

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 35 (1944)
Heft: 4

Artikel: Kräftermessungen an mechanischen Seilmodellen
Autor: Senn, H.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1061547>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 15.05.2025

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

SCHWEIZERISCHER ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

BULLETIN

REDAKTION:

Sekretariat des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Zürich 8, Seefeldstrasse 301

ADMINISTRATION:

Zürich, Stauffacherquai 36 ♦ Telefon 5 17 42
Postcheck-Konto VIII 8481

Nachdruck von Text oder Figuren ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit Quellenangabe gestattet

XXXV. Jahrgang

N^o 4

Mittwoch, 23. Februar 1944

Kräftemessungen an mechanischen Seilmodellen

Von H. Senn, Baden

621.315.1.00157

Nach einer kurzen Besprechung der Möglichkeiten von Untersuchungen an mechanischen Seilmodellen bei äussern Krafteinwirkungen (Zusatzlasten, Lastabwurf, zeitlich gestaffelt oder nur teilweise, Tragorgan-Bruch, Wind) wird die Kräftermessung an solchen Modellen, speziell an Modellen von elektrischen Hochspannungs-Freileitungen, beschrieben und es werden Ergebnisse von ausgeführten Untersuchungen angeführt.

M. Senn indique tout d'abord brièvement comment il est possible d'examiner le comportement de lignes aériennes aux sollicitations externes (charges additionnelles, suppression de la charge, soit successivement, soit partiellement, rupture de l'organe de support, coups de vent) à l'aide de modèles mécaniques de câbles. Il décrit ensuite la mesure des efforts, notamment sur des modèles de lignes aériennes à haute tension, et indique quelques résultats de mesures.

Mechanisch ähnliche Modelle

Die Herstellung von verkleinerten mechanischen Modellen gespannter Seile, die sich statisch und dynamisch ähnlich verhalten wie die nachgebildete Hauptausführung, ist heute für alle im Bau von elektrischen Freileitungen, Seilbahnen usw. vorkommenden Spannweiten und Seil-Querschnitte, -Spannungen und -Materialien in jedem gewünschten Maßstab möglich. Auf solchen mechanisch ähnlichen Modellen verlaufen alle Vorgänge und Bewegungen geometrisch ähnlich wie an der Hauptausführung. Ferner stehen alle Längen, Kräfte (elastische, Trägheits- und Schwerkkräfte), Zeiten, sowie die aus ihnen zusammengesetzten Grössen (Beschleunigungen, Geschwindigkeiten, Energien usw.) stets in einem festen Verhältnis zu den entsprechenden Grössen der Hauptausführung. Wie G. Hunziker¹⁾ gezeigt hat, ist für das mechanisch ähnliche Abbild der darzustellenden Leitung die Verwendung von zylindrischen Schrauben-Federn als Modelleiter besonders vorteilhaft. Solche Federn gestatten auf bequeme Weise die Festlegung des für jeden Fall gewünschten günstigsten Modellmassstabes, welcher durch entsprechende Wahl von Drahtstärke, Federdurchmesser und Windungs-Steighöhe in sehr weiten Grenzen bestimmt werden kann. Von besonderer Wichtigkeit ist der in der «Theorie der Modellmechanik» geleistete Nachweis, dass der Modelleiter-Durchmesser unabhängig vom Maßstab für die übrigen Längen gewählt werden kann.

An solchen Modellen können alle infolge der Einwirkung äusserer Kräfte (Zusatzlasten, teilweiser oder ganzer, gleichzeitiger oder zeitlich gestaffelter Lastabwurf, Windeinfluss, Seil- oder Iso-

latorenbruch usw.) an den Seilen und Tragorganen der Hauptausführung auftretenden Vorgänge genau untersucht und in jeder Phase photographisch oder kinematographisch festgehalten werden. Hierbei ist wesentlich, dass mechanische Vorgänge, die auf der Hauptausführung bereits zum Bruch der Leiter oder der Tragorgane führen, weder einen Bruch noch dauernde Veränderungen der mechanischen Eigenschaften des Modelleiters bewirken können.

Damit erst ist für viele Freileitungsprobleme eine Abklärungsmöglichkeit geschaffen, die bisher vollständig fehlte, denn manche in der Natur beobachtete Erscheinungen lassen sich an Versuchsleitungen in Naturgrösse gar nicht reproduzieren; andere können an wirklichen Leitungen wegen der resultierenden grossen Kosten nicht untersucht werden.

Messung der Beanspruchungen

Unter den zahlreichen Fragen, die der Rechnung nicht zugänglich sind, die am Modell aber untersucht werden können, und die auf die betriebssichere Erstellung von Freileitungen oder die Abklärung von mechanischen Störungen an solchen von ausschlaggebender Bedeutung sind, soll im Folgenden die Messung der Beanspruchungen bei äusseren Krafteinwirkungen kurz betrachtet werden.

