

Zeitschrift:	Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber:	Association suisse des électriciens
Band:	26 (1935)
Heft:	23
Artikel:	Einige Methoden und Resultate moderner Mikrozeitmessung
Autor:	Berger, K.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-1058490

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: 13.01.2026

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

chés, aux fêtes, aux changements de mode, aux importations.

Exploitation durant toute l'année: jusqu'à 3 récoltes en hiver, forçage des melons en été par exemple, protection contre le gel des cultures et produits tardifs à la fin de l'automne et en hiver, avec possibilité d'un forçage subséquent.

Des surplus d'énergie imprévus pendant l'hiver ou d'autres occasions de fourniture de courant peuvent être immédiatement utilisés. Il est plus facile de brancher des accumulateurs d'eau chaude servant par exemple à tempérer l'eau d'arrosage (32 a, 35-37).

Risques de mauvaises récoltes réduits à un minimum; très intéressant pour les petites exploitations. Les cultures qui exigent le maintien d'une température déterminée pendant une longue durée peuvent être entreprises sous châssis, au lieu de l'être dans des serres d'un prix élevé.

Le montage dans des installations existantes et les extensions sont faciles à exécuter. Les conducteurs de chauffage peuvent être prévus pour leur enlèvement, leur revision, leur pose à d'autres endroits (70).

Aucun excès d'humidité dans le sol, d'acide carbonique et d'ammoniaque, ce qui n'oblige pas de prévoir une ventilation à des moments inopportun. Si la couche à chauffage électrique ne donne pas suffisamment d'acide carbonique, il est facile d'en produire par ailleurs les quantités exactement nécessaires (33 g, 43, 46).

Outre ces avantages de jardinage, les avantages généraux suivants sont également en faveur des cultures forcées à chauffage électrique:

Diminution des importations. Nouvelles possibilités d'occupation dans le pays. Amélioration de la production; ceci également là où l'exploitation du sol n'offre que peu de chances de succès (petites surfaces dans les villes, terrains de drainage, endroits élevés).

On peut disposer à toute époque de produits parfaits au point de vue hygiénique, plus apétissants que certaines qualités importées, car mieux venus à maturité.

La production utilise l'énergie caractéristique de notre pays de houille blanche, toujours disponible.

Cette énergie reste constante durant toute la nuit, présente un bon facteur de puissance et s'utilise dans les cas favorables pendant toute l'année. Les couches forcées à chauffage électrique sont des consommateurs peu sensibles, grâce à leur capacité d'accumulation thermique.

Les centrales ont ainsi la possibilité de mieux utiliser leurs installations et même d'obtenir de nouveaux débouchés. Cette application de l'électricité pourrait faire comprendre à certains milieux que l'électricité est chez nous un produit national et également un précieux auxiliaire.

On peut conclure que les couches chauffées à l'électricité deviendront de plus en plus nombreuses, car les opposants ne contestent que le prix de l'énergie et de l'installation. Dès que des solutions parfaites existeront, cette application de l'électricité s'étendra rapidement dans les exploitations appropriées.

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 Zeitspannen 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 Leitungswellen werden beschrieben und durch einige Mikrozeit-Oszillogramme belegt.

I. Zeitmessung.

Von Mikrozeitmessung, d. h. Messung kleiner Zeiten, kann man in zweifachem Sinne sprechen. Man kann darunter zunächst die Bestimmung kurzer Zeitspannen verstehen; diese Aufgabe ist lediglich eine Aufgabe der Zeitmessung. Im weiteren Sinne aber erstrebt die Mikrozeitmessung nicht nur die Messung eines irgendwie definierten Zeitintervall, sondern die Registrierung irgendwelcher rascher Änderungen 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.

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'oscillographie 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.

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 Sonnenumlaufes, 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 Abstoppung von Zeitintervallen bis herunter zu $1/100$ s mit einer Präzision bis ca. $1/1000$ s. Zur Messung kürzerer Zeiten bedient man sich sehr mannigfacher, dem jeweiligen Zweck entsprechender Methoden der Zeitdauermessung. Drei Gruppen, nämlich mechanische, elektrische und optische Zeitmessung seien angeführt.

