

# Bogenträger mit schräg gestellten Hängestangen

Autor(en): **Nielsen, O.F.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **IABSE publications = Mémoires AIPC = IVBH Abhandlungen**

Band (Jahr): **1 (1932)**

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-728>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# BOGENTRÄGER MIT SCHRÄG GESTELLTEN HÄNGESTANGEN

ARCS AVEC TRINGLES DE SUSPENSION INCLINÉES

ARCHED GIRDERS WITH INCLINED SUSPENSION MEMBERS

Dr. sc. techn. O. F. NIELSEN,  
Direktor der Christiani & Nielsen, Stockholm.

Infolge der gesteigerten Verwendung des Eisenbetons als Material für Brückenbauarbeiten ist man ständig bestrebt gewesen, die Spannweite der Konstruktionen, die mit diesem Material ausgeführt werden, zu vergrößern. Augenblicklich hat man Bogenbrücken mit mehr als 180 m lichter Weite konstruiert. Um dies Ergebnis mit den gewöhnlichen Konstruktionstypen zu erreichen, ist es jedoch notwendig gewesen, die Bogen mit besonderen Querschnittsformen, besonderer Bewicklung u. s. w. auszuführen; mit anderen Worten: um die auftretenden außerordentlich hohen Beanspruchungen aufnehmen zu können, mußten besondere Vorkehrungen getroffen werden. Um dies zu vermeiden, hat man versucht, neue Konstruktionsarten auszuarbeiten, für welche die Beanspruchungen des Materials reduziert werden, wodurch die

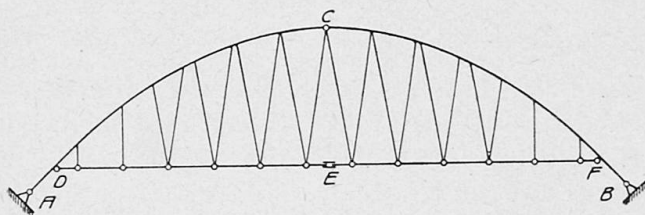


Fig. 1.

Verwendung des Eisenbetons auch für große Spannweiten ermöglicht wird.

Ein Ergebnis dieser Bestrebung ist der Bogen mit schräggestellten Hängestangen. Bei dieser Konstruktion ist es möglich geworden, die Momente im Bogen derartig zu vermindern, daß die Beanspruchung des Bogens durch Normalkräfte in Wirklichkeit für die Dimensionen maßgebend wird. Da die tragende Hauptkonstruktion wesentlich durch Normalkräfte beansprucht wird, sind die Formänderungen entsprechend kleiner. Dies hat sich auch in den Ergebnissen der Messungen bestätigt, die man bei Probelastung einer großen Anzahl von Brücken, die nach diesem System ausgeführt worden sind, vorgenommen hat. Die neue durch Patent geschützte Konstruktion ist angegeben und beschrieben in der Doktorarbeit des Verfassers<sup>1)</sup>.

In Figur 1 ist ein Beispiel einer solchen Konstruktion wiedergegeben, in diesem Falle ein Dreigelenkbogen mit schräggestellten Hängestangen. Sie besitzt die beiden Widerlagergelenke *A* und *B* und das Scheitelgelenk *C*. Die Fahrbahn *D—E—F* ist am Bogen durch Hängestangen befestigt, von

<sup>1)</sup> OCTAVIUS F. NIELSEN, Foranderlige Systemer med Anvendelse paa Buer med skraatstillede Hængestænger. Kopenhagen 1930 (G. E. C. Gad).

welchen die mittleren in einer solchen Weise schräggestellt sind, daß sie paarweise von ein und demselben Punkte im Untergurt ausgehen. Als Hängestangen wollen wir hier solche Glieder verstehen, die nur für die Aufnahme von Zugkräften geeignet sind, sodaß sie außer Funktion gesetzt werden, wenn sie auf Druck beansprucht werden. Im Untergurt  $D-E-F$  setzen wir in sämtlichen Knotenpunkten und bei den Verbindungen  $D$  und  $F$  mit dem Bogen Gelenke voraus. Im Felde unter dem Scheitलगelenk ist der Untergurt durchgeschnitten und mit einem solchen Glied versehen, daß Längenschiebungen möglich sind, dagegen keine Vertikalbewegungen.

