

**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens  
**Herausgeber:** Association suisse des électriciens  
**Band:** 33 (1942)  
**Heft:** 9

**Artikel:** Mechanische Freileitungsmodelle  
**Autor:** Hunziker, G.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1056662>

### **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:** 18.01.2025

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

## Mechanische Freileitungsmodelle

Vortrag<sup>1)</sup>, gehalten an der Diskussionsversammlung des SEV vom 13. Dezember 1941 in Zürich,  
von G. Hunziker, Baden

621.315.1.00157

*Es wird gezeigt, wie die rechnerisch schwierig zu erfassen den statischen und dynamischen Vorgänge, die bei gespannten Seilen, z.B. Freileitungen, auftreten, durch Modellversuche auf Grund einer Modelltheorie des Verfassers quantitativ bestimmt werden können. An einigen Beispielen wird dargelegt, in welcher vielfältiger Weise diese Modelltheorie und die darauf gestützten Versuche bei der Leitungsplanung nützlich sein können.*

*Il est démontré que les processus statiques et dynamiques qui entrent en jeu dans les câbles tendus (lignes aériennes p. ex.) et qui sont fort malaisés à déterminer par le calcul, peuvent l'être quantitativement par des essais sur modèle, basés sur une théorie des modèles mise au point par l'auteur. Quelques exemples prouvent toute l'utilité de cette théorie et des essais qui s'y rattachent, pour l'établissement des projets de lignes aériennes de tous genres.*

### 1. Allgemeines

Zahlreiche statische und dynamische Vorgänge, die sich auf Freileitungen zufolge des Einwirkens äusserer Kräfte abspielen, lassen sich rechnerisch entweder nur näherungsweise oder aber überhaupt nicht erfassen. Solche Vorgänge können jedoch die Betriebssicherheit einer Uebertragungsanlage unter Umständen entscheidend beeinflussen, so dass sie bei der Ausgestaltung und Dimensionierung der Leitungen entsprechend zu berücksichtigen sind.

Beispielsweise ist die Ermittlung der genauen statischen Seillage bei grossen Spannweiten in rauhreifgefährdeten und schneereichen Gebieten besonders bei ungleichmässig verteilter Zusatzlast für die Betriebssicherheit der Leitung und für deren unmittelbare Umgebung von grosser Bedeutung. Die rechnerisch genaue Erfassung dieses Problems, das sich z. B. bei Gebirgsleitungen stets stellen wird, stösst besonders bei grossen Spannweiten und bei beträchtlichen Zusatzlasten auf erhebliche Schwierigkeiten und ist ausserdem sehr zeitraubend.

Für die Wahl der Leiterabstände, des Mastbildes, des Leitermaterials und der Montagespannung ist die Kenntnis der Schnellhöhe von grösster Wichtigkeit. Als Schnellhöhe eines Seils wird jene extreme Seillage bezeichnet, die das Seil nach dem Abfallen der gleichmässig oder ungleichmässig verteilten Zusatzlasten einnimmt. Die rechnerische Erfassung der durch den Lastabwurf eingeleiteten dynamischen Vorgänge ist bis heute nur teilweise und unter vereinfachenden Annahmen geglückt. Sie ist jedoch auch näherungsweise noch nicht möglich für die dynamischen Vorgänge zufolge partiellem oder zeitlich gestaffeltem Lastabwurf an Seilen zwischen Trag- oder Stützwinkelmasten mit auslenkbaren Hängeketten, zwischen Pendelmasten usw.

Ausser diesen erwähnten Erscheinungen gibt es noch zahlreiche statische und dynamische Vorgänge auf Seilen zwischen Abspann- und Stützmasten, die sich rechnerisch nicht oder nur unvollkommen durch sehr zeitraubende Näherungsverfahren erfassen lassen.

Es besteht daher unbestritten das Bedürfnis, sich die fehlenden Kenntnisse im Interesse der Betriebssicherheit und der Wirtschaftlichkeit der Uebertragungsanlage auf andere Weise zu beschaffen.