Das Verhältnis α der Kräfte von Hauptausführung und Modell ergibt sich zu

$$\alpha = \frac{E}{E_m} \cdot \frac{q}{q_m} = \frac{\gamma}{\gamma_m} \cdot \frac{q}{q_m} \cdot \frac{l}{l_m} = \frac{\gamma}{\gamma_m} \cdot \frac{q}{q_m} \cdot \lambda,$$

wo E den Elastizitätsmodul des Seiles,
 γ das Gewicht des Seiles pro Querschnitts- und pro Längeneinheit,
 q den tragenden Seil- oder Drahtquerschnitt,
 l Längen und

$\lambda = \frac{l}{l_m}$ das Verhältnis der Längen von Hauptausführung und Modell bedeuten.

¹⁾ Siehe «Theorie gespannter Seile, Schnellhöhe und Modellmechanik» von Dr. G. Hunziker, Baden, Verlag: A.-G. Gebr. Leemann & Co., Zürich und Leipzig 1942, und Bull. SEV 1942, Nr. 9. Besprechung auf S. 105 dieser Nummer.

Der Index m bezieht sich auf die Daten der Modellfeder.

Die bei den bisher durchgeführten Arbeiten und Untersuchungen an Modellen über Beanspruchungen von Seilen, Isolatoren, Masten usw. meist verwendeten Kräfte-Maßstäbe $\left(\frac{1}{\kappa}\right)$ liegen zwischen 10^{-3} und 10^{-6} ; an den Modellfedern sind demgemäss Kräfte und Kraftänderungen von wenigen Gramm zu bewältigen bzw. zu messen.

Messmethoden

Die Messung von Kräften im Modell, an beliebiger Stelle und gleichzeitig auch an mehreren Punkten, erfolgt durch sehr leichte, elektrische Kondensatoren, deren Kapazität durch elastische Verformung einer oder beider Elektrodenplatten durch die zu messenden Kräfte verändert wird. Diese Kapazitätsänderung erzeugt in einer mit Hochfrequenz gespeisten Brückeneinrichtung eine entsprechende Diagonalspannung, die ihrerseits über einen Röhrenverstärker den Strahl eines Ka-

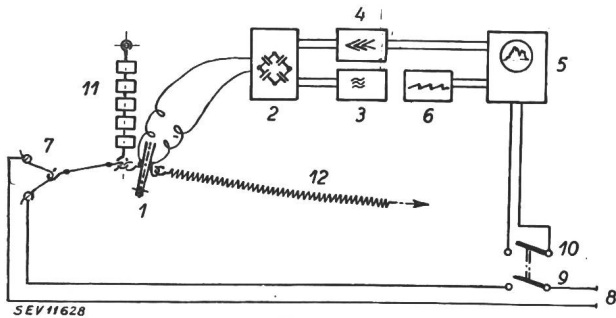


Fig. 1.

Schematische Darstellung der Kräfte-Messeinrichtung
(für Seilbruch-Versuch)

- | | |
|----------------------------|---------------------------------|
| 1 Mess-Kondensator | 8 Stromquelle |
| 2 HF-Brückenordnung | 9 Schalter zur Auslösung des |
| 3 HF-Brückenspeisung | Seilbruches |
| 4 HF-Mess-Verstärker | 10 Schalter für Strahl-Freigabe |
| 5 Kathodenstrahl-Bildröhre | 11 Modell-Isolatorenkette. |
| 6 Zeitablenk-Gerät | 12 Modell-Feder. |
| 7 Schmelzdraht | |

thodenstrahl-Oszillographen in der Vertikalen ablenkt. Durch eine Kippfrequenz-Einrichtung wird der Strahl gleichzeitig in der Horizontalen bewegt (Zeitablenkung). Fig. 1 zeigt schematisch die Anordnung und Schaltung der Kräfte-Mess-Einrichtung.

Das so entstehende Schirmbild mit dem entsprechend den wirkenden Kräften und der «Zeitablenkung» sich bewegendes Leuchtfleck wird entweder kinematographisch oder photographisch festgehalten, womit eine Registriervorrichtung für die dynamischen Kräfte geschaffen ist, die Oszillogramme über den Kräfteverlauf in Funktion der Zeit liefert.

Messkondensatoren

Die verwendeten Messkondensatoren müssen vor allem folgenden Forderungen genügen: Sie sollen so leicht und kurz gebaut sein, dass sie dynamische Vorgänge nicht messbar beeinflussen. Ihre Eigenfrequenz muss über den an den Modellen maximal auftretenden mechanischen Frequenzen liegen. Mit Rücksicht auf die Untersuchung von hochfrequenten Seilschwingungen bis ca. 80 Hz, hervor-

gerufen z. B. durch Windwirbel-Ablösungen, denen am Modell je nach gewähltem Maßstab Schwingungszahlen bis 1000 Hz entsprechen können, soll die mechanische Eigenfrequenz der Kondensatoren über 1000 Hz liegen. Die Elektrodenabstände dürfen bei den Aenderungen innerhalb ihres Kräfte-Messbereiches nur um Bruchteile eines Millimeters verändert werden, so dass auch hierdurch keine merkliche Beeinflussung der sich abspielenden Vorgänge auftritt. Endlich müssen die Kondensatoren mechanisch und elektrisch stabil sein, so dass ihre Eichkurven reproduzierbar sind.

