Beseitigung der zusätzlichen Biegungsmomente im Zweigelenkbogen mit Zugband

Autor(en): **Dischinger, Franz**

Objekttyp: **Article**

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

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

PDF erstellt am: **23.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-708

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.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

BESEITIGUNG DER ZUSÄTZLICHEN BIEGUNGS-MOMENTE IM ZWEIGELENKBOGEN MIT ZUGBAND [1])

SUPPRESSION DES MOMENTS DE FLEXION SECONDAIRES DANS L'ARC A DEUX ARTICULATIONS ET A TIRANT

ELIMINATING ADDITIONAL BENDING MOMENTS IN DOUBLE-HINGED ARCH WITH TIE MEMBER

Dr. Ing. FRANZ DISCHINGER,
Direktor der Dyckerhoff & Widmann A.-G., Wiesbaden-Biebrich.

I. Einleitung.

Bei allen statisch unbestimmten Bogenbrücken ergeben sich infolge der Verkürzung des Bogens zusätzliche Biegungsmomente, die mit der Steifigkeit der Bogenquerschnitte zunehmen. Bei eingespannten Bogenbrücken können diese durch das bekannte Gewölbe-Expansionsverfahren [2]) beseitigt werden. Die zusätzlichen Biegungsmomente des eingespannten Bogens ergeben sich aus

a) der Bogenverkürzung durch die Druckspannungen,
b) der Bogenverkürzung durch das Schwinden des Betons,
c) der Nachgiebigkeit des Baugrundes, wodurch Verschiebungen und Verdrehungen der Widerlager hervorgerufen werden,
d) durch die Temperatureinflüsse.

Durch das Gewölbe-Expansionsverfahren lassen sich die Einflüsse ganz oder teilweise beseitigen. Zur Durchführung des Verfahrens wird beim Betonieren im Scheitel eine Lücke gelassen und in dieser die Wasserpressen eingesetzt, durch die dann die Ausrüstung des Bogens bewerkstelligt wird. Infolge dieser Scheitellücke sind die beiden Bogenhälften, auf die die Pressen einwirken, vorerst noch statisch bestimmte Systeme. Erst nach dem Auspressen wird die Scheitellücke ausbetoniert und das System wird statisch unbestimmt. Durch das Auspressen lassen sich die Einflüsse aus a, b, c fast vollständig beseitigen, die aus d lassen sich einschränken.

Abgesehen davon, daß die Bogenkonstruktion durch die Beseitigung der zusätzlichen Biegungsmomente leichter gehalten werden kann, hat das Verfahren noch den Vorteil, daß die Ausrüstung vollständig gefahrlos vor sich geht. Das Expansions-Verfahren wurde in Deutschland in mehreren Fällen,

---

[1]) Das Patent No. 535 440 läuft ab 21. Februar 1928. Des Weiteren sei bemerkt, daß H. Baticle im Genie Civil 1928 No. 20 vom 19. Mai ähnliche Maßnahmen zur Beseitigung dieser zusätzlichen Biegungsmomente vorgeschlagen hat.

[2]) S. Der Gewölbebau, Neue Hilfsmittel für Berechnung und Bauausführung, v. Dr.-Ing. Färber, Berlin, 1916, und Beton und Eisen, 1914, Heft 1, Der Brückenbau, 1913, Heft 24, Armierter Beton, 1917, Heft 3 und 4.

in Frankreich dagegen, wo sehr viele Brücken als eingespannte Bogen ausgeführt werden, sehr häufig angewandt.

Viel wesentlicher wie beim eingespannten Bogen sind jedoch die zusätzlichen Biegungsmomente in Zweigelenkbogenbrücken mit Zugbändern, bei denen die Fahrbahn an den Gewölben angehängt ist. Bei diesen Brücken wird nicht nur der Bogen durch seine Druckspannungen verkürzt, sondern es wird auch das Zugband durch seine Zugspannungen gelängt. Diese Verlängerung des Zugbandes ist wesentlicher als die Zusammendrückung des Bogens. Dazu kommt noch, daß bei Zweigelenkbogenbrücken die Trägheitsmomente der beiden Tragbögen im allgemeinen ganz wesentlich größer sind als die Trägheitsmomente der eingespannten Bogen; denn der gesamte Horizontalschub und die gesamten Biegungsmomente müssen nur durch die beiden Traggewölbe aufgenommen werden, die infolgedessen sehr biegungssteif sein müssen.

Theoretisch könnte das Expansionsverfahren auch bei Zweigelenkbogenbrücken mit angehängter Fahrbahn angewandt werden. Hierzu müßten die Pressen im Scheitel der Gewölbe angeordnet werden. Praktisch ist dies jedoch nicht möglich, weil bei den geringen Bogenquerschnitten die Pressen nicht untergebracht werden können. Auch wäre dieses Verfahren wegen der damit verbundenen Knickgefahr nicht ungefährlich.

Diese zusätzlichen Biegungsmomente infolge der Verkürzung des Bogens und Verlängerung des Zugbandes sind ein Hauptgrund dafür, daß die bisher in Eisenbeton ausgeführten Brücken mit Zugbändern und angehängter Fahrbahn architektonisch infolge der hohen Bogenquerschnitte nicht zusagten und auch gegenüber eisernen Brücken nicht konkurrenzfähig waren. Denn infolge dieser Zusatzmomente muß der Bogen wesentlich verstärkt werden, durch die Verstärkung wird aber das Trägheitsmoment des Querschnitts erhöht, und dadurch erhöhen sich wiederum die Zusatzmomente.

Bei den eisernen Brücken sind diese zusätzlichen Biegungsmomente von viel geringerer Bedeutung, weil bei diesen das Produkt vom Elastizitätsmodul und Trägheitsmomente $(E \cdot J)$ ganz wesentlich günstiger ist.

Im nächsten Abschnitt soll zunächst der Einfluß dieser Zusatzmomente im Verhältnis zu den Biegungsmomenten durch Verkehrslast nachgewiesen werden.

II. Die Größe der zusätzlichen Biegungsmomente infolge der Verkürzung des Bogens und Verlängerung des Zugbandes im Verhältnis zu den Verkehrslastmomenten.

Der Einfachheit wegen legen wir den nachstehenden Untersuchungen Parabelbögen zugrunde, bei denen $ds:J$ konstant ist. Damit ist auch eine Zunahme des Bogenquerschnitts vom Scheitel nach dem Kämpfer verbunden, sodaß angenähert die zentrischen Druckspannungen des Bogens für alle Querschnitte gleich groß angenommen werden können, trotzdem die Gewölbekraft vom Scheitel nach dem Kämpfer zunimmt.

