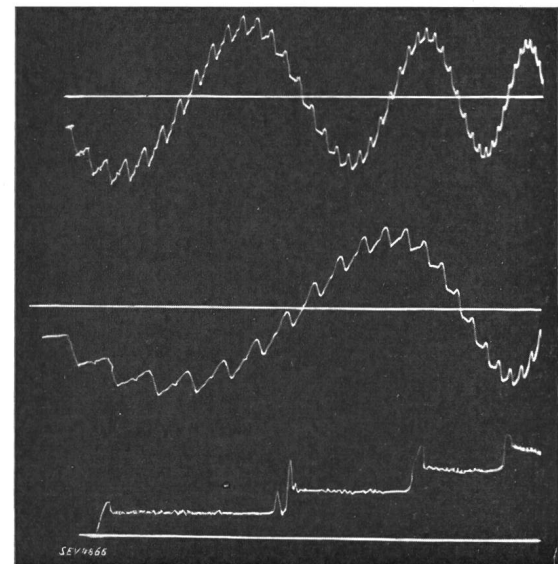


Fig. 13.

Ausbildung eines quasistationären Kreisstromes unter Bildung anfänglicher Wellenstufen («Aufschaukeln» des Stromes). 3 verschiedene Zeitmaßstäbe. Stufendauer = ca. 6 μ s.

kommt es zum elektrischen Ueberschlag des Isolators. Hier zeigt sich nun, dass zur Entstehung dieses Ueberschlages stets eine kleine Zeitdauer

nötig ist, die man als Ueberschlagsverzug oder Entladeverzug bezeichnet.

Fig. 15 zeigt den Spannungsverlauf an einem Durchführungsisolator; man erkennt, dass der

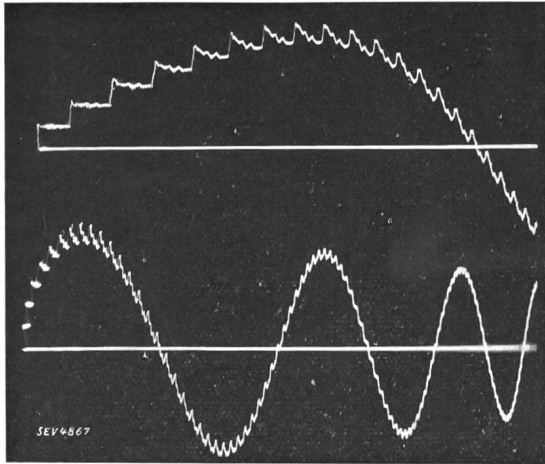


Fig. 14.
Wie Fig. 13. 2 verschiedene Zeitmaßstäbe.
Ausserordentlich schwache Wellendämpfung.
Stufendauer = ca. 6 μ s.

Ueberschlag erst erfolgt, nachdem der Isolator ein höheres Spannungsmaximum ausgehalten hat. Die Erscheinung des Ueberschlagsverzuges bewirkt, dass Isolatoren mit Stoßspannung zum Teil wesentlich höher elektrisch beansprucht werden können als bei der heute üblichen Prüfung mit Wechselspannung.

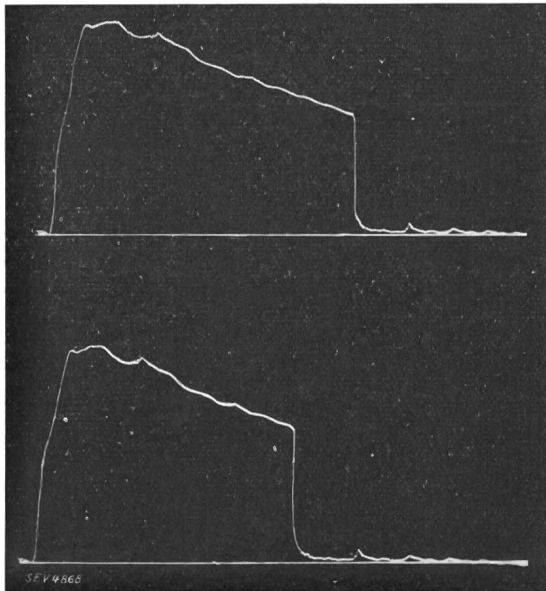


Fig. 15.
Ueberschlagsverzug eines Durchführungs-Isolators.

