

Illa: Technical and economical considerations in the selection of the type

Objekttyp: **Group**

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

Band (Jahr): **3 (1948)**

PDF erstellt am: **14.05.2024**

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.

IIIa

Le poids théorique comme base du choix du type de pont

Das theoretische Gewicht als Grundlage der Systemwahl

Theoretical weight as the basis for selecting a type of bridge

PROF. DR F. STUSSI
Eidg. Techn. Hochschule, Zürich

Allgemeines

Dr. O. H. Ammann hat in seinem Generalreferat mit Recht darauf hingewiesen, dass der Begriff der „grossen Spannweite“ nicht allgemein und eindeutig definiert werden kann. Nun lässt sich aber zeigen, dass wir diesen Begriff wenigstens von dem wichtigen Gesichtspunkt der Wirtschaftlichkeit eines bestimmten Tragsystems aus doch zahlenmässig umschreiben und dabei gewisse Beurteilungsgrundlagen für die Systemwahl finden können.

Es ist allgemein bekannt, dass bei weitgespannten Brücken das Eigengewicht der Tragkonstruktion mit wachsender Spannweite einen immer grösser werdenden Anteil an der Gesamtbelastung darstellt. Diese Zusammenhänge können übersichtlich durch den Begriff des theoretischen Gewichtes erfasst werden.

Das theoretische Gewicht

Der Begriff des theoretischen Gewichtes soll zunächst am Beispiel eines einfachen Fachwerkbalkens (Abb. 1) abgeleitet werden. Das Gesamtgewicht G_H des Hauptträgers ergibt sich aus dem Volumen $F \cdot s$ und dem Raumgewicht γ der einzelnen Stäbe, wobei allerdings dieses theoretische Gewicht noch mit einem Konstruktions-Koeffizienten μ zu multiplizieren ist. Bezeichnen wir mit g_H das durchschnittliche Laufmetergewicht des Hauptträgers, mit S die Stabkraft in einem Stab und mit σ die zulässige Zugbeanspruchung, so können wir das Hauptträgergewicht in der Form

$$G_H = g_H \cdot l = \mu \cdot \gamma \cdot \Sigma F \cdot s = \frac{\mu \cdot \gamma}{\sigma} \cdot \Sigma S \cdot s$$

anschreiben. Die Stabkraft S zerlegen wir durch Einführung der Einheits-

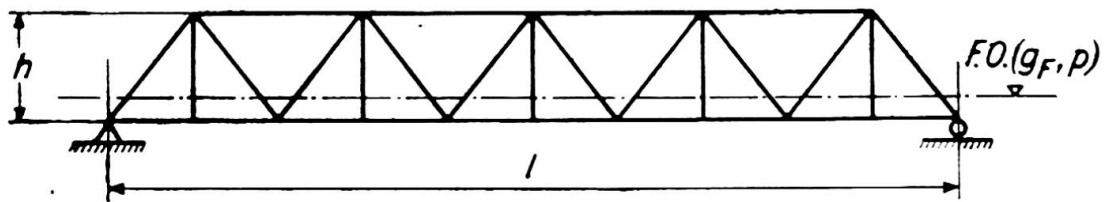


Abb. 1.

stabkräfte S_H , S_F und S_p in ihre Anteile aus Hauptträgereigengewicht g_H , Fahrbahngewicht g_F und Verkehrslast p :

$$S = g_H \cdot S_H + g_F \cdot S_F + p \cdot S_p.$$

Durch Einführung der Werte

$$\Sigma S_H \cdot s = \beta \cdot l^2, \quad \varphi_F = \frac{\Sigma S_F \cdot s}{\Sigma S_H \cdot s}, \quad \varphi_p = \frac{\Sigma S_p \cdot s}{\Sigma S_H \cdot s},$$

wobei der Zahlenfaktor β nur vom geometrischen Netz des Tragsystems, die Verhältniszahlen φ_F und φ_p auch von der Art der Lastverteilung und der Form der Einflusslinien abhängen, ergibt sich das Hauptträgereigengewicht in der Form

$$g_H \cdot l = \frac{\mu \cdot \beta \cdot \gamma}{\sigma} \cdot l^2 \cdot (g_H + \varphi_F \cdot g_F + \varphi_p \cdot p).$$