Auf vielen Gebieten der Technik erwies sich die Nachbildung von statischen und dynamischen Vorgängen an Modellen als ausserordentlich aufschlussreich für alle Probleme, die der Rechnung nicht

oder nur schwer zugänglich sind. Daher wurde der Versuch unternommen, mechanische Modelle für Freileitungen zu entwickeln, welche ein geometrisch ähnliches Abbild der zu untersuchenden Leitungsstrecke darstellen und an welchen die interessierenden Fragen statischer und dynamischer Natur untersucht werden können. Solche Freileitungsmodelle, die in der Herstellung weit geringere Kosten verursachen als eine Versuchsleitung in natürlicher Grösse und die in geschlossenen Räumen aufgebaut werden können, dürften daher für den Leitungsbauer sowie für die Besitzer von Leitungen zur Abklärung der oben angedeuteten Probleme und der Störungsursachen an bestehenden Leitungen von beträchtlichem Nutzen sein.

### 2. Die mechanische Aehnlichkeit

Es ist zunächst zu prüfen, ob es überhaupt möglich ist, ein geometrisch der Freileitung ähnliches Gebilde zu schaffen, an welchem die Bewegungsvorgänge mechanisch (dynamisch) ähnlich verlaufen, wie an der interessierenden Hauptausführung.

#### Definition der mechanischen Aehnlichkeit und Bezeichnungen

Zwei Vorgänge werden als mechanisch ähnlich bezeichnet:

a) wenn die Systeme, auf denen sich die Vorgänge abspielen, geometrisch ähnlich sind und wenn die Bewegungen, die sich an den Systemen abspielen, geometrisch ähnlich verlaufen;

β) wenn die homologen Grössen der gleichen physikalischen Art (Kräfte, Gewichte, Massen, Zeiten, Geschwindigkeiten, Beschleunigungen) zu einander in einem festen, ebenfalls stets gleichbleibenden Verhältnis stehen, das für jede Art der zu vergleichenden Grösse verschieden sein kann.

Der Längenmaßstab des Modells werde mit  $1 : \lambda$  bezeichnet; also ist das

Verhältnis entsprechender Längen =  $\lambda$   
Es sei das Verhältnis entsprechender Kräfte =  $\kappa$   
das Verhältnis entsprechender Zeiten =  $\tau$   
das Verhältnis entsprechender Massen =  $\mu$

Damit die Vorgänge an der Freileitung und an dem sie darstellenden Modell ähnlich verlaufen, damit also alle Massenteilchen ihre Bewegungen frei unter der Wirkung der sie beeinflussenden natürlichen Kräfte ausführen, müssen die Bewegungsgleichungen beider Vorgänge vollständig miteinander übereinstimmen. Gemäss den Gesetzen der Aehnlichkeitsmechanik<sup>2)</sup> ist diese Bedingung er-

<sup>1)</sup> Auszug aus einer Publikation, die demnächst im Verlag Gebr. Leemann A.-G. in Zürich erscheinen wird.

<sup>2)</sup> Vgl. Weber, Schiffbautechn. Gesellschaft, 1919, 20. Bd., Grundlagen der Aehnlichkeitsmechanik, und die Publikation des Verfassers «Theorie gespannter Seile. Schnellhöhe und Modellmechanik». Verlag Gebr. Leemann A.-G., Zürich 1942.

füllt, wenn zwischen den Verhältnissen  $\lambda$ ,  $\tau$ ,  $\kappa$  und  $\mu$  die Bertrandsche Bedingungsleichung

$$\kappa = \mu \cdot \frac{\lambda}{\tau^2} \quad (1)$$

erfüllt ist und wenn alle an der Hauptausführung und am Modell wirkenden Kräfte  $F$  — bzw.  $F_m$  — zu jeder Zeit und in jedem Punkt im gleichen Kräfteverhältnis  $\kappa$  stehen. Es müssen also die weiteren Bedingungsleichungen erfüllt sein:

$$\kappa = \frac{F}{F_m} = \frac{F_1}{F_{1m}} = \dots \quad (2)$$

Im folgenden tragen alle Grössen, die sich auf das Modell beziehen, den Index  $m$ .

