

<b>Zeitschrift:</b>	Schweizerische Bauzeitung
<b>Herausgeber:</b>	Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
<b>Band:</b>	105/106 (1935)
<b>Heft:</b>	24
<b>Artikel:</b>	Bekämpfung der schädlichen Zwängungsspannungen in Bogenträgern und Gewölben
<b>Autor:</b>	Fritz, Bernhard
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-47535">https://doi.org/10.5169/seals-47535</a>

### **Nutzungsbedingungen**

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

### **Conditions d'utilisation**

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

### **Terms of use**

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

**Download PDF:** 18.02.2026

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

INHALT: Bekämpfung der schädlichen Zwängungsspannungen in Bogenträgern und Gewölben. — Die Sernf-Niedererbach-Kraftwerke. — Wettbewerb für den Neubau eines Gewerbeschulhauses und die Erweiterung der Lehrwerkstätten in Bern. — Dreiteilige Diesel-Schnelltriebwagen der Deutschen Reichsbahn. — Mitteilungen: Die Eisenbahnbrücke Belgrad-Pancevo. Der Architekt in den geistigen Strömungen der Gegenwart. Arbeitsgelegenheiten für Techniker in Persien. Vibrationsbeton für

die Instandstellung von beschädigten Eisenbetonkonstruktionen. Die neuzeitliche Be- stuhlung der Schulzimmer. „Normandie“. Der neue Windkanal der Deutschen Ver- suchsanstalt für Luftfahrt. Grabündner Kantonsspital in Chur. Der Bahnhofplatz in Winterthur. Direktor des E. W. Lodzi (Polen). — Nekrolog: K. Meier. E. Bützberger. Literatur. — Mitteilungen der Vereine. — Sitzungs- und Vortrags-Kalender. — An unsere Abonnenten.

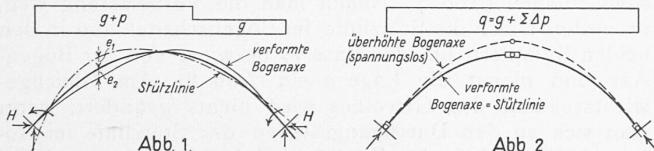
## Bekämpfung der schädlichen Zwängungsspannungen in Bogenträgern und Gewölben.

Von Dr. Ing. BERNHARD FRITZ, Karlsruhe, Techn. Hochschule.

### I. ALLGEMEINES.

Die in neuester Zeit durchgeführten Versuche und theoretischen Ueberlegungen lassen erkennen, dass beim Bau weitgespannter Bogenbrücken und Gewölbe nicht, wie bisher vielfach angenommen wurde, die ruhende Last oder das spezifische Gewicht des Baustoffes und seine zulässigen Spannungen für die Erreichung der Grenzstützweite eines Gewölbes allein ausschlaggebend sind, sondern dass auch die im Bogen auftretenden Zwängungsspannungen dabei massgebend werden können<sup>1)</sup>. Als Zwängungsspannungen werden die zusätzlichen Beanspruchungen bezeichnet, die am statisch unbestimmten Bogen infolge der Verkürzung der Bogenaxe und infolge der Schwinderscheinungen des Baustoffes auftreten. Auch dessen plastisches Verhalten oder allfällige Widerlagerbewegungen können Zwängungsspannungen verursachen. Es ist deshalb beim Bau und bei der Berechnung von Bogenbrücken äusserst wichtig, diese Spannungen zu verringern, ohne dabei die anderseits auch erforderliche Steifigkeit des Bogens vermindern zu müssen.

Eine lotrechte Belastung verursacht bei Bogenträgern an der Stelle der grössten Lastanhäufung eine Hebung  $e_1$  der Stützlinie und eine Senkung  $e_2$  der Systemlinie. Bogenaxe und Stützlinie entfernen sich voneinander (Abb. 1). Das Biegemoment für irgendeinen Punkt der verformten Bogenaxe berechnet sich dann aus:  $M = H(e_1 + e_2)$  (1) worin sich der Einfluss der Systemverformung grösstenteils durch den Beitrag ausdrückt:  $M_2 = He_2$  . . . . (2)



Ausser der ruhenden und beweglichen Belastung bewirken auch Schwindeinflüsse, sowie allfällige Widerlagerbewegungen ein Abrücken der Stützlinie von der verformten Bogenaxe und dadurch oft eine beträchtliche Vergrösserung der Bogenmomente und Randspannungen.

Im folgenden wird als Abhilfe vorgeschlagen, jedes statisch unbestimmte Gewölbe vorübergehend als Dreigelenkbogen auszubilden und ihm bei der Bauausführung eine derart überhöhte Anfangslage zu erteilen, dass sich bei der Einwirkung der ruhenden Last und eines Teiles der Verkehrslast, sowie der Auswirkung des Schwindens und einer allfälligen Widerlagerverschiebung die Bogenaxe in günstigem Sinne verformt. Sie nähert sich dann der Stützlinie und fällt später bei einer bestimmten Belastung (am zweckmässigsten ruhende Last + halbe Verkehrslast), mit ihr zusammen. Dann wird für jeden Punkt der verformten Bogenaxe  $M = 0$  (Abb. 2).

