



Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000305580

ÜBER NEUERE FORMEN VON  
HOCHBRÜCKEN  
BEI TIEFLIEGENDEM GELANDE

DISSERTATION

ZUR ERLANGUNG DER WÜRDE  
EINES DÖRFLER-INGENIEURS

VON KONRICHTEK TECHNISCHEM  
HOCHSCHULE AN SACHSISCHEN  
UNIVERSITÄT ZU LEIPZIG

DIPL.-ING. GEORG MÜLLER



LEIPZIG: VERLAG VON WILHELM ENGELMANN  
1895



LEIPZIG UND BERLIN  
WILHELM ENGELMANN

9.58  
115

X  
971



*M. 2517/14.*

# ÜBER NEUERE FORMEN VON HOCHBRÜCKEN BEI TIEFLIEGENDEM GELÄNDE

DISSERTATION

ZUR ERLANGUNG DER WÜRDE  
EINES DOKTOR-INGENIEURS

DER KÖNIGLICHEN TECHNISCHEN  
HOCHSCHULE ZU BERLIN

VORGELEGT AM 31. MAI 1912

VON

DIPL.-ING. GEORG MÜLLER

AUS BERLIN

GENEHMIGT AM 18. FEBRUAR 1913

REFERENT: PROFESSOR MÜLLER-BRESLAU  
KORREFERENT: PROFESSOR SIEGMUND MÜLLER



LEIPZIG UND BERLIN

WILHELM ENGELMANN

1914

*G. 58*  

---

*105*

*3/11*

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA  
KRAKÓW

III 33054

Akc. Nr. 1824/49

MEINER MUTTER GEWIDMET





# Inhaltsverzeichnis.

Einleitung . . . . .	Seite 1
----------------------	------------

## I. Abschnitt.

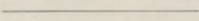
1. Aufstellung des Problems . . . . .	2
2. Vorentwürfe für eine Straßenbrücke . . . . .	4
3. Vergleich zwischen Entwurf 4 und Entwurf 5. . . . .	11

## II. Abschnitt.

4. Drei Vorentwürfe für eine Eisenbahnbrücke . . . . .	13
5. Vergleich zwischen Entwurf 7 und Entwurf 8 . . . . .	17
6. Schlußkritik . . . . .	30
7. Allgemeine Betrachtungen . . . . .	31

## Anhang.

1. Grundlagen zur statischen Berechnung . . . . .	35
2. Fünf Tafeln mit Systemskizzen. . . . .	37





## Einleitung.

Die Entwicklung des Brückenbaues in Entwurf und Ausführung hat in den letzten beiden Jahrzehnten bedeutende Fortschritte gemacht. Einen großen Anteil an diesem Emporblühen der Brückenbaukunst haben die zahlreichen Wettbewerbe. Sie sind für die Ingenieure immer wieder ein Ansporn, ihr Bestes herzugeben. Das gilt nicht nur insofern, als Theorie und Einzelkonstruktion vervollkommenet wurden, sondern daß vielfach auch dem Ingenieur der Sinn für die ästhetische Wirkung seiner Werke geweckt wurde. Das Endziel dieser Wettbewerbe war die Gewinnung eines allen Anforderungen an Wirtschaftlichkeit und Schönheit gerecht werdenden Überbausystems. Hierbei war selbstverständlich Voraussetzung, daß auch die Fahrbahn und andere bemerkenswerte Einzelkonstruktionen in gleicher Weise vollkommen durchgebildet wurden. Immerhin kann eine noch so gediegene Einzelausführung eine ungünstige oder gar verfehlte Systemwahl nicht wettmachen oder über unschöne, nicht proportionierte Linienführung hinwegtäuschen. Wenn man die Ergebnisse der neueren Wettbewerbe verfolgt, so zeigt sich, daß es nicht immer geschwungener Linien und mehrerer Gurte bedarf, um befriedigende Lösungen zu erzielen. Es ist ein erfreuliches Streben nach Einfachheit, Klarheit und Schönheit erkennbar. Dieses steht nicht nur unter dem Einfluß von Architekten. Es geht auch aus von Ingenieuren, die selber von vornherein ästhetische Gesichtspunkte neben den wirtschaftlichen gelten lassen. Es soll der Versuch gemacht werden, gewissermaßen an der Hand der geschichtlichen Entwicklung eines Entwurfes für eine bestimmte Aufgabe eine Studie zu liefern, als einen kleinen Beitrag für die Ausgestaltung von Brückensystemen auf dem begrenzten Gebiet der Hochbrücken bei tiefliegendem Gelände \*).

---

\*) Verfasser ist während einer zweimaligen Tätigkeit im Reichsamt des Innern mit der Ausarbeitung und Beurteilung derartiger Entwürfe betraut worden. Aus Anlaß dieser Arbeit ist der nachfolgende Aufsatz entstanden.

# I. Abschnitt.

## 1. Aufstellung des Problems.

Hochbrücken mögen charakterisiert werden als Brücken, die im Verhältnis zu ihrer Spannweite eine große Lichthöhe haben. Der Bereich der Hauptspannweite liege zwischen 100—200 m. Die Höhe kann erstens durch die natürliche Beschaffenheit des Geländes bedingt sein. Es ist ein tiefes Tal zu überbrücken. Beispiel: Die Kaiser-Wilhelm-Brücke bei Müngsten. Die Fahrbahn kann nicht weiter gesenkt werden. Zweitens, die Höhe wird gefordert als Lichthöhe für einen Verkehrsweg. (Seegehende Schiffe in einem Meeresarm, Strom oder Seekanal.) Die Fahrbahn muß hochgehoben werden, um den freien Durchgang der Schiffe zu gestatten. Fig. 1 und Fig. 2 zeigen Formen, die sich besonders zur Überbrückung breiter Meeresarme eignen und typische Bei-

Fig. 1

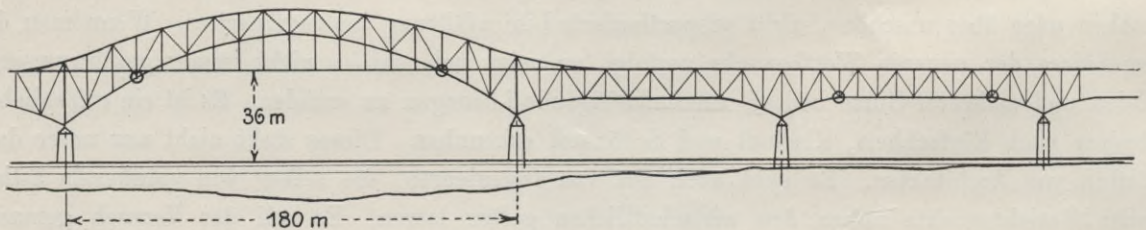
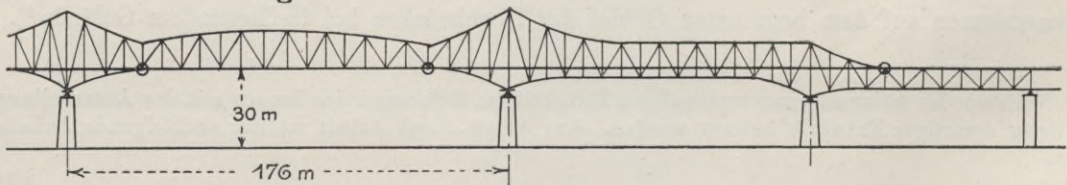


Fig. 2

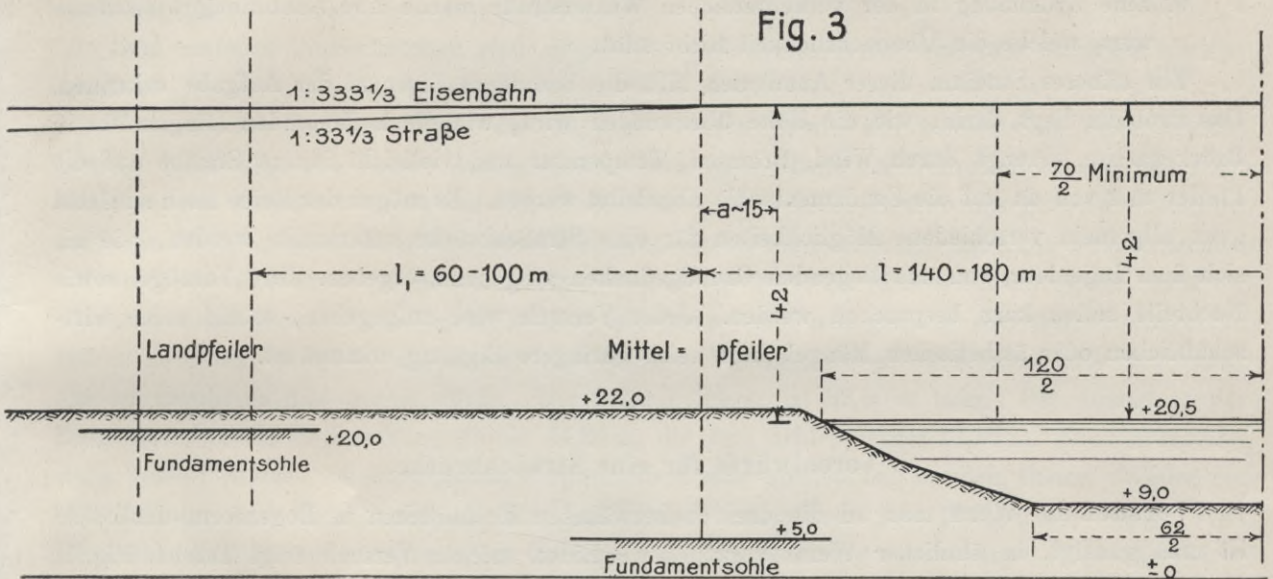


spiele für den Übergang von Fahrbahn unten zu Fahrbahn oben darstellen. (Schaper, Eiserne Brücken.) Die Überwindung der Höhe wird erleichtert, wenn das Gelände seitlich schon in einer gewissen Höhe liegt. Das ist der Fall bei den alten Hochbrücken über den Kaiser-Wilhelm-Kanal bei Levensau und Grüenthal. Dort werden tiefe Einschnitte gekreuzt.

Die Firth of Forth- und die New Yorker Brücken sind in dem obigen Sinne nicht zu den eigentlichen Hochbrücken zu rechnen, da ihre Lichthöhe mit etwa  $\frac{500}{42} = \frac{1}{12}$  der Spannweite relativ

gering ist. Auch die neuen Schwebefähren (Kiel, über die Oste bei Osten) zählen nicht zu den Hochbrücken.

Für die Brücken bei Müngsten, Levensau und Grüenthal, wo das Gelände seitlich mehr oder weniger ansteigt, waren Bogenbrücken die gegebenen Lösungen. Es fragt sich, zu welchen Anordnungen kommt man, wie gestaltet sich das Problem, wenn sich das Gelände ganz flach, nur wenige Meter über dem Wasserspiegel, weithin ausbreitet (siehe Fig. 3). (Das war nahezu der Fall bei den neu zu erbauenden Hochbrücken über den erweiterten Kaiser-Wilhelm-Kanal.) Wir legen unsern Untersuchungen die nachfolgenden ergänzenden Annahmen zugrunde, die nicht nur für diesen bestimmten Fall, sondern auch allgemein Geltung haben können.



1. Es mag, trotzdem nur eine Öffnung für den eigentlichen Wasserlauf (Strom, Meeresarm oder Seekanal) erforderlich ist, mit Rücksicht auf Verkehrswege und den hauptsächlich in Frage kommenden freien Vorbau ein Bauwerk mit drei Öffnungen gefordert sein.
  - a) Die Hauptspannweite betrage etwa 150 m.
  - b) Folgt ein Erddamm der Brücke, so sollen die Seitenöffnungen nach den Verkehrserfordernissen bemessen werden. Folgt eine eiserne Rampenbrücke, durch welche Verkehrswege geleitet werden können, so mögen andere Gründe, statische, schönheitliche, für die Wahl der Größe maßgebend sein.
2. Die Lichthöhe betrage 42 m und sei auf wenigstens 70 m (besser mehr) gefordert.
3. Die zulässige Rampensteigung sei:
  - a) für eine Straßenbrücke 30 v. T.
  - b) für eine Eisenbahnbrücke 3 v. T.
4. Ordinaten:
 

Sohle des Wasserlaufes . . . . .	+ 9,00
Gelände ungefähr . . . . .	+ 22,00 m
Wasserspiegel . . . . .	+ 20,50 m
Guter Baugrund für den Landpfeiler . . . . .	+ 20,00

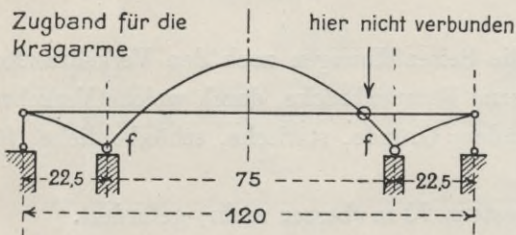
5. Die Pfeiler nächst der Mittelöffnung sind tief bis auf  $+5,00$  zu gründen, weil ihre Stand-  
sicherheit unter allen Umständen gewahrt bleiben muß. Diese Forderung muß erhoben  
werden im Hinblick auf die Möglichkeit, daß ein Strombett sich durch Auswaschung  
erweitert oder verlegt, ein Kanal verbreitert und vertieft wird, wodurch die Pfeiler frei-  
gelegt werden könnten. Es ist Druckluftgründung anzunehmen.
6. Die Mittelöffnung ist beim Aufbau wegen der regen Schifffahrt von jeglichen Gerüsten  
freizuhalten.
7. Das System soll äußerlich möglichst statisch bestimmt sein, insofern als Stützensenkungen  
nicht ausgeschlossen sind.
8. Die Konstruktion soll rein in Eisen ohne massive End- und Aufbauten hergestellt werden.
9. Eine Krümmung in der verkehrsreichen Wasserstraße mache eine Anordnung wünschens-  
wert, welche die Übersichtlichkeit nicht stört.

Ein näheres Studium dieser Annahmen läßt die besondere Eigenart der Aufgabe erkennen.  
Das Problem liegt darin, wie die Höhe überwunden wird, wie die auftretenden Längskräfte in  
Brückenachse, erzeugt durch Wind, Bremsen, Temperatur und vielleicht innere Schübe auf die  
Pfeiler und von da auf die Fundamentsohle abgeleitet werden. Es mögen der Reihe nach zunächst  
ganz allgemein verschiedene Möglichkeiten für eine Straßenbrücke untersucht werden, wie sie  
sich dem Ingenieur, von naheliegenden Grundgedanken ausgehend, ergeben. Ihre Vorzüge, sowie  
Nachteile sollen kurz besprochen werden. Jeder Versuch wird aufgegeben, sobald seine wirt-  
schaftlichen oder ästhetischen Mängel, kurz seine geringere Eignung erkannt ist.

## 2. Vorentwürfe für eine Straßenbrücke.

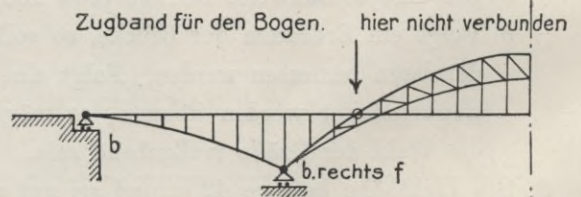
Versuch 1. Wenn man an die drei obenerwähnten Hochbrücken in Bogenform denkt, so  
ist man geneigt, in ähnlicher Weise vorzugehen. Einen solchen Versuch zeigt Tafel I, Fig. 1.  
Es ist ein Dreigelenkbogen mit Auslegern und Zugband in Fahrbahnhöhe über die ganze Länge.  
Der Bogen wird hier bis auf wenige Meter über das Gelände heruntergeführt. Er durchschneidet

Fig. 4



Hilfssteg über die Seine.

Fig. 5



Röntgenbrücke Charlottenburg.

die Fahrbahn, die teils aufgehängt, teils abgestützt ist. Sein Pfeil beträgt etwa ein Drittel der  
Spannweite. Die freie Höhe von 42 m besteht für 78 m Breite. Die Kragarme laden 29,5 m  
weit aus und sind mit Hilfe des durchgehenden Zugbandes sowohl mit den Bogenhälften als  
auch unter sich verbunden. Die Hauptträger sind gegen die Lotrechte 1:6 geneigt. Schlepp-  
träger vermitteln den Übergang zu einem Damm oder Viadukt. Diese Anordnung hat eine  
gewisse Ähnlichkeit mit dem Bogenträger des Hilfssteges zwischen Alma- und Jenabrücke in Paris

(1900). (Siehe Fig. 4 und Fig. 5.) Die Lösung wirkt in der Mittelöffnung nicht ungünstig, ihr Mangel liegt einmal in der Auskragung, die bei geringer Länge und großer Höhe sich nur schwer organisch mit dem Schleppträger vereinigen läßt und in der gegebenen Skizze zu gezwungen wirkt. Weiter stellt sich dieser Vorschlag in der Gründung der Pfeiler sehr kostspielig; denn wenn auch der Bogenschub durch die Auskragung beschränkt wird, so erfordert seine Ableitung bis auf die Bausohle doch erhebliche Pfeilermassen. Ferner eignet sich der Bogen mit seiner kleingliedrigen Ausfachung wenig für freien Vorbau. Außerdem dürfte die Anordnung selbst für eine großstädtische Straßenbrücke zu wenig steif sein. Wir müssen, ohne weitergehende Untersuchungen anzustellen, sagen, daß Bogenbrücken, selbst in dieser günstigsten Form, für unsere Aufgabe nicht in Frage kommen.

Auch reine Hängebrücken sind für mittlere Spannweiten wie 150 m nicht geeignet. Sie sind zu teuer und zu schwach.

Drei einfache Balkenbrücken sind wegen des geforderten freien Vorbaues nicht gut zu verwenden.

Versuch 2. So wenden wir uns zu den Gerberträgern. Ein Gedanke zu einer zweiten Lösung führt über die neuere Auslegerbrücke über den Rhein bei Ruhrort-Homberg. Es fragt sich nur, wie überwindet man die Höhe? Man kann eine solche Brücke mit geradem Untergurt auf hohe Pfeiler setzen. Derartige hohe Steinunterbauten werden kostspielig. Man kann versuchen zu vermitteln und durch ein Herunterziehen der unteren Gurte die Pfeilerhöhe ermäßigen. Tafel I, Skizze 2 zeigt diesen Vorschlag im Bilde. Die bewegten Gurtungen mit den stark wechselnden Höhen zwischen 10 und 50 m sind mit Pfostenfachwerk ausgefüllt, da ein fortlaufender Strebenzug ein zu unruhiges Bild geben würde. Der Schwebeträger ist 82,50 m lang. Die Ausladung des Kragträgers in die Hauptöffnung hinein 34,25 m, die zum Schleppträger 17,10 m. Die Seitenstützweite beträgt 92,6 m. Der Schleppträger von 24,75 m ruht unmittelbar auf dem Damm. Nächste der Mittelöffnung sind feste Lager, an dem Landpfeiler bewegliche. Das Pfeilermassiv steigt etwa 12 m über dem Gelände empor. Der Untergurt der Hauptöffnung ist in einer ellipsenähnlichen Kurve über das rechteckige Lichtraumprofil von 74 m Breite geführt. Die Seitenöffnungen zeigen ähnliche Kurven. Im Scheitel derselben erscheint der Kragträger stark eingeschnürt. Über den Pfeilern und unterhalb der Fahrbahn ist der Hauptträger scharf aus seiner Ebene herausgebogen, und der Hauptpfosten in der Querrichtung dementsprechend gespreizt.