### 3. Die Modellgesetze

Durch die Modellgesetze werden die von der Art der wirkenden Kräfte abhängigen Beziehungen zwischen den linearen und zeitlichen Grössen der beiden Vergleichsvorgänge festgelegt.

Allgemein kann festgehalten werden, dass die statischen und dynamischen Vorgänge auf Freileitungen im wesentlichen durch die Schwerkraft, die elastischen Kräfte und durch die durch diese beiden Kräftearten resultierenden Massenbeschleunigungskräfte bedingt sind.

Der Leiter soll frei von inneren Torsions- und Biegungsspannungen, sowie frei von Scheerbeanspruchungen sein. Der Luftwiderstand werde vernachlässigt.

Diese für die Berechnungen im Leitungsbau üblichen Voraussetzungen sollen auch für das Modell gelten.

Durch Gleichsetzung der Verhältnisse der Schwerkräfte, der elastischen Kräfte und der Massenbeschleunigungskräfte lassen sich die Modellgesetze bei gleichbleibender Erdbeschleunigung  $g$  anschreiben. Das Verhältnis  $\lambda$  entsprechender Längen ergibt sich zu

$$\lambda = \frac{E}{E_m} \cdot \frac{\gamma_m}{\gamma} \quad (3)$$

Dabei bedeutet  $E$ ,  $E_m$  den Elastizitätsmodul,  $\gamma$ ,  $\gamma_m$  das spezifische Gewicht des Leiters der Hauptausführung bzw. des Modells. Der Quotient  $\frac{E}{\gamma}$  bzw.  $\frac{E_m}{\gamma_m}$  bedeutet die homologen dynamischen Elastizitätsmaße, so dass sich Gl. 3 in Worten wie folgt ausdrücken lässt:

*Das Verhältnis  $\lambda$  entsprechender Längen ist gleich dem Verhältnis der dynamischen Elastizitätsmaße der Hauptausführung und des Modells.*

Die Beziehungen zwischen dem Verhältnis homologer Längen und Zeiten lautet

$$\tau = \sqrt{\lambda} \quad (4)$$

Wird mit  $\lambda'^2$  das Verhältnis entsprechender Leiterquerschnitte  $q$  bezeichnet, wobei die Durchmes-

ser der Leiter sich nicht wie  $\lambda$  verhalten müssen, ist also

$$\frac{q}{q_m} = \lambda'^2$$

so schreibt sich das Verhältnis homologer Kräfte zu

$$\kappa = \frac{E}{E_m} \cdot \lambda'^2 \quad (5)$$

Auf Grund der Maßstabregel der Aehnlichkeitsmechanik und mit Hilfe von Gl. 4 lässt sich das Verhältnis  $\varepsilon$  homologer Geschwindigkeiten ermitteln aus der Formel

$$\varepsilon = \frac{v}{v_m} = \frac{\lambda}{\tau} = \sqrt{\lambda} = \tau \quad (6)$$

d. h. die homologen Geschwindigkeiten verhalten sich gleich wie die entsprechenden Zeiten.

Weil Hauptausführung und Modell derselben Erdbeschleunigung  $g$  ausgesetzt sind, müssen die übrigen Beschleunigungen, denen die homologen Massen ausgesetzt sind, ebenfalls für Hauptausführung und Modell gleich gross sein, so dass das Verhältnis  $\frac{b}{b_m}$  homologer Beschleunigungen gleich 1 ist. Dieses Ergebnis lässt sich auch auf Grund der Maßstabregel und mit Hilfe von Gl. 4 ableiten:

$$\frac{b}{b_m} = \frac{\lambda}{\tau^2} = \frac{\lambda}{(\sqrt{\lambda})^2} = 1 \quad (7)$$

Damit nun das Längenverhältnis  $\lambda$  von 1 verschieden wird, müssen gemäss Gl. 3 die dynamischen