Von Versuchen ähnlicher Art, die Spannungsverhältnisse in Gewölben künstlich zu beeinflussen und zu verbessern, sind in diesem Zusammenhang die Gewölbebauweisen von Färber-Freyssinet, Dischinger, Miozzi und Gaede zu erwähnen. Bei der im folgenden vorgeschlagenen Bauweise handelt es sich im Gegensatz zu den Baumethoden von Färber-Freyssinet und Dischinger nicht um eine nachträglich verbessende Beeinflussung der Gewölbelage, sondern um eine vorbeugende Massnahme.

<sup>1)</sup> Prof. Dr. M. Ritter: „Wärme- und Schwindspannungen in eingespannten Gewölben“, „SBZ“, Bd. 95, S. 139<sup>st</sup> und 156<sup>st</sup> (März 1930). Auch als Sonderdruck erhältlich.

### II. THEORETISCHE MÖGLICHKEITEN UND PRAKTISCHE MASSNAHMEN.

#### 1. Uebersicht.

Bei der theoretischen Untersuchung statisch unbestimmter Bogenträger zeigt sich, dass infolge der elastischen Axverkürzungen ein Zusammenfallen von Bogenaxe und Stützlinie durch rein rechnerische Feinheiten nicht erreicht werden kann. Es treten immer zusätzliche Biegungsmomente auf, die durch baustatische Massnahmen allein nicht allgemein verminder oder gar ausgeschaltet, sondern nur hinsichtlich ihrer Verteilungsweise günstig beeinflusst werden können<sup>2)</sup>.

Ein praktisch vollkommenes Zusammenfallen von Stützlinie und Bogenaxe für irgend einen symmetrischen Belastungszustand kann bei statisch unbestimmten Bogen-Systemen nur dann erreicht werden, wenn man, wie im nachstehend beschriebenen Bauverfahren (D.R.P.a.) vorschlagen, für alle Bogenarten den statisch bestimmten Dreigelenkbogen als Ausgangssystem wählt. Durch geeignetes Ueberhöhen der beiden Dreigelenkbogenhälften, das sämtliche schädlichen Einflüsse berücksichtigt, kann dann das Auftreten ungünstiger Zwängungsspannungen ausgeglichen und somit ausgeschaltet werden. Die Neuheit der Bauweise besteht darin, dass man auf diese Weise auch die gesamten Schwindspannungen des im Endzustand gelenklosen Bogens ausschalten kann und dass Gelenklager verwendet werden, die derart ausgebildet sind, dass sie sich später aus dem unter Belastung stehenden Gewölbe durch Entspannen leicht entfernen lassen, um dann wieder erneut Verwendung zu finden. Auf diese Art werden „verlorene Gelenke“ vermieden und dementsprechende wirtschaftliche Vorteile erzielt. Ausserdem wird der Einsatz hydraulischer Pressen, den die Bauweisen von Färber, Freyssinet und Dischinger zur Hebung des zu tief gesunkenen Bogens erfordern, hier überflüssig, da die beim Absenkungsvorgang geleistete Verformungsarbeit von der Energie der beiden anfangs überhöht gelagerten Bogenhälften bestritten wird.

Bei der Bestimmung der Ueberhöhung der beiden Dreigelenkbogenhälften sind folgende Einflüsse zu beachten:  $\alpha$ ) Die elastische Zusammenpressung des Lehrgerüstes sowie die Zusammendrückung der an den Stosstellen der Gerüstholzer verbliebenen Fugen;  $\beta$ ) die Bogenverkürzung durch ruhende Last;  $\gamma$ ) die Bogenverkürzung durch Verkehrslast;  $\delta$ ) die Bogenverkürzung durch das Schwinden;  $\epsilon$ ) die Stützweitenvergrösserung durch eine allfällige Widerlagerverschiebung.

