

Vorgespannte Stahlkonstruktionen und Stahlbrücken

Autor(en): **Iljasewitsch, S.A.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH
Kongressbericht**

Band (Jahr): **7 (1964)**

PDF erstellt am: **23.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-7878>

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.

III c 3

Vorgespannte Stahlkonstruktionen und Stahlbrücken

Prestressed Steel Structures and Steel Bridges

Charpentes et ponts métalliques précontraints

S. A. ILJASEWITSCH

Prof., UdSSR

In der Sowjetunion hat man mit der Anwendung der Vorspannung in Stahlkonstruktionen und Brücken begonnen. Die Forschungen auf diesem Gebiet werden ebenfalls weiterentwickelt. Die bisher durchgeführten Arbeiten weisen darauf hin, daß solche Konstruktionen im Vergleich zu nicht vorgespannten Stahlbauten weniger Stahl verbrauchen. Außerdem können die existierenden Stahlkonstruktionen und Brücken durch die Anwendung der Vorspannung verstärkt werden.

Die Vorspannung findet daher in den verschiedensten Konstruktionen und Bauwerktypen Anwendung.

Die Vorspannung erschwert zwar die Herstellung der Konstruktion, was jedoch ausgeglichen werden kann durch den geringeren Materialverbrauch und das kleinere Eigengewicht der Konstruktion. Die Vorspannung ist am wirksamsten für statisch unbestimmte und Verbundsysteme. Hierbei ist es möglich, auf relativ einfache Weise eine günstige Kombination von Vorspannung und künstlicher Regulierung der Spannungen durch Montagemaßnahmen zu finden. An einer Reihe von in der Sowjetunion ausgeführten Bauten soll die Richtigkeit dieser Behauptungen bewiesen und die verschiedenen Anwendungsmöglichkeiten aufgezeigt werden.

Als erstes Beispiel sind hier die vorgespannten Blechträger für einen Kran mit einer Stützweite von 12 m angeführt, die als Balken auf zwei Stützen mit Hilfe eines hochwertigsten Stahldrahtbündels oder von Stahlseilen, welche am Untergurt angebracht sind, vorgespannt wurden. Dieser Kran steht in einem metallurgischen Betrieb.

Die Vorspannung eines Teiles der Träger wurde durch Spanndrahtbündel bewirkt, die mit Pressen angespannt wurden. Die anderen Träger wurden mit Hilfe einer Vorspanneinrichtung, welche die Messung des der erforderlichen Kraft entsprechenden Spannweges gestattet, vorgespannt.

Die Ersparnis an Stahlgewicht bei Berechnung der Träger nach der Elastizitätstheorie betrug 20% und die Kostenersparnis 12%. In den gleichen Trägern betrug bei Berechnung nach der Plastizitätstheorie die Ersparnis an Stahlgewicht 25% und die Kostenersparnis 18%.

Die Kraft X_k im Spanndrahtbündel, die bei der Herstellung des Trägers aufgebracht wird, muß unter Berücksichtigung der möglichen Nachgiebigkeit der Befestigungspunkte und der Relaxation des Materials bestimmt werden. Sie muß mindestens betragen:

$$X_k = 1,05 X + \Delta a \frac{\omega E_\omega}{L}.$$

Hierin bedeutet: X = die Berechnungskraft im Bündel.
 E_ω u. ω = Elastizitätsmodul und Fläche des Bündels.
 L = Länge des Trägers.
 Δa = Größe der Befestigungsnachgiebigkeit (0,1 cm für Ankerschrauben mit Keilen und 0,2 cm für Anker mit Unterlagsscheiben).

Gleichzeitig muß der Untergurt die erforderliche Knicksicherheit besitzen. X_k darf deshalb nicht größer sein als:

$$X_k = \frac{F W_u R \varphi}{W_u + F c}$$

mit: R = Zulässige Spannung für das Trägermaterial.
 φ = Knickzahl.
 F = Querschnittsfläche des Trägers.
 W_u = Widerstandsmoment des Trägerquerschnittes bezogen auf die untere Kante.
 c = Abstand der Achse Spanndrahtbündel von der neutralen Trägerachse.

