Zeitschrift: IABSE publications = Mémoires AIPC = IVBH Abhandlungen
Band: 5 (1937-1938)

Artikel: Einige Besonderheiten der Montage der Lille-Beltbrücke
Autor: Berger, A.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-6149

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: 21.07.2025

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

EINIGE BESONDERHEITEN DER MONTAGE DER LILLE-BELTBRÜCKE.

QUELQUES PARTICULARITÉS DU MONTAGE DU PONT DE LILLE-BELT.

SOME DETAILS OF THE ERECTION OF THE LITTLE BELT BRIDGE.

A. BERGER, Duisburg *).

Im Mai 1935 wurde die Hochbrücke über den kleinen Belt feierlich dem Verkehr übergeben. Damit fanden die Arbeiten an einem Bauwerk ihren Abschluß, welches nicht nur wegen seiner außergewöhnlich großen Abmessungen, sondern vor allem wegen der zu überwindenden Schwierigkeiten bei seiner Aufstellung die regeste Anteilnahme der Fachwelt erweckte. Hiervon zeugt die große Zahl von Aufsätzen, welche über den Brückenbau in den verschiedensten Fachzeitschriften veröffentlicht wurden. Es kann daher sowohl der Bauvorgang als auch die Zusammensetzung und Einzelleistungen der bauausführenden Firmengruppen als bekannt vorausgesetzt werden. Der Ausführung lag der sorgfältig ausgearbeitete Entwurf der dänischen Staatsbahn zu Grunde.

Fig. 1 zeigt die Brücke, welche statisch betrachtet einen Gelenkbalkenträger über fünf Öffnungen darstellt. Die Gelenkpunkte liegen in den beiden äußeren Feldern und im Mittelfeld. Die Spannweiten der einzelnen Öffnungen sind = 137,5 + 165 + 220 + 165 + 137,5 m, zusammen 825 m. Der Zusammenbau des Stahlüberbaues geschah bekanntlich von einseitigen Konsolen an den Pfeilern aus nach beiden Seiten frei vorkragend, weil die starke ständig wechselnde Strömung des kleinen Belts ein Einschwimmen der Brückenträger als zu gefährlich erscheinen ließ. Dieser Bauvorgang, der in den meisten Aufsätzen über die Beltbrücke zum Teil sehr ausführlich besprochen worden ist, stellte den entwerfenden Ingenieur vor eine Reihe ungewöhnlicher Aufgaben, von denen hier wegen der beschränkten Zeit nur zwei besonders bemerkenswerte besprochen werden sollen.

Es handelt sich hier um die rechnerische Verfolgung der erheblichen elastischen Verformung des Brückentragwerkes während des Zusammenbaues von Feld zu Feld und die Maßnahmen zur Beseitigung der sich aus diesen Durchbiegungen ergebenden Schwierigkeiten. Die Berechnung der Lage der Knotenpunkte für die verschiedenen Bauzustände zwecks Kontrolle des richtigen Zusammenbaues der einzelnen Tragglieder bietet nichts Neues. Schwierig wird die Sache erst, wenn die beiden Brückenhälften im Vorbau in der Mitte zusammentreffen und der Zusammenschluß der beiden Teile vorgenommen werden soll. Der Bauvorgang während dieses letzten Teils der Aufstellungsarbeit war folgender:

---

*) Freier Vortrag, gehalten am 2. Kongreß der I. V. B. H., Berlin, Oktober 1936.

Die beiden Brückenhälften waren über den äußeren Öffnungen fertig und die in die Mittelöffnung hineinragenden Kragarme mit den daran anschließenden Hälften des eingehängten Mittelteils waren von beiden Seiten her vorgebaut. Zu diesem Zweck mußten die Stäbe bei den Gelenkpunkten