Durch Einführung der Abkürzungen

$$\alpha = \mu \cdot \beta \quad \text{und} \quad l_{Gr} = \frac{\sigma}{\alpha \cdot \gamma}$$

und durch Ordnen erhalten wir die theoretische Gewichtsformel ⁽¹⁾

$$g_H = (\varphi_F \cdot g_F + \varphi_p \cdot p) \cdot \frac{l}{l_{Gr} - l}.$$

Wird die Spannweite l gleich der Grenzspannweite l_{Gr} , so wird auch bei beliebig kleiner Belastung das Hauptträgereigengewicht unendlich gross oder das Tragwerk vermag unter Einhaltung der zulässigen Beanspruchungen gerade sein eigenes Gewicht zu tragen.

⁽¹⁾ In der Diskussion wies Prof. Ir. A. Roggeveen (Holland) darauf hin, dass Prof. Ir. N. C. Kist, Delft, schon vor längerer Zeit eine ähnlich gebaute Gewichtsformel empfohlen hat:

$$Q = \left(P_v + 9 \frac{M}{l} \right) \cdot \frac{f \cdot l}{t - f \cdot l}$$

Dabei bedeuten:

Q das Hauptträgereigengewicht;
 P_v das Fahrbahngewicht;

M das grösste Moment aus Verkehrslast;

t die zulässige Beanspruchung;

f einen aus dem Vergleich mit ausgeführten Brücken zu bestimmenden Zahlenwert: für einfache Fachwerkbalken ist $f \cong 2,3 \div 3,3$.

Den Konstruktionskoeffizienten μ können wir uns aus drei Anteilen zusammengesetzt denken: Einmal hat er zu berücksichtigen, dass die eingeführte zulässige Beanspruchung σ wegen der Lochschwächungen in Zugstäben und wegen der abgeminderten Knickspannungen in Druckstäben, sowie wegen der Unmöglichkeit, die Stabquerschnitte immer genau den Stabkräften anzupassen, nicht ausgenützt werden kann. Diesen ersten Anteil können wir auf etwa $\mu_1 = 1,25 \div 1,70$ einschätzen. Ein zweiter Anteil hat das Gewicht der Knotenbleche, Stosslaschen, Querschotten, Bindebleche u.ä. konstruktiver Zusatzteile zu erfassen; dieser Anteil dürfte mit etwa $\mu_2 = 1,20 \div 1,30$ zu berücksichtigen sein. Endlich ist es in der Regel zweckmässig, auch das Gewicht der Wind- und Querverbände dem Hauptträgergewicht zuzurechnen; diesen Anteil können wir etwa mit $\mu_3 = 1,10 \div 1,15$ in Rechnung setzen. Praktisch dürfte der Konstruktionskoeffizient μ insgesamt etwa zwischen 1,8 und 2,4 schwanken, wobei die Geschicklichkeit des Konstrukteurs sich in der Erzielung eines möglichst kleinen Wertes äussert.

