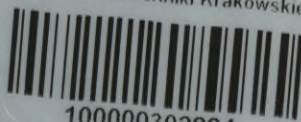




Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000302884





DIE  
**EISERNEN BOGENBRÜCKEN.**

---

Zum Gebrauche

bei deren Berechnen, Entwerfen und Veranschlagen

bearbeitet von

**Dr. F. Heinzerling,**

Kgl. Baurath und ordentl. Professor an der Kgl. Technischen Hochschule zu Aachen.

---

15½ Bogen Text mit 2 Texttafeln und 6 lithographirten Tafeln in gross Doppel-Folio.

---

Zweiter Abdruck.

---



Leipzig, 1882.

Baumgärtners Buchhandlung.

*[Faint handwritten scribbles at the bottom of the page]*

(1)

#  
396



IV 35109



VI - 301010

BPP- B - 398 / 2017

Akc. Nr. ~~X~~ 567/59

## Vorwort.

Das vorliegende, siebente Heft der Brücken der Gegenwart enthält eine Monographie der eisernen Bogenbrücken mit drei Gelenken, mit zwei Gelenken und ohne Gelenke, welcher die analytische und, soweit als möglich, die graphische Berechnungsmethode sowie die Darstellungen einer möglichst grossen Zahl verschiedenartig construirter, meist ausgeführter Bogenbrücken zu Grunde gelegt ist.

Die auch diesem Hefte vorausgeschickte „Technische Entwicklung“ erleichtert, indem sie eine kurze Uebersicht über die wichtigsten, bislang zur Ausführung gekommenen Systeme der eisernen Bogenbrücken vorausschickt, und hierbei die Nachtheile der älteren verlassenen und die Vortheile der zur Zeit üblichen oder projectirten Systeme hervorhebt, die Auswahl der einschlägigen zweckmässigsten Constructions.

Die statische Berechnung wurde, mit Berücksichtigung der ungünstigsten Stellung beliebiger und beliebig vertheilter Lasten, für Gelenk-Bogenträger und elastische Bogenträger durchgeführt und hierbei, soweit als möglich, die in unsere Constructionsübungen für Brückenbau eingeführte, für die Sicherheit im Ermitteln der Dimensionen der Brücken höchst empfehlenswerthe gleichzeitige Anwendung zweier Berechnungsmethoden und die hierdurch zu erreichende Controle ihrer Ergebnisse gezeigt. Bei der analytischen Behandlung ist durch die Anwendung der reducirten Angriffsmomente eine ebenso allgemeine, als einfache Theorie sowohl zur Ermittlung der ungünstigsten Laststellung, als auch zur Berechnung der Spannungen des Bogenträgers mit drei Gelenken aufgestellt und deren Anwendung auf ein statisch-numerisch behandeltes Beispiel gezeigt worden. Die statische Berechnung auch der elastischen Bogenträger mit zwei Gelenken erscheint unter möglichst einfacher Form der analytischen Behandlung, während die Ermittlung ihrer ungünstigsten Laststellung auch auf graphischem Wege gezeigt ist. Eine annähernd genaue statische Berechnung der Bogenträger ohne Gelenke, welche übrigens eine für die Praxis hinreichende Genauigkeit zulässt, wurde in die Bearbeitung des auf Tafel 6 dargestellten, speciellen Beispiels aufgenommen.

Der dritte, constructive Theil behandelt, unter stetem Hinweis auf die in den beigegebenen Tafeln dargestellten Brückenbauten, die drei genannten Systeme der Bogenträger in ihrer Anwendung auf Eisenbahn- und Strassenbrücken sowohl nach ihrer Anordnung im Allgemeinen als auch nach der speciellen Anordnung ihrer Theile, während diesem Abschnitte das für den Constructeur Wissenswertheste über das Constructionsmaterial, die Verbindungsmittel sowie über die festen und beweglichen Verbindungen der schmiedeisernen Bogenbrücken selbst beigelegt ist. Hierbei ist — der bisherigen Annahme der Ingenieure, dass ein Windverband nur beim elastischen Bogenträger durchzuführen sei, entgegen — die Möglichkeit der Durchführung des Windverbandes auch bei eisernen Bogenbrücken mit drei Gelenken nachgewiesen und, da dieselbe zur Zeit noch nicht ausgeführt ist, die constructive Anordnung des Windverbandes an den Kämpfern, an den Auflagern und besonders im Scheitel an einem bis ins Einzelne durchgearbeiteten Brückenproject gezeigt worden.

In dem vierten, die Beschreibung und statisch-numerische Berechnung einzelner Bauwerke enthaltenden Theile wurde mit Hilfe einer die wichtigsten Bogenbrücken verschiedener Länder enthaltenden Tafel eine Uebersicht über die neueren und neuesten Constructions-systeme guss- und schmiedeiserner Bogenbrücken gegeben und die Beschreibung von drei kleineren und einer grösseren Gelenk-Bogenbrücke, von einer elastischen Bogenbrücke mit zwei Gelenken und von einer Bogenbrücke ohne Gelenke, wovon die letzteren drei mit ausführlichen statisch-numerischen Berechnungen begleitet, hinzugefügt. Bei der grösseren Gelenk-Bogenbrücke ist die in einer analytischen und in einer graphischen Berechnung bestehende Controlberechnung von Herrn Assistenten J. Palme mit dankenswerther Genauigkeit durchgeführt und deren Ergebnisse in einem, in der ihr beigegebenen Texttafel enthaltenen, Diagramm zum Zweck des Vergleichs zusammengestellt worden, während auch der Bogenbrücke mit zwei Gelenken eine Texttafel beigegeben ist, welche die Ermittlung ihrer ungünstigsten Belastungen auf graphischem Wege darstellt.

In dem folgenden, fünften Abschnitte wurde die einschlägige neuere und neueste Literatur nach ihrer Zeitfolge zusammengestellt.

Um den diesem Hefte zugemessenen Umfang nicht zu überschreiten, musste auf die beabsichtigte Mittheilung der Gewichtsberechnung einer Bogenbrücke, wie sie in den früheren Heften gegeben wurde, sowie auf einen besonderen Abschnitt über Kostenberechnung, Ausführung, Prüfung und Unterhaltung verzichtet werden.

Schliesslich gereicht es uns zur angenehmen Pflicht, allen Fachgenossen, welche uns im Hinblick auf den gemeinnützigen Zweck dieses Werkes durch Mittheilung von Constructionsblättern und zugehörigen Berechnungen unterstützt haben, hiermit unseren verbindlichsten Dank auszusprechen. Besonderer Dank gebührt ferner der Verlagsbuchhandlung, welche im Vereine mit der in technischen Kreisen vortheilhaft bekannten lithographischen Anstalt von F. Wirtz in Darmstadt, der xylographischen Anstalt von Zierow und Meusch in Leipzig und der Universitäts-Buchdruckerei von Carl Georgi in Bonn bemüht war, auch diesem Hefte eine ebenso solide, als geschmackvolle Ausstattung zu geben.

Möchte das vorliegende 7. Heft der Brücken der Gegenwart dem auch an der diesseitigen Technischen Hochschule längst empfundenen Bedürfnisse einer Anleitung zum Berechnen und Entwerfen von schmiedeisernen Bogenbrücken genügende Abhilfe schaffen und sich, gleich den früheren Heften dieses Werkes, der wohlwollenden Nachsicht unserer Fachgenossen erfreuen.

Aachen, den 29. November 1879.

H.

# I n h a l t.

## Eiserne Bogenbrücken.

	Seite		Seite
<b>I. Technische Entwicklung.</b>		<b>3. Die elastischen Bogenträger mit offenge-</b>	
1. Die älteren Constructionen . . . . .	1	bautem Querschnitt . . . . .	20
2. Die neueren Constructionen . . . . .	3	a) Die Spannungen in den Bogengurten	20
<b>II. Statische Berechnung.</b>		b) Die Spannungen der Stäbe.	
1. Die schmiedeisernen Bogenträger im Allgemeinen	5	α) Einfache Stäbe . . . . .	20
A. Bestimmung der grössten Angriffsmomente.		β) Gekreuzte Stäbe . . . . .	21
a) Ungleiche und ungleich vertheilte Einzel-	6	3. Belastungen.	
b) Gleiche und gleichförmig auf Knoten-	9	A. Belastung von Eisenbahnbrücken.	
c) Gleichförmig und stetig vertheilte Lasten	9	a) Bewegte Belastung . . . . .	21
B. Bestimmung der kleinsten Widerstandsmo-	10	b) Ruhende Belastung . . . . .	22
a) Kleinste Widerstandsmomente der Träger	10	B. Belastung von Strassenbrücken.	
b) Kleinste Widerstandsmomente der Träger	10	a) Bewegte Belastung . . . . .	23
mit geschlossenem Querschnitt . . . . .	10	b) Ruhende Belastung . . . . .	23
2. Die schmiedeisernen Bogenträger im Besonderen.		4. Materialwiderstände.	
A. Die Bogenträger mit drei Charnieren.		a) Zug- und Druckfestigkeit . . . . .	24
a) Bogenträger mit beliebig geform-		b) Scheerfestigkeit . . . . .	24
tem Untergurt.		c) Knickfestigkeit . . . . .	24
1. Die Spannungen der Trägertheile im	10	5. Niet- und Bolzenverbindungen.	
Allgemeinen . . . . .	10	a) Nietverbindungen der Bleche . . . . .	25
2. Die Grenzspannungen in den Bogen-		b) Nietverbindungen der Stäbe . . . . .	26
stücken.		6. Berechnung der Lager und Charniere.	
α) Bestimmung der Lage der Bela-	10	a) Abmessungen der Lager . . . . .	27
β) Bestimmung der Grenzspannungen	11	b) Abmessungen der Charniere . . . . .	27
durch die Verkehrsbelastung . . . . .	11	<b>III. Construction.</b>	
γ) Bestimmung der Spannungen durch	12	1. Allgemeine Anordnung.	
das Eigengewicht . . . . .	12	A. Situation und Grundriss . . . . .	27
3. Die Grenzspannungen in den Obergurt-		B. Querprofil und Querschnitt . . . . .	28
stücken.		2. Die Brückenbahn.	
α) Bestimmung der Lage der Bela-	12	A. Eisenbahnbrücken . . . . .	28
β) Bestimmung der Grenzspannungen	12	B. Strassenbrücken . . . . .	28
durch die Verkehrsbelastung . . . . .	12	3. Die Gurten der Bogenträger.	
γ) Bestimmung der Spannungen durch	13	a) Bogenträger mit geradem Ober- und ge-	
das Eigengewicht . . . . .	13	krümmtem Untergurt . . . . .	29
4. Die Grenzspannungen in den Diagon-		b) Bogenträger mit zweitheiligem Untergurt	
nalen.		und eingeschaltetem Stabwerk . . . . .	30
α) Bestimmung der Lage der Bela-	13	4. Die Stäbe.	
β) Bestimmung der Grenzspannungen	13	a) Die gezogenen Stäbe . . . . .	30
durch die Verkehrslast . . . . .	13	b) Die gedrückten Stäbe . . . . .	30
γ) Bestimmung der Spannungen durch	15	c) Verbindung der Stäbe mit den Gurten . . . . .	31
das Eigengewicht . . . . .	15	5. Die vertikalen Querverbände.	
5. Die Grenzspannungen in den Vertikalen.		a) Die niedrigen Querverbände . . . . .	31
α) Bestimmung der Lage der Bela-	16	b) Die hohen Querverbände . . . . .	31
β) Bestimmung der Grenzspannungen	16	6. Die horizontalen Querverbände.	
durch die Verkehrslast . . . . .	16	a) Der obere Windverband . . . . .	31
γ) Bestimmung der Spannungen durch	16	b) Der untere Windverband . . . . .	31
das Eigengewicht . . . . .	16	7. Die Lager.	
b) Bogenträger mit parabolischem		a) Die Lager der Untergurten . . . . .	32
Untergurt . . . . .	17	b) Die Lager der Obergurten . . . . .	32
1. Die Grenzspannungen in den Untergurt-		8. Constructionsmaterial.	
stücken.		a) Flacheisen . . . . .	32
a) Die Spannungen durch Eigengewicht	17	b) Façoneisen . . . . .	32
und volle Verkehrsbelastung . . . . .	17	c) Unterlagplatten . . . . .	33
b) Die Grenzspannungen durch die Ver-	17	d) Verwendung des Constructionsmaterials . . . . .	33
kehrslast . . . . .	17	e) Conservirung des Materials . . . . .	33
α) Lage der Belastungsscheiden . . . . .	17	9. Die Verbindungsmittel.	
β) Die grössten Zugspannungen . . . . .	17	a) Die Niete . . . . .	33
γ) Die grössten Druckspannungen . . . . .	17	b) Die Stehbolzen . . . . .	33
δ) Die grössten Gesamtspannungen . . . . .	17	c) Die Schrauben . . . . .	33
2. Die Grenzspannungen in den Obergurt-		10. Die Verbindungen.	
stücken.		a) Feste Verbindungen . . . . .	33
α) Die Lage der Lastscheiden . . . . .	17	b) Bewegliche Verbindungen . . . . .	34
β) Die grössten Zug- und Druckspan-	17	<b>IV. Beschreibung und numerische Berechnung.</b>	
nungen . . . . .	17	Taf. I. Eiserne Bogenbrücken verschiedener Län-	
3. Die Grenzspannungen der Diagonalen.		der, gez. v. M. Wentzky.	
α) Die Lage der Lastscheiden . . . . .	17	A. Gusseiserne Bogenbrücken . . . . .	34
β) Die grössten Zug- und Druckspan-	17	B. Schmiedeiserne Bogenbrücken . . . . .	34
nungen . . . . .	17	Taf. II. Eiserne Bogenbrücken mit Gelenkträgern,	
4. Die Grenzspannungen in den Vertikalen.		gez. v. J. Palme.	
α) Die Grenzspannungen durch Ver-	18	1. Unterführung der Lüne- und Altenbrücker	
kehrsbelastung . . . . .	18	Thorstrasse in Lüneburg . . . . .	35
β) Die Gesamtspannungen . . . . .	18	2. Ueberführung der Güterstrasse über die Al-	
B. Die elastischen Bogenträger mit zwei Kämp-		tenbrücker Thorstrasse zu Lüneburg . . . . .	36
fercharnieren.		Taf. III. Schiefe Charnierbogenbrücke zur Unter-	
1. Die elastischen Bogenträger im Allge-	18	führung der Sudenburger Strasse am Central-	
meinen . . . . .	18	bahnhof in Magdeburg, gez. v. M. Wentzky . . . . .	36
2. Die elastischen Bogenträger mit geschlos-		Taf. IV. Schmiedeiserne Charnier-Bogenbrücke,	
senem Querschnitt . . . . .	19	Project, gez. v. J. Palme.	
a) Die Spannungen durch die Verkehrslast	19	1. Allgemeine Anordnung . . . . .	37
b) Die Spannungen durch das Eigenge-	19	2. Statisch-numerische Berechnung . . . . .	38
wicht . . . . .	19	3. Specielle Anordnung . . . . .	45
α) Bogenträger mit beliebiger Form	19	Taf. V. Schmiedeiserne Bogenbrücke mit Kämpfer-	
des Untergurts . . . . .	19	gelenken, Eisenbahnbrücke über die Ruhr bei	
β) Bogenträger mit parabol. Untergurt	20	Düssern, gez. v. M. Wentzky.	
c) Die Spannungen bei Temperaturwechsel	20	1. Allgemeine Anordnung . . . . .	46
		2. Statisch-numerische Berechnung . . . . .	46
		3. Specielle Anordnung . . . . .	50
		Taf. VI. Eiserne Bogenbrücke ohne Charniere,	
		Obermainbrücke in Frankfurt, gez. v. J. Palme.	
		1. Allgemeine Anordnung . . . . .	52
		2. Statisch-numerische Berechnung . . . . .	52
		3. Specielle Anordnung . . . . .	55
		<b>V. Literatur</b> . . . . .	56



# Eiserne Bogenbrücken.

## I. Technische Entwicklung.

### 1. Die älteren Constructionen.

Die ersten eisernen Bogenbrücken wurden in England erbaut und bestanden aus Gusseisen. So besass die i. J. 1773—79 von den englischen Hüttenmeistern Wilkinson und Darley nach eigenem Entwurf erbaute gusseiserne Brücke über die Saverne zu Coalbrookdale\*) eine Oeffnung von 30,62 m Spannweite nebst 12,8 m Pfeilhöhe und eine aus gusseisernen Platten bestehende, mit Thon- und Kohlschlacken bedeckte Brückenbahn, welche durch 5 Träger mit je zwei concentrischen, durch Radialsprossen mittelst Bolzen verbundenen Bogen unterstützt war. Je einer derselben bestand aus nur zwei Stücken, welche im Scheitel zusammengesetzt waren. Bei Auswahl des besten Gusseisens und Ausführung des Gusses unter strenger Aufsicht zeigte diese Brücke auch besseren Bestand als die kurz darauf nach demselben System erbaute Brücke zu Stramford in Worcestershire von 18,7 m Spannweite, welche vermuthlich wegen der schlechteren Beschaffenheit des Gusseisens schon bei der Ausrüstung zusammenbrach. Die zweite eiserne Brücke von Dauer, welche ein Hängsprengwerk mit bogenförmigen Stirnrippen bildete, baute Telford i. J. 1795 über die Saverne zu Buildwas unweit Coalbrookdale mit 89,65 m Spannweite und 8,23 m Pfeilhöhe. Die i. J. 1794 von Graf Burghaus über das Strigauer Wasser zu Laasan in Niederschlesien erbaute Brücke von 13 m Spannweite und nahe 2,9 m Pfeilhöhe, besitzt 5 gusseiserne Tragrippen mit je 3 unconcentrischen, durch Radialsprossen unter sich verbundenen Bogen, die auf einer gleichfalls gusseisernen Grundplatte ruhen. Auch die in den Jahren 1822 bis 23 in Berlin erbaute Friedrichsbrücke und Weidendammerbrücke erhielten dieselbe Construction. Den vorgenannten Systemen verwandt ist dasjenige der i. J. 1803 von Cessart entworfenen, von Dillon mit einigen Abänderungen ausgeführten Louvre-Brücke (pont des arts) über die Seine in Paris mit 9 Oeffnungen von je 17,34 m Spannweite. Jede Oeffnung enthält nur 5 Tragrippen, wovon jede eine Curve von 18,51 m Spannweite bei 3,25 m Pfeilhöhe bildet und aus nur zwei Stücken besteht, die sich im Scheitel gegen eine gemeinsame Schlussplatte, an den Kämpfern gegen gusseiserne, in die Pfeiler eingelassene Sattelstücke stemmen. Schwächere, theils bogenförmige, theils gerade Stücke dienen zur Aussteifung der Bogenwinkel und gusseiserne Querverbindungen vereinigen die Rippen je einer Oeffnung unter sich. Die Brückenbahn ruht auf Unterlagen von Eichenholz und diese mittelst eiserner Stützen auf den Tragrippen.

Die Schwierigkeit, grosse Bogenstücke fehlerfrei zu giessen, hatte bereits i. J. 1794 den Engländer Payne zu dem Versuche veranlasst, aus kleinen gusseisernen Rahmen bestehende, durchbrochene Wölbstücke zu einer Art Gewölbe zusammensetzen: ein System, in welchem Rowland Burdon, nach den Plänen des Ingenieur Wilson, in den Jahren 1793—96 über den Wear zu Wearmouth bei Sunderland eine gusseiserne Brücke mit einem Bogen von 71,91 m

\*) Die Abbildung, Beschreibung und Literatur dieser, sowie der meisten, nachstehend erwähnten Brücken s. Heinzerling, Die Brücken in Eisen, Lpzg. 1870.

Spannweite und 10,36 m Pfeilhöhe ausführen liess. Die Wölbstücke dieser kühnen Brücke sind durch schmiedeeiserne Stangen zu je einer Tragrippe vereinigt, während letztere — 6 an der Zahl — durch gusseiserne Röhren verbunden sind und im Scheitel direct, über den Bogenschenkeln mittelst kreisförmiger, gusseiserner Füllungen die aus Holz construirte, mit einer Cement- und Kieslage bedeckte Fahrbahn aufnehmen. Die Brücke hielt sich mit Ausnahme der durch ungenaue Ausführung veranlassten Ausweichung einiger Tragrippen aus der Vertikalebene gut: ein Fehler, welchen Wilson i. J. 1802 beim Bau einer ähnlichen Brücke über die Themse zu Stains mit 54,85 m Spannweite und 4,88 m Pfeilhöhe verbesserte. Nach ähnlichem Princip erbaute Lamandé in den Jahren 1800 bis 1806 über die Seine in Paris die gusseiserne Brücke von Austerlitz mit 5 Oeffnungen und je 5 Bogenrippen von je 32,36 m Spannweite und 3,236 m Pfeilhöhe. Die aus je 3 concentrischen — durch je 5 Radialsprossen verbundenen — Kreissegmenten bestehenden Wölbstücke wurden durch Bolzen und Bänder verbunden, während die Tragrippen selbst an deren Stossfugen durch gusseiserne Querstücke gegenseitig verankert sind. Dreieckige vertikale, ebenfalls durchbrochene Platten, welche auf wagrechten, mit dem Mauerwerk verankerten Unterlagplatten ruhen, bilden die Bogenkämpfer und sind mit den anliegenden Wölbstücken durch Bolzen und Bänder verbunden.