Die spezifische Bogenverkürzung beträgt $\frac{\Delta l_1}{l} = \frac{\sigma_d}{E_b}$

die spezifische Zugbandverlängerung beträgt $\frac{\Delta l_2}{l} = \frac{\sigma_e}{E_e}$.

Hierbei ist E_b der Elastizitätsmodul des Betons, E_e der Elastizitätsmodul des

Eisens $= n \cdot E_b$, σ_d ist die Betondruckspannung des Gewölbes und σ_e die Eisenspannung des Zugbandes.

Die gesamte relative Verlängerung beträgt also:

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{\sigma_e}{n \cdot E_b} + \frac{\sigma_d}{E_b} = \frac{\sigma_d}{E_b}\left(1 + \frac{\sigma_e}{n \cdot \sigma_d}\right) = \frac{\sigma_d}{E_b} \cdot \delta. \tag{1}$$

In der weiteren Rechnung bedeuten h_s, F_s, J_s und h_B, F_B, J_B die Querschnittshöhen, Querschnittsflächen und Trägheitsmomente des Gewölbes im Scheitel und an der Bruchfuge.

Infolge der Widerlagerverschiebung Δl ergibt sich eine Verminderung des Horizontalschubes der Brücke:

$$\Delta H = -\frac{\Delta l}{\int y^2 \frac{ds}{EJ}} = -\frac{15}{8}\frac{E_b \cdot J_s}{f^2 \cdot l} \cdot \Delta l = -\frac{15}{8}\frac{J_s}{f^2}\sigma_d \cdot \delta$$

Durch die Verminderung des Gewölbeschubes wird im Bogen ein positives Biegungsmoment $\Delta H \cdot y$ erzeugt, dessen Maximum im Scheitel für $y = f$ auftritt.

$$\Delta M = +\frac{15}{8}\frac{J_s}{f^2}\sigma_d \cdot \delta \cdot y \tag{2}$$

Dieses Zusatzmoment soll nun mit den Biegungsmomenten durch Verkehrslast verglichen werden.

a) für die Bruchfuge. Hier ist $y = \frac{3}{4} f$

$$\Delta M_B = \frac{45}{32}\frac{J_s}{f} \cdot \sigma_d \cdot \delta$$

Das Verkehrslastmoment an der Bruchfuge M_B beträgt ca. $\frac{1}{57}\, pl^2$ (s. Diagramm der Verkehrslastmomente gemäß Fig. 1).

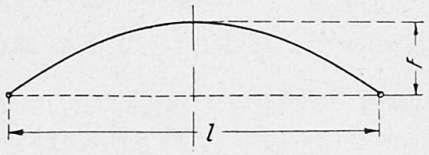

Fig. 1.

Fig. 1 a.

Das Verhältnis der Zusatzmomente und der Verkehrslastmomente beträgt demnach an der Bruchfuge

$$\frac{\Delta M_B}{M_B} = \frac{\frac{45}{32}\frac{J_s}{f}\sigma_d \cdot \delta}{\frac{1}{57} \cdot p \cdot l^2} = \frac{45 \cdot 57}{32}\frac{J_s \cdot \sigma_d \cdot \delta}{p \cdot l^2 \cdot f} \tag{3}$$

Das Verkehrslastmoment tritt auf bei einseitiger Verkehrslast. Dieser entspricht ein Gewölbeschub von:

$$H = \left(g + \frac{p}{2}\right)\frac{l^2}{8f}$$

Die sich aus diesem Gewölbeschub ergebende zentrische Druckspannung kann nach den einleitenden Bemerkungen für den ganzen Bogen als annähernd konstant angenommen werden.

$$\sigma_d = \frac{(2g+p)}{16f}\,\frac{l^2}{F_s} \tag{4}$$

Setzt man diesen Wert von σ_d in die Gl. 3 ein, dann erhält man

$$\frac{\Delta M_B}{M_B} = \frac{45\cdot 47}{32\cdot 16}\,\frac{2g+p}{p}\,\frac{J_s}{F_s}\,\frac{\delta}{f^2}, \qquad \frac{J_s}{F_s} = i_s^2 = \beta\cdot h_s^2$$

$$\frac{\Delta M_B}{M_B} \cong 5\,\frac{2g+p}{p}\left(\frac{h_s}{f}\right)^2\cdot\beta\cdot\delta \tag{5}$$

b) für den Scheitelquerschnitt.

Hier ist $y = f$ und damit

$$\Delta M_s = \frac{15}{8}\,\frac{J_s}{f}\cdot\sigma_d\cdot\delta$$

Das Verkehrslastmoment beträgt im Scheitel gemäß Abb. 1

$$M_s \cong \frac{1}{130}\,p\,l^2$$

Nach weiterer Durchrechnung ergibt sich hieraus für den Scheitel das Verhältnis der Zusatzmomente zu den Verkehrslastmomenten

$$\frac{\Delta M_s}{M_s} \cong 15{,}2\,\frac{2g+p}{p}\left(\frac{h_s}{f}\right)^2\cdot\beta\cdot\delta \tag{6}$$

Die einzelnen Faktoren, die auf das Verhältnis $\frac{\Delta M}{M}$ Einfluß haben, sollen nachstehend eingehend besprochen werden.

1. $\frac{2g+p}{p}$. Dieser Faktor zeigt den ungünstigen Einfluß der großen Eigenlast der Eisenbetonbrücken. Bei diesen ist g immer ein Vielfaches von p. Bei eisernen Brücken ist dieses Verhältnis wesentlich günstiger.

2. Der Faktor $\frac{(h_s)^2}{f}$ zeigt den großen Einfluß der Konstruktionshöhe des Bogens (h). Da h_s als quadratische Funktion auftritt, muß unter allen Umständen die Querschnittshöhe h_s eingeschränkt werden. Von gleichem Einfluß ist auch die Pfeilhöhe f, die so groß gewählt werden sollte, wie es aus architektonischen Gründen möglich ist.

3. Der Faktor β. Dieser Einfluß ist nicht so leicht zu übersehen; er soll deshalb für die verschiedenen Querschnitte der Fig. 2 näher untersucht werden.

a) Der Rechteckquerschnitt (s. Fig. 2).

Bei nicht armiertem Querschnitt ist

$$J_s = \frac{b\,h^3}{12}, \quad F_s = b\cdot h_s, \quad i_s^2 = \frac{h^2}{12}$$

demnach: $\beta = \frac{1}{12}$.

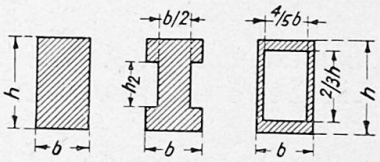

Fig. 2.

