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

Band: 2 (1936)

Artikel: Betrachtungen über Vierendeel-Brücken grosser Spannweite, die vor kurzem in Belgien gebaut wurden

Autor: Desprets, R.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-2871

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: 07.08.2025

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

VIIa 6

Betrachtungen über Vierendeel-Brücken großer Spannweite, die vor kurzem in Belgien gebaut wurden.

Considérations sur l'étude de quelques ponts Vierendeel de grande portée construits récemment en Belgique.

Observations on the Design of New Belgian Vierendeel Bridges of Wide Span.

R. Desprets,
Professeur à l'Université de Bruxelles.

Der Vierendeel-Träger ist für den Bau zahlreicher Straßen und Eisenbahnbrücken verwendet worden. Die wichtigste Anwendung für Eisenbahnen mit Normalspur ist kürzlich im Netz der belgischen Staatsbahnen bei Hérenthals über den Albert-Kanal und bei Malines gemacht worden, gelegentlich der Elektrifizierung der Linie Brüssel-Antwerpen. Diese Bauten wurden im Jahre 1934 beendet und sind im Betrieb.

I. Allgemeine Beschreibung.

Brücken von Hérenthals (Fig. 1).

Die Brücken von Hérenthals sind, in zwei Serien, ein- und doppelgleisig und haben drei Öffnungen, die durch Brückenpfeiler aus Beton voneinander getrennt sind.

Die schiefe Kreuzung der Eisenbahnlinien mit der Kanalachse und der Wunsch, Brücken mit normalen Lagern zu bauen, haben dazu geführt, Spannweiten von etwa 90 m für die mittleren Öffnungen und von 33 m für die seitlichen Öffnungen zu verwenden. Desgleichen war man der Meinung, daß es vorzuziehen sei, für jede Öffnung unabhängige Überbauten auf einfachen Lagern vorzusehen. Die mittleren Spannweiten werden mit geraden Vierendeel-Hauptträgern überbrückt: die seitlichen Öffnungen werden durch vollwandige Träger, die unter der Fahrbahn angeordnet sind, überbrückt.

Um die Breite der zwischenliegenden Brückenpfeiler auf ein Mindestmaß zu beschränken, hat man auf diesen Pfeilern nur bewegliche Lager vorgesehen; damit die Längskräfte zur Entlastung der Pfeiler auf die Widerlager übertragen werden, mußte die Fahrbahn des mittleren Trägers mit der Fahrbahn eines seitlichen Trägers verbunden werden.

Brücken von Malines (Fig. 2).

Die beiden Brücken von Malines überbrücken den Kanal von Löwen mit rund 63,50 m Spannweite und die Landstraße von Malines nach Löwen mit rund 90 m Spannweite. Diese Bauwerke der elektrifizierten Strecke Brüssel-Antwerpen sind einfache Balken mit Doppelspur. Die Hauptträger sind vom Vierendeel-Typ, diejenige der Brücke von 90 m entsprechen den Brücken von Hérenthals.