Schon i. J. 1797 hatte Jean Nash zu London ein Patent auf ein neues Constructionssystem gusseiserner Bogenbrücken genommen, wonach jede Bogenrippe aus grösseren Gussplatten mittelst Flanschen und Bolzen zusammengesetzt werden sollte. Nachdem zwei kleine Brücken über einen der Kanäle von St. Petersburg hiernach ausgeführt waren, wandte es Rennie im J. 1814—1819 bei dem Bau der Southwarkbrücke über die Themse zu London mit 72,96 m Spannweite und 7,29 m Pfeilhöhe der Mittelöffnung, je 63,84 m Spannweite und 6,38 m Pfeilhöhe der beiden Seitenöffnungen an. Jede der 8 Bogenrippen einer Oeffnung stützt sich mit ihren Enden auf eine gusseiserne Kämpferplatte und besteht aus 13 Segmentplatten, zwischen welchen je eine gusseiserne Querverbindungsplatte auf die Breite der ganzen Brücke durchgeht und so zur Vereinigung sämtlicher Rippen je einer Oeffnung dient. Die Bogenschenkel sind mit durchbrochenen, aus Diagonalstreben bestehenden, auf die Bogenstücke geschraubten Gussplatten ausgefüllt, welche die zur Unterstützung des mit Steinen gepflasterten Fahrweges und der steinernen Trottoirs dienenden Gussplatten aufnehmen. In ähnlicher Weise ist auch die i. J. 1822 begonnene Brücke über die Havel bei Potsdam mit 8 Oeffnungen von je 18,72 m Spannweite und 1,56 m Pfeilhöhe construiert, deren je 7 zur Unterstützung der 9,36 m breiten Brückenbahn dienende Tragrippen aus 8 gleichlangen, mit Flanschen versehenen, zusammengeschraubten Bogenstücken bestehen. Die auf den Steinpfeilern ruhenden Platten sind mit einer vertikalen gusseisernen Widerlagplatte für die Bogen versehen.

Im Jahre 1811 machte Reichenbach den Vorschlag, zu Bogenbrücken statt der Platten Röhren anzuwenden und diese durch Flanschen und Bolzen zu verbinden: ein System, welches bei einer i. J. 1824 erbauten Brücke über

einen Ockerarm in Braunschweig wohl die erste und bei einer im Jahre 1829 erbauten Brücke über den Hammerstrom zu Peitz eine weitere Anwendung fand. Statt des kreisförmigen Querschnitts dieser Röhren, welche zudem durch das Anziehen der Bolzen an den Flanschen eine meist ungleichförmige Spannung annahmen, wandte Polonceau bei Erbauung der Carrousselbrücke über die Seine in Paris i. d. Jahren 1834—36 einen elliptischen Querschnitt mit stehender grosser Axe und aus zwei nach dieser Axe getheilten, nur seitlich zusammengeschaubten Hälften mit versetzten Stossfugen an: eine Anordnung, welche später der Construction vieler Strassen- und selbst Eisenbahnbrücken Frankreichs, z. B. der Brücke über den Canal St. Denis in der Nordbahn, zu Grund gelegt wurde.

Bei dem Bau der Eisenbahnbrücken wandte man später wieder grössere oder kleinere, mittelst Flanschen und Bolzen zusammengesetzte, theils massive, theils durchbrochene Platten und nur bei kleinen Spannweiten gusseiserne Träger aus einem Stück an. Zu den letzteren, welche mehr als Balkenbrücken fungiren, gehören u. a. die Träger der Seitenöffnungen der Brücke über die Nidda zu Vilbel und des schiefen Viaducts über die Staatsstrasse bei Niederwöllstädt in der Main-Weser-Bahn, zu den ersteren u. a. der Viaduct über die Strasse von Appenweyer nach Sand, sowie die i. J. 1843 bis 1845 erbaute, später in Folge einer Unterwaschung der Pfeiler eingestürzte, zweigeleisige Brücke über die Kinzig bei Offenburg, beide in der Badischen Eisenbahn.

Unter die neueren gusseisernen Bogenbrücken Englands gehören die Westminsterbrücke, die neue Windsorbrücke, die Larybrücke bei Plymouth, die Victoriabrücke über die Themse bei Pimlico und die mit einer Drehbrücke versehene Rochesterbrücke mit einer mittleren Oeffnung von 51,81 m und zwei Seitenöffnungen von je 42,67 m Spannweite. Die sieben, im Querschnitt doppelt T-förmigen Segmentplatten je einer ihrer 8 Tragrippen sind mittels angegossener Flanschen und Bolzen unter sich verbunden und mit den darauf ruhenden, durchbrochenen Bogenschenkelfüllungen verschraubt. Die Querverbindung der Segmentbogen ist durch gusseiserne Stemmrohre und dazwischen eingeschaltete Andreaskreuze bewirkt. Ueber den Tragrippen liegen mit Verstärkungsrippen versehene, unter sich seitlich verschraubte Gussplatten, welche das Klotzpflaster der Fahrbahn sowie die auf Langschwelen liegenden steinernen Trottoirs aufnehmen.

Von den neueren gusseisernen Bogenbrücken Frankreich sind die Viaducte über die Mosel bei Frouard und über die Loire bei Nevers, die im Jahre 1851—52 erbaute zweigeleisige Eisenbahnbrücke über die Rhone bei Tarascon, die im Jahre 1858—59 von den Ingenieuren Savarin und de Lagallisserie erbaute Solferino-Brücke sowie die im Jahre 1860—62 zur Verbindung der Inseln St. Louis und Notre Dame dienende Brücke St. Louis, sämmtlich über die Seine bei Paris, hervorzuheben. Die Tarasconbrücke besitzt 7 Oeffnungen von je 60 m Spannweite und 5 m Pfeilhöhe, deren jede 8, aus je 17 — oben, unten und in der Mitte durch Rippen verstärkten, unter sich verschraubten — gusseisernen Segmentplatten zusammengesetzte Tragrippen enthält. An jedem Stosse der oberen und unteren jener Rippen ist die aus einem gusseisernen Kasten bestehende Querverbindung der Bogen angebracht. Der Fuss der Tragrippen stemmt sich gegen starke, in das Widerlager eingelassene Lagerplatten, zwischen welche zur gleichmässigen Vertheilung des Drucks 8 Reihen Keile eingetrieben sind. Die Bogenschenkel sind mit 2,5 cm starken durchbrochenen, von Rippen verstärkten, paralleltrapezförmigen Platten ausgefüllt, welche unter sich durch Querbalken und zwischen dieselben eingeschraubte Kreuze verbunden sind. Ueber den Tragrippen liegen gusseiserne, bogenförmige Deckplatten, die sowohl unter sich als auch an den Tragrippen durch Bolzen befestigt sind und den Oberbau der Eisenbahn aufnehmen.

Bei der St. Louisbrücke ruht die Brückenbahn auf je 2 m weit gespannten Ziegelgewölbchen, welche sich

gegen etwas abgeschrägte, aus gusseisernen Querbalken bestehende Widerlager stemmen und deren Axen also senkrecht auf der Brückenaxe stehen. Die 9 Bogenrippen derselben bestehen aus je 11 Wölbstücken, die an ihren sorgfältig geebneten Stossfugen mittelst Bolzen verschraubt sind. Die je vier, den Widerlagern zunächst gelegenen Wölbstücke sind durch ein System horizontaler, abwechselnd oben und unten befestigter Traversen verbunden, während die 3 Wölbstücke am Scheitel sowohl durch die oben erwähnten Querbalken als auch durch Streben, die zwischen dem Rost dieser Gewölbe liegen und von einem Stirnbogen bis zum andern reichen, verbunden sind.

Um auch die bei Temperaturwechsel sich hebenden und senkenden gusseisernen, also wenig elastischen Bogenträger einer Biegung nicht auszusetzen, wurden die Tragrippen der i. J. 1866 von Herrmann erbauten Radetzkybrücke in Laibach mit 30,34 m Spannweite und 2,21 m Pfeilhöhe aus je zwei festen Hälften construirt und sowohl an den Widerlagern, als an den Scheiteln mit Charnieren versehen. Die drei Tragrippen dieser Brücke bestehen unten aus gebogenen, mit 4 Rippen und besonderen Ansätzen versehenen Röhrenstücken, auf welche rechtwinkeldreieckige, durchbrochene Platten vertikal geschraubt sind, deren obere wagrechte Schenkel — gleichfalls untereinander verschraubt — den Obergurt bilden. Zwischen die röhrenförmigen Bogenstücke und diese Obergurtstücke sind an deren Stössen gusseiserne, aus oberen und unteren Querstücken mit gekreuzten Diagonalen bestehende Verticalverbände eingeschraubt, welche die aus einem Längsbohlenbelag mit Klotzpflaster bestehende Brückenbahn aufnehmen.

Die vergleichsweise geringe Elasticität und Homogenität des Gusseisens, welche — besonders unter dem Einfluss heftiger Verkehrsstösse, — das Platzen vieler Trägertheile und selbst den Einsturz ganzer Brücken veranlasst hatte, lenkte die Aufmerksamkeit der mit dem Bau von Bogenbrücken beschäftigten Ingenieure frühzeitig auf das u. a. bereits zum Bau von Hängbrücken verwendete, elastischere und gleichartigere Schmiedeisen. Schon i. J. 1808 verwandte Bruyère das Schmiedeisen zum Bau einer kleinen Fussgänger- und Leinpfederbrücke über den Crou bei St. Denis von 12 m Spannweite und 1 m Pfeilhöhe, deren Tragrippen aus einem gebogenen zweitheiligen, durch Radialprossen und gekreuzten Diagonalen versteiften Untergurt und aus einem wagrechten Obergurt bestanden. Die drei Tragrippen dieser Brücke sind durch schmiedeiserne, mit scheibenförmigen Enden versehene Traversen und runde, vor den Stirnen angebrachte Vorlagscheiben verbunden und tragen durchgehende Querswellen mit einem Belag von Längsbohlen, welcher das Pflaster der Pferdebahn und der Trottoirs aufnimmt.

Trotz des guten Bestandes dieser Brücke wurde erst in dem Verlaufe der 50er Jahre wieder zur Anwendung des Schmiedeisens geschritten. Bei Herstellung der St. Gallischen Eisenbahn legte Stehlin zur Ueberbrückung der Sitterschlucht im Herbst 1853 ein Project vor, welchem die Anwendung von 3 schmiedeisernen Bogen von 142 m Spannweite zu Grund lag, die sich auf natürliche, in den Felsen eingebaute Widerlager stützen. Diese Bogen sollten aus Eisenblech zusammengenietete Röhren bilden und in horizontalen Entfernungen von je 3 m schmiedeiserne Vertikale mit je 12 m langen Gitterträgern aufnehmen. Zwischen die letzteren sollten dann schmiedeiserne, zur Unterstützung der Fahrschienen bestimmte Querträger eingietet werden. Obwohl dieses Project nicht angenommen wurde, so kam doch mehrere Monate später und trotz fehlender natürlicher Widerlager das System schmiedeiserner Bogen bei dem Uebergang der schweizerischen Centralbahn über die Aar bei Olten mit drei Oeffnungen von je 31,5 m durch Etzel zur Ausführung. Die zwei Geleise dieser Brücke sammt deren Längsbohlenbelag ruhen auf durchgehenden Querswellen, welche von fünf, je 1,8 m von einander entfernten Bogenträgern unterstützt werden. Die letzteren bestehen aus einem horizontalen Ober- und einem polygonalen Untergurt mit I-förmigem Querschnitt, welche durch je 1,5 m entfernte, im

Querschnitt kreuzförmige, aus Winkeleisen zusammengesetzte, durch eine Flachschiene versteifte Vertikalständer verbunden sind. Die Querverbindungen der Bogenträger bestehen aus I-Eisen, welche zwischen den Obergurten vertikal, zwischen den Untergurten radial stehen, zwischen dieselben eingeschalteten Diagonalen und horizontalen, durch deren Kreuzungspunct gehenden Querankern. Die bogenförmigen Rahmen stemmen sich gegen gusseiserne, mit den Widerlagern fest verankerte Schuhe, während der Horizontalverband unter die Querverbände des Obergurts eingeschaltet ist und aus diagonalen Flacheisen besteht.

Ungleich kühner war die i. J. 1854—55 von Oudry erbaute Stadthausbrücke (Arcolebrücke) über die Seine in Paris mit einer Spannweite von 80 m bei nur 6,12 m Pfeilhöhe. Die 80 m breite Brückenbahn wird durch zehn, je  $3\frac{1}{3}$  m von einander entfernte mittlere und durch zwei, je  $3\frac{1}{2}$  m von den äussersten Zwischenträgern entfernte Stirnrippen unterstützt und besteht aus wellenförmigen, unmittelbar auf die Längsbalken der Träger befestigten Barlowschienen, worauf die makadamisirte Fahrbahn und die asphaltirten Fusswege ruhen. Jede der Tragrippen besteht aus einem schmiedeisernen, im Querschnitt I-förmigen Bogen von bzw. 1,4 m und 0,38 m Höhe am Widerlager und im Scheitel, einem wagrechten, im Querschnitt I-förmigen, schmiedeisernen Obergurt und einer beide Gurten verbindenden Füllung von schmiedeisernen, theils kreuz- theils I-förmigen Stäben in den Bogenschenkeln und von Blechplatten im Scheitel. Jeder Obergurt ist mit den beiden Landpfeilern mittels zweier durchgehender, von einer gusseisernen Ankerplatte nebst einem Vorsteckkeil gehaltener Schienen verbunden, welche durch je 8, in den Pfeiler eingemauerte Vertikalanker niedergehalten sind. Die Bogen stützen sich gegen gusseiserne Widerlagplatten nebst dazwischen eingeschalteten Regulirungskeilen und sind an ihren Anfängen durch starke schmiedeiserne Winkel verstärkt. Die Querverbindungen der Tragrippen bestehen in I-förmigen, auf und unter alle Bogen genieteten Schienen, in starken, radial zwischen die Bogen eingeschalteten, rings mit Winkeleisen eingefassten Blechplatten, in einer zickzackförmigen Versteifung zwischen den Stirn- und den benachbarten Zwischenrippen und in walzeisernen, an den Kreuzungspunkten der Füllungsstäbe zwischen die letzteren eingeschalteten Röhren mit durchgehenden, an die Stirnrippen der Brücke geschraubten Bolzen. Der niedrige Scheitel dieser Brücke war von ihrem Erbauer gewählt worden, um den nachtheiligen Einfluss der Temperatur auf die Spannungen der äussersten Bogenlamellen möglichst zu vermindern, wodurch jedoch zugleich die Biegefestigkeit der Tragrippen in ihren Scheiteln sehr vermindert wurde.

In den Jahren 1857—58 wurde durch Cesanne die erste Blechbogenbrücke und zwar in der Linie Wien-Szegedin über die Theiss bei Szegedin mit 8 Oeffnungen von je 42,34 m Spannweite und  $\frac{1}{3}$  m Pfeilhöhe auf sieben eisernen, röhrenförmigen Zwischen- und zwei massiven Landpfeilern erbaut. Jede Bogenöffnung enthält 4 Tragrippen, deren jede aus einer unteren parabolischen Gurtung, einer den Scheitel des Parabelbogens tangirenden, wagrechten oberen Gurtung sowie aus einer durch 16 Vertikalständer und 14 Diagonalbänder gebildeten Verbindung beider besteht. Alle diese Trägertheile haben einen I-förmigen, aus Blechen und Winkeleisen zusammengesetzten Querschnitt und sind an ihren Stössen durch ausgerundete Knotenbleche verbunden. Zwischen die beiden Gurte sind zwei aus Transversalen und Diagonalen bestehende Windverbände, zwischen die Vertikalen lothrechte, durch theils einfache, theils doppelte Kreuze versteifte Querverbände eingeschaltet. Die Fahrbahn besteht aus Querschwellen, welche auf den oberen Gurten der Tragrippen ruhen und die beiden Geleise sowie den Bohlenbelag mit dem schmiedeisernen Geländer aufnehmen. Die Bogenenden sind durch eine Eisenplatte verstärkt, welche sich durch Vermittelung eiserner Untersätze gegen die auf den Kämpfern der Widerlager ruhenden Schuhe stemmen und können an den Landpfeilern durch vier Paar, zwischen Bogenfuss und Bogenschuh

eingesetzte, Stahlkeile regulirt werden. Die oberen Gurte sind über den Zwischenpfeilern verbunden und mit den Widerlagern verankert: eine Anordnung, von welcher man später durch Lösung der Verankerung Abstand, da die Bogen bei ihren Längenveränderungen durch Temperaturwechsel die Landpfeiler mitnahmen und in denselben Risse veranlassten. Da hierauf die Widerlager unbeweglich blieben aber die Bogen, bei ihrer eignen Zusammenziehung, sich von ihren Schuhen abhoben, war man genöthigt, die hierdurch entstandenen Zwischenräume durch eingetriebene Keile so fest zu spannen, dass sie sich auch bei der grössten Kälte nicht abheben konnten.

## 2. Die neueren Constructionen.

Um die erwähnten Missstände zu beseitigen, eine bessere Vertheilung der angreifenden Kräfte zu bewirken und den Bogenträgern an ihren Anfängen bei Belastungs- und Temperaturwechsel eine freie Bewegung zu gestatten, brachten die Ingenieure Couche und Salle bei der i. J. 1858 dem Verkehr übergebenen, schmiedeisernen Eisenbahnbrücke über den Kanal St. Denis in der Linie Paris-Creil von 45,162 m Spannweite und 4,708 m Pfeilhöhe an deren Bogenanfängen Zapfen an, um welche sich die bogenförmigen Unterrahmen drehen konnten. Sie dachten bereits an eine dritte bewegliche Verbindung der Brückenhälften im Scheitel, um denselben eine freie, von Temperaturspannungen unabhängige Bewegung zu gestatten, mussten dieselbe jedoch, wegen ungenügender Constructionshöhe, für die Bogenfüllung aufgeben. Die genannte Brücke übersetzt den Kanal St. Denis unter einem Winkel von  $30^{\circ} 29'$  der Brücken- bzw. Eisenbahn- zur Canalaxe und besteht aus zwei verschiedenen, zweigeleisigen Brücken mit zusammenhängenden Widerlagern, wovon die ältere mit gusseisernen Polonçeau'schen Röhrenbogen überbrückt, die neuere mit vier Bogenrippen auf Drehzapfen an ihren Stützpunkten versehen ist. Diese Tragrippen bestehen aus einem bogenförmigen Unter- und einem graden, wagrechten Oberrahmen, welche durch je 14 Vertikalständer und 12 Diagonalbänder verbunden werden. Die bogenförmigen Unterrahmen endigen in einen, durch staffelförmig aufgelegte Eisenplatten verstärkten, mit der dem Drehzapfen entsprechenden Höhlung versehenen Schuh und stemmen sich gegen einen halbcylindrischen Bolzen, welcher in einem gusseisernen, in die Widerlagspfeiler eingelassenen Widerlagstuhl auf Keilen — mittelst deren die Aufstellung der Bogen regulirt wurde — ruht.

Die theoretische Behandlung der mit Charnieren versehenen Bogenbrücken, bei welchen die Charniere als festbestimmte Durchgangspuncte aller Resultanten der angreifenden Kräfte und somit als die Mittel angesehen werden, eine der genauen statischen Berechnung entsprechende Ausführung der Bogenbrücken zu ermöglichen, gaben zuerst Köpke und Mation in dem Jahrgange 1860 bzw. der Zeitschrift des Hannover'schen Architekten- und Ingenieurvereins und der Annales des ponts et chaussées.

Die ersten, mit Scheitelcharnieren ausgeführten Brücken sind die im Jahre 1864 von Herrmann erbaute Blechbogenbrücke über die Wien und die i. J. 1865 dem Verkehr übergebene Unterspreebrücke bei Berlin. Die letztere, anfangs für Eisenbahn- und Strassenverkehr, seit Verlegung der Bahnverbindungsbahn nur für Strassenverkehr bestimmte Brücke übersetzt die Spree unter einem Winkel von  $81^{\circ} 28'$  zum Stromstrich mit 3 Oeffnungen von je 16,39 m nebst zwei, an beiden Ufern der Spree hinführenden Strassen mit Oeffnungen von je 12,71 m lichter Weite und besitzt in jeder Oeffnung vierzehn Bogenträger mit einem Pfeilverhältniss von  $\frac{1}{12}$ , wovon die früher zur Unterstützung des Eisenbahngleises dienenden stärker als die übrigen construiert sind. Sämmtliche Bogenträger bestehen aus einer unteren, im Querschnitt rechteckigen, nach den Widerlagern hin verbreiterten und aus einer oberen, von zwei [-Eisen gebildeten Gurtung, welche durch senkrechte Stützen und einfache Diagonalbänder verbunden sind. Die Charniere wurden

aus gusseisernen, in den Lagerflächen sorgfältig abgedrehten Gelenkbolzen von 15,7 cm Durchmesser nebst 5,5 cm Wandstärke bei den grösseren und von 11,75 cm Durchmesser nebst 4,9 cm Wandstärke bei den kleineren Oeffnungen gebildet und mit gleichfalls gusseisernen, ausgeschliffenen Lagern versehen. Diese, aus je 2 Hälften bestehenden Lager sind mit den Anfängen und Scheitelenden der Bogen mittelst besonderer angegossener Lappen verbolzt, während die mit halben Lagern versehenen Stützplatten mit den Widerlagern verankert sind. Zur Unterstützung der gepflasterten Fahrbahn, der sandsteinernen Wasserrinnen und der aus Granitplatten bestehenden Trottoirs dienen gusseiserne, auf den oberen Gurten der Bogenträger ruhende, mit Wasserabzugsöffnungen versehene Platten, während die früher benutzten Fahrschienen und Längsbohlen nebst den sie unterstützenden Querschwellen auf den oberen Gurten der zugehörigen Bogenträger ruhten.

In Frankreich erfolgte die Anwendung zweier Charniere an den Anfängen und eines dritten Charnieres im Scheitel der Bogen erst bei der i. J. 1867 vollendeten Militärstrassenbrücke über den Canal St. Denis bei Villette, sowie bei einer in demselben Jahre aufgestellten Wegbrücke in der öffentlichen Anlage Butte Chaumont bei Paris. Die erstere hat 42 m Spannweite und ist schräg angelegt. Ihre Fahrbahn besteht aus einer 20 cm starken Beschotterung mit einem 2 cm starken Asphaltüberzug und wird von Bogen getragen, deren Höhe im Scheitel nur je 32 cm beträgt. Die Aufstellung dieser Brücke wurde ohne Lehrgerüste und ohne Störung der Kanalschiffahrt derart bewirkt, dass man nach Verlegung der gusseisernen, mit den Drehzapfen versehenen Widerlagplatten die zusammengehörigen Bogenhälften mit Hebezeugen aufzog, zuerst mit ihren Zapfenlagern auf jene Zapfen niederliess, hierauf mit ihren Scheiteln gegeneinander neigte, mittelst Einschaltung des Scheitelbolzens zum Schluss brachte und endlich mittelst der an den Bogenanfängen untergelegten Keile regulirte.