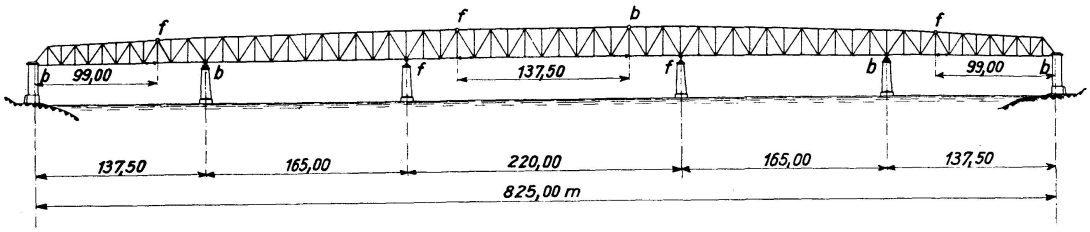

Fig. 1.

an den Übergängen von den Kragarmen zum eingehängten Träger fest miteinander verbunden werden. Dies geschah, wie aus Fig. 2 hervorgeht, im Obergurt durch ein aus fünf aufeinanderliegenden Lamellen 740/20 bestehendes Rückhaltband, im Untergurt durch Druckkörper aus Stahlguß,

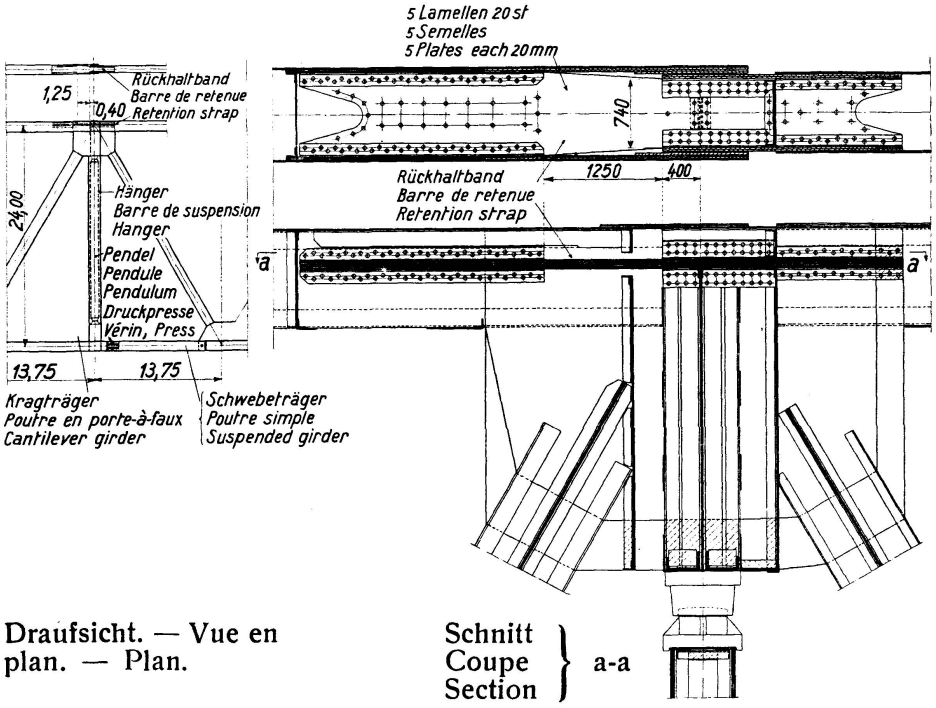

Fig. 2.

Schnitt durch den Obergurtknotenpunkt beim Gelenk der Mittelöffnung.
Coupe du noeud de la membrure supérieure près de l'articulation de la travée médiane.
Section near hinge through upper boom panel point.

zwischen welchen vier hydraulische Pressen eingebaut waren, um beim Zusammenschluß in der Mitte die beiden Hälften des Mittelträgers richtig gegeneinander einstellen zu können. Hierzu war eine vorher berechnete Verdrehung der Trägerenden notwendig. Die Verbindungsglieder hatten Kräfte von je 812 t ohne und 900 t mit Winddruck zu übertragen. Die Formänderungsberechnung ergab nun, daß unter Berücksichtigung des reinen Stahlgewichts ohne Fahrbahndecke, der Belastung der Mittelöffnung durch zwei