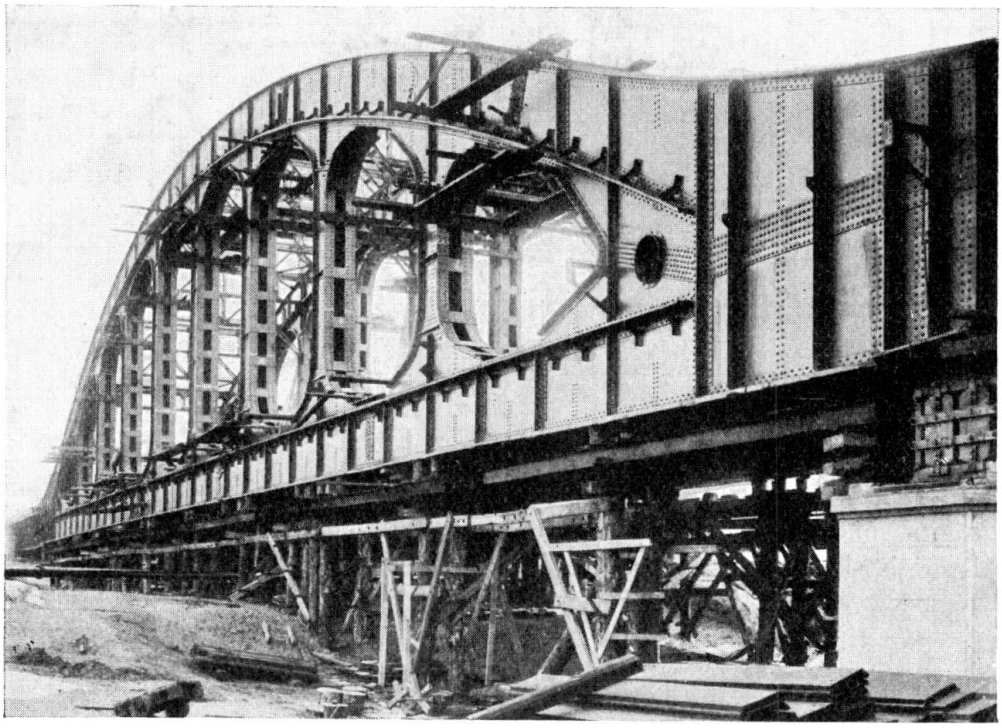

Fig. 1.

Eisenbahnbrücke mit Vierendeel-Hauptträgern; bewegliches Auflager.

II. Vierendeel-Hauptträger.

Die Vierendeel-Träger der Brücken von Hérenthals und von Malines haben im wesentlichen einen parabolischen Bogen mit einem Pfeilverhältnis von $^1/_7$ und mit elf Feldern. Sie konnten mit Hilfe der gleichen numerischen Tabellen berechnet werden. Diese Träger sind in all ihren Teilen in Kastenform ausgebildet, deren Breite genügend ist, um zur Durchführung von Unterhaltungsarbeiten einen Mann durchschlüpfen zu lassen. In Anbetracht der Notwendigkeit, Biegungsmomente mit verschiedenen Vorzeichen aufzunehmen, bestehen die Querschnitte aus I-Profilen. Sie bestehen wie gewöhnlich aus Stegblechen, Winkeleisen und Flacheisen. Für die Träger von 90 m Spannweite mußte man bei den doppelgleisigen Brücken Spezialprofile aus Winkeleisen mit 180 mm Flanschbreite verwenden. Wie bei den gewöhnlichen Kastenformen der Fachwerkträger sind die Lamellen vollständig auf der Außenseite des Kastens angeordnet. Jedoch sind sie in Anbetracht ihrer Breite zwischen zwei Winkeleisen eingefügt, die auf dem Steg befestigt sind; das freie Ende ist gegen jede

Neigung zur Beulung durch Aussteifungen in Winkeleisen gegen den Steg abgestützt.

Die Pfosten fügen sich in natürlicher Weise in die Kastenträger des Bogens und des Untergurtes ein und bilden ein außerordentlich starres System. Die Montagestöße der Pfosten befinden sich am Anfang der Übergänge der Pfosten zur Gurtung. Ihre genaue Lage ist gegeben durch die maximale nutzbare Breite der Knotenbleche. Das Stegblech des Pfostens wird zwischen den Stößen über die ganze Höhe des Trägers geführt.

Es ist zu bemerken, daß die Bogen- und Zugbandquerschnitte konstant bleiben. Diese Anordnung ist gerechtfertigt, wenn man in Betracht zieht, daß sich das

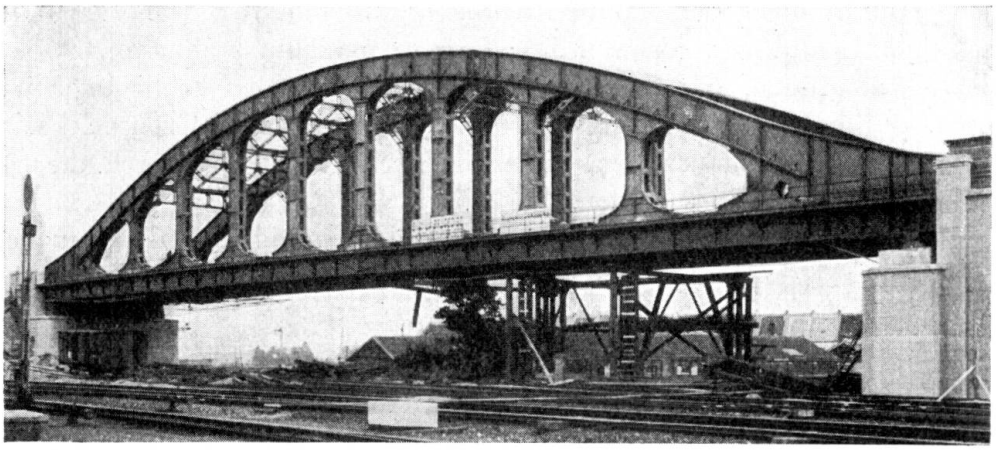

Fig. 2.
Eisenbahnbrücke über die Straße von Löwen nach Malines. Ansicht.

ganze wie ein einfacher Bogenträger mit Zugband unter gleichmäßiger Belastung verhält.