Für armierte Querschnitte wächst β an. Wir nehmen eine Längsarmierung von α % an, die einen gemittelten Abstand $0{,}4\,h$ von der neutralen Achse hat.

Für n setzen wir 15. Dann ist

$$F = b \cdot h \cdot (1 + \alpha \cdot 0{,}15), \quad J_s = b \cdot h_s^3 \cdot (0{,}0833 + \alpha \cdot 0{,}15 \cdot 0{,}4^2)$$

$$\beta = \frac{J_s}{F_s \cdot h^2} = \frac{0{,}0833 + \alpha \cdot 0{,}024}{1 + \alpha \cdot 0{,}15}$$

$\alpha =$	0 %	1 %	2 %	3 %	4 %
$\beta =$	0,0833	0,0935	0,1010	0,1070	0,1120

b) Der I Querschnitt nach Fig. 2.
Bei nicht armiertem Querschnitt ist:

$$F_s = b \cdot h_s - \tfrac{1}{4} \cdot b\, h_s = 0{,}75 \cdot b \cdot h_s$$

$$J = \frac{b \cdot h_s^3}{12} - \frac{b\, h_s^3}{12} \cdot \frac{1}{16} = 0{,}0782\, b \cdot h_s^3$$

Bei einer Längsarmierung von α %, die in einem gemittelten Abstand 0,4 h von der neutralen Achse liegt, ergibt sich

$$F_s = b\, h_s \cdot [0{,}75 + 0{,}78 \cdot \alpha \cdot 0{,}15] = b \cdot h_s \cdot [0{,}75 + \alpha \cdot 0{,}1125]$$

$$J_s = b \cdot h_s^3 \cdot [0{,}0782 + \alpha \cdot 0{,}1125 \cdot 0{,}4^2] = b\, h_s^3 \cdot [0{,}0782 + \alpha \cdot 0{,}018]$$

$$\beta_s = \frac{J_s}{F_s \cdot h_s^2} = \frac{0{,}0782 + \alpha \cdot 0{,}018}{0{,}75 + \alpha \cdot 0{,}1125}$$

$\alpha =$	0 %	1 %	2 %	3 %	4 %
$\beta =$	0,1040	0.1110	0,1170	0,1210	0,1250

c) Der Hohlquerschnitt nach Fig. 2.
Bei nicht armiertem Querschnitt ist:

$$F_s = b \cdot h_s - b \cdot h_s \cdot \frac{4}{5} \cdot \frac{2}{3} = 0{,}467 \cdot b \cdot h_s$$

$$J_s = \frac{b\, h_s^3}{12} - \frac{b \cdot h_s^3}{12} \frac{4}{5} \cdot \frac{8}{27} = 0{,}0635 \cdot b \cdot h_s^3$$

Bei einer Längsarmierung von α %, die in einem gemittelten Abstand von 0,45 h von der neutralen Achse liegt, ergibt sich

$$F_s = b \cdot h_s [0{,}467 + 0{,}467 \cdot \alpha \cdot 0{,}15] = b \cdot h_s \cdot [0{,}467 + \alpha \cdot 0{,}070]$$

$$J_s = b \cdot h_s^3 [0{,}0635 + 0{,}070 \cdot \alpha \cdot 0{,}45^2] = b \cdot h_s^3 \cdot [0{,}0635 + \alpha \cdot 0{,}014]$$

$$\beta = \frac{J_s}{F_s \cdot h_s^2} = \frac{0{,}0635 + \alpha \cdot 0{,}014}{0{,}467 + \alpha \cdot 0{,}070}$$

$\alpha =$	0 %	1 %	2 %	3 %	4 %
$\beta =$	0,1335	0,1440	0,1510	0,1560	0,1600

Bei zunehmender Armierung wächst β bei allen untersuchten Profilen der Bogenquerschnitte nur ganz langsam an und damit auch $\frac{\Delta M}{M}$. Da aber zugleich bei zunehmender Armierung die Querschnittshöhe rasch abnimmt und dieser Einfluß quadratisch ist, so ist eine starke Armierung von sehr günstigem Einfluß auf die Zusatzmomente.

4. Der Faktor $\delta = \left(1 + \frac{\sigma_e}{n \cdot \sigma_d}\right)$

Der kleinste und günstigste Wert von δ liegt vor, wenn das Eisenbetonzugband so dimensioniert ist, daß keine Haarrisse auftreten. In diesem Falle kann man annähernd die Verlängerung des Zugbandes der Zusammendrückung des Bogens gleichsetzen. Damit wird $\delta = 2{,}00$. Der Größtwert dagegen ergibt sich, wenn die Zugkraft vollständig durch ein eisernes Zugband aus hochwertigem Stahl aufgenommen wird, wobei nach den deutschen Bestimmungen für St. 48 die zulässige Eisenspannung unter Zugrundelegung der Hauptkräfte 1820 kg/qcm beträgt. — Bei einer Spannweite von 80 m beträgt die zulässige Betonbeanspruchung 80 kg/qcm, wovon erfahrungsgemäß auf reinen Druck und auf Biegung je die Hälfte, also 40 kg/qcm, kommen. Für diese Annahme ergibt sich $\delta = 1 + \frac{1820}{15 \cdot 40} \cong 4{,}00$.

Der Wert von δ schwankt also in den Grenzen von 2,0 bis 4,0. Nachstehend sind die Werte von $\frac{\Delta M}{M}$ zusammengestellt für einen I-Querschnitt mit 2,5 % Armierung ($\beta = 0{,}119$), und zwar für $g = 3\,p$, $g = 4\,p$, $g = 5\,p$ und $g = 6\,p$.

Bei derartigen Brücken beträgt die Querschnittshöhe h_s ca. $\frac{1}{36}$ der Spannweite und die Pfeilhöhe ca. $\frac{1}{6}$ der Spannweite und damit $\frac{h}{f} = \frac{1}{6}$. Der nachstehenden Tabelle sind die Verhältnisse von $\frac{h}{f} = \frac{1}{5}, \frac{1}{6}, \frac{1}{7}$ zugrunde gelegt.

