**Zeitschrift:** IABSE publications = Mémoires AIPC = IVBH Abhandlungen
**Band:** 4 (1936)

**Artikel:** Hängebrücken von vielen Spannweiten mit Versteifungskabeln
**Autor:** Kuester, Ernest
**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-5089

**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:** 01.07.2025

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

# HÄNGEBRÜCKEN VON VIELEN SPANNWEITEN MIT VERSTEIFUNGSKABELN.

## PONTS SUSPENDUES À PLUSIEURS OUVERTURES AVEC CÂBLES RADISSEURS.

## SUSPENSION BRIDGES OF MULTIPLE SPANS WITH STIFFENING CABLES.

Dipl. Ing. ERNEST KUESTER, Warszawa (Polen).

Das Hängetragwerk eignet sich für weitgespannte Straßenbrücken besonders gut und zwar aus folgenden Gründen: Die Verkehrslast dieser Brücken ist verhältnismäßig gering und die zulässige Durchbiegung des Tragwerks unter der Verkehrslast — verhältnismäßig groß.

Bei sehr langen Spannweiten ist das Hängetragwerk auch für Eisenbahnbrücken vorteilhaft.

Wir sprechen hier von reinen Hängebrücken, d. h. von solchen, die keinen Druckgurt besitzen, bei denen also die Kette einen horizontalen Schub auf die Endwiderlager ausübt.

Eine Hängebrücke besteht in der Hauptsache aus folgenden Elementen (Fig. 1):

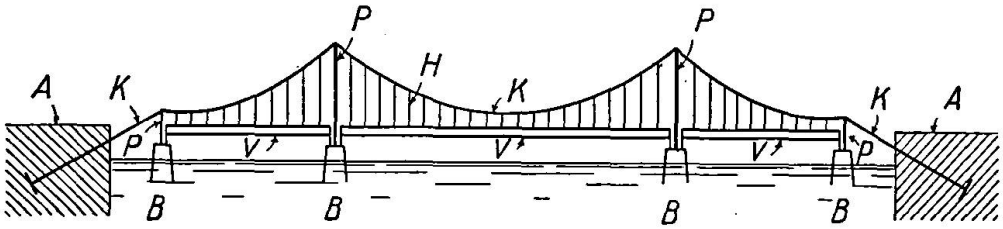


Fig. 1.

Der Zuggurt *K*, den wir Kette nennen wollen, obwohl er als Kette oder als Kabel ausgebildet werden kann. Die Kette ruht auf den Pylonen *P*, welche entweder oben bewegliche Auflager für die Kette besitzen, oder aber unten mit Gelenken versehen sind. Jedenfalls leisten die Pylonen gegen ein seitliches Verschieben der Kette keinen Widerstand. Die Pylonen ruhen auf Pfeilern *B*, die, abgesehen vom Wind, nur vertikal belastet sind. Die Kette ist an den Enden in den Widerlagern *A* verankert. An der Kette sind vermittels der Hänger *H* die Versteifungsträger *V* angehängt. Die Versteifungsträger tragen die Fahrbahn. Sie sind gewöhnlich freiaufliegend an beiden Enden jeder Spannweite, können aber auch durchlaufend ausgebildet werden.

Die Versteifungsträger gehören nicht zu den wesentlichen Teilen der Brücke, da sie für die Standsicherheit der Brücke nicht notwendig sind. Die Versteifungsträger können stärker oder schwächer ausgebildet werden, können sogar ganz wegfallen — die Sicherheit der Brücke leidet darunter nicht. Aller-

dings je schwächer die Versteifungsträger sind, um so größer sind die Durchbiegungen unter der Verkehrslast, um so geringer also die Steifigkeit der Brücke. Die Versteifungsträger dienen also der Bequemlichkeit der Passanten: Zu schwache Versteifungsträger machen das Befahren der Brücke unangenehm. Zu steife Träger dagegen vergrößern unnütz die Kosten der Brücke. Es ist deshalb wichtig, beim Projektieren das richtige Maß für die Steifigkeit der Versteifungsträger zu finden. Im allgemeinen werden in Europa zu große Anforderungen an die Steifigkeit der Straßenbrücken gestellt. In Amerika werden viel größere Durchbiegungen erlaubt. So z. B. besitzt die prächtige Brücke über den Delaware in Philadelphia eine theoretische Durchbiegung von 2,60 m in der mittleren Spannweite von 533 m. Das Verhältnis ist also: $\frac{533}{2{,}60} = 205$. Diese Durchbiegung ist nur ein theoretisches Ergebnis für den Fall der Belastung der Mittelöffnung bei unbelasteten Seitenöffnungen; ferner ist berücksichtigt ein Maximum der Temperaturänderung, ein Fall, der praktisch wohl nie vorkommen wird. Aber selbst, wenn so ein Fall eintreten sollte, so ist zu bedenken, daß die vielen Hunderte von Autos, die dabei die Hauptöffnung füllen müssen, nicht in ein paar Sekunden oder ein paar Minuten dahin kommen können, wie das wohl der Fall sein könnte, wenn die Nutzlast aus einem oder zwei Eisenbahnzügen bestehen würde. Noch viel langsamer wird die Temperatur ihr Maximum erreichen. Somit kann die Durchbiegung von 2,60 m nur allmählich erreicht werden und wird von dem einzelnen Passanten kaum gespürt werden. Der Passant spürt die Durchbiegung selbst überhaupt nicht, sondern nur die Geschwindigkeit, mit der die Durchbiegung sich ändert.