Die Kastenversteifungen, die Querschotten und die Querversteifungen bildeten den Gegenstand eines sehr tiefschürfenden Detailstudiums, um ohne Übertreibung die größtmögliche Festigkeit im Querschnitt zu sichern.

Die Endscheiben, Verbindungsstücke zwischen Bogen und Untergurt haben wegen der großen Ausmaße der Fläche, die zu verwenden waren, ein eingehendes Studium erfordert; die Anzahl der Stöße mußte beschränkt werden und es waren genügende Versteifungen anzuordnen. Für den Unterhalt müssen alle Teile zugänglich sein. In mittlerer Höhe wurde eine horizontal liegende Längswand vorgesehen, die durch eine Reihe vertikal liegender Querwände ausgesteift ist. Mannlöcher erlauben den Zutritt zu allen so entstehenden Zellen.

Berechnungen.

Der Vierendeel-Träger ist durch das Fehlen der Diagonalen charakterisiert, was nach dem Schöpfer dieser Träger eine Vermeidung der Nebenspannungen zur Folge hat. Diese Nebenspannungen können in Fachwerken Werte annehmen, die das zulässige Maß überschreiten.

Ohne in eine erneute Diskussion eintreten zu wollen ist zu bemerken, daß man oft als Nebenspannungen Beanspruchungen bezeichnet hat, die Haupt-

spannungen sind. Man hat unter dieser Bezeichnung die Spannungen infolge außermittiger Anschlüsse eingeschlossen, die mit Genauigkeit bestimmt werden können und die, wie die Hauptspannungen, durch die wirkenden Kräfte erzeugt werden. Es wäre empfehlenswert jene Spannungen als Nebenspannungen zu bezeichnen, die durch die Verformung des Tragwerkes entstehen; in einem Fachwerk erzeugen die Verlängerungen und Verkürzungen der Stäbe Winkeländerungen, die die Nebenspannungen hervorrufen.

Selbstredend verschwinden diese Spannungen, wenn die Verformbarkeit der Knoten stärker hervortritt, indem sich letztere der Gelenkwirkung nähert; diese Spannungen verdienen die englische Bezeichnung „self relieving stresses". Dieses Ergebnis kann dadurch erreicht werden, daß die Nietung ein gewisses Spiel aufweist, oder durch die Plastizität der Knotenbleche und der Stäbe. Spannungen in diesem Sinne sind weniger wichtig, als man manchmal annahm.

Es ist hinzuzufügen, daß alle Konstruktionen, die sich mehr oder weniger verformen, durch diese Spannungen in leicht schwankende Grenzen beeinflußt werden je nach den Hindernissen, die dem Spiel der Kräfte durch die Steifigkeit der Einzelteile bereitet werden.

Bei den Fachwerkträgern z. B. zeigen die Berechnungen und Versuche, daß diese Spannungen wesentlich proportional dem Steifigkeitsmaß $\left(\frac{I}{l}\right)$ des Stabes sind.

Die Träger wurden nach der vereinfachten Methode berechnet, die *Vierendeel* in seinem Lehrbuch über Baustatik angegeben hat. An Hand dieser Methode hat man Tabellen und Diagramme abgeleitet, die gestatten, für jeden belasteten Knotenpunkt die Werte der Querkräfte in den Momentennullpunkten der Pfosten anzugeben, ebenso die Biegungsmomente in den Gurtungen und in den Pfosten. Diese Berechnungsgrundlagen sind direkt anwendbar auf Träger von gleichen Verhältnissen (Pfeilverhältnis und Anzahl der Felder).

Wenn man den gleichmäßig und vollständig belasteten Träger betrachtet, so erkennt man, daß die Beanspruchung des Bogens in eine einfache Druckbeanspruchung längs der Achse übergeht, wobei das Zugband gleichmäßig gezogen wird; die Pfosten haben lediglich das Gewicht der Fahrbahn zu tragen.

Es ist interessant zu beobachten, daß in den mittleren prismatischen Teilen der Gurtungen die unter der Annahme einer Vollast berechneten Spannungen größer ausfallen als für teilweise Belastungen. Diese letzteren wären nur in den Übergängen der Pfosten in die Gurtungen ungünstiger, wenn diese prismatisch vorausgesetzt würden. Im Gegensatz dazu folgt die maßgebende Biegungs-Beanspruchung der Pfosten aus einer teilweisen Belastung.