Wie die Konstruktion hier beschrieben ist, kann man sie als einen Dreigelenkbogen auffassen, der aus den beiden Bogenhälften  $ACE$  und  $BCE$  besteht, woraus man ersieht, daß die Konstruktion äußerlich statisch bestimmt ist, sodaß die Kräfte in den Auflagergelenken und im Scheitलगelenk durch die statischen Gleichgewichtsbedingungen allein bestimmt werden können. Ist der Untergurt dagegen an einem Punkte außerhalb des Bogens befestigt,

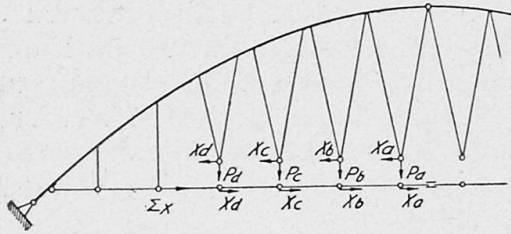


Fig. 2.

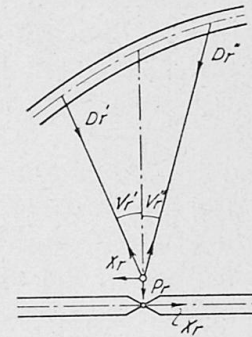


Fig. 3.

so ist dies nicht der Fall. Um die Konstruktion innerlich statisch bestimmt zu machen, denken wir uns die Verbindung zwischen Untergurt und den Knotenpunkten der schräggestellten Hängestangen gelöst und führen die Reaktion des Untergurtes auf die Knotenpunkte  $X_a, X_b \dots$  als statisch überzählige Größen ein, siehe Fig. 2. (Um das Hauptsystem deutlicher hervortreten zu lassen, sind die Hängestangknoten getrennt von den Knoten des Untergurtes gezeichnet.)

Man sieht dadurch, daß jede Bogenhälfte ebenso viel mal statisch unbestimmt ist, als Knotenpunkte für schräggestellte Hängestangen vorhanden sind. Wird die Knotenpunktsbelastung des Knotens  $r$  mit  $P_r$  und die Reaktion des Untergurtes auf den Knotenpunkt der Hängestangen mit  $X_r$  bezeichnet, so findet man, indem die Winkel der Hängestangen mit der Lotrechten mit  $v'_r$  und  $v''_r$  bezeichnet werden, folgenden Ausdruck für die Kräfte der Hängestangen. Fig. 3.

$$\begin{aligned} D'_r &= P_r \frac{\sin v''_r}{\sin (v'_r + v''_r)} - X_r \frac{\cos v''_r}{\sin (v'_r + v''_r)} \\ D''_r &= P_r \frac{\sin v'_r}{\sin (v'_r + v''_r)} + X_r \frac{\cos v'_r}{\sin (v'_r + v''_r)} \end{aligned} \quad (1)$$

Hieraus sieht man folgendes: Wenn  $P_r = 0$ , muß  $D'_r = D''_r = 0$  sein, da eine der Hängestangen in diesem Fall immer auf Druck beansprucht wird, was mit einem Außerfunktionsetzen gleichbedeutend ist. Dadurch wird ebenfalls bewirkt, daß die andere Stange spannungslos wird. Wenn deshalb  $P_r$  die

einzigste Belastung ist, wird das System nur einmal statisch unbestimmt sein, weil alle übrigen schräggestellten Hängestangen spannungslos werden. Sind dagegen sämtliche Knotenpunkte belastet, können die Spannungen der Hängestangen nach Formel (1) berechnet werden, insofern die Spannungen positiv sind. Wenn dies nicht der Fall ist, wird die entsprechende Hängestange außer Funktion gesetzt. Nehmen wir an, daß  $X_r$  in Formel (1) positiv ist, so findet man, wenn  $D'_r = 0$  gesetzt wird:

$$\begin{aligned} X_r &= P_r \operatorname{tg} v_r'' \quad \text{und} \\ D_r'' &= P_r \frac{1}{\cos v_r''} \end{aligned} \quad (2)$$