Elastizitätsmaße  $\frac{E}{\gamma}$  des Seils der Hauptausführung

und des Modell-Leiters voneinander verschieden sein. Wünschenswert wäre, einen Werkstoff zu besitzen, dem ein beliebiges dynamisches Elastizitätsmaß gegeben werden könnte, um dadurch in der Wahl des Modellmaßstabes 1 :  $\lambda$  frei zu sein. Kein bekanntes Material erfüllt diese Bedingung. Vergleicht man die dynamischen Elastizitätsmaße der Werkstoffe miteinander, aus welchen Leitungen gebaut und Modelle nachgebildet werden könnten, gelangt man zum Ergebnis, dass die Herstellung von Freileitungsmodellen aus normalen Drähten, Litzen oder Seilen nicht in Frage kommt, weil die dynamischen Elastizitätsmaße  $\frac{E}{\gamma}$  zu wenig verschieden voneinander sind und weil es nicht zweckentsprechend ist, auf die Materialkonstanten angewiesen und nicht frei in der Wahl des Längenmassstabes zu sein.

Es lässt sich nun zeigen, dass das dynamische Elastizitätsmaß von Spiralfedern durch geeignete Dimensionierung der Federabmessungen und durch geeignete Wahl des Drahtdurchmessers und des Drahtmaterials in beliebig weiten Grenzen den Erfordernissen von Freileitungsmodellen angepasst werden kann, wodurch erreicht ist, dass Hauptausführungen aus beliebigem Leitermaterial mittels geeignet konstruierten Spiralfedern in jedem

wünschbaren Maßstab zur Darstellung gebracht werden können. Die Industrie<sup>3)</sup> stellt die Federn heute mit der erforderlichen Präzision und Homogenität her.

#### 4. Versuche an Freileitungsmodellen

Durch Versuche liess sich die Brauchbarkeit der entwickelten Modelltheorie bestätigen.

Bei der einen Versuchsserie wurden die statischen und dynamischen Vorgänge (Zustandsänderungen, Schnellhöhe) mit Hilfe von neu entwickelten Formeln für eine Modellausführung vorausberechnet, welche eine fiktive Hauptausführung im Maßstab 1 : 40 000 zur Darstellung brachte. Das untersuchte Modell würde einer rein theoretischen Spannweite von 200 km entsprechen.

Bei einer weiteren Versuchsserie wurden die entsprechenden Vorgänge (Zustandsänderungen und Schnellhöhen) für eine Spannweite von 1500 m vorausberechnet und die Ergebnisse der Rechnung mit Hilfe der Modellmaßstäbe auf das Modell umgerechnet, das die Hauptausführung im Maßstab 1 : 304 darstellte.

Die Berechnung der statischen und dynamischen Erscheinungen liess sich in beiden Fällen am Modell überprüfen. Weitere Versuche erstreckten sich auf Modelle, die gewisse Spannweiten in den Maßstäben 1 : 10 bis 1 : 800 darstellten.

Die Übereinstimmung der Versuchsergebnisse mit den berechneten Resultaten für alle erwähnten Modellmaßstäbe war bei den statischen und dynamischen Vorgängen überaus befriedigend. Frühere Messungen an belasteten und unbelasteten Seilen zur Kontrolle der Brauchbarkeit der Durchgangsberechnungen und Zustandsgleichungen können in diesem Zusammenhang als Kontrollversuche über statische Vorgänge an einer Hauptausführung angesprochen werden. Ferner wurde die Weg-Zeit-Funktion eines hochschnellenden Kupferseiles mittels Zeitlupenaufnahmen bestimmt. Diese an der Hauptausführung gemessene Funktion deckte sich mit grosser Genauigkeit mit der entsprechenden Funktion, die am Modell im Maßstab 1 : 85 ermittelt wurde, so dass diese Messung bestätigt, dass sich das Modell dynamisch ähnlich verhält, wie die Hauptausführung.

Es seien an dieser Stelle einige weitere Versuche, die an Freileitungsmodellen durchgeführt worden sind, kurz erläutert, um die vielseitige Verwendbarkeit der Modelle zu illustrieren.