Bei der Betrachtung von Momentenflächen eines Gurtfeldes, berechnet auf Grund der gewöhnlichen Annahme eines konstanten Querschnittes über die ganze Feldlänge, erkennt man, daß für gewisse Belastungsfälle der Momentennullpunkt innerhalb der Pfostenbreite oder der Übergänge der Pfosten in die Gurtungen liegt. Unter Berücksichtigung der großen Zunahme der Querschnitte beim Übergang vom Pfosten in den Gurt und der Größe der Übergänge scheint es wenig wahrscheinlich, daß diese Momentennullpunkte, die identisch sind den Wendepunkten der elastischen Linie infolge reiner Biegung, wesentlich außerhalb der mittleren prismatischen Teile des Gurtes zu liegen kommen. Es läßt

sich daraus wenigstens schließen, daß die ursprüngliche Annahme eines konstanten Trägheitsmomentes zu verdächtigen Schlußfolgerungen führt, umsomehr, als die Übergänge gegenüber dem prismatischen Teil der Pfosten und Gurtungen stärker entwickelt sind. Die Grenze würde erreicht, wenn ein Träger aus einer Reihe von Dreiecken so gebildet würde, daß die Spitzen dieser Dreiecke in den Pfosten- und Gurtelementen liegen würden. Es ist somit schwierig der Berechnung eines Vierendeel-Trägers, die auf die Veränderlichkeit des Trägheitsmomentes keine Rücksicht nimmt, eine große Genauigkeit beimessen zu wollen. Demzufolge scheint, daß eine einfache Berechnungsmethode, die die Momentennullpunkte im Innern der prismatischen Stabteile annimmt, Ergebnisse zeitigen kann, die genau genug sind und die nicht fehlerhafter zu sein brauchen als jene, die mit einer angeblich genaueren Methode erhalten werden. Eine solche Methode ist von dem deutschen Ingenieur *Engesser* erdacht und in der „Zeitschrift für Bauwesen" 1913 beschrieben worden. *Engesser* setzt voraus, daß die Pfosten unendlich steif seien und folgert, daß die Wendepunkte der Gurtungen auf den Schwerlinien jedes Feldes der Träger liegen.

Die Festlegung der fiktiven Gelenkpunkte kann unmittelbar erfolgen und erlaubt eine einfache und rasche Berechnung der verschiedenen statisch bestimmten Teile des Trägers.

Die vergleichenden Berechnungen der Spannungen, durchgeführt für einen Träger von 100 m Spannweite einer eingleisigen Eisenbahnbrücke nach den beiden Methoden *Vierendeel* und *Engesser* zeigen, daß die angenäherte Methode *Engesser* ausreichende Resultate ergibt. Es ist indessen gerecht zu bemerken, daß schon vor *Engesser Vierendeel* selbst eine solche Vereinfachung für Träger mit parallelen Gurtungen angegeben hatte.

Es ist lehrreich zu bemerken, daß das Verhältnis der bezogenen Trägheitsmomente (Verhältnis des Trägheitsmomentes zur Stablänge) für Gurt- und Pfostenelemente eine grundlegende Bedeutung auf die Definition und die Wirkungsweise des Vierendeel-Trägers hat.

Die Grenzfolgerungen können leicht klar gelegt werden durch Anwendung der untenstehenden allgemeinen Beziehung (*Keelhoff*, Cours de stabilité)

$$\frac{(I'c)^3 + I''^3}{(I'c + I'')^3}\left[H^3{}_n \frac{Z_n}{I_n} - H^3{}_{n-1} \frac{Z_{n-1}}{I_{n-1}}\right] = \frac{3\lambda}{2} \frac{H_{n-1} + H_n}{I'c + I''} (M'_n + M''_n)$$

Wir betrachten ein Trägerfeld mit Pfostenlängen H_{n-1}, H_n und mit Trägheitsmomenten I_{n-1}, I_n. Die normale Breite des Feldes sei λ, die Trägheitsmomente des Ober- und Untergurtes, I' und I'' werden als konstant vorausgesetzt.

Der Obergurt bildet mit der Horizontalen einen Neigungswinkel φ derart, daß $\cos\varphi = c$ ist; der Untergurt ist horizontal. Legt man durch den Schwerpunkt des Feldes einen lotrechten Schnitt, so seien die Biegungsmomente des Ober- und Untergurtes mit M'_n M''_n bezeichnet; Z_{n-1} und Z_n sind die horizontalen Querkräfte in den Wendepunkten der Pfosten.