Es ist außerordentlich wichtig, daß die Drahtbündel und Drahtseile vor dem Verbinden mit der Konstruktion auf eine Belastung angespannt werden, die um 20% größer ist als die Berechnungslast.

Nach den Untersuchungen von Professor Strelezkj N. S. beträgt das Metergewicht eines mit einem Spanndrahtbündel von der Länge αL vorgespannten Trägers mit konstantem Querschnitt:

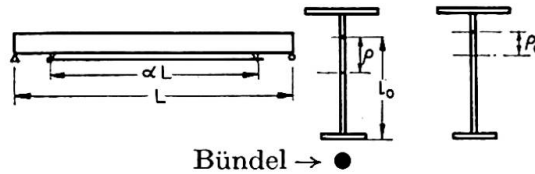
$$g = A \frac{q L}{R} \gamma$$

mit: g = Metergewicht des vorgespannten Trägers.
 L = Stützweite des Trägers.
 γ = Raumbgewicht des Stahls.
 A = Koeffizient (Charakteristik des Gewichtes), welcher nach folgender Formel bestimmt wird.

$$A = \mu \left(1 + \beta \frac{\rho}{\rho_0} - \frac{l_0}{l'} + \frac{\rho R}{l' R_x} \right) \frac{\alpha L}{\rho}$$

mit: $\mu = \frac{M_q}{q L^2}$; $\beta = \frac{(1 - \alpha^2)(1 - \alpha)}{\alpha}$; $l' = \frac{M_q}{X + X_1}$

- X_1 = Kraft im Bündel aus der äußeren Belastung.
- ρ_0 = Kernentfernung des äußeren Teiles des Trägerquerschnittes (ohne Bündel).
- ρ = Kernentfernung des inneren Teiles des Trägerquerschn. (mit Bündel).
- l_0 = Der Abstand des oberen Kernpunktes von der Trägerunterkante in Mittelachse des Trägers gemessen.
- R_x = Zulässige Spannung für das Spanndrahtbündel.



Ist das Spanndrahtbündel auf die ganze Länge des Trägers verteilt, so wird mit $\alpha = 1,0$:

$$A = \mu \left(1 - \frac{l_0}{l'} + \frac{\rho}{l'} \frac{R}{R_x} \right) \frac{L}{\rho}.$$

Ist hingegen $\alpha = 0$ (nicht vorgespannter Träger) und $\rho = \rho_0$

$$A = \frac{\mu L}{\rho},$$

so erhält man, wie zu erwarten war:

$$g = \frac{\mu q L^2}{R \rho} \gamma = \frac{W}{\rho} \gamma = F \gamma$$

mit: F = Querschnittsfläche, W = Widerstandsmoment des Trägers.

In den angeführten Formeln sind folgende Größen von Einfluß auf das Gewicht des vorgespannten Trägers: äußere Belastung, Größe der Kraft im angespannten Bündel, Querschnittsform, das Verhältnis der zulässigen Spannungen von Trägermaterial und Spanndrahtbündel und die Länge des Spanndrahtbündels. Diese Untersuchungen zeigen, daß vorgespannte Träger mit geringstem Stahlverbrauch einen bestimmten unsymmetrischen (optimalen) Querschnitt haben müssen.

So beträgt zum Beispiel für $R_x = 8000 \text{ kg/cm}^2$ und für einen I-Träger, wenn man die Berechnung nach der Elastizitätstheorie durchführt, die Entfernung der neutralen Achse des Trägerquerschnittes von der Trägerunterkante das 0,63fache der Querschnittshöhe.