Für einen einfachen Fachwerkbalken nach Abb. 1 mit Trägerhöhe $h = l/8$ ergibt sich der Zahlenwert β zu etwa $\beta = 1,90$, so dass wir im günstigsten Fall hier mit einem Systembeiwert α von

$$\alpha = \mu \cdot \beta = 1,80 \cdot 1,90 = 3,42$$

rechnen können. Es ist zweckmässig, die beiden Einflüsse μ und β in einem einzigen Systembeiwert α zu vereinigen, weil wir wohl durch Vergrösserung der Systemhöhe den Wert β verkleinern können, während sich aber gleichzeitig wegen der grösseren Schlankheit der Druckstreben der Wert μ vergrössern wird, so dass das Produkt $\alpha = \mu \cdot \beta$ durch eine Aenderung der Systemhöhe innerhalb vernünftiger Grenzen sich nicht wesentlich verändern wird. Aus der Gewichtsuntersuchung ausgeführter Beispiele ergibt sich die Feststellung, dass ein Systembeiwert $\alpha = 3,42$ für den einfachen Fachwerkbalken praktisch kaum unterschritten und überhaupt nur von einem guten Konstrukteur erreicht werden kann.

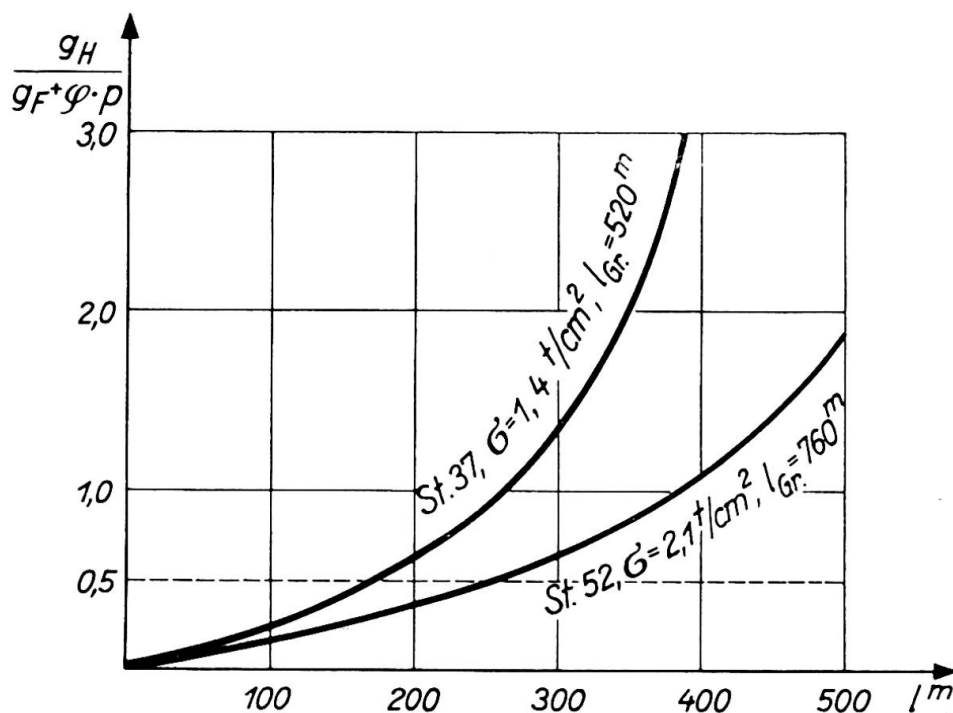
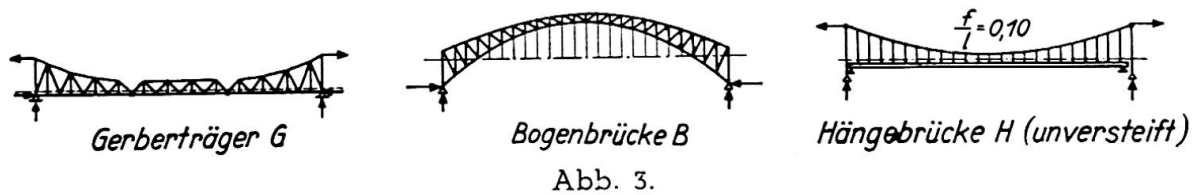


Abb. 2. Einfacher Fachwerkbalken.