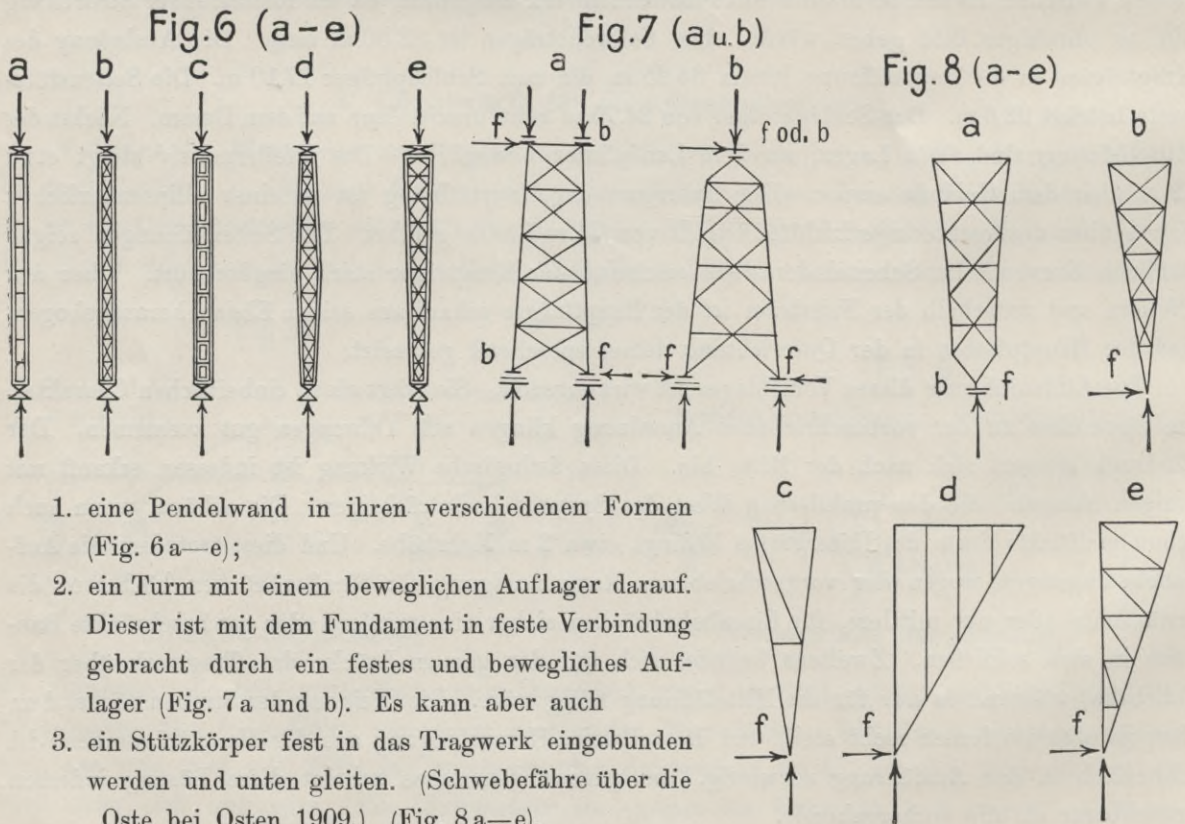
Die Linienführung dieses Vorschlages ist wirkungsvoll. Sie trägt einen einheitlichen Charakter. Im Gegensatz zu der vorherbeschriebenen Anordnung klingen alle Öffnungen gut zusammen. Der Eindruck steigert sich nach der Mitte hin. Diese ästhetische Wirkung ist indessen erkauft mit einigen Mängeln, die den praktischen Wert des Systems beeinträchtigen. Die schöne, wenn auch schon gedrückte Form des Untergurtes bedingt etwa 3 m Mehrhöhe. Und dies, trotzdem die Aufgabenbedingungen wegen der vorgeschriebenen Rampenneigung für Straßenbrücken höchstens die erwünschte oder nur mittlere, für Eisenbahnbrücken sicher eine mittlere oder gar beschränkte Bauhöhe in sich schließen. Zweitens befindet sich auf der ganzen Brücke das Tragwerk über der Fahrbahn, während es nur für die Mittelöffnung nötig wäre. Die Neigung der Streben nächst dem Hauptpfosten ist ferner recht steil, und die teilweise Herausbiegung aus der Hauptträgerebene ist schließlich in der Ausführung schwierig. Im ganzen genommen scheint diese Lösung indessen brauchbarer als die vorhergehende.

Versuch 3. Die obigen Nachteile lassen sich vermeiden, wenn man die untere Gurtung die Fahrbahn durchdringen läßt. Dann nimmt man zweckmäßig als Schwebeträger einen Bogen

mit Zugband an Stelle eines einfachen Balkens. Die obere Gurtung wird etwa über dem Hauptpfosten in einer schlanken S-Kurve unter die Fahrbahn geführt. Die Seitenöffnung ist ein nach dem Schleppträger hin auslaufender Fachwerkträger. Hier tritt zum ersten Male in dieser Reihe von Vorschlägen eine Pendelwand an Stelle des beweglichen Auflagers. In der Hauptöffnung ist Pfosten-, in der Nebenöffnung Strebenfachwerk. Die gemauerten Pfeiler sind etwa 5 m hoch. Skizze 3 auf Tafel I. zeigt das System. — So eindrucksvoll der kühnemporstrebende Bogen ist, so sehr nimmt der Eindruck nach dem Lande zu ab. Das steile Ansteigen des Untergurtes und die starke Krümmung wirken gezwungen und unnatürlich. Der Übergang des Tragwerkes von Fahrbahn unten zu Fahrbahn oben ist schlank. Der Anblick des langsam ansteigenden Brückengurtes ist für den Passanten nicht schön, weil unbegründet. Ferner müssen Vorrichtungen angebracht werden, die ein Besteigen des Obergurtes verhindern. Auch diese sind niemals eine Zierde des Bauwerkes. Durch die Pendelwand wird an Pfeiler- und Trägerhöhe gespart, aber an ästhetischer Wirkung geht viel verloren. Im ganzen ist diese Lösung etwas billiger als die vorhergehende. Dafür werden als Nachteile eingetauscht größere Nachgiebigkeit und ein weniger monumentales Aussehen.

Es war hier zuerst, daß zwischen Überbau und Gelände ein vermittelnder Stützkörper in Gestalt der Pendelwand eingeschaltet wurde. Es mag bemerkt werden, welcher Art diese Stützkörper sein können:

a) An Stelle eines beweglichen Auflagers



1. eine Pendelwand in ihren verschiedenen Formen (Fig. 6 a—e);
2. ein Turm mit einem beweglichen Auflager darauf. Dieser ist mit dem Fundament in feste Verbindung gebracht durch ein festes und bewegliches Auflager (Fig. 7 a und b). Es kann aber auch
3. ein Stützkörper fest in das Tragwerk eingebunden werden und unten gleiten. (Schwebefähre über die Oste bei Osten 1909.) (Fig. 8 a—e).

b) Durch Festmachung der längsbeweglichen Gelenke von Fall 2 oben und 3 unten erhält man Stützkörper für feste Auflager. Fall 2 ist gewissermaßen die Umkehrung von 3;



denn 3 ist im Träger, 2 im Mauerwerkpfeiler eingespannt. Die Art der Verbindung (Vernietung) macht gegen die Lagerung der Turmfüße theoretisch keinen Unterschied. Die Lösungen in 1, 2 und 3 können die verschiedensten Formen annehmen.

Alle vorhergehenden Anordnungen kranken an dem unvollkommenen Übergange von **Fahrbahn unten zu Fahrbahn oben**. Entweder war keiner möglich oder eine Durchdringung, die man kaum als Übergang bezeichnen kann (Versuch 1), oder drittens ein langer, unschöner auf eine große Strecke. Zudem ergab sich durch das Herunterführen des Trägers bis zum Pfeiler bzw. bis zum Gelände, ein reichlich hoher Auflagerpfosten. Dieser muß zur Erzielung der nötigen Standsicherheit aus der Hauptträgerebene herausgespreizt werden; denn 9 m Hauptträgerabstand (für eine normale Straßenbrücke, wie für eine zweigleisige Eisenbahnbrücke) ist bei 40 m Höhe nicht genügend. Diese Schwierigkeit läßt die Einschaltung eines Stützkörpers nötig erscheinen.

Wählt man die Ausladung nicht groß, was im Interesse der Steifigkeit sehr erwünscht ist, so kann man Parallelträger mit fortlaufendem Strebenzug nehmen. Die Verwendung dieses einfachsten Fachwerkes gestattet, den Übergang zwanglos und harmonisch auf kürzestem Wege herzustellen, indem man den Träger dort kröpft oder ausklinkt (siehe Fig. 9 u. Fig. 10). Man erhält zugleich eine vergrößerte Trägerhöhe, die man für das Stützenmoment braucht. Die Trägerhöhe über der Stütze ist etwa 1,5 mal so groß wie die normale, d. h. will man gleiche Gurtquerschnitte haben, dann muß man das Gelenk so legen, daß sich die Größtmomente verhalten wie 3 : 2.

Wir sind uns klargeworden über die Zweckmäßigkeit oder Notwendigkeit, Stützkörper einzuschieben. Wir nehmen noch immer als selbstverständlich die festen Auflager nächst der Hauptöffnung an. Es entspricht das durchaus dem natürlichen Konstruktionsgefühl des Ingenieurs, nach Überwindung der großen Hauptöffnung feste Stützpunkte zu schaffen. Das Nächstliegende ist dafür, den Überbau auf einen Turmpfeiler zu lagern. Wir wollen ganz in Eisen konstruieren und gemauerte Pfeiler ausschließen. Der Turm hat oben Feldbreite und verbreitert sich nach unten zur Vergrößerung der Standsicherheit in Längsrichtung. Am oberen Stützpunkt werden erhebliche Längskräfte, herrührend von Längswind, Bremskräften aufgenommen. Versuch 4, Tafel II, zeigt eine maßstäbliche Netzskizze. Zur Erzielung statisch bestimmter Lagerung für den Träger und zentrischer Beanspruchung für den Pfeiler wird der Schnittpunkt zweier Gegenstreben zum Lager ausgestaltet. Durch Einschaltung eines Gelenkviereckes nach amerikanischem Vorbilde ließe sich das vermeiden. Indessen wirkt eine derartige Lücke im Träger unmotiviert und nicht schön. (Siehe Fig. 11.) Dieser Ausweg hat Anwendung gefunden bei der Auslegerbrücke über die Niagarafälle, erbaut von K. K. Schneider (s. Zeitschr. des Vereins deutscher Ingenieure 1881, S. 385); ebenso schon früher bei einer Ausleger-Eisenbahnbrücke über den Hudson bei Poughkeepsie, 1873—1888, und auch ganz kürzlich bei amerikanischen Auslegerbrücken.

Die Längskräfte werden nach einem oder beiden Füßen des Turmes abgeleitet. Das feste Einbinden eines Gitterträgers, um nur einen Stützpunkt zu erhalten, führt bei dem gedachten

Fig. 9

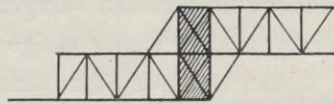


Fig. 10

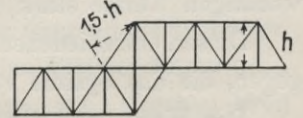
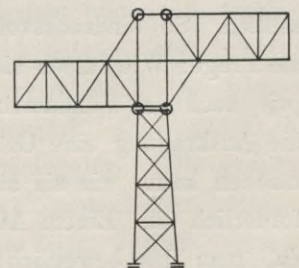
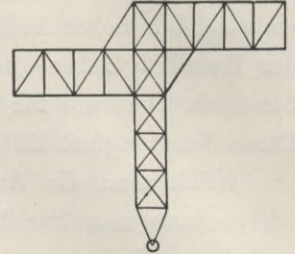


Fig. 11



Übergang zu keiner ästhetisch befriedigenden Konstruktion, welche Form (siehe z. B. Fig. 12) man auch dem Gitterträger geben mag. Das bewegliche Lager am Ende des Kragträgers könnte statisch selbstredend durch eine leichte Pendelwand ersetzt werden. Aber diese würde neben dem mächtigen 50 m hohen, oben wegen der Feldweite 9 m, unten wegen des Anlaufes 15 m breiten Turme sich zu winzig ausnehmen. Es empfiehlt sich also deshalb, auch dort einen schlanken Turmpfeiler zu verwenden; er wird aber doch wesentlich komplizierter und schwerer als eine Pendelwand. Der Turm erhält nur Reibungskräfte vom beweglichen Lager und kann deshalb schmal gehalten werden. Die Hauptstützweite ist 171 m, die Trägerhöhe 13 m, in der Seitenöffnung i. M. 11,5 m.

Fig.12



Diesem System ist eine gewisse ästhetische Wirkung nicht abzusprechen. Der erforderliche große Eisenaufwand, die Massen verleihen dem Entwurf ein monumentales Aussehen. Dies gilt namentlich für den Kopf des Turmes, dort wo er den gekröpften Parallelträger zu durchdringen scheint. Die Bedeutung dieses Punktes wird durch eine Anhäufung, durch ein Gewirr von vielen Stäben genügend gekennzeichnet. Die Hauptöffnung wird durch die breiten, wuchtigen Türme stark betont, gewissermaßen »eingerahmt«.

Diesen entschiedenen Vorzügen stehen aber einige wesentliche, praktische Gesichtspunkte entgegen, die das System vom wirtschaftlichen Standpunkt als weniger günstig erscheinen lassen.

Das Wurzelmaß der ganzen Brücke ist die Lichtweite  $L$  zwischen den Stützkörpern, hier den Türmen. Die Lichtweite  $L$  + größte Breite des Stützkörpers  $B$  ergibt das Stützmaß für die Hauptöffnung. Von dieser hängen die Seitenöffnung und auch die Trägerhöhen ab. Wird durch eine besonders breite Stützung von  $B = 15$  m die Weite von 150 m um 10 % vergrößert, so wachsen Länge und Höhe des ganzen Überbaues in demselben Verhältnis. Die Momente aber wachsen proportional den Quadraten der Stützweiten, und die Hauptträgergewichte verhalten sich wie die Momente, d. h. die Hauptträger werden etwa 20 %  $\left[ \left( \frac{171}{156} \right)^2 = 1,20 \right]$  schwerer. Der Übergang ist mehrfach innerlich unbestimmt. Die Windkräfte werden in zwei senkrechten Ebenen abgeleitet. Auch die Lagerung auf dem Turmkopf befriedigt nicht. Die gewaltige Last wird erst in einem Punkt zusammengeführt, um dann unterhalb wieder auseinander in die Wände des Turmes geleitet zu werden. Durch Blindstäbe, welche die Kontinuität der Turmlinien herstellen müssen, wird die schwierige Lagerung bis zu einem gewissen Grade verschleiert. Der Turm erfordert starke Fundamente. Seine vier Füße mögen feste Gelenke haben und sich mit Bogenwirkung spreizen, oder ein festes und ein bewegliches Lager. Es sind vier starke Mauerpfeiler von 19 m abzusinken. So eindrucksvoll sich diese Lösung ausnimmt, so befriedigt sie doch nicht. Es entsteht die Frage: Wie lassen sich solche Nachteile, bestehend im Eisenaufwand und den Gründungskosten (wie auch das Fundament gestaltet wird) vermeiden? Es mag noch bemerkt werden, daß hier die Auskragung eine Größe der Seitenöffnung mit Rücksicht auf die Standsicherheit erforderlich machen kann, wie sie aus schönheitlichen Gründen oder für den Verkehr nicht in dem Maße erforderlich ist. Einem Aufkippen des Kragträgers wird man schwerlich dadurch begegnen wollen, daß man das bewegliche Lager auf dem Turm und diesen, um Gegengewicht zu gewinnen, mit dem Fundament verankert. Also bleibt nur übrig, den Träger zu vergrößern.

Versuch 5. Man kann durchaus nicht sagen, daß die vorangegangenen Lösungen Verstöße

gegen feststehende Konstruktionsgrundsätze aufweisen. Wenn also die hergebrachten Lösungen zu keinem befriedigenden Ergebnis führen, so mag das als ein Zeichen gelten, daß man hier besser nicht in Anlehnung an vorhandene Vorbilder konstruieren soll, sondern auf andern, neuen Wegen zweckmäßige Formen sucht. Die Aufnahme der Längskräfte am tief zu gründenden Pfeiler, sofort nach Überwindung der Hauptöffnung, war bei allen Versuchen kostspielig; sollte es sich da nicht empfehlen, auf das Naheliegende und anscheinend Selbstverständliche, nämlich auf die sofortige Abgabe dieser Kräfte an die Bausohle auf dem kürzesten Wege, zu verzichten?

Die Auskragung macht für den Gewichtsausgleich eine vielleicht unnötig große Seitenöffnung, d. h. teures Tragwerk der Hochbrücke, nötig. Weist das nicht darauf hin, den festen Pfeiler in irgendeiner Form mit dem Tragwerk zu verbinden, ihn als Gegengewicht zu benutzen, um die eigentliche Hochbrückenlänge zu beschränken? Versuch 5, Tafel II, zeigt die Übersichtsskizze eines Systems, das aus solchen Erwägungen entstanden ist und diesen Konstruktionsgedanken verkörpert. Sie zeigt eine Lösung, in der die Nachteile der vorangegangenen beseitigt sind. Der Aufbau des einfachen Systems vollzieht sich grundsätzlich folgendermaßen:

Ein gekröpfter Parallelträger wird auf vier Wände gesetzt und gegen die äußeren durch Schrägstäbe versteift. Blechbalken oder Fachwerkträger als Schleppträger vermitteln den Übergang zum Damm. Erstere würden das Haupttragwerk klarer begrenzen. Die äußeren Umrißlinien zeigen wagerechte und senkrechte Linien, sowie Schrägen von einer Neigung. Die Längskräfte werden nunmehr nach den äußeren, landseitigen, flach zu gründenden Pfeilern übertragen. Die festen Pfeiler wirken gleichzeitig als Gegengewicht mit langem Hebelarm. Der Überbau kann unter dem Einfluß von Horizontalkräften in der Längsachse über die Mittelpfeiler hinweggleiten.

