

<b>Zeitschrift:</b>	Schweizerische Bauzeitung
<b>Herausgeber:</b>	Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
<b>Band:</b>	87/88 (1926)
<b>Heft:</b>	26
<b>Artikel:</b>	Mechano-statische Untersuchungen hochgradig statisch unbestimmter Tragsysteme
<b>Autor:</b>	Hofacker, Karl
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-40908">https://doi.org/10.5169/seals-40908</a>

### **Nutzungsbedingungen**

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

### **Conditions d'utilisation**

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

### **Terms of use**

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

**Download PDF:** 16.01.2026

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

INHALT: Mechano-statische Untersuchungen hochgradig statisch unbestimmter Tragsysteme. — Legierter Aluminiumdraht „Drahtlegierung 3“ als Ersatz für Rein-aluminium- und Stahlaluminium-Freileitungen. — Zweiter Bahnhof-Wettbewerb Genf-Cornavin. — Von der Rhätischen Bahn. — Miscellanea: Das Verhältnis zwischen Strassen- und Eisenbahnverkehr. Die Verbreitung der Automobile in der Schweiz.

Schweizerische Naturforschende Gesellschaft. Résultats des essais effectués sur les groupes électrogènes de l'usine de Chancy-Pougy. — Nekrologie: Ulrich Jenne, Joh. Barbieri. — Konkurrenzen. — Literatur. — S. T. S.

Dieser Nummer ist das Inhalts-Verzeichnis des Bandes 87 beigelegt.

Band 87. Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet. Nr. 26

## Mechano-statische Untersuchungen hochgradig statisch unbestimmter Tragsysteme.

Von Ing. KARL HOFACKER, Luzern.

(Schluss von Seite 212)

### IV. Das Verfahren von Ing. Otto Gottschalk.

Als neueste bekannt gewordene Methode zur mechanischen Berechnung statisch unbestimmter Tragwerke ist die von Ing. Otto Gottschalk in Buenos Aires zu nennen. Mit Hilfe der Apparatur „Continostat Gottschalk“ lässt sich das zu untersuchende Tragwerk nachbilden und hiernach deformieren. Der grundsätzliche Unterschied dieser Methode gegenüber der letztgenannten Methode Rieckhof ist der, dass hier das Tragwerk so deformiert wird, dass für die zu bestimmende Grösse die Einflusslinie erscheint. Die in der Baustatik grundlegenden Sätze von Maxwell und von Betty:

$$\Sigma P_m d_{mn}' = \Sigma P_n d_{nm}'$$

worin  $d_{mn}' = \Sigma P_n d_{mn}$  die Verschiebung des Angriffspunktes  $m$  der Kraft  $P_m$  in ihrer Richtung  $n'$  infolge aller Lasten  $P_n$  und  $d_{nm}' = P_m d_{nm}$  die Verschiebung des Angriffspunktes  $n$  der Kraft  $P_n$  in ihrer Richtung  $n'$  infolge aller Lasten  $P_m$  bedeuten, bilden die Grundlage zur Auswertung der durch die Modellversuche gewonnenen Ergebnisse. An Hand von vielen Beispielen illustriert Ing. Gottschalk sein Verfahren in Nr. 8 der „Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure“ vom 20. Februar 1926. Betreffend Photographien der Apparatur möge auf jene Zeitschrift verwiesen werden. Eine kurze Beschreibung davon genügt für die folgenden Erläuterungen an Hand von Beispielen.