Als Beispiel *mechanischer Zeitmessung* sei eine Vorrichtung genannt, welche zur Messung der Fluggeschwindigkeit eines Geschosses dient. Das Geschoss wird durch zwei rasch umlaufende, starr verbundene dünne Scheiben, z. B. aus Papier, hindurchgeschossen. Die Geschossbahn wird dabei parallel zur Rotationsaxe gewählt. Aus der Verdrehung der Durchschlagspunkte beider Scheiben gegeneinander und der Drehgeschwindigkeit ergibt sich auf einfache Art die zum Durchfliegen der Entfernung beider Scheiben nötige Zeit.

Als Beispiele *elektrischer Zeitmessung* seien folgende zwei Methoden erwähnt: Einmal die bekannte elektrische Kondensatoraufladung, die z. B. zur Bestimmung einer Relaiszeit oder der Abschaltzeit eines Schalters (oder einer Sicherung) benutzt werden kann. In Fig. 1 sei S_2 der Relaiskontakt,

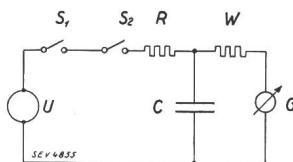


Fig. 1.
Zeitmessung mit
ballistischem Galvanometer.
(Beispiel: Messung einer
Relaiszeit. S_2 Relaiskontakt;
die übrigen Teile des Relais
sind der Übersichtlichkeit
halber nicht gezeichnet.)

dessen Öffnungszeit gemessen werden soll. Er sei geschlossen. Nun wird der Schalter S_1 eingelegt, womit die Aufladung des Kondensators C über den Widerstand R aus der Gleichstromquelle U beginnt; R sei viel kleiner als W . Gleichzeitig mit dem Einlegen des Schalters S_1 beginnt sich der Kontakt S_2 zu öffnen, durch eine Vorrichtung, die hier nichts zur Sache tut und daher in Fig. 1 nicht gezeichnet wurde. Nachdem S_2 geöffnet, den Ladestrom also unterbrochen hat, entlädt sich C über den Widerstand W und das Galvanometer G , das die Größe Q der erfolgten Ladung von C misst. Aus Q kann mit folgenden Beziehungen die Abschaltzeit t ermittelt werden:

$$Q = C \cdot U_C = C \cdot U \cdot (1 - e^{-\frac{t}{T}})$$

wo $T = C \cdot R$ und $R \ll W$

Diese Methode ist bei passender Wahl der Widerstände und Kapazitäten brauchbar für die Messung von Zeiten bis herunter zu $1/1000$ s.

Eine andere Methode, die vor drei Jahren von M. Steenbeck und R. Strigel¹⁾ angegeben wurde, erlaubt die Messung von Zeiten bis herunter zu einigen Zehntel μ s, das heißt bis unter eine Millionstel Sekunde ($1 \text{ ms} = 10^{-3} \text{ s}$; $1 \text{ } \mu\text{s} = 10^{-6} \text{ s}$). Fig. 2 zeigt das Prinzip dieser Schaltung. Sie dient vor allem zur Bestimmung des Entladeverzuges einer Funkenstrecke F , das heißt derjenigen Zeitdauer, die zwischen dem Anlegen einer Gleichspannung U an diese und dem Beginn der Funkenentladung in F verstreicht. Wie bei der vorigen Methode wird vom Moment des Schließens des Schalters S_1 an ein Kondensator C aufgeladen. Nur erfolgt hier die Aufladung mit einem konstanten Strom, dessen Höhe durch den Sättigungsstrom eines Glühventilrohrs V_1 festgelegt ist. Diese Aufladung dauert bis zum Ansprechen von F , dann hört

sie infolge des Spannungszusammenbruches an F auf. Nun wird der Kondensator C entladen, aber nicht über ein ballistisches Galvanometer, sondern über ein zweites Glühventilrohr V_2 , dessen Sättigungsstrom mehrere Größenordnungen kleiner ist als jener von V_1 . Dabei wird die Zeitdauer der Entladung von C über V_2 unter Zwischenschaltung eines Verstärkers V gemessen. Die Aufladung von C wird aus der Elektrizitätsmenge $Q = I_{V_1} \cdot t_1$ bestimmt, wo t_1 die gesuchte Zeitdauer, nämlich den Entladeverzug von F bedeutet. Die Entladung derselben Menge Q geschieht in einer Zeit t_2 , gemäß $Q = I_{V_2} \cdot t_2$; somit wird $t_1 = \frac{I_{V_2}}{I_{V_1}} \cdot t_2$. Die vom Zeitschreiber Z oder Amperestundenzähler Ah ermittelte Zeit t_2 liefert also ein bestimmtes Vielfaches der Zeitdauer t_1 ; die Schaltung wird daher als «Zeit-Transformator» bezeichnet.