$X_r$  wird also nie größer als  $P_r \operatorname{tg} v_r''$  werden können, und wenn man bei der Berechnung einen größeren Wert von  $X_r$  findet, bedeutet dies, daß  $D_r''$  außer Funktion ist, wonach die Stabkraft in  $D_r''$  aus Formel (2) gefunden wird.

In derselben Weise findet man, wenn  $D_r'' = 0$  gesetzt wird,

$$\begin{aligned} X_r &= -P_r \operatorname{tg} v_r' \quad \text{und} \\ D_r' &= P_r \frac{1}{\cos v_r'} \end{aligned} \quad (3)$$

Wenn man bei der Berechnung einen negativen Wert von  $X_r$  findet und  $|X_r| > P_r \operatorname{tg} v_r'$  ist, bedeutet dies also, daß  $D_r''$  außer Funktion ist, und die Stabkraft in  $D_r'$  geht aus Formel (3) hervor.

Aus dem Obenstehenden geht hervor, daß der Bogen mit schräggestellten Hängestangen ein veränderliches System bildet. Dies besagt, daß gewisse Teile der Konstruktion, in diesem Falle die Hängestangen, unter Einfluß der Belastung außer Funktion gesetzt werden können. Infolge Eigengewicht der Fahrbahn erhalten die Hängestangen immer Zug; sie werden erst außer Funktion gesetzt, und die Konstruktion wird erst dann zu einem veränderlichen System, wenn die Nutzlast in den Hängestangen eine Druckbeanspruchung hervorruft, welche die Zugbeanspruchung aus Fahrbahngewicht übersteigt.

Die Schwierigkeit der Berechnung in diesem Fall besteht nun darin, diejenigen Hängestangen zu bestimmen, welche bei der jeweiligen Belastung in Funktion sind. Mit Rücksicht hierauf dürfte es vorteilhafter sein, als Überzählige die Stabkräfte in den in gleicher Richtung schräggestellten Hängestangen zu wählen. Das Hauptsystem wird hierbei eine gewöhnliche Bogenkonstruktion mit einer vermittels in einer Richtung schräggestellter Hängestangen angehängten Fahrbahn und bietet somit weiter keine Schwierigkeiten in der Berechnung. Bei dieser Wahl der Überzähligen sind nur positive Werte der Überzähligen brauchbar. Verläßt der Wert der Überzähligen den positiven Bereich, d. h. passiert den Wert 0, so bedeutet dies, daß in diesem Falle die betreffende Hängestange außer Funktion gesetzt wird; die betreffende Überzählige verschwindet somit aus der Berechnung. Um nun diejenigen Hängestangen, die in Funktion sind, zu bestimmen, d. h. das wirksame System zu ermitteln, seien nachstehend die Bedingungen angegeben, die das wirksame System einer beliebigen veränderlichen Konstruktion erfüllen muß.

#### Das wirksame System.

Wenn ein veränderliches System für sämtliche möglichen Belastungen eine brauchbare Konstruktion bilden soll, muß notwendigerweise ein statisch

unbestimmtes System vorhanden sein, wenn sämtliche Teile wirksam sind, denn sonst würde die Konstruktion für die Belastungen, die ein oder mehrere Konstruktionsteile unwirksam machen, beweglich sein. Dagegen steht natürlich nichts im Wege, daß der wirksame Teil der Konstruktion bei gewissen Belastungen statisch bestimmt werden kann. Im folgenden werden wir annehmen, daß ein statisch bestimmtes oder ein statisch unbestimmtes System zurückbleibt, wenn sämtliche veränderlichen Teile entfernt werden.