Da die Versteifungsträger für die Sicherheit der Brücke nicht notwendig sind, ist es ganz richtig, die zulässigen Beanspruchungen in ihnen viel höher zu setzen als für die anderen, wesentlichen Teile der Brücke. Mit Recht werden in Amerika die zulässigen Beanspruchungen in den Versteifungsträgern etwa um 25 % höher angenommen als für die übrigen Teile der Brücke, und erreichen etwa $^3/_4$ der Proportionalitätsgrenze. Bei hochwertigem Stahl, der fast ausschließlich für Versteifungsträger benutzt wird, erhält man zulässige Beanspruchungen von ca. 2100 kg/cm² für Siliciumstahl und ca. 2700 kg/cm² für Nickelstahl. So hohe Beanspruchungen können nur dann ausgenutzt werden, wenn die in Amerika üblichen großen Durchbiegungen zulässig sind.

Aus wirtschaftlichen Gründen wäre es sehr angebracht, daß wir Europäer unsere Anschauungen über die zulässigen Durchbiegungen der Straßenbrücken einer Revision unterziehen würden. Die guten Erfahrungen, die man mit so zahlreichen Hängebrücken mit schwachen Versteifungsträgern in Amerika gemacht hat, sollte man dabei ausnützen.

Die amerikanischen Ingenieure haben die Frage der zulässigen Durchbiegung sehr einfach gelöst. Sie meinen: Falls Versteifungsträger benutzt werden — und ohne solche werden jetzt keine Hängebrücken mehr gebaut — so ist die Durchbiegung bereits genügend eingeschränkt durch die zulässigen Beanspruchungen in den Versteifungsträgern, wenn diese Beanspruchungen auch noch so hoch sind.

Wollte man trotzdem die Durchbiegung noch durch eine gewisse Grenze einschränken, so wäre des Verfassers Vorschlag, daß die Durchbiegung nicht für theoretische Belastungsfälle, sondern für einen solchen Fall, der faktisch auftreten und dabei schnell von null bis zu seiner vollen Wirkung anwachsen kann, berechnet wird. Also sagen wir: 3 dicht hintereinander fahrende Autos auf jeder der Fahrbahnen, in die die gesamte Brückenbreite aufgeteilt werden

kann. Belastung der Fußwege und Änderungen der Temperatur sollten außer acht gelassen werden, da sie zu langsam in Wirkung treten können. Für eine solche Belastung wird als zulässige Durchbiegung etwa 1/400 der Spannweite in Vorschlag gebracht. Es ist ja nicht zu vergessen, daß es sich im schlimmsten Fall nur um vorübergehende kleine Unbequemlichkeiten für die Passanten handelt.

Vorausgesetzt, daß eine Hängebrücke richtig projektiert ist, unter Zulassung hoher Spannungen in den Versteifungsträgern, so ist sie bei längeren Spannweiten anderen Brückenarten wirtschaftlich und auch ästhetisch überlegen.

Nun sind aber bis jetzt Hängebrücken fast ausschließlich nur dort gebaut worden, wo nur eine große Spannweite verlangt wurde. Die übliche Hängebrücke, siehe Fig. 1, besteht aus einer Hauptöffnung und zwei viel kleineren Seitenöffnungen.

Fig. 2.

Wo nun eine größere Strombreite zu überbrücken ist, müßte, wollte man die gewöhnliche Hängebrücke benutzen, eine besonders lange Spannweite angewandt werden. Wo die Wassertiefe sehr groß ist, ist diese Lösung das Gegebene. Wo aber Zwischenpfeiler möglich sind, ist eine übermäßige Vergrößerung der Spannweite mit unnützer Vergrößerung der Baukosten verbunden. Will man trotzdem die Vorteile der Hängebrücken behalten, so muß man Hängebrücken von vielen Spannweiten anwenden (Fig. 2).

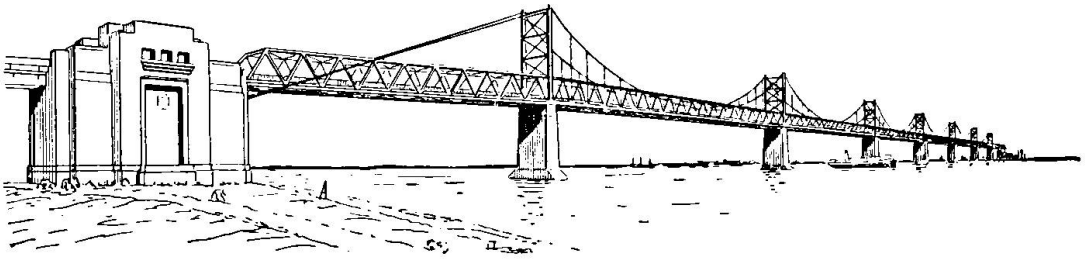

Fig. 3.