Vorbaukrane von je 130 t Gewicht und einer Wärme von 10°, im freivorgebauten Zustand der Brücke der Abstand des Mittelknotens von den mittleren Pfeilern (gemäß Fig. 3 b) um 120 mm größer werden muß, als das theoretische Systemmaß. Daher wurden beide Brückenhälften von vornherein um je 120 mm nach außen verschoben aufgestellt (siehe Fig. 3 c). Um nun die Mittelträger in der rechten Form zusammensetzen zu können, wurden die Pressen im Untergurt am Gelenkpunkt in Tätigkeit gesetzt und die noch frei ausragenden Hälften des Mittelträgers in den Gelenken so weit gedreht, daß die Ober- und Untergurtsknotenpunkte der Stoßstellen die richtige Lage zueinander bekamen (Fig. 3 d). Entsprechend dem Fortschritt der Drehbewegung wurden zwischen den Stahldruckstücken im Untergurt Keile eingetrieben, die als Sicherung der jeweiligen Lage beim etwaigen Versagen der Pressen dienen sollten. Wenn diese Keile ihre Endstellung erreichten, wurden die Pressen durch Stahlgußstücke gesichert und die Keile nach Unter-

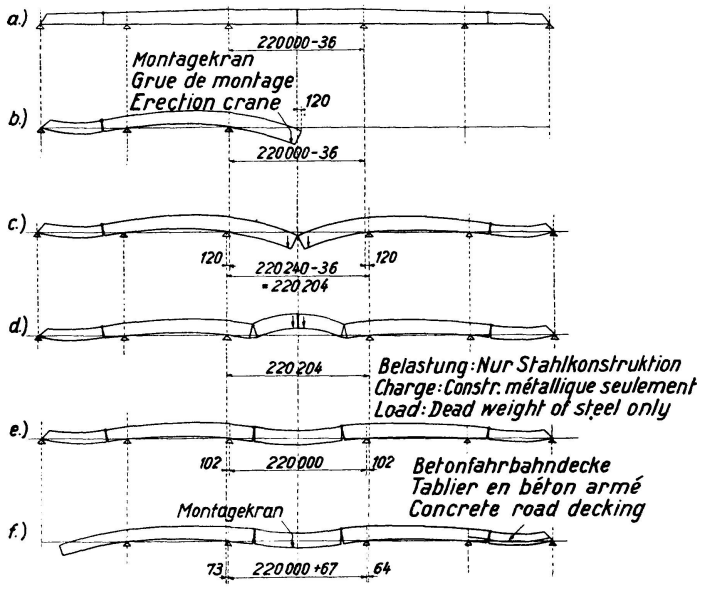

Fig. 3.

legung in eine neue Anfangsstellung gebracht. Nachdem der Schluß der beiden Brückenhälften erfolgt war, was wegen des starken Einflusses der Wärmeschwankungen bei demselben Wärmegrad wie bei der Aufmessung des Paßfeldes erfolgen mußte, wurden die Druckkeile entfernt und die Pressen entlastet. Die Brücke erhielt dadurch den Spannungszustand eines Gelenkträgers. Rechnungsgemäß verkürzt sich infolge dieser Änderung des Spannungszustandes die Stützweite der Mittelöffnung um $2 \times 102 = 204$ mm (Fig. 3 e). Danach würde die Mittelöffnung um $2 \times 120 - 2 \times 102 = 36$ mm zu groß sein. Um diese 36 mm wurde das Systemnetz von vornherein kürzer gehalten. Sofort nach dem Öffnen der Gelenke, aber vor Durchbrennen der Rückhaltbänder, setzten sich beide Brückenhälften im Gesamtgewicht von etwa 13 000 t in Bewegung und glitten nach der Brückenmitte zu; die eine Brückenhälfte um 64 mm, wo die Bewegung durch Keile absichtlich begrenzt war, und die andere um 73 mm statt um $2 \times 102 - 64 = 140$ mm.