Beispiele der *optisch-mechanischen Kurzzeitmessung* sind:

a) Die Beobachtung mehrfacher Funken an Induktoren und in Hochfrequenzkreisen mit einem rotierenden Spiegel (Feddersen).

b) Die Photographie der Blitzentladung mit schwingenden oder rotierenden Photoapparaten (B. Walter).

c) Die Beobachtung zusammengesetzter Funkenentladungen mittels einer rasch rotierenden schwarzen Scheibe mit darauf radial befestigtem glänzendem Draht, der vom Funken sichtbar gemacht wird (O. Rood und Schmidt).

d) Die Photographie des Blitzes mit der Kamera von Boys. Diese besteht aus zwei parallelen, starr verbundenen Objektiven, welche um die Mittellinie der Axen beider Objektive als Drehaxe rotieren. Hinter den sich dabei stets parallel bleibenden Objektiven befindet sich in der Normalebene zur Dreh-

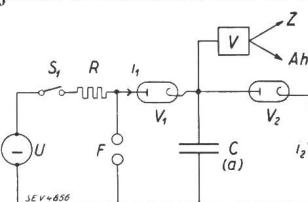


Fig. 2.
«Zeittransformator» nach
M. Steenbeck und R. Strigel
zur Messung des
Entladeverzugs
einer Funkenstrecke F .

axe eine photographische Aufnahmeschicht. Der Tragarm in beiden Objektiven wird relativ zur Photoschicht in rasche Bewegung versetzt, wozu entweder der Arm selber (Boys) oder nach einer andern Konstruktion die Photoschicht rotiert. Ein vor dieser Kamera sich entwickelnder Blitz bildet sich durch die beiden Objektive doppelt auf der bewegten Photoschicht ab. Bei günstiger Lage des Blitzes ist es infolge seiner endlichen Vorwachsgeschwindigkeit möglich, aus der Verdrehung beider Abbildungen gegeneinander die Zeit zu ermitteln, die der Blitz zu seinem Vorwachsen benötigte.

Die kleinsten Zeitintervalle, die mit den beschriebenen optisch-mechanischen Methoden messbar sind, betragen 10^{-5} bis 10^{-6} s. Die Messung noch kürzerer Zeiten hat wohl nur für optische und elektrische Vorgänge Interesse, welche infolge der enormen Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichtes

¹⁾ Arch. Elektrotechn. 1932, S. 831.

zu den raschesten gestempelt sind. Abgesehen von den in dieser Beziehung heute noch nicht erforschten inneratomaren Vorgänge gehören hieher vor allem die makroskopischen Vorgänge beim Entstehen und Löschen des elektrischen Funkens sowie die Fortpflanzungsvorgänge elektromagnetischer Wellen. Da keine raschern 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 Änderungen.

Bei der Betrachtung der Registrierung rascher Änderungen 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 trägeheitsarmen, feinen Galvanometers, dessen kleinste Bewegungen mit einem Spiegelchen und einer Lichtquelle auf einen photographischen Film oder auf einen Beobachtungsschirm aufgezeichnet wer-

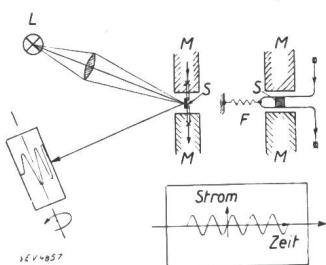


Fig. 3.