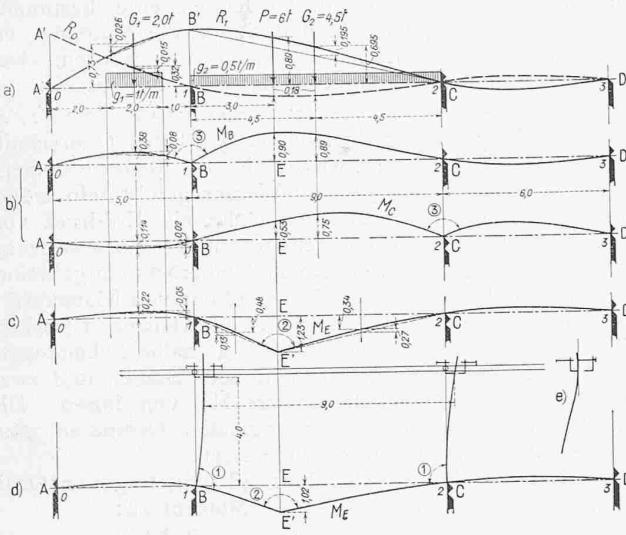


Abb. 43.

Ein kräftiger und glatter Metallstab dient als Gleitschiene für Schieber, die neben der Gleitmöglichkeit im Längssinne des Stabes auch eine solche senkrecht dazu besitzen. An den Spitzen dieser Schieber sind Klauen zur Fixierung von Stahlbändern angebracht, welch letztere in verschiedener Länge und Dicke die Steifigkeitsverhältnisse des zu untersuchenden Tragwerkes nachzubilden gestatten. Es ist auch möglich, mit Hilfe von kürzern Stahlband-Stückchen variable Trägheitsmomente zu erzeugen. Weitere, mit Klemmen versehene Gleitstäbe gestatten eine beinahe reibungslose, gesicherte relative Bewegung einzelner Modellteile, wie z. B. in Rahmenkonstruktionen die Verschiebung der Riegel gegenüber den Ständerfüßen. Zur Nachbildung gebrochener Stabzüge wie auch zur gegenseitigen Befesti-

gung der Stäbe bei Darstellung der Einflusslinien für Biegungsmomente dienen Winkelklammern in vier verschiedenen Ausführungen als Klammer 1 für rechtwinklige Verbindung, Klammer 2 für Biegungsmomente im Felde, Klammer 3 für halbe Biegungsmomente über den Stützen von geradlinigen, durchlaufenden Balken, und Klammer 4 für halbe Eckmomente unter rechtem Winkel sich schneidender Stäbe.

Beispiel 1. Der in Abbildung 43 dargestellte, durchlaufende Balken mit konstantem Trägheitsmoment über drei Öffnungen von 5 m, 9 m und 6 m Stützweiten sei belastet durch die Streckenlast  $g_1 = 1 \text{ t/m}$  im ersten Felde auf eine Länge von 2 m, durch die totale, gleichmässig verteilte Last  $g_2 = 0,5 \text{ t/m}$  und durch die Einzellast  $P$  im zweiten Felde. Gesucht sind: a) die Auflagerdrücke der beiden ersten Stützen  $R_0$  und  $R_1$ , b) die Momente der Mittelstützen  $B$  und  $C$ , und c) das Feldmoment unter der Einzellast.

Zu a). In einem geeigneten Maßstab wird das Trägernetz gezeichnet und darüber das Gerät so zusammengestellt, dass in jeder Auflagerlinie die Axe eines Schiebers zu liegen kommt. Durch die Klauen der Schieber steckt man das Stahlband, das den durchlaufenden Balken darstellt. Wird nun der Schieber  $A$  um ein beliebiges Mass (etwa  $1/6$  bis  $1/8$  der Stützweite) hinauf oder hinunter geschraubt, so stellt das Stahlband die Einflusslinie des ersten Stützdruckes  $R_0$  (gestrichelte Linie) dar. Bekanntlich ist die Ordinate dieser Einflusslinie unter  $A$  gleich der Einheit, weshalb alle Ordinaten durch die frei gewählte Strecke  $AA'$  zu dividieren sind. Mit den in Abbildung 43 a eingeschriebenen Ordinaten beträgt:

$$R_0 = 2 \left( 0,32 - \frac{2 \cdot 0,015}{3} \right) - 4,5 - \frac{2 \cdot 0,18}{3} - 6 \cdot 0,18 = 1 \text{ t}$$