Hängebrücken von vielen Spannweiten verlangen besondere Maßnahmen zur Erzielung genügender Steifigkeit. Sind keine besonderen Maßnahmen getroffen, so bewirkt die Verkehrslast, wenn sie nur eine Öffnung belastet, ein Heben der Kette in allen übrigen Öffnungen und dadurch ein besonders starkes Herabsinken der Kette in der belasteten Öffnung, also eine große Durchbiegung der belasteten Spannweite.

Als Gegenmaßnahmen sind möglich:

Erstens: Besonders starke Versteifungsträger. Solche Versteifungsträger verteuern wesentlich die Brücke und wirken unschön. Fig. 3 zeigt einen Vorschlag, der vor ein paar Jahren für eine Brücke über die Humber-Bucht bei Barton in England gemacht wurde. Wie zu sehen ist, wirken die Versteifungsträger so mächtig, daß man sich unwillkürlich fragt: Wozu ist das Kabel nötig — die Träger tragen doch sicher ohne jede Hilfe die Last?

Zweitens: Es können die Pylonen als besonders feste, gelenklose Türme mit fest an sie angeschlossener Kette ausgebaut werden. Die Türme, damit sie die Verschiebungen der Kette genügend verhindern können, müssen sehr stark und daher kostspielig sein. Nur scheinen die Türme dieser Brücke zu schwach gewesen zu sein: Die Brücke genügte dem neuzeitlichen Verkehr nicht und mußte abgetragen werden.

Drittens: Die Gesamtlänge der Brücke kann in einzelne gewöhnliche Hängebrücken aufgeteilt werden. Zwischen die einzelnen Hängebrücken sind Widerlager einzubauen, die den horizontalen Schub der beiden angeschlossenen Tragwerke, soweit sich dieser Schub nicht gegenseitig aufhebt, aufzunehmen haben.

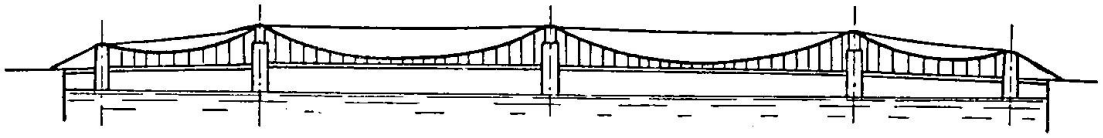

Fig. 4.

Viertens: Die Brücke kann versteift werden durch zusätzliche Versteifungskabel, die die Pylonenspitzen verbinden (Fig. 4). Die Kette wie die Versteifungskabel müssen an die Pylonen oder an gemeinsame Auflagerschuhe angeschlossen werden, damit an diesen Stellen horizontale Kräfte von der Kette in die Versteifungskabel oder umgekehrt herübergehen können. Diese Versteifungsart ist sowohl in wirtschaftlicher, wie in technischer und ästhetischer Hinsicht den übrigen Möglichkeiten weit überlegen.

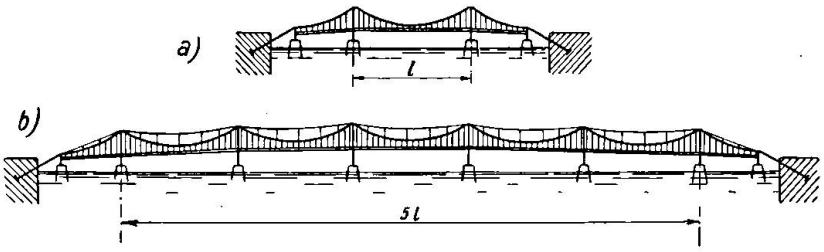


Fig. 5.

Fig. 7 zeigt eine solche Brücke über die Loire in Frankreich.

Brücken dieser Art sollen in dieser Schrift näher behandelt werden.

Die Idee, die Versteifungskabel zu benutzen, ist nicht neu. Sie ist im Jahre 1835 in Frankreich patentiert worden. Sie ist aber anscheinend bald darauf in Vergessenheit geraten und erst 1927 in Frankreich über die Loire bei Montjean benutzt worden. Seit dieser Zeit ist sie noch ein paarmal in Frankreich und einmal von französischen Ingenieuren in Mesopotamien mit Erfolg angewandt worden.

Die Versteifungskabel dienen nur zum Ausbalancieren von ungleichmäßig verteilter Verkehrslast. Ebenso wie die Versteifungsträger, haben die Versteifungskabel nichts mit der Standsicherheit der Brücke zu tun und können daher auch höher beansprucht werden als etwa die Hauptkabel.

Ob wir nun eine Spannweite von der Länge $l$ (Fig. 5 a) oder viele Spannweiten jede von der Länge $l$ (Fig. 5 b), haben, die Verankerungen sind fast dieselben.