Alle vorgenannten Forderungen konnten durch die eigens zu diesem Zweck entwickelten und gebauten Messkondensatoren erfüllt werden. Ihr Gewicht beträgt nur ca. 0,15 g, einschliesslich der flexiblen Zuleitungen. Das an sich sehr geringe Gewicht der Kondensatoren wird bei der massetreuen Nachbildung von Isolatorenketten, Seilklemmen usw. berücksichtigt, so dass die Kondensatoren einen Teil der sich bewegenden Massen der Hauptausführung darstellen. Dadurch tritt überhaupt keine Beeinflussung der dynamischen Vorgänge durch die eingehängten Messkondensatoren auf.

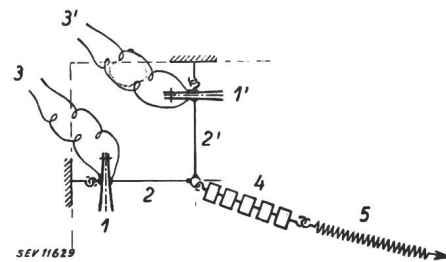


Fig. 2.

Zweikomponenten-Messung

- | | |
|------|--|
| 1 1' | Messkondensatoren |
| 2 2' | Zugbänder |
| 3 3' | Zuleitungen zu den Kathodenstrahl-Röhren |
| 4 | Modell-Isolatorenkette |
| 5 | Modell-Feder |

Im allgemeinen wird die Messung der Beanspruchung an einem bestimmten Punkt mit nur einem Kondensator den gewünschten Aufschluss ergeben, besonders dort, wo die den Seilzug aufnehmenden Organe (Isolatoren usw.) beweglich sind.

Eine Kraft kann aber auch durch Messung ihrer Komponenten in den gewünschten Richtungen bestimmt werden. In diesem Falle sind die Kondensatoren fest angeordnet. Eine Aufteilung der zu messenden Kraft in ihre Komponenten erweist sich z. B. für die Bestimmung der Beanspruchung von Masttraversen oder Pendelmasten als zweckmässig, ferner überall dort, wo die Scheitelzug- und Gewichtskomponenten oder die Grösse und Richtung der Resultierenden zu bestimmen sind. Fig. 2 stellt die Zweikomponenten-Messmethode dar, bei welcher die ortsfesten Kondensatoren mit verstellbarem Elektrodenabstand zwecks Anpassung der Empfindlichkeit und Charakteristik ausgeführt sind.

Oszillograph und photographische Aufnahmeapparate

Bei den für Kräfte-Messungen verwendeten Oszillographen sind neben den allgemein üblichen For-

derungen guter Konstanz, leichter Einstellbarkeit der Empfindlichkeit und der Beherrschung eines stetig regulierbaren Kippfrequenz-Bereiches zwischen ca. 2 und 1000 Hz besonders die direkte statische Eichmöglichkeit zu verlangen, ebenso die leichte Strahl-Sperrung und Strahlhelligkeitseinstellung. Von besonderem Vorteil ist die Möglichkeit, mehr als nur einen Vorgang gleichzeitig auf demselben Kathodenstrahloszillographen-Schirm darstellen zu können; eine entsprechende Philips-Apparatur hat bei den Werkproben erfolgversprechende Resultate ergeben.

Da die Vorgänge am Modell $\sqrt{\lambda}$ mal schneller verlaufen als an der Hauptausführung, müssen für die Laufbildaufnahmen Apparate mit mindestens 64 Bildwechseln pro Sekunde zur Verfügung stehen.

Der Leuchtschirm wird mit Vorteil mit einer satt anliegenden Skalen-Teilung (Koordinaten-Netz) versehen, die eventuellen Plattenstellungsfehlern der Bildröhre angepasst wird.

Um mit kleinen Leuchtfleck-Durchmessern zwecks Erhöhung der Oszillogramm-Schärfe auskommen zu können, sind hohe Empfindlichkeit bei kontrastreichem Arbeiten des photographischen Aufnahme-Materials sowie grosse Lichtstärke der Objektive (und eventuelle Strahl-Nachbeschleunigung) nötig oder doch wünschenswert.

Anwendungen und Messergebnisse

a) Lastabwurf

Abgesehen von Windeinflüssen ist, besonders in Gebirgsgegenden, das Abfallen von Zusatzlasten (Schnee, Eiswülste) von Seilen wohl die häufigste

0,5...2,2 t/s). Auch erreichen die Höchstwerte der dynamischen Beanspruchungen selbst bei Abwurf von grossen Zusatzlasten (3...4 kg/m) die vor dem Lastabwurf herrschende statische Beanspruchung nicht, sondern liegen bei 75...95 %.