Wie die nachträgliche Berechnung ergab, ist diese Differenz hauptsächlich darin begründet, daß die Belastung der Brücke beim Öffnen der Gelenke anders war als die bei der ursprünglichen Berechnung vorausgesetzte, wie aus dem Vergleich der Figuren 3 d und 3 f ersichtlich ist. Nachdem der Span-

nungswechsel die Brücke und die Lager in die richtige Lage gebracht hatten, wurden letztere auf den Mittelpfeilern durch Keile festgelegt und die Rückhaltbänder durchschnitten. Eine sehr wichtige Aufgabe war die richtige Bemessung der Rückhaltbänder auf Grund der auftretenden Zugkraft und Formänderung während des Bauvorgangs. Wie schon anfangs bemerkt, bestanden die Zugbänder aus fünf übereinander geschichteten Lamellen 740 × 20, die mit ihren Enden an den Hauptträgerobergurten eingespannt waren. Die Beanspruchung aus reiner Zugkraftwirkung gemäß Fig. 4 a ist $\sigma_1 = 1365$ bezw. 1510 kg/cm² einschließlich Winddruck. Mit der Betätigung der Pressen dreht sich das freiragende Trägerende gegenüber dem Kragarm um einen Winkel φ.

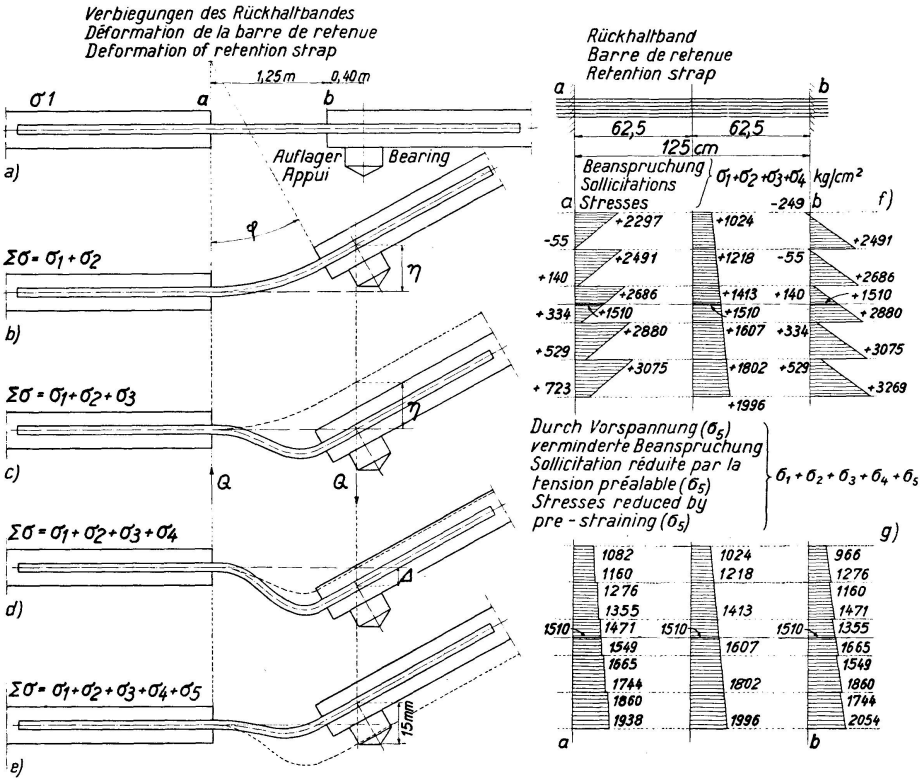

Fig. 4.

Die hierbei auftretende Formänderung des Zugbandes läßt sich in zwei Teile zerlegen,

1. in eine reine Biegung gemäß Fig. 4 b, wobei sich der eine Knotenpunkt um die Strecke η hebt. Bei dieser Verformung wirkt das Lamellenpaket als ein Ganzes. Die Beanspruchung ist $\sigma_2 = 486$ kg/cm².
2. in eine Senkung des Knotenpunktes um den Wert η in seine alte Lage (Fig. 4 c).