Fig. 16 und 17 zeigen durch Stosswellen zertrümmerte Isolatoren, welche bei gewisser Konstruktion explosionsartig auseinanderfliegen. Die Plötzlichkeit der Luftausdehnung im elektrischen Stoßfunken ist derart gross, dass dabei die meisten der bei Blitzeinschlägen beobachteten Zerstörungswirkungen erklärt oder nachgemacht werden können, so

zum Beispiel das Zersplittern von Holzstangen, das Herausschleudern von Isolatoren aus Leitungsstangen, das Verdampfen von Drähten ohne Zerstörung der umgebenden Isolierhülle usw. Nicht nur die

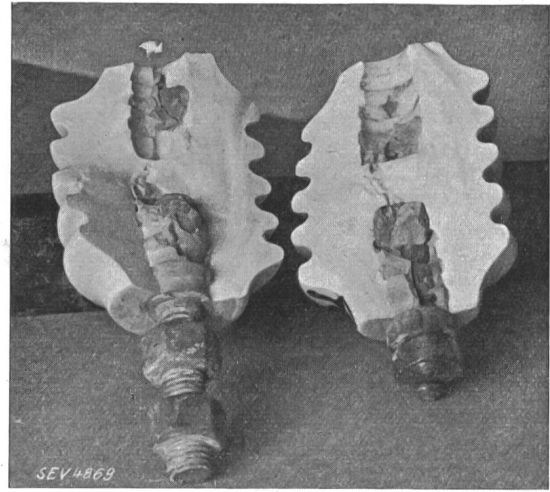


Fig. 16.
Durchschlag eines Stütz-Isolators bei der Stossprüfung.

Bildung des elektrischen Funkens, auch seine Entionisierung erweist sich als ausserordentlich rascher Vorgang. Diese Erscheinung hat Bedeutung für die Konstruktion moderner Hochleistungsschalter.

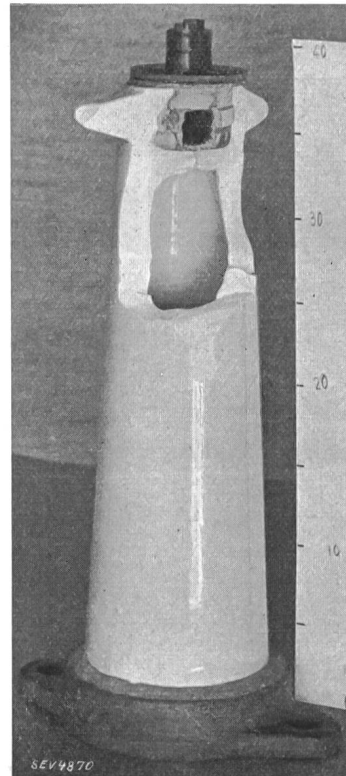


Fig. 17.
Explosionsartige Zerstörung eines Stütz-Isolators bei der Stossprüfung.

Fig. 18 zeigt, wie nach dem Aufhören des Kurzschlußstromes im Lichtbogen fast die volle Netzspannung nach ungefähr $\frac{1}{30000}$ s wieder an den Klemmen des Schalters auftreten kann. In dieser Zeit muss die Leitfähigkeit des kurz vorher noch glühendheissen Lichtbogens auf unwesentliche Werte gesunken sein. Das zweite Bild zeigt einen langsameren Wiederanstieg der Netzspannung, entsprechend einer anderen Netzanordnung. Ähnliche Vorgänge werden auch in Hochleistungsprüfanlagen an Schaltern beobachtet.

Fig. 19 zeigt eine solche Spannungswiederkehr an einem Schalter. Das Bild ist überdies ein Bei-

spiel einer einfachen Lissajou-Figur mit sinusförmiger Zeitbewegung des Kathodenstrahles.

Kompliziertere Erscheinungen können von den elektrischen Wellen hervorgerufen werden, wenn

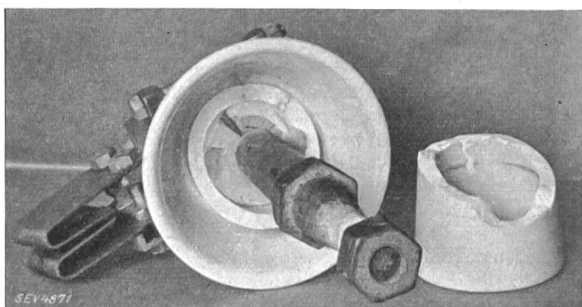


Fig. 17a.

Absprengen von Schirmen von Freileitungs-Stütz-Isolatoren bei der Stossprüfung.