Neben den Charnierbogenbrücken erfuhren indess auch die elastischen Bogenbrücken weitere Anwendung und Vervollkommnung. Hierher gehören die i. J. 1859 von Hartwich erbauten schiefen Ueberbrückungen der Trankgasse und des Lupusplatzes in Cöln, die im Jahre 1863 von Schmick ausgeführte Brücke über die Lahn in Ems, sowie die von Gerwig erbauten Brücken über den Rhein bei Constanz und über eine Schlucht bei Waldshut. Jede der beiden erstgenannten Brücken besitzt vier, je 1,73 m von einander entfernte Bogen mit I-förmigem Querschnitt der unteren kreisförmigen und oberen, in deren Scheitel auslaufenden geraden Gurtung, welche durch Vertikale und Diagonale mit einander verbunden sind und deren Anfänge sich auf gusseiserne, mit 0,7 cm dicken Bleiplatten unterlegte, mit dem Mauerwerk verankerte Platten stützen. Die sodann erwähnte, 9 m breite Lahnbrücke wird von 7 je 1,5 m von einander entfernten Bogenträgern unterstützt, welche aus einer polygonalen unteren und einer wagerechten oberen Gurtung — beide mit I-förmigem Querschnitt — bestehen, die in den Bogenwickeln durch im Querschnitt kreuzförmige Vertikale und Diagonale verbunden sind. Zur Vermeidung schädlicher Materialspannungen bei Temperatur- und Belastungswechsel wurde die Höhe des Bogens im Scheitel auf 30 cm ermässigt. Die Unterlage der Fahrbahn wurde durch Brückschienen gebildet, welche auf die Obergurten der Querträger gelegt, mit Backsteinen ausgemauert und dann mit einer Betonschicht belegt wurden, in welche vor deren Abbinden eine Lage von Schottersteinen eingewalzt wurde. Die Trottoirs sind etwas über die Fahrbahn erhöht und mit sauber geschliffenen Sandsteinplatten abgedeckt. Die vier Blechbogenträger der Rheinbrücke bei Constanz hängen über alle drei Oeffnungen zusammen und überführen zwei Bahngeleise von je 3,9 m Breite, eine 5,85 m breite Strassenfahrbahn und zwei vorgekragte Trottoirs von je 2,1 m Breite. Die Blechbogen sind fast ganz geschlossen und besitzen nur in den Bogenwickeln kleine dreieckige, durch gitterartige Füllungen verzierte Durchbrechungen. Die

oberen Gurten derselben werden von hölzernen Querschwellen durchsetzt, welche sowohl die Langschwellen der Geleise als auch die Streckbäume der Fahrbahn nebst deren Bohlenbelag aufnehmen. Die zwei Blechbogenträger der zuletzt erwähnten Schluchtbrücke bestehen aus einer geraden oberen und einer gekrümmten unteren Gurtung, welche sich im Scheitel berühren und in den Bogenwickeln mittelst im Querschnitt U-förmiger, im Kreuzungspunkt mittelst scheibenförmiger Futterbleche vernieteter Stäbe verbunden sind. Ueber den Bogen, welche durch Querbänder und Diagonalkreuze seitlich versteift sind, liegen Querschwellen, welche die Fahrgeleise aufnehmen.

Abweichend hiervon erhielt die in den Jahren 1862—64 in der Linie Coblenz-Lahnstein unter Hartwichs Oberleitung erbaute kühne Rheinbrücke bei Coblenz mit drei gleichen Oeffnungen von 96,65 m Spannweite, in jeder derselben drei — aus je einem durch Fachwerk verbundenen concentrischen Doppelbogen bestehende — Tragrippen, deren Anfänge sich auf Kämpfercharniere stützen, während man von den Scheitelgelenken als einer angeblich zu künstlichen, durch die infolge des Temperaturwechsels voraussichtlich eintretenden Materialspannungen nicht gebotenen Construction absah. Die gleichzeitig zu Eisenbahn- und Strassenverkehr dienende Brückenbahn ruht auf einem Obergurt, welcher den Bogenträger annähernd tangential zu seinem unteren Bogen durchschneidet und nur durch Vertikale mit dem Untergurt verbunden ist. Der letztere besteht aus zwei 3,14 m von einander entfernten, aus Platten und Winkeleisen zusammengesetzten Gurten mit U-förmigem Querschnitt, welche durch ein System gekreuzter, im Querschnitt I-förmiger Gitterstäbe und senkrechter, durch Winkeleisen zu einem I-förmigen Querschnitt verstärkter Platten verbunden sind. An den beiden Enden sind die Gurten des Bogens nach dessen Stützpunkt hin zusammengezogen, wo sich zugleich die zur Drehung dienende Pfanne befindet, während der in dieselbe passende Halbzapfen in einen starken, mit den Widerlager verankerten, durchbrochenen, gusseisernen Schuh eingelassen ist. Verkröpfte, gusseiserne Platten am Bogenende und Widerlager, zwischen welche doppelte Keile eingeschaltet sind, beugen einem Herabgleiten der Bogenenden vor, ohne deren Zapfendrehung zu verhindern. Nach der aufgestellten Berechnung sollte sich beim Zusammentreffen der grössten Temperaturdifferenzen mit der grössten Belastung der mittlere normale Bogenstand im Scheitel um 8 cm ändern und für diesen selten oder nie eintretenden Fall die Druckspannung des qcm der Bogengurtungen 976 kg betragen. In der That hat sich die Construction dieser Brücke so gut bewährt, dass die i. J. 1873 an Stelle eines früheren Trajectts der Rheinischen Bahn erbaute Brücke über den Rhein bei Rheinhausen fast ganz dieselbe Anordnung und Construction erhielt. Unter die nur mit Kämpfercharnieren versehenen Brücken gehören die i. J. 1865 in der Linie Osterrath-Essen von Hartwich erbaute, zweigeleisige Brücke über die Ruhr bei Mülheim mit drei durch eiserne Bogen überbrückten Stromöffnungen von je 37,08 m Spannweite und die in der Linie Wien-Triest von Etzel erbaute, dreigeleisige Brücke über die Drau bei Marburg mit 3 Oeffnungen von je 42,47 m Spannweite. Die Ruhrbrücke hat in jeder Stromöffnung vier, je 1,78 m von einander entfernte, unter sich verbundene, parabolische Bogenträger, wovon jeder aus einer unteren bogenförmigen und einer oberen geraden Gurtung, beide mit I-förmigem Querschnitt, ferner aus im Querschnitt +förmigen Vertikalen und Diagonalen besteht. Zwischen die Gurten eingeschaltete Windversteifungen und zwischen die Vertikalen eingeschaltete Querverbände verhindern eine Seitenverschiebung. Die aus Gusseisen bestehenden, mit einem Spalt versehenen, nach unten allmählig verdickten Bogenschuhe sind mit den schmiedeisernen, in jenen Spalt eingelassenen Bogenanfängen verschraubt und enthalten die Pfanne für den Halbbolzen, welcher in einem gusseisernen, mit einer Bleiplatte unterlegten und mit dem Mauerwerk verankerten Bock ruht und durch zwei Keile regulirt werden kann, während die Enden des oberen Gurts auf gusseisernen, mit dem Mauerwerk verankerten Schiebepplatten ruhen.

Die vier Bogenträger der Draubrücke zeigen eine im Allgemeinen ähnliche Anordnung, nur sind die Bogenfüsse der unteren Gurtung nicht aus Gusseisen construirt, sondern zu beiden Seiten mit je 6 Winkeleisen und treppenartig übereinander genieteten Blechplatten armirt und stützen sich mittelst eines eingelassenen halbcylindrischen Lagers auf den — in einem gusseisernen, mit dem Widerlager verankerten Schuh ruhenden — durch zwei unterlegte Keilpaare regulirbaren Drehbolzen.

Die Anwendung von je 3 Charnieren zeigen die in dem Jahre 1872 vollendete Tegetthoffbrücke in Wien \*), sowie die Ueberführung der Potsdam-Magdeburger-Bahn über die Ulrichsstrasse in Magdeburg; die Anwendung je zweier Charniere die im Jahre 1877 vollendete Brücke über den Neckar bei Heidelberg sowie die in der Linie Ober-Lahnstein-Coblenz-Güls befindliche, i. J. 1879 vollendete Brücke über den Rhein oberhalb Coblenz, während die in dem Jahre 1876 vollendete Margarethenbrücke über die Donau in Pest \*\*), die Bogenbrücke über den Mississippi bei St. Louis \*\*\*) , die beiden in den Jahren 1875 und 1877 dem Verkehr übergebenen Bogenbrücken über den Main bei Frankfurt †) und die Brücke über die Mosel bei Güls ohne Gelenke construirt sind.

Die 11 Bogen der von Köstlin und Battig construirten, mit einer Oeffnung versehenen Tegetthoffbrücke besitzen eine Stützweite von 34,55 m, eine Pfeilhöhe von 2,98 m und bestehen in walzeisernen, aus je 4 Quadranteisen zusammengesetzten Röhren. Die Obergurten, Vertikalen und Diagonalen sind aus Winkeleisen gebildet, welche erstere die in einem Schotterbett auf hängenden Buckelplatten ruhende, aus Granitwürfeln bestehende, 11,4 m breite Fahrbahn nebst den zu beiden Seiten befindlichen, je 3,8 m breiten Banketten aufnehmen. An den Enden sind die Röhrengurten in gusseiserne Kapseln mit den, zur Aufnahme der Charnierbolzen erforderlichen, Lagern gesteckt und mit denselben verschraubt. Während im Scheitel ein 20 cm starker Rundbolzen eingelegt ist, befindet sich am Widerlager ein ebenso starker Halbbolzen, welcher in eine gusseiserne, mit dem Mauerwerk verankerte Platte eingreift.

Die Stützweite der Ulrichsstrassenbrücke beträgt 23,22 m, deren Pfeil 1,98 m und überführt dieselbe zwei Hauptpersonenzuggeleise, zwei Hauptgütergeleise, eine 2,2 m breite Fahrbahn und zwei auf Consolen ruhende Bankette von je 0,94 m. Die U-förmigen Gurte vereinigen sich am Scheitel zu einem rechteckigen Querschnitt, welcher die gusseisernen, zur Aufnahme des Scheitelbolzens dienenden Lager umschliesst. Ein ähnliches Lager ist zwischen den U-förmigen Querschnitt des Untergurts eingeschaltet und stemmt sich gegen einen Halbbolzen, der in einer mit dem Mauerwerk verankerten Stützplatte durch zwei Keile regulirbar befestigt ist. Infolge der bedeutenden und oft wechselnden Belastungen dieser Brücke bewährte sich diese Anordnung des Scheitelcharniers nicht, wesshalb man die Untergurten später durch Laschen verband und zwischen die Obergurten einen Keil einzog.

Die von Baer ausgeführte Neckarbrücke verbindet den westlichen Theil Heidelbergs direct mit dem an der Bergstrasse gelegenen Neuenheim, überführt eine Fahrbahn und 2 Bankette und besitzt 5 Oeffnungen von je 35 m Spannweite. Die Pfeilhöhe der Bogenträger misst 3,75 m, die Scheitelstärke derselben 0,6 m, die Länge der Obergurte 36 m und die Entfernung der Vertikalen je 2 m.

Die beiden, früher erwähnten Brücken der Verbindungs-Linie Oberlahnstein-Coblenz-Güls überführen zwei Geleise mittelst nur zweier, je 5 m von einander entfernter Bogenträger, auf welchen die beiden äussersten

\*) Vgl. Allg. Bauzeitung. Wien 1877. S. 12 ff.

\*\*) Vgl. Deutsche Bztg. Berlin 1876. S. 200.

\*\*\*) A. a. O. 1869 S. 468 ff. und 1871 S. 273 ff. auch Zeitschr. d. österr. Ing. u. Architekten-Vereins 1874 S. 75 ff. und Steiner über Brückenbauten in den Vereinigten Staaten von Nord-Amerika. Wien 1878. S. 152 ff.

†) Vgl. Ztschr. f. Baukunde. München 1879. S. 241 ff.

Schienenstränge direct, die beiden inneren Schienenstränge mittelst eingeschalteter Querträger ruhen, während die Bankette durch je 1,35 m breite, an die Aussenseiten der Hauptträger genietete Consolen unterstützt sind. Die Rheinbrücke besitzt 2 Oeffnungen mit je 106 m lichter und 107 m Stützweite bei 8,8 m Pfeilhöhe und besteht aus einem in zwei durchweg 2,6 m entfernte Gurten aufgelösten, mit gekreuzten Stäben ausgefüllten, parabolischen Bogen, einem geraden Obergurt und zwischen diese beiden eingeschalteten, durchschnittlich je 2,22 m entfernten, in der Mitte durch ein Längsband versteiften Vertikalen. Der Bogengurt endigt in ein Dreieck mit am Stützpunkt abgerundeter Spitze, welche sich gegen ein segmentförmiges Lager auf gusseisernem, mit dem Mauerwerk verankerten Stützbock stemmt.

Die aus zwei, unter einem Situationswinkel von rund 150° zusammenstossenden Theilen bestehende Margarethenbrücke überschreitet die zu beiden Seiten der Margaretheninsel vorbeiströmenden Donauarme mit je 3 Oeffnungen von 73,5 bis 100,69 m Spannweite bei 5,13 bis 7,37 m Pfeilhöhe und besitzt eine Breite von 16,75 m der Fahrbahn und von je 2,84 m der aussenliegenden Bankette. Die sechs Träger jeder Oeffnung sind je 2,65 m von einander entfernt, bestehen aus einem bogenförmigen Unter- und einem geradlinigen Obergurt, welche durch Vertikale und gekreuzte Diagonale verbunden sind. Die Auflager bestehen aus gusseisernen, mit dem Mauerwerk verankerten Lagerplatten mit Keilen, gegen welche sich die Bogenanfänge stemmen.

Zu den bedeutendsten Bogenbrücken ohne Charniere gehört die erwähnte, combinirte Eisenbahn- und Strassenbrücke über den Mississippi, deren 3 Oeffnungen mit Stahlträgern von 156,97 m Spannweite bei 14,47 m Pfeilhöhe in der Mitte und je 151,48 m Spannweite bei 13,36 m Pfeilhöhe an den Seiten überbrückt sind. An jedem Ufer schliessen sich 5 massive, die Werften überspannende Bogen von je 7,92 m Lichtweite für die über den Bogenscheiteln liegenden Eisenbahngleise an, über welchen sich sodann eine aus 20 Oeffnungen gebildete Bogenstellung zur Unterstützung der Strassenfahrbahn erhebt. Der Abstand der concentrischen Bogengurte beträgt 3,66 m. Beide wurden als aus 6 gewalzten, von Stahlreifen umschlossenen Stahldauben zusammengesetzte Gussstahlröhren von 857 mm Durchmesser construirt und beide Röhren durch ein System gleichschenkeliger Dreiecke gelenkartig verbunden. Ueber den Scheiteln dieser Dreiecke erheben sich ausgesteifte Vertikale, welche die Last der beiden Brückenbahnen auf die Hauptbogen übertragen. Die 4 Bogenträger einer jeden Oeffnung stemmen sich gegen mächtige, geneigte, mit den Widerlagpfeilern verankerte Stützplatten, während die Obergurten auf wagrechten, mit den Pfeileraufsätzen verankerten Lagerplatten ruhen. Die Montirung wurde mittelst hoher, über den Pfeilern errichteter Gerüste bewirkt, an welche man die Bogen mittelst fächerförmig angeordneter regulirbarer Drahtseile aufhing. Die ungleiche Erwärmung der Gurte sowie der beständige Temperaturwechsel erschwerten die Aufstellung der Bogen, insbesondere die Einfügung des Schlussstücks. Dies und die durch Temperaturwechsel in den vollendeten Bogen erzeugten nachtheiligen Spannungen bekehrten J. Eads, den Erbauer dieser Brücke zu der Ansicht, dass die Anwendung je dreier Gelenke der festen Einspannung der Bogen vorzuziehen sei, weil hierdurch jede Temperaturspannung vermieden werde und das System statisch bestimmt erscheine.

Unter den beiden früher erwähnten Mainbrücken besitzt die von Schmick erbaute, sogenannte Untermainbrücke 5 mit Eisen überbrückte Oeffnungen von 31,5; 35; 56,75; 35 und 31,5 m Spannweite, woran sich an dem Frankfurter Ufer eine 7,75 m weite überwölbte Oeffnung für Eisenbahnverkehr anschliesst. Die Brückenbahn besitzt einen 8,7 m breiten Fahrweg nebst zwei, je 2,9 m breiten Banketten und wird durch 11 gleichweit entfernte Tragrippen unterstützt, welche aus gebogenen Untergurten, geraden, nach der Mitte steigenden Obergurten und aus N-förmigem Fachwerk bestehn. Die Untergurten sind an den unteren Enden mit angeschraubten, gusseisernen Platten armirt und stem-

men sich gegen starke gusseiserne, in die Widerlager eingelassene Stützplatten, auf welchen sie mittelst eingelegter doppelter Keilpaare regulirt wurden, während die Enden der Obergurten auf gusseisernen Lagerplatten ruhen. Die Brückenbahn liegt auf quer über die Obergurte gestreckten Zoresen, welche bei der Fahrbahn mit einer Betonlage, bei den Fussbahnen mit einer Betonschichte auf einer Unterlage von Sand bedeckt sind; die bei jener ein Klotzpfaster, bei dieser eine Asphaltlage aufnimmt.

Die zweigeleisige Moselbrücke bei Güls mit zwei Hauptträgern und zwei ausgekragten Banketten besitzt drei mit eisernen Bogen überbrückte Oeffnungen von je 64 m lichter und 65,6 m Stützweite bei 7 m Pfeilhöhe, an welche sich zwei je 17,26 m weite überwölbte Oeffnungen anschliessen. Die Hauptträger bestehen aus einem parabolischen, durchweg 0,726 m hohen Unter- und einem wagerechten Obergurt, welche beide durch gekreuzte Stäbe verbunden sind. Die Bogenfüsse endigen in eine ebene Platte, welche auf einer gusseisernen, mit dem Mauerwerk verankerten, in der Mitte ausgehöhlten Stützplatte ruht.

Nach dem Vorstehenden hat in der Gegenwart, mit Ausnahme einer einzigen neueren Brücke, das zähere Walzeisen das sprödere Gusseisen als Constructionsmaterial der Bogenträger verdrängt und dieses auch nur bei einer auf Biegung wenig beanspruchten Charnierbogenbrücke Anwendung gefunden. Der Stahl, welcher zur Herstellung der Tragrippen bis jetzt nur vereinzelt benutzt worden ist, dürfte bei dem fast gleichen Preise und der mindestens doppelten Druckfestigkeit gegenüber dem Walzeisen eine allgemeinere Anwendung finden, wenn es ge-

lingt, denselben homogener und zuverlässiger herzustellen, als dies zur Zeit möglich ist.

Was das Constructionssystem betrifft, so haben die Bogenbrücken der neueren Zeit theils keine, theils zwei, theils drei Charniere erhalten. Die ersteren beiden Systeme, welche als elastische Bogenträger erscheinen, haben, ausser den durch die Belastung erzeugten, noch die durch Temperaturwechsel veranlassten Spannungen aufzunehmen und werden theils mit gebogenem und geradem Gurt mit eingeschaltetem Fachwerk, theils mit einem gebogenen, in zwei Gurte zerlegten Untergurt mit eingeschaltetem Fachwerk construirt: je nachdem alle Theile des Trägers oder nur der gegliederte Untergurt desselben sämtliche Druck- und Biegungsspannungen aufnehmen soll. Die mit 3 Charnieren versehenen unelastischen Bogenträger dagegen werden durchweg mit geschlossener oder gegliederter, also versteifter Tragwand construirt. Die letzteren dürften als die theoretisch, die beiden ersteren als die praktisch rationellsten anzusehen sein und muss es einer reiferen praktischen Erfahrung, fortgesetzten wissenschaftlichen Behandlung und sorgfältigen Beobachtung ausgeführter Brücken überlassen bleiben, das eine oder andere dieser Systeme für concrete Fälle als das relativ beste zu bezeichnen. Als eine Verbesserung des Bogenträgers mit 3 Charnieren ist die auf Tafel 4 dargestellte Durchführung des zwischen den Obergurt eingeschalteten continuirlichen Windverbandes anzusehen.

Nach diesen Ergebnissen sind in den nachfolgenden Abschnitten als die zur Zeit praktisch wichtigsten nur die schmiedeisernen Bogenbrücken, unter diesen aber alle die genannten Systeme zu berücksichtigen.

## II. Statische Berechnung.

### I. Die schmiedeisernen Bogenträger im Allgemeinen.

Betrachtet man den Träger einer schmiedeisernen Bogenbrücke von der Stützweite  $l$  und bezeichnet mit

A den lothrechten Gegendruck	}	der linken Stütze,
H den Horizontaldruck		
B den lothrechten Gegendruck	}	der rechten Stütze,
H <sub>1</sub> den Horizontaldruck		

so ergeben sich aus den drei allgemeinen Bedingungen des Gleichgewichtes der äusseren Kräfte gegen lothrecht und wagerecht fortschreitende, sowie gegen drehende Bewegung von den vier unbekanntenen äusseren Kräften  $A$ ,  $B$ ,  $H$  und  $H_1$  die drei, Kräfte  $B$ ,  $H$  und  $A$ , während die vierte Kraft  $H_1$  unbestimmt bleibt\*).