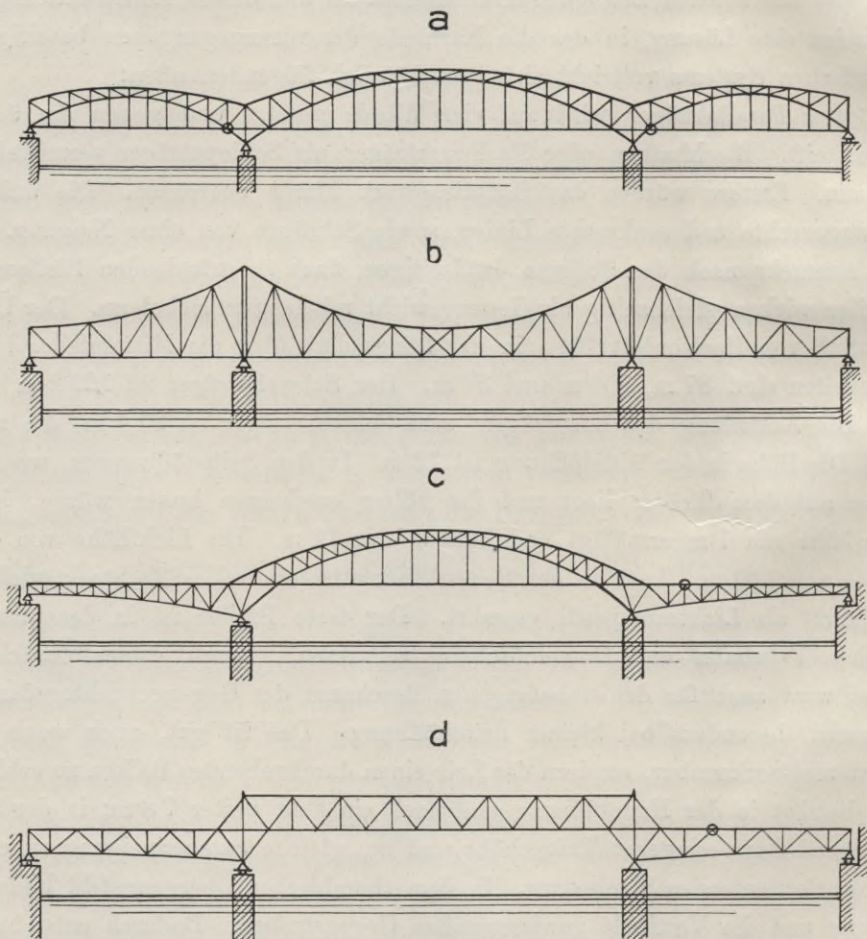
Die Stützweiten sind 87 m, 156 m und 87 m. Der Schwebeträger ist 109,2 m, der Schleppträger 36 m. Die Ausladung des Kragträgers zum Schwebeträger ist 23,4 m, die zum Schleppträger 21,6 m. Die Höhe in der Mittelöffnung ist 12 m. In den Seitenöffnungen, wo die Fahrbahn nebst Geländer auf dem Träger liegt und ihn höher erscheinen lassen würde, ist die theoretische Trägerhöhe um 1 m ermäßigt und beträgt nur 11 m. Die Lichthöhe von 42 m besteht auf einer Breite von 140 m. Auch in der Seitenöffnung ist ein volles Rechteck (vielleicht einmal für Kleinschiffahrt) als Lichtraumprofil gewahrt. Der feste Pfeiler ist in den unverwendbaren Zwickel zwischen Fahrbahn und Dammböschung verwiesen. Durch dieses Zurückbiegen nach hinten soll und wird auch für den unbefangenen Beschauer der Gegengewichtsgedanke klar zum Ausdruck gebracht, besonders bei kleiner Seitenöffnung. Das ist gut, auch wenn das Gerbersystem zunächst nicht erkennbar, sondern der Laie einen durchgehenden Balken zu erblicken glaubt. Die Feldweite beträgt in der Hauptöffnung und noch ein Feld weiter 7,8 m; in der Seitenöffnung 7,2 m, entsprechend der geringeren Trägerhöhe und um gleiche Strebenneigung zu erzielen. Der Träger hat einen fortlaufenden Strebenzug. In dem rhombischen Übergangsfeld bilden die durchlaufende Gurtung und die Vertikale gewissermaßen Gegenstreben. Dadurch entsteht eine leichte statische Unbestimmtheit. Sie hat nichts auf sich und wird besser nicht vermieden. Der Übergang von Fahrbahn unten zu Fahrbahn oben ist auf dem kürzesten Wege bewerkstelligt, einfacher als bei der vorhergehenden Lösung. Beide Träger sind zwanglos zu einem gefügt. Die geradlinige Begrenzung der Kröpfung wirkt u. E. nicht zu hart, sondern in ihrer spartanischen Linienführung energisch. Alle Stützen (Pendel, die Senkrechte und die Schräge des festen Pfeilers) setzen an einem Punkte an, wo zwei Streben zusammenlaufen.

Es mag gestattet sein, beiläufig zu erwähnen, daß ein ähnlich gekröpfter Parallelträger von

dem Verfasser auch für eine »Flach«brücke von geringeren Abmessungen (Straßenbrücke über die Havel) vorgeschlagen wurde (siehe Fig. 13d). Dabei war gewünscht worden, daß die schon vorhandenen Lösungen für die gleichen Bedingungen keine Anwendung finden sollten. Solche bestehen z. B. in:

- a) Eiswerder-Brücke bei Spandau, Harkort. Drei Zweigelenkbögen mit Zugband, von denen der mittlere nach den Seiten um ein Feld ausläßt (siehe Fig. 13a).
- b) Glienicker Brücke bei Potsdam. Balken auf vier Stützen mit Hängegurt.
- c) Treskow-Brücke von K. Bernhard. Balken auf vier Stützen mit Zugband.
- d) Baumgarten-Brücke bei Potsdam. Dasselbe mit Gelenken in der Seitenöffnung.

Fig. 13 (a - d)



Die charakteristischen Merkmale und Elemente des letzten Vorschlages 5 sind also: Vertauschung der Auflager und Aufhängung des festen Pfeilers. Diese Grundgedanken ergeben:

1. Bewegliches Lager nächst der Hauptöffnung, ausgestaltet als Pendeljoch.
2. Festes Lager landeinwärts; dasselbe ist mit Leichtigkeit zugfest zu machen.
3. Feste Stütze, gebildet aus zwei Hauptstäben, von denen der eine senkrecht, der andere in Richtung der Streben geneigt ist.

4. Beide sind fest mit dem Träger zu einem starren Winkel (Kniestück) verbunden. Ihr Gewicht wirkt nebenbei einem Aufkippen entgegen und verkürzt die statisch notwendige Seitenöffnung.

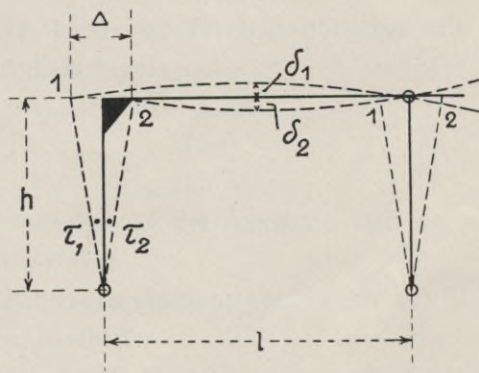
### 3. Vergleich zwischen Entwurf 4 und Entwurf 5.

Ein allgemeiner Vergleich dieses Vorschlages mit dem vorherbeschriebenen kann billigerweise nur durchgeführt werden auf der Basis gleicher Bedingungen, d. h. die Lichtweiten in den Haupt- und Nebenöffnungen müssen gleich sein und die Sicherheiten gegen Aufkippen am Landpfeiler. Da zeigt sich zunächst der günstige Einfluß der »raumsparenden« Stützung durch die Pendelwand. Die Stützweite ist um die Turmbreite, um 15 m, die Seitenweite um die halbe Summe beider Turmbreiten geringer, um  $\frac{1}{2} \cdot (15 + 9) = 12$  m. Die Breite des Turmfußes von 15 m ist durchaus normal. Sie ist dadurch begründet, daß er nicht schmaler als die Feldweite sein kann und einen gewissen Anlauf haben muß. Entsprechend werden die Höhen ermäßigt. Das ganze Bauwerk schrumpft zusammen. Betrachten wir die Lagerung beider Systeme, so sehen wir, daß das Turmsystem sechs Lager braucht, nämlich drei feste und drei bewegliche (wenn wir uns auf den Kragträger beschränken). Der letzte Vorschlag hat nur drei feste Gelenke. Auf die Schwierigkeiten und Unbestimmtheiten am Übergang und Hauptstützpunkt hatten wir schon hingewiesen. Hier wird die große Einfachheit und Klarheit des Entwurfes 5 augenfällig. Bei der ästhetischen Abwägung beider Anordnungen ist der letzte Vorschlag anzusehen als eine große Öffnung von 330 m, die leicht durch Pendelstützen untergeteilt ist. Während Pendeljoche landseitig sich schwer wegen ihres einfachen Aussehens verwenden ließen, kann man sie nächst der Mittelöffnung leicht und mit Vorteil eingliedern. Könnte der 36 m lange Schlepp(fachwerk)träger etwas verkürzt und durch einen Blechträger ersetzt werden, so würde die eigentliche Hochbrücke klarer begrenzt erscheinen und noch gewinnen.

Die Hauptöffnung als solche erscheint durch den charakteristischen Knick genügend markiert. Die Betonung oder »Einrahmung« der zu überbrückenden Hauptöffnung durch die starken Türme ist außerdem unter Umständen erkauf durch einen betriebstechnischen Nachteil für den Seefahrer, indem die Übersichtlichkeit der verkehrsreichen Wasserstraße, besonders in einer Krümmung, durch das verwirrende Stabwerk gestört werden kann. Die dünne, großzügig ausgefachte Pendelwand bietet dem Durchblick keine Schwierigkeit (s. Querschnitt). Ein genauer rechnerischer Vergleich kann unterbleiben, da für den Fachmann die größere Wirtschaftlichkeit des letzten Vorschlages ohne weiteres klar ist.

Es soll indessen nicht unerwähnt bleiben, welche Einwände sich gegen die zuletzt gegebene Lösung machen lassen. Der große Abstand der festen Stützpunkte von 330 m bedingt eine entsprechend große Wärmedehnungsfuge. Diese wird noch vergrößert dadurch, daß wegen des starren Einbindens des hohen, festen Pfeilers unter senkrechten Lasten wagerechte Verschiebungen entstehen (siehe Fig. 14). Aber da man einerseits schon Brücken über größere Stützweiten als 330 m gebaut hat und es andererseits keinen wesentlichen Unterschied macht,

Fig. 14



ob man Dehnungsvorrichtungen, wenn überhaupt welche nötig sind, über 25 cm oder 40 cm baut, so kann diese Sonderheit, besonders für Straßenbrücken, nicht als ein schwerwiegender Nachteil gelten. Jedenfalls dürften die wagerechten Verschiebungen unter senkrechten Lasten von den Passanten subjektiv kaum als lästig oder beunruhigend empfunden werden. Es mag weiterhin gesagt werden, daß allerdings bei der Kröpfung an den einspringenden Ecken bei Lösung 4 und 5 höhere Nebenspannungen wahrscheinlich sind. Aber da man diese rechnerisch verfolgen kann, kann man ihnen durch eine geringe Materialzugabe in den wenigen beteiligten Stäben mit Sicherheit begegnen.

Die Lagerung des Schwebeträgers mit einem festen und einem beweglichen Gelenk bringt es naturgemäß mit sich, daß alle Längskräfte vom Schwebeträger nur einem Kragträger zufallen. Das ist eine gewisse Unsymmetrie für Kragträger und Mauerpfeiler. Die große Entfernung der festen Stützpunkte läßt eine Festmachung der Gelenke nicht angebracht erscheinen. Es würden große innere Schübe in das System kommen. Indessen wird dieser Nachteil nicht so fühlbar, wenn es sich um eine Straßenbrücke mit großem Eigengewicht und verhältnismäßig geringen Längskräften handelt. Der letzte Vorschlag (herrührend vom Verfasser) ist in der Tat das Überbausystem der nunmehr fertiggestellten Straßenhochbrücke über den erweiterten Kaiser-Wilhelm-Kanal bei Holtenau\*).

---

\*) Prinz-Heinrich-Brücke.

## II. Abschnitt.

### 4. Drei Vorentwürfe für eine Eisenbahnbrücke.

Die allgemeinen Konstruktionsgedanken hatten in dem Entwurf 5 ihre Anwendung gefunden für eine Straßenbrücke. Es entsteht die Frage, ob sich dieselben Elemente nicht auch in gleich vorteilhafter Weise für eine Eisenbahnbrücke verwenden lassen. Dabei ist folgendes zu beachten:

1. Bei einer Eisenbahnbrücke ist die Verkehrslast unverhältnismäßig größer als das Eigengewicht.
2. Die so wichtigen Längskräfte werden erheblich durch Bremsen vermehrt.
3. Ein Übergang von Fahrbahn unten zu Fahrbahn oben ist nicht in dem Maße zu fordern wie bei einer Straßenbrücke, wo man, wenn irgend möglich, Fahrbahn und Fußweg mit Rücksicht auf den Passantenverkehr von jeglichem Tragwerk freihält.
4. Die angenommene zehnmal geringere Zuführungssteigung bedingt bei der Eisenbahnbrücke Rampenbrücken von bedeutender Länge. Die Hochbrücke ist ein verhältnismäßig kurzer, wenn auch wichtiger Bestandteil des ganzen Bauwerkes. Sie muß nach Aufbau und Aussehen zur Rampenbrücke stimmen und sich vor allem richtig eingliedern. Da jedes Zentimeter Konstruktionshöhe — ebenes Gelände angenommen —  $2 \cdot 333\frac{1}{3} = 667 \text{ cm} = 6,67 \text{ m}$  Rampenbrücke an der höchsten (40 m) Stelle erfordert, so folgt daraus, daß hier
5. die Forderung geringster, zum mindesten sehr beschränkter Bauhöhe erhoben werden muß.

Nach Dirksen, »Hilfswerte« 1908, 3. Auflage, S. 35, kann man für Balkenbrücken mit versenkter Fahrbahn über 50 m die folgenden Werte als Anhalt benutzen:

kleinste Bauhöhe . . . . .	76 cm,
mittlere Bauhöhe . . . . .	125 »
erwünschte Bauhöhe . . . . .	148 »

Sie gelten zunächst für eingleisige Eisenbahnbrücken (offenbar in der Annahme, daß bei zwei- oder mehrgleisigen Überbauten Einzelbrücken verwandt werden).

Selbst wenn wir von der Verwendung von eisernen Schwellen absehen, können wir mit 125 cm verfügbarer Bauhöhe eine durchaus einwandfreie Fahrbahn schaffen.

Es mag daran erinnert werden, daß bei der Grüenthaler Hochbrücke, in ihrer günstigen Lage im Einschnitt, also niedrigen Damm, für eine eingleisige Nebenbahn mit nur 1,13 m Bauhöhe gearbeitet worden ist.

Es soll für eine Eisenbahnbrücke zunächst die nachbeschriebene Lösung gegeben werden.

Versuch 6. Als Mittelding zwischen einem Träger mit besonderen Stützkörpern und sozusagen einem Tragwerk kann das System Versuch 6 auf Tafel III bezeichnet werden. Der letzte Untergurtstab ist so scharf nach unten und außen gezogen, daß er mehr einem Pfeiler als einem Fach ähnelt. Die St. W. betragen

$$88,4 + 153,6 + 88,4 \text{ m}$$

Der Einhängerträger ist 100,8 m, seine Höhe 12 m. Die Ausladungen betragen 26,4 m in die Hauptöffnung hinein und 10,8 m zur Rampe, die Höhe dort 6 m. Nächst der Mittelöffnung sind die festen, landeinwärts die beweglichen Lager. Der Obergurt ist gerade geführt bis auf ein Feld jenseits der Mittelöffnung, um im Verlauf der Seitenöffnung bis zur Fahrbahn abzufallen. Die Ausfüllung geschieht durch Ständerfachwerk. Die Feldweite beträgt 8,4 m. Die Bauhöhe mit 1,50 ist die erwünschte. Das System sieht aus wie ein großer Rahmen. Es wirkt indessen statisch weder in der Haupt- noch in der Nebenöffnung so. Die Längskräfte des Einhängerträgers werden an einen Kragträger abgegeben. An einem Gelenk ist ein Schienenauszug nötig.

Der Vorschlag erscheint sachlich und großzügig, wenn auch nichts Neues bietend. Das Pfostenfachwerk wirkt ruhig. Ein Ersatz des beweglichen Pfeilers durch ein Pendeljoch würde die Lösung nicht verschönern.

Wir wollen dieses Problem jetzt an der Hand eines bestimmten Beispiels weiter verfolgen.

Die Stützweite der Mittelöffnung betrage 140 m. Für die Seitenöffnungen sollen Verkehrsbedingungen nicht maßgebend sein, da Straßen- oder Kleinbahnen überall frei durch die Rampenbrücken geführt werden können. Es mögen nur statische Erwägungen oder schönheitliche Gesichtspunkte in Frage kommen. Das Gelände nächst der Hochbrücke sei eben in einer durchschnittlichen Höhe von 2 m über dem Wasserspiegel. Trotzdem ist das Fundament der Hauptpfeiler 17 m tief unter Gelände abzusenken. In der Nähe der Hochbrücke seien eiserne Rampenbrücken gedacht, z. B. bestehend aus Pfeilern von 11,3 m Ansichtsbreite und Blechträgern von etwa 38,3 m Stützbreite und 2,3 m Höhe. Auch die Pfeiler sind des besseren Aussehens wegen durch Blechträger von gleicher Höhe überbrückt. Es mag angenommen werden, daß die Rampenbrücken im ganzen in Längsrichtung eine Verschiebung von wenigen Metern zulassen, insofern als die Durchführung von Kleinbahngleisen, Straßen, Chausseen, Wasserläufen dadurch nicht gestört wird.

Dieses etwa sind die Bedingungen für eine neu zu erbauende zweigleisige Hochbrücke über den Kaiser-Wilhelm-Kanal bei Rendsburg. Für sie wurde in der Ausschreibung vom 25. März 1911 der nachstehende Entwurf\*) veröffentlicht, der eine bemerkenswerte Lösung für das aufgestellte Problem zeigt. Dieselbe mag nach den Ausschreibungsunterlagen kurz besprochen und später zu einem Vergleich herangezogen werden.

Versuch 7. Die Tafel III gibt eine Skizze der Lösung. Die Hauptträgerentfernung beträgt 9 m. Es sind zwei Seitenöffnungen von 77,3 m Weite vorgesehen. Der Träger zeigt die Linien einer Hängebrücke, ist aber in Wirklichkeit ein Gerberträger. Der mittlere Schwebeträger hat eine Länge von 87,6 m. Die Knotenpunkte des Obergurtes liegen auf kubischen Parabeln derart, daß die Trägerhöhe über den Mittelstützen etwa 23 m, in Brückenmitte 11 m, über den Gelenken des Schwebeträgers 14 m und an den Enden 9 m ist.

Die Übertragung der Längskräfte erfolgt an den Kanalpfeilern durch die mit dem Kragträger fest verbundenen Pylonen, während die Enden der Kragträger auf den landseitigen Pfeilern längs-

\*) Inzwischen zur Ausführung gelangt.



beweglich gelagert sind. Die Pylonen sind in der Querrichtung zur Erzielung der nötigen Standicherheit vom Untergurt an wie die Gerüstpfeiler der Rampenbrücken in einer Neigung 1:6 gespreizt. Sie erhalten am Fußende Stahlgußkugellager, so daß sie in der Querrichtung als Zweigelenkbogen wirken.

Der Schwebeträger ist im Obergurt beiderseitig auf je eine Stelze beweglich gelagert. Diese stützt sich auf einen Bügel, der mit dem Kragträger fest verbunden ist. Im Untergurt wird zwischen Krag- und Schwebeträger eine Verbindung vorgesehen, die Zug, Druck und Drehungen zuläßt. Dieselbe wird nach dem Aufbringen der gesamten ständigen Last hergestellt. Der Druckanschlag muß für die größte, beim freien Vorbau auftretende Druckkraft bemessen werden. Die als Zugglieder dienenden Flachbänder sollen eine der größten auftretenden Kraft entsprechende Vorspannung erhalten, so daß ein Klappern vermieden wird.

Durch diese Verbindung wird das für ständige Last als statisch bestimmter Gerberträger wirkende System in ein einfach statisch unbestimmtes System umgewandelt.