Prinzip des Schleifen-Oszilloskop.

den. Fig. 3 zeigt die schematische Anordnung eines solchen, unter dem Namen *Schleifen-Oszilloskop* 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 feinster Feinmechanik, diese Messschleife derart trägeheitsarm 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 Schleifenoszilloskop spielt in der Starkstrom-Messtechnik 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 innerhalb 10^{-4} s abspielen, ist er dagegen zu träge. Das universelle Registrierinstrument für raschere elektrische Änderungen ist der *Kathodenstrahlloszillograph* (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 rasch bewegter Elektronen in Form eines Strahlenbündels, dem Kathodenstrahl, erzeugt. Die Elektronen bewegen sich im feldfreien Vakuum,

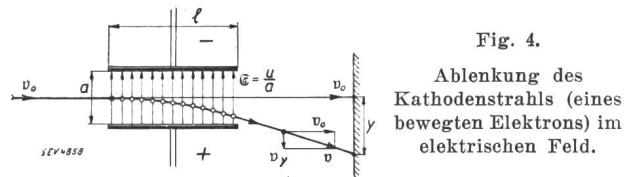


Fig. 4.

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 $E = u/a$ eine Kraft, deren Größe sich aus $K = q \cdot E$ errechnet. Infolge dieser Kraft bewegt sich das Elektron nicht mehr geradlinig weiter, sondern nach Fig. 4 innerhalb des Plattenfeldes längs einer Wurfsparabel. Das den Kondensator verlassende Elektron besitzt deshalb außer der unveränderten Geschwindigkeits-Komponente v_0 eine Zusatz-Komponente v_y , deren Betrag sich ausrechnet zu

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

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 ablenkende 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 Ablenfeld eintreten,

2. darf sich naturgemäß die Ablenkspannung u nicht ändern, während ein Elektron das Ablenfeld 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 trägeheitsfrei, 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 rasch bewegte 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

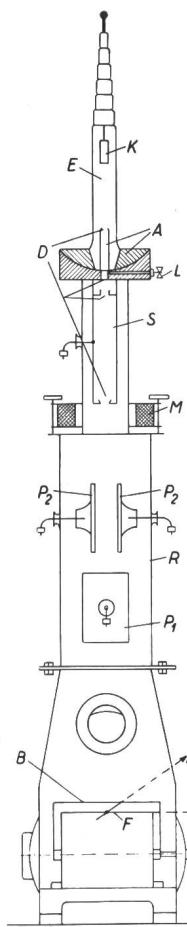


Fig. 5.
Prinzipbild des Kathodenstrahl-Oszillographen.
 A_x Spannungsaxe.
 A_z Zeitaxe des Oszillogramms.
A Anode.
K Kathode.

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 Ändern 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 Auflösevermögen 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 Schleifenoszillographen 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 Schleifenoszillographen 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 senkrecht 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 zu einander senkrechten Richtungen hat überdies den Vorteil, dass bei der direkten Beobachtung des Leuchtschirmes das Oszillogramm unmittelbar in rechtwinkligen Koordinaten sichtbar wird. Es ist

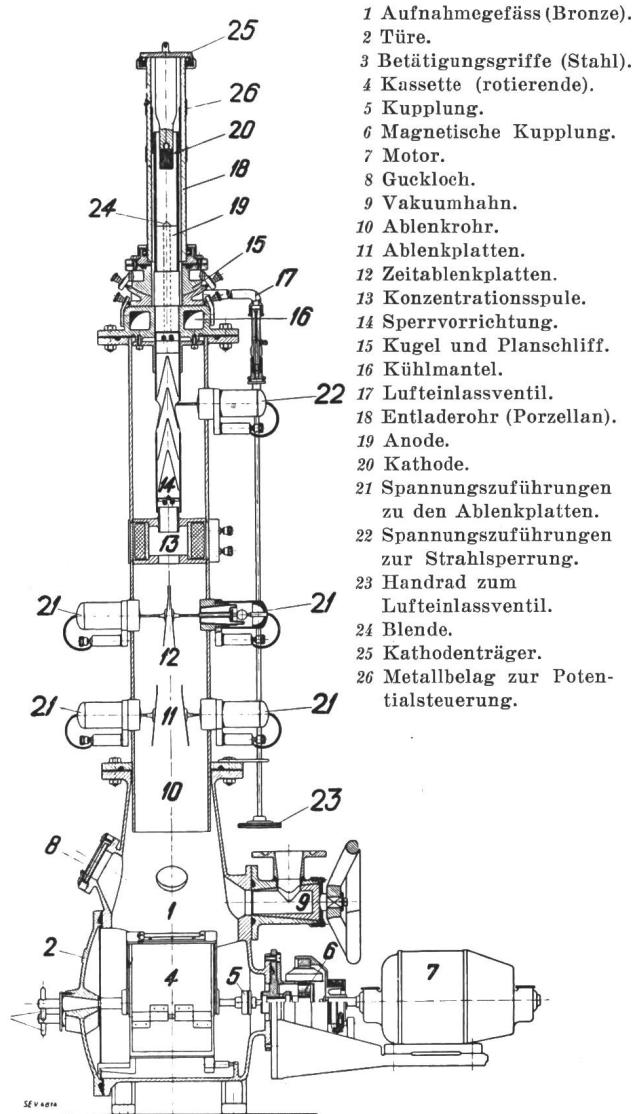
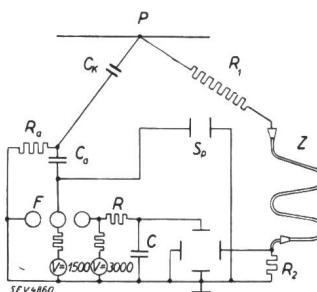