Für den einfachen Fachwerkbalken und bei gleichmässiger Verteilung von Eigengewicht und Fahrbahngewicht ist

$$\varphi_F = 1,00, \quad \varphi_p = \varphi = 1,05.$$

In Abb. 2 ist der Gewichtsverlauf sowohl für normalen Baustahl St. 37 ($\alpha = 3,42$) wie für hochwertigen Baustahl St. 52 ($\alpha = 3,50$) aufgetragen. Es zeigt sich, dass das Hauptträgergewicht sehr stark anzuwachsen beginnt, sobald die Spannweite l etwa ein Drittel der Grenzspannweite überschritten hat; es ergibt sich somit für den einfachen Balken eine *wirtschaftliche Anwendungsgrenze*, die bei normalem Baustahl etwa bei 170 m, bei hochwertigem Baustahl etwa bei 250 m liegt.

Der Aufbau der theoretischen Gewichtsformel zeigt uns, welche Faktoren für die Erzielung einer wirtschaftlichen Lösung bei einem bestimmten Tragsystem massgebend sind. Durch den Begriff der Grenzspannweite ist nicht nur die absolute Anwendungsgrenze eines Tragsystems, sondern auch die wirtschaftlich noch vertretbare Grösstspannweite, die mit etwa einem Drittel der Grenzspannweite festgelegt werden kann, bestimmt. Der Begriff der grossen Spannweite ist in technisch-wirtschaftlicher Beziehung von der Grenzspannweite aus zu orientieren; er ist deshalb abhängig von der Form des Tragsystems, von der Materialart und von der Geschicklichkeit des Konstrukteurs.

Systeme weitgespannter Brücken

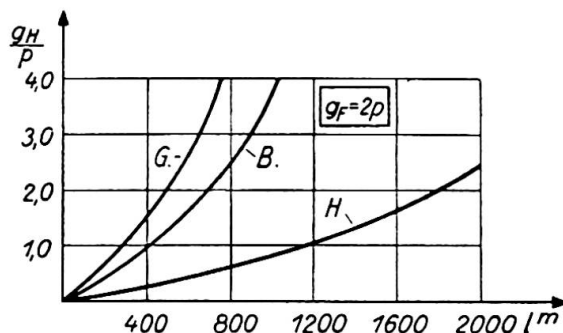
Für den Bau weitgespannter Brücken im engeren Sinne mit Spannweiten über etwa 300 m haben sich drei Tragsysteme durchgesetzt, nämlich der durchlaufende Fachwerkbalken mit Zwischengelenken (Gerberträger), der Zweigelenkfachwerkbogen und die verankerte Hängebrücke.

Für jedes Tragsystem lässt sich unter der Voraussetzung, dass das Superpositionsgesetz gültig ist, ein Systembeiwert α und damit für ein bestimmtes Material eine Grenzspannweite bestimmen. Bei der verankerten Hängebrücke ist das Superpositionsgesetz nicht gültig in Bezug auf das Kräftespiel im Versteifungsträger; es lassen sich hier die Werte α und l_{Gr} lediglich für das Haupttragorgan, das Kabel, ohne Berücksichtigung des Versteifungsträgers, angeben. Es ist dies deshalb vielleicht kein entscheidender Nachteil, weil ja mit wachsender Spannweite die Bedeutung des Versteifungsträgers mehr und mehr zurücktritt, so dass eine grundsätzliche Beurteilung des Systems bei grossen Spannweiten vom Kabel allein aus möglich wird.

In Abb. 3 sind diese drei Tragsysteme einander gegenüber gestellt; die Tabelle 1 enthält die charakteristischen Zahlenwerte, wobei für den Gerberträger eine der Wirklichkeit entsprechende stark ungleichmässige Eigengewichtsverteilung mit kleinstem Gewicht in Feldmitte und grösstem Gewicht über den Stützen eingeführt wurde.