Der Gedanke, für Eigengewicht ein statisch bestimmtes System (Gerberträger, Dreigelenkbogen) zu haben, das man für Verkehrslasten, allgemein gesprochen durch einen oder mehrere überzählige Stäbe versteift, ist an sich nicht neu. Es sind gewissermaßen Systeme veränderlicher Stützung, bzw. Gliederung (vgl. Müller-Breslau, Graphische Statik, Band II, Abteilung 1, Seite 6, 7, 8, [1907]). Als Beispiele unter vielen mögen angeführt werden:

- a) Entwurf »Billig« in dem Wettbewerbe um den Entwurf einer Straßenbrücke über den Neckar bei Mannheim 1901 (Gerbersystem, bzw. Balken auf 4 Stützen);
- b) Treskow-Brücke von K. Bernhard;
- c) Alle Massiv-Dreigelenk-Bogenbrücken, bei denen die Gelenke später vergossen werden, zählen auch hierzu.

Diese Anordnung hier hat gegenüber der Lagerung des Schwebeträgers mit einem festen und einem beweglichen Lager folgende Vorteile:

1. Die horizontalen Durchbiegungen und infolgedessen auch die Schwankungen durch Verkehrslasten und Bremskraft verringern sich um etwa die Hälfte, auch die vertikalen Durchbiegungen und Schwankungen werden um etwa ein Drittel geringer.
2. Die Dilatation der Fahrbahn am Gelenkpunkte, die sonst etwa 20 cm betragen müßte, wird auf weniger als 1 cm verringert, ein Schienenauszug über einem Gelenk wird daher vermieden.

Die größte auf einen Pfeiler wirkende Horizontalkraft und infolgedessen auch die Kosten der Pfeiler sind in beiden Fällen ungefähr dieselben. Was bei der beiderseitigen Verbindung an Horizontalschub durch Verkehrslast und Temperatur hinzukommt, wird durch die günstig wirkende gleichmäßige Verteilung von Längswind und Bremskraft auf beide Pfeiler wieder aufgehoben.

Verbände: Die Brücke erhält sowohl in Höhe des Obergurtes, als auch in Höhe des Untergurtes je einen durchgehenden Windverband aus gekreuzten Diagonalen. In beiden Wänden der Pylonen sind zur Herunterleitung der Windkräfte fachwerkförmige Querverbände vorgesehen, die nur soweit, als es das Lichtraumprofil erfordert, durch biegungsfeste Portalrahmen ersetzt sind. An den Enden der Kragträger befinden sich lotrechtgestellte Endportale. Außerdem sind an jedem dritten Knotenpunkte Zwischenquerverbände vorgesehen, die eine möglichst gleichmäßige Durchbiegung beider Hauptträger und damit eine Verminderung der vertikalen Schwankungen herbeiführen sollen. Zur Übertragung der Bremskräfte sind an zwei Stellen des Schwebeträgers und an je dreien der Kragträger Bremsverbände angeordnet.

Übergangspfeiler: Die Übergangspfeiler sollen in ähnlicher Weise ausgebildet werden wie die Gerüstpfeiler der Rampenbrücke, mit dem Unterschied, daß die obere Breite entsprechend der Hauptträgerentfernung 9 m beträgt.

Die Übertragung der positiven Stützdrücke des Kragträgers erfolgt durch je eine Stelze, die der negativen Stützdrücke durch je zwei Zugbänder, die so stark angespannt werden sollen, daß ein Abheben von den Stelzen ausgeschlossen ist.

Das Auftreten von negativen Auflagerdrücken am Fuße der Pfeiler wird durch Ballast verhindert. Dieser wird in Form von Beton zwischen je zwei besonderen, von der Verkehrslast unbeeinflussten Blechträgern untergebracht.

Die Verankerung am Fuß dient nur zur Sicherheit.

Dem eben beschriebenen System mag nun ein anderes gegenübergestellt werden, in welchem die Elemente der schon in Versuch 5 behandelten Straßenbrücke verwandt sind.

Versuch 8. Der Träger ist ein durchgehender Parallelträger, der sich über die drei Öffnungen von 60 — 140 — 60 m erstreckt. Der Schwebeträger ist 100 m lang, die Ausladung demnach 20 m. Es sind Hauptfelder von 10 m Weite angeordnet. Die Trägerhöhe ist durchgehend 12,5 m (siehe Tafel IV 8 und 8 a). Stützung: Nächst der Hauptöffnung erheben sich hohe Pendeljoche. Sie bilden das bewegliche Lager. Die Abgabe der Längskräfte erfolgt an den Landpfeilern. Die feste Stütze besteht wiederum aus einem senkrechten Joch und versteifenden Schrägstäben. Der Schrägstab ist diesmal nicht nach außen, sondern nach innen gelegt, (um das ganze Bauwerk einheitlicher, in sich abgeschlossen erscheinen zu lassen. Man kann den Kragträger auch als einen völlig unsymmetrischen Dreigelenkträger auffassen, bestehend aus einer großen, rechtwinklig gebogenen Scheibe und einem einfachen Stab.

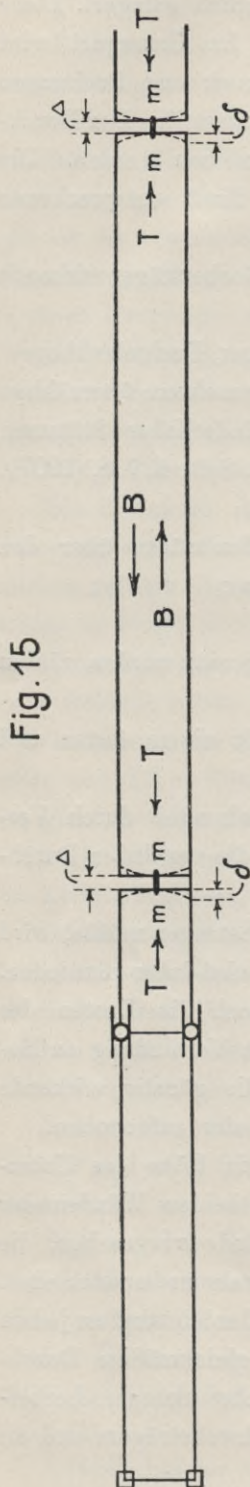
Seitenöffnung und Ausladung sind absichtlich klein gehalten, um die Steifigkeit des Gelenkpunktes zu erhöhen. Feste und bewegliche Stützen erhalten Querversteifungen, wie im Vorentwurf 7. Sie wirken in der Querrichtung wie Zweigelenkbögen.

Auf die Lagerung des Schwebeträgers muß etwas näher eingegangen werden. Für sie gibt es drei Möglichkeiten:

1. Ein festes Gelenk und ein längsbewegliches Gelenk, über diesem eine große Dilatationsfuge. (Längskräfte des Schwebeträgers werden einem Kragträger zugewiesen.)

2. Beide Gelenke fest wie in E. 7 hat die gleichen Vorteile wie in E. 8, erzeugt aber hier erhebliche Temperaturschübe.

3. Ist folgende Anordnung (siehe Fig. 15) denkbar, um hohe Temperaturschübe zu vermeiden und trotzdem die Längskräfte des Schwebeträgers auf beide Kragträger gleichmäßig zu übertragen in Gestalt einer »gebremsten Schaukel«: der Schwebeträger wird aufgehängt in Hängependeln (ähnlich



wie bei der Ruhrorter und Holtenauer Straßenbrücke). Er kann aber nicht frei schwingen. Die Mitten der vier Endquerträger an den Gelenken sind bei Aufstellungstemperatur (+ 10°) und unbelasteter Brücke so verbunden, daß ihr gegenseitiger Abstand  $A$  unter allen Umständen bei Temperatur, Bremsen und Verrückungen unter vertikalen Lasten gewahrt bleibt. Gegenseitige Drehungen der Querträgerebenen müssen stattfinden können. Die Querträger wirken wie horizontale Federn, deren Steifigkeit nach Erfordernis abgestimmt und deren Durchbiegung durch Anschläge begrenzt werden kann. Ihr gegenseitiger Abstand bei kleinster Fuge muß so sein, daß Biegung der Querträger stattfinden kann. Die Anschlüsse der Querträger sind so auszugestalten, daß keine Nebenspannungen in den Pfosten- und den Untergurtstab kommen.

Die Brücke erhält sowohl in Höhe des Obergurtes als auch in Höhe des Untergurtes je einen Windverband aus gekreuzten Diagonalen. Senkrechte Verbände sind in der Ebene der Pendelwand und in der senkrechten Abschlußwand vorgesehen. Außerdem sind alle 20 m Querverbände angenommen, um eine gleichmäßigere Durchbiegung der Hauptträger zu bewirken. Die Aufnahme der Bremskräfte geschieht beim Schwebeträger in der Mitte und an den Enden, beim Kragträger über der Pendelwand und an der großen Strebe.

### 5. Vergleich zwischen Entwurf 7 und Entwurf 8.

Der allgemeinen Beschreibung beider Entwürfe, die wir kurz mit E. 7 und E. 8 bezeichnen wollen, mag nun ein eingehender Vergleich ihrer Einzelbestandteile folgen.

a) *Fahrbahn.* Wir hatten erkannt, daß die Aufgabe die Bedingung einer beschränkten oder zum mindesten mittleren Bauhöhe in sich schließt. Gewöhnlich beginnt man einen Entwurf mit dem Versuch, zunächst ohne Ansehung eines bestimmten Systems, die günstigste Feldweite auch für die Sonderbedingung der beschränkten Bauhöhe zu ermitteln und dann dafür ein System zu entwerfen. Zuweilen empfiehlt es sich aber, von der an sich wirtschaftlichsten Feldweite abzuweichen. Man muß dann rückwärts wieder dem System einen Einfluß auf die Feldweite gestatten, um für das Gesamtbauwerk die zweckmäßigste Lösung zu finden. So haben wir hier die beiden Bedingungen, daß

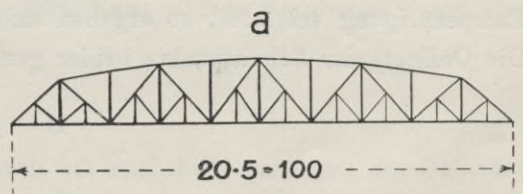
1.  $2 \cdot n\lambda = L = 140 \text{ m}$ ,

2. von der Kanalstütze bis zum Gelenk eine gerade Anzahl Felder sein muß, da die Ausladung aus anderen Gründen (Gleichheit der Größtmomente) auf 20 m festgelegt ist. So kommen nur  $20 : 2 = 10 \text{ m}$  in Frage, da  $20 : 4 = 5 \text{ m}$  eine zu starke Strebenneigung ergeben würde.

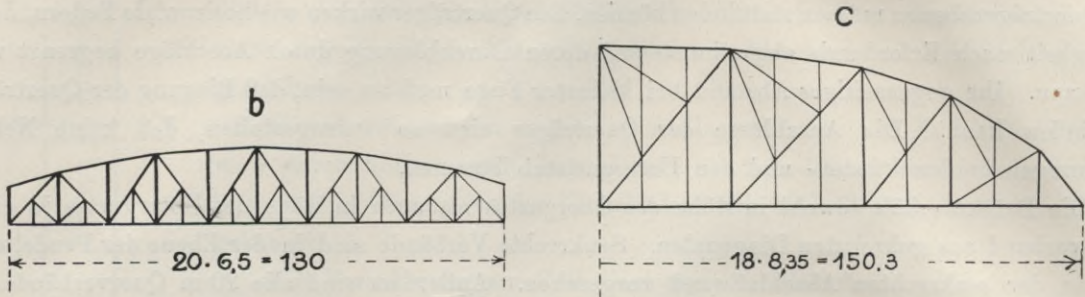
Der Forderung geringster Bauhöhe kommen wir durch Einfügung einer einfachen Unterteilung nach. Dieselbe soll aus schönheitlichen Gründen über die ganze Brücke ausgedehnt werden, trotzdem sie selbstverständlich nur für die Hauptöffnung nötig ist. In den Nebenöffnungen soll die Fahrbahn dabei die »erwünschte« Bauhöhe erhalten. So erhalten wir Nebenfelder von 5 m Länge. Es mögen an dieser Stelle mehrere neuere Ausführungen von Brücken mit Unterteilung erwähnt werden. Es sind dies (siehe Fig. 16a, b, c):

1. Eine eingleisige Havelbrücke bei Kaput, Halbparabelträger mit abgeschrägten Enden (Schaper, *Eiserne Brücken*, 2. Auflage, S. 93) St.-W. wie hier 100 m, Feldweite 5 m.

Fig. 16 (a,b,c)



2. Die neue Weichselbrücke bei Marienwerder, zweigleisig, Halbparabelträger von 130 m, Feldweite von 6,5 m bzw. über den Flutöffnungen Parallelträger von 80 m, Feldweite 4 m.
3. Eingleisige Brücken über die Wolga zeigen Schwedlerträger von 150,3 und 192,5 m Spannweite mit mehrfacher Unterteilung (vgl. Müller-Breslau, Graphische Statik Bd. I, S. 540).



Die Unterteilung halbiert die Knicklänge der Diagonalen und der Gurte und belebt den einfachen Parallelträger (der sich wegen der gleichen Längen der Hilfsstäbe besonders für Zwischenteilung eignet) und betont die Fahrbahn. Da man die Hauptfelder entsprechend groß (hier 10 m) annimmt, erhält man weniger Hauptknotenpunkte, z. B. hier etwa  $\frac{1}{3}$  weniger als in E. 7. Ein weiterer Vorteil ist der, daß man bei den kleineren Feldern, die um etwa 30—40 % billigeren Walzträger verwenden kann. Wird auch die Fahrbahn etwas schwerer, so wird sie doch nicht teurer. Der freie Vorbau wird durch die Zwischenteilung nicht berührt.

Der Einfluß der Rampenbrücke bei ihrer außerordentlich schwachen Neigung auf die Bauhöhe der Hochbrücke ist schon weiter oben angedeutet worden. Die Bauhöhe ist solange zu drücken, als, genügende Steifigkeit vorausgesetzt, die Mehrkosten dafür, bestehend in den vermehrten Querträgern, den Hilfsstreben und Vertikalen, durch die Reduktion der Rampenlänge an ihrer höchsten Stelle wieder eingebracht werden. Gelingt es uns beispielsweise, die Bauhöhe von 150 cm um nur 20 cm auf 130 cm herabzubringen, und nehmen wir an, daß die Kosten der Rampenbrücke an der höchsten Stelle 2000  $\mathcal{M}$  betragen, was etwa zutreffen wird, so wird die Rampenbrücke um  $0,20 \cdot 333,3 \cdot 2000 \mathcal{M} = 266\,000 \mathcal{M}^*$  billiger. Kostet eine Tonne Eisen der Fahrbahn etwa 266  $\mathcal{M}$ , so könnten wir schon 1000 t Eisen mehr in die Hochbrücke stecken, ohne an den Gesamtkosten etwas zu ändern. Das Fahrbahngewicht bei beschränkter Bauhöhe wird aber um höchstens 10 % vermehrt, so daß unter den obigen Voraussetzungen der Vorteil und damit die Notwendigkeit einer beschränkten Bauhöhe als erwiesen gelten kann.

Diese kurze Überlegung war an die theoretische Annahme eines vollkommen ebenen Geländes geknüpft. Erhebt sich dasselbe in einer durchschnittlichen Neigung 1 :  $m$  zu beiden Seiten (die Rampenneigung sei 1 :  $n$ ), so ergeben sich, wie aus Fig. 17 hervorgeht, folgende Beziehungen. Die Ordinate der Schnittpunkte beider geneigter Geraden ist:

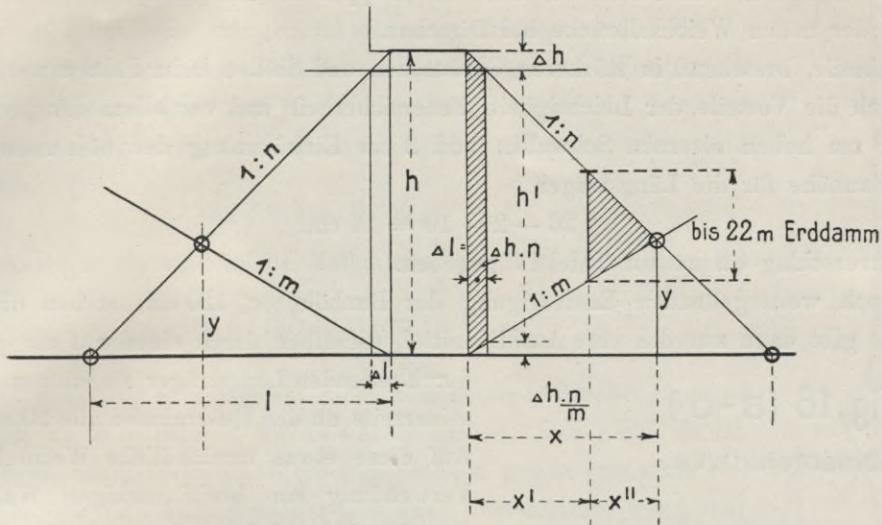
$$1) \quad y = h - \frac{x}{n}$$

$$2) \quad y = \frac{x}{m}$$

$$\text{und die Rampenlänge } x = h \cdot \frac{n \cdot m}{n + m}$$

\* ) Die Rampenneigung der ausgeführten Brücke beträgt 1 : 150.

Fig. 17



$n$	$m$	$x$ km	$x'$ km	$x''$ km	23 cm weniger Bauhöhe $= 333\frac{1}{3} \cdot 0,23$ $= 76,5 \text{ m}$ $= \%$ der Gesamt- strecke	$\Delta h \cdot \frac{n}{m}$ m
$333\frac{1}{3}$	$\infty$	13,333	6,013	7,320	1,27	—
$333\frac{1}{3}$	$333\frac{1}{3}$	6,687	3,007	3,670	2,55	0,23
$333\frac{1}{3}$	100	3,080	1,388	1,692	5,51	0,765
$333\frac{1}{3}$	50	1,741	0,784	0,957	9,76	1,53

Wir erkennen aus der Skizze, daß in diesem Falle die gesamte Rampenlänge wesentlich kürzer wird, daß aber ferner die durch verringerte Bauhöhe ersparte Rampenlänge die gleiche bleibt und nur die Endhöhe  $h'$  der schraffierten Ausfallstrecke um

$$\frac{\Delta h \cdot n}{m}$$

kleiner wird, was gar nicht ins Gewicht fällt. D. h. auch bei seitlichem Ansteigen des Geländes ist die Forderung geringster Bauhöhe nicht nur aufrecht zu erhalten, sie erscheint sogar mit Rücksicht auf die relativ größere Ersparnis begründeter.

Eine gleiche Unterteilung bei E. 7 würde sich weniger empfehlen, da alle Streben ungleich lang und verschieden geneigt, ein unruhiges Bild ergeben würden. Will man den Vergleich auf der Basis gleicher Bauhöhe (1,5 m) und für ein System ohne Unterteilung durchführen, so

nimmt man bei der großen Feldweite von 10 m besser zu eisernen Querschwellen seine Zuflucht. Solche sind in ausgedehntem Maße verwendet

- a) bei der Kaiser-Wilhelm-Brücke über die Wupper bei Müngsten,
- b) bei der neuen Weichselbrücke bei Dirschau.