Wir erinnern an die Grundannahmen,

$$\frac{M'}{M''} = \frac{I'c}{I''} \quad \text{und} \quad \frac{h'}{h''} = \frac{I'c}{I''}$$

h′ und h″ bestimmen die Lage des Wendepunktes für einen Pfosten $H = h' + h''$. Um die Folgerungen in den Grenzfällen leichter ziehen zu können, nehmen wir an, daß $I' = I'' = I$ sei.

$\frac{I}{\lambda} = \beta$, bezogenes Trägheitsmoment des Untergurtes,

$\frac{I_n}{H_n} = \frac{I_{n-1}}{H_{n-1}} = \alpha$, bezogenes Trägheitsmoment des Pfostens,

$\frac{1 + c^3}{(1 + c)^2} = K.$

Die allgemeine Gleichung nimmt folgende Form an:

$$H^2{}_n \cdot Z_n - H^2{}_{n-1} \cdot Z_{n-1} = \frac{\alpha}{\beta} \cdot \frac{1}{K} \cdot \frac{3}{2} (H_{n-1} + H_n) (M'_n + M''_n)$$

wobei das Verhältnis $\frac{\alpha}{\beta}$ der bezogenen Trägheitsmomente der Pfosten und Gurtungen als ein Hauptbeiwert erscheint.

Die Grenzwerte für $\frac{\alpha}{\beta}$ sind unendlich und null. Der Wert $\frac{\alpha}{\beta} = \infty$ oder umgekehrt $\frac{\beta}{\alpha} = 0$ entspricht der Annahme von *Engesser,* daß die Pfosten unendlich steif sind. Setzt man $\frac{\beta}{\alpha}$ in das erste Glied ein, so kann die Annahme $\frac{\beta}{\alpha} = 0$ zusammengefaßt werden in $M'_n = 0$ und $M''_n = 0$. Wir schließen daraus, daß die Querschnitte der Gurtungen in der Schwerlinie des Feldes auf Biegung nicht beanspruchte Schnitte sind für irgendwelchen Belastungsfall. Wenn man nur die reine Biegung der Gurtungen betrachtet, so entsprechen diese Querschnitte den Wendepunkten. Bei einem Träger mit konstanter Höhe liegen diese Punkte in der Mitte jedes Feldes.

Der andere Grenzwert $\frac{\alpha}{\beta} = 0$ entspricht dem Fall wo die Pfosten eine verschwindende Steifigkeit haben. Dies ist tatsächlich der Fall beim Bogen mit Zugband mit dünnen Hängestangen für die Fahrbahn. Das gleiche würde zutreffen für zwei Paralleltäger von gleicher Steifigkeit, verbunden durch vertikale Hängestangen.

$$H^2{}_n \cdot Z_n = H^2{}_{n-1} \cdot Z_{n-1}$$

$$Z_{n-1} = Z_n \cdot \frac{H^2{}_n}{H^2{}_{n-1}}$$

Z_{n-1} hat das gleiche Vorzeichen wie Z_n, weil das Verhältnis jenem der Quadrate der Pfostenhöhen entspricht. Unter der Annahme von vertikalen Lasten ist $\sum Z = 0$.

Im Falle eines Trägers mit parallelen Gurtungen reduziert sich die Beziehung $\sum Z = 0$, die angeschrieben werden kann zu

$$Z_n \cdot H^2{}_n \cdot \sum_0^m \frac{1}{H^2} = 0 \text{ zu } Z_n = 0.$$

Alle Querkräfte in den Pfosten sind 0.

Falls ein Bogenträger mit Zugband und dünnen Hängestangen vorliegt, enthält die Summe $\sum Z_n$ ein Glied

$$Z_o = Z_n \cdot \frac{H^2_n}{H^2_o}.$$

Wenn Z_n von 0 verschieden wäre, so würde Z_o unendlich, weil $H_o = 0$ ist. Da jedoch der Wert von Z_o in diesem Falle bestimmt und endlich ist, weil dieser die horizontale Komponente der Normalkraft im Bogen ist, muß Z_n Null sein, damit Z_o endlich wird. Diese Folgerung führt zurück zur gewöhnlichen Definition des Bogens mit Zugband und mit dünnen Pfosten, die gelenkig am Bogen und Zugband angeschlossen sind.

Leere Seite
Blank page
Page vide