Da das Totalsystem also ein statisch unbestimmtes System bilden wird, können wir für eine gegebene Belastung die gewöhnlichen Elastizitätsgleichungen aufschreiben, indem wir vorläufig davon absehen, daß möglicherweise nicht alle Teile wirksam sind. Wir nehmen an, daß das System gewisse überzählige Größen  $X_a, X_b, X_c$  u. s. w. enthält. Die Elastizitätsgleichungen lauten:

$$\begin{aligned} \delta_a^{oabc} &= \delta_a^o - X_a \delta_{aa} - X_b \delta_{ab} - X_n \delta_{an} + \delta_{at} + \delta_{au} \\ \delta_b^{oabc} &= \delta_b^o - X_a \delta_{ab} - X_b \delta_{bb} - X_n \delta_{bn} + \delta_{bt} + \delta_{bu} \\ &\dots\dots\dots \\ \delta_n^{oabc} &= \delta_n^o - X_a \delta_{an} - X_b \delta_{bn} - X_n \delta_{nn} + \delta_{nt} + \delta_{nu} \end{aligned} \quad (4)$$

Das gewählte Hauptssystem haben wir mit  $o$  bezeichnet; es bedeutet somit

$\delta_a^{oabc}$  die relative Verschiebung des Punktpaares  $a$  in der Richtung  $X_a = -1$  in dem statisch unbestimmten System  $oabc$  unter Einfluß der äußeren Belastung,

$\delta_a^o$  die relative Verschiebung des Punktpaares  $a$  in der Richtung  $X_a = -1$  im Hauptssystem  $o$  unter Einfluß der äußeren Belastung,

$\delta_{aa}, \delta_{ab}$  u. s. w. die relativen Verschiebungen des Punktpaares  $a$  in der Richtung  $X_a = -1$  im Hauptssystem  $o$  infolge der Belastung  $X_a = -1, X_b = -1$  u. s. w.

$\delta_{at}$  und  $\delta_{au}$  die Verschiebungen im Hauptssystem  $o$  des Punktpaares  $a$  in der Richtung  $X_a = -1$  infolge einer Temperaturänderung von  $t^0$  oder bzw. eines Nachgebens der Auflager.

Um konsequent zu sein, sollte man eigentlich auch in den Gliedern  $\delta_{aa}, \delta_{ab} \dots$  den Index  $o$  oben einfügen. Wir haben dies unterlassen, da  $\delta_{aa}, \delta_{ab}$  u. s. w. in den Gleichungen (4) sich immer auf das System  $o$  beziehen, in welchem die Verschiebungen  $\delta_a^o, \delta_b^o \dots$  berechnet sind, sodaß es genügt, für diese Glieder den Index  $o$  anzugeben.

Sofern die Gleichungen (4) für ein unveränderliches System aufgestellt sind, werden die Werte der Überzähligen unter den angegebenen Voraussetzungen aus (4) bestimmt. Hat man dagegen die Gleichungen auf ein veränderliches System angewendet, so sind nur solche Werte brauchbar, die mit der möglichen Wirkungsweise in Übereinstimmung sind.

Wir nehmen jetzt an, daß für eine gegebene Belastung sämtliche Überzähligen mit Ausnahme von  $X_a, X_b$  und  $X_c$  unwirksam sind. Wir können jetzt die Elastizitätsgleichungen ohne Rücksicht auf  $X_d, X_e$  u. s. w. aufstellen, denn diese letzteren haben, wenn sie unwirksam sind, keine Bedeutung. Die Gleichungen für die Bestimmung von  $X_a, X_b$  und  $X_c$  werden dann, indem man in diesem Falle  $\delta_a^{oabc} = 0$  u. s. w. hat:

$$\begin{aligned} 0 &= \delta_a^{oabc} = \delta_a^o - X_a \delta_{aa} - X_b \delta_{ab} - X_c \delta_{ac} + \delta_{at} + \delta_{au} \\ 0 &= \delta_b^{oabc} = \delta_b^o - X_a \delta_{ab} - X_b \delta_{bb} - X_c \delta_{bc} + \delta_{bt} + \delta_{bu} \\ 0 &= \delta_c^{oabc} = \delta_c^o - X_a \delta_{ac} - X_b \delta_{bc} - X_c \delta_{cc} + \delta_{ct} + \delta_{cu} \end{aligned} \quad (5)$$

Wie man sieht, gehen die Gleichungen für das wirksame System aus dem gesamten Gleichungssystem hervor, indem man in diesem letzteren sämtliche unwirksame Überzähligen und ihre Gleichungen streicht.