#### 2. Richtlinien für die praktische Bauausführung.

Die beiden Bogenhälften werden lamellenweise auf dem im obigen Sinne überhöht ausgeführten Lehrgerüst betoniert (Abb. 3, Lage 0). An den beiden Kämpfern werden auswechselbare Gelenke eingesetzt. Die Scheitellücke bleibt zunächst offen. Durch das Nachgeben des Lehrgerüstes sinkt der Bogen in die Lage 1 (Abb. 3). Es ist zweckmässig, das Mass der Zusammendrückung des Lehrgerüstes, dem immer eine gewisse Unsicherheit anhaftet, von vornherein eher etwas zu gross anzunehmen. Durch Absenken der Spindeln kann dann leicht die erforderliche Bogenlage 2 hergestellt werden, die als Ausgangslage für

<sup>2)</sup> Prof. Dr. Ing. E. Chwalla: „Ueber die Verfahren zur Verbesserung der Spannungsverhältnisse in statisch unbestimmten Bogenträgern“, H. D. I.-Mitteilungen, Brünn 1935, Heft 21/22.

die im weiteren genauer verlaufende Bogenformgebung beim Einsetzen des auswechselbaren Scheitelgelenkes erreicht sein muss (Abb. 3 und 4). Die zwischen den einzelnen Bogenlamellen vorhandenen Fugen werden jetzt ebenfalls geschlossen. Dann wird das Lehrgerüst soweit abgesenkt, dass sich der Bogen selbst trägt. Er sinkt jetzt allmählich in die Lage 3, die er einnimmt, wenn der Ueberbau fertiggestellt ist und die Bogenverkürzung durch ruhende Last sich ausgewirkt hat (Abb. 4). Das Lehrgerüst kann jetzt entfernt werden. Im betriebsfertigen Endzustand soll die Axe des dann gelenklosen Bogens bei einer Belastung durch  $g + p/2$  mit der Stützlinie zusammenfallen. Um dies zu erreichen, kann man verschiedene Wege einschlagen. Zunächst besteht die Möglichkeit, die Last  $p/2$  vorübergehend, d. h. bis zum Schliessen der Gelenkstellen als künstliche Vorbelastung aufzubringen. Ist mit Schwinderscheinungen zu rechnen, so wird noch eine künstliche Zusatzlast  $\Delta p_s$  erforderlich, die der Bogenverkürzung durch das Schwinden entspricht. Ob eine allfällige Widerlager-Verschiebung nur durch eine Ueberhöhung der beiden Bogenhälften zu berücksichtigen ist, oder ob man ihr in ähnlicher Weise wie der Schwinderscheinung durch eine künstliche Vorbelastung  $\Delta p_w$  Rechnung tragen muss, hängt davon ab, ob sich die Widerlagerbewegung vor dem Schliessen der Gelenke einstellt oder erst später zur Auswirkung kommt. Unter Einwirkung der ruhenden Last und der künstlichen Vorbelastungen sinkt das Gewölbe dann soweit ein, dass alle Ueberhöhungen ausgeglichen werden, die Bogenaxe im Scheitel stetig verläuft und die beiden Scheitelquerschnitte nicht mehr gegeneinander geneigt sind (Abb. 5, Lage 4).

Jetzt werden an allen Gelenkstellen neben den Lagerkörpern oder oberhalb und unterhalb derselben bewehrte Beton schlussteine sorgfältig eingepasst. Bei stark armierten Gewölben ist die Zugbewehrung zu verschweissen und die Scheitellücke auszubetonieren. Dann werden die Gelenklager vorsichtig entspannt (vergl. auch Abb. 11 und 12) und herausgenommen. Der Bogen ist somit ein gelenkloses, beidseitig eingespanntes System geworden, bei dem zunächst bei der Belastung durch  $g + p/2 + \Delta p_s + \Delta p_w$  Bogenaxe und Stützlinie zusammenfallen (Abb. 6). Solange das Schwinden noch nicht zur Ruhe gekommen ist, treten im Bogen bei einer Belastung nur durch  $g + p/2$  noch Biegemomente auf. Er besitzt dadurch eine Vorspannung,

die er zum Ausgleich der Schwindspannungen bezw. der noch zu erwartenden Widerlagerbewegung benötigt. Nach beendetem Schwinden und zum Stillstand gekommener Widerlagerbewegung sind diese Vorspannungen jedoch aufgehoben. Dann fallen nur noch für die Belastung durch  $g + p/2$  Stützlinie und Bogenaxe zusammen.

Diese Bauweise kann vorteilhaft werden, wenn die Bogenquerschnitte und Gewölbestützweiten klein sind und man dementsprechend nur geringe künstliche Vorbelastungen aufzubringen hat.

Bei Bogenbrücken und Gewölben mit grösseren Stützweiten und Bogenquerschnitten errechnen sich oft sehr bedeutende künstliche Vorbelastungen, die die Bauweise nicht nur technisch schwierig, sondern auch unwirtschaftlich machen können. In diesen Fällen kann man aber die Vorbelastungen  $\Delta p_s$  und  $\Delta p_w$  sparen, wenn man mit dem Schliessen der Gelenkstellen wartet, bis sich das Schwinden ausgewirkt hat und die Widerlagerverschiebung zur Ruhe gekommen ist. Dann ist nur noch  $p/2$  als künstliche Vorlast aufzubringen.