Die obere Zahl in jeder Rubrik bezieht sich auf den Kleinstwert von $\delta = 2{,}0$, die untere auf den Größtwert von $\delta = 4{,}0$.

a) Für die Bruchfuge ergibt sich

	$g = 3p$	$g = 4p$	$g = 5p$	$g = 6p$
$\frac{h}{f} = \frac{1}{5}$	0,334 0,668	0,429 0,858	0,524 1,048	0,618 1,236
$\frac{h}{f} = \frac{1}{6}$	0,231 0,462	0,298 0,596	0,364 0,728	0,430 0,860
$\frac{h}{f} = \frac{1}{7}$	0,170 0,340	0,218 0,436	0,268 0,536	0,316 0,632

b) Für den Scheitelquerschnitt

	$g = 3p$	$g = 4p$	$g = 5p$	$g = 6p$
$\frac{h}{f} = \frac{1}{5}$	1,015 2,030	1,305 2,610	1,590 3,180	1,880 3,760
$\frac{h}{f} = \frac{1}{6}$	0,703 1,406	0,906 1,812	1,108 2,216	1,308 3,616
$\frac{h}{f} = \frac{1}{7}$	0,517 1,034	0,664 1,328	0,815 1,630	0,962 1,924

Bei den angegebenen Verhältnissen schwankt demnach das Verhältnis vom Zusatzmoment zum Verkehrslastmoment bei der Bruchfuge von 0,170 bis 1,236 und beim Scheitelquerschnitt von 0,517 bis 3,760.

Maßgebend für die Dimensionierung sind die Werte für die Bruchfuge. Wenn auch hier die Verhältnisse von $\frac{\Delta M}{M}$ wesentlich günstiger liegen wie beim Scheitelquerschnitt, so sind doch die Werte ΔM im Verhältnis zu den Verkehrslastmomenten sehr groß. Insbesondere bei großen Spannweiten, gekennzeichnet durch große Werte von g gegenüber p, sind diese Zusatz-

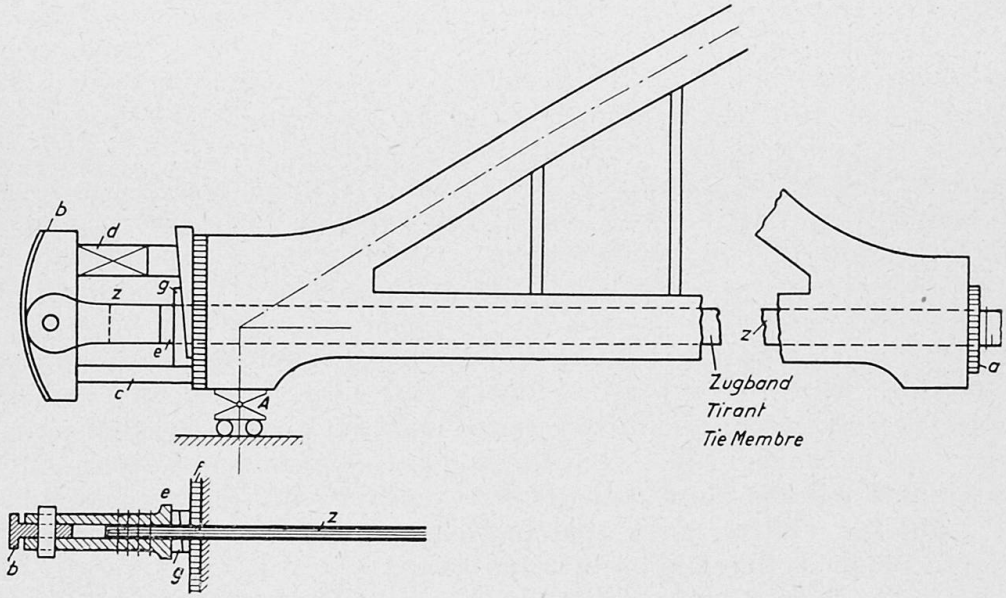

Fig. 3.

momente so gewaltig, daß eine Ausführung derartiger Bogenbrücken mit Zugbändern unter Einhaltung der zugelassenen Betondruckspannungen nicht möglich ist; denn sobald man die Bogenquerschnitte zur Aufnahme dieser Zusatzmomente vergrößert, wird auch die Querschnittshöhe h_s größer und damit werden auch wieder die Zusatzmomente größer. Diese ungünstigen Verhältnisse bei weitgespannten Zweigelenkbogenbrücken gaben dem Verfasser Anlaß dazu, nach Mitteln zu suchen, durch die diese zusätzlichen Momente vermieden werden können.

III. Die Beseitigung der zusätzlichen Biegungsmomente infolge der Verkürzung des Bogens und der Verlängerung des Zugbandes.

1. Beseitigung der Zusatzmomente infolge Verlängerung des Zugbandes bei Eigengewichtsbelastung.

Das Zugband Z, das bei großen Brücken am besten aus einem genieteten Formeisenprofil hergestellt ist, wird nach Fig. 3 in einem offenen Kanal in den beiden Betonlängsträgern verlegt und auf der Seite der Brücke, wo sich das feste Lager befindet, durch eine Ankerplatte a befestigt. Auf der anderen Seite der Brücke beim beweglichen Lager dagegen ist das Zugband vorerst noch gegenüber der Brücke frei beweglich. Es ist durch einen starken Gelenkbolzen an der Platte b befestigt. Diese Platte b wird gegen die Eisen-

betonbrücke einerseits durch die Druckstrebe *c* und andererseits durch die hydraulische Presse *d* abgestützt. Jetzt wird mit dem Ausrüsten der Brücke durch Abspindeln begonnen. Das bewegliche Lager wird sich sofort in Bewegung setzen, da der Schub des Bogens nicht aufgenommen werden kann. Zugleich werden jedoch die hydraulischen Pressen in Tätigkeit gesetzt, und dadurch wird das Gewölbe zusammengepreßt und der Punkt *A* ständig in seiner ursprünglichen Lage gehalten. Das Zugband *Z*, das auf der Seite des festen Lagers verankert ist, wird dadurch gedehnt und ausgezogen. Damit nun nicht bei plötzlichem Versagen der Pressen das Zugband wieder zurückschnellt und dadurch die Brücke gefährdet wird, sind am Zugband Verstärkungen *e* angebracht. Zwischen diesen Verstärkungen und der endgültigen Verankerungsplatte *f* sind Keile *g*, die beim Ausziehen des Zugbandes in die entstehende Öffnung hinabgleiten und dadurch beim Versagen der Pressen ein Zurückschnellen des Zugbandes verhindern. Das Ausrüsten der Brücke ist auf diese Weise vollständig gefahrlos. Der Pressendruck wird so reguliert, daß beim Abspindeln der Punkt *A* ständig in der gleichen Lage bleibt. Seine Lage wird durch ein Meßinstrument gegenüber einem Festpunkt festgestellt. Nach vollständigem Ausziehen des Zugbandes und vollständiger Abspindelung wird das Zugband hinter den Verdickungen bei *Z* abgebrannt und der Kanal, in dem das Zugband bis jetzt frei beweglich lag, wird ausbetoniert. Die Einrichtung für das Auspressen kann beliebig oft benützt werden. Anstatt die Platte *b* durch eine Druckstrebe und eine Presse gegenüber der Brücke abzustützen, hätte man auch zwei Pressen anwenden können. Die gekennzeichnete Anordnung hat jedoch den Vorteil, daß eine Presse erspart werden kann und der Pressendruck bei gleichen Hebelarmen 1 und 2 auf die Hälfte, bezw. bei ungleichen Hebelarmen sogar noch auf einen geringeren Teil ermäßigt werden kann.