Während nun bei einer gewöhnlichen Hängebrücke mit nur einer Hauptöffnung die Kosten der Verankerungen einen wesentlichen Teil der Gesamt-

kosten der Brücke ausmachen, sind dieselben Kosten der Verankerungen bei einer vielfach längeren Brücke von vielen Spannweiten nur ein kleiner Teil der Gesamtkosten. Aus diesem Grunde sind Hängebrücken von vielen Spannweiten mit Versteifungskabeln schon bei recht kleinen Öffnungen wirtschaftlich, während die gewöhnlichen Hängebrücken mit nur einer Hauptöffnung erst bei recht langen Spannweiten mit anderen Brückenarten in wirtschaftlichen Wettbewerb treten können.

| Nº | | *δ | l/δ |
|---|---|---|---|
| 1 | Ideale Verhältnisse: keine Seitenöffnungen<br>Cas idéal: aucune ouverture latéral<br>Ideal case: no side spans | 0.28 | 870 |
| 2 | Versteifungskabel ideal gerade<br>Câble de renforcement droit dans le cas idéal<br>Ideal case of straight stiffening cables | 0.71 | 344 |
| 3 | Zwei Hauptspannweiten<br>Deux ouvertures principales<br>Two main spans | 0.88 | 277 |
| 4 | Vier Hauptspannweiten<br>Quatre ouvertures principales<br>Four main spans | 1.04 | 235 |
| 5 | Zwanzig Hauptspannweiten<br>Vingt ouvertures principales<br>Twenty main spans | 1.16 | 210 |
| 6 | Gewöhnliche Hängebrücke, $J = 0.148\,m^4$ für Haupt- u. Seitenöffnungen<br>Pont suspendu ordinaire, $J = 0.148\,m^4$ pour l'ouverture principale et latérales<br>Usual type of suspension bridge, $J = 0.148\,m^4$ for main and side spans | 1.23 | 198 |
| 7 | Wie 6 nur $J = 0.074\,m^4$ in den Seitenöffnungen<br>Comme 6 mais $J = 0.074\,m^4$ dans les ouvertures latérales<br>Same as for 6 but $J = 0.074\,m^4$ for side spans | 1.70 | 143 |
| 8 | Wie 4 nur ohne Versteifungskabel<br>Comme 4 mais sans câbles de renforcement<br>Same as for 4 bout without stiffening cables | 2.90 | 31 |

*) δ = Durchbiegung in m, berechnet nach der gewöhnlichen Methode
δ = Fléchissement en m, calculé d'après la méthode ordinaire
δ = Deflection in m, calculated acc. to usual method

Fig. 6.

Dies eröffnet den Hängebrücken dieser Art eine große Zukunft: Sie können nicht nur bei großen und größten Spannweiten, sondern auch in den viel zahlreicheren Fällen, wo es sich um kleine Spannweiten handelt, mit anderen Brückenarten in wirtschaftlichen Wettbewerb treten. Als untere Grenze der Spannweitenlänge, wo ein wirtschaftlicher Erfolg erwartet werden kann, ist etwa diejenige Länge zu setzen, wo schon Eisenbetonkonstruktionen in Wettbewerb treten können. Diese Erwägungen hat der Verfasser bei zahlreichen Vergleichskalkulationen bestätigt gefunden. Als Beweis dient auch die Tatsache, daß die französischen Brücken dieser Art kleine Spannweiten unter 100 m Länge besitzen.

Natürlich müssen die Versteifungskabel gut gespannt sein. Bei größeren Spannweiten, wo der Durchhang des Versteifungskabels schon größer wird, schlägt der Verfasser vor, das Versteifungskabel durch einige Hänger an die Kette anzuschließen. Dadurch wird das Varieren des Durchhangs des Versteifungskabels unter veränderlicher Belastung herabgesetzt, und daher die Steifigkeit der Brücke erhöht. Das ideal gerade Versteifungskabel wäre natürlich am besten, ist aber leider nicht ausführbar.

Wie weit die Versteifungskabel die Hängebrücke von vielen Spannweiten versteifen, zeigt die Tabelle in Fig. 6, in der die Ergebnisse von Vergleichsberechnungen zusammengestellt sind.

Es ist die Durchbiegung in der Mitte einer der Hauptspannweiten bei Belastung dieser einen Spannweite mit der Verkehrslast von 670 kg/m für einen Träger in acht verschiedenen Brücken berechnet worden. Alle Hauptspannweiten sind 244 m lang, alle Endspannweiten sind 122 m lang. Die Versteifungsträger haben in den Hauptöffnungen ein Trägheitsmoment von $J = 0{,}148$ m$^4$ und in den Endspannweiten, ausgenommen in Beispiel 7, $J = 0.074$ m$^4$. Das Hauptkabel besitzt in den Endspannweiten einen Querschnitt von $F = 149$ cm$^2$ und einen Durchhang von $f = 28.0$ m und in den Endfeldern $F = 142$ cm$^2$ und $f = 7.0$ m. Die entsprechenden Größen für die Versteifungskabel sind: In den Hauptöffnungen $F' = 66$ cm$^2$ und $f' = 5.50$ m und in den Endfeldern $F' = 61$ cm$^2$ und $f' = 1.375$ m. Der Elastizitätsmodul ist angenommen für alle Kabel (Parallel-Drähte-Kabel) $E = 1900000$ kg/cm$^2$ und für die Versteifungsträger $E = 2050000$ cm$^2$. Die ständige Last, nicht eingerechnet das Versteifungskabel, beträgt pro Träger 2240 kg/m.