Neben der Berechnung nach der Elastizitätstheorie können vorgespannte Träger auch nach der Plastizitätstheorie berechnet werden. Es wird hierbei jener Grenzzustand betrachtet, bei dem im Träger ein plastisches Gelenk entsteht und im hochfesten Spanndrahtbündel die zulässige Spannung herrscht. Allerdings muß hierbei auf die Deformationen unter Verkehrslast Rücksicht genommen werden.

Unter diesen Bedingungen beträgt das größte Moment aus der vollen Berechnungslast im Träger:

$$M_{max} = \left[c - \left(1 - k \frac{R_x}{R} \right) c_n \right] F R$$

mit: $k = \frac{\omega}{F}$ und $c_n = \frac{F_1}{\left(1 - k \frac{R_x}{R} \right) F} \frac{F_1}{\delta_1} \mp c_x$.

c_n ist der Abstand vom Bündel bis zum Schwerpunkt des Stegteiles vom Trägerquerschnitt im Grenzzustand, F_1 und δ_1 bedeuten Fläche und Dicke dieses Stegteiles und c_x die Entfernung vom Bündel bis zum Schwerpunkt des Trägeruntergurtes. c_x erhält das Minusvorzeichen, wenn sich das Bündel im Bereich des Steges befindet, und das positive Vorzeichen, wenn das Bündel außerhalb liegt.

Die erforderliche Kraft des vorgespannten Bündels:

$$X = E_\omega R_x - X_1 - X_2$$

mit: X_1 = Kraft im Spanndrahtbündel infolge der äußeren Belastung im elastischen Bereich.

X_2 = entsprechende Kraft im plastischen Bereich.

Das auf den Träger wirkende Biegemoment im elastischen Arbeitsstadium (nach der Vorspannung) kann aus folgender Gleichung berechnet werden:

$$X_1 = \frac{M}{Z_1} = \frac{W R + (c \pm \rho) X - M_g}{Z_1 - (c \pm \rho)}$$

mit: M_g = Biegemoment aus ständiger Last vor der Vorspannung.

W, ρ = Widerstandsmoment und obere oder untere Kernwerte des Querschnittes, gemessen bis zur Faser, in welcher das Fließen des Materials beginnt. Bei der Betrachtung der oberen Faser ist ρ mit negativem Vorzeichen einzusetzen.

Z_1 = Entfernung vom Bündel bis zur Spannungserzeugenden im Querschnitt des starren Trägerteiles für die Einheitsbelastung.

$$Z_1 = \frac{3}{2c(2-\alpha)} \left(c^2 + \frac{J}{F} + \frac{EJ}{E_\omega \omega} \right).$$

X_2 wird nach folgender Formel berechnet:

$$X_2 = 2 \frac{M_{max} - M - M_g}{Z_1 + Z_2}$$

mit: $Z_2 = \frac{F_1}{\delta_1} \mp c_x$. Entfernung vom Bündel bis zum Schwerpunkt des Gelenkes.

M hängt demnach von X ab. Für die Berechnung der Größen X_1 und X_2 wird die Methode der schrittweisen Annäherungen verwendet.

Die erste Annäherung für X ist gleich

$$X = 0,85 \left(X_k - \Delta a \frac{\omega E_{\omega}}{L} \right).$$

Das größte Biegemoment infolge Nutzlast, welches vom Träger aufgenommen werden kann, wird durch folgende Formel bestimmt:

$$M_g = \frac{Z_1(1+\varphi)}{Z_1-(c+\rho_n)} W_n R$$

mit: φ = Knickzahl für den unteren Trägergurt.

W_n u. ρ_n = Widerstandsmoment und Kernentfernung bezogen auf die untere Faser des Trägerquerschnittes.