Damit sind nun die zusätzlichen Biegungsmomente infolge Verlängerung des Zugbandes bei Eigengewichtsbelastungen beseitigt; denn das Zugband hat sich zwar gelängt, es ist aber zugleich durch das Ausziehen wieder um das gleiche Maß gekürzt worden. Damit sind aber noch weitere Vorteile erreicht worden. Diese sind: Erstens das gefahrlose Ausrüsten, und zweitens ist die Eisenbetonfahrbahn vollständig frei von Zugspannungen aus Eigengewicht; denn die gesamte Zugkraft wird durch das Formeisenzugband aufgenommen. Damit werden die unangenehmen Risse vermieden, die bei den gewöhnlichen Eisenbetonbrücken mit Zugbändern durch die hohe Zugbeanspruchung der Fahrbahn auftreten.

2. Beseitigung der Zusatzmomente infolge Verkürzung des Bogens durch seine Druckspannungen.

Um diese Zusatzmomente beseitigen zu können, muß in der Betonfahrbahn ein Querstreifen freigelassen werden, der erst später ausbetoniert werden darf; denn zwecks Beseitigung der Biegungsmomente durch Verkürzung des Bogens muß die Fahrbahn gegenüber dem Bogen um das Maß der Zusammendrückung des Bogens gekürzt werden, und das ist nur möglich, wenn in der Fahrbahn eine Querfuge vorhanden ist, die beim Auspressen diese Verkürzung ermöglicht. Um eine Behinderung der Verkürzung durch die Rundeisen-Einlagen der Fahrbahn an der Querfuge zu verhindern, empfiehlt es sich, die in der Längsrichtung der Brücke liegenden Bewehrungseisen an dieser Stelle durch Übergreifen zu stoßen. Das vorher durch Rechnung fest-

gelegte Maß der Verkürzung der Fahrbahn muß durch Feinmeßinstrumente kontrolliert werden.

3. Beseitigung der Zusatzmomente infolge Verlängerung des Zugbandes und Verkürzung des Bogens bei Verkehrslast.

Diese Zusatzmomente werden in der gleichen Weise wie bei 2. beseitigt. Da die Verkehrslast erst später aufgebracht wird, kann somit auch der entsprechende Gewölbeschub noch nicht erzeugt werden, wohl aber ist es möglich, die Fahrbahn gegenüber dem Bogen mit Hilfe der Querfuge schon jetzt um dieses Maß zu kürzen. Hierbei ergibt sich eine Verbiegung des Gewölbes nach oben. Da die größten Verkehrlast-Biegungsmomente bei einseitiger Verkehrlast auftreten, die bezüglich der Bogenverkürzung und Zugbandverlängerung einer durchgehenden Verkehrslast von $p/2$ entsprechen, muß das sich aus dieser Belastung ergebende Maß der Bogenzusammendrückung und Zugbandverlängerung der Fahrbahnkürzung zugrunde gelegt werden (bei der Berechnung des Maßes der Zugbandverlängerung ist zu berücksichtigen, daß um diesen Zeitpunkt das Formeisenzugband schon einbetoniert ist und infolge der Mitwirkung des Eisenbetons die Dehnung wesentlich verringert wird). Bei nicht vorhandener Verkehrslast, sowie bei durchgehender Verkehrslast p sind dann im Bogen kleine Biegungsmomente $\Delta H \cdot y$ vorhanden, die jedoch bedeutungslos sind, da gleichzeitig mit ihnen keine Verkehrslastmomente vorhanden sind. Sobald einseitige Verkehrslast aufgebracht ist und damit die maximalen Verkehrslastmomente auftreten, fallen dann diese kleinen Zusatzmomente weg; sie sind also für die Dimensionierung bedeutungslos.

4. Zusatzmomente bei nachträglicher Aufbringung der Fahrbahn und bei verschiedenartiger Schwindung des Bogens gegenüber der Fahrbahn.

Die gleichen Maßnahmen wie bei 2. und 3. sind auch dann zu ergreifen, wenn die Fahrbahnabdeckung erst nach dem Auspressen aufgebracht wird. Das gleiche gilt auch, wenn der Bogen, wie üblich, erst nach der Fahrbahn betoniert wird, sodaß verschiedenartige Schwindungen vorhanden sind. Die Zusatzmomente infolge verschiedenartiger Schwindung von Bogen und Fahrbahn lassen sich allerdings nicht ganz, aber zum größten Teil ausschalten, weil das Maß der verschiedenartigen Schwindung nicht ganz genau bekannt ist. Durch Betonversuche, die gleichzeitig mit dem Betonieren an Bogen und Fahrbahn vorgenommen werden, kann man jedoch das Maß der verschiedenartigen Schwindung hinreichend genau bestimmen, sodaß nur ein Bruchteil der zugehörigen Zusatzmomente bei der Dimensionierung berücksichtigt werden muß.

Durch die Anwendung des Ausziehverfahrens entstehen also nachstehende Vorteile:

a) Wegfall der sehr großen zusätzlichen Biegungsmomente und damit leichte und elegante Bogenkonstruktion.

b) Es können wesentlich größere Spannweiten hergestellt werden.

c) Die Eisenbetonfahrbahn wird ganz oder doch zum größten Teil von Zugkräften befreit, Haarrisse durch Zugkräfte der Fahrbahn sind ausgeschlossen.

d) Das Ausrüsten geht ebenso wie beim Expansionsverfahren vollständig gefahrlos vor sich.

e) Da das Zugband vorgespannt wird, kann hierfür hochwertiger Stahl benutzt und dadurch das Zugband leichter und billiger hergestellt werden.