Fig. 6.

Schnitt durch einen konstruktiv durchgebildeten Kathodenstrahloszillographen.

ausserdem nicht immer nötig, diese zweite Strahlablenkung 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 Strahlperrung 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.



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 bâlier* (1914), über hydraulische Wellen in Rohrleitungen zu vergleichen.

Der Bewegungsenergie der trügen 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 benützte 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 $6 \mu s$, die Dauer der Front (Anstiegsdauer) ist noch viel kleiner, nämlich nur wenige Zehntel μs . Selbst nach zehnmaligem 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

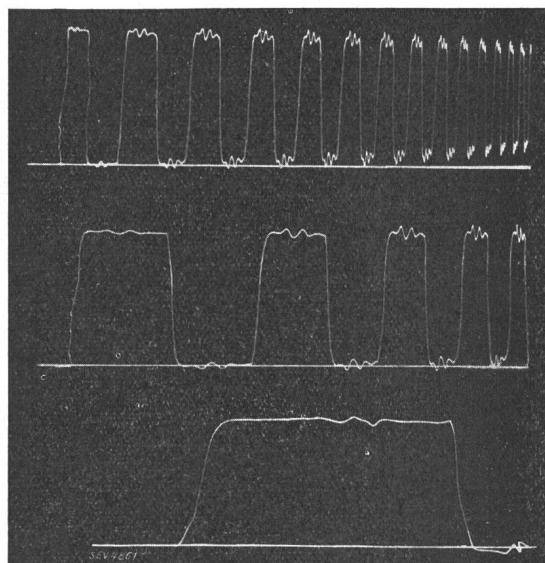


Fig. 8.
Symmetrische Einschaltwelle zwischen 2 Seilen einer 900 m langen Freileitung. Periodendauer der Wellenschwingung = ca. $12 \mu s$.
3 verschiedene Zeitmaßstäbe.

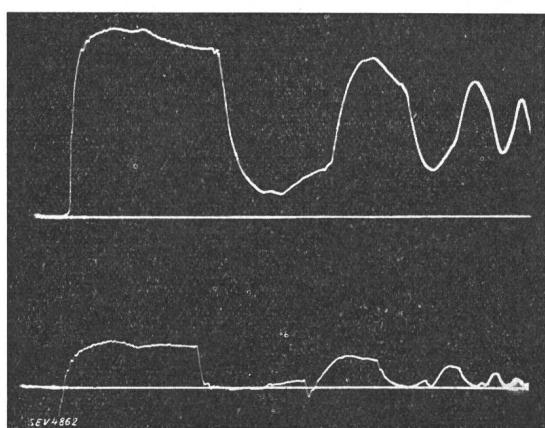


Fig. 9.
Einschaltwelle (oben) und Influenzwelle (unten) zwischen einem Leitungsseil und Erde einer 900 m langen Freileitung.