Ist unsere Annahme betr. des wirksamen Systems richtig, werden die Gleichungen (5) lauter brauchbare Werte der Überzähligen geben und, indem wir annehmen, daß wir die positive Richtung der Kräfte  $X$  in Übereinstimmung mit den brauchbaren Werten gewählt haben, müssen sich aus den Gleichungen (5) positive Werte der Überzähligen ergeben.

Werden diese Werte in die Gestrichenen der Gleichungen (4) eingesetzt, erhalten wir:

$$\begin{aligned} \delta_d^{oabc} &= \delta_d^o - X_a \delta_{ad} - X_b \delta_{bd} - X_c \delta_{cd} + \delta_{dt} + \delta_{du} \\ \delta_e^{oabc} &= \delta_e^o - X_a \delta_{ae} - X_b \delta_{be} - X_c \delta_{ce} + \delta_{et} + \delta_{eu} \\ &\dots\dots\dots \\ \delta_n^{oabc} &= \delta_n^o - X_a \delta_{an} - X_b \delta_{bn} - X_c \delta_{cn} + \delta_{nt} + \delta_{nu}. \end{aligned} \quad (6)$$

Wir sehen jetzt, daß die Gleichungen die relativen Verschiebungen der Punktpaare  $d, e \dots n$  in System  $oabc$  angeben. Wenn unsere Annahme betr. des wirksamen Systems richtig war, müssen die Verschiebungen  $\delta_d^{oabc}$  u. s. w. solche Verschiebungen sein, daß sie unbrauchbare Werte der Überzähligen ergeben. Diese Verschiebungen müssen deshalb negativ sein, wenn wir die positive Richtung der  $X$ -Kräfte in Übereinstimmung mit ihrer möglichen Wirkungsweise gewählt haben. Es ist hier vorausgesetzt, daß die veränderlichen Teile dadurch wirksam oder unwirksam werden, daß ihre Spannung den 0-Wert passiert.

Wir haben hierdurch eine notwendige Bedingung gefunden, die von dem wirksamen System erfüllt werden muß. Haben wir umgekehrt ein veränderliches System von einer solchen Beschaffenheit, daß die veränderlichen Teile spannungslos und ohne „Überlängen“ sind, wenn die Konstruktion unbelastet ist, dann wird jede positive Verschiebung den betr. Teil wirksam machen, während jede negative Verschiebung ihn spannungslos macht. Wenn man deshalb für eine Konstruktion ein System gefunden hat, für welches die Gleichungen (5) durch positive Werte der Überzähligen erfüllt werden, während die entsprechenden Werte in den Gleichungen (6) negative Verschiebungen geben (event. 0), dann ist es unmittelbar einleuchtend, daß dies System im Gleichgewichtszustand für die betr. Belastung ist, sodaß die Bedingung sowohl notwendig als auch genügend ist.