Auch bereitet es keine Schwierigkeiten, für das Zugband Kabel mit noch wesentlich höherer Zugfestigkeit und kleinerem Querschnitt zu benützen. Allerdings ist dabei zu berücksichtigen, daß die Kabel einer nachträglichen Dehnung unterworfen sind, wodurch sich die durch die Pressen erzeugte Zugkraft vermindern würde. Diese Gefahr ist jedoch nicht sehr groß, weil infolge Einbetonierung der Kabel diese Differenz der Zugkraft in die jetzt geschlossene Eisenbetonfahrbahn übergehen würde, die bei ganz geringen Zugspannungen die abgegebene Kraft aufnehmen kann.

Auch könnte man sich dadurch helfen, daß man vorerst mit Hilfe der Presse eine etwas zu große Zugkraft erzeugt; dies ist möglich, wenn die Querfuge in der Fahrbahn nur so groß gehalten wird, wie es die Verkürzung der Fahrbahn erfordert, sodaß nach Schließung dieser schmalen Fuge durch die Pressen die überschießende Druckkraft durch die Fahrbahn selbst geleitet werden kann; denn diese kann nicht durch den Bogen geleitet werden, da die Bogendruckkraft nie größer werden kann als $g \cdot R$ (R = Krümmungsradius der Parabel im Scheitel).

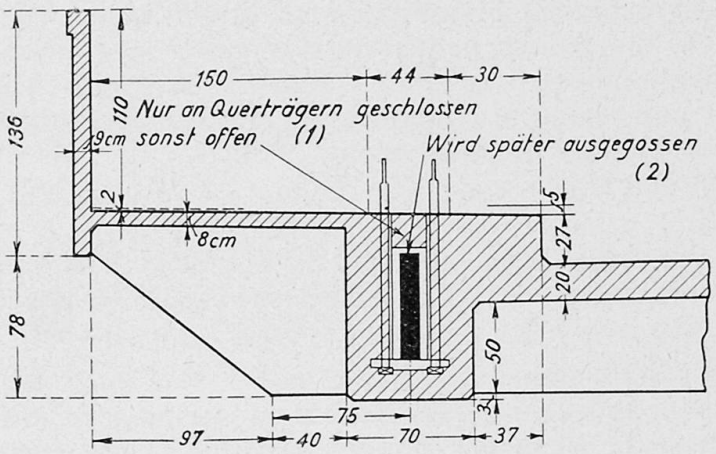

Fig. 3a.

(1) Nur an Querträgern geschlossen, sonst offen — Ouvert entre les poutres transversales — Open between the Cross Girders.

(2) Wird später ausgegossen — A fermer plus tard — Will be moulded later.

Diese Vorteile ermöglichen es, nunmehr Bogenbrücken mit angehängter Fahrbahn auch bei sehr großen Spannweiten in wirtschaftlicher Weise auszuführen. Je größer die Spannweite wird, umsomehr machen sich die Vorteile des Ausziehverfahrens bemerkbar.

IV. Beschreibung der nach diesem System ausgeführten Brücke Alsleben mit 68 m Spannweite.

Die Fahrbahnbreite dieser Brücke beträgt 6,0 m, die der Fußwege 2·1,50 m. Die Traggewölbe liegen zwischen der Fahrbahn und den Fußwegen. Hierdurch ergibt sich eine Gesamtbreite von 10,88 m (s. Fig. 3a).

Das Eigengewicht der Brücke beträgt für eine Tragwand $g = 9{,}45$ *ts*

Die Verkehrslast „ „ „ „ „ „ $p = 2{,}53$ *ts*

Demnach ergibt sich $\frac{2 \cdot g + p}{p} = 9{,}45$

Der Wert von $\frac{h_s}{f}$ beträgt $= \frac{1{,}80}{11{,}35} = \frac{1}{6{,}3}$

Der Querschnitt ist in Fig. 4 dargestellt; er ist mit 1,86 % armiert. Es beträgt $J_s = 58{,}34 \cdot 10^6$ cm^4, $F_s = 15540$ cm^2, $h_s = 180$ cm und damit

$$\beta = \frac{J_s}{F_s \cdot h_s^2} = \frac{58{,}34 \cdot 10^6}{15540 \cdot 180^2} = 0{,}116$$

Die zugelassene Beanspruchung des Bogens beträgt entsprechend den damaligen Bestimmungen nur 70 kg/qcm. Davon entfallen auf Druck $\sigma_d = 35$ kg/qcm, und demnach beträgt

$$\delta = \left(1 + \frac{\sigma_e}{n \cdot \sigma_d}\right) = 1 + \frac{1820}{15 \cdot 35} = 4{,}47$$

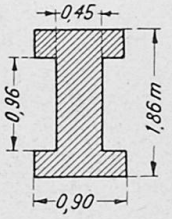

Fig. 4.

(Der Wert von $\delta = 4{,}47$ ist größer als der der Tabelle zugrunde gelegte Höchstwert von $\delta = 4$; das erklärt sich daraus, daß im Jahre 1928 die zugelassene Höchstspannung nur 70 kg/qcm betrug.)

Das Verhältnis von $\frac{\Delta M}{M}$ beträgt demnach

für die Bruchfuge $\frac{\Delta M_B}{M_B} = 5{,}0 \frac{2g+p}{p} \left(\frac{h_s}{f}\right)^2 \cdot \beta \cdot \delta = 5{,}0 \cdot 9{,}45 \left(\frac{1}{6{,}3}\right)^2 \cdot 0{,}116 \cdot 4{,}47 = 0{,}62$

„ den Scheitel $\frac{\Delta M_s}{M_s} = 15{,}2 \frac{2g+p}{p} \left(\frac{h_s}{f}\right)^2 \cdot \beta \cdot \delta = \qquad = 1{,}88$

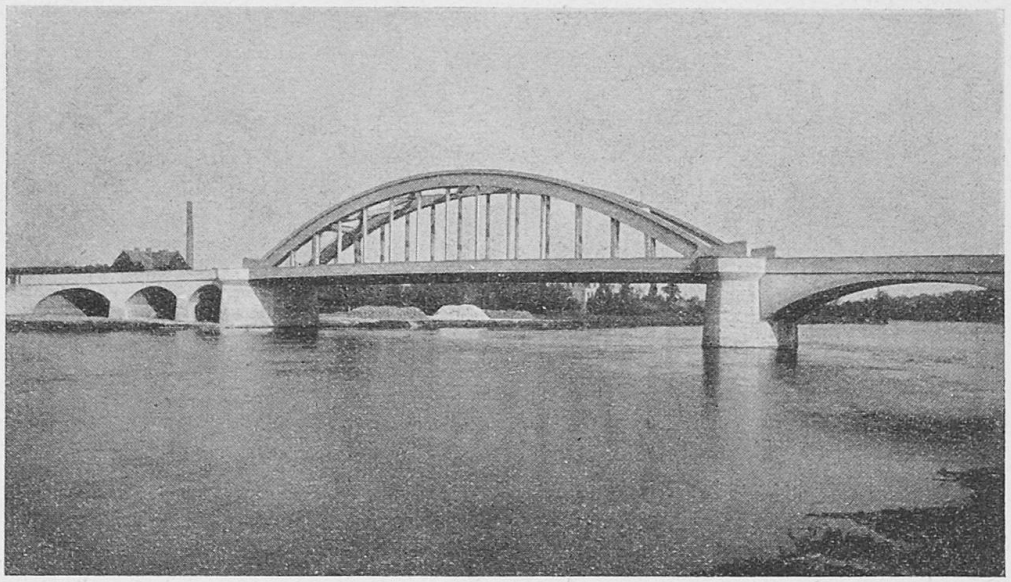

Fig. 5. Brücke über die Saale bei Alsleben — Pont sur la Saale à Alsleben — Saale Bridge near Alsleben.