Oszillogramm Fig. 3 stellt den Kräfteverlauf im Seilaufhängepunkt bei einem Lastabwurf dar.

b) Kettenbruch

Wesentlich schärfere Beanspruchungen ergeben sich bei Bruch von Hängeketten, wodurch die beiden anliegenden Spannweiten in eine einzige übergeführt werden. In den meisten Fällen wird zwar der herunterfallende Leiter bereits auf der Erde aufschlagen, bevor dieser Leiter in die der vergrösserten Spannweite entsprechende Lage gelangt. Wo dies aber nicht zutrifft, z. B. bei grossen Flusskreuzungen mit Zwischenmasten im Flusslauf oder ähnlichen hohe Masten erfordernden Ueberspannungen von bestehenden oder projektierten Hindernissen, wird dagegen die kinetische Energie des fallenden Seiles in das Seil übergeführt, wobei dieses elastisch gedehnt wird und wieder die übliche Kurvenform annimmt. Während des Einschwingvorganges in die neue Ruhelage werden die Aufhängepunkte des Seiles der neuen Spannweite schlagartig beansprucht. Dabei wurden Last-

anstiege $\frac{dF}{dt}$ von rund 15...35 t/s bei maximalen

dynamischen Beanspruchungen bis 400 % der statischen Beanspruchung vor dem Tragorgan-Defekt gemessen. Die der Störungsstelle benachbarten Hängeisolatorenketten, besonders deren unterste Glieder,

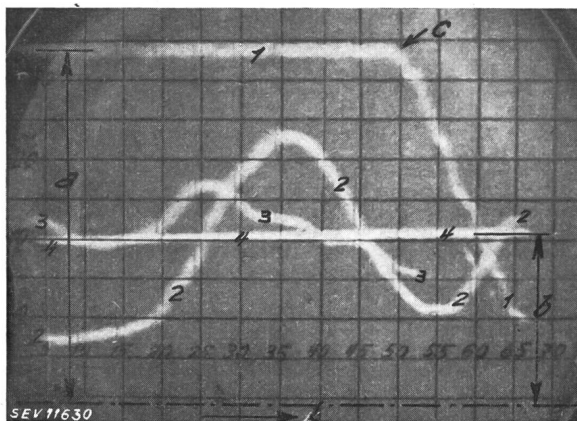


Fig. 3.

Seilzugkräfte bei Lastabwurf von 3 kg/m auf einer Spannweite bei Halbabspannung
(Dreieck-Anordnung von 2 Isolatoren-Ketten)

Zu Fig. 3...6:

- a Seil- oder Isolatorenzug vor Eintritt der Störung = 100 %
- b Seil- oder Isolatorenzug nach der Störung (nach Ausklingen der Schwingung)
- c Zeitpunkt des Eintritts der Störung

Die Kurventeile folgen sich in der Ordnung 1...1, 2...2, 3...3, 4...4

Ursache von Seilschwingungen auf Leitungen. Die Untersuchung solcher mit dem Lastabwurf verbundenen Beanspruchungen (Schlagbiege-Beanspruchungen, Peitschenschläge) der Isolatoren am Modell hat ergeben, dass der zeitliche Kräfteverlauf einer gedämpften Sinusschwingung gleicht und dass die Kraftänderung pro Sekunde nicht gross ist (unter bestimmten Verhältnissen gemessen z. B.

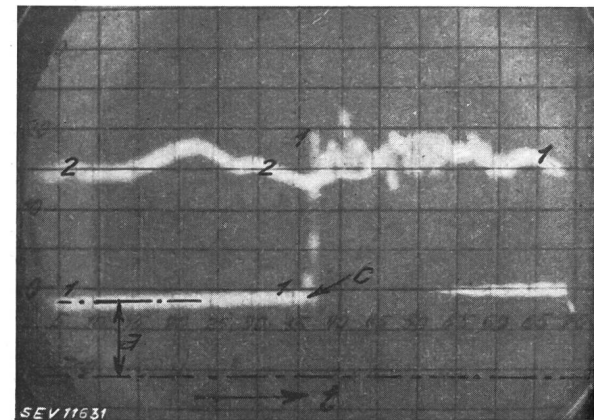


Fig. 4.

Isolatoren-Beanspruchung bei Kettenbruch bei Halbabspannung

der, werden einer nicht vernachlässigbaren Schlagbiege-Beanspruchung bei Beschleunigungen von 3,5...4 m/s² ausgesetzt nebst dem gleichzeitigen Anstieg der dynamischen Zugkräfte auf das 4...4,5fache des statischen Wertes, bei allerdings etwas kleinerem

$\frac{dF}{dt}$ -Wert (z. B. nur ca. 12 t/s). Oszillogramm

Fig. 4 zeigt den Kräfteverlauf bei Kettenbruch.