##### a) Modell einer 1100-m-Spannweite

Eine Spannweite von 1100 m bei einer Höhendifferenz der Aufhängepunkte von 94 m wurde im Maßstab 1 : 780 dargestellt. Die Kurvenform des Bronzeseiles von 155 mm<sup>2</sup> Querschnitt und bei einer Scheitelspannung  $p_0$  von 700 kg/cm<sup>2</sup> bei 0° C ist aus Fig. 1 ersichtlich. Das Erdseil (70 mm<sup>2</sup> Stahl) besitzt ebenfalls eine Scheitelspannung von 700 kg/cm<sup>2</sup> und bleibt unbelastet.

Der Modell-Leiter besitzt in Abständen von je 5 cm kleine Haken, an welchen die Zusatzlast in Form von Drahtstücken, deren Gewicht auf Grund des Kräftemaßstabes bestimmt wird, eingehängt

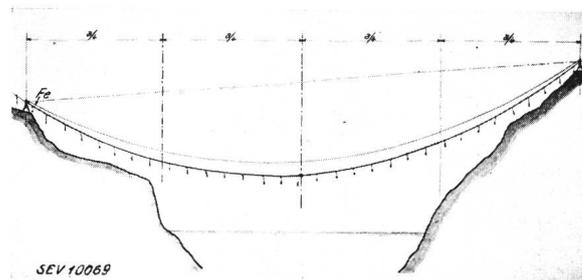


Fig. 1.  
Leiterseil und Erdseil unbelastet.

werden kann. Ferner wird an den Haken die Schmelzvorrichtung befestigt, welche gestattet, die Zusatzlast am ganzen Leiter gleichzeitig, zeitlich gestaffelt oder partiell abfallen zu lassen.

Die Kurvenform des Seiles bei einer gleichmässig verteilten Zusatzlast von 5 kg/m ist aus Fig. 2 ersichtlich.

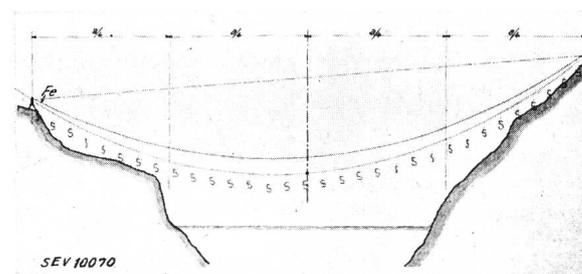


Fig. 2.  
Leiterseil mit 5 kg/m belastet; Erdseil ohne Zusatzlast.

Wie bereits oben erwähnt, interessiert bei gewissen Spannweiten die statische Seillage bei ungleichmässig verteilter Zusatzlast. In Fig. 3 z. B. ist die 1100-m-Spannweite dargestellt, wenn die linke Hälfte der Spannweite mit einer Zusatzlast von

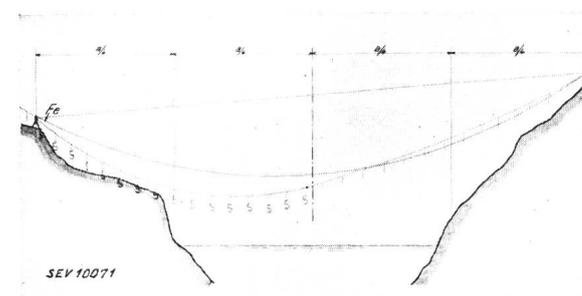


Fig. 3.  
Linke Hälfte des Leiterseils mit 5 kg/m belastet; rechte Hälfte und Erdseil ohne Zusatzlast.

5 kg/m behangen und die rechte Hälfte ohne Zusatzlast ist. Die Gefahr der Bodenberührung ist jedoch wesentlich ausgeprägter, wenn nur rd.  $\frac{1}{4}$  der Spannweite mit 5 kg/m behangen ist, wie aus den

<sup>3)</sup> Federnfabrik Baumann & Co. A.-G. in Rüti (Zürich).