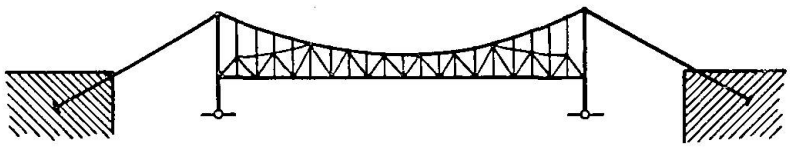

Fig. 7.

Vergleicht man die Beispiele No. 2 und No. 4, so sieht man, daß das idealgerade Versteifungskabel besser wäre als das durchhängende. Vergleicht man die Beispiele No. 3, 4 und 5, so sieht man, daß mit wachsender Zahl der Öffnungen die Steifigkeit der Brücke sich nur wenig vermindert. Etwas stärkere Versteifungskabel für Brücken mit vielen Öffnungen gleichen dies wieder aus. Betrachtet man Beispiel No. 6, so findet man, daß bei einer gewöhnlichen Hängebrücke, selbst wenn sie in den seitlichen Öffnungen $J = 0.148$ m$^4$ und nicht, wie in allen übrigen Beispielen, $J = 0.074$ m$^4$ hat, die Steifigkeit kleiner ist als bei einer Brücke mit Versteifungskabeln, auch wenn diese letztere 20 Hauptöffnungen haben sollte. Noch ungünstiger für die gewöhnliche Hängebrücke sieht der Vergleich aus, wollte man den Seitenöffnungen dasselbe $J = 0.074$ m$^4$ geben (Beispiel No. 7). Die große Durchbiegung in Beispiel No. 8 zeigt, daß eine Hängebrücke von vielen Spannweiten ohne besondere Maßnahmen zur Vergrößerung der Steifigkeit nicht möglich ist.

Es ist interessant, daß bei einem anderen vom Verfasser durchgerechneten Beispiel, die Anwendung von kontinuierlichen Versteifungsträgern, anstatt der frei aufliegenden, die Steifigkeit der Brücke nicht vergrößert hat. Da aber die Berechnung von Hängebrücken mit kontinuierlichen Versteifungsträgern wesentlich mehr Mühe bereitet, ist von der Anwendung solcher Versteifungsträger abzuraten.

Will man die Steifigkeit einer Hängebrücke vergrößern, wie dies für Eisenbahnbrücken wohl nötig sein kann, so kann man dem Versteifungsträger die Form geben, welche zuerst bei der Florianopolis-Brücke in Brasilien von Dr. D. B. Steinmann, New-York, benutzt wurde (Fig. 7).

Ein Teil der Kette wird hier durch den oberen Gurt des Versteifungsträgers ersetzt. Der Versteifungsträger hat verschiedene Höhe und zwar die größte in den Viertelpunkten der Spannweite, wo bekanntlich die größten Biege-

momente auftreten. Die Berechnung von Brücken mit solchen Versteifungsträgern ist umständlicher als bei Parallelgurt-Trägern, da man bei den letzteren mit genügender Genauigkeit ein unveränderliches Trägheitsmoment annehmen kann. Ästhetisch sind die Florianopolis-Versteifungsträger auch weniger befriedigend.

Was die Berechnung von Hängebrücken von vielen Spannweiten mit Versteifungskabeln anbelangt, so ist, wie bei gewöhnlichen Hängebrücken, zwischen zwei verschiedenen Berechnungsmethoden zu unterscheiden: Die gewöhnliche Methode, welche bei der Berechnung alle Abmessungen des Tragwerks als konstant annimmt, und die exakte Methode, welche schon während der Berechnung die auftretenden Durchbiegungen berücksichtigt.

Die exakte Berechnungsmethode weist wesentlich kleinere Momente und Querkräfte in den Versteifungsträgern auf, erlaubt daher wirtschaftlicheres Projektieren und hat sich deshalb, trotz großer Rechenarbeit, die sie erfordert, rasch eingebürgert. So z. B. hat man bei der Brücke in Philadelphia, der ersten nach der exakten Berechnungsmethode projektierten Brücke, 25 % des Gewichts der Versteifungsträger erspart dank Anwendung dieser Methode. Die exakte Methode weist auch kleinere Durchbiegungen auf. Für die Berechnung der Kette, der Pylonen und Verankerungen ist die exakte Berechnungsmethode von geringerer Bedeutung. Bei Hängebrücken mit Versteifungskabeln weist die exakte Methode auch bedeutend kleinere Beanspruchungen dieser Kabel auf.

Die gewöhnliche Berechnungsmethode von Hängebrücken mit Versteifungskabeln ist dieselbe, wie sie für alle statisch unbestimmten Tragwerke üblich ist, z. B. nach Müller-Breslau. Als überzählige, statisch unbestimmbare Größen ist es zweckmäßig, die Horizontalkomponenten der Kräfte in den Versteifungskabeln und in der Kette an einem Endwiderlager zu wählen. So hat man z. B. in der Brücke Fig. 8 a, die in sechs Spannweiten Versteifungskabel aufweist, ein statisch 7-fach unbestimmtes Tragwerk vorhanden.