Die Nachteile, bestehend in stärkeren Geräuschen und Stößen beim Fahren werden hier aufgewogen durch die Vorteile der Leichtigkeit, Feuersicherheit und vor allem der geringeren Bauhöhe. Bei 8 cm hohen eisernen Schwellen und 2 cm Einkämmung der hölzernen beträgt der Gewinn an Bauhöhe für die Längsträger

$$26 - 2 - 10 = 14 \text{ cm.}$$

Dieser Nebenvorschlag 8a ist auf Tafel IV gegeben.

Einer noch weitergehenden Erniedrigung der Bauhöhe ( $< 120 \text{ cm}$ ) stehen die Querträger entgegen. Es gibt dann nur das eine Aushilfsmittel, dieselben durch einen auf die ganze Brücke

durchlaufenden Längsträger zu stützen. Dieser wird seinerseits an den Querrahmen alle 20 m aufgehängt. Auf diese etwas umständliche Weise läßt sich bei Verwendung von breitflanshigen Walzträgern die Bauhöhe bis auf 76 cm bringen. Der Gewinn gegen 150 cm Bauhöhe wären eine Ersparnis von

$$\begin{aligned} 2 \cdot (150 - 76) \cdot 333\frac{1}{3} &= 493 \text{ lfd. m Rampen-} \\ \text{bzw. } 2 \cdot (150 - 76) \cdot 150 &= 222,2 \text{ brücke oder} \\ 493 \cdot 2100 &= 1038000 \text{ M entspr. } 103800 : 266 = 3900 \text{ t,} \\ 222 \cdot 2100 &= 466000 \text{ M } \gg 466000 : 266 = 1752 \text{ t.} \end{aligned}$$

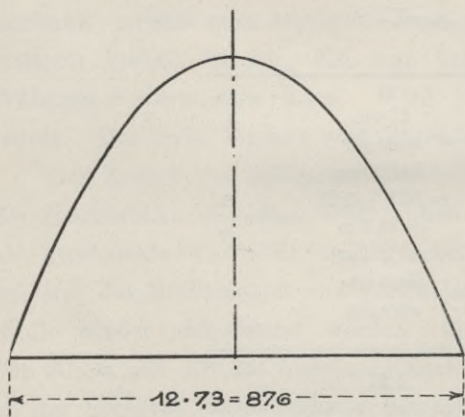
Für diese erheblichen Ersparnisse könnte man vielleicht die etwas kompliziertere Fahrbahn in Kauf nehmen.

b) Schwebeträger.

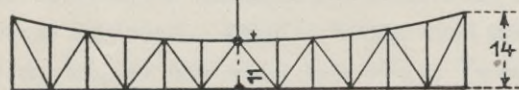
Die Stützweite desselben ist im E. 7 87,6 m gleich 12 Feldern von 7,3 m. Er darf den gewollten hängebrückenartigen Charakter nicht stören durch eine an sich zweckmäßige Form und muß eingepaßt werden. Er hat deshalb, d. h. um eine kontinuierliche, dem Auge wohlgefällige Kurve zu erzielen, an den Enden 14 m, in der Mitte 11 m Höhe erhalten. Die Höhen wachsen also nicht mit den Momenten, wie es sein sollte, sondern nehmen ab. Eine derartige Formgebung kann man gelten lassen für leichte Brücken, z. B. Fußgängerstege, oder wenn der so geformte Träger nur Versteifungsbalken eines Spannbogens oder einer Kette ist. Bei einer zweigleisigen, schwer belasteten Eisenbahnbrücke jedoch kann man sich kaum des Gefühles erwehren, daß hier lediglich um einer schönen Linie willen ein wichtiges Tragglied in eine Form ge-

Fig. 18 (a-d)

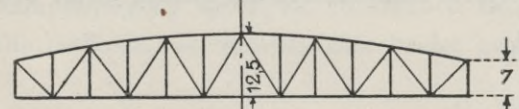
a. Momentenkurve.



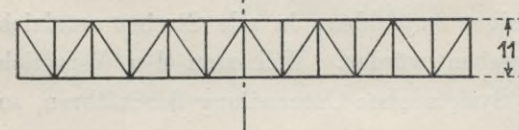
b. Gewählte Form in E. 7.



c. Zweckmäßigste Form.



d. Zulässige Form.



zwungen ist, die dem tatsächlichen Verlauf der Momente nicht entspricht. Es mag zugegeben werden, daß es aus früheren Zeiten Beispiele für derartige Formenbildungen gibt, und daß selbst in neueren Wettbewerben Gerberträger in Form von Hängebrücken vorgeschlagen sind. Es sei hier der Entwurf II der »Guten Hoffnungshütte« für den Wettbewerb um eine Straßenbrücke über den Rhein zwischen Ruhrort und Homberg erwähnt. Aber auch hier ist das Verhältnis zwischen Einhängeträger und Stützweite mit

$$72 : 203,4 = 0,355$$

wesentlich günstiger für eine solche Maßnahme, als in E. 7, wo dasselbe Verhältnis

$$87,6 : 140 = 0,626$$

ist.

Wie dem auch sei, es entspricht nicht dem heutigen Streben, gesund und aufrichtig zu konstruieren, nichts vorzutäuschen, was nicht da ist. Verfasser möchte wohlverstanden hierbei nicht auch gegen verdeckte Gelenke sprechen, die den Auslegerträger-Gedanken verschleiern, wenn man ihn nicht zum Ausdruck bringen kann oder will. Sie können ebenso gut als ein Mittel aufgefaßt werden, statische Bestimmtheit zu erzielen, um die Nachteile der durchlaufenden Balken zu vermeiden. Es soll auch nicht behauptet werden, daß die vorliegende Form zu unwirtschaftlich wäre. Der Materialmehraufwand hält sich in mäßigen Grenzen. Es sind nur grundsätzliche Bedenken. Sie drängen sich einem besonders stark auf bei der Vorstellung, daß man den Träger herausheben und ihn für sich als Einzelbauwerk hinsetzen wollte.

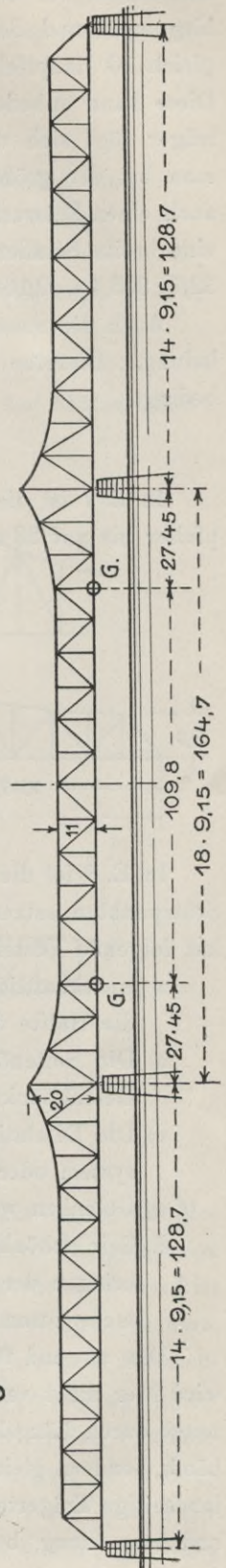
Die zweckmäßigste Form ist an und für sich der Halbparabelträger mit etwa 7 m Endhöhe und 12,5 m Mittelhöhe. Es soll nicht gesagt sein, daß bei dem einmal gewählten System der Halbparabelträger besser am Platze wäre; dann würde die Linienführung mit einer Gegenkurve zu unruhig sein. Die Spannweite von 140 m ist nicht groß genug, um eine nochmalige Erhebung wirtschaftlich zu rechtfertigen. Vielleicht wäre der Parallelträger als mittlere, neutrale Lösung zu wählen.

Das ist getan worden bei etwa gleicher Spannweite von der Brückenbauanstalt Gustavsburg bei der Eisenbahnbrücke der Tientsin-Pukow-Bahn (Nordchina) über den Hwang-Ho bei Lokou, die nebenstehende Anordnung\*) aufweist. Die Stützweiten betragen 128,7 — 164,7 — 128,7. Die Feldweiten 9,15 m bei 9,40 m Brückenbreite und reichlicher Bauhöhe. Der Schwebeträger ist 109,8 m lang und sein Verhältnis zur Gesamtöffnung

$$\frac{109,8}{164,7} = 0,6675.$$

In E. 8. ist die Ausladung 6,2 m kürzer, im ganzen nur 20 m statt 26,2 m. Eine gewisse, vorsichtige Beschränkung darin schien geboten,

Fig. 19 Beispiel: Hwang-Ho-Brücke bei Lokou.



\*) S. Zeitschrift des Vereins D. I. 1914.

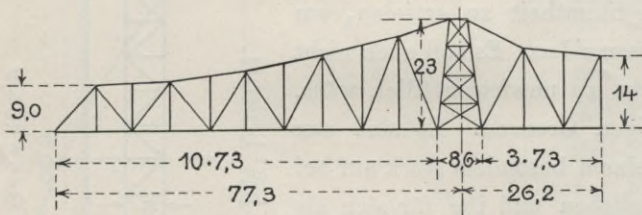
namentlich bei den hohen Verkehrslasten und der gewählten Form mit Rücksicht auf Durchbiegungen und Schwankungen. Die Stützweite des Schwebeträgers ist  $140 - 2 \cdot 20 = 100$  m, gleich 10 Hauptfeldern zu 10 m. Es ist ein normaler Parallelträger von  $100 : 8 = 12,5$  m Höhe. Diese kann unbedenklich vergrößert werden, sollte die Steifigkeit nicht genügen. Der Einhänge-träger fügt sich unauffällig zwischen die Kragträger ein. Es mag daran erinnert werden, daß man bei der größten deutschen Gerberbrücke (zwischen Ruhrort und Homberg über den Rhein) auch einen Entwurf zur Ausführung wählte, der von allen die geringste Ausladung aufwies. Das ist eine breite Straßenbrücke mit hohem Eigengewicht. Die Ausladung beträgt, beiläufig angeführt,  $32,7 : 203,4 = 0,161$ . Bei uns ist dieses Verhältnis  $20 : 140 = 0,1428$ .

Auch die neuen Eisenbahnbrücken über den Rhein bei Köln zeigen eine sehr mäßige Ausladung. Dieselbe beträgt nur eine Feldweite und ist allerdings durch das gewählte System bedingt.

c) Kragträger.

In E. 7 ist die Stützweite 77,3 m. Der Obergurt steigt von 9 m am landseitigen Übergangspfeiler bis auf 23 m Höhe über den Pylonen und fällt von da ab bis zum Gelenk wieder auf 14 m.

Fig. 20

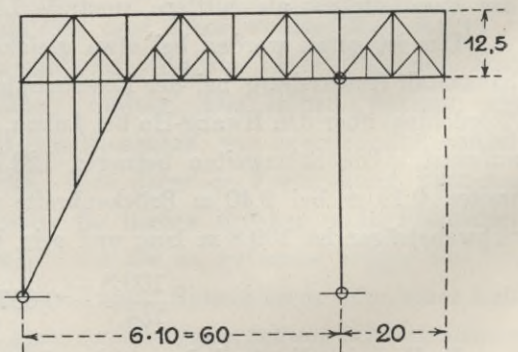


Die Obergurtlinien folgen kubischen Parabeln und passen sich gut dem Verlauf der Haupt- und Zusatzmomente an. Die letzteren ergeben sich aus der festen Einspannung und nehmen nach dem Übergangspfeiler zu ab. Der Kragarm gibt wohl Längskräfte ab an den Pylonen, wird aber selbst durch die Einspannung nicht berührt.

In E. 8 ist die Stützweite 60 m, die durchgehend gleiche Höhe 12,5 m (etwa  $60 : 5$ ). An den Stützpunkten setzen gleichfalls Druckstreben an. Die absichtlich klein gehaltene Seitenöffnung hat folgende Vorteile:

- wirtschaftliche. Der lfdm Viadukt, der an die Stelle der Hochbrücke tritt, kostet ungefähr die Hälfte derselben (z. B.  $\frac{1}{2} \cdot 4000 = 2000$  M).
- Die Seitenöffnung selbst und auch damit der Gelenkpunkt wird steifer.
- Die Dilatationsfuge bei einem reinen Gerbersystem oder die inneren Schübe bei den festen Gelenken werden kleiner.
- Rein schönheitlich ist es gut, durch das Näherbringen der Enden das langgestreckte Bauwerk mehr zusammenzufassen.

Fig. 21



Das an und für sich schon große Stützenmoment wird hier nicht vermehrt durch das Zusatzmoment erzeugt durch Längskräfte. Die Momente sind nicht gehäuft, sondern gleichmäßiger verteilt. So empfängt der landseitige Trägerteil diese Mehrbeanspruchung. Das ist im ganzen eine bessere Materialverteilung und Ausnutzung, besonders wenn man bedenkt, daß das Mehr an Eisen in den Stäben beim festen



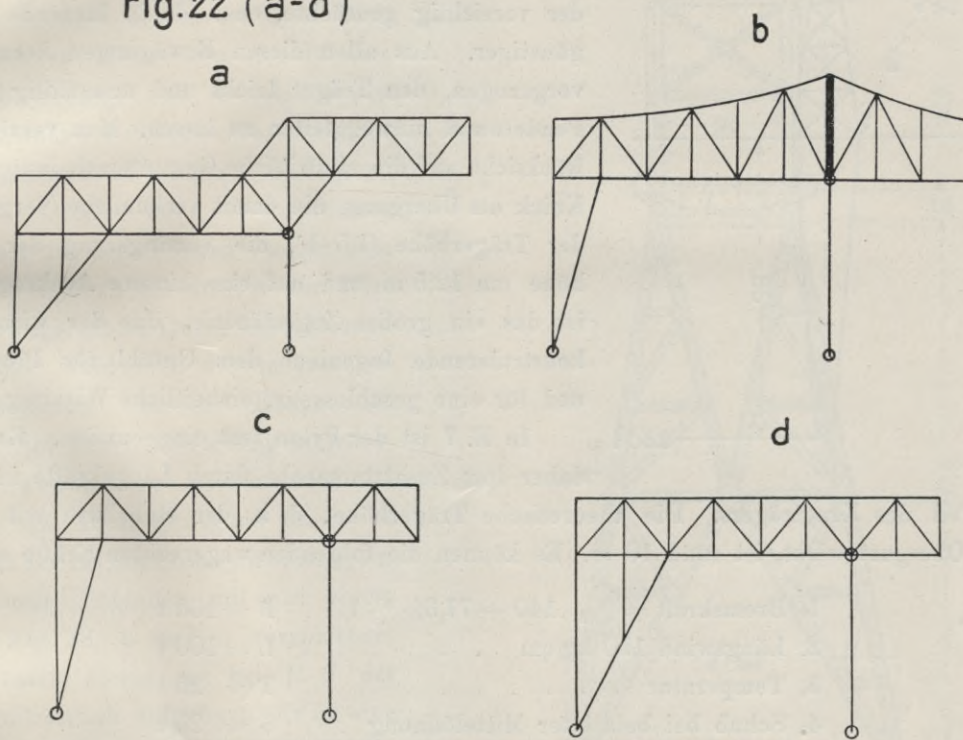
Pfeiler in gehöriger Entfernung vom Drehpunkte, gleichzeitig zur Erhöhung der Standsicherheit in Längsrichtung dient und einem Aufkippen bei belasteter Mittelöffnung entgegenwirkt. Dieselben Massen lagern in E. 7 unwirksam nahe am Drehpunkte.

Ausbildung des Trägers über dem Pendeljoch.

Die Erwägungen, die für die Formgebung dieses Trägerteiles maßgebend sind, sind:

- a) Größe des Stützenmomentes verglichen mit dem Größtmoment des Schwebeträgers.
- b) Rücksicht auf die Gesamterscheinung des Bauwerkes, wobei
  - 1) die Frage nach einem möglichen Übergang von Fahrbahn unten zu Fahrbahn oben behandelt werden muß und
  - 2) der Einfluß der leichten Pendelstütze zu bedenken ist.
- c) Die größte Obergurtkraft im Schwebeträger ist 1191 t; diejenige über der Stütze 1210 t.

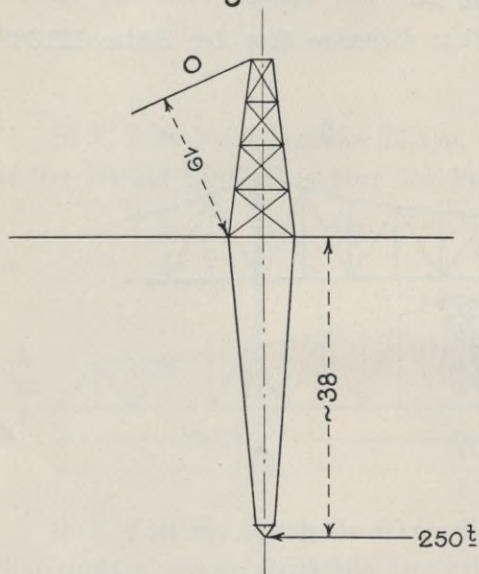
Fig.22 (a-d)



Da beide Kräfte fast gleich, so ist die gleiche Trägerhöhe nach dem Verlauf der Größt-Momentkurve somit gerechtfertigt. Es lag sehr nahe, über der Pendelstütze einen Übergang von Fahrbahn unten zu Fahrbahn oben anzuordnen ähnlich demjenigen der Straßenbrücke. Darauf ist mit Absicht verzichtet worden; denn eine derartige Kröpfung des Trägers bildet einen markanten, auffallenden Punkt im Trägerbild. Nun wollen und müssen wir aber einen solchen beim Brückende als Abschluß schaffen, wie weiter unten begründet werden soll. Eine Vereinigung beider Anordnungen gibt, wie ein Blick auf die Skizze (22 a) lehrt, dem Ganzen ein zwiespältiges, unharmonisches Aussehen. Beides läßt sich bei der kurzen Seitenöffnung nicht vereinigen. Aus demselben Grunde ist auch von einem Hochziehen des Gurtes über der Stütze (22 b), wie es in E. 7 geschehen ist, abgesehen worden. Die beiden charakteristischen Stützpunkte würden sich gegenseitig

stören. Auch würde ein hochgezogener Gurt den Träger dort schwerer erscheinen lassen und nach dem Empfinden des Beschauers eine Stützung durch die leichte Pendelwand kaum vertragen. Als sehr wichtiger praktischer Gesichtspunkt ist schließlich die erheblich schwierigere Montage zu erwähnen, die ein gekrümmter Obergurt bereitet, da auf ihm ein gewöhnlicher Kran nicht laufen kann. Es sind Kräne zu benutzen, die den ganzen Träger umfassen und erheblich schwerer sind. Das Gewicht eines solchen kann bei der Freimontage kurz vor dem Zusammenschluß so große Momente erzeugen, daß ein Verstärken einzelner Stäbe nötig wird. Oder man nimmt seine Zuflucht zu Kränen mit verstellbarer Hinterachse. Das ist bei der Ausführung der Rendsburger Hochbrücke geschehen. Aber auch das bereitet große Schwierigkeiten. Nur nebenher

Fig. 23



sei bemerkt, daß bei einem an sich schon hohen Bauwerk von 52 m Höhe über 10 m Mehrhöhe ins Gewicht fallen, was seitliche Standsicherheit gegen Wind und hohe Rüstungen anlangt. Auch in dieser Beziehung erscheint der vorsichtig gedrückte, eben dahin laufende Obergurt günstiger. Aus allen diesen Erwägungen heraus ist es vorgezogen, den Träger leicht und unauffällig über die Pendelwand hinweggleiten zu lassen. Man verzichtet mit Rücksicht auf die einheitliche Gesamterscheinung auf den Knick als Übergang, die damit verbundene Vergrößerung der Trägerhöhe ( $1,5 \cdot h$ ), die Verringerung der Stützhöhe um 12,5 m und auf eine hintere Auskragung. Es ist das ein großes Zugeständnis, das der wirtschaftlich konstruierende Ingenieur dem Gefühl für Proportionen und für eine geschlossene, einheitliche Wirkung macht.