Als Vergleich zu den einfachen Hängeketten wurde am Modell der Bruch einer Isolatorenkette einer Halbabspann-(Dreieck-)Anordnung untersucht. Bei dieser Störung muss die intakt bleibende Isolatorenkette plötzlich eine grössere Kraft aufnehmen und wird zudem auf Schlagbiegung beansprucht. Ausser den von vornherein ersichtlichen Vorteilen dieser Dreieckanordnung der Hängeketten (bei einfachem Isolatorenbruch kein Herabfallen des Seiles, also kein Unterbruch in der Energielieferung, nur geringe Durchhangs-Vermehrung usw.) wird gegenüber der einfachen Hängekette die Kraftänderung $\frac{dF}{dt}$ um ca. 40 % kleiner, während die dynamische Höchstbeanspruchung ungefähr gleiche Werte für beide Aufhängungsarten ergibt.

Der dämpfende Einfluss der Isolatoren-Massen zeigte für das oberste Kettenglied sowohl bei den Höchstbeanspruchungen als auch bei deren zeitlichem Anstieg (t/s) eine Reduktion von 10...15 % gegenüber dem untersten Glied.

Die Auslenkungen der intakt gebliebenen Ketten bei Halbabspannung betragen nur ca. $\frac{1}{3}$ derjenigen der normalen Hängeketten.

c) Seilbruch

Bei Bruch eines Seiles in der Nähe eines Tragmastes mit Einfach- oder Dreieck-Aufhängung haben die Tragorgane (Isolatoren, Armaturen, Mastausleger usw.) die Funktion als Abspannglieder, d.h. in sehr kurzer Zeit den vollen einseitigen Leiterzug und während des Einschwing-Vorganges die dabei auftretenden, noch erhöhten zeitlich veränderlichen Kräfte aufzunehmen. Diese Störung bringt unter den betrachteten mechanischen Leistungsdefekten die schärfste (kurzzeitige) Beanspruchung der Isolatoren-Ketten mit sich, vor allem auch durch Schlagbiege-Einwirkung. Es wurden Querbeschleunigungen bis zum 15fachen Wert der Erdbeschleunigung bei Dreieck-Aufhängung und bis zum ca. 8fachen bei einfachen Tragketten beobachtet. Einzig in dieser Beziehung scheint die Aufhängung mit nur einer Isolatoren-Kette der Dreieck-Anordnung überlegen.

Die grössten Lastanstiege pro Zeiteinheit ($\frac{dF}{dt}$) wurden zu 40 t/s ermittelt bei Halbabspannung und zu ca. 70 t/s bei Tragketten. Daher spielt dieser Fall für die Bemessung aller tragenden Teile die ausschlaggebende Rolle, da hier die Lastanstiege doppelt so gross sind als die, welche bei Kettenbrüchen gefunden wurden. Die Seilspannungen erreichten kurzzeitig den 1,2- bzw. 2fachen Wert der vor dem Seilbruch vorhandenen Spannung, während die Isolatoren selbst bei beiden Aufhänge-Arten dynamisch bis zum 4,5...5fachen Wert der vor der Störung wirkenden Kräfte beansprucht sind.

Oszillogramm Fig. 5 gibt den zeitlichen Seilzugverlauf bei Seilbruch, Fig. 6 den Kräfteverlauf an einer Isolatoren-Kette bei Halbabspannung.

Die Messung dieser schlagartigen Beanspruchungen ist eines der interessantesten Resultate der Kräfte-Messungen am Seilmodell; bei der Bemessung

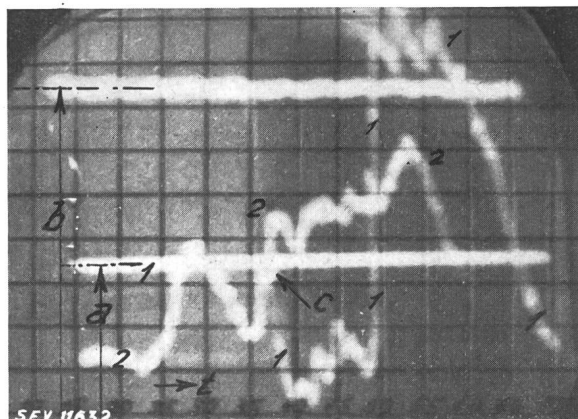


Fig. 5.
Seilzugverlauf bei Seilbruch, eine Spannweite mit 3 kg/m belastet, bei Halbabspannung

sung der Konstruktionsteile und vor allem bei der Wahl des Isolatoren-Typs dürfte die Einführung des Begriffes $\frac{dF}{dt}$ künftig eine ähnliche Rolle spielen, wie bei den elektrischen Spannungs-Prüfungen derjenige der Stoss-Spannung.