Will man überhaupt nicht mit künstlichen Vorbelastungen arbeiten und auch mit dem Versteifen der Gelenkstellen nicht warten, bis keine Schwindwirkungen und kein Ausweichen der Widerlager mehr zu beobachten sind, so erreicht man die Vorspannung, die das Gewölbe bei einer Belastung nur durch ruhende Last haben soll, durch ein exzentrisches Anordnen der Gelenke im Bogenscheitel und in den beiden Kämpfern.

Zur Berechnung der Grösse der jeweiligen Exzentrizität  $e_s$  im Scheitel und  $e_k$  in den Kämpfern dient folgende Zwischenüberlegung: Man denkt sich zunächst ein Gewölbe in der zuerst beschriebenen Weise als Dreigelenkbogen ausgebildet, überhöht, belastet, freigesetzt und nach dem Aufbringen der gesamten Vorbelastungen  $\Sigma \Delta p = p/2 + \Delta p_s + \Delta p_w$  an den Gelenkstellen versteift. Nach dem Entfernen der Gelenklager ist dieses Gewölbe ein beiderseits eingespannter Bogen geworden, bei dem bei der Belastung durch  $g + \Sigma \Delta p$  Stützlinie und verformte Bogenaxe zusammenfallen (Abb. 7). Nimmt man die Vorbelastung weg, so entfernt sich die Stützlinie im Bogenscheitel und in den beiden Kämpfern um das Mass  $e_s$  bezw.  $e_k$  von der Bogenaxe und nimmt die Lage  $a$  ein (Abb. 8). Am Gleichgewichtszustand des Gewölbes wird nichts geändert, wenn man sich an den Durchgangsstellen der Stützlinie im Bogenscheitel und in den Kämpfern Gelenke eingesetzt denkt (Abb. 9).

Daraus ist zu ersehen, dass sich die selben statischen Verhältnisse im Gewölbe auch unter Umgehung aller künstlichen Vorbelastungen  $\Sigma \Delta p$  dann herbeiführen lassen, wenn man es in der eingangs beschriebenen Weise zunächst als überhöhten Dreigelenkbogen ausbildet, dabei aber von vornherein die Montagegelenke im Scheitel und in den Kämpfern um das Mass  $e_s$  bezw.  $e_k$  gegen die Bogenaxe versetzt anordnet. Man braucht dann auf den Bogen nur die ruhende Last einwirken zu lassen, die Gelenkstellen zu versteifen, die Gelenklager zu entfernen und hat einen beidseitig eingespannten Bogen, der die erwünschten Vorspannungen besitzt.

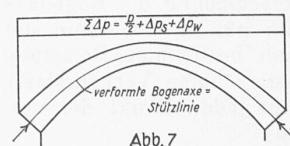
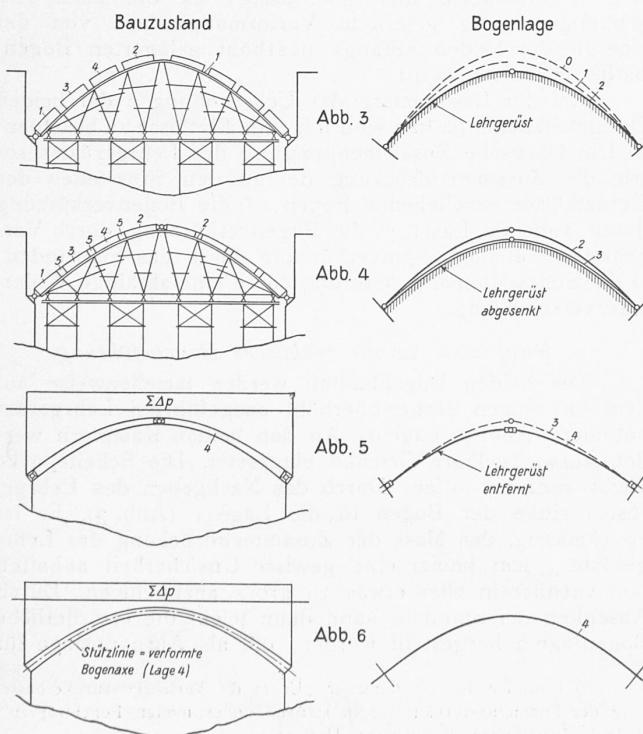


Abb. 7

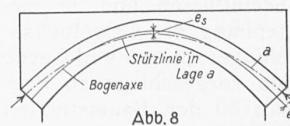


Abb. 8

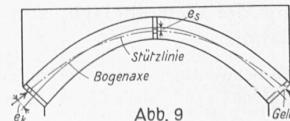


Abb. 9



Abb. 10

Die Exzentrizitäten  $e_s$  und  $e_k$  berechnen sich aus:

$$e_s = \frac{\Delta M_s}{N_s} \quad (3) \quad e_k = \frac{\Delta M_k}{N_k} \quad (4)$$

worin:  $N_s = -H_g$  und  $N_k = -\frac{H_g}{\cos \varphi_k}$  gesetzt wird.