Die Untersuchungen zeigten, daß die Berechnung von vorgespannten geschweißten oder gewalzten Trägern nach der Plastizitätstheorie die Möglichkeit gibt, den Stahlverbrauch gegenüber den nach der Elastizitätstheorie berechneten Trägern um 10—15% zu senken. Es ist auch eine Berechnung der elastisch-plastischen Deformationen während der Vorspannung möglich. Vorgespannte Blechträger wurden in der Sowjetunion beim Bau von zwei großen Brücken über den Fluß Tom (Fig. 1a) und den Fluß Don (Fig. 1b) verwendet.

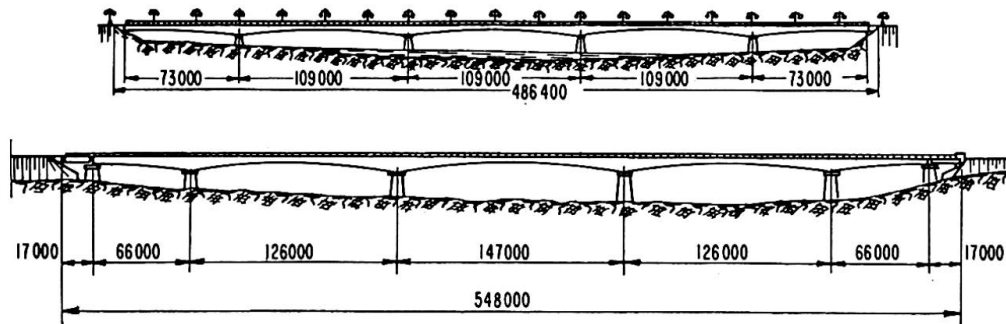


Fig. 1.

Die erste Brücke besteht aus über 5 Felder durchlaufenden Blechträgern. Die Stützweite der drei mittleren Öffnungen beträgt je 109 m und die der beiden Außenöffnungen je 73 m.

Im Querschnitt besitzt die Brücke 10 Träger. Die Breite der Brücke mit den Bürgersteigen beträgt 24,7 m. Die Fahrbahn besteht aus einem Eisenbahngleis und zwei Straßenbahngleisen sowie aus zwei Spuren für Kraftfahrzeuge.

Die Hauptträger des Brückenüberbaues bestehen aus legiertem, hochfestem Stahl ($\sigma_s = 3400 \text{ kg/cm}^2$). Die Vorspannung wurde mit Hilfe von Spanndrahtbündeln ($\sigma_b = 19000 \text{ kg/cm}^2$) an den Obergurten in den Stützbereichen (auf 80 m Länge) aufgebracht.

Jedes Bündel hat eine Länge von 114 m und besteht aus 125 Drähten mit einem Durchmesser von 3 mm. Diese Bündel, welche im Plan aussehen wie eine Acht (Fig. 2a), wurden mit hydraulischen Pressen zwischen beweglichen und unbeweglichen Ankern, welche am Obergurt angebracht waren, angespannt.



Fig. 2.

Die beweglichen Anker wurden nach der Anspannung am Träger befestigt. Durch die Anordnung spezieller beweglicher und unbeweglicher Querträger wurden zwei nebeneinander liegende Träger gleichzeitig angespannt. Die Gesamtvorspannung über den Stützen erreichte die Größe von 12000 t, wobei außer der Vorspannung durch die Spanndrahtbündel noch ein Spannungszustand durch Montagemaßnahmen erzeugt wurde, so daß der geplante Endspannungszustand erreicht wird.

Bei der Projektierung der Brücke war geplant, die ersten Bündel mit größerer Kraft anzuspannen, um der Verringerung der Spannkraft durch die Anspannung der anderen Bündel Rechnung zu tragen.

In Wirklichkeit mußten allerdings, auf Grund der großen Reibkräfte, welche im Anspannungsmechanismus und zwischen den Bündeln entstanden, die folgenden Bündel im Vergleich zu den ersten mit noch größerer Kraft (Druck) angespannt werden. Es wurden große Unterschiede zwischen den theoretischen und praktischen Spannungen (bis zu 8%) im Trägerobergurt festgestellt (Fig. 3), was auf die verschiedenen Temperaturen zwischen Träger und Bündel zurückzuführen war.