In E. 7 ist der Pylon fest eingebunden. Es kommen daher dort Zusatzmomente durch Längskräfte in den gestützten Teil des Kragträgers. Die theoretische Trägerhöhe, d. h. der Hebelarm mit dem die Kraft im Obergurt wirkt, ist rund 19 m. Es können die folgenden wagerechten Kräfte auftreten:

1. Bremskraft =  $(\frac{1}{2} \cdot 140 + 77,3) \cdot \frac{5}{7} t$  . . . B = 105 t
  2. Längswind 150 kg/qm . . . . . L = 100 t
  3. Temperatur . . . . . T = 25 t
  4. Schub bei belasteter Mittelöffnung . . . S = 25 t
- Gesamthorizontalkraft H = 250 t

D. h. ungünstigenfalles erzeugen die wagerechten Kräfte eine zusätzliche Stabkraft von

$$\frac{250 \cdot 38}{19} = \text{rd. } 500 \text{ t.}$$

Die Stabkraft aus Eigengewicht und Verkehr ist

$$0 = 850 \text{ t.}$$

Die Höhe, die Eigengewicht und Verkehr entspricht, ist somit etwa

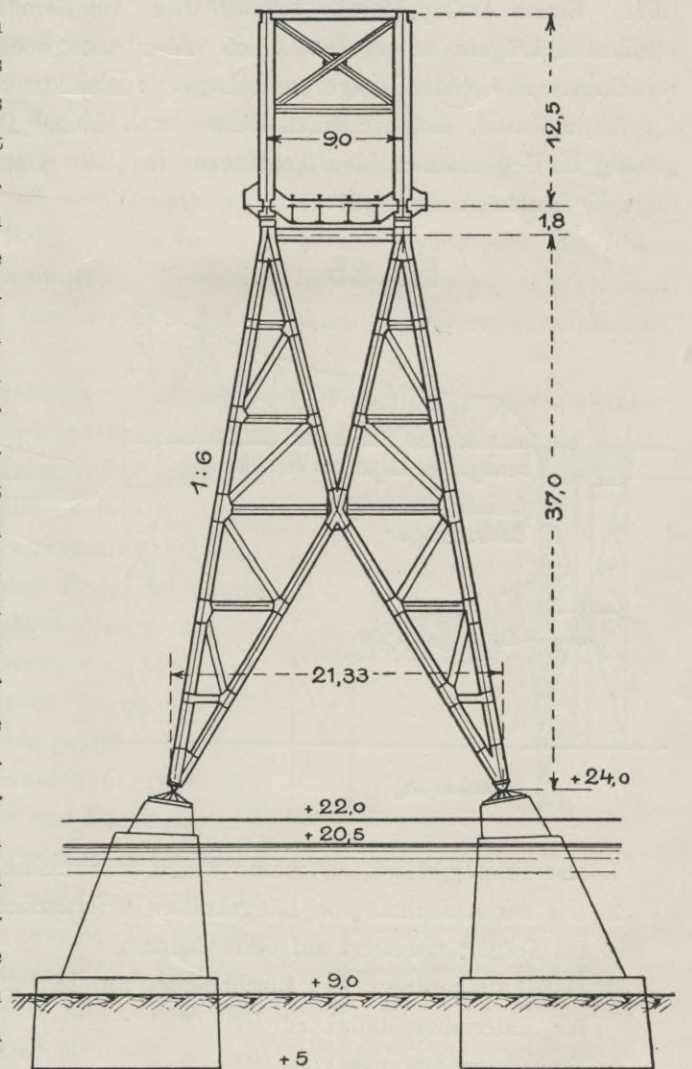
$$\frac{19 \cdot 850}{850 + 500} = 12 \text{ m,}$$

d. h. eigentlich weniger als in E. 8. Das gilt natürlich nur für den Obergurtstab der Seitenöffnung. Außerdem ist zu bedenken, daß ein Zusammenwirken aller dieser Kräfte nur selten eintritt und so die große Höhe innerhalb des gestützten Teiles für gewöhnlich allerdings der Steifigkeit des Gelenkes zugute kommt.

Ausbildung des festen Pfeilers.

Der Aufbau desselben in E. 8 ist unsymmetrisch. Er besteht aus einem senkrechten und einem schrägen Stabe. Der letztere wird wegen seiner großen Länge von der durchgreifenden Nebenvertikalen gegen Durchhängen und Knicken noch einmal gefaßt. Diese Hängestäbe sind in der Querrichtung genau so wie der obere Teil der senkrechten Wand ausgefacht. Die dann immerhin noch 21 m langen Stäbe werden durch die leichten Nebenvertikalen noch einmal gehalten. Die Form des Pfeilers ist einfach bedingt und hergeleitet aus den auftretenden Kräften. Sie entspricht daher am besten den Funktionen des Lagers. Senkrechte Druck- oder Zugreaktionen gehen glatt in den Pfosten, wagerechte Längskräfte bringen die Streben zur Wirkung. Alle wagerechten Querkraftreaktionen der Verbände werden in der senkrechten Wand abgeleitet. In der Ebene der Schrägen wird keine Ausfachtung angeordnet. Die zweifeldrige Pfeilerwurzel ist mit 20 m bzw. 18 m genügend breit und der Winkel der beiden Stäbe nicht zu spitz. Sie ist einem Einbinden mit nur einem Felde (s. Fig. 22, b und c) vorzuziehen. Im Gegensatz hierzu ist bei E. 7 der Pfeiler symmetrisch aufgebaut. Er ist eine starre, rhomboidische Scheibe mit Kleingliederung und von schlanker, ansprechender Form. Sie ist bei der geringen Breite von 8,6 m sehr elastisch und nachgiebig gegen wagerechte Längskräfte. Senkrechte Druckreaktionen kommen gleichmäßig auf beide Pfosten. Die Windreaktion zerteilt sich an der Spitze des Pylonen, um sich am Fuße wieder zu vereinigen. Der Fahrbahnverband ist in zwei Punkten gelagert. Beide Wände der Pylonen müssen ausgefacht werden.

Fig. 24



Pendelwand.

Am beweglichen Lager sind nur senkrechte Kräfte abzuleiten. Es genügt daher ein Auflagerstab. Ein solcher ist in E. 8 in Gestalt des Pendeljoches angeordnet (siehe Fig. 24). Es ist zu beachten, daß es niemals Zug erfährt und eine immer mißliche Verankerung entbehrlich ist. Es hat oben ein Linien-, unten ein Punktkipplager. Das Verhältnis zwischen Trägerhöhe und Pendeljoch, zwischen dem rechteckigen und dem trapezförmigen Querschnitte, erscheint hier günstiger als bei der Straßenhochbrücke. (Vgl. Vorschlag 5.)

In E. 7 ist ein Rampenpfeiler von 9 m Breite als Übergangspfeiler angeordnet. Auf dem kanalseitigen Pfosten ruht der schwere Kragträger, auf dem landseitigen Pfosten ruht ein Blechträger. Beide sind also verschieden stark auszubilden. Außerdem ist dort noch der kleine Blechträger, und ein Ballastträger. In dem kanalseitigen Pfosten können auch Zugkräfte auftreten. Daher ist der Kragträger dort stark verankert. Seine Drücke überträgt er durch zwei Stelzen von 80 cm Höhe. Einem Aufkippen des Turmes wirkt ein Betonballast entgegen, der zwischen den oben-erwähnten Trägern untergebracht ist. Aber auch noch der Fuß des Pfeilers ist zur Sicherheit verankert. Die vielen Träger und Lager, zumeist mit Verankerungen, die ungleiche Belastung der Turmpfosten, auf der einen Seite durch kleine Drücke, erscheint kompliziert und weniger günstig im Gegensatz zu dem Trägerende in E. 8. Dort wirken dem Aufkippen in Längsrichtung folgende Lasten A entgegen:

Fig. 25

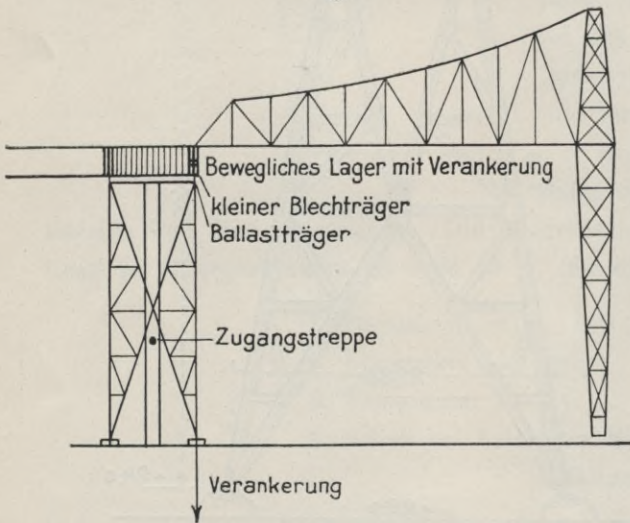
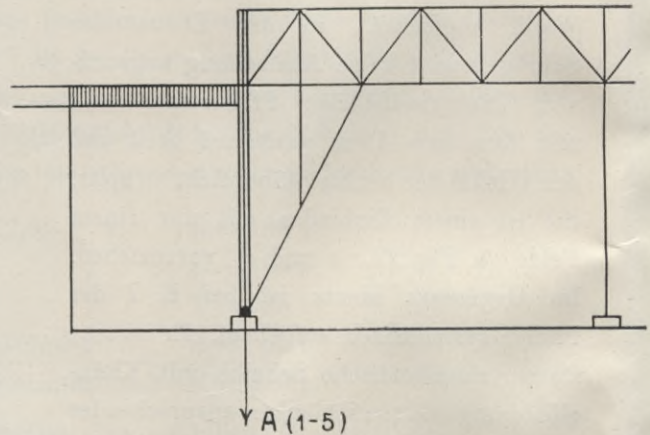


Fig. 26.



1. Der Pfeiler selbst. Derselbe wiegt einschließlich der Schrägen rd. . . . .	61 t
2. Die zur Aufnahme von Längskräften erforderlichen zusätzlichen Eisenmengen im Träger, reduziert auf 60 m Abstand . . . . .	34 t
3. Der Auflagerdruck des Blechträgers von 28,3 m Weite samt einer Plattform für Materialien u. dgl. rd. . . . .	33,5 t
4. Eine Zugangstreppe von . . . . .	10 t
5. Ein Betonballast in dem Innern des starken, hohen Pfostens . . . . .	76 t
	214,5 t.

Ein solches Gegengewicht wirkt in der günstigsten Linie, nämlich genau in der Auflager senkrechten, entgegen dem in E. 7, das sich über eine ganze Turmbreite erstreckt, um einen Pfosten zu sichern. Der Beton, der nur schwer, nicht fest zu sein braucht, erfüllt zugleich den Nebenzweck, das schwerer zugängliche Innere der Hauptrippe gegen Rosten zu schützen.

Nimmt man ein Trägergewicht von 5,2 t an f. 1 lfd. m H.-Tr. (einschließlich Fahrbahn), so entsprechen den obigen Kräften

$$214,5 : 5,2 = 41,3 \text{ lfd. m Brückenlänge.}$$

Eine Verankerung braucht nur zur höheren Sicherheit vorgesehen zu werden, wenn man durch sie nicht etwa den Ballast ersparen will.

So ist trotz der kleinen Seitenöffnung eine genügende Standsicherheit in Längsrichtung erzielt und die größere Einfachheit in E. 8 durch den natürlichen Gewichtsausgleich erwiesen.

### Übergang von der Rampenbrücke zur Hochbrücke.

Es gibt zwei entgegengesetzte Anschauungen, die für die Ausbildung dieses Punktes maßgebend sein können. Man kann zunächst versucht sein, einen weichen, d. h. allmählich ansteigenden, vermittelnden Übergang zu konstruieren, der das Auge des Beschauers auf eine gewisse Strecke leitend auf die Spannungen und den Schwung der eigentlichen Hauptbrücke vorbereitet. Ähnliche Übergänge sind in neueren Wettbewerben oft von Hauptbrücken zu Flut- oder Nebenöffnungen, nicht immer mit Glück, versucht worden. Meist müssen reiche Aufbauten dazu dienen, den Übergang oder Abschluß zu betonen oder zu vermitteln. Besonders bei dem Zweigelenkbogen mit Zugband weiß man noch immer nicht recht, wie hier ohne Zuhilfenahme unmotivierter Steinbauten abzuschließen ist.

In E. 7 ist die Auflager senkrecht weggelassen und ein schräger Abschluß angeordnet, offenbar in der Absicht überzuleiten. Die Wirkung ist indessen schwächlich, der Übergang ist zu weich. Das zaghafte Aufsitzen des zugespitzten Trägerendes erregt in manchem Beschauer nicht das Gefühl der Sicherheit. Die Lagerung erscheint unwillkürlich als schwacher, zerbrechlicher Punkt. Durch einen stumpfen Abschluß mit senkrechtem Endportal könnte dem vielleicht bis zu einem gewissen Grade abgeholfen werden. — Man wird daher besser scharf scheiden, wenn man nicht verbinden kann. Das läßt sich auch sonst noch begründen. Es sind mancherlei bauliche Unterschiede vorhanden zwischen Rampenbrücke und Hochbrücke: in ihrer Längenausdehnung, in den Einzelspannweiten, im Tragwerk (Blechträger und Fachwerk) und schließlich in der Art der Stützung. Beide Brücken bilden einen gewissen Gegensatz, den man besser betont, nicht verwischt. In diesem Sinne erscheint die scharfe Trennung zwischen Hochbrücke und Rampenbrücke durch einen starken Pfosten von 50m Höhe angebracht. Der reinliche, glatte Übergang in seiner bewußten Härte und Einfachheit wirkt energischer. Das Bauwerk in sich scheint abgeschlossen, bildet ein einheitliches, organisches Ganze von klar begrenztem Umriß. Ein Abschneiden oder eine Abrundung der Ecke durch Wegfall des ersten Pfostens und Obergurtstabes, die nicht nötig, bringt eine geringe Materialersparnis, beein-

Fig. 27

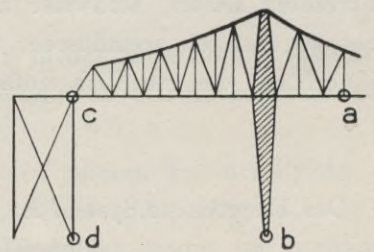
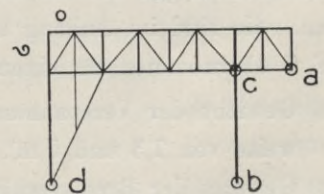


Fig. 28



trächtig aber u. E. die ästhetische Wirkung des Ganzen. Der Turm in E. 7 hat eine Zwitterstellung. Man weiß nicht recht, wozu er gehört. Er ist in seiner Stellung als Übergangspfeiler nicht genügend erkenntlich, außer durch Aufbauten, die mit der Brücke als Konstruktion weniger zu tun haben.

#### Lager.

Die Gelenke *a* sind bei beiden Entwürfen etwa gleich. Das Lager *c* erfährt zwar höhere Drücke in E. 8, ist aber wesentlich einfacher als in E. 7. Nur *d* fällt in E. 7 etwas stärker aus (vgl. Fig. 27 und 28).

#### Durchbiegungen.

In E. 8 ist die Trägerhöhe durchgehend zu 12,5 m angenommen worden. Ein genauer Vergleich zweier Überbausysteme muß billigerweise auch auf der Grundlage gleicher Durchbiegungen erfolgen. Sollte es sich auf Grund weiterer Untersuchungen erweisen, daß die Senkungen zu groß werden, so hat es keinerlei Schwierigkeiten, den Gurtabstand um 1,5 m bis auf 14 m zu vergrößern, so daß für die Steifigkeit im lotrechten Sinne in weitgehendem Maße gesorgt werden kann, ohne das Aussehen zu beeinträchtigen. Die Längen der Gurtstäbe werden nicht geändert, und die etwas längeren Diagonalen sind durch die Hilfsstreben der Unterteilung auf jeden Fall gegen Knicken gesichert. Der Mehraufwand an Eisen ist, wenn überhaupt vorhanden, gering.

Will man dieses nicht, so könnte man auch der Durchbiegung dadurch wirksam begegnen, daß man dem einflußreichsten (Obergurt-)Stab über der Kanalstütze eine geringe Materialzugabe zuwendet. Es kommt vor, daß nicht die zulässige Spannung, sondern die zulässige Durchbiegung den Querschnitt bestimmt.

An horizontaler Steifigkeit ist der letztgenannte Entwurf E. 8 wegen der breiten Pfeilerwurzel dem vorhergehenden überlegen, ganz gleich, ob der Schwebeträger ein längsbewegliches Gelenk hat oder nicht. Es mag noch hervorgehoben werden, daß die (in noch höherem Maße als die senkrechten Lasten) stoßweise auftretenden Bremskräfte in dem letzten Vorschlage das System nicht ungünstiger beeinflussen, trotzdem sie erst an den Enden abgeleitet werden. Schließlich sei noch auf die erheblich einfachere Führung der Windverbände ausdrücklich hingewiesen.

#### Rechnungsergebnisse.

Das besprochene System ist durchgerechnet worden, um einen Materialauszug und die Kostenermittlung zu einem zahlenmäßigen Vergleich zu erhalten. Die Untersuchung ist mit einer Schärfe durchgeführt, die für einen einwandfreien Vergleich genügen dürfte.

Als Grundlagen für die statischen Berechnungen mußten diejenigen von E. 7 angenommen werden. Sie sind im Anhang beigegeben. Es wurden der Einfachheit und des Vergleichs wegen von E. 7 übernommen für einen lfd. m Hauptträger:

- a) Gewicht der Verspannungen zwischen den Schienenträgern (trotz der verschiedenen Feldweite von 7,3 und 5 m).
- b) Gewicht der Bremsverbände.
- c) Gewicht der Windverbände.
- d) Gewicht der Nebenquerverbände (in E. 7 alle  $3 \cdot 7,3 = 21,9$  m, in E. 8 alle 20 m).

- e) Gewicht der Lager.
- f) Gewicht der Rampenbrücke.
- g) Konstruktionskoeffizienten.
- h) Querschnittsformen.

Die Vergleichsstrecke beträgt:

$$140 + 2 \cdot 77,3 + 2 \cdot 11,5 = 317,6 \text{ m,}$$

so daß bei E. 8 die Kosten für

$$317,6 - 260 = 57,6 \text{ lfd. m}$$

Rampenbrücke zuzuschlagen sind. Die Mehrkosten für die Gründung der Kanalpfeiler in Höhe von rd. 66000 *M* werden zweckmäßig in Tonnen Eisen umgesetzt, die Tonne (z. B.) zu 300 *M* berechnet, ergibt:

$$66000 : 300 = 220 \text{ t.}$$

Der Oberbau, Schwellen und Schienen kommen nicht in Frage. Wegen der besseren Übersichtlichkeit sind die Zahlen in folgender Tabelle zusammengestellt:

	E. 7 317,6 m	E. 8 260 m
1. Fahrbahn . . . . .	658,6 t	562 t
2. Hauptträger . . . . .	1622,6 t	1531 t
3. Verbände . . . . .	207,4 t	140 t
4. Pfeiler . . . . .	869,8 t	426 t
5. Lager . . . . .	87,3 t	77 t
	<b>3445,7 t</b>	<b>2736 t</b>
6. Gründungsmehrkosten . . . . .	220,0 t	
7. Rampenbrückenmehrkosten . . . . .	1000,0 t	
	<b>4665,7 t</b>	

Zu 1. Die Bauhöhe in E. 7 ist **1,50 m**, diejenige von E. 8 in der Mittelöffnung **1,20 m**, in den Seitenöffnungen 1,76 m. In beiden Fahrbahnen sind die Gewichte für die Konsole und Längsträger zur Unterstützung einer Schwebefähre enthalten.