Die Bogenmomente  $\Delta M$ , die entstehen, wenn man sich bei dem in Abb. 7 dargestellten Gewölbe die künstliche Belastung  $\Sigma \Delta p$  entfernt denkt, berechnet man am zweckmässigsten mit Hilfe des Tabellenwerkes von A. Strassner<sup>3)</sup>. Statt der „Formgebungszahl“  $m = \frac{g_k}{g_s}$  bildet man das Verhältnis:

$$m = \frac{g_k + \Sigma \Delta p}{g_s + \Sigma \Delta p} \quad \dots \quad (5)$$

und wertet die dafür tabellarisch entnommenen Einflusslinien für die Belastung  $-\Sigma \Delta p$  aus.

### 3. Die Berechnung der Bogenüberhöhung.

Der Einfluss des Lehrgerüstes auf die Bogenlage macht sich schon vor dem eigentlichen Ausrüstungsvorgang bemerkbar und muss daher von den axverformenden Einflüssen der Bogenbelastungen getrennt berücksichtigt werden. Nach Kirchner<sup>4)</sup> lassen sich die Ueberhöhungen  $\eta_{1\ddot{u}}$  einer Bogenhälfte (Abb. 10) annähernd bestimmen aus:

$$\eta_{1\ddot{u}} = \frac{2 h_{\max} \sigma_{H \text{ zul}}}{E_H} \frac{x}{l} \quad \dots \quad (6)$$

worin  $h_{\max}$  die Lehrgerüsthöhe im Bogenscheitel,  $E_H$  den Elastizitätsmodul des Gerüstholzes und  $\sigma_{H \text{ zul}}$  die zulässige Druckspannung des Bauholzes bedeuten.

Die Ueberhöhungen  $\eta_{2\ddot{u}}$ , die den Bogenverkürzungen und einer etwaigen Stützweitenvergrösserung  $\Delta l$  entsprechen, berechnen sich aus<sup>5)</sup>:

$$\eta_{2\ddot{u}} = \frac{q l^2}{2 E F_m \cos \varphi_m} \left[ \frac{l^2}{8 f^2 \cos^2 \varphi_v} + 2 \left( \frac{1}{3} - \frac{x}{l} \right) \right] \frac{x}{l} \quad (7)$$

Die Gleichung gilt für eine Bogenhälfte (Abb. 10).

Sollen im betriebsfertigen Zustand bei der Belastung durch ruhende Last  $g$  und halbe Verkehrslast  $p/2$  Stützlinie und verformte Bogenaxe zusammenfallen, so ist in der Gleichung (7)

$$q = g + p/2 + \Delta p_s + \Delta p_w \quad \dots \quad (8)$$

zu setzen. Durch die virtuelle Last:

$$\Delta p_s = \frac{8 f E F_m \cos \varphi_v}{l^2} \omega t_0 \quad \dots \quad (9)$$

wird das nach dem Ausrüsten auftretende „nachträgliche Schwinden“ berücksichtigt und ausgeglichen, das durch bauliche Massnahmen<sup>6)</sup> wie Lamellenbetonierung und spätes Ausrüsten nicht mehr erfasst werden kann.

In ähnlicher Weise kann durch Einführen der virtuellen Last:  $\Delta p_w = \frac{8 f E F_m \cos \varphi_v}{l^3} \Delta l \quad \dots \quad (10)$

der Einfluss einer Stützweitenvergrösserung  $\Delta l$  vorbeugend berücksichtigt und unschädlich gemacht werden.

In den Gleichungen (7) bis (10) bedeuten:  
 $l, f$  Stützweite und Pfeil des Gewölbes,  
 $F_m, E$  Mittelwerte für Bogenquerschnittsfläche und Elastizitätsmodul,  
 $\cos \varphi_v$  Neigungscosinus der Bogenaxe in  $l/4$ ,  
 $\omega$  Wärmeausdehnungszahl des Baustoffes,  
 $t_0$  zur Berechnung des Einflusses des „nachträglichen Schwindens“ angenommener Temperaturabfall.

### 4. Ausbildung der auswechselbaren Gelenklager.

Damit die Bogengelenke nach dem Versteifen der Gelenkstellen des belasteten Gewölbes leicht zu entfernen

<sup>3)</sup> A. Strassner: „Neuere Methoden“, Bd. II, W. Ernst & Sohn Berlin 1927.

<sup>4)</sup> Prof. H. Kirchner: „Der Rüstungsbau“, Ernst & Sohn, Berlin 1924.

<sup>5)</sup> Dr. Ing. B. Fritz: „Theorie und Berechnung vollwandiger Bogenträger bei Berücksichtigung des Einflusses der Systemverformung“. Julius Springer, Berlin 1934.