Die Zusatzmomente waren demnach bei dieser Brücke schon außerordentlich groß geworden; die Betonspannung hätte sich demnach von 70 kg/qcm auf 35 + 1,62, 35 = 88 kg/qcm erhöht, bezw. hätte der Bogen ganz wesentlich verstärkt werden müssen, und damit wären die Zusatzmomente noch größer geworden. Die Zahlen kennzeichnen den großen Einfluß der Beseitigung der Zusatzmomente.

Abb. 5 zeigt die Brücke in der Ansicht; in ihrer äußeren leichten Form kann man sie von einer eisernen Brücke kaum unterscheiden, und dabei

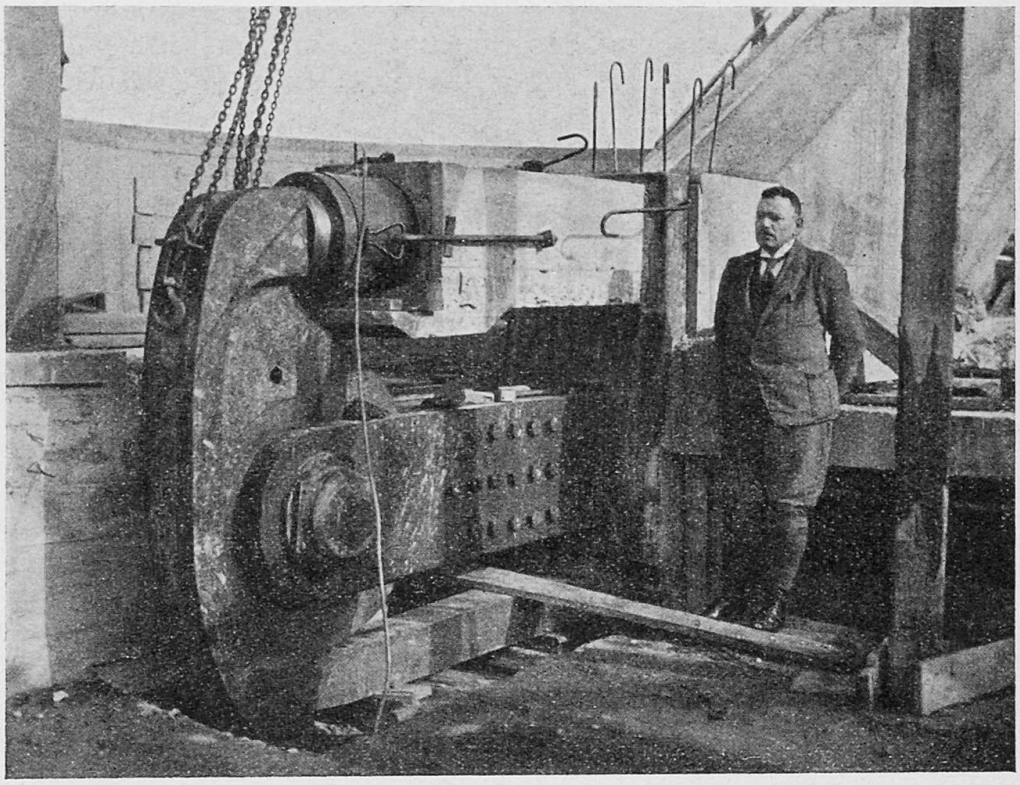

Fig. 6. Ausziehvorrichtung — Appareil pour le Raccourcissement du Tirant — Apparatus for the Shortening of the Tie Member.

wurden bei dieser Ausführung nur die allerdings wesentlichsten Zusatzmomente gemäß III, 1 beseitigt. Hätte man auch die Zusatzmomente gemäß III, 2, 3, 4 beseitigt, dann hätte das an der Bruchfuge vorhandene Biegungsmoment sich von 294 auf 257 tm verkleinert und damit hätte der Bogen noch leichter ausgeführt werden können.

Die Ausziehvorrichtung ist in Abb. 6 dargestellt; ihre Einzelheiten wurden von Digl.-Ing. Buschmann durchkonstruiert. Durch Wahl eines ungleichmäßigen Hebels konnte der Pressendruck wesentlich geringer gehalten werden wie die Zugbandkraft. Zur Ausführung kam ein Übersetzungsverhältnis 1 : 2,5, sodaß jede Presse nur 240 ts aufzubringen hatte. Das gesamte Bauwerk ohne Beschreibung der Ausziehvorrichtung ist in der Zeitschrift „Beton und Eisen“ 1929, Heft 22, beschrieben.

Zusammenfassung.

Nach einem kurzen Rückblick über das bekannte Expansionsverfahren, das in den letzten zwanzig Jahren sehr häufig bei Bogenbrücken mit obenliegender Fahrbahn angewandt wurde und neben dem Vorteil einer gefahrlosen Ausrüstung auch den Vorzug hat, daß die zusätzlichen Biegungsmomente infolge Verkürzung des Bogens und Ausweichens der Widerlager beseitigt werden, wird gezeigt, daß bei Zweigelenkbogenbrücken mit Zugbändern die Beseitigung dieser zusätzlichen Biegungsmomente noch von wesentlich größerer Bedeutung ist; denn zu den Biegungsmomenten infolge Verkürzung des Bogens treten noch die Biegungsmomente infolge Verlängerung des Zugbandes hinzu, und diese letzteren sind wesentlich größer als die ersteren.