Fig. 4 und 5 hervorgeht. Die Seilmitte ist in den Fig. durch einen schwarzen Punkt markiert, welcher bei unsymmetrischer Lastverteilung die Längsverschiebung des Seils angibt.

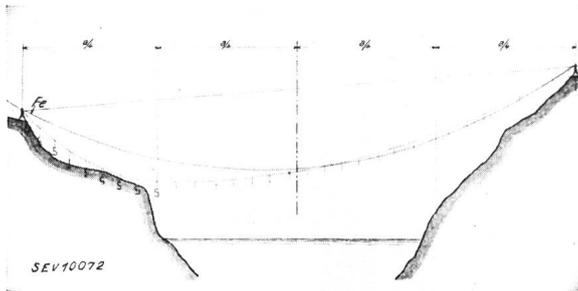


Fig. 4.

Ein Viertel des Leiterseils (links) mit 5 kg/m belastet; Erdseil ohne Zusatzlast.

Der ungünstigste Belastungszustand lässt sich somit am Modell auf einfachste Weise bestimmen. Daraus ergeben sich die Unterlagen für die Bestimmung der Maststandorte und der definitiven Masthöhen.

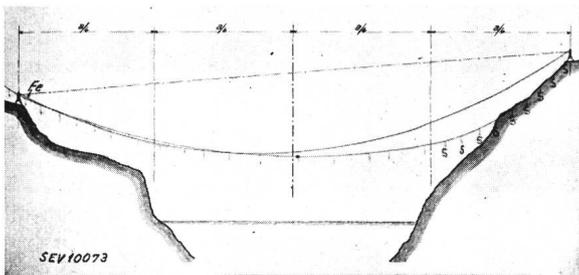


Fig. 5.

Ein Viertel des Leiterseils (rechts) mit 5 kg/m belastet; Erdseil ohne Zusatzlast.

### b) Schnellhöhe-Versuche an einer 1500-m-Spannweite

Die Bewegungsvorgänge des hochschnellenden Modelleiters werden mittels Zeitlupengerät (Aufnahmefrequenz 68 bis 130 Bilder pro Sekunde) gefilmt.

Für eine 1500-m-Spannweite bei einer Höhendifferenz der Aufhängepunkte von 120 m beträgt die Schnellhöhe eines Bronzeseils von 230 mm<sup>2</sup> Querschnitt, das bei 0° C eine Scheitelspannung von 1018 kg/cm<sup>2</sup> besitzt, in der Mitte der Spannweite beim Abfallen einer gleichmässig über das ganze Seil verteilten Zusatzlast von 5 kg/m rd. 9,4 m, und beim Abfallen von 8 kg/m rd. 18,6 m. Wenn dagegen nur die Hälfte der Spannweite mit einer gleichmässig verteilten Zusatzlast behangen und die andere Hälfte frei ist, so ergeben die Modellversuche im Abstand von ca. 1/4 der Spannweite vom tiefer liegenden Abspannmast aus beim Abfallen einer Zusatzlast von

5 kg/m eine Schnellhöhe von 64,5 m

und bei 8 kg/m eine Schnellhöhe von 78 m.

Diese erstaunlich hohen Werte, die auf rechneri-

chem Weg bisher überhaupt nicht ermittelt werden konnten, deuten darauf hin, dass die Leiter beim Hochschnellen und bei gleichzeitigem Seitenwind mit den Erdseilen, die sich im vorliegenden Fall bis 40 m über den Leitern befinden, zusammenschlagen können.

### c) Weitere Modellversuche.

In Fig. 6 ist eine Spannweite einer durch die Motor-Columbus A.-G., Baden, in Vorschlag gebrachten und projektierten einpoligen 500-kV-Gleichstromleitung neuester Bauart dargestellt.