<sup>6)</sup> Dr. Ing. K. Schaechterle: „Massnahmen zur Herabsetzung und Ausschaltung der Schwindspannungen bei Bauwerken aus Beton und Eisen-Beton“. „Bautechnik“, 1928, Heft 37, 40, 43.

sind, müssen sie auf besondere Art ausgebildet sein. Nachstehend sind zwei konstruktive Möglichkeiten der Gelenkausbildung schematisch dargestellt und beschrieben.

*Das Gelenklager mit hydraulischer Entspannung* (Abb. 11). Der Kugelzapfen  $a$  des einen Lagerkörpers ist an seinem untern Ende kolbenartig ausgebildet und ruht auf einem Wasser- oder Glyzerinpolster  $b$ , das vor dem Einbau und der Belastung des Lagers durch die Öffnung  $c$  aufgefüllt wird. Die beispielweise schalenartig ausgebildete Lagerpfanne  $d$  des gegenüberliegenden Lagerkörpers ist nach der Entspannung, die durch das Ablassen der Flüssigkeit des Kolbenpolsters herbeigeführt wird, seitlich herausnehmbar. Um zu verhindern, dass das Gewölbe infolge einer Undichtigkeit der Flüssigkeitskammer oder einer sonstigen Ursache einsinkt, werden zwischen dem Kolbengehäuse  $h$  und der Lagerpfanne  $d$  Keile  $e$  eingeschoben.

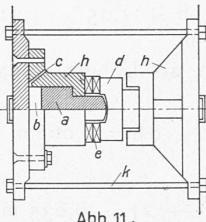


Abb. 11.

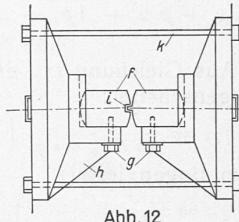


Abb. 12

*Das Kniehebelgelenk* (Abb. 12). Das Gelenk wird<sup>7)</sup> durch zwei in der Verlängerung der Bogenaxe liegende Stelzen  $f$  gebildet. Die Längsachsen dieser Stelzen sind entsprechend dem gekrümmten Verlauf der Gewölbestützlinie schwach gegeneinander geneigt und haben das Bestreben, nach oben durchzuschlagen. Hieran werden sie durch Schrauben  $g$ , die sie mit dem Lagerkörper  $h$  verbinden, gehindert. Zwei Dollen  $i$  verhüten ein seitliches Abrutschen. Ist der Bogen abgesenkt und an den Gelenkstellen geschlossen, so werden die Schrauben  $g$  gelöst, die Stelzen  $f$  weichen nach oben aus, werden druckfrei und können entfernt werden, ebenso nach ihnen die Lagerkörper.

Die ausserdem noch bei beiden Ausführungsmöglichkeiten angedeuteten Schraubenstangen  $k$  haben den Zweck, die drehbaren Lagerteile gegeneinander abzustützen und in der erforderlichen Lage zusammenzuhalten. Dadurch wird der Einbau der Gelenklager erleichtert. Vor dem Absenken des Bogens werden diese Schraubenstangen gelöst, um das Spielen der Gelenke nicht zu verhindern.

### III. ZAHLENBEISPIEL.

Als Ergänzung zu den theoretischen Ausführungen und praktischen Ueberlegungen wird im nachstehenden für einen im Endzustand gelenklosen, aus zwei Hauptträgern bestehenden Eisenbetonbogen die Berechnung der Ueberhöhung zahlenmäßig durchgeführt, die dem beim Baubeginn zunächst als Dreigelenkbogen ausgeführten Bogenträger zu erteilen sind.

#### 1) System- und Querschnittsgrössen:

Spannweite:  $l = 54,00 \text{ m}$ , Pfeil:  $f = 6,50 \text{ m}$ , Neigungscosinus im Bogenviertel:

$$\cos \varphi_v = \frac{1}{\sqrt{1 + 4 \left( \frac{f}{l} \right)^2}} = 0,97$$

Mittlerer Bogenquerschnitt eines Hauptträgers:  $F_m = 0,70 \text{ m}^2$ .