Führt man in einem beliebigen Abstände vom linken Stützpunkt einen lothrechten Schnitt, ersetzt die in den durchschnittenen Gurten stattfindenden Widerstände durch äussere Kräfte und bezeichnet mit

$V_x$  die Vertikalkraft in jenem Schnitte,  
 $H_o$  die Horizontalkraft der oberen Gurtung,  
 $H_u$  die Horizontalkraft der unteren Gurtung,

so ergeben sich aus den drei allgemeinen Bedingungen des Gleichgewichtes der äusseren und inneren Kräfte die drei inneren Kräfte

$$V_x, H_u, \text{ und } H_o,$$

während der Horizontalwiderstand  $H$  auch hier unbestimmt bleibt.

Setzt man, um ihn zu bestimmen,  $H_o=0$ , was einer Unterbrechung des oberen Gurts, also einer Berührung nur der unteren Gurthälften in ihren Scheiteln entspricht und versieht dieselben dort und an ihren beiden Füssen mit Gelenken, so entstehen die Charnierbogenträger. Findet eine Unterbrechung des oberen Gurtes nicht statt, so

\*) Die Ableitung dieses und des nachfolgenden Resultates s. Heinzerling, Grundzüge d. constr. Anordnung u. stat. Ber. d. Brücken- u. Hochbau-Constructionen. Lpzg. 1874. II. Sp. 35 ff.

bildet der Bogenträger einen gekrümmten elastischen Balken mit entweder drehbar beweglichen, oder festverankerten Enden, also einen elastischen Bogenträger und man bestimmt alsdann den Horizontalwiderstand  $H$  mit Hilfe der Elasticitätstheorie. In beiden Fällen hängt die statische Berechnung der Bogenträger von den Kräften ab, welche ihn auf Drehung und auf Verschiebung nach zwei zu einander senkrechten Richtungen beanspruchen.

Bezeichnet  ${}^aM$  das Angriffsmoment und  ${}^wM$  das Widerstandsmoment eines Bogenträgers, so erfordert dessen Construction, dass das grösste Angriffsmoment dem kleinsten Widerstandsmomente höchstens gleich oder

$$1) \dots \dots \dots {}^aM_{\max} \leq {}^wM_{\min},$$

dass die grösste Axialkraft dem kleinsten Axialwiderstand eines Querschnittes höchstens gleich oder dass

$$2) \dots \dots \dots {}^aT_{\max} \leq {}^wT_{\min}$$

und dass die grösste Scheerkraft dem kleinsten Scheerwiderstand jenes Querschnittes höchstens gleich oder dass

$$3) \dots \dots \dots {}^aS_{\max} \leq {}^wS_{\min}$$

sei. Hierbei bestehen  ${}^aM$ ,  ${}^aT$  und  ${}^aS$  aus den Antheilen, welche die Verkehrslast, das Trägergewicht und das Gewicht der Brückenbahn, bei den elastischen Bogenträgern ausserdem die Temperatur liefern. Die Verkehrsbelastung besteht bei Eisenbahnbrücken und Strassenbrücken aus ungleichen, ungleich vertheilten Einzellasten, deren ungünstigste — in dem zu berechnenden Trägertheile die relativ grösste Anspruchnahme hervorrufende — Laststellung zu ermitteln ist. Sie kann nur annäherungsweise als eine gleichförmig, entweder stetig oder auf Knotenpunkte vertheilte, das Eigengewicht der Träger meist als eine gleichförmig vertheilte, das Eigengewicht der Brückenbahn als eine entweder stetig oder auf Knotenpunkte vertheilte Belastung in die Rechnung eingeführt werden.

A. Bestimmung der grössten Angriffsmomente.  
 a. Ungleiche und ungleich vertheilte Einzellasten.  
 Wird durch einen Charnierbogenträger mit der Spannweite  $l$  und der Pfeilhöhe  $f$  ein beliebiger Schnitt  $\alpha\beta$  geführt und die linke Hälfte des Trägers links und rechts von dem Schnitte bezw. mit  $P$  und  $Q$ , die rechte Hälfte des Trägers mit  $R$  belastet, so rufen diese Gewichte in dem Stützpunkt  $A$  einen geneigten Stützendruck hervor, welcher sich in die lothrechte und wagrechte Componente  $A$  und  $H$  zerlegen lässt. Für einen beliebigen — im Abstand  $a$  und  $b$  von der bzw. linken und rechten Stütze und  $k$  von einer durch die Stützpunkte  $A$  und  $B$  gelegten Horizontalen befindlichen — Drehpunkt  $D$  ergibt sich mit Bezug auf die Bezeichnungen der Figur 1

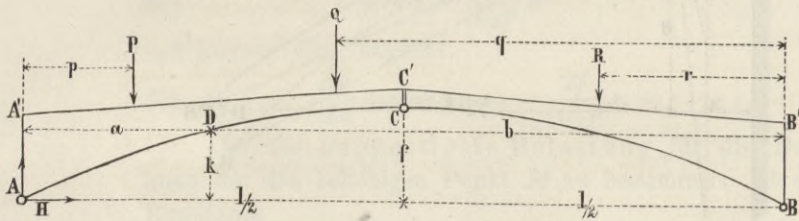


Fig. 1.

das Angriffsmoment

4)  $M = -P(a-p) + Aa - Hk$

Bezieht man sämtliche Momente auf den rechten Stützpunkt  $B$ , so ergibt sich

5)  $A = P \frac{l-p}{l} + Q \frac{q}{l} + R \frac{r}{l}$

Führt man einen Schnitt durch den Scheitel  $C$  und bezieht auf ihn die Momente aller auf die linke Trägerhälfte wirkenden äusseren Kräfte, so erhält man

6)  $H = \frac{l}{f} [A \frac{l}{2} - P(\frac{l-p}{2}) - Q(q - \frac{l}{2})]$

Werden die Werthe von  $A$  und  $H$  in Gleichung 4 eingeführt, gehörig vereinfacht und  $b$  statt  $l-a$  gesetzt, so ergibt sich das reducirte Angriffsmoment

7)  $M = Pp(\frac{b}{l} - \frac{k}{2f}) + Q(q \frac{a}{l} - (1-q) \frac{k}{2f}) + Rr(\frac{a}{l} - \frac{k}{2f})$

Verschiebt man, um die dem Maximum des Angriffsmoments entsprechende ungünstigste Laststellung zu finden, die Lasten  $P$ ,  $Q$  und  $R$ , welche ihren gegenseitigen Abstand nicht ändern, um  $dx$  nach rechts, so wächst  $p$  um  $dx$ , während  $q$  und  $r$  um  $dx$  abnehmen, mithin erhält man durch Differentiation der Gleichung 7)

$$\frac{dM}{dx} = P(\frac{b}{l} - \frac{k}{2f}) - Q(\frac{a}{l} + \frac{k}{2f}) - R(\frac{a}{l} - \frac{k}{2f})$$

Je nachdem dieser Ausdruck, nach Einführung der Zahlenwerthe, positiv oder negativ, also

8)  $P(\frac{b}{l} - \frac{k}{2f}) - Q(\frac{a}{l} + \frac{k}{2f}) - R(\frac{a}{l} - \frac{k}{2f}) > 0$   
 $P(\frac{b}{l} - \frac{k}{2f}) - Q(\frac{a}{l} + \frac{k}{2f}) - R(\frac{a}{l} - \frac{k}{2f}) < 0$

wird, müssen die Lasten bzw. nach rechts oder nach links verschoben werden, um das Angriffsmoment bzw. zu vermehren oder zu vermindern. Die ungünstigste Laststellung wird alsdann durch den Fall bestimmt, worin Gleichung 8, nach Einführung aller Zahlenwerthe, aus dem positiven in den negativen Werth übergeht.

Nimmt man an, dass eine Einzellast in  $\gamma\delta$ , s. Fig. 2, also so liegt, dass sie mit dem von ihr erzeugten Scheiteldrucke  $BC$  eine Resultante  $\gamma A$  erzeugt, welche durch den Drehpunkt  $D$  geht, so bringt dieselbe keine Drehung in diesem Punkt hervor, dagegen wird jede mehr links liegende Last ein positives und jede mehr rechts liegende Last ein negatives Moment hervorbringen, da der aufwärts wirkende Stützendruck  $A\gamma$  im ersteren Falle links, im letzteren Falle rechts an  $D$  vorbeigeht, also bzw. rechts und links dreht. Nennt man  $w$  den Abstand der Belastungsscheide  $\gamma\delta$  von dem Scheitel  $C$ , so ergibt sich mit Bezug auf Fig. 2

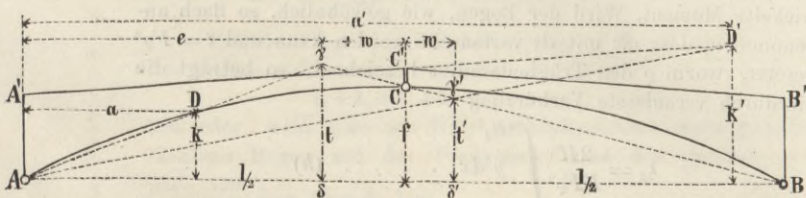


Fig. 2.

die doppelte geometrische Proportion

$$t = k \cdot \frac{l/2 - w}{a} = f \cdot \frac{l/2 + w}{l/2}$$

woraus der Werth

9)  $k = \frac{a(l/2 + w)}{2f(l/2 - w)}$

erhalten wird, und worin für alle rechts von der verlängerten Charnierdrucklinie  $AC$  fallende Drehpunkte  $-w$  statt  $+w$  zu setzen ist, s. Fig. 2. Führt man denselben in Gleichung 7 ein, so ergibt sich, nach gehöriger Reduction, das Angriffsmoment

10)  $M = Pp(\frac{l}{2} - w - a) + Qa(q - l/2 - w) - Rr \frac{2aw}{l/2 - w}$

Hierin bleibt das Moment der Lasten  $P$  positiv, so lang  $\frac{l}{2} > w + a$ , d. h. so lange der Drehpunkt links

von der verlängerten Charnierdrucklinie  $BC$  liegt und nimmt für alle zwischen den verlängerten Charnierdrucklinien  $BC$  und  $AB$  liegenden Drehpunkte einen negativen Werth an. Das Moment der Lasten  $Q$  bleibt positiv, so lange  $q > \frac{l}{2} + w$ , d. h. so lange deren Resultante

links von der zugehörigen Belastungsscheide liegt und wird negativ, wenn dieselbe auf die rechte Seite jener Belastungsscheide rückt. Das Moment der Lasten  $R$  behält für alle links von der verlängerten Charnierdrucklinie  $AC$  gelegene Drehpunkte einen negativen Werth, da in diesem Falle  $w$  links von der Scheitellinie liegt, also positiv bleibt. Um aus Gleichung 10 für jeden einzelnen Constructionstheil des Bogenträgers das Maximum des Angriffsmomentes zu erhalten, sind daher nur diejenigen Lasten beizubehalten, deren Momente gleiche Vorzeichen annehmen und diejenigen Abstände  $p$ ,  $q$  und  $r$  aufzusuchen, welche jenen Momenten den relativ grössten Werth verschaffen.

Verschiebt man nun, um die ungünstigste Laststellung auch hier zu erhalten, die Lasten  $P$ ,  $Q$  und  $R$ , welche ihren gegenseitigen Abstand nicht ändern, um  $dx$  nach rechts, so wächst wieder  $p$  um  $dx$ , während  $q$  und  $r$  um  $dx$  abnehmen, man erhält mithin durch Differentiation der Gleichung 10

$$\frac{dM}{dx} = \frac{P(l/2 - w - a) - Qa + R \frac{2aw}{l}}{l/2 - w}$$

Je nachdem dieser Ausdruck, nach Einführung der Zahlenwerthe, positiv oder negativ, also

11)  $\frac{P}{a} - \frac{Q}{l/2 - w - a} + \frac{R}{l/2} \cdot \frac{w}{l/2 - w - a} > 0$   
 $\frac{P}{a} - \frac{Q}{l/2 - w - a} + \frac{R}{l/2} \cdot \frac{w}{l/2 - w - a} < 0$

wird, müssen die Lasten, von welchen nur die erwähnten, durch das Maximum des Angriffsmomentes bedingten beizubehalten sind, bzw. nach rechts oder nach links verschoben werden, um das Angriffsmoment bzw. zu vermehren oder zu vermindern. Die ungünstigste Laststellung wird dann durch den Fall bestimmt, worin Gleichung 11, nach Einführung aller Zahlenwerthe, aus dem positiven in einen negativen Werth übergeht.

Liegt der Drehpunkt so, dass es zweifelhaft ist, ob eine in dem durchschnittenen Felde mit der Weite  $\lambda$  befindliche Last  $S$  — welche den Abstand  $s$  von dem linken Stützpunkt und den Abstand  $\lambda_1$  von dem rechten, in der Entfernung  $u + \lambda$  von dem linken Stützpunkte befindlichen Endpunkte jenes Feldes hat — links oder rechts von dem Schnitte anzunehmen ist, s. Textfigur 3, so ist die Last  $S$

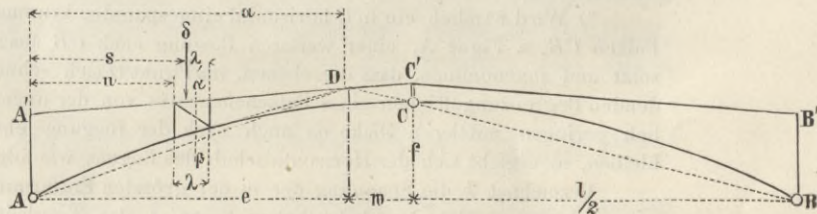


Fig. 3.

auf die beiden Endpunkte des Feldes zu reduciren. Die auf den linken Endpunkt reducirte Last ist  $S \frac{\lambda_1}{\lambda}$ , folglich

das Angriffsmoment der Last  $S$

$$12) \dots \dots \dots {}^a M_s = -S \frac{\lambda_1}{\lambda} (a-u) + Aa - Hk$$

und hierin der von  $S$  herrührende lothrechte Stützdruck

$$13) \dots \dots \dots A = S \cdot \frac{l-s}{l},$$

ferner der von  $S$  herrührende Horizontaldruck

$$14) \dots \dots \dots H = \frac{1}{f} \left( A \frac{l}{2} - S \left( \frac{l}{2} - s \right) \right)$$

Werden diese Werthe eingeführt, für  $k$  sein obiger Werth gesetzt und reducirt, so ergibt sich

$$15) \dots \dots \dots {}^a M_s = S \left( a \cdot \frac{l/2 - w - s}{l/2 - w} - \frac{\lambda_1}{\lambda} (a-u) \right)$$

daher mit Benutzung der Gleichung 10 das Gesamtanriffsmoment

$$16) \dots \dots \dots {}^a M_g = {}^a M + {}^a M_s.$$

Wird die Last  $S$  um  $dx$  nach rechts verschoben, so nimmt  $s$  um  $dx$  zu und  $\lambda_1$  um  $dx$  ab, daher ist durch Differentiation der Gleichung 15 nach  $x$

$$17) \dots \dots \dots \frac{d^a M_s}{dx} = S \left( \frac{a-u}{\lambda} - \frac{a}{l/2-w} \right),$$

also mit Benutzung der Gleichung 10 der gesammte Differentialquotient

$$18) \dots \dots \dots \frac{d^a M_g}{dx} = \frac{d^a M}{dx} + \frac{d^a M_s}{dx}.$$

Je nachdem dieser Ausdruck, nach Einführung der Zahlenwerthe positiv oder negativ, also

$$19) \dots \dots \dots P \left( \frac{l/2 - w - a}{\lambda} \right) - Qa + R \frac{2aw}{l} + S \left( \frac{l/2 - w (a-u)}{\lambda} - a \right) \geq 0$$

wird, müssen die Lasten, von welchen nur die durch das Maximum des Angriffsmomentes bestimmten beizubehalten sind, nach rechts oder nach links verschoben werden, um das Angriffsmoment bezw. zu vermehren oder zu vermindern. Die ungünstigste Laststellung wird dann durch den Fall bestimmt, worin Gleichung 19 aus dem positiven in einen negativen Werth übergeht.

Wird durch einen elastischen Bogenträger mit der Spannweite  $l$  und der Pfeilhöhe  $f$  ein Schnitt durch den beliebigen Punkt  $M(x, y)$  geführt, die linke Hälfte des Trägers in der Entfernung  $p$  von dem Scheitel mit  $P$  belastet, so ruft dieses Gewicht in dem linken Stützpunkt einen geneigten Stützdruck  $R$  hervor, welcher sich in die lothrechte und wagrechte Componente  $A$  und  $H$  zerlegen lässt. Mit Bezug auf Fig. 4 und für den Punkt

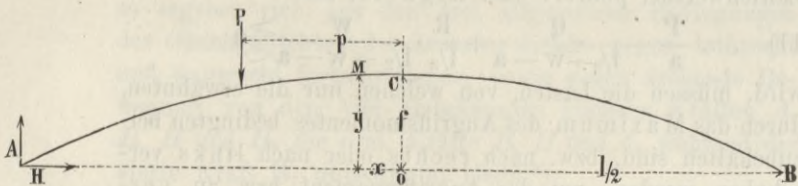


Fig. 4.

$M$  als Drehpunkt ergibt sich alsdann das Angriffsmoment

$$20) \dots \dots \dots {}^a M = A(l/2 - x) - Hy - P(p-x).$$

Mit Bezug auf den linken Stützpunkt  $B$  als Drehpunkt erhält man mit Hilfe der statischen Momente den lothrechten Stützdruck

$$21) \dots \dots \dots A = P \frac{l/2 + p}{l}$$

und, wenn ein parabolischer Bogen vorausgesetzt wird, mit Hilfe der Elasticitätstheorie\*) den wagrechten Stützdruck

\*) Wird nämlich ein in  $C$  horizontal eingespannter krummer Balken  $CB$ , s. Figur A, einer weiteren Biegung nach  $CB$  ausgesetzt und angenommen, dass die ebenen, im Punkt  $O$  sich schneidenden Begrenzungsflächen eines Balkenelementes von der unendlich geringen mittleren Dicke  $ds$  auch nach der Biegung eben bleiben, so ergibt sich der Horizontalschub des Bogens wie folgt.

Bezeichnet  $k$  die Spannung der in der grössten Entfernung  $a$  von der neutralen Axe befindlichen Faser,  $t$  das Trägheitsmoment des Balkenquerschnittes, so ist das Widerstandsmoment dieses Querschnittes gleich dem Angriffsmoment, also

$$\frac{k}{a} t = {}^a M \dots \dots \dots (a)$$

$$22) \dots \dots \dots H = P \cdot \frac{5p^4 - 30(l/2)^2 p^2 + 26(l/2)^4}{64(l/2)^3 f}$$

In beiden Werthen kann  $P$  eine Einzellast oder die Resultante eines Lastencomplexes darstellen. Besteht dieser Schliesst die Linie  $MO$  nach der Biegung mit ihrer ursprünglichen Lage den unendlich kleinen Winkel  $d\varphi$  ein und bezeichnet  $E$  den Elasticitätsmodul, so ist, weil innerhalb der

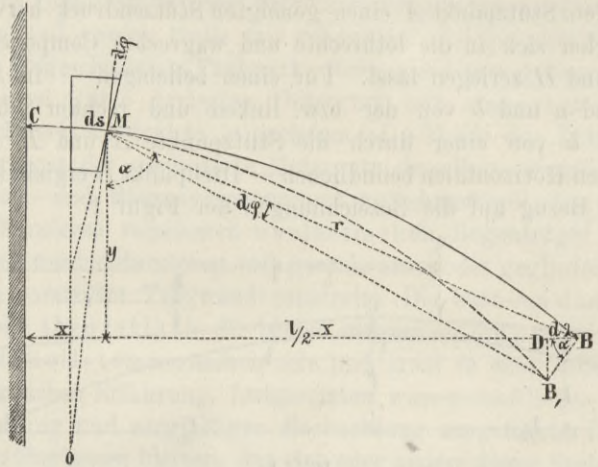


Fig. A.

Elasticitätsgrenzen die Spannungen den ihnen entsprechenden Längenveränderungen proportional sind,

$$\frac{k}{E} = \frac{ad\varphi}{ds}, \dots \dots \dots (b)$$

mithin durch Elimination von  $k$ ,

$${}^a M ds = E t d\varphi \dots \dots \dots (c)$$

Da bei der Biegung des Balken-Elementes  $BB_1 \perp MB$ , also mit Bezug auf die Bezeichnungen der Figur  $rd\varphi = d\lambda \cdot \frac{r}{y}$  oder

$d\varphi = \frac{d\lambda}{y}$  angenommen werden kann, so ergibt sich aus Gleichung  $c$

$$d\lambda = {}^a M \cdot \frac{y ds}{E t} \dots \dots \dots (d)$$

Wird die an dem Ende  $B$  des Balkens wirkende, wagrechte und lothrechte Componente der Resultante aller äusseren Kräfte bzw.  $H$  und  $V$  genannt, so ist das durch dieselben erzeugte, auf den Drehpunkt  $M$  bezogene Moment bzw.  ${}^a M_h = Hy$  und  ${}^a M_v = V \left( \frac{l}{2} - x \right)$ ; daher, wenn integrirt wird, die wagrechte Verschiebung  $\lambda$  des Balkenendes  $B$  durch jene Horizontalkraft

$$\lambda = \frac{H}{E} \int_0^{l/2} \frac{y^2 ds}{t}, \dots \dots \dots (e)$$

durch jene Vertikalkraft

$$\lambda = \frac{V}{E} \int_0^{l/2} \frac{(l/2 - x) y ds}{t} \dots \dots \dots (f)$$

Denkt man sich den betrachteten Bogen mit einem zu ihm symmetrischen verbunden, s. Fig. B, und beide Bogenhälften in

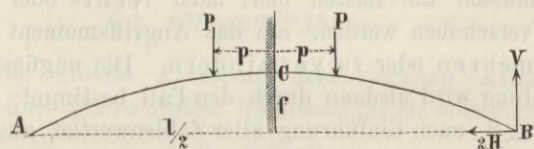


Fig. B.

den gleichen Abständen  $p$  von dem Scheitel mit den Lasten  $P$  beschwert, so wird der Vertikaldruck des Bogenendes  $V = P$  und der Horizontaldruck desselben  $2H$  werden.