Wenn man sich so klar gemacht hat, welche Bedingungen von dem wirksamen System erfüllt werden müssen, bietet die Behandlung der Bogenkonstruktionen mit schräggestellten Hängestangen theoretisch keine Schwierigkeiten dar. Es würde zu kompliziert werden, näher darauf einzugehen, welchen Methoden man folgen wird, um dieses System zu berechnen. Wir müssen in dieser Hinsicht auf die Abhandlung des Verfassers verweisen. Es sei hier nur bemerkt, daß man die schräggestellten Hängestangen außer für den Dreigelenkbogen auch für andere Bogen mit 0, 1 oder 2 Gelenken sowie auch in Verbindung mit einem Zugband verwenden kann. Nachstehend geben wir einige Beispiele von ausgeführten Konstruktionen, die alle in Schweden gebaut sind und von der Ingenieurbaugesellschaft CHRISTIANI & NIELSEN, Stockholm, projektiert und ausgeführt wurden. Bei diesen Konstruktionen liegen die Maximalmomente des Bogens infolge Nutzlast zwischen  $\frac{1}{300} pl^2$

und  $\frac{1}{500} pl^2$ . Die größte Durchbiegung infolge Nutzlast liegt zwischen  $\frac{1}{6000} l$  und  $\frac{1}{10000} l$ .

1. Brücke über den Klarelv bei Deje.  
Dreigelenkbogen. 3 Öffnungen von je 70 m Lichtweite. Fahrbahnbreite 5 + 2 m. Figur 4.

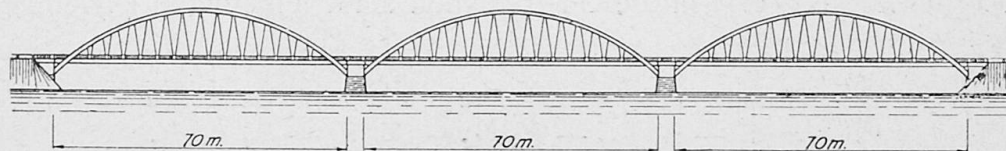


Fig. 4.

Diese und die folgenden Brücken sind für folgende Nutzlast berechnet:  
Eine gleichförmig verteilte Belastung von 500 kg pr. qm.  
2 sich begegnende 9 t Automobile und  
125 kg pr. qm Windpressung für senkrecht getroffene Fläche.

2. Brücke über den Österdalelv bei Åsen.  
Dreigelenkbogen. Eine Öffnung von 86 m Lichtweite. Fahrbahnbreite 5 m (Lichtweite zwischen den Bogen).



Fig. 5.

3. Brücke über den Jösseelv bei Rud.  
Dreigelenkbogen. Eine Öffnung von 79 m Lichtweite. Fahrbahnbreite 5 m.
4. Brücke über den Faxelv bei Stamsle.  
Dreigelenkbogen. Drei Öffnungen von je 53 m Lichtweite. Fahrbahnbreite 4,5 m.
5. Brücke über den Ljungan bei Haraberget.  
Zweigelenkbogen mit Zugband. Zwei Öffnungen von je 51 m Lichtweite. Fahrbahnbreite 5 m. Figur 5.

6. Brücke über den Ljungan bei Kölsillre.  
Dreigelenkbogen. Drei Öffnungen von je 47 m Lichtweite. Fahrbahn-  
breite 5 m.



Fig. 6.

7. Brücke über den Ångermanelv bei Biskopselet.  
Zweigelenkbogen mit Zugband. Eine Öffnung von 89 m Lichtweite.  
Freie Breite der Fahrbahn 5 m. Figur 6.
8. Brücke über den Skulesund.  
Zweigelenkbogen mit Zugband. Eine Öffnung von 30 m Lichtweite. Fahr-  
bahnbreite 6 m.

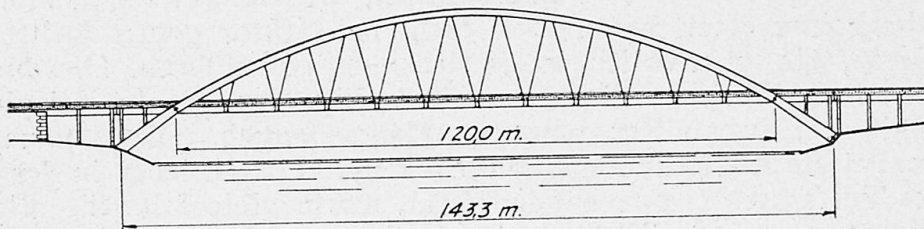


Fig. 7.