Die zweite Brücke über den Don ist der ersten ähnlich. Bei ihr wurden ebenfalls vorgespannte, durchlaufende Blechträger angewendet. Die Stützweiten betragen: 66 + 126 + 147 + 126 + 66 m und die volle Brückenbreite mit

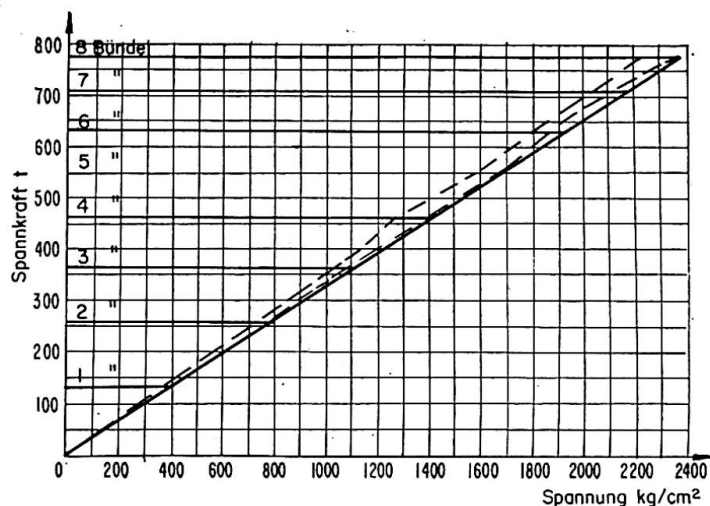


Fig. 3.

Bürgersteig 10,0 m. Die Bündel aus hochfestem Stahldraht hatten keine Schlingen und wurden geradlinig in den Stützbereichen am Obergurt verlegt (Fig. 4) und angespannt.

Außerdem wurde, wie bei der Brücke über den Tom, ein zusätzlicher Spannungszustand durch Montagemaßnahmen aufgebracht.

Die Veränderung des Spannungszustandes aus den Biegemomenten der Träger im Verlaufe der Montage ist für den Stützenquerschnitt in Fig. 5 dargestellt.

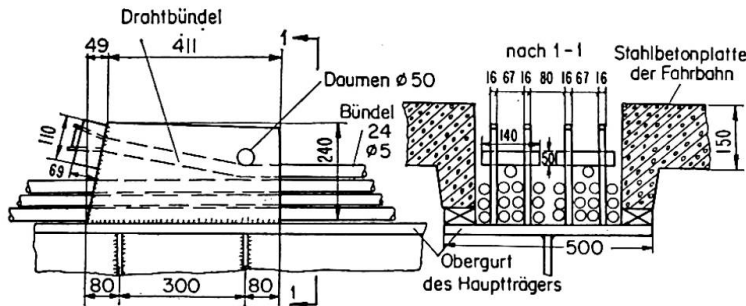


Fig. 4.

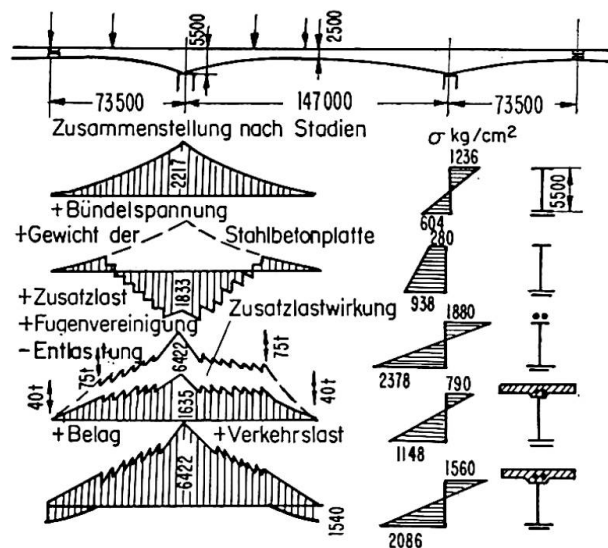


Fig. 5.