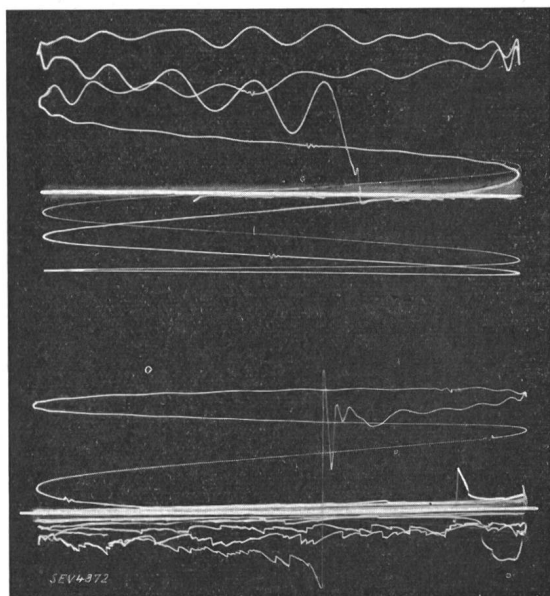


Fig. 18.

Wiederkehrende Spannung beim Abschalten eines Kurzschlusses in einem 6-kV-Netz, bei 2 verschiedenen Netzzuständen. Zur Zeitablenkung dient eine sinusförmige Wechselspannung der Frequenz 300/s.

Beitrag zur Frage der wirtschaftlichen Beleuchtung.

Von D. Mattanovic, Ljubljana.
(Siehe Bull. SEV 1935, Nr. 16.)

Berichtigung.

Auf Seite 433, linke Spalte, muss in der 4. bis 7. Gleichung statt q richtig stehen $\sigma = 1 - q$, also z. B.:

Kurzschlüsse an einer unverzweigten Höchstspannungsleitung abgeschaltet werden. Beispiele hierfür finden sich im Bull. SEV 1929, S. 694, Fig. 11a und Fig. 12.

Zum Schluss soll noch auf drei Beispiele von Wellen hingewiesen werden, die von der immer noch und immer wieder wundervollen Naturerscheinung erzeugt werden, vom Blitz (siehe Bull. SEV 1934, S. 220, Fig. 18 und 21, und S. 221, Fig. 23).

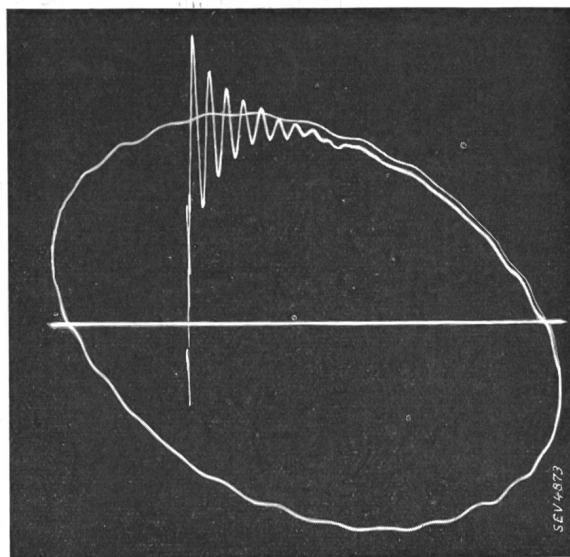


Fig. 19.

Wiederkehrende Spannung beim Abschalten eines Kurzschlusses in einer Schalter-Prüfanlage. Zur Zeitablenkung dient eine Wechselspannung der Frequenz 50/s.

Trotz vieler Arbeiten, besonders der letzten Jahre, gibt der Blitz immer wieder weitere Rätsel auf. Aber es sind alle Anzeichen dafür vorhanden, dass auch hier die Mikrozeitmessung, und zwar die optische Mikrozeitmessung, ein noch tieferes Eindringen in die Geheimnisse der Natur in nächster Zeit ermöglichen wird.

$$\sigma = 1 - q = \frac{g}{t + h} + i \text{ usw.}$$

Ferner muss die 8. Gleichung lauten:

$$S = \frac{G}{t\xi} + \Sigma(P)Bq = \frac{G}{t\xi} + \Sigma(P)B(1 - \sigma) = \frac{G}{t\xi} + \Sigma(P)B\left(1 - i - \frac{g}{t + h}\right)$$

Technische Mitteilungen. — Communications de nature technique.

Fabrikbesuch bei der Sprecher & Schuh A.-G., Aarau.

Die Firma Sprecher & Schuh A.-G., die sich, wie bekannt, seit etwa zwei Jahren frisch organisiert hat, lud auf den 8. Oktober zu einer Besichtigung ihrer Werkstätten ein, um speziell auch die neu aufgenommenen Fabrikationsgebiete

zu demonstrieren. Herr Direktor Dr. A. Roth hielt als Einführung einen sehr instruktiven Vortrag über die Entwicklung der verschiedenen Arbeitsgebiete, über die dabei zu verfolgenden hohen technischen Prinzipien und auch über die gemachten Erfahrungen. Als neue Fabrikationsgebiete nannte er die Druckluft- und Oelstrahlschalter, ferner die sog. «Lastschalter», dann die Hochleistungssicherungen, Mo-