#### 2) Belastungen eines Hauptträgers:

$$g = 7,00 \text{ t/m}, \quad p = 2,50 \text{ t/m}.$$

3) Berechnung der Ueberhöhung. Bei der Bestimmung der zu erwartenden Senkungen des Lehrgerüstes ergibt sich mit:

$h_{\max} = 18,00 \text{ m}$ ,  $\sigma_{H \text{ zul}} = 1000 \text{ t/m}^2$  und  $E_H = 1000000 \text{ t/m}^2$  aus Gleichung (6) eine Scheitelüberhöhung von:

$$\eta_{1s} = h_{\max} \frac{\sigma_{H \text{ zul}}}{E_H} = 18,00 \frac{1000}{1000000} = 0,018 \text{ m}$$

und im Bogenviertel:  $\eta_{1v} = \frac{1}{4} \eta_{1s} = 0,0045 \text{ m}$   
 Berücksichtigt man das „nachträgliche Schwinden“ durch

<sup>7)</sup> Nach einem Vorschlag von Prof. Dr. Ing. K. Kammlüller.

einen Temperaturabfall von  $t_s^0 = 5^\circ$ , so ergibt sich mit der Wärmedehnungszahl  $\omega = 0,00001$  und dem Elastizitätsmodul  $E_B = 2000000 \text{ t/m}^2$  des Baustoffes aus Gleichung (9) zunächst eine virtuelle Belastung:

$$\Delta p_s = \frac{8f E F_m \cos \varphi_v}{l^2} \omega t_s^0$$

$$= \frac{8 \cdot 6,50 \cdot 2000000 \cdot 0,70 \cdot 0,97}{10000 \cdot 54,00^2} \cdot 0,00001 \cdot 5 = 1,21 \text{ t/m}$$

Nimmt man wie üblich eine Widerlagerverschiebung von  $\Delta l = \frac{l}{10000} = 0,0054 \text{ m}$  an, so erhält man aus Gleichung (10) die virtuelle Belastung:

$$\Delta p_w = \frac{8f E F_m \cos \varphi_v}{10000 l^2} = \frac{8,00 \cdot 6,50 \cdot 2000000 \cdot 0,70 \cdot 0,97}{10000 \cdot 54,00^2}$$

$$= 2,42 \text{ t/m}$$

Damit bestimmt sich aus Gleichung (8) die für die Berechnung der Ueberhöhung  $\eta_{2s}$  massgebende Belastung  $q = g + p/2 + \Delta p_s + \Delta p_w = 7,00 + 1,25 + 1,21 + 2,42 = 11,88 \text{ t/m}$

Aus Gleichung (7) ergibt sich als Ueberhöhung  $\eta_{2s}$  im Bogenscheitel:

$$\eta_{2s} = \frac{q l^2}{96 E F_m \cos \varphi_v} \left( \frac{3 l^2}{f^2 \cos^2 \varphi_v} - 8 \right) = 0,066 \text{ m}$$

und im Bogenviertel:

$$\eta_{2v} = \frac{q l^2}{96 E F_m \cos \varphi_v} \left( \frac{3 l^2}{2 f^2 \cos^2 \varphi_v} + 2 \right) = 0,035 \text{ m}$$

#### IV. SCHLUSSBEMERKUNG.

Aus obigem Zahlenbeispiel ist zu ersehen, dass man schon für mittlere Stützweiten praktisch verwertbare Ueberhöhung erhält. Bei weitgespannten oder sehr flachen Gewölben ergeben sich wesentlich grössere Werte.

Für Bogenträger mit Zugband sind die eingangs beschriebenen Massnahmen und Möglichkeiten von besonders grosser Bedeutung<sup>8)</sup>. Bei diesem System werden die Abweichungen der Stützlinie von der Bogenaxe meist schon bei kleinen Stützweiten sehr erheblich, da sich die Zugbandverlängerung in der selben Weise wie eine Bogenverkürzung ungünstig auswirkt. Deshalb ist dieses in manchen Fällen sehr zweckmässige Bogensystem bisher namentlich bei grösseren Spannweiten noch wenig ausgeführt worden. In neuerer Zeit hat Dischinger<sup>9)</sup>, um diesen Mangel zu beheben, vorgeschlagen, das gelängte Zugband durch einen hydraulischen Pressenhebel nachträglich kürzer zu fassen und so die gesunkene Bogenaxe zu heben, der Stützlinie näher zu bringen und dadurch die Bogenmomente zu verringern. Durch die oben beschriebenen Massnahmen wird dieses Ziel vielleicht auf noch einfachere Art erreicht. Man hat als statisch bestimmtes Montagesystem nur den überhöhten Dreigelenkbogen mit Zugband einzuführen. Zur Berechnung der Ueberhöhung ist die Zugbandverlängerung wie eine Widerlagerverschiebung zu behandeln.

#### Die Sernf-Niedererenbach-Kraftwerke.

DIE UEBERTRAGUNGSLEITUNGEN (150 kV Schwanden-Netstal und 45 kV Winkel-Walenbüchel). (Schluss von Seite 271.)