Die Abspannstrecke von 1600 m, die im Modell im Maßstab 1 : 314 abgebildet ist, wird durch 4 Pendeltragmaste in A-Form unterteilt, die einen Mastabstand von je 400 m aufweisen. Die Mastspitzen sind durch ein Erdseil (200 mm<sup>2</sup> Stahl) miteinander verbunden. Der Leiter besteht aus 600 mm<sup>2</sup> Cu-Seil, ist an den Tragmasten mittels Hängeketten befestigt und ausserdem zwischen den Masten mit Isolatorenketten am Erdseil aufgehängt, so dass das Erdseil gleichzeitig als Tragseil für den Leiter dient. Diese Anordnung erlaubt, die Spannweiten des Leiters auf die Hälfte, also



Fig. 6.

Modell einer Katenarleitung mit Pendelmasten (400 m Spannweite).

rd. 200 m und weniger und seinen Durchhang auf rd. 1/4 und weniger herunterzubringen. Die Pendelmaste sind gelenkig auf den Fundamenten befestigt, so dass sie auch bei ungleichmässig verteilter Zusatzlast auf den Leitern keine Biegebbeanspruchung in Leitungsrichtung aufnehmen müssen. Sowohl Mastgewicht als auch Fundamentkosten lassen sich auf diese Weise auf ein Minimum reduzieren.

Die analytische Erfassung von statischen und dynamischen Vorgängen auf solchen Leitungen bietet grosse Schwierigkeiten und ist bis jetzt nur teilweise geglückt. Mast- und Seilbewegungen sowie die Gleichgewichtslagen bei ungleichmässiger Zusatzlastverteilung können dagegen am Modell bei Beachtung der korrekten Übertragungsmassstäbe für die Längen, Kräfte und Zeiten in zweckmässiger Weise untersucht werden, was die zuverlässigen Unterlagen für die betriebssichere Konstruktion solcher Leitungen liefert.

Zum Schluss sei noch auf einen Modellversuch hingewiesen, der zum Zweck hat, die Schlagbiegebbeanspruchungen abzuklären, denen Abspannisolatorenketten beim Auftreffen von Transversalwellen ausgesetzt sein können. Die beim Abfallen von Zusatzlasten entstehenden Seilwellen laufen auf den Abspannketten auf und werden dort reflektiert. Dadurch werden die Isolatoren ausser auf Zug auch auf Biegung beansprucht. Um über die Grösse der

Beanspruchung einen Begriff zu erhalten, wurde eine Isolatorenkette im Längenmaßstab 1 : 119 dargestellt und als massentreue Abspannkette in einem Modell eingebaut, das einer Spannweite von 585 m entsprach. Die Bewegungen der einzelnen Kettenglieder nach dem Lastabwurf wurden gefilmt. Aus den Zeitlupenaufnahmen konnten der zeitliche Verlauf und die absoluten Grössen der Beschleunigungen ermittelt werden, die die Kette unter der Einwirkung der Seilwellen erfuhr und welche Isolatoren und Klöppel heftigen Schlagbiegebeanspruchungen aussetzten. In Fig. 7 ist die Modellkette mit einem kurzen Leiterstück der 585-m-Spannweite dargestellt.

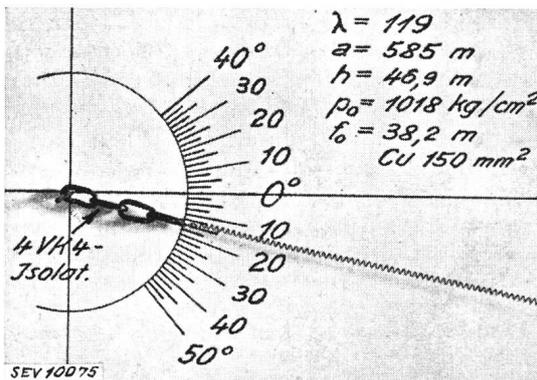


Fig. 7.

Modell einer 4gliedrigen Abspannisolatorenkette mit einem kurzen Modell-Leiterstück.

Einer wirklichen Isolatorenkette konnten mittels sehr kräftiger Federn dieselben Beschleunigungen erteilt werden, die aus den Modellversuchen ermittelt worden sind. Auf diese Weise ist es möglich, festzustellen, ob die Isolatoren bei den Verhältnissen, die sich im ungünstigsten Fall in der Natur bieten, zu Bruch gehen oder ob sie den zufolge der Peitschenschläge auftretenden Schlagbiegebeanspruchungen gewachsen sind.