In Abb. 4 ist unter der Annahme $g_F = 2p$ das Gewichtsverhältnis

Abb. 4.



g_H/p in Abhängigkeit der Spannweite l aufgetragen, wobei für Gerberträger und Bogen hochwertiger Baustahl ($\sigma = 2,1 \text{ t/cm}^2$) und für die Hängebrücke hochwertige Drahtkabel ($\sigma = 5,5 \text{ t/cm}^2$) angenommen wurden.

In den Abb. 5, 6 und 7 sind die bedeutendsten ausgeführten Brücken dieser drei Systeme zusammengestellt. Diese Zusammenstellungen bestätigen im grossen Ganzen die Verhältnisse der Abb. 4; wir dürfen wohl den Schluss ziehen, dass beim Gerberträger mit etwa 500 m Spannweite heute schon die wirtschaftliche Anwendungsgrenze des Systems praktisch erreicht ist, während beim Bogenträger noch eine kleine Vergrösserung über die heute erreichten Spannweiten hinaus möglich erscheint. Bei der verankerten Hängebrücke dagegen ist mit Paralleldrahtkabeln aus hochwertigem Stahldraht eine Steigerung der Spannweite bis 1 500 m und darüber wirtschaftlich möglich.

Schlussfolgerungen

Für weitgespannte Brücken haben sich nur einfache und klare statische Systeme entscheidend durchsetzen können. Bei Spannweiten von mehr als 600 m dominiert eindeutig die verankerte Hängebrücke mit Kabeln aus hochwertigen Stahldrähten.

Die wirtschaftliche Anwendungsgrenze eines bestimmten Tragsystems kann aus der theoretischen Gewichtsformel und vom Begriff der Grenzspannweite aus übersichtlich beurteilt werden. Selbstverständlich sind im konkreten Einzelfall auch die Eigenschaften des Baugrundes, sowie die Fragen der räumlichen Tragwirkung (Winddruck, Brückenbreite) von massgebender Bedeutung.

Das theoretische Gewicht ist ein wichtiges Hilfsmittel des Konstrukteurs zur Prüfung der Wirtschaftlichkeit eines Entwurfes. Es erlaubt eine technische Nachkalkulation auf übersichtlicher Grundlage und die Auswertung der eigenen Erfahrungen. Der Austausch solcher Erfahrungen auf einheitlicher Grundlage, d.h. durch die für das theoretische Gewicht charakteristischen Zahlenwerte durch die Stahlbauer der verschiedenen Länder ist im Interesse der ganzen Bauweise erwünscht.

	α	φ_F	φ_p
Gerberträger G	1,60	1,5	1,6
Bogenbrücke B	1,30	1,0	2,0
Hängebrücke H	1,55	1,0	1,0