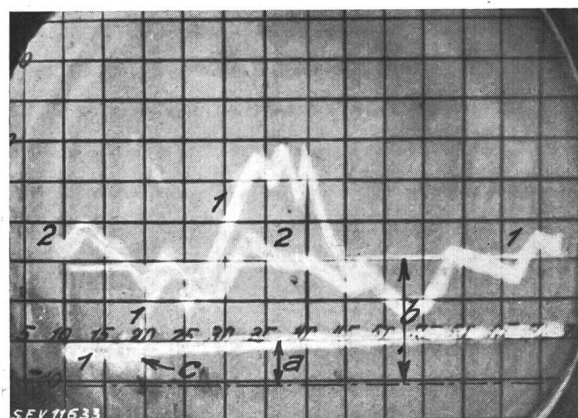


Fig. 6.
Isolatoren-Beanspruchung (am oberen Kettenende) bei Seilbruch, alle Spannweiten mit 3 kg/m belastet, bei Halbabspannung

Die vorerwähnten Untersuchungen und Resultate wurden am Modell im Maßstab 1 : 265 einer projektierten Höchstspannungsleitung erhalten, auf einer durch 3 Stützmasten unterteilten Abspannstrecke von 1600 m.

d) Weitere Anwendungen und Möglichkeiten

Eine weitere interessante Anwendung der Modellmessungen besteht darin, dass am Modell z. B. die Schlagbiege-Beanspruchung einer Isolatoren-Kette bei Lastabwurf auf der Leitung mittelst der beschriebenen Kräfte-Messung mit Oszillograph bestimmt wird. Aus einer gleichzeitig gemachten Zeitlupen-Kinoaufnahme wird über die Weg-Zeit- und Geschwindigkeits-Zeitfunktion die Beschleunigungs-Zeitfunktion der schwingenden Isolatorenkette ermittelt; der so festgestellten maximalen Beschleunigung

nigung, d. h. Schlagbiege-Beanspruchung, werden nun die wirklichen Isolatoren in einer besonderen Vorrichtung, mittelst starker Federn, ausgesetzt. Diese Prüfung zeigt dann ohne weiteres, ob die Isolatoren den am Modell für eine bestimmte Annahme gemessenen Beschleunigungskräften gewach-

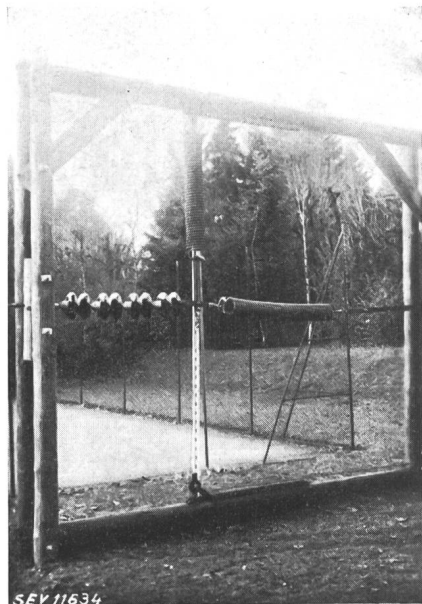


Fig. 7.

Isolatoren-Prüf-Einrichtung für dynamische Beanspruchung der Prüfobjekte

Beide Zugfedern entspannt

chungen auf besonders gefährdete Leitungsarmaturen, Mastteile usw. untersucht werden mittelst dieser Vergleichsversuche. Fig. 7 zeigt eine Ausführung der Einrichtung zur Prüfung des Verhaltens von Isolatoren bei Schlagbiege-Beanspruchungen bei gleichzeitig wirkendem Längszug (Federn

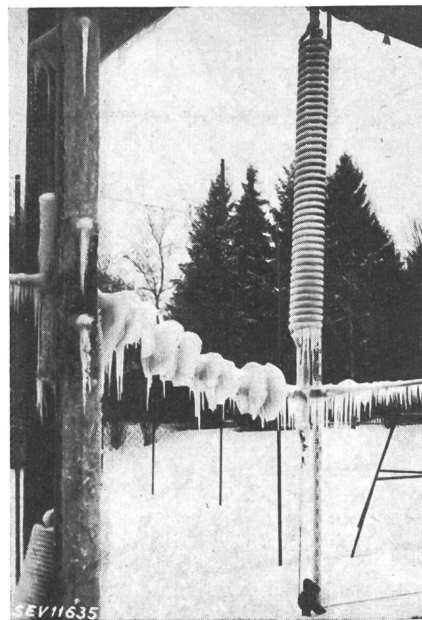


Fig. 8.

Prüfung von vereisten Isolatoren auf Schlag-Biege-Beanspruchung

sen sind. Es kann auch umgekehrt vorgegangen werden, indem zuerst für einen Isolatoren-Typ aus Kinoaufnahmen diejenige Schlagbiege-Beanspruchung bestimmt wird, bei der die Ketten zu Bruch gehen. Am Modell lässt sich dann für eine gegebene oder projektierte Leitung, wie beschrieben, nachprüfen, welche Beanspruchungen für die anzu-

entspannt), Fig. 8 dieselbe Vorrichtung mit gespannter Feder für Querbeschleunigung, zur Prüfung einer vereisten Isolatoren-Kette.