Die Verkürzung der halben Sehne entsteht alsdann:

a) durch die von der Horizontalkraft  $2H$  allein bewirkte directe Verkürzung des halben Bogens. Nennt man den Querschnitt des Bogens  $F$ , so ist der Druck auf die Flächeneinheit  $\frac{2H}{F}$ , mithin die dadurch hervorgerufene Verkürzung

$$\lambda_1 = \frac{l}{2} \frac{2H}{FE} \dots \dots \dots (g)$$

b) durch das von der Horizontalkraft  $2H$  in Bezug auf sämtliche, zwischen  $B$  und  $C$  vorhandene Querschnitte entwickelte Moment. Wird der Bogen, wie gewöhnlich, so flach angenommen, dass  $dx$  mit  $ds$  vertauscht werden kann und  $t = F\varrho^2$  gesetzt, worin  $\varrho$  den Trägheitsradius bezeichnet, so beträgt die hierdurch veranlasste Verkürzung

$$\lambda_2 = \frac{2H}{EF\varrho^2} \int_0^{l/2} y^2 dx \dots \dots \dots (h)$$



Complex aus den Einzellasten  $P_1 P_2 \dots P_m$  mit den zugehörigen Abständen  $p_1 p_2 \dots p_m$  vom Scheitel, so ergibt sich der lothrechte und wagerechte Stützdruck einer jeden derselben auf analoge Weise, mithin wenn man deren Stützdrücke beziehungsweise mit  $A_1 A_2 \dots A_m$  und  $H_1 H_2 \dots H_m$  bezeichnet, der gesammte lothrechte Stützdruck

23)  $A = A_1 + A_2 + \dots + A_m$   
und der gesammte wagerechte Stützdruck

24)  $H = H_1 + H_2 + \dots + H_m$ ,  
mit Hülfe deren das Angriffsmoment  $M$  zu ermitteln ist. Bei dem parabolischen Träger ergibt sich für die Abscisse  $x$  die Ordinate

25)  $y = f - \frac{f}{(l/2)^2} x^2$

und hieraus die Tangente

26)  $\frac{dy}{dx} = \tan \alpha = -\frac{2f}{(l/2)^2} x$ .

Um die ungünstigste Belastung für die Drehung um den beliebigen Punkt  $M$  zu bestimmen, ist die Resultante

27)  $R = \sqrt{A^2 + H^2}$ ,  
welche mit der Horizontalen den Winkel  $\beta$  einschliesst, dessen trigonometrische Tangente

28)  $\tan \beta = \frac{V}{H} = \frac{8(l/2 + p)l^2 f}{5p^4 - 30(l/2)^2 p^2 + 25(l/2)^4}$

beträgt, zu berechnen oder wie folgt zu construiren. Trägt man nämlich den Winkel  $\beta$  auf und verlängert die Richtung der Resultante, bis sie die Krafrichtung von  $P$  schneidet, so ist die Ordinate dieses Schnittpunktes

29)  $Y = \left(\frac{l}{2} - p\right) \tan \beta = \frac{6,4(l/2)^2 f}{5(l/2)^2 - p^2}$

Legt man hierin dem Abstände  $p$  verschiedene Werthe bei, so stellt  $Y$  die Gleichung der Curve dar, auf welcher die Schnittpunkte der Resultanten  $R$  mit einer in den verschiedenen Abständen  $p$  vom Scheitel wirkenden Last  $P$  liegen. So ergibt sich z. B. für

$p$	0	$l/8$	$l/4$	$3l/8$	$l/2$
$Y$	1,280f	1,296f	1,348f	1,442f	1,600f

d. h. die Form der Kämpferdrucklinie  $A^1 C^1 B^1$ , Fig. 5,

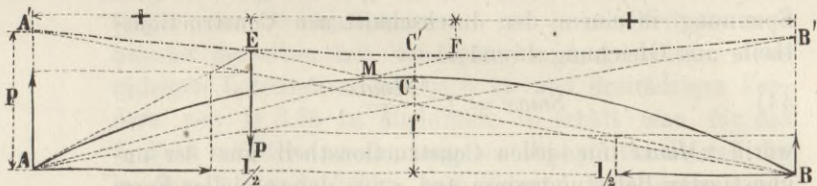


Fig. 5.

mit Hülfe deren sich für jede Last die Richtung des linken Kämpferdruckes  $R$  leicht bestimmen lässt, indem man die Richtung der Belastung  $P$  bis zum Durchschnitte

c) durch das von der vertikalen Auflagerreaction  $P$  in Bezug auf sämtliche, zwischen  $B$  und  $C$  befindliche Querschnitte erzeugte Moment. Wird in Gleichung (f)  $V = P$ ,  $ds = dx$  und  $t = FQ^2$  gesetzt, so ergibt sich die hierdurch veranlasste, abzuziehende Längenveränderung

$$\lambda_3 = -\frac{P}{EFQ^2} \int_0^{l/2} (l/2 - x)y dx \dots (i)$$

d) durch das von der Last  $P$  in Bezug auf sämtliche, zwischen deren Angriffspunkt und dem Scheitel gelegene Querschnitte erzeugte Biegemoment. Nach Einführung der Werthe für  $ds$ ,  $V$  und  $t$  ergibt sich aus Gleichung (f) diese Verkürzung

$$\lambda_1 = \frac{P}{EFQ^2} \int_0^p (p - x)y dx \dots (k)$$

Soll der Gegendruck des Widerlagers den Horizontaldruck des Bogens vollkommen vernichten, so muss

$$\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 = 0 \dots (l)$$

sein oder, wenn man mit  $EFQ^2$  multiplicirt und einen parabolischen Bogen mit der Pfeilhöhe  $f$  und der Ordinate  $y = f\left(1 - \frac{x^2}{(l/2)^2}\right)$  zu Grunde legt,

mit jener Curve verlängert und den Durchschnittspunkt beider mit dem Stützpunkt  $A$  verbindet. Construirt man hierauf mit Hülfe der Proportion

30)  $\frac{A}{P} = \frac{l/2 + p}{l}$ ,

wobei  $P = Y_0$  gemacht werden kann, den linken lothrechten Stützdruck  $A$ , so ist ausser dem linken Horizontaldruck  $H$  auch die Grösse des linken Stützdruckes  $R$  bekannt, wobei die Kräfte  $A$ ,  $H$  und  $R$  nach dem Krätemassstabe von  $P$  zu messen sind. Verbindet man nun den Durchschnittspunkt der Last  $P$  und der Kämpferdrucklinie mit dem rechten Stützpunkt  $B$ , so erhält man die Richtung des rechten Kämpferdruckes  $R^1$ . Construirt man hierauf in demselben Krätemassstabe mit Hülfe der Proportion

31)  $\frac{A}{P} = \frac{l/2 - p}{l}$

den rechten lothrechten Stützdruck  $A^1$ , so ist ausser dem rechten Horizontaldruck  $H^1$  auch die Grösse des rechten Stützdruckes  $R^1$  bekannt.

Verfolgt man nun — mit Hülfe der durch die Kämpferdrucklinie leicht zu bestimmenden Richtungen der Kämpferdrucke — die drehenden Wirkungen, welche diese letzteren auf einen Punkt  $M$  ausüben, so ersieht man aus Fig. 5, dass der rechte Kämpferdruck  $R$  mit einer rechts von  $M$  befindlichen Last  $P$  in  $M$  das Moment 0 hervorbringt, wenn deren Resultante  $FA$  durch  $M$  geht. Wirkt das Gewicht  $P$  rechts von  $F$ , so bringt es ein rechts drehendes also positives; wirkt es links von  $F$ , ein links drehendes also negatives Moment so lange hervor, bis das Gewicht  $P$  in einem Punkt  $E$  angelangt ist, worin die Resultante aus dem Gewichte  $P$  und aus dem Kämpferdruck  $R^1$  durch  $M$  geht. Hier bringt diese Resultante  $R^1$  das Moment 0 hervor, während sie ein links und rechts drehendes Moment erzeugt, wenn die Last bzw. rechts und links von  $E$  wirkt. Die durch  $F$  und  $E$  gehenden Lothrechten bilden demnach zwei Lastscheiden, innerhalb deren Lasten ein linksdrehendes also negatives; ausserhalb deren dieselben ein rechtsdrehendes also positives Moment erzeugen.

b. Gleiche und gleichförmig auf Knotenpunkte vertheilte Lasten.

Erhält der halbe Charnierbogenträger  $n$  gleiche Felder mit der Weite  $\lambda$ , also  $n - 1$  freischwebende Knotenpunkte und hat in jedem der letzteren die grösste Last  $g$  zu tragen, so wird für den beliebigen  $m$ ten Knotenpunkt  $P = gm$ ,  $Q = g(n - 1 - m)$ ,  $R = g(n - 1)$ ,  $p = \frac{m+1}{2} \lambda$ ,

$$q = \frac{l}{2} + \frac{n-m}{2} \lambda \text{ und } r = \frac{n}{2} \lambda,$$

welche Werthe in Gleichung 7 und 10 einzuführen sind.

Werden beim elastischen Bogenträger die Einzellasten  $P_1 P_2 \dots P_m$  einander gleich gesetzt und deren Abstände  $p_1 p_2 \dots p_m$  vom Scheitel so angenommen, dass sie successive gleiche, den Entfernungen jener Lasten entsprechende Differenzen bilden, so ergeben sich wie früher der lothrechte, wagerechte und geneigte Stützdruck  $A$ ,  $H$  und  $R$  sowie die beiden Lastscheiden und die ungünstigste Laststellung der Knotenlasten, von welchen die innerhalb derselben wirkenden wieder ein negatives, die ausserhalb derselben wirkenden ein positives Moment erzeugen.

c. Gleichförmig und stetig vertheilte Lasten.

Bezeichnet  $g^1$  die grösste, auf die Längeneinheit des Charnierbogenträgers gleichförmig vertheilte Belastung, so wird für den Abstand  $x$  des Schnittes vom linken

$$2H\left(\frac{8}{15} \cdot \frac{l}{2} f^2 + \frac{l}{2} q^2\right) = 5/12 P f (l/2)^2 - P\left(\frac{f}{2} p^2 - \frac{f}{12(l/2)^2} p^4\right) (m).$$

Wird hierin, wie in den meisten Fällen,  $\frac{q}{f} < \frac{1}{10}$  angenommen und auf beiden Seiten mit  $\frac{1}{15 q^2}$  multiplicirt, so ergibt sich für  $H$  der in Gleichung 22 enthaltene Werth.

Anflager  $P = 2pg^1$ ,  $Q = 2\left(q - \frac{l}{2}\right)g^1$ ,  $R = \frac{l}{2}g^1$ ,  $p = \frac{x}{2}$ ,  $q = \frac{1}{2}\left(\frac{3l}{2} - x\right)$  und  $r = \frac{l}{4}$ , welche Werthe in Gleichung 7 und 10 einzuführen sind.

Wird der elastische Bogenträger mit einer gleichförmig und stetig auf die Strecke  $p_2 - p_1$  vertheilten Belastung  $q$  beschwert, so erhält man in Bezug auf Punkt  $M$  das Angriffsmoment

$$32) \quad {}^aM = A\left(\frac{1}{2} - x\right) - Hy - q(p_2 - p_1)\left(\frac{p_2 + p_1}{2} - x\right),$$

worin die lothrechte und wagerechte Componente des Kämpferdruckes zu bestimmen bleibt. Zunächst ist die unter  $A$  zu Grunde gelegte Einzellast hier

$$33) \quad \dots \dots \dots P = \int q dp,$$

daher, wenn zwischen den Grenzen  $p_2$  und  $p_1$  integrirt wird,

$$34) \quad \dots \dots \dots P = q(p_2 - p_1).$$

Wird dieser Werth in Gleichung 21 eingeführt und  $p = \frac{p_2 + p_1}{2}$  gesetzt, so ergibt sich der lothrechte Stützendruck

$$35) \quad \dots \dots \dots A = \frac{q}{1}(p_2 - p_1)\left(\frac{p_2 + p_1}{2} + \frac{1}{2}\right).$$

Wird in Gleichung 22 das Differential  $dP = q dp$  eingeführt, so erhält man den Horizontaldruck

$$37) \quad \dots H = \frac{q}{64(l/2)^3 f} \int 5p^4 dp - 30\left(\frac{l}{2}\right)^2 p^2 dp + 25\left(\frac{l}{2}\right)^4 dp$$

und hieraus, durch Integration zwischen den Grenzen  $p_2$  und  $p_1$ ,

$$38) \quad \dots H = \frac{q}{64(l/2)^3 f} \left[ (p_2^5 - p_1^5) - 10(l/2)^2(p_2 - p_1) + 25(l/2)^4(p_2 - p_1) \right].$$

Hierbei sind die Werthe  $p, p_1, p_2$  positiv zu nehmen, wenn die Lasten links und negativ zu nehmen, wenn dieselben rechts von dem Scheitel liegen.

Die durch den Punkt  $M$ , für welchen das Angriffsmoment bestimmt werden soll, und die Kämpferdrucklinie  $A^1EC^1FB^1$  gegebenen Lastscheiden bestimmen die ungünstigste Laststellung. Das grösste negative Moment entsteht, wenn die ganze zwischen denselben befindliche Strecke, das grösste positive Moment, wenn die beiden ausserhalb derselben befindlichen Strecken ganz mit der gleichförmig und stetig vertheilten Last beschwert sind.

Unterliegt der elastische Bogenträger einem Temperaturwechsel, so entsteht für einen Querschnitt mit der Ordinate  $y$  das Angriffsmoment

$$39) \quad \dots \dots \dots {}^aM = Hy,$$

worin die Horizontalkraft

$$40) \quad \dots \dots \dots H = \frac{l/2 \alpha \tau E}{\int_0^{l/2} \frac{y^2}{t} dx}$$

zu setzen ist\*). Hierin behalten  $l, y$  und  $t$  ihre frühere Bedeutung, während  $\alpha$  den Ausdehnungscoefficienten des Schmiedeisens,  $\tau$  die dem Klima entsprechende Temperaturänderung in Grad und  $E$  den Elasticitätsmodul bedeuten.

**B. Bestimmung der kleinsten Widerstandsmomente.**

Die Hauptträger der Bogenbrücken erhalten durch-

\*) Die Längenänderung des halben Bogens mit der halben Sehnenlänge  $l/2$  ist nämlich

$$\lambda = l/2 \alpha \tau.$$

Dieselbe, durch die an einem Bogenende wirkende Horizontalkraft  $H$  hervorbrachte Längenänderung ist nach Gleichung  $e$ , wenn darin  $dx$  statt  $ds$  gesetzt wird,

$$\lambda = \frac{H}{E} \int_0^{l/2} \frac{y^2}{t} dx,$$

woraus, wenn beide Werthe gleichgesetzt werden, sich obiger Werth für  $H$  ergibt.

brochene, die Quer- und Längsträger derselben meist geschlossene Querschnitte, wonach die Widerstandsmomente verschiedene Formen annehmen.

**a. Kleinste Widerstandsmomente der Träger mit durchbrochenem Querschnitt.**

Bezeichnet  $S$  die Spannung eines Constructions-Theiles des Hauptträgers und  $c$  deren auf den zweckmässigsten Drehpunkt bezogenen Hebelsarm, so ist das Widerstandsmoment

$$41) \quad \dots \dots \dots {}^wM = Sc.$$

Hierin ist, wenn  $f$  die Querschnittsfläche

$s$  } die zulässige Anspruchnahme auf {Zug } im ganzen  
 $p$  } {Druck}

$$42) \quad \dots \dots \dots {}^wM = \begin{cases} \text{entweder } fsc \\ \text{oder } fpc \end{cases}$$

**b. Kleinste Widerstandsmomente der Träger mit geschlossenem Querschnitt.**

Bezeichnet  $t$  das Trägheitsmoment des Querschnittes,  $s$  } die grösste zulässige {Zugspannung } in der äussersten  
 $p$  } {Druckspannung}

Faser,

$a_s$  } den Abstand der letzteren von der neutralen Axe,  
 $a_p$  }

$$43) \quad \dots {}^wM_{\min} = \begin{cases} \text{entweder } \frac{s}{a_s} t \\ \text{oder } \frac{p}{a_p} t, \end{cases}$$

worin das mit dem kleineren Quotienten  $\frac{s}{a_s}$  oder  $\frac{p}{a_p}$  gebildete Product zu wählen ist.

**2. Die schmiedeisernen Bogenträger im Besonderen.**

**A. Die Bogenträger mit drei Charnieren.**

**a. Bogenträger mit beliebig geformtem Untergurt.**

**1. Die Spannungen der Trägertheile im Allgemeinen.**

Wird durch ein beliebiges Feld der linken Hälfte eines Charnier-Bogenträgers mit der Spannweite  $l$  und der Pfeilhöhe  $f$  ein Schnitt  $\alpha\beta$  gelegt, so ergibt sich die Spannung in einem der durchschnittenen Constructions-theile aus Gleichung 1 und 41

$$44) \quad \dots \dots \dots S_{\max} = \pm \frac{{}^aM_{\max}}{c},$$

worin  ${}^aM_{\max}$  für jeden Constructionstheil aus der ungünstigsten Belastungsweise und  $c$  aus der speciellen Form des Trägers besonders zu ermitteln ist.

**2. Die Grenzspannungen in den Bogenstücken.**

**a) Bestimmung der Lage der Belastungsscheiden.**

Wird durch ein beliebiges Feld des Trägers ein Schnitt  $\alpha\beta$  gelegt und von dem linken Stützpunkt  $A$ , s. Fig. 6 u. 7, durch den zweckmässigsten — im Durchschnittspunkte des mitdurchschnittenen Obergurtstückes und Diagonalstabes gelegenen — Drehpunkt  $D$  eine Linie  $AD$  gezogen und durch die verlängerte Charnierdrucklinie  $BC$  in  $\gamma$  geschnitten, so stellt die Lothrechte  $\gamma\delta$  die Belastungsscheide für das durchschnittene Bogenstück dar. Um deren Abstand  $e$  von dem Stützpunkt  $A$  zu finden, bezeichne  $a$  und  $k$  den Abstand des Drehpunktes bezw. von dem lothrechten Stützendruck  $A$  und einer Horizontalen  $AB$  durch die beiden Stützpunkte. Mit Bezug auf die Figur 2 ergibt sich aus der doppelten geometrischen Proportion

$$k \frac{e}{a} = f \cdot \frac{l/2 - e}{l/2}$$

der Abstand der Belastungsscheide vom linken Stützpunkt

$$45) \quad \dots \dots \dots e = \frac{1}{\frac{k}{2af} + 1}$$

und vom Bogenscheitel  $w = \frac{l}{2} - e$ .

β) Bestimmung der Grenzspannungen durch die Verkehrsbelastung.

Bezeichnet  $Z_v$  die von der Verkehrslast erzeugte Spannung in einem beliebigen Bogenstück,  $z$  deren Hebelsarm in Bezug auf den zweckmässigsten Drehpunkt  $D$ , so ergibt sich, mit Bezug auf Fig. 5 und 6, aus der Momentengleichung  $-Z_v z + {}^a M = 0$ , die Spannung

$$46) \dots \dots \dots Z_v = \frac{{}^a M}{z}$$

Um die grösste Zugspannung des Bogenstückes zu erhalten, sind nur die links von der Belastungsscheide, also die links von dem Drehpunkte und die zwischen Drehpunkt und Belastungsscheide wirkenden Lasten, welche einen um  $D$  rechts drehenden Kämpferdruck, mithin ein positives Moment erzeugen, beizubehalten, also in Gleichung 10  $R = 0$  zu setzen. Man erhält mithin

$$47) \quad Z_v = \frac{1}{z \cdot e} \left[ Pp \left( \frac{l}{2} - w - a \right) + Qa \left( q - \frac{l}{2} - w \right) \right],$$

woraus folgt, dass  $Z_v$  um so grösser wird, je grösser unter übrigens gleichen Umständen die Lasten  $P$  und  $Q$ , sowie deren Abstände  $p$  und  $q$  sind, d. h. je mehr sich die Lasten  $P$  und  $Q$  dem Drehpunkte nähern.

Die ungünstigste Laststellung ergibt sich aus Gleichung 11, worin  $R = 0$  zu setzen ist, wenn

$$48) \quad \frac{P}{a} \frac{Q}{l/2 - w - a} > 0.$$

Das Maximum des Angriffsmomentes wird erhalten, wenn

$$49) \quad \frac{P}{a} \frac{Q}{l/2 - w - a} = 0$$

wird, d. h. wenn die Lasten der zu beiden Seiten des Drehpunktes befindlichen Strecken diesen letzteren proportional, also wenn die auf die Längeneinheit vertheilten Lasten beider Strecken einander gleich sind.

Wird auf Grund der ungünstigsten Laststellung das durch Gleichung 10 gegebene Angriffsmoment  ${}^a M_{max}$  aufgesucht, so erhält man aus Gleichung 47 die gesuchte grösste Zugspannung

$$50) \quad Z_{v,max} = \frac{1}{z \cdot e} \left[ Pp \left( \frac{l}{2} - w - a \right) + Qa \left( q - \frac{l}{2} - w \right) \right]$$

Beispiel. Wählt man für die Folge den auf Taf. 4 dargestellten und unter Abtheilung IV behandelten Bogenträger von 40 m Spannweite bei 5 m Pfeilhöhe und belastet denselben mit den späterhin dargestellten, dreirädrigen Locomotiven mit je 6 tn und dreirädrigen Tendern von je 3,75 tn Raddruck, so erhält man für das 5. Feld mit dem zweckmässigsten Drehpunkte  $D$  und der in dem Abstände 9,34 m vom Scheitel befindlichen Lastscheide die ungünstigste Laststellung wie folgt.