9. Brücke über den Klarelv bei Osebol.  
Dreigelenkbogen. Zwei Öffnungen von je 56 m Lichtweite. Fahrbahn-  
breite 5 m.
10. Brücke bei Bjursta.  
Zweigelenkbogen mit Zugband. Eine Öffnung von 33 m Lichtweite.  
Fahrbahnbreite 4 m.
11. Brücke bei Revsund.  
Dreigelenkbogen. Eine Öffnung von 27 m Lichtweite. Fahrbahnbreite  
4,5 m.



## 12. Brücke über den Ångermanelv bei Junsele.

Zweigelenkbogen mit Zugband. Zwei Öffnungen von je 75 m Lichtweite. Fahrbahnbreite 6 m.

Außer den oben genannten Brücken in Schweden wird im Laufe des Sommers 1932 von der „Société anonyme française Christiani & Nielsen“, Paris, bei Castelmoron-sur-Lot in Südfrankreich eine Bogenbrücke mit schräggestellten Hängestangen gebaut, welche die bislang größte dieses Systems (und so weit uns bekannt auch die größte der bestehenden Eisenbetonbogenbrücken mit angehängter Fahrbahn) sein wird.

Die Brücke ist äußerlich statisch bestimmt gelagert und besitzt Gelenke an den in Fig. 7 gezeigten drei Stellen.

Lichte Weite rund 140 m. Fahrbahnbreite 5,5 m und zwei Fußwege von je 0,75 m Breite.

### Zusammenfassung.

Bei Bogenbrücken mit angehängter Fahrbahn kann man dadurch, daß die Hängestangen paarweise nach entgegengesetzten Seiten schräg gestellt werden, die Momente im Bogen derart verringern, daß für die Dimensionen in der Hauptsache die Normalkräfte maßgebend werden.

Die durch einseitige Belastung der Bauwerke verursachten Deformationen rufen eine Umlagerung der Kräfte in je zwei zusammengehörenden Hängestangen hervor. Hiedurch entstehen im Fahrbahngurt Längskräfte, die ihrerseits die Biegemomente im Bogen verringern. Voraussetzung für die Wirkung des Systems ist natürlich ein gewisses Fahrbahngewicht, welches anfänglich gleiche Zugspannungen in je zwei zusammengehörenden Hängestangen hervorruft.

Wie die weitere Entwicklung der Theorie der veränderlichen Systeme zeigt, auf welche in der Abhandlung eingegangen wird, erstreckt sich die entlastende Wirkung der schräggestellten Hängestangen auch auf den Zustand, in dem eine oder mehrere Hängestangen durch Auftreten von Druckkräften, welche die Zugkräfte infolge Fahrbahngewicht übersteigen, außer Funktion gesetzt werden.

Durch Berechnung der Bogen mit schräggestellten Hängestangen als veränderliches System ist es somit möglich, die Hängestangen alle schlaff auszubilden, ohne einen besonderen Sicherheitsfaktor gegen Auftreten von Druckkräften, wie sonst üblich, in die Rechnung einzuführen. Hierdurch wird eine bedeutende Wirtschaftlichkeit erzielt. Fig. 1 zeigt ein Beispiel eines Bogens mit schräggestellten schlaffen Hängestangen. Diese neue, durch Patent geschützte Konstruktion ist angegeben und beschrieben in der Doktorarbeit des Verfassers (Kopenhagen 1931), worin gleichfalls die allgemeine Behandlung von veränderlichen Systemen durchgeführt ist.

Bogen mit schräggestellten Hängestangen sind schon in einer großen Anzahl mit Lichtweiten bis 90 m ausgeführt worden, eine Konstruktion mit 140 m Lichtweite ist in Ausführung.

Bei diesen Brücken betragen die Momente des Bogens etwa  $1/300 pl^2$  bis  $1/500 pl^2$  und die größten Durchbiegungen infolge der Nutzlast  $1/6000 l$  bis  $1/10\,000 l$  ( $p$  = gleichmäßig verteilte Nutzlast,  $l$  = Spannweite).