Bei Aufstellung der Elastizitätsgleichungen werden, wie es bei Berechnung von Hängebrücken üblich ist, die Kräfte in den Pylonen und in den Hängern vernachlässigt, man berücksichtigt also nur die Versteifungsträger, die Kette und die Versteifungskabel. Es zeigt sich, daß in den sieben Gleichungen, die man im gegebenen Fall aufzulösen hätte, nur in einer Gleichung alle sieben Unbekannte, in allen übrigen Gleichungen dagegen nur je zwei Unbekannte vorkommen. Daher bietet die Auflösung dieser Gleichungen, selbst wenn die Zahl der Spannweiten und damit der Unbekannten noch viel größer sein sollte, keine Schwierigkeiten. Die Berechnungen vereinfachen sich noch bedeutend, wenn viele Spannweiten dieselben Abmessungen aufweisen, was stets anzustreben ist.

In Fig. 8 b bis f sind einige charakteristische Einflußlinien für die Brücke Fig. 8 a dargestellt. Diese Brücke besitzt die Abmessungen, wie sie oben für Beispiel 4 in Fig. 6 gegeben sind.

Wie aus Fig. 8 c zu ersehen ist, erzeugt die Belastung der Öffnung 3 einen bedeutenden „Druck" im Versteifungskabel dieser Öffnung, dagegen nur viel kleineren Zug in den Versteifungskabeln der übrigen Öffnungen. Die Temperatursteigerung erzeugt ebenfalls „Druck" im Versteifungskabel. Selbstverständlich kann das Versteifungskabel in Wirklichkeit keinen Druck aufnehmen. Es muß eben bei unbelasteter Brücke und normaler Temperatur so gespannt sein, daß der Druck von der Verkehrslast und von der Temperatursteigerung den ursprünglichen Zug nur vermindert und zwar so, daß noch immer ein Zug nachbleibt. Dieser nachgebliebene kleinste Zug muß noch groß genug sein, um den Durchhang vom Eigengewicht des Versteifungskabels nicht größer zu machen als derjenige, welcher im Projekt angenommen ist. In anderen Worten: Der

kleinste Zug im Versteifungskabel soll groß genug sein, um die Hänger, welche dieses Kabel mit der Kette verbinden, noch in Spannung zu halten. Interessant ist, zu bemerken in Fig. 8 d, daß die Belastung der Öffnung 3 in der Kette dieser Öffnung wohl einen großen Zug erzeugt, aber in der Kette der übrigen Öffnungen einen kleinen Druck verursacht.