Befinden sich 2 Tenderräder und 2 Locomotivräder links vom Drehpunkt und ein Locomotivrad zwischen Drehpunkt und Belastungsscheide, so ist  $a = 8$ , daher

$$\frac{P}{a} \frac{Q}{l/2 - w - a} = \frac{2 \cdot 3,75 + 2 \cdot 6}{8} \frac{1,6}{10 - 9,34 - 8} > 0.$$

Verschiebt man den Zug soviel nach rechts, dass sich 3 Tenderräder und 1 Locomotivrad links vom Drehpunkt und 2 Locomotivräder zwischen Drehpunkt und Belastungsscheide befinden, so ist

$$\frac{P}{a} \frac{Q}{l/2 - w - a} = \frac{3 \cdot 3,75 + 1 \cdot 6}{8} \frac{2,6}{10 - 9,34 - 8} < 0.$$

Das 5. Untergurtstück erfährt daher die grösste Zugspannung, wenn der Zug die in Fig. 6 angegebene

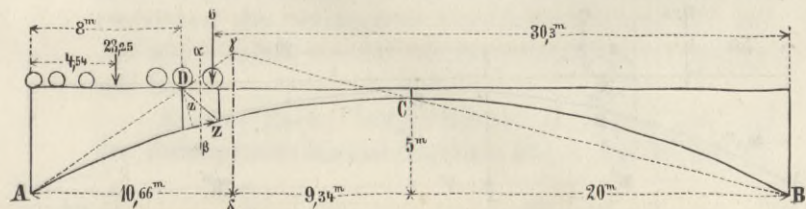


Fig. 6.

Stellung einnimmt, wobei sich je eins der 3 erwähnten Locomotivräder links vor, über und rechts von dem Drehpunkte befindet. Aus Gleichung 47 folgt daher, mit Bezug auf Fig. 6, die grösste Zugspannung

$$Z_{v,max} = \frac{1}{2,219 \cdot 10,66} \left[ 23,25,4,54(10,66 - 8) + 6,8(30,3 - 29,34) \right] = 43,91 \text{ tn.}$$

Um die grösste Druckspannung des Bogenstückes zu erhalten, sind nur die rechts von der Lastscheide, also die zwischen der Belastungsscheide und dem Trägerscheitel sowie die auf der rechten Bogenhälfte befindlichen Lasten, welche einen um  $D$  links drehenden Kämpferdruck, mithin ein negatives Moment erzeugen, beizubehalten, also in Gleichung 10  $P = 0$  zu setzen. Man erhält mithin wegen  $l/2 + w > q$

$$51) \quad Z_{v,min} = - \frac{1}{z \cdot e} \left[ Qa \left( \frac{l}{2} + w - q \right) + Rr \cdot \frac{2aw}{l} \right]$$

woraus folgt, dass die Druckspannung  $Z$  um so grösser wird, je grösser unter übrigens gleichen Umständen die Lasten  $P$  und  $Q$  werden und je mehr sich beide dem Scheitel nähern. Die ungünstigste Laststellung erhält man aus Gleichung 11, worin  $P = 0$  zu setzen ist, wenn

$$52) \quad \frac{Q}{w} \frac{R}{l/2} > 0.$$

Das Maximum des Angriffsmomentes wird erhalten, wenn

$$53) \quad \frac{Q}{w} \frac{R}{l/2} = 0$$

wird, d. h. wenn die Lasten auf den zu beiden Seiten des Scheitels befindlichen Strecken diesen letzteren proportional, also wenn die auf die Längeneinheit vertheilten Lasten beider Strecken einander gleich sind.

Beispiel. Befinden sich bei obigem Bogenträger 3 Tender- und 2 Locomotivräder zwischen Belastungsscheide und Scheitel, 4 Locomotiv- und 3 Tenderräder zwischen dem Scheitel und dem rechten Stützpunkte, so ist

$$\frac{Q}{w} \frac{R}{l/2} = \frac{3 \cdot 3,75 + 2 \cdot 6}{9,34} \frac{4,6 + 3 \cdot 3,75}{20} > 0.$$

Verschiebt man den Zug soweit nach rechts, dass sich 3 Tenderräder und 1 Locomotivrad zwischen Belastungsscheide und Scheitel, 5 Locomotiv- und 3 Tenderräder zwischen dem Scheitel und dem rechten Stützpunkte befinden, so ist

$$\frac{Q}{w} \frac{R}{l/2} = \frac{3 \cdot 3,75 + 1 \cdot 6}{9,34} \frac{5,6 + 3 \cdot 3,75}{20} < 0$$

Das 5. Untergurtstück erfährt folglich die grösste Druckspannung, wenn der Zug die in Fig. 7 angegebene

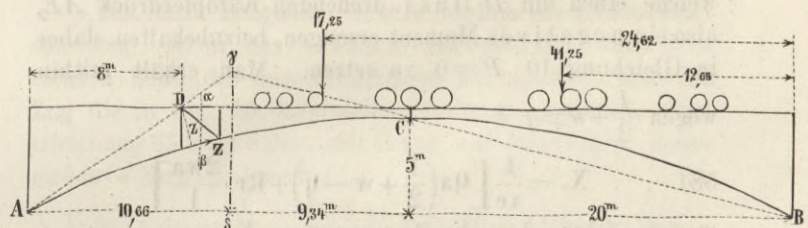


Fig. 7.

Stellung einnimmt, wobei je ein Locomotivrad links von und über dem Scheitel steht und 4 Locomotivräder sich rechts von demselben befinden. Aus Gleichung 11 folgt daher, mit Bezug auf Fig. 7, die grösste Druckspannung

$$Z_{v,min} = - \frac{1}{2,219 \cdot 10,66} \left( 17,25,8(29,34 - 24,62) + 41,25,12,08 \cdot \frac{2,8 \cdot 9,34}{40} \right) = - 106,24 \text{ tn.}$$

Fällt der Drehpunkt  $D$  rechts von der verlängerten Charnierdrucklinie  $BC$ , so erzeugen die links vom Drehpunkte befindlichen Lasten  $P$  mit dem Kämpferdruck  $A$  eine in der Richtung  $CB$  wirkende, um  $D$  links drehende Mittelkraft, bringen mithin ebenso wie die Lasten  $Q$  und  $R$  ein negatives Moment hervor und man erhält aus Gleichung 3 und 10

$$54) \quad Z_{v,min} = - \frac{1}{z \cdot e} \left[ Pp \left( w + a - \frac{l}{2} \right) + Qa \left( \frac{l}{2} + w - q \right) + Rr \cdot \frac{2aw}{l} \right]$$

woraus folgt, dass die Druckspannung  $Z$  um so grösser wird, je grösser unter übrigens gleichen Umständen

den die Lasten  $P$ ,  $Q$  und  $R$  sind und je mehr sie sich dem Scheitel nähern. Die ungünstigste Laststellung erhält man sodann aus Gleichung 11.

γ) Bestimmung der Spannungen durch das Eigengewicht.

Da hierbei die Lasten  $P$  links vom Drehpunkt,  $Q$  zwischen Drehpunkt und Scheitel sowie  $R$  auf der rechten Trägerhälfte gleichzeitig wirken, so ergibt sich aus Gleichung 1 und 10 die Spannung eines beliebigen Bogenstücks

$$55) \dots Z_e = \frac{1}{ze} \left[ Pp \left( \frac{1}{2} - w - a \right) + Qa \left( q - \frac{1}{2} - w \right) - Rr \cdot \frac{2aw}{l} \right],$$

wobei  $P$ ,  $Q$  und  $R$  als Knotenlasten oder als gleichförmig vertheilte Lasten in Rechnung gezogen werden können und demgemäss die Abstände  $p$ ,  $q$  und  $r$  ihrer Resultanten zu bestimmen sind.

Die grössten Grenzspannungen des untersuchten Bogenstücks ergeben sich dann aus

$$55) \dots Z_{max} = Z_{v,max} + Z_e \text{ und } Z_{min} = Z_{v,min} + Z_e.$$

**3. Die Grenzspannungen in den Obergurtstücken.**

a) Bestimmung der Lage der Belastungsscheiden.

Bezeichnet man mit  $a$  und  $k$  den Abstand des zweckmässigsten, im Durchschnittspunkt des mitdurchschnittenen Bogenstücks und Diagonalstabes gelegenen Drehpunktes  $D$  bezw. von dem lothrechten Stützendruck  $A$  und einer Horizontalen  $AB$  durch die beiden Stützpunkte, so ergibt sich aus Gleichung 45 der Abstand  $e$  der Belastungsscheide vom linken Stützpunkt, woraus deren Abstand vom Scheitel  $w = l/2 - e$ .

β) Bestimmung der Grenzspannungen durch die Verkehrsbelastung.

Bezeichnet  $X_v$  die von der Verkehrslast erzeugte Spannung  $a$  eines beliebigen oberen Gurtstücks,  $x$  deren Hebelsarm in Bezug auf den zweckmässigsten Drehpunkt  $D$ , so ergibt sich mit Bezug auf Fig. 8 und 9 aus der Momentengleichung  $X_v x + M = 0$  die Spannung

$$57) \dots X_v = - \frac{M}{x}$$

Um die grösste Zugspannung des Obergurtstücks zu erhalten, sind nur die rechts von der Belastungsscheide, also die zwischen Belastungsscheide und Scheitel und die auf der rechten Trägerhälfte befindlichen Lasten, welche einen um  $D$  links drehenden Kämpferdruck  $AE$ , also ein negatives Moment erzeugen, beizubehalten, daher in Gleichung 10  $P=0$  zu setzen. Man erhält mithin wegen  $\frac{l}{2} + w > q$

$$58) \dots X_v = \frac{1}{xe} \left[ Qa \left( \frac{1}{2} + w - q \right) + Rr \cdot \frac{2wa}{l} \right]$$

woraus folgt, dass die Zugspannung  $X_v$  um so grösser wird, je grösser unter übrigens gleichen Umständen die Lasten  $Q$  und  $R$  sind und je mehr sie beide dem Scheitel nähern.

Die ungünstigste Laststellung ergibt sich aus Gleichung 11, worin  $P=0$  zu setzen ist, wenn

$$59) \dots \frac{Q}{w} - \frac{R}{l/2} > 0,$$

also die bereits unter 2β erhaltene Bedingung erfüllt wird. Wird auf Grund der ungünstigsten Laststellung das grösste Angriffsmoment bestimmt und in Gleichung 58 eingeführt, so erhält man die gesuchte grösste Zugspannung  $X_{v,max}$ .

Beispiel. Befinden sich bei dem obigen Bogenträger 2 Locomotivräder zwischen der Belastungsscheide und dem Scheitel, zwischen dem letzteren und dem rechten Stützpunkte 4 Locomotiv- und 5 Tenderräder, so ist für das 5. Obergurtsstück, für welches  $w=4$  und  $e=6$  m,

$$\frac{Q}{w} - \frac{R}{l/2} = \frac{2.6}{4} - \frac{4.6 + 5.3.75}{20} > 0.$$

Verschiebt man den Zug soweit nach rechts, dass sich 1 Locomotivrad zwischen der Belastungsscheide und dem Scheitel, zwischen dem letzteren und dem rechten

Stützpunkte 5 Locomotiv- und 4 Tenderräder befinden, so ist

$$\frac{Q}{w} - \frac{R}{l/2} = \frac{1.6}{4} - \frac{5.6 + 4.3.75}{20} < 0$$

Das 5. Obergurtstück erfährt folglich die grösste Zugspannung, wenn der Zug die in Fig. 8 angegebene Stellung einnimmt, wobei je ein Locomotivrad sich zwischen Belastungsscheide und Scheitel und über dem Scheitel befindet, während auf der rechten Trägerhälfte 4 Locomotiv- und 4 Tenderräder stehen.

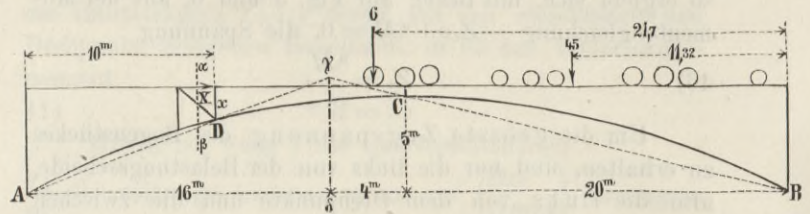


Fig. 8.

Aus Gleichung 58 folgt daher, mit Bezug auf Fig. 8, dessen grösste Zugspannung

$$X_{v,max} = \frac{1}{1.75.16} \left( 6.10(20+4-21.7) + 45.11.32 \frac{2.10.4}{40} \right) = 41.31 \text{ ton.}$$

Um die grösste Druckspannung des Obergurtstücks zu erhalten, sind nur die links von der Belastungsscheide, also die links vom Drehpunkte sowie die zwischen dem Drehpunkte und der Belastungsscheide befindlichen Lasten  $P$  und  $Q$ , welche einen um  $D$  rechts drehenden Kämpferdruck  $AE$ , also ein positives Moment erzeugen, beizubehalten, daher in Gleichung 10  $R=0$  zu setzen. Man erhält mithin aus Gleichung 1 und 10

$$60) X_v = - \frac{1}{x.e} \left[ Pp \left( \frac{1}{2} - w - a \right) + Qa \left( q - \frac{1}{2} - w \right) \right],$$

woraus folgt, dass die Druckspannung  $X_v$  um so grösser wird, je grösser unter übrigens gleichen Umständen die Lasten  $P$  und  $Q$  sind und je grösser ihre Abstände  $p$  und  $q$  werden, d. h. je mehr sie sich dem Drehpunkte nähern.

Die ungünstigste Laststellung ergibt sich aus Gleichung 11, worin  $R=0$  zu setzen ist, wenn

$$61) \dots \frac{P}{a} - \frac{Q}{l/2 - w - a} > 0,$$

also die unter 2β bereits erhaltene Bedingung erfüllt wird. Wird auf Grund dieser ungünstigsten Laststellung das grösste Angriffsmoment bestimmt und in Gleichung 60 eingeführt, so erhält man die gesuchte grösste Druckspannung  $X_{v,min}$ .

Beispiel. Befinden sich bei dem obigen Bogenträger 3 Tenderräder und 2 Locomotivräder links von dem Drehpunkt und 1 Locomotivrad zwischen Drehpunkt und Lastscheide, so ist für das 5. Obergurtstück, für welches wieder  $w=4$  und  $e=16$  m ist,

$$\frac{P}{a} - \frac{Q}{l/2 - a - w} = \frac{3.3.75 + 2.6}{10} - \frac{6}{20 - 10 - 4} > 0.$$

Verschiebt man den Zug soweit nach rechts, dass sich 1 Locomotivrad und 3 Tenderräder links von dem Drehpunkt und 2 Locomotivräder zwischen Drehpunkt und Lastscheide befinden, so wird

$$\frac{P}{a} - \frac{Q}{l/2 - a - w} = \frac{3.3.75 + 1.6}{10} - \frac{2.6}{20 - 10 - 4} < 0.$$

Das 5. Obergurtstück erfährt mithin die grösste Druckspannung, wenn der Zug die in Fig. 9 angegebene Stellung einnimmt, wobei je ein Locomotivrad links vor, über und rechts von dem Drehpunkt steht. Aus Gleichung 60 folgt daher mit Bezug auf Fig. 9 dessen grösste Druckspannung

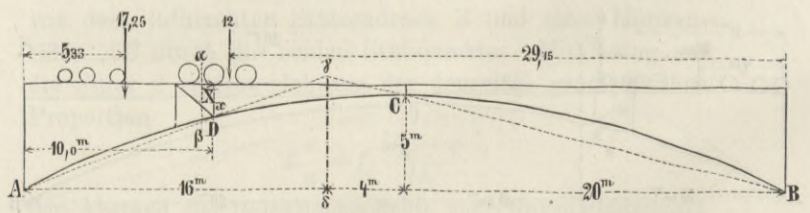


Fig. 9.

$$X_v^{5min} = -\frac{1}{1,75 \cdot 16} \left[ 17,25 \cdot 5,33(20-4-10) + 12,10(29,15-20-4) \right] = -41,77 \text{ tn.}$$

γ) Bestimmung der Spannungen durch das Eigengewicht.

Da hierbei die Lasten  $P$  links vom Drehpunkte,  $Q$  zwischen Drehpunkt und Scheitel sowie  $R$  auf der rechten Trägerhälfte gleichzeitig wirken, so ergibt sich aus Gleichung 1 und 10 die Eigengewichts-Spannung eines beliebigen Obergurtstücks

$$62) \dots X_e = -\frac{1}{x_e} \left[ Pp \left( \frac{1}{2} - w - a \right) + Qa \left( q - \frac{1}{2} - w \right) - Rr \cdot \frac{2aw}{1} \right],$$

wobei  $P$ ,  $Q$  und  $R$  wieder als Knotenlasten oder als gleichförmig vertheilte Lasten in Rechnung zu ziehen und demgemäss die Abstände  $p$ ,  $q$  und  $r$  zu bestimmen sind. Die grösste Grenzspannung des untersuchten Obergurtstücks ergibt sich dann aus

$$63) \dots X_{max} = X_v^{max} + X_e \text{ und } X_{min} = X_v^{min} + X_e.$$

#### 4. Die Grenzspannungen in den Diagonalen.

α) Bestimmung der Lage der Belastungsscheiden.

Wird durch ein Feld der linken Trägerhälfte ein lothrechter Schnitt  $\alpha\beta$ , s. Fig. 10, gelegt und der Durchschnittpunkt  $D$  der zwei mitdurchschnittenen Gurtstücke als zweckmässigster Drehpunkt aufgesucht, so fällt derselbe für die dem linken Stützpunkt näher gelegenen Felder links und für die dem Scheitel näher gelegenen Felder rechts von der verlängerten Charnierdrucklinie  $AC$ .

Fällt der Drehpunkt  $D$  links von dieser Linie  $AC$ , so lässt sich die Belastungsscheide in der unter 2 und 3 angegebenen Weise construiren und es ergibt sich deshalb unter Beibehaltung aller dort gebrauchten Bezeichnungen der Abstand der Belastungsscheide vom linken Stützpunkt aus Gleichung 45, und hieraus deren Abstand vom Bogenscheitel  $w = l/2 - e$ .

Fällt der Drehpunkt  $D$  rechts von der Charnierdrucklinie  $AC$ , so bildet der Schnitt  $\alpha\beta$  selbst die Belastungsscheide, indem jede Belastung  $P$  links von dem Schnitt mit dem zugehörigen Charnierdruck in  $A$  eine Resultante erzeugt, welche abwärts durch den rechten Stützpunkt  $B$  geht und um  $D$  links dreht, also ein negatives Moment hervorbringt; jede Belastung  $Q$  zwischen dem Schnitt und dem Scheitel in Verbindung mit dem Charnierdrucke  $BC$  einen Kämpferdruck in  $A$  erzeugt, welcher rechts dreht, also ein positives Moment hervorbringt und jede Last  $R$  auf der rechten Trägerhälfte in Verbindung mit dem entsprechenden Kämpferdruck in  $B$  einen Charnierdruck  $AC$  erzeugt, welcher rechts dreht, also ebenfalls ein positives Moment hervorbringt.

β) Bestimmung der Grenzspannungen durch die Verkehrslast.

Bezeichnet  $Y_v$  die von der Verkehrslast in einem beliebigen Bogenstück erzeugte Spannung,  $y$  deren Hebelarm in Bezug auf den zweckmässigsten Drehpunkt  $D$ , so ergibt sich, mit Bezug auf Fig. 10 bis 15, aus  $-Y_v y + {}^a M = 0$  die Spannung

$$64) \dots Y_v = \frac{{}^a M}{y}.$$

Hierin wird  ${}^a M$  verschieden, je nachdem der Drehpunkt links von der verlängerten Charnierdrucklinie  $BC$ , zwischen die verlängerten Charnierdrucklinien  $BC$  und  $AC$  oder rechts von der verlängerten Charnierdrucklinie  $AC$  fällt.

Erster Fall. Der Drehpunkt  $D$  liegt links von der verlängerten Charnierdrucklinie  $BC$ , s. Fig. 10 und 11.

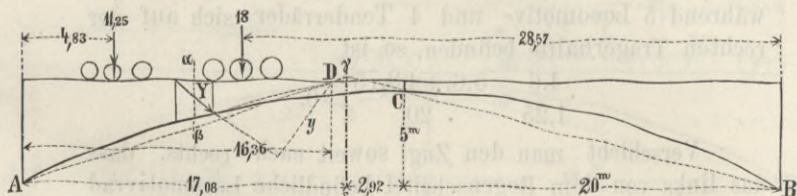


Fig. 10.

Um die grösste Zugspannung der durchschnittenen Diagonale zu erhalten, sind nur die links von der Belastungsscheide, also die links von dem Schnitt wirkenden Lasten  $P$  und die zwischen dem Schnitt und der Belastungsscheide wirkenden Lasten  $Q$  beizubehalten, von welchen die ersteren mit dem Kämpferdruck in  $A$  eine abwärts wirkende Resultante erzeugen, die durch  $B$  geht und um  $D$  rechts dreht, also ein positives Moment hervorbringt und die letzteren mit dem Charnierdruck  $BC$  einen aufwärts wirkenden Kämpferdruck in  $A$  erzeugen, welcher um  $D$  rechts dreht, also ebenfalls ein positives Moment hervorbringt. Wird hiernach in Gleichung 10  $R=0$  und der so erhaltene Werth von  ${}^a M$  in Gleichung 64 gesetzt, so ist

$$65) \dots X_v = \frac{1}{y \cdot e} \left[ Pp \left( \frac{1}{2} - w - a \right) + Qa \left( q - \frac{1}{2} - w \right) \right],$$

woraus folgt, dass die Zugspannung  $Y_v$  um so grösser wird, je grösser, unter übrigens gleichen Umständen, die Lasten  $P$  und  $Q$  sowie deren Abstände  $p$  und  $q$  sind, d. h. je mehr sich die Lasten  $P$  und  $Q$  dem Schnitt nähern.