#### d) Messgenauigkeit.

Die Modellversuche bestätigen, dass die statischen Messungen auf  $\frac{1}{10}$  mm und die dynamischen Messungen aus dem Film auf mindestens 1 mm genau durchgeführt werden können. In der Hauptausführung entspricht dies bei einem Modellmaßstab von 1 : 300 einer grössten Ungenauigkeit von 3 cm für die statischen und 30 cm für die dynamischen Vorgänge.

Aus diesem Ergebnis kann der Schluss gezogen werden, dass Messungen am Modell für die praktischen Bedürfnisse des Leitungsbaues genügend genaue Resultate ergeben, die an Genauigkeit den üblichen Näherungsberechnungen ebenbürtig, in vielen Fällen sogar sehr beträchtlich überlegen sind. Es mag auch noch darauf hingewiesen sein,

dass der Zeitbedarf für die Durchführung von Untersuchungen an vorhandenen Modellen unvergleichlich viel kleiner ist, als der Arbeitsaufwand für die rechnerische Erfassung eines Leitungsbauproblems.

#### 5. Zusammenfassung.

Es ist bekannt, dass zahlreiche statische und dynamische Vorgänge auf Freileitungen rechnerisch nur annäherungsweise oder überhaupt nicht erfasst werden können. Auf vielen Gebieten der Technik hat sich die Durchführung von Modellversuchen zur Abklärung nicht erfassbarer Vorgänge als ausserordentlich wertvoll erwiesen. Auf Grund der Gesetze der Aehnlichkeitsmechanik werden die Modellgesetze erläutert, die erfüllt sein müssen, wenn sich ein Modell einer Freileitung mechanisch (dynamisch) ähnlich verhalten soll, wie die Hauptausführung. Die Modellgesetze sind gültig für den Fall, dass die statischen und dynamischen Vorgänge im wesentlichen durch die Schwerkraft und die elastischen Kräfte bedingt sind. Diese Forderung ist bei den allermeisten Leitungsbauproblemen erfüllt.

Die Schlussfolgerungen aus den Modellgesetzen führen dazu, Freileitungsmodelle aus Spiralfedern oder einem kombinierten elastischen Material herzustellen. Dabei ist man in der freien Wahl des Modellmaßstabes von irgendwelchen Materialkonstanten weitgehend unabhängig.

Modellversuche beweisen, dass die aufgestellte Modelltheorie durchaus brauchbar ist. Es werden Versuchsanordnungen beschrieben, welche das grosse Anwendungsgebiet der Freileitungsmodelle illustrieren. Diese bilden ein wertvolles Werkzeug in der Hand des Leitungsbauers, welches ihm gestattet, bis jetzt unlösbare Probleme im Interesse der Betriebssicherheit und Wirtschaftlichkeit der Uebertragungsanlage mit grosser Genauigkeit innert kürzester Zeit zu lösen. Die Modelle sind auch dazu berufen, die zeitraubenden und umständlichen Näherungsberechnungen aus dem Gebiete des Leitungsbaues weitgehend zu verdrängen, da sie die gewünschten Resultate bei kleinem Zeitaufwand mit einer Genauigkeit liefern, welche mit den üblichen Rechnungsmethoden kaum erreicht wird.

Für die Besitzer von Leitungen bilden die Modelle ein Hilfsmittel, mit welchem gefährdete Leitungsstrecken abgebildet und Störungsursachen durch entsprechende Versuche festgestellt werden können. Auf diese Weise lassen sich die Unterlagen für die Elimination von Störungsherden beschaffen.

Die skizzierte Methode der Modelldarstellung lässt sich natürlich auf alle Bauten und Anlagen mit gespannten Drähten und Seilen anwenden. Sie wird sich daher auch für die Nachbildung von statischen und dynamischen Erscheinungen auf Seilbahnen, Hängebrücken, Ankerseilen usw. als nützlich und wertvoll erweisen.