In der Sowjetunion wurde in den letzten Jahren eine Reihe von Bauten mit teilweise vorgespannten Stahlbindern errichtet. Beim Bau einer einschiffigen Flugzeughalle (Hangar) mit einer Stützweite von 84 m wurden parabolische Dachbinder verwendet (Fig. 6).

Die Vorspannung wurde an den Untergurten durch Anspannen hochfester Stahldrahtbündel auf ganzer Länge durchgeführt. Jedes Bündel hatte 24 Drähte mit einem Durchmesser von je 5 mm. Die Bündel waren längs des Gurtes angebracht. Sie wurden mit hydraulischen Spannvorrichtungen angespannt und an den Enden des unteren Gurtes mit Hilfe von Ankerplatten und konischen Pfropfen befestigt.

Die Binder bestehen aus Stahl ($\sigma_s = 2300 \text{ kg/cm}^2$) mit geringem Kohlenstoffgehalt. Die Zahl der Bündel im Gurt betrug in den Zwischenbindern 4 und in

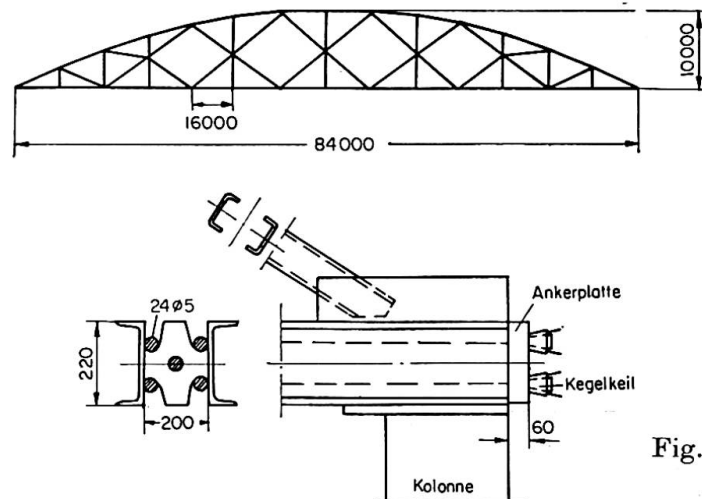


Fig. 6.

den Endbindern 5. Die Querschnittflächen ω der Vorspannelemente und F des vorgespannten Elementes (Untergurt) sind durch folgende Formel verbunden:

$$\omega \left[\sigma'_{\omega} - (\sigma'_n + \sigma''_n) \frac{E_{\omega}}{E} \right] = \sigma''_n F$$

mit: σ'_{ω} = Berechnungsspannung des Querschnittelementes, welche gleich sein muß der Berechnungsspannung des Vorspannelementes.

σ''_n = Druckspannung des Elementes (Untergurt) aus der Vorspannung.

Die Kraft im Element (zusammengesetzter Untergurt) infolge der Wirkung der vollen äußeren Belastung N wird:

$$X_1 = \frac{\omega N}{\omega \frac{E_{\omega}}{E} + F} \frac{E_{\omega}}{E}$$

Die volle Berechnungskraft im Vorspannelement ist dann

$$X + X_1 = R F \varphi + X_1,$$

worin φ = Knickzahl des Elementes bedeutet.

Schließlich ist die volle Berechnungskraft im Element: $N_1 = N - (X + X_1)$.

Die beschriebene Vorspannmethode ist nur bei zweckmäßiger Auswahl der Stähle für den Untergurt und die Spanndrähte sowie bei günstiger Dimensionierung wirtschaftlich. Hierbei lassen sich, im Vergleich zu gewöhnlich vorgespannten Bindern, noch 5% Stahlgewicht ersparen.