TABELLE I

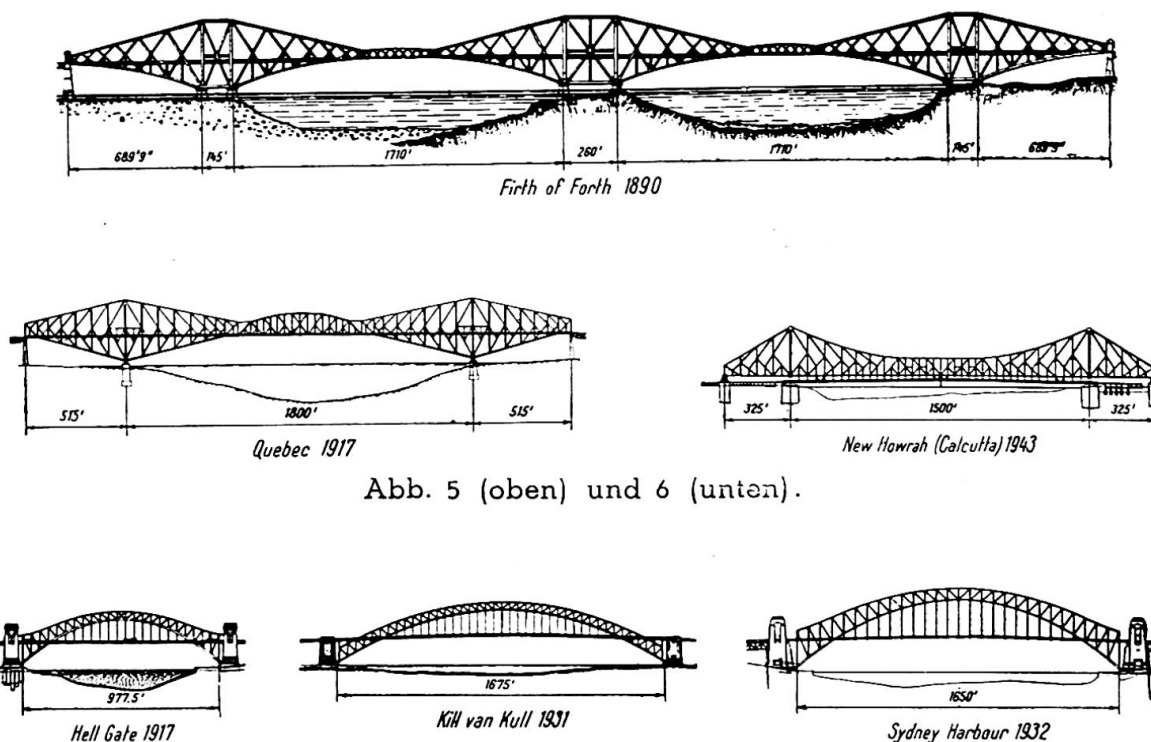


Abb. 5 (oben) und 6 (unten).

Résumé

L'auteur donne des notions du poids théorique et des portées limites des maîtresses-poutres de ponts. Cette portée limite permet d'indiquer la limite d'emploi économique d'un type déterminé de pont, pour laquelle le poids des maîtresses-poutres n'est pas exagéré par rapport au poids de la charge supportée (tablier et surcharge).

En examinant les réalisations actuelles, nous constatons que cette limite est près d'être atteinte pour les poutres continues à treillis articulées, alors que pour les ponts triangulés en arc à deux rotules, il reste une certaine latitude au développement futur. Pour les ponts suspendus ancrés comportant des câbles en acier à haute limite élastique, la portée peut encore être sensiblement augmentée.

Zusammenfassung

Es werden die Begriffe des theoretischen Gewichtes und der Grenzspannweite für das Haupttragssystem von Brücken abgeleitet. Aus der Grenzspannweite eines bestimmten Systems kann direkt auf die wirtschaftliche Anwendungsgrenze geschlossen werden, bei der der Materialaufwand für die Haupttragkonstruktion gerade noch in einem wirtschaftlich tragbaren Verhältnis zur aufzunehmenden Belastung (Fahrbahngewicht und Verkehrslast) steht. Bei den bisherigen Ausführungen dürfte der durchlaufende Fachwerkträger mit Zwischengelenken diese Grenze annähernd erreicht haben, während beim Fachwerkzweigelenkbogen noch ein kleiner Spielraum für die weitere Entwicklung verbleibt und bei der verankerten