Das soeben Gesagte gilt in analoger Weise für die Berechnung des Stützdruckes  $R_1$  in  $B$ . Der Schieber  $B$  um ein beliebiges Mass verschoben, ergibt die ausgezogene Einflusslinie für  $R_1$  und daraus den Wert:

$$R_1 = G_1 \left( 0,73 - \frac{0,026}{3} \right) + G_2 \left( 0,695 - \frac{0,195}{3} \right) + P \cdot 0,89$$

$$R_1 = 2 \cdot 0,72 + 4,5 \cdot 0,63 + 6 \cdot 0,89 = 9,62 \text{ t.}$$

Zu b) (Abbildung 43 b). Zwei gleiche Stahlbänder werden durch eine Klammer 3 (halbes Stützenmoment) verbunden und mit Hilfe des Schiebers in  $B$  in Höhe der Balkenaxe geschoben; es entsteht die Einflusslinie für das halbe Stützenmoment, sodass die Ordinaten, die im Maßstab der Zeichnung abgelesen werden, mit 2 zu multiplizieren sind. Analog wird die Einflusslinie für das Stützenmoment in  $C$  erhalten. In allen diesen Rechnungen werden bei verteilten Lasten die entsprechend zu belastenden Teile der Einflussflächen aufgefasst als Trapeze und Parabel-Abschnitte.

$$- M_B = 2 \left( 0,38 - \frac{0,08}{3} \right) + 4,5 \cdot 2/3 \cdot 0,89 + 6 \cdot 0,9 = 8,78 \text{ mt}$$

$$- M_C = - 2 \left( 0,114 - \frac{0,02}{3} \right) + 4,5 \cdot 2/3 \cdot 0,75 + 6 \cdot 0,53 = 5,24 \text{ mt}$$

Zu c) (Abbildung 43 c). Eine Klammer 2 verbindet zwei gleiche Stahlbänder, die durch die Auflagerpunkte geschoben werden, bis der Scheitel der Klammer unter die Last  $P$  zu liegen kommt. Das so deformierte Stahlband gibt die Einflusslinie des Feldmomentes  $M_E$  wieder, deren Ordinaten im Längenmaßstab der Zeichnung zu messen



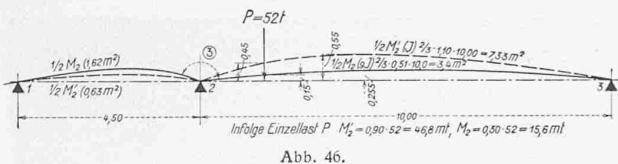


Abb. 46.

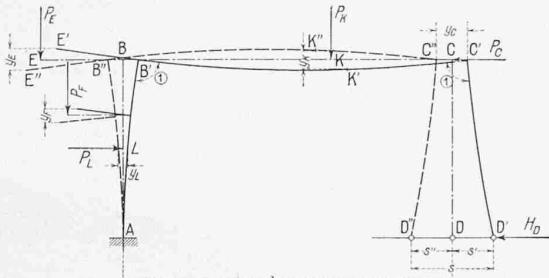


Abb. 47.

stehend, nicht wiedergegeben. Das Hilfsmittel des Experimentes wird sicherlich in hohem Masse berufen sein, die durch die weitere Entwicklung unserer neuen Konstruktionen, hauptsächlich auf dem Gebiete des Eisenbetonbaues mit den mannigfachen Ausführungsmöglichkeiten, bedingten schwierigeren statischen Problemen in einfacher und sicherer Weise zu lösen, sei es zum Studium günstiger Verhältnisse