Zu 2. Das Hauptträgergewicht in E. 7 versteht sich ohne den unteren Teil der Pylone.

Zu 4. Bei E. 7 und E. 8 ist das Gewicht einer Treppe mit 38,4 t einbegriffen.

Zu 6. Die Preise für die Veranschlagung der Gründungen sind:

- 1. Bodenaushub über Wasser . . . . . 2,5 *M*/cbm
- 2. Bodenaushub unter Wasser . . . . . 20,0 *M*/cbm
- 3. Senkkasten  $6,5 \cdot 13 = 84,4 \text{ qm}$  . . . . . 1200,0 *M*
- 4. Beton von 180 kg/qcm Würfelfestigkeit mit Ziegelverblendung,  
 $\frac{1}{4}$  davon im Senkkasten . . . . . 25,0 *M*/cbm
- 5. Beton der gleichen Festigkeit mit Eiseneinlagen . . . . . 35,0 *M*/cbm
- 6. Granitquader der Lager . . . . . 120,0 *M*/cbm.

Zu 7. Die Kosten einer Rampenbrücke von 57,6 m Länge in Tonnen Eisen umgesetzt ( $2100 \text{ M} : 300 \text{ M/t} = 7 \text{ t}$ ) wären eigentlich bei E. 8 zuzuschlagen, gleichzeitig gehen aber ab

$2 \cdot 333 \cdot 0,30 = 200$  m Rampenbrücke, die durch die geringe Bauhöhe gespart werden, so daß schließlich doch  $200 - 57,6 = 142,4$  m bei E. 7 zuzuschlagen sind. Bei der Annahme einer durchschnittlichen Neigung  $1:150$  beträgt das Mehr an Rampenlänge  $2 \cdot 150 \cdot 0,3 = 90$  m,  $90 - 57,6 = 32,4$  und die Ersparnis in Tonnen Eisen 227 t.

Bei der Beurteilung dieses Materialauszuges ist ferner zu bedenken, daß dem einfacheren Tragwerk mit den vielen Stäben gleicher Länge, niedrigen Rüstungen, leichteren, auf dem Obergurt laufenden Kränen wohl ein geringerer Eiseneinheitspreis zukommt. Es ist aber schwer, das gegenseitige Verhältnis der Einheitspreise genau anzugeben. Man kann nur sagen, daß das Verhältnis der Zahl der Knotenpunkte dabei sehr ins Gewicht fällt.

Aber auch ohne die sehr schwankenden Eisenpreise und vielleicht nur mit Berücksichtigung der stetigeren Gründungskosten kann man durch Vergleich der Gesamtgewichte (einschließlich der in Tonnen Eisen umgesetzten Fundierungen) Gütezahlen für Überbausysteme feststellen. Wird das des billigsten mit 1 bezeichnet, so ist die des anderen

$$Z_7 = 1 \cdot \frac{G_8}{G_7}.$$

## 6. Schlußkritik.

So stellt wohl rückblickend nach allem oben Ausgeführten der letzte Vorschlag in seiner gedrängten, kompendiösen Anordnung die zweckmäßigere Lösung dar. Sie erfordert den geringeren Raumbedarf bei einfacheren Umrißlinien. Die Konturen umschreiben ein Rechteck. Die Hauptlinien sind wagerechte und senkrechte. Die Gesamtlänge beträgt 260 m (gegen 294,6 m bzw. 317,6 m mit Einschluß der Übergangspfeiler). Die Höhen über dem Gelände rund  $40 \text{ m} + 12,5 = 52,5$  m (gegen  $40 + 25 = 65$  m maximal). Das System ist anzusehn als ein großer Rahmen mit leichter Unterteilung. Bei der ästhetischen Bewertung ist zu bedenken, daß die einfache Form durch die Spreizung der Pfeilerwände in der Perspektive wesentlich gewinnt. Das Beschauen von einem Standpunkt außerhalb der Kanalmittellinie ist die Regel. Der gerade Obergurt bedeutet eine mittlere ausgleichende Linie. Sie schneidet Spitzen und Buckel fort in der Kurve der Maximalmomente. Die große, aber durchaus zulässige Vereinfachung des Überbauträgers ist nötig, um diesen, wie schon mehrfach betont, mit der Stützung zu einem abgerundeten, in sich abgeschlossenen Ganzen zu verschmelzen, wie es sich in dem riesigen Rahmen mit zweifacher Zwischenstützung zeigt. Der langgestreckte Parallelträger, so einfach, nüchtern er an sich erscheinen mag, erweist sich nach sorgfältiger Abwägung doch als nötig, um dem Gesamtwerk ein einheitliches Aussehn zu verschaffen. Man übt zugunsten des Ganzen weise Beschränkung. Es möchte auch als ein Vorzug einfacherer System gelten, daß man sie eher wiederholen kann als kompliziertere Formen. Dabei ist eine zweite Ausführung natürlich wohlfeiler als die erste. Trotzdem dieselben Elemente gebraucht sind wie bei der Straßenbrücke, ist der Eindruck sehr verschieden. Bogen und Kette am richtigen Platze werden ihre Wirkung nie verfehlen. Aber auch die gerade Linie hat ihre Schönheit. Es möchte jedenfalls hier als zweifelhaft gelten, ob eine Hängebrücke mit anspruchsvollem Schwunge in die bei dem tiefliegenden Gelände flache, reizlose Landschaft paßt. \*)

\*) Durch den Einbau einer Schwebefähre und eines Aufzuges werden die obigen Ausführungen nicht berührt.



Es mag ganz allgemein bemerkt werden, daß es nicht genügt, einen Träger mit einer an sich schönen Linie zu formen und die Stützung irgendwie darunter zu stellen. Aber selbst gesetzt den Fall, dies ergibt etwas Brauchbares, so genügt es ferner nicht, daß man dieses Bauwerk ohne Beziehung zu den anderen anschließenden einfach zwischen sie setzt. Die weitere Umgebung schließlich, sei es die Landschaft, seien es andere Bauwerke oder Überbrückungen, mögen sie schon jetzt vorhanden sein, mit dem Bauwerk oder später entstehen, sind mit zu berücksichtigen. Mit diesen allgemeinen Beziehungen sollte man anfangen, ob es sich um einen Seekanal oder Strom oder Meeresarm handelt, der von wenigen Riesenbrücken gekreuzt wird, oder um einen Binnenwasserlauf in einer Großstadt, der unter nur wenig verschiedenen Bedingungen einige Dutzend Überführungen nötig macht. Überall steht der Ingenieur nicht für sich allein da, baut nicht die Bauwerke um ihrer selbst willen. Er hat um sich zu schauen und seine Werke in richtige Beziehung zu setzen zu dem großen Ganzen, es einzufügen, es einzustimmen, für Gleichklang oder Abwechslung zu sorgen.

### 7. Allgemeine Betrachtungen.

Wir hatten bisher guten Baugrund in geringer Tiefe angenommen. Es liegt nahe zu fragen, welchen Einfluß ein schlechter Baugrund unter dem landseitigen Pfeiler auf die Anordnung hat. Welche Vorteile werden herabgemindert oder gehen verloren, was bleibt bestehen? Die Gründungstiefe kann höher oder tiefer liegen als die Sohle des Kanalpfeilers. Trotz z. B. gleicher Gründungstiefe kann es da möglich sein, daß man bei der Absenkung der Mittelpfeiler mit Hilfe von Druckluft die durchdrungenen Schichten so günstig d. h. frei von Hindernissen findet, daß man nunmehr landeinwärts zu einer weitaus billigeren Betonpfahlgründung übergehen kann, zumal die Lasten dort auch wesentlich geringer sind. Der Umstand, daß die Uferpfeiler bis zu einer gewissen Tiefe freigelegt werden können, während dies bei den Landpfeilern nie der Fall sein wird, rechtfertigen eine verschiedene Gründung. Auch hier wird es sich empfehlen, die Längskräfte weiter zu leiten und die teure Fundierung von ihnen frei zu halten. Der Vorteil der Gegengewichtswirkung der freien Übersicht, der Kürze bleibt bestehen. Es war vorher im wesentlichen der Frage nachgegangen, ob es (auch bei Annahme ungünstigen Baugrundes) vorteilhafter sei, die Längskräfte sofort nächst der Hauptöffnung abzuleiten oder nicht. Eine Kompromißlösung ist denkbar durch Ausgestaltung der Seitenöffnung als Rahmen wie in Versuch 6. Die Längskräfte verteilen sich auf die Rahmenfüße nahezu gleich. Eine solche Anordnung ist bei der Bewertung zwischen E. 7 und E. 8 zu stellen, vorausgesetzt daß es gelänge, für die Forderung freien Vorbaues eine auch ästhetisch befriedigende Anordnung zu finden. Läßt man die Forderung fallen, d. h. kann man den Schwebeträger durch Heben oder Einschwimmen einbringen, dann ergibt sich die unverhüllte Auslegeranordnung E. 9 in Tafel V, die zurzeit bei Hochdonn als zweigleisige Eisenbahnbrücke zur Ausführung gelangt.

Fast gleichbedeutend mit einem schlechten Baugrunde, der zur Tiefgründung zwingt, ist eine entsprechende Wassertiefe. Dies war der Fall bei einer Yangtze-Brücke, für welche der Verfasser Vorentwurfsskizzen geliefert hat. \*) Bei 12 m Wassertiefe bei N.W., 25 m bei G.H.W. und felsigem

---

\*) Ideas and Proposals for a Highway and Railway Bridge across the Yang-Tze between Han-Yang and Wu Chang. Peking 1912.

Untergrund erwies sich eine zweigeschossige Brücke nach Anordnung E. 8 mit fast denselben Spannweiten als zweckmäßig. Es ergab sich als weiterer Vorzug von E. 8 seine Eignung für eine zweigeschossige Brücke. Im freien Strom tritt der Vorteil der besseren Übersichtlichkeit bei Anordnung einer leichten Pendelwand mehr in die Erscheinung.

Die beiden oben beschriebenen Anwendungen E. 5 und E. 8 der neuartigen Konstruktionsgedanken zeigen Systeme, in denen der Gerbergedanke durch blinde Stäbe verschleiert ist und gerade Linien vorherrschen. Es entsteht die berechtigte Frage, ob nicht noch andere Formen mit bewegter Linienführung möglich sind, bei denen der Schwebeträger als solcher erkenntlich ist.

Da wäre der Fall denkbar, daß zwischen Kanalstütze und Kaimauer als Begrenzung der größten Wasserbreite Raum für Gleise und Kräne frei zu bleiben hat. Dann kann sich der Übergang von Fahrbahn oben zu Fahrbahn unten innerhalb der Mittelöffnung vollziehen. Als Beispiel für eine derartige Anordnung mit sichtbaren Gelenken und geschwungenen Linien mag zum Schluß die Skizze E. 10 auf Tafel V gegeben werden. Das System bietet im Prinzip nichts Neues mehr und bedarf keiner näheren Erklärung. Die Montage des Schwebeträgers kann im ruhigen Wasser durch Einschwimmen geschehen.

Ein wichtiges Element unserer Vorschläge sind die hohen, stark belasteten Pendelwände. Es mag von Interesse sein, an bekannte Ausführungen solcher zu erinnern:

1. Überführung der Berliner Hochbahn über die Anhalter Bahn und den Landwehrkanal zeigt einen Trapezträger von 80 m. Derselbe ist auf einer Seite auf eine etwa 20 m hohe Pendelwand abgestützt. Brückenbau-Anstalt Gustavsburg 1902.
2. Leichte Straßenbrücke über den Argentobel (Württemberg) zeigt 2 Pendelwände von 25 m nächst einer Mittelöffnung von 84 m. Gustavsburg 1907.
3. Schwebefähre in Kiel. Stützweite 120 m zeigt 55 m hohe Pendelwände. Gutehoffnungshütte 1910.

Angesichts obiger Anordnungen, E. 5, E. 8, E. 10, ist wohl die Frage berechtigt, inwieweit sie als neuartig bezeichnet werden können. Da muß zugegeben werden, und wir selbst haben Ausführungen gezeigt, in denen Pendelwände verwandt sind, und mehrfach Beispiele gegeben, in denen Pfeiler festeingebunden sind. Aber andererseits ist kein Fall aus dem Brückenbau bekannt geworden, in dem die Vereinigung beider Elemente d. h. Pendelwand in Gemeinschaft mit dem fest eingebundenen Pfeiler in einer Öffnung in dem Sinne und mit dem wirtschaftlichen Nutzen angewendet worden wäre.

Die Hochbrücke stellt den hervorragendsten Punkt der Überbrückung dar. Das spricht sich auch in den Kosten für den laufenden m Bauwerk aus. Aber die größere Länge der Zuführungen verschlingt an Bausummen ein Mehrfaches des Hauptbauwerkes. Sie erfordern deshalb in höherem Maße wirtschaftliche Anordnungen. An sie werden rein schönheitlich weniger hohe Ansprüche gestellt. Auf Tafel V in E. 10 ist nun eine von den verschiedenen möglichen Formen dargestellt worden, in denen das Hochbrückenprinzip auch auf die Rampen ausgedehnt und angewandt worden ist. Es sind Gruppen von je drei Öffnungen geschaffen. Die Mittelöffnung, die nicht unbedingt gleich den Seitenöffnungen zu sein braucht, vielleicht sogar besser weiter gewählt wird und dann als »Haupt«öffnung angesprochen werden kann, ist durch zwei Pendelwände begrenzt. Jenseits derselben sind die festeingebundenen Pfeiler zur Ablenkung der Längskräfte. In der Mittelöffnung sind zwei Gelenke. Statisch ist die gezeichnete Stützung durch einen festen Pfeiler in der Mitte

und zwei seitliche Pendeljoche als Träger auf drei Stützen einfach unbestimmt. — Es muß untersucht werden, ob eine Ableitung der Längs- (Brems)-kräfte alle  $3 \cdot 48 = 144$  m zulässig ist d. h. nicht zu große Verschiebungen mit sich bringt. In dieser Hinsicht ist der dreigestützte Träger, sobald der Baugrund ihn gestattet, nicht ungünstig. Schönheitlich ist es von Vorteil, die langen Zuführungsrampen zu gliedern, in Gruppen aufzulösen, um Ruhepunkte für das Auge zu schaffen, da die Bauwerke sonst monoton wirken. So sind in E. 9 ein Blechträger von 31 m zwischen die Fachwerkrahmen gefügt, mit einem scharfen Knick in der Linienführung bei den Gelenken, und Teilstrecken von  $72 + 56 = 128$  m geschaffen. In E. 7 und E. 8 haben wir ein gleichförmiges Blechträgerband. Der Anblick in der Natur kann erst entscheiden, ob die scharfen Knicke in der Linienführung, die Verschiedenheit in den Tragwänden im Verein mit den etwas stelzig scheinenden Pfeilern nicht etwa doch zu unruhig wirkt.

Indessen gehören diese Betrachtungen nicht streng zum Thema.



# Anhang.

## Grundlagen der statischen Berechnung.

Im allgemeinen sollen die preußischen Vorschriften des Erlasses des Ministers der öffentlichen Arbeiten vom 1. Mai 1903, D 3216, maßgebend sein. Im einzelnen soll noch folgendes gelten:

### Belastungsannahmen.

Verkehrslast (zu B. 1 der Vorschriften).

Die Achsbelastungen des Lastzuges sind gegenüber den Vorschriften um 20 % zu vermehren. Die Verkehrslast für die Fußwegkonstruktionen ist zu 400 kg/qm anzunehmen.

Winddruck (zu B. 2 der Vorschriften).

Der Winddruck ist bei belasteter Brücke mit 150 kg/qm und bei unbelasteter Brücke mit 250 kg/qm in Rechnung zu stellen. Dabei sind die Windangriffsflächen der im Windschatten gelegenen Fachwerkshauptträger nur mit ihrer halben Größe anzusetzen.

Die Standsicherheit des ganzen Bauwerks gegen Umkippen durch Winddruck soll bei unbelasteter Brücke und 250 kg/qm Winddruck noch 1,8 fach und bei mit Wagen von 1 t/lfdm. Gewicht belasteter Brücke und einem Winddruck von 200 kg/qm mindestens noch 1,5 fach sein.

Bremskräfte (zu B. 3 der Vorschriften).

Die beim Bremsen ausgeübten Kräfte sind unter der Annahme zu berechnen, daß sämtliche Lokomotiv-, Tender- und Wagenachsen gebremst werden und daß die Reibungsziffer  $\frac{1}{7}$  beträgt.

### Zulässige Beanspruchungen.

Hauptträger und Fahrbahnträger.

Beanspruchung in kg/qcm.

	Eigengewicht und Verkehr	Eigengewicht, Verkehr und Winddruck	Eigengewicht, Ver- kehr, Winddruck, Bremskraft und Temperaturschub
Hauptträger . . . . .	1000	1150	1400
Fahrbahnträger . . . . .	750		

Bei den Wechselstäben soll zu der maßgebenden Stabkraft noch 30% der minimalen aus Eigengewicht und Verkehr herrührenden Stabkraft addiert werden.

Die wirksamen Querschnitte sind in der Weise zu bestimmen, daß die Nietquerschnitte in den Zugstäben, sowie in den vollwandigen Trägern in Abzug zu bringen sind.

Für die Druckglieder ist nach der Eulerschen Formel eine fünffache Sicherheit gegen Knicken nachzuweisen. Außerdem sollen die weniger schlanken Stäbe, die von der Eulerschen Formel nicht beeinflußt werden, eine Verstärkung erhalten. Als Anhalt hierfür soll die Herabminderung der Druckspannung nach der Formel  $\left(1 - 0,00005 \frac{l^2}{i^2}\right)$  dienen, worin  $l$  die Stablänge und  $i$  den Trägheitsradius bedeutet.

#### Nietverbindungen.

Die Scherspannung der Niete soll höchstens 0,75, der Lochlaibungsdruck höchstens 1,8 der jeweilig zulässigen Beanspruchung der angeschlossenen Konstruktionsteile betragen. Bei den Stößen der Gurtungen und den Anschlüssen der Wandglieder sind die tatsächlich vorhandenen Nutzquerschnitte zu vernieten und anzuschließen. Tritt jedoch bei Druckstäben ein größerer Knickzuschlag als 25% ein, so ist nur der um 25% vergrößerte theoretische Druckquerschnitt anzuschließen.

#### Lager.

Stahlgußteile können mit 1000 kg/qcm beansprucht werden.

Größte Pressung der Zementfuge unter dem Auflager 50 kg/qcm.

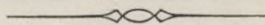
#### Bodenpressung.