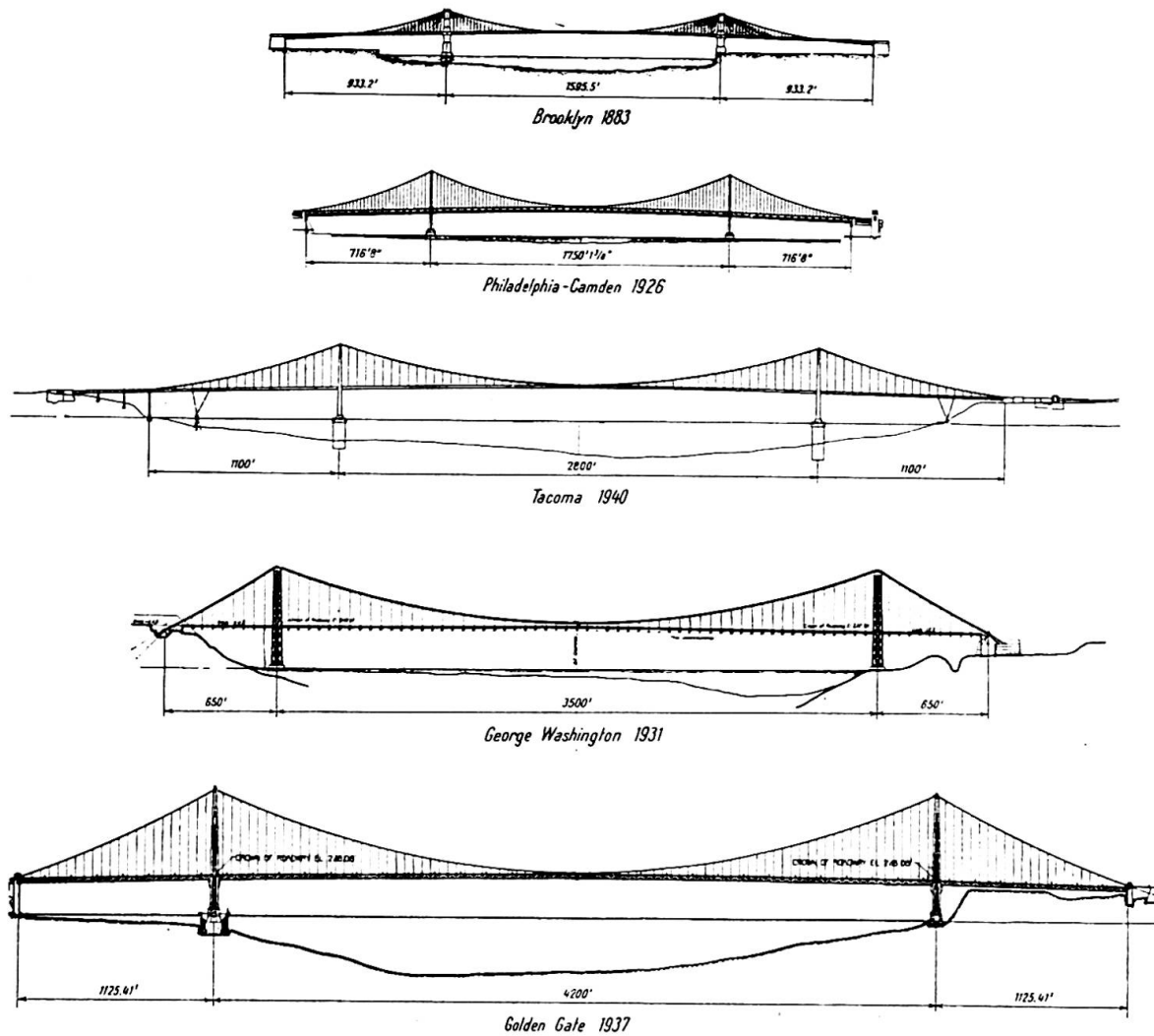


Abb. 7.

Hängebrücke, mit Tragkabeln aus hochwertigen Stahldrähten, die bisherigen Spannweiten mit wirtschaftlich vertretbarem Materialaufwand noch erheblich gesteigert werden können.

Summary

The author gives the notions of the theoretical weight and the extreme spans for the main girders of bridges. This extreme limit permits to indicate the limit of economic use of a given type of bridge in which the weight of the main beams is not exaggerated as compared to the weight of the load borne by the latter (roadway and live load).

In examining present day structures we find that this limit is nearly reached in the cantilever system, whereas in two hinged arches the extreme span is not yet attained. For suspension bridges anchored with high grade steel cables the span can still be appreciably increased.

Leere Seite
Blank page
Page vide