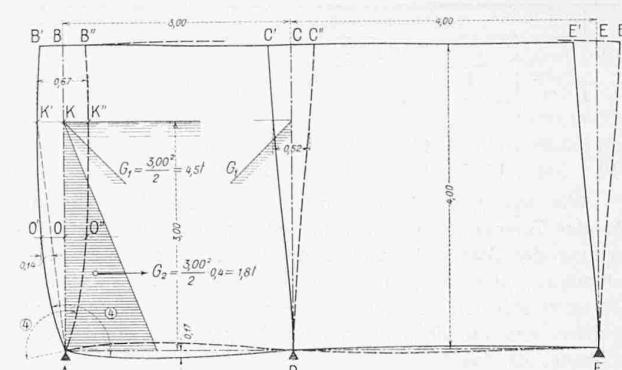


Abb. 48.

bei Vorentwürfen, sei es zur raschen Erledigung einer Aufgabe, für die eine Behandlung durch Zeichnung oder Rechnung zu zeitraubend wäre.

Trotz der sehr grossen Vorteile aller dieser experimentellen Methoden ist indessen doch nicht daran zu denken, im Studiengange eines Statikers die theoretischen Methoden abzubauen, denn ohne die sichere Grundlage eines eingehenden Baustatik-Studiums mit anschliessender Praxis dürften mechanische Verfahren zur Lösung vielfach statisch-unbestimmter Systeme Gefahren in sich schliessen, die nicht von der Hand zu weisen sind.

### Legierter Aluminiumdraht „Drahtlegierung 3“ als Ersatz für Reinaluminium- und Stahlaluminium-Freileitungen.

Mitgeteilt von der Aluminium-Industrie A.-G. Neuhausen (Schweiz).

Im Leitungsbau werden, je nach Art der zur Uebertragung bestimmten Energie, entweder Leiter mit hoher Leitfähigkeit bei geringerer Bruchfestigkeit, oder solche von höherer Bruchfestigkeit verwendet, bei denen eine kleine Einbusse an Leitfähigkeit in Kauf genommen wird. Es ist eine Eigentümlichkeit aller Metalle und Metallegierungen, die bisher als Leitermaterial Verwendung fanden, dass ihre Leitfähigkeit mit zunehmender Bruchfestigkeit abnimmt. Der Leitungsbau findet sich mit dieser Tatsache ab, denn er benötigt oft erhöhte Festigkeit, um sich den Anforderungen des Geländes anpassen zu können. Lange Zeit hat man sich im Leitungsbau fast ausschliesslich mit Kupfer und Kupferlegierungen beholfen. Bei Kupferlegierungen steht aber ihr Gewicht und damit ihr Durchhang in einem ungünstigen Verhältnis zu ihrer Bruchfestigkeit. Dies geht besonders deutlich aus einem Vergleich der Reisslängen hervor, d. h. derjenigen Seillängen, deren Eigengewicht bei einseitiger vertikaler Aufhängung den Bruch des Seiles an der höchstbeanspruchten Stelle herbeiführen würde. Diese Reisslängen sind aus nachstehender Tabelle ersichtlich, die auch die Leitfähigkeiten, die Querschnitte gleicher Leitfähigkeit, die Metergewichte, die Zugfestigkeiten und die absoluten Seilfestigkeiten bei Querschnitten gleicher Leitfähigkeit enthält. Es ist daraus zu ersehen, dass das Kupfer trotz der bedeutend höhern Leitfähigkeit und Festigkeit infolge seines hohen spezifischen Gewichtes eine bedeutend kleinere Reisslänge aufweist als Aluminium und Stahlaluminium. Kupferleitungen erfordern einen grösseren Durchhang, was zusammen mit ihrem höhern Gewicht höhere und stärkere und daher teurere Maste bedingt. Aluminiumleitungs-Anlagen stellen sich aus diesem Grunde billiger als Kupferleitungen. Man wird deshalb immer, namentlich auch im Fernleitungsbau, zu Aluminiumleitern greifen, nachdem diese technisch zuverlässig hergestellt werden können.