Hierbei treten Querkräfte Q_1 auf, welche das Zugband derartig verbiegen, daß ein Momentennullpunkt in der Mitte seiner Länge entsteht. Bei dieser Art der Formänderung tritt ein Gleiten der Lamellen aufeinander ein und sie wirken als einzelne biegungssteife Glieder mit geringem Trägheitsmoment.

Die aus dieser Verformung entstehende Beanspruchung ist $\sigma_3 = 478$ kg/cm². Nach Einbauen des Rückhaltbandes ergibt sich infolge der mit dem Fortschritt des Vorbaues sich vergrößernden Last eine Kürzung der Pendelstütze des Tragwerkes und eine Längung des Hängers, der das Pendel stützt,

wodurch eine senkrechte Verschiebung des eingehängten Trägers gegenüber dem Kragarm erfolgt. Bei dieser Verschiebung ergibt sich wie bei der vorhin beschriebenen eine weitere Beanspruchung von $\sigma_4 = 795$ kg/cm². Durch die Formänderungen erhöht sich also die Grundspannung $\sigma_1 = 1510$ kg/cm² um 1759 auf 3269 kg/cm². Da diese unzulässig hohe Beanspruchung durch Verstärkung des Zugbandquerschnittes nicht beseitigt werden könnte, weil sich zwar die Grundspannung vermindert, aber die zusätzlichen Spannungen erhöhen, wurde nach Einbau des Rückhaltbandes die Pendelstütze um 15 mm verlängert und hierdurch dem Band eine negative Vorspannung $\sigma_5 = 1215$ kg/cm² gegeben, sodaß eine Höchstbeanspruchung von 2054 kg/cm² rechnerisch verblieb. Nur durch die Auflösung des Zugbandquerschnitts in einzelne dünne Lamellen und durch Vorspannung war eine brauchbare Bemessung desselben möglich.

Fig. 4 f zeigt das Spannungsbild ohne Vorspannung,

Fig. 4 g dasselbe mit Vorspannung.

Als Baustoff wurde auch für dieses wichtige Tragglied Krupp-Sonderstahl 54 mit 54 kg/mm² Mindestfestigkeit gewählt.

Zusammenfassung.

Unter Hinweis auf die zahlreichen ausführlichen Veröffentlichungen über den Bau der Beltbrücke werden zunächst ganz kurz nur einige allgemeine Mitteilungen gemacht. Der Bauvorgang stellt den entwerfenden Ingenieur vor eine Reihe ungewöhnlicher Aufgaben. Es werden zwei besonders bemerkenswerte davon besprochen.

Zuerst handelt es sich um die Maßnahmen zur Beseitigung der Schwierigkeiten beim Zusammenschluß der beiden Brückenhälften, welche von den Seitenöffnungen aus frei in die Mittelöffnung hinein vorgebaut wurden, weil die elastischen Verformungen der Konstruktion infolge Eigengewicht und Montagekrangewicht sehr erheblich waren. Um die beiden Hälften des eingehängten Mittelteils der Brücke an den in die Mittelöffnung hineinragenden Kragarm frei vorbauen zu können, mußten die Stäbe bei den Gelenkpunkten an den Übergängen von den Kragträgern zum eingehängten Teil fest miteinander verbunden werden. Dies geschah im Obergurt durch ein Rückhaltband und im Untergurt durch Druckkörper, zwischen denen je vier hydraulische Pressen eingebaut waren. Sie dienen zum Einstellen der zusammenstoßenden Trägerenden gegeneinander. Die Verformung der Brücke war so groß, daß zur Erzielung eines richtigen Zusammenschlusses in der Mitte die beiden Brückenhälften in einem um 240 mm größeren Abstand voneinander aufgebaut werden mußten. Nachdem die Schlußstäbe vernietet und die Pressen entfernt waren, verminderte sich die Stützweite des Mittelfeldes um 204 mm. Die verbleibende Differenz von 36 mm erklärte sich aus dem Unterschied der beim Öffnen der Gelenke bestehenden Brückenbelastung gegenüber der der Vorberechnung zu Grunde gelegten.