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

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 Drosselpule. Am offenen Kabel tritt dabei kein ein-

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

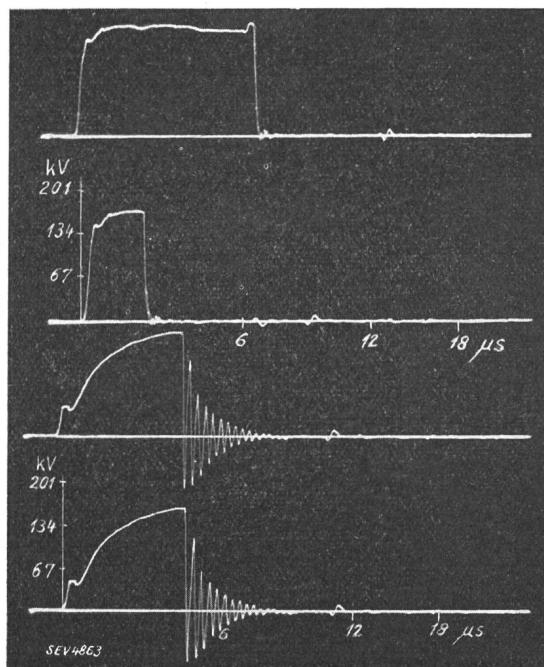


Fig. 10.

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

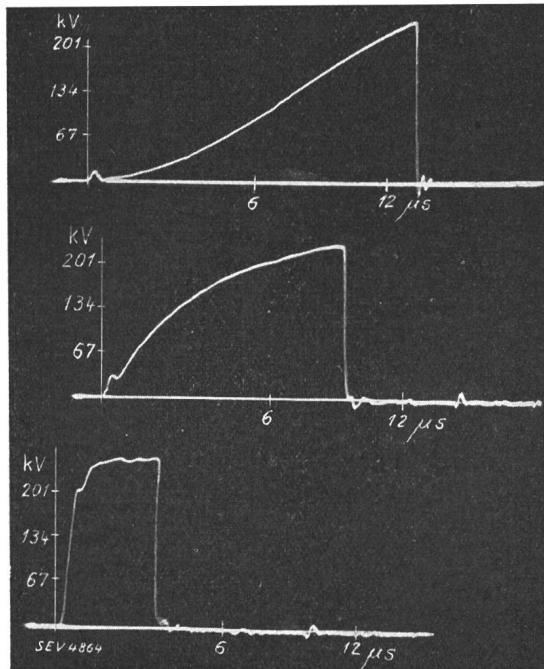


Fig. 11.

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

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

werden. Es tritt dabei ein Wellenspiel auf der Leitung auf, durch welches der Strom treppenweise zu höheren Werten 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.

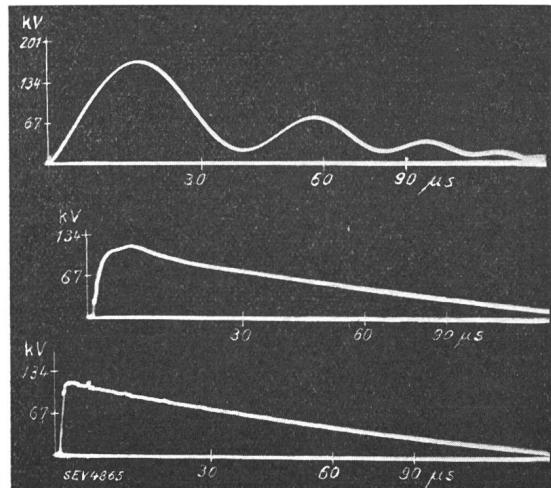


Fig. 12.

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

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

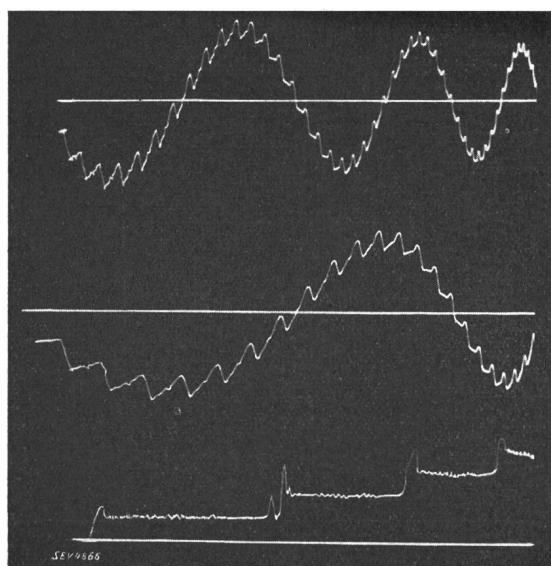


Fig. 13.