In der Sowjetunion findet die Vorspannung auch bei Hängebrücken Anwendung. Werden Seile vorgespannt, so sind sie in der Lage, Druckkräfte aufzunehmen, die bei bestimmten Lastfällen auftreten können. Das größte Bauwerk dieser Art ist der Wantenübergang von vier Drahtseilbahnen über die Wolga, welche zum Materialtransport für die Volgagrader Elektrostation dienen. Die hier angewendeten Wantenbinder mit einer Stützweite von 874 m

besitzen Stahlseile, aus Seilen bestehende Verankerungen an den Ufern, Seilgurte und ein dreieckiges Netz von Seildiagonalen (Fig. 7). Die Elemente des Netzes wurden durch das Eigengewicht der schweren Querrahmen, die in den Knoten des Binders angebracht sind und die Seilbahn unterstützen, vorgespannt. Anfangs plante man eine Erhöhung der Anfangszugkräfte in den Diagonalen durch Anspannen des unteren Seilgurtes, der eine Krümmung erhalten sollte. Die Druckkräfte in den Diagonalen aus der Verkehrslast erwiesen sich jedoch als gering, so daß die eingangs beschriebene Vorspannmethode ausgeführt wurde. Für dieses Bauwerk wurden einschließlich der aus Metall bestehenden 130 m hohen Stützen nur 2130 t Stahl verbraucht, wobei auf die Seile 800 t entfielen.

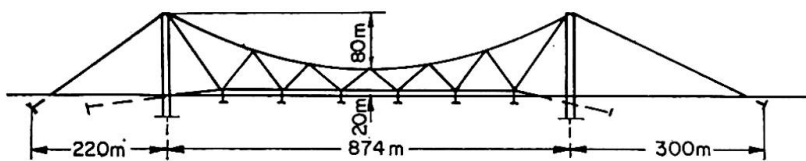


Fig. 7.

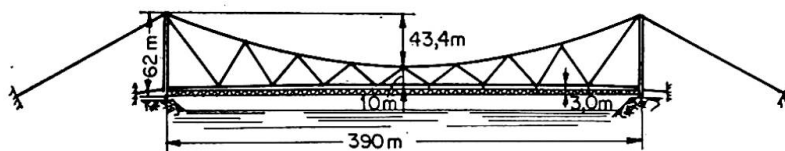


Fig. 8.

Das erläuterte System bewahrt unter Belastung seine geometrische Form und unterscheidet sich daher sehr günstig von den Hängesystemen, die nur vertikale Hängeseile haben.

Bei der Überführung einer Gasleitung in Bukara-Ural über den Fluß Amu-Darja in Mittelasien wurde dasselbe System verwendet (Fig. 8). Dieser Übergang gestattet die Verlegung von zwei Gasleitungen mit einem Rohrdurchmesser von 1020 mm und dient außerdem dem Autoverkehr. Für dieses Bauwerk wurden zwei Wantenbinder mit einer Stützweite von 390 m verwendet (Fig. 8), die in neun Fache unterteilt sind. Der Durchhang des Obergurtes beträgt 43,4 m, die Höhe des Binders in Brückenmitte 10 m und die Höhe der Pylonen 62 m. Der Binderobergurt besteht aus acht Stahlseilen von 59 mm Durchmesser. Die Seile sind an den Köpfen der Pylonen befestigt und finden ihre Fortsetzung in den Uferzugseilen, die durch ein Zusatzseil gleichen Durchmessers verstärkt sind. Der Untergurt besteht aus zwei Seilen von je 55 mm Durchmesser und aus einem Seil von 59 mm Durchmesser. Der Untergurt hat einen Stich von 2 m. An den unteren Binderknoten wird die Zwischenkonstruktion für die obenliegende Fahrbahn angehängt, bestehend aus durchsichtigen Stahlbindern von 3 m Höhe. Aufgestellt, genau wie die Wantenbinder auf 8 m. Die Fahrbahnkonstruktion besteht aus Querträgern, auf welchen eine geriffelte Stahlplatte liegt, und aus Längsträgern. Die Gasleitung ist in der Nähe der Binder angebracht und könnte mit zum Abtragen der Fahr-