Der Verfasser entwickelt Gleichungen, aus denen der Einfluß der zusätzlichen Biegungsmomente sowohl für den Bogenscheitel, als auch für den Viertelspunkt im Verhältnis zu den Biegungsmomenten aus Verkehrslasten hervorgeht. Diese Gleichungen zeigen, daß die zusätzlichen Biegungsmomente sehr rasch mit der Größe der Spannweite anwachsen und daß sie bei größeren Spannweiten gerade so groß werden können wie die Verkehrslastmomente selbst. Daraus folgt ohne weiteres, wie wichtig es ist, diese zusätzlichen Momente bei weitgespannten Zweigelenkbogenbrücken auszuschalten; denn nur dann lassen sich Eisenbetonbrücken herstellen, die in ihrer äußeren Form den schlanken, eisernen Bogenbrücken gleichwertig sind.

Die Beseitigung dieser zusätzlichen Biegungsmomente läßt sich dadurch erreichen, daß man das bei kleinen Brücken übliche Eisenbetonzugband durch ein Zugband aus Formeisen ersetzt, das in einer Aussparung der Längsträger verlegt, gleichzeitig mit dem Ausrüsten der Brücke durch hydrauliche Pressen angespannt und dadurch um das Maß der tatsächlichen Bogenverkürzung und Zugbandverlängerung verkürzt wird. Dieses Verfahren beseitigt nicht nur die zusätzlichen Biegungsmomente, sondern hat auch den Vorteil, daß die Ausrüstung unter Vermeidung jeglicher Biegungsmomente vollständig gefahrlos vor sich geht. Des weiteren wird die Eisenbetonfahrbahn der Brücke durch den Gewölbeschub nicht auf Zug beansprucht und bleibt deshalb unbedingt rissefrei.

Zum Schluß wird die praktische Anwendung dieses Verfahrens (D. R. P. No. 535 440) an einem ausgeführten Beispiel, der im Jahre 1928 erbauten 68 m weitgespannten Saalebrücke anhand von Zeichnungen und Lichtbildern gezeigt. Diese Eisenbetonbrücke ist in ihrer Ansicht von einer gleichartigen Eisenbrücke kaum zu unterscheiden. Bei Anwendung dieses Ausziehverfahrens lassen sich Eisenbeton-Zweigelenkbogenbrücken mit Zugbändern und angehängter Fahrbahn auch bei Spannweiten über 100 m bei architektonisch zusagenden Stärken der Gewölbe ausführen.

Résumé.

Après un court exposé rétrospectif de la méthode d'expansion qui a été employée très fréquemment, au cours de ces vingt dernières années, pour les ponts en arc avec tablier supérieur et après avoir signalé les avantages qui en résultent non seulement par suite de la suppression des risques inhérents au décintrage, mais également par suite de l'élimination des moments fléchissants additionnels, résultant du raccourcissement de l'arc et de l'écartement des culées, l'auteur montre que dans les ponts en arc à deux articulations avec tirants, cette élimination des moments additionnels présente une importance

encore plus grande, car aux moments fléchissants qui résultent du raccourcissement de l'arc s'ajoutent encore les moments fléchissants résultant de l'allongement du tirant et ces derniers sont sensiblement plus élevés que les premiers.

L'auteur développe des équations qui montrent l'influence des moments fléchissants additionnels par rapport aux moments fléchissants résultant de la charge roulante. Ces équations indiquent que les moments fléchissants additionnels augmentent très rapidement avec la valeur de la portée et que, pour les portées élevées, ils peuvent atteindre des valeurs aussi importantes que les moments dûs à la charge roulante. On voit donc immédiatement combien il est important d'éliminer ces moments dans les ponts de grande portée à deux articulations en arc, car c'est la seule condition qui permette d'obtenir des ponts en béton armé qui aient les formes élancées que possèdent les ponts métalliques en arc.

Dans les petits ponts, on peut obtenir cette élimination en remplaçant les tirants ordinaires en béton armé par des tirants en profilés, logés dans des évidements des poutres longitudinales et tendus à la presse hydraulique au moment du décintrement du pont. Ce procédé permet non seulement d'éliminer les moments additionnels, mais il présente encore l'avantage d'assurer le décintrement en toute sécurité sans mise en jeu de moments fléchissants et d'éviter le risque de fissuration, sous les efforts de traction dûs au prolongement de la voie de roulement en béton armé.

Enfin, l'auteur expose l'emploi pratique qui a été fait de ce procédé (brevet allemand 535 440), en 1928, pour la construction du pont sur la Saale, de 68 mètres de portée. Les photographies montrent que ce pont ne se distingue pas, dans son aspect, d'un pont métallique. L'emploi de cette méthode permet d'atteindre des portées allant jusqu'à 100 mètres avec des ponts en béton armé à deux articulations avec tirants et tablier suspendu, en adoptant des épaisseurs d'arc architectoniquement convenables.

Summary.

After a short survey of the known expansion method, which was very often adopted during the last twenty years in the case of arched bridges and which, in addition to the benefit of safe removal of the centering, has also the advantage that the additional bending moments occasioned by the shortening of the arch and the giving way of the supports were eliminated, the author shows that in two-hinged arched bridges with tie bars the removal of these additional bending moments is of still considerably greater significance; for in addition to the bending moments in consequence of the shortening of the arch, there occur also beding moments in consequence of the lengthening of the tie bars, and these latter are much greater than the former.

The author develops equations which show the influence of the additional bending moments both on the crown of the arch and on the quarter point in relation to the bending moments caused by working loads. These equations show that the additional bending moments increase very rapidly with increase in span, and that in the case of very large spans they be just as great as the moments caused by the live load. From this, the importance at once follows of eliminating these additional moments in two-hinged arched bridges of large span; for only then can one construct reinforced concrete bridges which in their external form are as good as the slender, steel arched bridges.

These additional bending moments may be eliminated by replacing, in small bridges, the usual reinforced concrete tie bar by a tie bar of rolled steel, laid in a recess in the longitudinal girder, stressed by hydraulic presses when removing the centering of the bridge and thereby shortened by the amount of the actual shortening of the arch and lengthening of the tie bars. This method not only eliminates the additional bending moments, but has also the advantage that the centre striking is carried out absolutely safely with the avoidance of any bending moments, and that further the reinforced concrete roadway of the bridge is not put under tension by the thrust of the arch, and consequently remains absolutely free from cracks.

Finally, the practical application of this method (German Pat. No. 535 440) is shown by an actual example, drawings and photos of the Saale bridge, with a span of 68 metres, built in 1928. The illustrations show that this reinforced concrete bridge hardly differs in appearance from a steel bridge of the same type. Adopting this method allows reinforced concrete two-hinged arch bridges with tie bars and suspended roadway to be built even with spans of over 100 metres with architecturally correct height of arch.

Leere Seite
Blank page
Page vide