Die ungünstigste Laststellung ergibt sich aus Gleichung 19, worin  $R=0$  zu setzen ist, wenn

$$66) P \left( \frac{1}{2} - w - a \right) - Qa + S \left( \frac{(l/2 - w)(a - u)}{\lambda} - a \right) \geq 0.$$

Wird auf Grund dieser ungünstigsten Laststellung das grösste Angriffsmoment  ${}^a M_{max}$  ermittelt und in Gleichung 64 eingeführt, so ergibt sich

$$67) \dots Y_v^{max} = \frac{{}^a M_{max}}{y}.$$

Beispiel. Befinden sich, bei dem früher gewählten Bogenträger, 3 Tenderräder links von und ein Locomotivrad in dem durchschnittenen Felde, während 2 Locomotivräder zwischen diesem und der Belastungsscheide stehen, so ist für die 5. Diagonale, bei welcher  $w=2,92$ ,  $e=17,08$  und  $a=16,36$  m ist, nach Einführung der Zahlenwerthe in Gleichung 66,

$$3,3,75(20-2,92-16,36) - 2,6 \cdot 16,36 + 6 \left( \frac{(20-2,92)(16,36-8)}{2} - 16,36 \right) > 0.$$

Verschiebt man den Zug soweit nach rechts, dass das in dem durchschnittenen Felde befindliche Locomotivrad zwischen dieses und die Belastungsscheide tritt, so ergibt sich

$$3,3,75(20-2,92-16,36) - 3,6 \cdot 16,36 < 0.$$

Die fünfte Diagonale erfährt folglich die grösste Zugspannung, wenn das erwähnte Locomotivrad über dem rechten Ende des durchschnittenen Feldes steht, also der Zug die in Fig. 10 dargestellte Stellung einnimmt. Aus Gleichung 65 folgt daher, mit Bezug auf diese Figur, deren grösste Zugspannung

$$Y_v^{5max} = \frac{1}{5,51 \cdot 17,08} \left[ 3,3,75 \cdot 4,83(20-2,92-16,36) + 3,6 \cdot 16,36(28,57-20-2,92) \right] = 18,09 \text{ tn.}$$

Um die grösste Druckspannung der durchschnittenen Diagonale zu erhalten, sind nur die rechts von der Belastungsscheide, also die zwischen der Belastungsscheide und dem Trägerscheitel befindlichen Lasten  $Q$  und die auf der rechten Trägerhälfte befindlichen Lasten  $R$  beizubehalten, von welchen die ersteren in Verbindung mit dem Charnierdruck  $BC$  einen aufwärts wirkenden Kämpferdruck in  $A$  erzeugen, welcher um  $D$  links dreht, also ein negatives Moment hervorbringt und die letzteren in Verbindung mit dem entsprechenden Kämpferdruck  $B$  einen aufwärts wirkenden Charnierdruck  $AC$  erzeugen, welcher um  $D$  links dreht, also ebenfalls ein negatives Moment hervorbringt.

Wird hiernach in Gleichung 10  $P=0$  gesetzt und der so erhaltene Werth von  ${}^a M$  in Gleichung 64 eingeführt, so ist wegen  $l/2 + w > q$

$$68) \dots Y_v = -\frac{1}{y \cdot e} \left[ Qa \left( \frac{1}{2} + w - q \right) + Rr \cdot \frac{2aw}{1} \right],$$

woraus folgt, dass die Druckspannung  $Y_v$  um so grösser wird, je grösser unter übrigens gleichen Umständen die

Lasten  $Q$  und  $R$ , und je kleiner deren Abstände vom Träger-Scheitel werden.

Die ungünstigste Laststellung ergibt sich aus Gleichung 19, worin  $P=S=0$  zu setzen ist, wenn

$$69) \dots \dots \dots \frac{Q}{w} - \frac{R}{l/2} > 0.$$

Wird auf Grund dieser ungünstigsten Laststellung das grösste Angriffsmoment  $^aM_{min}$  aufgesucht und in Gleichung 64 eingeführt, so erhält man

$$70) \dots \dots \dots Y_{vmin} = - \frac{^aM_{min}}{y}.$$

Beispiel. Stehen bei dem früher gewählten Bogenträger 2 Locomotivräder zwischen Belastungsscheide und Bogenscheitel, 4 Locomotivräder und 5 Tenderräder auf der rechten Trägerhälfte, so ist für die 5. Diagonale nach Einführung der Zahlenwerthe in Gleichung 69

$$\frac{2.6}{2.92} - \frac{4.6 + 5.3.75}{20} > 0.$$

Verschiebt man den Zug soweit nach rechts, dass ein Locomotivrad den Scheitel überschreitet, so wird

$$\frac{1.6}{2.92} - \frac{5.6 + 4.3.75}{20} < 0.$$

Die fünfte Diagonale erfährt daher die grösste Druckspannung, wenn das erwähnte Locomotivrad über dem Scheitel steht, also der Zug die in Fig. 11 angegebene Stellung

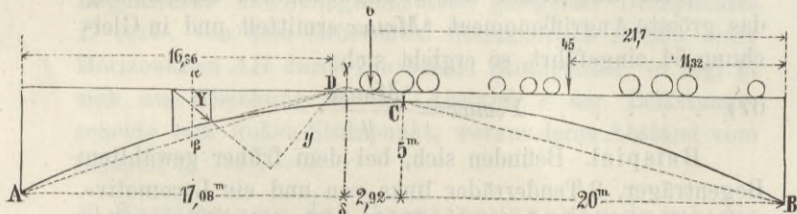


Fig. 11.

einnimmt. Aus Gleichung 68 folgt daher, mit Bezug auf diese Figur, deren grösste Druckspannung

$$Y_{v^5min} = - \frac{1}{5.51.17.08} \left[ 6.17.08(20 + 2.92 - 21.7) + \frac{45.11.32.2.17.08.2.92}{40} \right] = -14.82 \text{ tn.}$$

Zweiter Fall. Der Drehpunkt liegt zwischen den verlängerten Charnierdrucklinien  $BC$  und  $AC$ , s. Fig. 11 und 12. Um die grösste Zugspannung der durchschnittenen Diagonale zu erhalten, sind nur die zwischen dem Schnitt und der Belastungsscheide befindlichen Lasten  $Q$  beizubehalten, welche in Verbindung mit dem Charnierdruck  $BC$  einen aufwärts wirkenden Kämpferdruck in  $A$  erzeugen, welcher um  $D$  rechts dreht, also ein positives Moment hervorbringt. Wird hiernach in Gleichung 16  $P=R=S=0$  und der so erhaltene Werth von  $^aM$  in Gleichung 64 gesetzt, so ist wegen  $q > \frac{l}{2} + w$

$$71) \dots \dots \dots Y_v = \frac{1}{y.e} Qa(q - l/2 - w),$$

woraus folgt, dass  $Y_v$  um so grösser wird, je grösser unter übrigens gleichen Umständen die Lasten  $Q$  werden und je näher deren Resultante dem Schnitte rückt. Die ungünstigste Laststellung ergibt sich aus Gleichung 19, worin  $P=R=0$  zu setzen ist, wenn

$$72) \dots \dots \dots S \left( \frac{(l/2 - w)(a - u)}{\lambda} - a \right) - Qa \geq 0.$$

Wird mit Bezug hierauf das grösste Angriffsmoment  $^aM_{max}$  ermittelt und in Gleichung 64 eingeführt, so ergibt sich die grösste Zugspannung

$$73) \dots \dots \dots Y_{vmax} = \frac{^aM_{max}}{y}.$$

Beispiel. Stehn, bei dem früher gewählten Bogenträger, 1 Locomotivrad in dem durchschnittenen Feld und 2 Locomotivräder zwischen demselben und der Belastungsscheide, so ist für die 7. Diagonale, bei welcher  $w=1.25$ ,  $e=18.75$ ,  $u=12$  und  $a=19.42$  m wird,

$$6 \left( \frac{(20 - 1.25)(19.42 - 12)}{2} - 19.42 \right) - 2.6.19.42 > 0.$$

Verschiebt man den Zug soweit nach rechts, dass das in dem durchschnittenen Felde befindliche Locomotivrad aus demselben tritt, so wird  $S=0$  und man erhält

$$-3.6.19.42 < 0.$$

Die siebente Diagonale erfährt daher ihre grösste Zugspannung, wenn das erwähnte Locomotivrad über dem rechten Ende des durchschnittenen Feldes steht, also wenn der Zug die in Fig. 12 angegebene Stellung einnimmt.

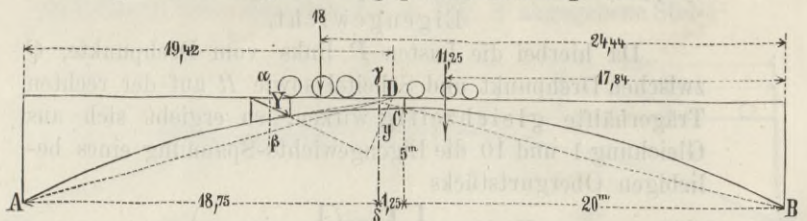


Fig. 12.

Aus Gleichung 73 folgt daher, mit Bezug auf diese Figur, deren grösste Zugspannung

$$Y_{v^7max} = \frac{1}{3.19.18.75} \cdot 18.19.42(24.44 - 20 - 1.25) = 18.64 \text{ tn.}$$

Um die grösste Druckspannung in der durchschnittenen Diagonale zu erhalten, sind nur die links von dem Schnitte befindlichen Lasten  $P$  und die rechts von der Belastungsscheide, also die zwischen der Belastungsscheide und dem Scheitel sowie die auf der rechten Trägerhälfte befindlichen Lasten  $Q$  und  $R$  beizubehalten, von welchen die ersteren in Verbindung mit dem entsprechenden Kämpferdruck in  $A$  einen abwärts wirkenden Charnierdruck  $CB$  erzeugen, welcher um  $D$  links dreht, also ein negatives Moment liefert, die letzteren in Verbindung mit dem zugehörigen Charnierdruck  $BC$  und Stützendruck  $R$  in  $A$  einen aufwärts gerichteten Kämpferdruck und Charnierdruck  $AC$  erzeugen, welche beide um  $D$  links drehen, also ein negatives Moment liefern.

Hiernach erhält man aus der Gleichung 10 und 64 wegen  $w+a > \frac{l}{2}$  und  $\frac{l}{2} + w > q$

$$74) Y_v = \frac{1}{y.e} \left[ Pp(w+a-l/2) + Qa(l/2+w-q) + Rr \cdot \frac{2aw}{l} \right],$$

woraus folgt, dass die Druckspannung  $Y_v$  unter übrigens gleichen Umständen um so grösser wird, je grösser die Lasten  $P$ ,  $Q$  und  $R$  werden und je näher die Lasten  $P$  dem Schnitte, die Lasten  $Q$  und  $R$  dagegen dem Trägerscheitel rücken.

Die ungünstigste Laststellung ergibt sich, wenn zwei Züge gegeneinander auf die Brücke fahren, bzw. aus den Gleichungen 19 und 11

$$75) \dots \dots \dots P(l/2 - w - a) + S \left( \frac{(l/2 - w)(a - u)}{\lambda} - a \right) \geq 0$$

für den von links nach rechts auffahrenden Zug und

$$76) \dots \dots \dots \frac{Q}{w} - \frac{R}{l/2} \geq 0$$

für den von rechts nach links auf die Brücke fahrenden Zug.

Wird der auf Grund derselben ermittelte Werth  $^aM_{min}$  in Gleichung 64 eingeführt, so ergibt sich die grösste Druckspannung

$$77) \dots \dots \dots Y_{vmin} = - \frac{^aM_{min}}{y}.$$

Beispiel. Stehn bei demselben Bogenträger in dem von links auffahrenden Zuge 3 Tender- und 2 Locomotivräder links von und 1 Locomotivrad in dem durchschnittenen Felde,

$$(2.6 + 3.3.75) - 19.42 - (20.1.25) + 6 \left( \frac{(20 - 1.25)(19.42 - 12)}{2} - 19.42 \right) > 0.$$

Verschiebt man den Zug soweit nach rechts, dass das in dem durchschnittenen Felde befindliche Locomotivrad aus demselben tritt, so wird  $S=0$  und man hat

$$(3.6 + 3.3.75)(20 - 19.42 - 1.25) < 0.$$

Steht in dem von rechts nach links auffahrenden Zuge 1 Locomotivrad zwischen Lastscheide und Bogenscheitel, während 5 Locomotiv- und 4 Tenderräder sich auf der rechten Trägerhälfte befinden, so ist

$$\frac{1.6}{1.25} - \frac{5.6 + 4.3.75}{20} > 0.$$

Verschiebt man den Zug soweit nach rechts, dass das links von dem Bogenscheitel befindliche Locomotivrad auf die rechte Seite desselben tritt, so ist

$$\frac{6.6 + 8.3,75}{20} < 0.$$

Die 7. Diagonale erfährt daher ihre grösste Druckspannung bei der in Fig. 13 angegebenen Stellung, d. h.

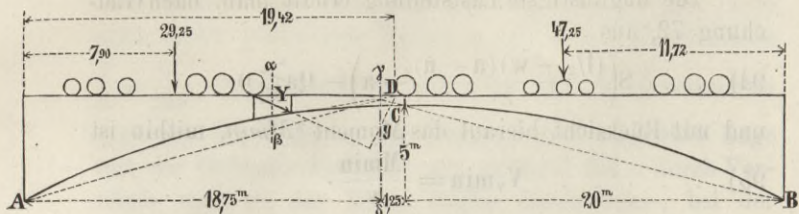


Fig. 13.

wenn das erste Locomotivrad des linken Zuges über dem linken Ende des durchschnittenen Feldes und das erste Locomotivrad des rechten Zuges über dem Scheitel steht. Aus Gleichung 74 folgt daher, mit Bezug auf diese Figur, deren grösste Druckspannung

$$Y_v^{min} = -\frac{1}{3,19,18,75} \left[ 29,25,7,9(1,25 + 19,42 - 20) + \frac{47,25,11,72 \cdot 2,19,42,1,25}{40} \right] = -13,82 \text{ tn.}$$

Dritter Fall. Der Drehpunkt liegt rechts von der verlängerten Charnierdrucklinie AC, s. Fig. 14 und 15.

Um die grösste Zugspannung der durchschnittenen Diagonale zu erhalten, sind nur die rechts von dem Schnitt, also die zwischen dem Schnitt und dem Trägerscheitel und die auf der rechten Trägerhälfte befindlichen Lasten Q und R beizubehalten, welche in Verbindung mit dem zugehörigen Kämpferdrucke B und Charnierdrucke BC in A einen aufwärts gerichteten Kämpferdruck und Charnierdruck AC hervorrufen, welche beide um D rechts drehen, also ein positives Angriffsmoment erzeugen.

Wird hiernach in Gleichung 10  $P=0$  und  $-w$  statt  $w$  gesetzt, so ergibt sich aus Gleichung 64

$$78) \quad Y_v = \frac{1}{y(1/2 + w)} \left[ Qa(q + w - 1/2) + Rr \frac{2aw}{1} \right],$$

woraus folgt, dass die Zugspannung unter übrigens gleichen Umständen um so grösser wird, je grösser die Lasten Q und R werden und je näher sie dem Schnitte rücken. Die ungünstigste Laststellung ergibt sich nach Gleichung 19, wenn darin  $-w$  statt  $w$  gesetzt wird, aus

$$79) \quad S \left( \frac{1/2 - w}{\lambda} (a - u) - a \right) - Qa + R \frac{2aw}{1} \geq 0,$$

mithin, wenn die hieraus ermittelte ungünstigste Laststellung zu Grunde gelegt wird, die grösste Zugspannung

$$80) \quad Y_v^{max} = \frac{M^{max}}{y}.$$

Beispiel. Steht je 1 Locomotivrad in dem durchschnittenen Felde und zwischen diesem und dem Scheitel, während sich 4 Locomotiv- und 5 Tenderräder auf der rechten Trägerhälfte befinden, so ist für die 9. Diagonale, bei welcher  $w = -1,4$ ,  $e = 21,4$ ,  $a = 25,33$  und  $u = 16$  ist,

$$-6 \left( \frac{(20 + 1,4)(25,33 - 16)}{2} - 25,33 \right) + 6,25,33 + \frac{(4,6 + 5,3,75) \cdot 2,25,33,1,42}{40} < 0.$$

Verschiebt man nun den Zug soweit nach rechts, dass das in dem durchschnittenen Felde befindliche Locomotivrad dasselbe verlässt, so wird  $S=0$ , also

$$2,6,25,33 + \frac{(4,6 + 5,3,75) \cdot 2,25,33,1,42}{40} > 0.$$

Die 9. Diagonale erfährt daher ihre grösste Zugspannung, wenn das erwähnte Locomotivrad über dem rechten Endpunkte des durchschnittenen Feldes steht, also der Zug die in Fig. 14 dargestellte Lage annimmt. Aus

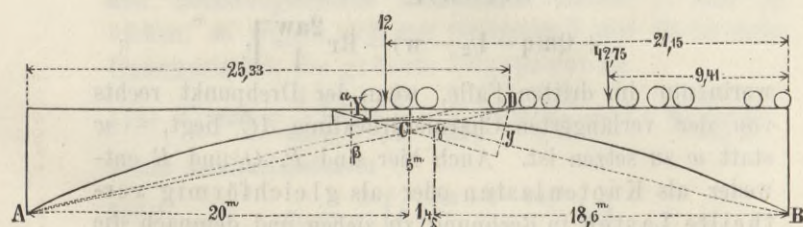


Fig. 14.

Gleichung 78 folgt daher, mit Bezug auf diese Figur, deren grösste Zugspannung

$$Y_v^{max} = \frac{1}{2,47(20 + 1,4)} \left[ 12,25,33(21,15 + 1,4 - 20) + \frac{42,75,9,41,2,25,33,1,4}{40} \right] = 28,15 \text{ tn.}$$

Um die grösste Druckspannung der durchschnittenen Diagonale zu erhalten, sind nur die links von dem Schnitte, also nur die Lasten P beizubehalten, welche in Verbindung mit dem zugehörigen Kämpferdruck in A einen abwärts gerichteten Charnierdruck CB erzeugen, welcher um D links dreht, folglich ein negatives Moment hervorbringt.

Hiernach erhält man aus Gleichung 10, worin  $Q=R=0$  und  $-w$  statt  $w$  zu setzen ist,

$$81) \quad Y_v = -\frac{1}{y(1/2 + w)} Pp(a - 1/2 - w),$$

woraus folgt, dass die Druckspannung  $Y_v$  um so grösser wird, je grösser unter übrigens gleichen Umständen die Lasten P werden und je näher deren Resultante dem Schnitte rückt. Die ungünstigste Laststellung ergibt sich aus Gleichung 19, wenn darin  $-w$  statt  $w$  gesetzt wird,

$$82) \quad P(1/2 + w - a) + S \left( \frac{1/2 + w(a - u)}{\lambda} - a \right) \geq 0.$$

Wird der auf Grund dieser ungünstigsten Laststellung ermittelte Werth  $M^{min}$  in Gleichung 64 eingeführt, so wird

$$83) \quad Y_v^{min} = -\frac{M^{min}}{y}.$$

Beispiel. Steht 1 Locomotivrad in dem durchschnittenen Felde, 3 Locomotiv- und 3 Tenderräder links von demselben, so ist für die 9. Diagonale

$$(4,6 + 3,3,75)(20 + 1,4 - 25,33) + 6 \left( \frac{(20 + 1,42)(25,33 - 16)}{2} - 25,33 \right) > 0.$$

Verschiebt man nun den Zug soweit nach links, dass das in dem durchschnittenen Felde befindliche Locomotivrad dasselbe verlässt, so wird  $S=0$ , also

$$(5,6 + 3,3,75)(20 + 1,41 - 25,33) < 0.$$

Die 9. Diagonale erfährt mithin ihre grösste Druckspannung, wenn das erwähnte Locomotivrad über dem linken Ende des durchschnittenen Feldes steht, also der Zug die in Fig. 15 dargestellte Lage annimmt. Aus Gleichung 81 folgt daher, mit Bezug auf diese Figur, deren

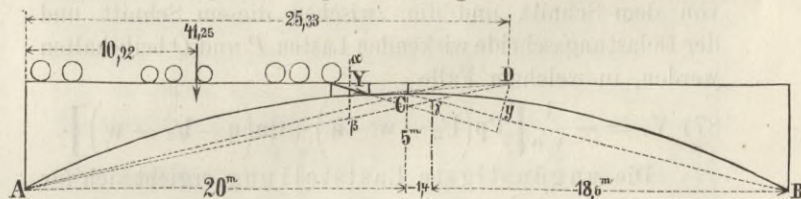


Fig. 15.

grösste Druckspannung

$$Y_v^{min} = -\frac{1}{2,47(20 + 1,4)} \left( 41,25,10,92(25,33 - 20 - 1,4) \right) = -33,49 \text{ tn.}$$

γ) Bestimmung der Spannungen durch das Eigengewicht.

Da hierbei die Lasten P, Q und R gleichzeitig wirken, so ergibt sich aus Gleichung 10 und 64 die Eigengewichtsspannung der Diagonale

$$84) \quad Y_e = \frac{1}{y(1/2 - w)} \left[ Pp(1/2 - w - a) + Qa(q - 1/2 - w) - Rr \frac{2aw}{1} \right],$$

worin nur im dritten Falle, wenn der Drehpunkt rechts von der verlängerten Charnierdrucklinie AC liegt,  $-w$  statt  $w$  zu setzen ist.