Große Schwierigkeiten bereitete die Bemessung der Rückhaltbänder in den Gelenkpunkten, da sie nicht nur eine Zugkraft von etwa 900 t, sondern auch die zum Einrichten der Brückenteile gegeneinander notwendigen Verbiegungen aufnehmen mußten. Diese Aufgabe wurde dadurch gelöst, daß die Rückhaltbänder aus fünf lose aufeinander gelegten Lamellen hergestellt und mit Vorspannung eingebaut wurden.

Résumé.

Eu égard aux nombreuses publications relatives à la construction du pont de Belt l'auteur n'indique que brièvement les caractéristiques de cet ouvrage. Le montage d'un tel pont pose à l'ingénieur une série de problèmes peu courants. L'auteur expose deux de ces problèmes.

Il s'agit d'abord des mesures propres à éliminer les difficultés que présente la liaison des deux demi-ponts qui ont été construits en porte-à-faux sur l'ouverture centrale à partir des ouvertures latérales. Les difficultés résultant des déformations élastiques de la construction par suite du poids propre et du poids des grues de montage sont très importantes. Pour pouvoir construire en porte-à-faux les deux moitiés de la poutre simple du milieu de l'ouverture centrale il a été nécessaire de relier entre elles, au droit de l'articulation, les poutres de liaison entre les porte-à-faux et la poutre simple. Cette liaison a été réalisée par un tirant de retenue dans la membrure supérieure et par des plaques entre lesquelles se trouvaient 4 vérins hydrauliques dans la membrure inférieure. Ces vérins permettaient d'amener face à face les extrémités à relier entre elles. La déformation du pont était telle que pour obtenir une liaison correcte au milieu il a été nécessaire de laisser un espace de 240 mm entre les deux demi-ponts. Après le rivetage des barres de liaison et l'éloignement des vérins la portée de la travée centrale était réduite de 204 mm. L'écart restant, de 36 mm résulte de la différence, lors de la mise en action des articulations, entre la surcharge existante et celle introduite dans le calcul.

Le dimensionnement des tirants de retenue au droit des articulations présentait de grandes difficultés car ces tirants devaient d'une part supporter une traction de 900 t et en plus de cela ils devaient être capables de supporter les flexions que leur imposait la mise en place des deux moitiés du pont. Ce problème fut résolu comme suit: les tirants furent constitués de 5 lamelles indépendantes les unes des autres et soumises à une tension préalable.

Summary.

Having regard to the numerous exhaustive papers which have already appeared on the subject of the Belt bridges only a few brief general observations will be made here. The procedure in construction imposed many unusual problems on the designing engineer, and two such problems which were especially notable will be discussed.

The first of these relates to the means taken for overcoming difficulties encountered in connecting together the two halves of the bridge which had been cantilevered out over the central opening from the side spans, these difficulties being rendered particularly great by the elastic deformations of the structure under its own weight and that of the erecting cranes. In order that the two halves of the suspended middle portion of the bridge might be constructed without scaffolding by making use of the cantilevers projecting into the central span it was necessary that the members passing through the intersection points of the cantilevers with the suspended portion should be rigidly connected together. This was effected in the case of the upper boom through the agency of a tension strap, and in the lower boom through that of pressure pieces separated by four hydraulic presses serving for the adjustment of the girder ends which were to butt against one another. The

deformation of the bridge was so great that in order to ensure a proper connection at the centre the two halves of the bridge needed to be erected with an excess gap between them of 240 mm. but when the closing members had been riveted up and the presses removed the length of the central span decreased by 204 mm., the residual difference of 36 mm. being explained by the difference between the load on the bridge at the time the hinges were free by comparison with that assumed in the calculations.

The designing of the tensile straps over the hinges was a matter of great difficulty. These members had to resist not only a tensile force of some 900 tonnes but also the considerable flexures occasioned during the erection of the bridge members. This problem was solved by making the tensile straps out of five lamellae loosely superimposed on one another and pre-stressed.

Leere Seite
Blank page
Page vide