Ausführung der Versuche

Alle beschriebenen dynamischen Vorgänge am Modell werden auf elektrischem Wege zur Auslö-

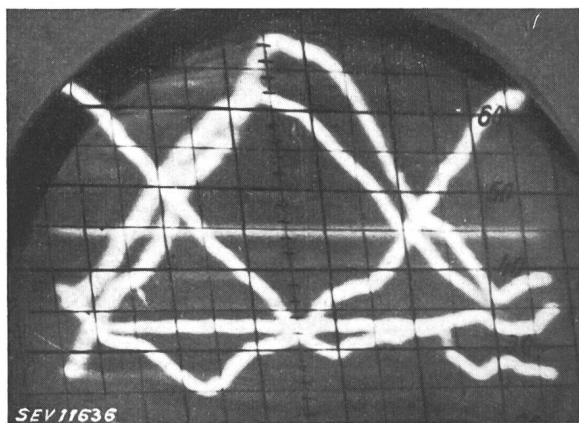


Fig. 9.

Beispiel über die Reproduzierbarkeit von dynamischen Vorgängen am Modell

2 Oszillogramme desselben Vorganges, Aufnahmen zeitlich ca. 1 Stunde auseinanderliegend

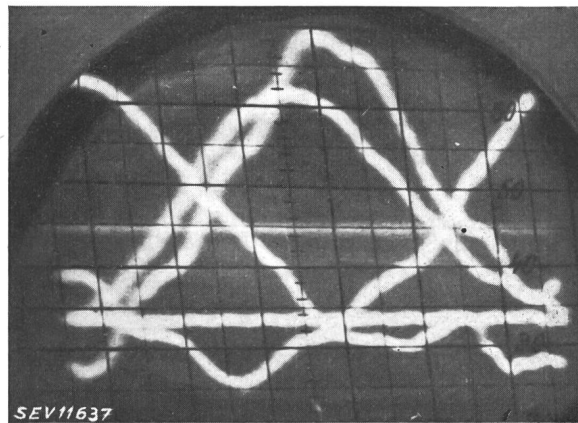


Fig. 10.

nehmenden Störungsmöglichkeiten auftreten können und damit also auch, ob der vorgesehene Isolator-Typ für die betrachtete Verwendung genügt. Diese Untersuchungen beschränken sich aber nicht auf Isolatoren allein; ebenso gut können auch die Wirkungen von schlagartigen Beanspru-

sung gebracht. Die Zusatzlasten (Eis, Schnee usw.) auf den Seilen werden durch Gewichte dargestellt, die unter Zwischenschaltung kurzer Schmelzdrähte an kleinen, an der Modellfeder angebrachten, isolierten Haken aufgehängt sind, und zwar je nach Aufgabestellung auf einer oder mehreren zu unter-

suchenden Spannweiten oder auf Abschnitten derselben gleichmässig verteilt. Zur Nachahmung von Ketten- oder Seilbrüchen werden die Modell-Isolatoren oder bestimmte Stücke des Modelleiters an solchen Schmelzdrähten befestigt; an die in Reihe geschalteten Schmelzdrähte wird im gewünschten Moment eine so hohe elektrische Spannung angelegt, dass alle in ca. $1/100$ s durchschmelzen.

Messgenauigkeiten am Modell

Die Längen, z. B. Durchhänge und deren Aenderungen, lassen sich im Modell für die statischen Zustände bis auf ca. 0,1 mm genau einregulieren und messen, wobei zur Vermeidung von Parallaxe-Fehlern die Skalen auf Spiegeln angebracht werden können. Die Kinofilm-Auswertung dynamischer Vorgänge ist auf wenigstens 1 mm Genauigkeit möglich, was bei den meist verwendeten Modell-Massstäben ca. 3 cm in der Hauptausführung (also ungefähr der Seildicke) entspricht.

Unter Einhaltung der vom Hochfrequenz-Standpunkt aus nötigen Vorsichtsmassnahmen und Anordnungen wurden Genauigkeiten in der Messung der Kräfte am Modell bis ca. 2% erzielt, was für die bisherigen Untersuchungen voll ausreichte. Als Beispiel für die gute Reproduzierbarkeit aller Vorgänge an Seilmodellen mögen die zwei Oszillogramme Fig. 9 und 10 dienen, von denen das eine die Wiederholung desselben dynamischen Vorganges (Kettenbruch an Einfach-Aufhängung) ca. 1 Stunde nach Aufnahme des ersten darstellt; unter Berücksichtigung der für jedes der beiden Seilzug-Diagramme geltenden Eichkurve ergibt sich die erwähnte Genauigkeit. Aber auch der bis Ende der Aufnahme fast vollständig gleiche Verlauf der Kurven ist bemerkenswert.

Bemerkungen zu den Oszillogrammen

Bei den Oszillogrammen Fig. 9 und 10 ist das Koordinaten-Netz den Charakteristiken der Bildröhre genau angepasst, d. h. Abszissen- und Ordinaten-Richtung des Rasters fallen mit der wirklichen Strahl-Ablenkung bei zeitlich konstanter Kraft bzw. bei ausgeschalteter Zeitablenkung und veränderlicher Kraft zusammen. Damit ist eine leichte und sichere Auswertung der Oszillogramme gewährleistet; vor allem können bei diesen Bildern dann die $\frac{dF}{dt}$ -Werte leicht bestimmt werden. Immer-

hin ist noch zu beachten, dass die Ordinaten-Teilung auf dem Raster gleichmässig ist, während nur in Ausnahmefällen eine vollständig geradlinige, d. h. proportionale Eichkurve der gesamten Apparatur erreichbar sein wird.