Zur Uebertragung der S. N.-Energie in ihr Hauptabsatzgebiet war ursprünglich der Bau einer eigenen Hochspannungsleitung von Schwanden bis nach St. Gallen geplant. Als aber gleichzeitig auch von den N.O.K. für ihren Energietransport nach der Gegend von St. Gallen ein Projekt für eine Fernleitung in der gleichen Richtung aufgestellt wurde, erhoben sich Einsprachen gegen die Erstellung von zwei grossen Leitungen durch das gleiche Gebiet. Auch die Eidg. Kommission für elektrische Anlagen und das Eidg. Starkstrom-Inspektorat sprachen sich gegen diesen doppelten Leitungsbau aus. Nach längeren Verhandlungen entschlossen sich die S. N., den Bau einer eigenen Leitung aufzugeben und den N. O. K. den Transit der für St. Gallen bestimmten Energie zu übertragen. Dies bedingte eine Änderung der projektierten Energie-transport-Einrichtungen sowohl in der Aufspannstation in Schwanden wie in den verbleibenden Leitungsanlagen.

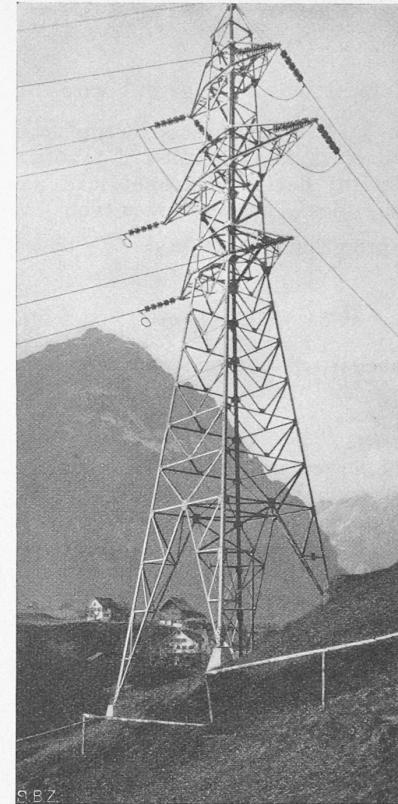


Abb. 57. Eckmast der 150 kV-Leitung Schwanden-Netstal bei Sool.

Glarus und im Kanton St. Gallen auf die Stadt St. Gallen, die städtischen Gas- und Wasserwerke im Rietli bei Rorschach und auf einen Teil des Bedarfs der Stadt Rorschach beschränkt. Den S. N. oblag die Erstellung einer 150 kV-Leitung von Schwanden bis zur Maschinenzentrale der N.O.K. am Lütsch bei Netstal. Diese führt von der Aufspannstation aus über die Höhe von Sool, kreuzt nördlich von Mitlödi die Linth und führt dann am Westrande der Talsohle entlang bis zur Einmündung in die N. O. K.-Anlagen.

Die Führung der Leitung bot wesentliche Schwierigkeiten, einerseits weil der Ausgang des Sernftales durch den Ort Schwanden versperrt ist, anderseits weil die Gemeinden Ennenda und Glarus in grossem Bogen umfahren werden mussten. Dazu kam die Anpassung an ein topographisch sehr ungünstiges Gelände, sodass bei einer grössten Spannweite von 384 m die mittlere Spannweite der ganzen Leitung doch nur 247 m beträgt.

Mit Rücksicht auf die kleine Länge der Leitung von nur 8,15 km wurde von neuen Mastkonstruktionen abgesehen und eine schon durchkonstruierte Bauart gewählt (Abb. 57). Es ist die Mastbauart der N. O. K.- und B. K.-150 kV-Leitungen. Mit Rücksicht auf die Reservemöglichkeiten, die der S. N. in St. Gallen dank dem Anschluss an die N. O. K. und an die S. A. K. zur Verfügung stehen, wurde davon abgesehen, schon jetzt den zweiten Strang auf die Maste aufzulegen.

Infolge der genannten Schwierigkeiten ist die Zahl der Abspannmaste verhältnismässig gross. Mit Rücksicht auf den Glarner Föhn werden bei der Durchquerung des Haupttales die Seile durch einen besondern Mast gegen zu starke seitliche Schwingungen gehalten. In ähnlicher Weise wurde auch bei der Ueberquerung des Ausgangs des Klöntales allfälligen starkem Wind aus diesem Seiten- tal Rechnung getragen.

Als Isolation kamen normale „Motor“-Isolatoren mit zwei keramischen Schirmen zur Verwendung, in Hängeketten von vier Isolatoren mit oberen und unteren Schutzringen für die Tragmaste und in Abspannketten von fünf Gliedern

<sup>8)</sup> Dr. Ing. B. Fritz: „Ueber den Einfluss der Systemverformung beim Zweigelenkbogen mit Zugband und über die Ausschaltung schädlicher Zwängungsspannungen“. Abhandlungen der Intern. Vereinigung für Brückenbau und Hochbau, 3. Bd., Leemann, Zürich 1935/36.

<sup>9)</sup> Prof. Dr. Fr. Dischinger: „Die Beseitigung der zusätzlichen Biegemomente im Zweigelenkbogen mit Zugband“. Zentralblatt der Bauverwaltung, 1930, Heft 24.