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

kommt es zum elektrischen Überschlag des Isolators. Hier zeigt sich nun, dass zur Entstehung dieses Überschlages 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

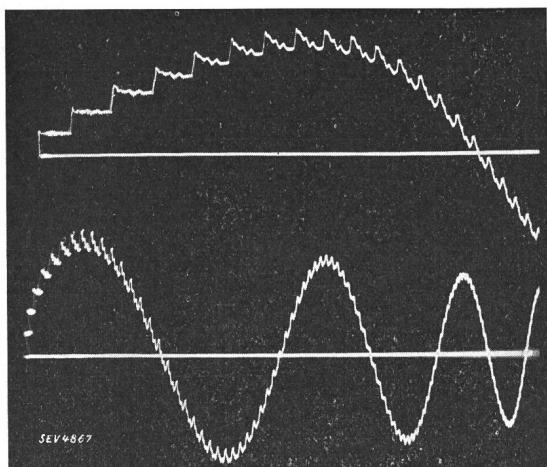


Fig. 14.

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.

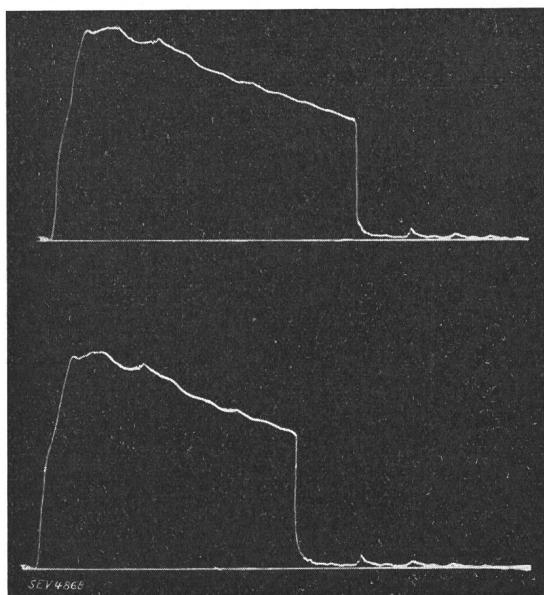


Fig. 15.

Ueberschlagsverzug eines Durchführungs-Isolators.

Fig. 16 und 17 zeigen durch Stoßwellen zertrümerte Isolatoren, welche bei gewisser Konstruktion explosionsartig auseinanderfliegen. Die Plötzlichkeit der Luftausdehnung im elektrischen Stoßfunken ist derart gross, dass dabei die meisten der bei Blitz einschlägen 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

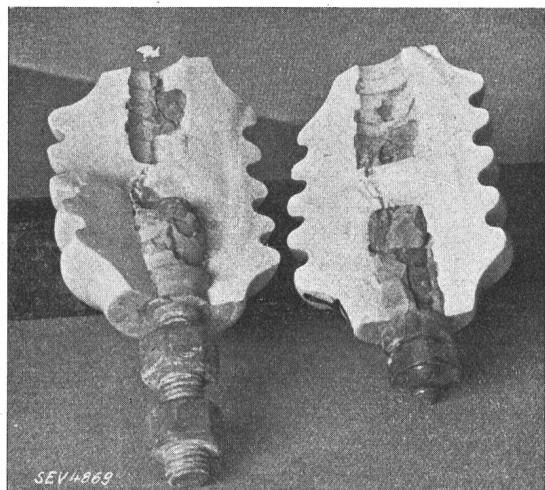


Fig. 16.
Durchschlag eines Stütz-Isolators bei der Stoßprüfung.

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

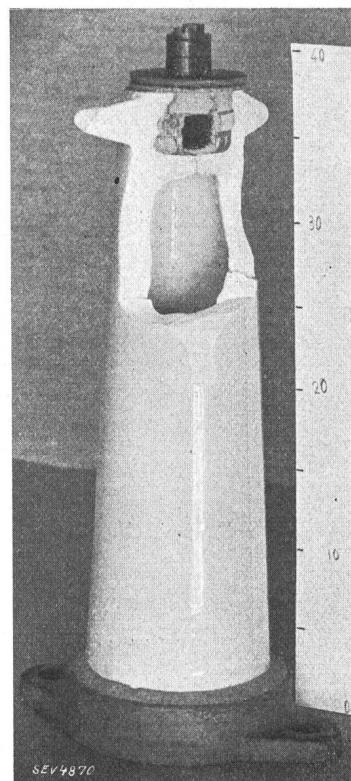


Fig. 17.
Explosionsartige Zerstörung eines Stütz-Isolators bei der Stoßprüfung.