Für den vorhandenen diluvialen Baugrund soll die Bodenpressung in t/qm unter Eigengewicht und Verkehr nicht größer sein als

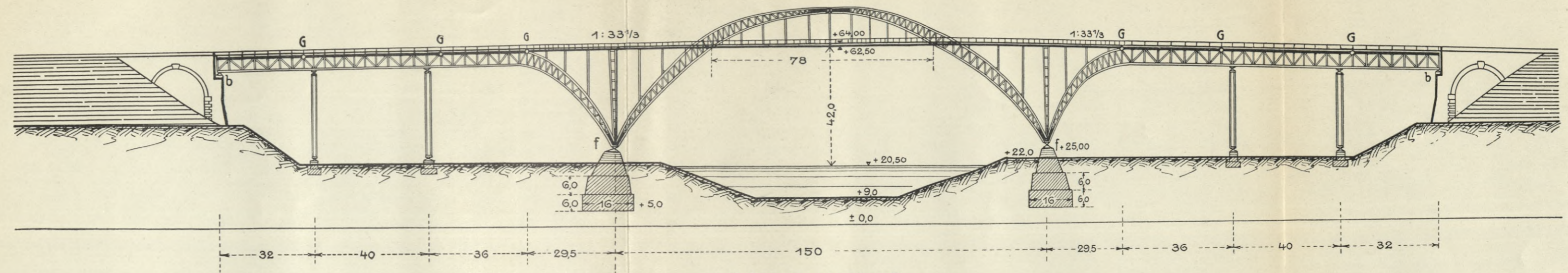
$$\sigma = 25 + \gamma \cdot t$$

Hierin bedeutet  $\gamma$  das spezifische Gewicht des Bodens und  $t$  die Tiefe der Fundamentsohle unter der Erdoberfläche in m. Wirken außer Eigengewicht und Verkehr Winddruck und Bremskraft ein, so kann die Beanspruchung um 30% erhöht werden.

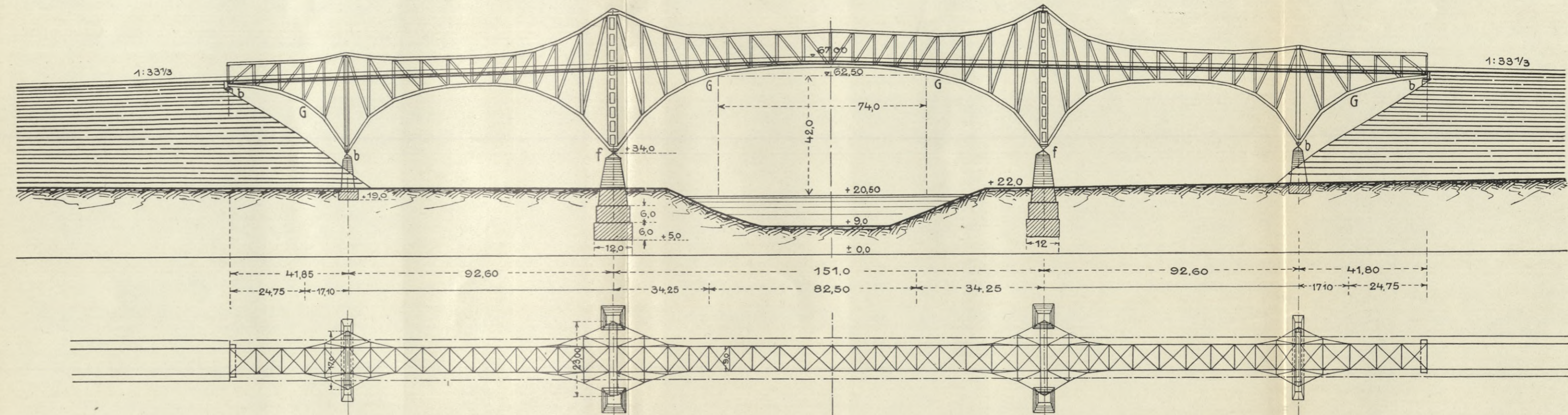
**BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA  
KRAKÓW**



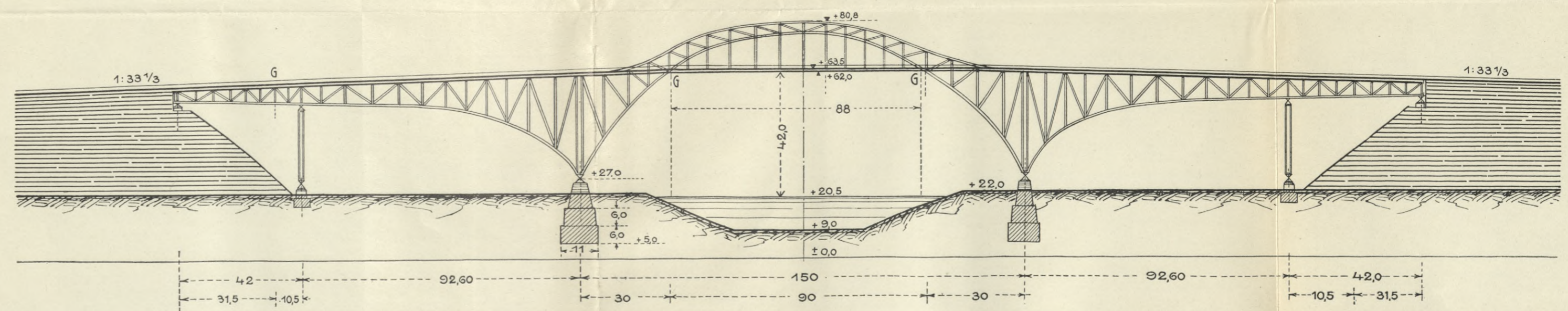
# Eiserne Straßen-Hochbrücke. Versuch 1.



Versuch 2



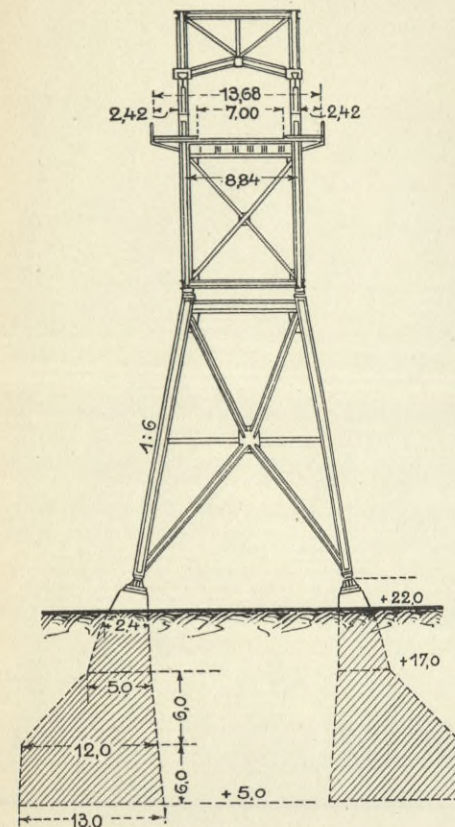
Versuch 3.



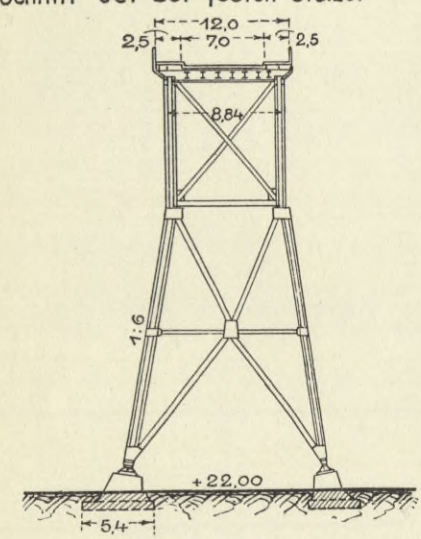
BIBLIOTEKA  
KRAKÓW  
Politechniczna



Querschnitt bei der Pendelstütze.

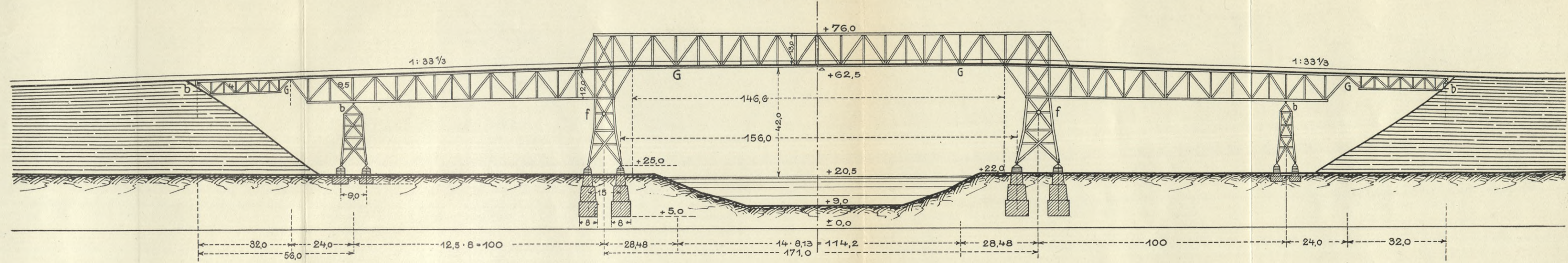


Querschnitt bei der festen Stütze.



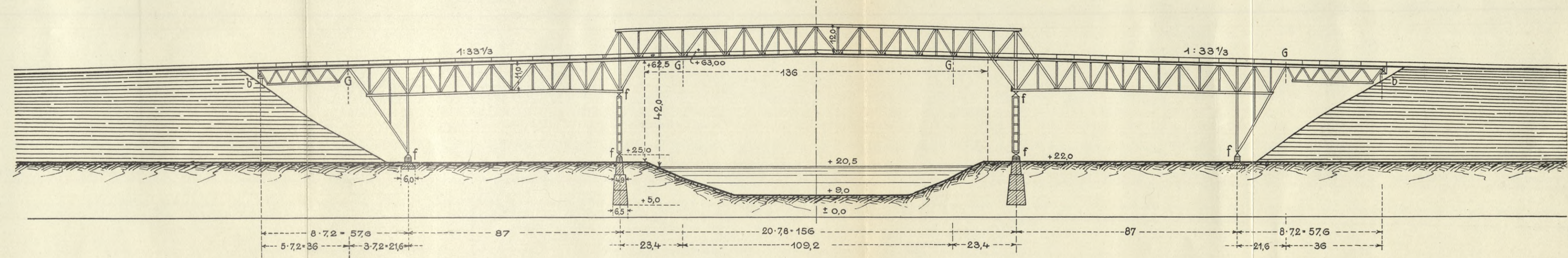
Müller, Hochbrücken.

Versuch 4.



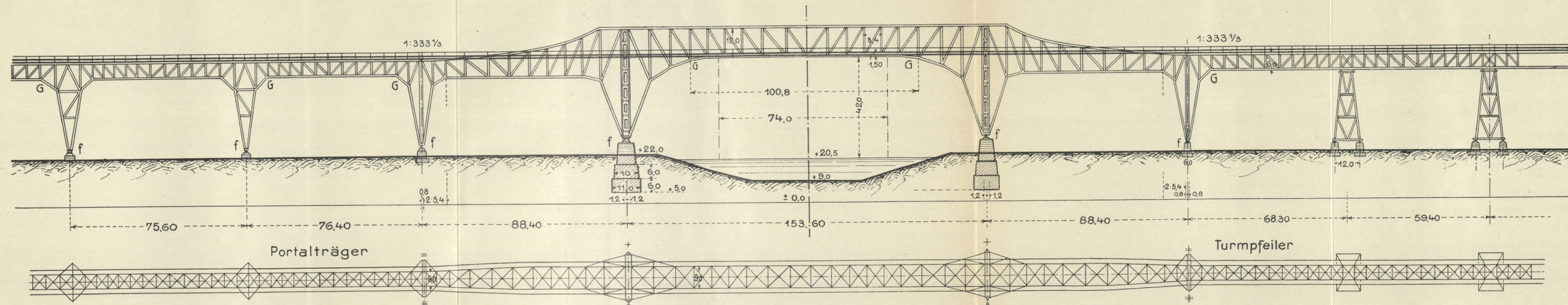
Tafel II.

Versuch 5. (Ausgeführter Vorschlag.)

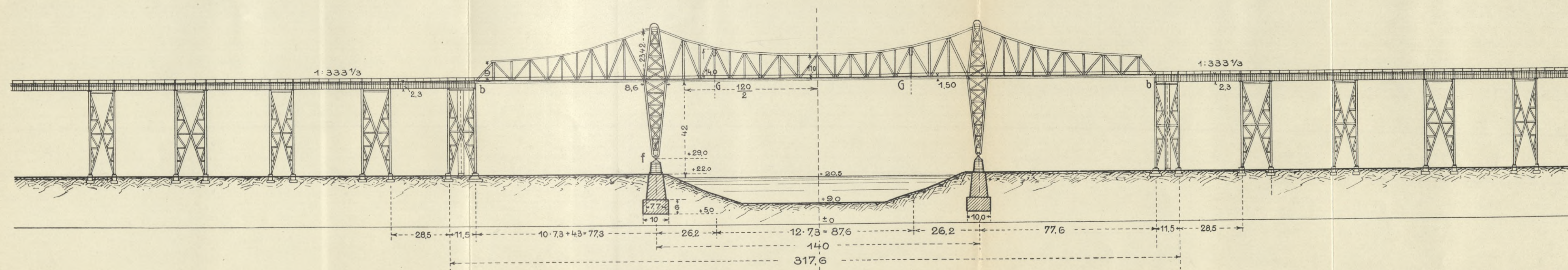




Zweigleisige Eisenbahnbrücken.  
Versuch 6.

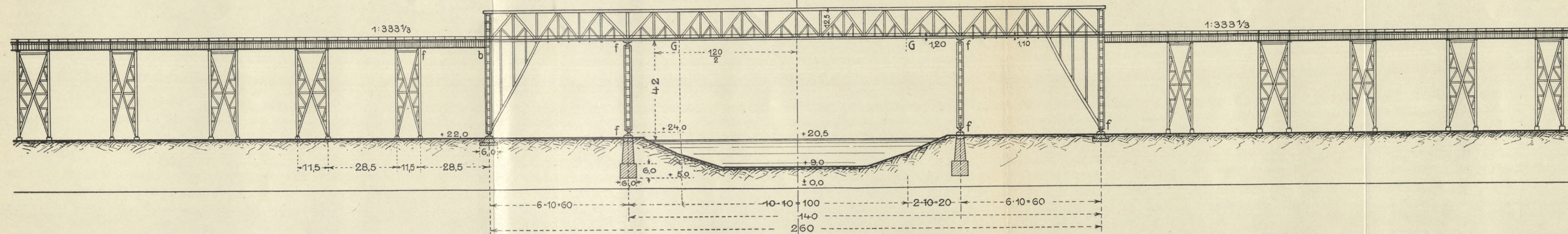


Versuch 7.

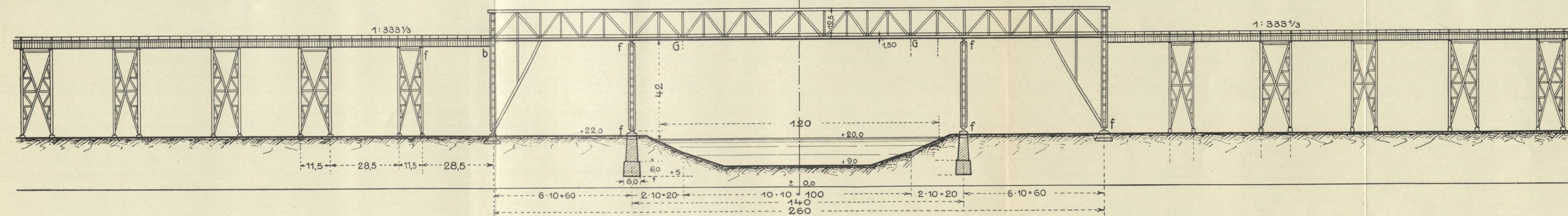




Versuch 8. (Vorschlag zur Ausführung.)



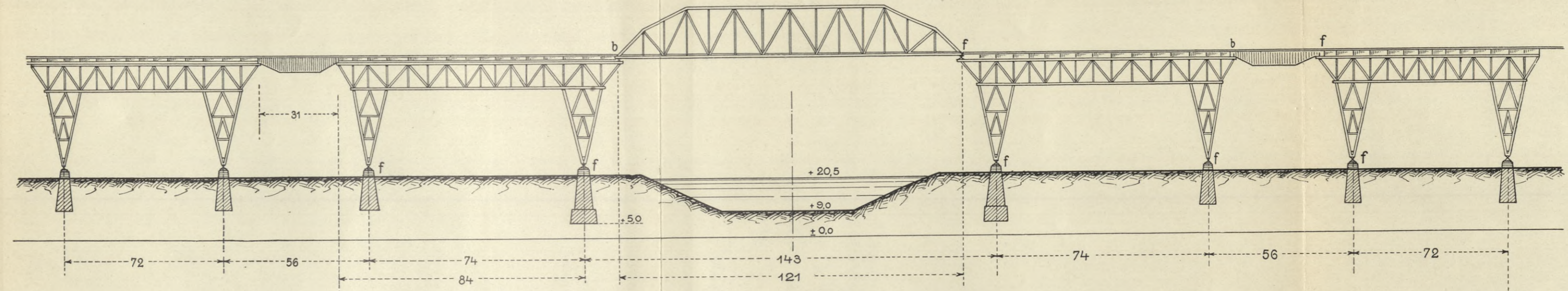
Nebenvorschlag 8a mit eisernen Schwellen.



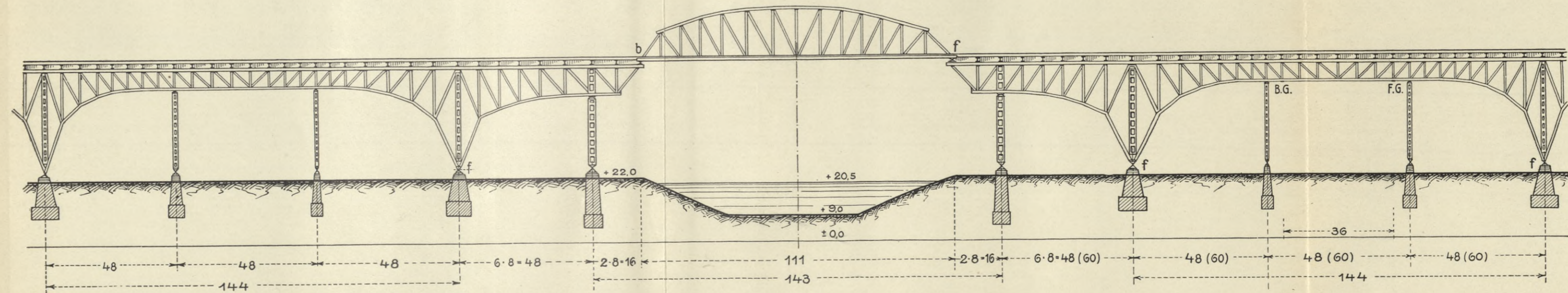


Versuch E<sub>9</sub>  
(Zur Ausführung bestimmt.)

Tafel V.



Versuch E<sub>10</sub>



BIBLIOTEKA  
KRAKÓW  
Politechniczna

S 61









WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA

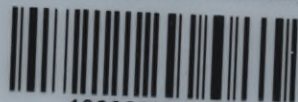


L. inw.

33054

Kdn., Czapskich 4 — 678. 1. XII. 52. 10.000

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000305580