### Résumé.

Dans les ponts en arc avec tablier suspendu, il est possible, en adoptant des inclinaisons opposées pour les tringles de suspension successives, de ré-

duire les moments dans l'arc d'une manière telle que les efforts normaux prennent la place principale dans le calcul.

Les déformations provoquées dans les ouvrages par les charges qui ne s'exercent que d'un seul côté aboutissent, dans les deux tringles conjuguées, à un regroupement des efforts grâce auquel se manifestent dans le tirant de l'arc des efforts longitudinaux, ces derniers réduisant les moments de flexion dans l'arc. Ceci suppose, pour l'efficacité du dispositif, un certain poids propre dans le tablier lui-même, ce poids donnant naissance, dans les deux tringles conjuguées, à des efforts de traction initialement égaux.

Ainsi que le montre le développement de la théorie du système variable, que l'auteur expose dans son rapport, l'influence de décharge qu'exercent les organes de suspension inclinés s'étend également au cas pour lequel une tringle de suspension, ou plus, se trouve ne plus intervenir par suite de la mise en jeu d'efforts de compression qui surpassent les efforts de traction provoqués par le poids propre du tablier.

En calculant l'arc à tringles de suspension inclinées comme un système variable, il est possible de construire les éléments de suspension d'une manière non rigide, sans avoir à introduire un coefficient de sécurité particulier vis-à-vis de la mise en jeu d'efforts de compression, ainsi que cela se fait à l'ordinaire. Ce système est donc très intéressant du point de vue économique. La figure 1 représente l'exemple d'un arc avec éléments de suspension inclinés non rigides. Ce nouveau dispositif de construction, qui est protégé par un brevet, est indiqué et décrit dans la thèse de doctorat de l'auteur (Copenhague, 1931), où est exposée également, d'une manière générale, la théorie des systèmes variables.

On emploie déjà les arcs à éléments de suspension inclinés dans un grand nombre de cas, pour les petites portées allant jusqu'à 90 mètres; on cite également un ouvrage en cours de construction, dont l'ouverture est de 140 mètres.

Dans ces ouvrages, les moments de flexion de l'arc atteignent de  $1/300 pl^2$  à  $1/500 pl^2$ ; les plus gros fléchissements sous l'action de la charge utile sont de  $1/6000 l$  à  $1/10\,000 l$  ( $p$  désignant la charge utile uniformément répartie et  $l$  la portée).

### Summary.

In arched bridges with suspended roadway, the moments in the arch may be reduced by setting the tie bars obliquely in pairs at the opposite sides, in such a way that the normal forces principally determine the dimensions.

The deformations caused by one-sided loading of the structures cause a crowding of the forces in each pair of the respective tie bars. From this, longitudinal forces arise in the roadway structure and they in turn decrease the bending moments in the arch. One condition for the action of the system is, of course, a certain weight of the roadway that initially causes the same tensile stresses in each pair of the corresponding tie bars.

As shown by the further development of the varying systems treated in the report, the relieving effect of the oblique tie bars also extends to the case in which one or more of the tie bars are put out of action by the occurrence of compression forces which exceed the tensile forces because of the weight of the roadway.

By calculating the arches with oblique tie bars as a varying system, it is thus possible to make all tie bars slack without introducing as usual a

special factor of safety into the calculation to allow for the occurrence of compression forces. This effects considerable economy. Fig. 1 shows an example of an arch with oblique slack tie bars. This new design, which is protected by letters patent, is described in the author's Doctor thesis (Copenhagen, 1931), where the general treatment of variable systems is considered.

A large number of arches with oblique tie bars has already been built with spans up to 90 metres; one with a span of 140 metres is under construction.

In these bridges, the moments of the arch amount to about  $1/300 pl^2$  to  $1/500 pl^2$  and the greatest bending under working load is  $1/6000 l$  to  $1/10\,000 l$  ( $p$  = uniformly distributed working load,  $l$  = span).