bahnlasten herangezogen werden. Im vorliegenden Fall wurde jedoch im Hinblick auf die besondere Aufgabe der Gasleitung darauf verzichtet. Die 3,5 m breite Fahrbahn für den Autoverkehr wurde zwischen den Gasleitungen angeordnet. Die Vorspannkräfte in den Diagonalen der Wantenbinder wurden durch Anspannen des Untergurtes und durch direkte Belastung der Diagonalen mit dem Eigengewicht der Fahrbahn vor ihrer Befestigung an den Untergurtnoten erzeugt. Zur Erreichung dieses Zieles wurden die Untergurtseile provisorisch in den Knoten aufgehängt, so daß das System als Hängebrücke wirkte. Die Binder der aufgehängten Fahrbahnkonstruktion besaßen in der Nähe der Knoten Montagegelenke. Schließlich wurde der untere Gurt mit Hilfe von hydraulischen Pressen angespannt, an den Untergurtnoten befestigt und die Montagegelenke geschlossen. Das endgültige System ist elffach statisch unbestimmt und wurde mit Hilfe von elektrischen Rechenmaschinen für Verkehrslast berechnet.

Die gemachten Ausführungen führen zur Schlußfolgerung, daß vorgespannte Stahlkonstruktionen für verschiedenste Bauwerkstypen nutzbringend angewendet werden können.

Zusammenfassung

In der Sowjetunion wurde mit der Anwendung von vorgespannten Stahlhochbauten und Brücken begonnen. Es werden wissenschaftliche Untersuchungen auf diesem Gebiet unternommen. Der Verfasser berichtet über den Bau von zwei großen vorgespannten, durchlaufenden Trägerbrücken mit einer maximalen Stützweite von 147 m und über vorgespannte Wantenhängebrücken mit Diagonalseilnetz. Im einen Fall haben die Hauptträger eine Stützweite von 874 m und unterstützen Drahtseilbahnen, während im anderen Fall die Stützweite 390 m beträgt, wobei die Fahrbahn dem einspurigen Autoverkehr dient und außerdem zwei Gasleitungen aufgehängt sind. Ferner wird in dem Artikel dargelegt, wie in der Sowjetunion die vorgespannten Stahlkonstruktionen nach der Elastizitäts- und Plastizitätstheorie berechnet werden.

Summary

In the Soviet Union, the construction of prestressed steel bridges and other structures has begun. Scientific researches are being undertaken in this field. The author describes the construction of two large, prestressed continuous girder bridges having a maximum span of 147 m, and of suspension bridges with prestressed inclined hangers. In one case, the main girders have a span of 874 m and support aerial ropeways, while in the other case there is a span of 390 m with a single-lane deck for motor traffic and two suspended gas mains. The article also describes how the calculation of prestressed steel bridges and structures in the Soviet Union is based on the elasticity and plasticity theories.

Résumé

En Union soviétique, on a commencé de réaliser des charpentes et des ponts métalliques précontraints. Des recherches sont en cours dans ce domaine. L'auteur décrit la construction de 2 grands ponts à poutres continues précontraintes d'une portée maximale de 147 m ainsi que de ponts suspendus à suspentes inclinées précontraintes. Dans un cas, les poutres maîtresses ont une portée de 874 m et soutiennent des transporteurs aériens tandis que dans l'autre cas on a une portée de 390 m avec un tablier à une voie pour le trafic automobile et 2 conduites de gaz suspendues. L'article expose en outre comment, en Union soviétique, le calcul des charpentes et ponts métalliques précontraints est fondé sur la théorie de l'élasticité et de la plasticité.

Leere Seite
Blank page
Page vide