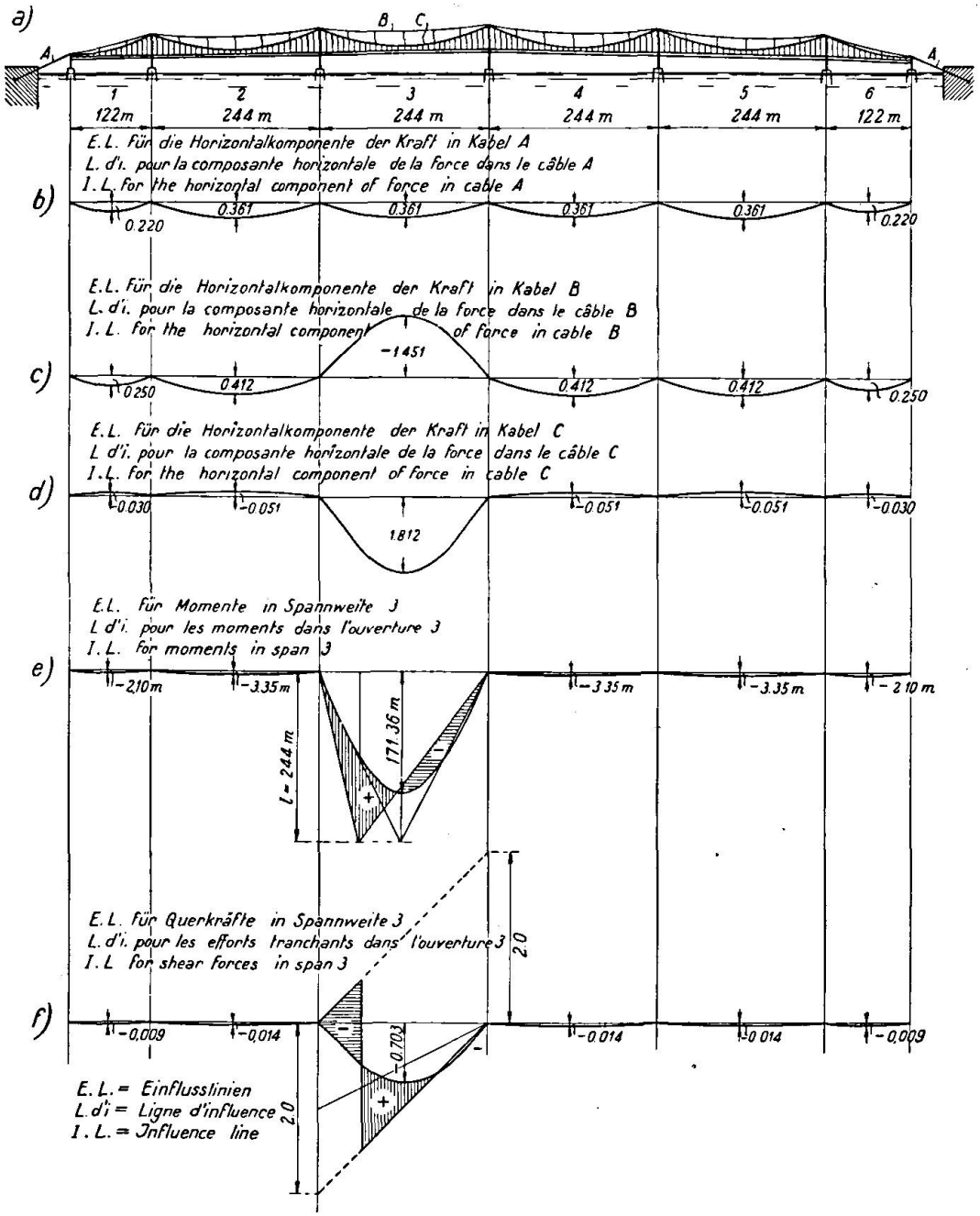


Fig. 8.

Die exakte Berechnungsmethode der gewöhnlichen Hängebrücken ist von Melan aufgestellt und von amerikanischen Ingenieuren für den praktischen Gebrauch weiter ausgebaut worden. Später hat Prof. Timoshenko eine andere exakte Berechnungsmethode angegeben, die aber, soweit bekannt, noch nicht in der Praxis Anwendung gefunden hat.

Sowohl die Methode von Melan, wie diejenige von Timoshenko eignen sich leider nicht für Brücken mit Versteifungskabeln.

Dr. D. B. Steinmann soll eine exakte Berechnungsmethode für Hängebrücken von vielen Spannweiten (wahrscheinlich mit Versteifungskabeln) und auch von Brücken mit kontinuierlichen Versteifungsträgern vor etwa einem Jahr geboten haben, doch ist es dem Verfasser nicht gelungen, diese Methode kennen zu lernen.

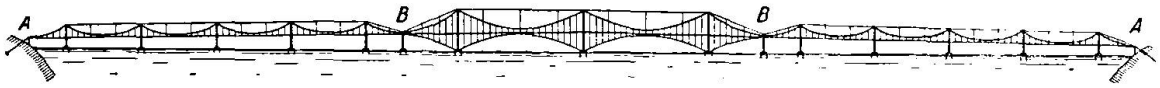


Fig. 9.

Verfasser hat in einer Schrift, die er der Technischen Hochschule in Lwów (Lemberg) vorgestellt hat, die Melan'sche Berechnungsmethode auf Hängebrücken von vielen Spannweiten mit Versteifungskabeln (Versteifungsträger frei aufliegend) erweitert. Doch ist der erforderliche Rechnungsaufwand dabei so groß, daß diese Methode keinen praktischen Wert haben kann. In derselben Schrift gibt der Verfasser eine einfachere Berechnungsmethode an für den Fall, daß die einzelnen Spannweiten entweder auf ganzer Länge mit einer gleichmäßig verteilten Nutzlast, oder aber gar nicht belastet sind. Aus Raummangel muß auf eine Wiedergabe dieser Berechnungsmethode an dieser Stelle verzichtet werden. Trotzdem sie sich nur für wenige Belastungsfälle eignet, so genügt sie doch für die Praxis: Wie aus dem Verlauf der Einflußlinien zu ersehen ist, genügen die angegebenen Belastungsfälle, um die größten Kräfte in

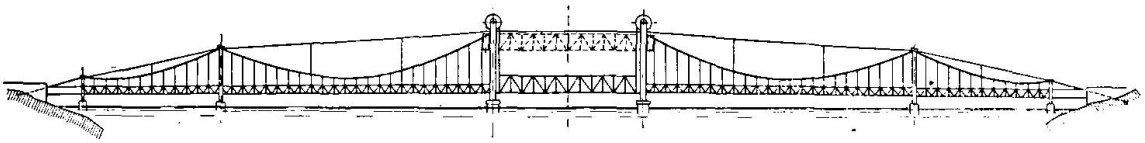

Fig. 10.

den Versteifungskabeln und in der Kette genau zu berechnen. Berechnet man für diese Belastungsfälle auch die Momente und Querkräfte in den Versteifungsträgern und vergleicht sie mit denjenigen, die sich nach der gewöhnlichen Methode für dieselbe Belastung ergeben, so erhält man Verhältniszahlen, die man mit genügender Genauigkeit auch für andere Belastungsfälle als gültig annehmen kann. Man kann also die Momente und Querkräfte in den Versteifungsträgern nach der gewöhnlichen Methode berechnen und nach Multiplizierung mit den erwähnten Verhältniszahlen erhält man dann mit genügender Genauigkeit die richtigen Momente und Querkräfte. Eine übermäßige Genauigkeit der Berechnungen ist hierbei nicht erforderlich: Es handelt sich ja nur um die Versteifungsträger, die für die Sicherheit der Brücke ohne Bedeutung sind.