Die entsprechende Rasteranpassung an die Eigenschaften der Bildröhre gilt für die ganze Lebensdauer der Röhre.

Die mechanischen Seilmodelle, die Methode der Kräftermessung an ihnen, die Messkondensatoren, die Einrichtung zur Ermittlung der Rückwirkung von Seilschwingungen auf die Aufhänge-Organen des Seils (besonders auf die Isolatoren) usw. wurden bei der Motor-Columbus AG. für elektrische Unternehmungen in Baden (Schweiz) entwickelt und leisten heute zur Untersuchung vieler, besonders den Freileitungsbau betreffenden Fragen, die auf andere Weise gar nicht lösbar wären, gute Dienste. Die Verwendung dieser neuen, geschützten Hilfsmittel bietet aber nicht nur für die Projektierung von Leitungen, Seilbahnen usw. grosse Vorteile, sondern auch für die Abklärung und Behebung aufgetretener Störungen an bestehenden Leitungen.

Das Flimmern bewegter Teile im Lichte diskontinuierlich betriebener Gasentladungslampen und seine Bedeutung bei der Beleuchtung von Fabrikräumen

Von D. Högger, Zürich

612.843.53

Dr. med. D. Högger, Arbeitsarzt des Bundesamtes für Industrie, Gewerbe und Arbeit, veröffentlicht hier eine eingehende Untersuchung des stroboskopischen Effektes bei Gasentladungslampen; es ergibt sich daraus folgendes:

Das Flimmern kleiner Gegenstände bei Bewegung in diskontinuierlichem Licht ist abhängig von dem Verhältnis $\omega : A$, wo ω die Winkelgeschwindigkeit des Gegenstandes im Gesichtsfeld und A die Abmessung des Gegenstandes in der Bewegungsrichtung bedeutet, ausgedrückt im Bogenmass. Das Flimmern beginnt, wenn bei zunehmender Geschwindigkeit die Einzelbilder nicht mehr bündig aneinandergereiht werden können. Bei grösseren Gegenständen ist die Geschwindigkeit jedoch kleiner, als dieser Formel entspricht, und hängt bei gegebener Beleuchtungsstärke nur noch von der Winkelgeschwindigkeit ab, die die Grösse der Nachbilder bestimmt.

Bei der Beleuchtung von Fabrikräumen wirkt sich das Flimmern, respektive der stroboskopische Effekt an bewegten Gegenständen nur äusserst selten störend aus, da

1. die Arbeitsbewegungen unter bewusster Kontrolle der Augen ohnehin nie die kritische Geschwindigkeit erreichen, da diese auch bei kontinuierlicher Beleuchtung eine ausreichende Beobachtung des Objektes nicht mehr erlaubt;

2. die Umlaufgeschwindigkeit der meisten Räder zu klein ist, um den stroboskopischen Effekt zu ergeben. Sollte dies ausnahmsweise nicht zutreffen, so können derartige Maschinenteile wohl meist gegen Sicht abgedeckt werden;

3. die Mehrzahl der Arbeiter den Flimmereffekt überhaupt nicht bemerkt. Die möglichen Ursachen hierfür werden diskutiert.

M. le docteur D. Högger, médecin attaché à l'Office fédéral de l'industrie, des arts et métiers et du travail, expose les résultats d'une étude détaillée de l'effet stroboscopique de lampes à décharge.

Le vacillement de petits objets en mouvement, éclairés par une lumière discontinue, dépend du rapport $\omega : A$, c'est-à-dire de la vitesse angulaire ω de l'objet dans le champ visuel par la dimension A de l'objet dans le sens du déplacement, exprimée en longueur d'arc. Un vacillement se produit, à une certaine vitesse, dès que les images ne peuvent plus être juxtaposées. Lorsqu'il s'agit d'assez grands objets, la vitesse est toujours plus faible que ne l'indique la formule, car, pour un éclairage donné, elle ne dépend plus que de la vitesse angulaire qui détermine la grandeur des images rétinienne.

Dans les locaux industriels éclairés à l'électricité, le vacillement ou l'effet stroboscopique d'objets en mouvement n'est que très rarement gênant, car

1° les mouvements de travail qui sont consciemment observés n'atteignent jamais la vitesse critique qui ne permettrait plus une perception suffisante de l'objet, même sous un éclairage continu;

2° la vitesse périphérique des roues est généralement trop faible pour provoquer un effet stroboscopique. Au cas exceptionnel où cela se produirait néanmoins, il serait certainement possible de soustraire ces parties à la vue;

3° les ouvriers ne remarquent presque jamais ces vacillements. M. Högger en analyse les raisons.