Material	Cu	Al 99,3	Stahl-Al 100 : 23,3 <sup>1)</sup>
Leitfähigkeit m bei 20° C	57	34	27,6 <sup>2)</sup>
Querschnitt gleicher Leitfähigkeit mm <sup>2</sup>	100	167	207
Metergewicht g	895	450	760
Zugfestigkeit kg/mm <sup>2</sup>	42	18	37,3
Absol. Seilfestigkeit kg	4200	3000	7700
Reisslänge m	4700	6660	10 170

<sup>1)</sup> Querschnittsverhältnis. <sup>2)</sup> Leitfähigkeit der Reinaluminiumdrähte bezogen auf den Gesamtquerschnitt Al + Stahl.

Die Weiterentwicklung auf dem Gebiete der Kraftübertragung führte zur Umwandlung der Hochspannungsleitungen in Höchstspannungsleitungen mit grossen Spannweiten. Hier trat der Vorzug des Aluminiums gegenüber dem Kupfer noch deutlicher in Erscheinung, da bei Höchstspannungen zu den Energieverlusten, die durch den Leitungswiderstand bedingt sind, sich noch solche durch Strahlung (Coronaverluste) summieren. Den Strahlungsverlusten wird in erster Linie durch Vergrösserung der Leiterabstände entgegengewirkt, wo eine solche Vergrösserung aber nicht mehr zweckmässig erscheint, muss — um die Strahlungsverluste auf ein Minimum herabzusetzen — der Durchmesser des Stromleiters vergrössert werden. Dadurch wirkt man auch günstig auf den induktiven Spannungsabfall ein. Eine Verstärkung der schweren Kupferleiter würde, des grossen Zuges halber, schwere Aspannmaste bedingen. Ein leichteres Leitermaterial ist deshalb von Vorteil. Bei Fernleitungen spielen aber die Gelände-Verhältnisse immer eine grosse Rolle. Bei langen geraden Strecken erfordert die Verwendung von Reinaluminium infolge der geringen Festigkeit und des dadurch bedingten grösseren Durchhangs höhere und teurere Maste, wodurch ihre Wirtschaftlichkeit beeinträchtigt wird. Diesen Uebelstand hat man dadurch zu überwinden gesucht, dass man Aluminiumseile mit einer Stahldrahtseile herstellt, wobei die Aluminiumdrähte als leitendes, die Stahlseile als tragendes Element dienen. Der Vorteil höherer Festigkeit wird aber bei solchem Stahl-Aluminium-Seil durch eine Reihe von Nachteilen erkauft. So wird ihr Gewicht erhöht und ihre Leitfähigkeit, auf den Gesamtquerschnitt bezogen, stark erniedrigt. Infolge ihrer Steifheit sind sie schwer zu verlegen und die Verbindung zweier Seilstücke erfordert komplizierte Konstruktionen. Die Gefahr von Korrosionen wird auch durch die übliche Verzinkung der Stahldrähte nicht vollständig behoben. Die grossen Unterschiede in der Wärmeausdehnung von Stahl und Aluminium bedingen ein fortwährendes Arbeiten der Stahl-Aluminium-Seile, wodurch mechanische Defekte auch bei ihnen keineswegs ausgeschlossen sind; überdies sind sie wesentlich teurer als Reinaluminium-Seile von gleicher Leitfähigkeit.

Die Verteilung der Zugspannung auf die Stahlseile und die Reinaluminiumdrähte ist aus umstehender Zusammenstellung ersichtlich. Der Berechnung wurde eine in den letzten Jahren ausgeführte grosse Stahl-Aluminium-Leitung zu Grunde gelegt, bei der ein Seil mit 170 mm<sup>2</sup> Aluminiumquerschnitt und 40 mm<sup>2</sup> Stahlquerschnitt verwendet worden war (Querschnittsverhältnis also 4,25:1).