Zum Schluß sei noch auf die große Anpassungsfähigkeit, die die Hängebrücken von vielen Spannweiten mit Versteifungskabeln besitzen, hingewiesen.

Während bei den gewöhnlichen Hängebrücken die Seitenöffnungen nicht viel länger als die Hälfte der Hauptspannweite sein dürfen, weil sonst die Steifigkeit der Brücke zu sehr leidet, können bei Brücken mit Versteifungskabeln alle Spannweiten ganz beliebig lang sein.

Hat man bei einer sehr langen Brücke nur eine oder wenige große Spannweiten nötig und sind noch lange Strecken vorhanden, die durch kleinere, da-

her auch billigere Spannweiten überbrückt werden können, so empfiehlt sich die Anwendung der Anordnung nach Fig. 9.

Die Bögen in den großen Öffnungen erfüllen drei Aufgaben: Erstens dienen sie als Versteifungsträger, zweitens entlasten sie zum großen Teil die Kette und drittens ergeben sie in den Punkten *B* einen horizontalen Schub in Richtung der Ufer. Dieser Schub hebt den Zug der Kette und des Versteifungskabels des mittleren Teils der Brücke bis auf einen geringen Teil, der vom Zug der Kette und des Versteifungskabels des seitlichen Teils der Brücke aufgenommen wird. Somit besteht in Punkt *B* ein Gleichgewicht der horizontalen Kräfte und hat das Auflager nur die vertikalen Kräfte aufzunehmen. Die Verankerungen *A* an beiden Enden sind für diese Brücke nur sehr klein — den kleinen Spannweiten und dünnen Kabeln der seitlichen Brückenteile entsprechend. Es ist zu beachten, daß bei dieser Brücke der Bogen zu den wesentlichen Teilen der Brücke gehört. Die zulässigen Spannungen in ihm dürfen nicht so hoch sein wie sonst in den Versteifungsträgern, die keinen Schub der Kette aufzunehmen haben.

In Fig. 10 ist eine Hängebrücke mit einer beweglichen Spannweite gezeigt. Als bewegliche Spannweite ist hier die vertikale Hubbrücke gewählt, da sie in gegebener Kombination am wirtschaftlichsten ist. Die für die Hubbrücke nötigen Türme sind bei der Hängebrücke bereits vorhanden. Die Tower-Brücke in London ist sehr ähnlich dieser Brücke, nur hat die Tower-Brücke statt der Hubspannweite eine aufklappbare Öffnung und die Versteifung ist statt durch Versteifungskabel durch feste Türme erzielt worden.

## Zusammenfassung.

Es wird darauf hingewiesen, daß in Amerika mit Recht größere Durchbiegungen von Straßenbrücken zugelassen werden als in Europa.

Bei größeren zulässigen Durchbiegungen und größeren zulässigen Spannungen in den Versteifungsträgern, die für die Standsicherheit der Brücke ohne Bedeutung sind, ist die Hängebrücke eine wirtschaftliche Konstruktion.

Hängebrücken von vielen Spannweiten werden besprochen. Von den verschiedenen Möglichkeiten der Versteifung solcher Brücken wird diejenige durch Versteifungskabel als besonders wirtschaftlich hervorgehoben.

Die Berechnungsmethoden — sowohl die gewöhnliche wie die exakte — solcher Brücken werden gegeben.

Es wird auf die große Anpassungsfähigkeit dieser Brückenart an die verschiedenen Erfordernisse von Stromüberschreitungen hingewiesen.

## Résumé.

L'auteur montre qu'en Amérique, on tolère avec raison pour les ponts-routes de plus grandes flèches qu'en Europe.

Le pont suspendu est une construction économique lorsque l'on se base sur des flèches et contraintes admissibles plus élevées dans les poutres de raidissement, qui n'ont pas d'importance quant à la stabilité de l'ouvrage.

L'auteur examine les ponts suspendus de grande portée et étudie les différentes possibilités de les raidir; il relève surtout la méthode des câbles raidisseurs parce qu'elle est spécialement économique.

Il expose les méthodes de calcul de ces ponts — la méthode ordinaire aussi bien que la méthode exacte.

Il montre que ce genre de ponts s'adapte fort bien aux diverses exigences auxquelles il doit faire face.

## Summary.

Reference is made that in the U. S. A., with good justification, greater deflections are permissible for road bridges than in Europe.

The suspension bridge becomes an economical construction, if greater permissible deflections and greater permissible stresses are allowed for the stiffening girders which are of no particular importance to the stability of the bridge.

Suspension bridges of multiple spans are described. As regards the various methods available for stiffening suspension bridges, the use of stiffening cables as being particularly economical has found special reference.

The methods of calculation, the usual as well as the exact methods are given.

The adaptability of suspension bridges in spanning rivers is also discussed.

Leere Seite
Blank page
Page vide