Fig. 18 zeigt, wie nach dem Aufhören des Kurzschlußstromes im Lichtbogen fast die volle Netzspannung nach ungefähr $1/30\,000$ s wieder an den Klemmen des Schalters auftreten kann. In dieser Zeit muss die Leitfähigkeit des kurz vorher noch glühendheissen Lichtbogens auf un wesentliche Werte gesunken sein. Das zweite Bild zeigt einen langsameren Wiederanstieg der Netzspannung, entsprechend einer andern Netzanordnung. Aehnliche Vorgänge werden auch in Hochleistungsprüf anlagen 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

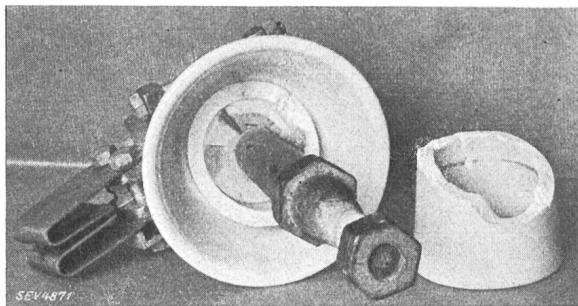


Fig. 17a.
Absprengen von Schirmen von Freileitungs-Stütz-Isolatoren bei der Stoßprüfung.

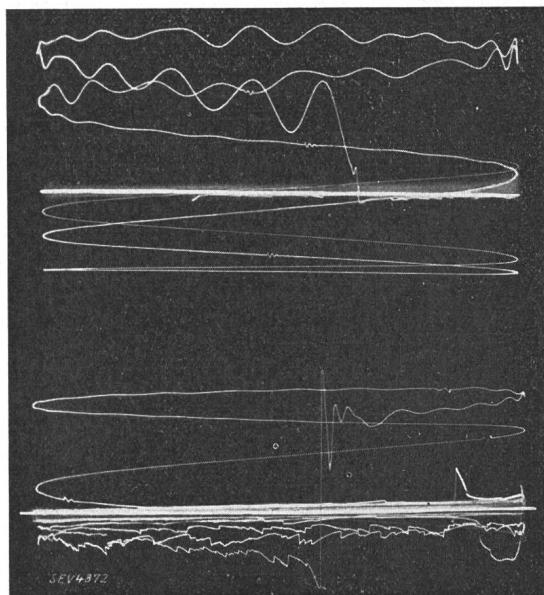


Fig. 18.

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 ϱ richtig stehen $\sigma = 1 - \varrho$, also z. B.:

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

Kurzschlüsse an einer unverzweigten Höchstspannungsleitung abgeschaltet werden. Beispiele hiefür 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).

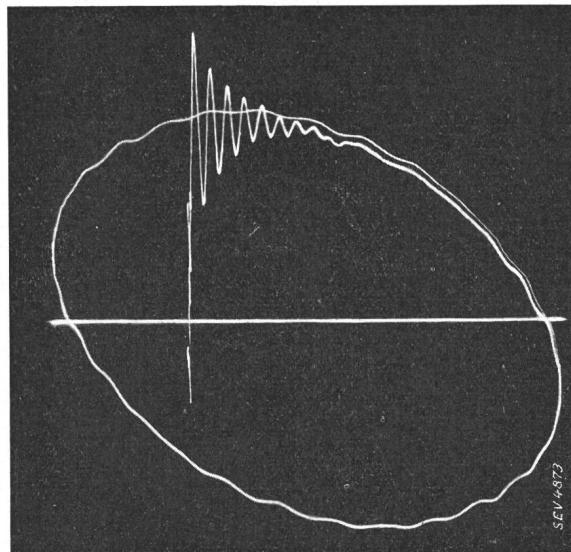


Fig. 19.
Wiederkehrende Spannung beim Abschalten eines Kurzschlusses in einer Schalter-Prüfanlage. Zur Zeitablenkung dient eine Wechselspannung der Frequenz 50/s.

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.

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

Ferner muss die 8. Gleichung lauten:

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

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-