Auch hier sind P, Q und R entweder als Knotenlasten oder als gleichförmig vertheilte Lasten in Rechnung zu ziehen und demgemäss die Abstände p, q und r ihrer Resultanten zu bestimmen. Die grösste Grenzspannung der untersuchten Diagonale ergibt sich dann

$$85) \quad Y_{max} = Y_v^{max} + Y_e \quad \text{und} \quad Y_{min} = Y_v^{min} + Y_e.$$

### 5. Die Grenzspannungen in den Verticalen.

a) Bestimmung der Lage der Belastungsscheiden.

Wird durch ein Feld der linken Trägerhälfte ein schräger Schnitt  $\alpha\beta$ , gelegt und der Durchschnittspunkt  $D$  der mitdurchschnittenen Gurtungsstücke zweier aufeinander folgender Felder als zweckmässigster Drehpunkt aufgesucht, so fällt derselbe — wie bei den Diagonalen — für die dem linken Stützpunkte näher gelegenen Felder links und für die dem Scheitel näher gelegenen Felder rechts von der verlängerten Charnierdrucklinie  $AC$ .

Im ersten Fall erhält man wie früher den Abstand  $e$  der Belastungsscheide aus Gleichung 45, im zweiten Falle bildet, aus dem früher angegebenen Grunde, der Schnitt zugleich die Belastungsscheide, zu deren Linken sämtliche Lasten ein negatives und zu deren Rechten sämtliche Lasten ein positives Moment erzeugen.

$\beta$ ) Bestimmung der Grenzspannungen durch die Verkehrslast.

Bezeichnet  $V_v$  die von der Verkehrslast in einer beliebigen Verticalen erzeugte Spannung,  $v$  deren Hebelarm in Bezug auf den zweckmässigsten Drehpunkt  $D$ , so ergibt sich aus  $V_v v + {}^aM = 0$  die Spannung

$$86) \dots \dots \dots V_v = -\frac{{}^aM}{v}.$$

Auch hier wird  ${}^aM$  verschieden, je nachdem der Drehpunkt links von der verlängerten Charnierdrucklinie  $BC$ , zwischen die verlängerten Charnierdrucklinien  $BC$  und  $AC$  oder rechts von der verlängerten Charnierdrucklinie  $AC$  fällt und zwar wird dasselbe für diese drei Fälle durch die unter 4. bezeichneten Werthe dargestellt. Da jedoch das Widerstandsmoment der Verticalen nicht wie dasjenige der Diagonalen ein links drehendes, sondern ein rechts drehendes ist, so erzeugen die analogen Belastungen die entgegengesetzten Spannungen. Hiernach genügt es, die Werthe der Grenzspannungen mit den Bedingungen ihrer ungünstigsten Laststellung für die erwähnten drei Fälle kurz zusammenzustellen.

Erster Fall. Der Drehpunkt  $D$  liegt links von der verlängerten Charnierdrucklinie  $BC$ . Die grösste Druckspannung der durchschnittenen Vertikale entsteht, wenn nur die links von der Belastungsscheide, also die links von dem Schnitt und die zwischen diesem Schnitt und der Belastungsscheide wirkenden Lasten  $P$  und  $Q$  beibehalten werden, in welchem Falle

$$87) V_v = -\frac{1}{v \cdot e} \left[ Pp \left( \frac{1}{2} - w - a \right) + Qa \left( q - \frac{1}{2} - w \right) \right].$$

Die ungünstigste Laststellung ergibt sich für

$$88) P \left( \frac{1}{2} - w - a \right) - Qa + S \left( \frac{(1/2 - w)(a - u)}{\lambda} - a \right) \geq 0$$

und hieraus das Moment  ${}^aM_{min}$ , mithin die grösste Druckspannung

$$89) \dots \dots \dots V_{v, min} = -\frac{{}^aM_{min}}{v}.$$

Die grösste Zugspannung der durchschnittenen Verticalen entsteht, wenn nur die rechts von der Belastungsscheide, also die zwischen der Belastungsscheide und dem Trägerscheitel befindlichen Lasten  $Q$  und die auf der rechten Trägerhälfte befindlichen Lasten  $R$  beibehalten werden, also wenn

$$90) \dots \dots V_v = \frac{1}{v \cdot e} \left[ Qa \left( \frac{1}{2} + w - q \right) + Rr \cdot \frac{2aw}{1} \right].$$

Die ungünstigste Laststellung ergibt sich für

$$91) \dots \dots \dots \frac{Q}{w} - \frac{R}{1/2} \geq 0$$

und hieraus das Moment  ${}^aM_{max}$ , mithin die grösste Zugspannung

$$92) \dots \dots \dots V_{v, max} = \frac{{}^aM_{max}}{v}.$$

Zweiter Fall. Der Drehpunkt  $D$  liegt zwischen den verlängerten Charnierdrucklinien  $AC$  und  $BC$ . Die grösste Druckspannung der durchschnittenen Verticalen ergibt sich, wenn nur die zwischen dem Schnitt und der

Belastungsscheide befindlichen Lasten  $Q$  beibehalten werden, in welchem Falle

$$93) \dots \dots \dots V_v = -\frac{1}{v \cdot e} Qa \left( q - \frac{1}{2} - w \right).$$

Die ungünstigste Laststellung erhält man, nach Gleichung 72, aus

$$94) \dots \dots S \left( \frac{(1/2 - w)(a - u)}{\lambda} - a \right) - Qa \geq 0$$

und mit Rücksicht hierauf das Moment  ${}^aM_{min}$ , mithin ist

$$95) \dots \dots \dots V_{v, min} = \frac{{}^aM_{min}}{v}.$$

Die grösste Zugspannung der durchschnittenen Verticalen erhält man, wenn die links von dem Schnitt befindlichen Lasten  $P$  und die rechts von der Belastungsscheide, also die zwischen der Belastungsscheide und dem Scheitel sowie die auf der rechten Trägerhälfte befindlichen Lasten  $Q$  und  $R$  beibehalten werden, in welchem Falle

$$96) V_v = \frac{1}{v \cdot e} \left[ Pp \left( w + a - \frac{1}{2} \right) + Qa \left( \frac{1}{2} + w - q \right) + Rr \cdot \frac{2aw}{1} \right].$$

Die ungünstigste Laststellung ergibt sich aus den Gleichungen 19 und 11 für einen von links nach rechts und für einen von rechts nach links auffahrenden Zug bezw.

$$97) P \left( \frac{1}{2} - w - a \right) + S \left( \frac{(1/2 - w)(a - u)}{\lambda} \right) - a \geq 0$$

und

$$98) \dots \dots \dots \frac{Q}{w} - \frac{R}{1/2} \geq 0$$

und hieraus das Moment  ${}^aM_{max}$ , mithin die grösste Zugspannung

$$99) \dots \dots \dots V_{v, max} = \frac{{}^aM_{max}}{v}.$$

Dritter Fall. Der Drehpunkt liegt rechts von der verlängerten Charnierdrucklinie  $AC$ . Die grösste Druckspannung der durchschnittenen Verticalen ergibt sich, wenn nur die rechts von dem Schnitt, also die zwischen dem Schnitt und dem Trägerscheitel und die auf der rechten Trägerhälfte befindlichen Lasten  $Q$  und  $R$  beibehalten werden, in welchem Falle

$$100) V_v = \frac{1}{v \left( \frac{1}{2} + w \right)} \left[ Qa \left( q + w - \frac{1}{2} \right) + Rr \cdot \frac{2aw}{1} \right].$$

Die ungünstigste Laststellung ergibt sich, nach Gleichung 19, aus

$$101) S \left( \frac{(1/2 - w)(a - u)}{\lambda} - a \right) - Qa + R \cdot \frac{2aw}{1} \geq 0,$$

worin  $-w$  statt  $w$  zu setzen ist, und hieraus das Moment  ${}^aM_{min}$ , mithin ist

$$102) \dots \dots \dots V_{v, min} = -\frac{{}^aM_{min}}{v}.$$

Die grösste Zugspannung der durchschnittenen Verticalen erhält man, wenn nur die links von dem Schnitt befindlichen Lasten  $P$  beibehalten werden, in welchem Falle

$$103) \dots \dots V_v = \frac{1}{v \left( \frac{1}{2} + w \right)} Pp \left( a - \frac{1}{2} - w \right).$$

Die ungünstigste Laststellung ergibt sich für den Werth  ${}^aM_{max}$ , mithin ist

$$104) P \left( \frac{1}{2} + w - a \right) + S \left( \frac{(1/2 + w)(a - u)}{\lambda} - a \right) \geq 0$$

und hieraus

$$105) \dots \dots \dots V_{v, max} = \frac{{}^aM_{max}}{v}.$$

$\gamma$ ) Bestimmung der Spannungen durch das Eigengewicht.

Da hierbei die Lasten  $P$ ,  $Q$  und  $R$  gleichzeitig wirken, so ergibt sich aus Gleichung 10 und 86 die Eigengewichtsspannung der Vertikale

$$106) \dots \dots V_v = -\frac{1}{v \left( \frac{1}{2} - w \right)} \left[ Pp \left( \frac{1}{2} - w - a \right) + Qa \left( q - \frac{1}{2} - w \right) - Rr \cdot \frac{2aw}{1} \right],$$

worin nur im dritten Falle, wenn der Drehpunkt rechts von der verlängerten Charnierdrucklinie  $AC$  liegt,  $-w$  statt  $w$  zu setzen ist. Auch hier sind  $P$ ,  $Q$  und  $R$  entweder als Knotenlasten oder als gleichförmig verteilte Lasten in Rechnung zu ziehen und demnach die Abstände  $p$ ,  $q$  und  $r$  ihrer Resultanten zu bestimmen.



Die gesammte grösste Druck- und grösste Zugspannung ergibt sich dann bezw. aus

$$107) \quad V_{\min} = V_{\min} + V_e \quad \text{und} \quad V_{\max} = V_{\max} + V_e.$$

b. Bogenträger mit parabolischem Untergurt.

Nimmt der Untergurt des Bogenträgers die Form eines, einer gemeinen Parabel mit dem Pfeilverhältniss  $\frac{f}{l} = \frac{h_n}{2n\lambda}$  eingeschriebenen, Polygone mit  $2n$  gleichen Feldern von der Weite  $\lambda$ , der Obergurt eine wagrechte Lage mit der Ordinate  $h = h_n + c$  an, während beide durch Vertikale und bei der linken Hälfte durch links-, bei der rechten Hälfte durch rechtssteigende Diagonale verbunden sind, so sind die Ordinaten des mten unteren Knotenpunktes mit Bezug auf Fig. 16

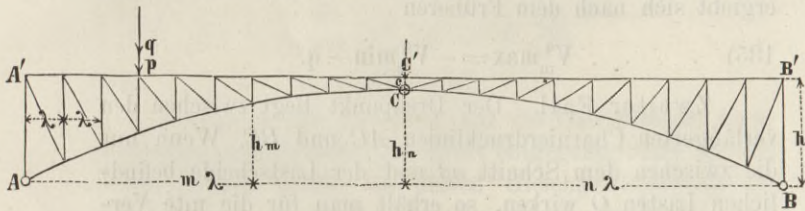


Fig. 16.

$$108) \quad \dots \quad h_m = \frac{m(2n-m)}{n} \cdot h_n,$$

worin für den  $(m-1)$ ten und  $(m+1)$ ten Knotenpunkt bzw.  $m-1$  und  $m+1$  statt  $m$  zu setzen ist. Wird der Bogenträger in jedem Knotenpunkte mit dem Eigengewichte  $p$  und dem Verkehrsgewichte  $q$  belastet, so erfahren die Vertikalen die Spannung  $-p$ , wenn er entlastet und die Spannung  $-(p+q)$ , wenn er vollbelastet ist. In beiden Fällen erleiden der Obergurt sowie die Diagonale keine Spannung, während der polygonale Untergurt allein diese Belastungen auf die Stützpunkte  $A$  und  $B$  überträgt. Bei unsymmetrischer Verkehrsbelastung dagegen nehmen alle diese Theile eine Spannung an, welche bei deren ungünstigster Vertheilung ihr Maximum erreicht.

### I. Die Grenzspannungen in den Untergurtstücken.

a. Die Spannungen durch Eigengewicht und volle Verkehrsbelastung.

Bezeichnet  $Z_m^p$  die Eigengewichts-Spannung und  $Z_m^{p+q}$  die Spannung durch volle Belastung im mten unteren Gurtstück von der Länge  $b_m$ , so ist

$$109) \quad \dots \quad Z_m^p = -\frac{n^2}{2} \cdot \frac{p}{h_n} \cdot b_m$$

und

$$110) \quad \dots \quad Z_m^{p+q} = -\frac{n^2}{2} \cdot \frac{p+q}{h_n} \cdot b_m,$$

worin

$$111) \quad \dots \quad b_m = \sqrt{\lambda^2 + \left( \frac{2(n-m)+1}{n^2} \cdot h_n \right)^2}.$$

b. Die Grenzspannungen durch die Verkehrslast.

a) Lage der Lastungsscheide.

Da in der allgemeinen Gleichung 45  $a = (m-1)\lambda$  und  $l = 2n\lambda$  wird, so erhält man die Entfernung der Lastungsscheide vom linken Stützpunkt

$$112) \quad \dots \quad e = \frac{2}{(m-1)h_n + \frac{1}{n}} \cdot \lambda$$

und vom Scheitel

$$113) \quad \dots \quad w = n\lambda - e.$$

β) Die grössten Zugspannungen.

Wenn nur die links von der Lastungsscheide, also die links vom Drehpunkte sowie die zwischen Drehpunkt und Lastungsscheide befindlichen Lasten  $P$  und  $Q$  wirken, so ergibt sich aus Gleichung 7 und 46 im mten Untergurtstück die grösste Zugspannung

$$114) \quad Z_m^a \max = \frac{1}{Z_m} \left[ Pp \left( \frac{b}{l} - \frac{k}{2f} \right) + Q \left( q \frac{a}{l} - (1-q) \frac{k}{2f} \right) \right],$$

worin deren Hebelsarm

$$115) \quad \dots \quad z_m = \frac{\lambda}{b_m} \left( c + \frac{(n+1-m)^2}{n^2} h_n \right)$$

und  $k = c + h_n$  zu setzen ist.

γ) Die grössten Druckspannungen.

Wenn nur die rechts von der Lastungsscheide, also die zwischen der Lastungsscheide und dem Trägerscheitel sowie die auf der rechten Bogenhälfte befindlichen Lasten  $Q$  und  $R$  wirken, so ist, nach Gleichung 7 und 46, die am mten Untergurtstück entwickelte grösste Druckspannung

$$116) \quad Z_m^a \min = \frac{1}{Z_m} \left[ Q \left( q \frac{a}{l} - (1-q) \frac{k}{2f} \right) + Rr \left( \frac{a}{l} - \frac{k}{2f} \right) \right],$$

worin  $z_m$  und  $k$  dieselben Werthe haben.

δ) Die grössten Gesamtspannungen.

Werden die durch Eigengewicht und Verkehrslast erzeugten Spannungen addirt, so erhält man aus Gleichung 109 und 114 die grösste gesammte Zugspannung

$$117) \quad \dots \quad Z_m \max = Z_m^p + Z_m^a \max,$$

aus Gleichung 109 und 116 die grösste gesammte Druckspannung

$$118) \quad \dots \quad Z_m \min = Z_m^p + Z_m^a \min.$$

### 2. Die Grenzspannungen in den Obergurtstücken.

a) Die Lage der Lastscheiden.

Wird für das mte Feld in der allgemeinen Gleichung 45  $a = m\lambda$ ,  $l = 2n\lambda$  und  $k = \frac{m(2n-m)}{n^2} h_n$  gesetzt, so ergibt sich die Entfernung der Lastscheide vom linken Stützpunkt

$$119) \quad \dots \quad e = \frac{2}{\frac{2n-m}{n^2} + \frac{1}{n}} \cdot \lambda$$

und diejenige vom Scheitel aus Gleichung 113.

β) Die grössten Zug- und Druckspannungen.

Da die Obergurtstücke bei der Entlastung und bei der vollen Verkehrsbelastung eine Spannung nicht erleiden, so folgt, dass sie eine Spannung durch Eigengewicht überhaupt nicht und durch einseitige Verkehrslasten, welche sich zur vollen Verkehrslast ergänzen, Spannungen erfahren, die sich gegenseitig aufheben, also numerisch gleich, nur hinsichtlich des Vorzeichens verschieden, d. h. einerseits Zug-, andererseits Druckspannungen sind. In Bezug auf die Grösse der Spannung ist es daher gleichgültig, ob die grösste Zugspannung oder die grösste Druckspannung bestimmt wird. Behält man die links von der Lastscheide, also die links vom Drehpunkte sowie die zwischen Drehpunkt und Lastscheide befindlichen Lasten bei, so erhält man, mit Benutzung der Gleichung 7, für das beliebige mte Feld die grösste Druckspannung

$$120) \quad X_m \min = -\frac{1}{X_m} \left[ Pp \left( \frac{b}{l} - \frac{k}{2f} \right) + Q \left( q \frac{a}{l} - (1-q) \frac{k}{2f} \right) \right],$$

worin der Hebelsarm

$$121) \quad \dots \quad x_m = c + \left( \frac{n-m}{n} \right)^2 h_n$$

und der Abstand

$$122) \quad \dots \quad k_m = \frac{m(2n-m)}{n^2} \cdot h_n$$

zu setzen ist. Nach dem Obigen ergibt sich hieraus die grösste Zugspannung

$$123) \quad \dots \quad X_m \max = -X_m \min.$$

### 3. Die Grenzspannungen der Diagonalen.

a) Die Lage der Lastscheide.

Wird in der allgemeinen Gleichung 45  $a = \frac{n^2 k - m(m-1)h_n}{(2n+1-2m)h_n} \cdot \lambda$ ,  $l = 2n\lambda$  und  $k = h$  gesetzt, so ergibt sich der Abstand der Lastungsscheide vom dem linken Stützpunkt

$$124) \quad \dots \quad e = \frac{2}{\frac{(2n+1-2m)h}{n^2 h - m(m-1)h_n} + \frac{1}{n}} \cdot \lambda$$

und derjenige vom Scheitel aus Gleichung 113.

b) die grössten Zug- und Druckspannungen.

Da die Diagonalen bei Entlastung und Vollbelastung durch Verkehr spannungslos sind, so folgt, dass sie eine

Spannung durch Eigengewicht überhaupt nicht und durch Ergänzungslasten, d. h. partielle Verkehrslasten, welche sich zur vollen Verkehrslast ergänzen, Spannungen erfahren, welche sich gegenseitig aufheben, also numerisch gleich, nur hinsichtlich ihres Vorzeichens verschieden, d. h. einerseits Zug- andererseits Druckspannungen sind. Da es also für die Grösse der Spannung gleichgültig bleibt, ob die grösste Druck- oder die grösste Zugspannung bestimmt wird, so sind diejenigen Belastungen zu wählen, welche die einfachste Berechnung gestatten, wobei die unter 1. erwähnten 3 Fälle zu unterscheiden sind. Bezeichnet man mit  $y_m$  den Hebelarm der mten Diagonale, so ergibt sich

$$125) \dots \dots \dots Y_m = \frac{^a M_m}{y_m},$$

worin  $y_m = v_m \frac{h-h_m}{d_m}$  ist und erhalten wird, wenn man den oben angegebenen Werth von  $a$  in  $v_m = a - (m-1)\lambda$  und alsdann diesen sowie den in Relation 108 enthaltenen Werth  $h_m$  nebst der Länge  $d_m = \sqrt{\lambda^2 + \left(h - \frac{m(2n-m)}{n^2} h_n\right)^2}$  der mten Diagonale einführt.

Erster Fall. Der Drehpunkt liegt links von der verlängerten Charnierdrucklinie  $BC$ , in welchem Falle  $a < l/2 \left(1 - \frac{c}{h_n}\right)$ . Wenn nur die links von der Lastscheide, also die links von dem Schnitt befindlichen Lasten  $P$  und die zwischen dem Schnitt und der Lastscheide befindlichen Lasten  $Q$  wirken, so ist nach Gleichung 7 und 125 die in der mten Diagonale entwickelte grösste Zugspannung

$$126) Y_m \max = \frac{1}{y_m} \left[ Pp \left( \frac{b}{1} - \frac{k}{2f} \right) + Q \left( q \frac{a}{1} - (1-q) \frac{k}{2f} \right) \right],$$

worin  $y_m$  den zuvor entwickelten Werth hat und  $k = h$  ist. Nach dem Früheren ergibt sich alsdann die grösste Druckspannung

$$127) \dots \dots \dots Y_m \min = -Y_m \max.$$

Zweiter Fall. Der Drehpunkt liegt zwischen den verlängerten Charnierdrucklinien  $BC$  und  $AC$ , in welchem Falle  $a \geq l/2 \left(1 \pm \frac{c}{h_n}\right)$ . Wenn nur die zwischen dem Schnitt  $\alpha\beta$  und der Belastungsscheide befindlichen Lasten  $Q$  wirken, so erhält man für die mte Diagonale, nach Gleichung 7 und 125, die grösste Zugspannung

$$128) \dots \dots Y_m \max = \frac{1}{y_m} Q \left( q \frac{a}{1} - (1-q) \frac{k}{2f} \right),$$

worin  $y_m$  und  $k$  die früheren Werthe haben. Hieraus ergibt sich, wie in Gleichung 137, die grösste Druckspannung

$$129) \dots \dots \dots Y_m \min = -Y_m \max.$$

Dritter Fall. Der Drehpunkt liegt rechts von der verlängerten Charnierdrucklinie  $AC$ , in welchem Falle  $a \geq l/2 \left(1 + \frac{c}{h_n}\right)$ . Wenn nur die links von dem Schnitt  $\alpha\beta$  befindlichen Lasten  $P$  wirken, so ergibt sich für die mte Diagonale, nach Gleichung 7 und 125, die grösste Druckspannung

$$130) \dots \dots \dots Y_m \min = \frac{1}{y_m} Pp \left( \frac{b}{1} - \frac{k}{2f} \right),$$

worin  $y_m$  und  $k$  die früheren Werthe haben. Hieraus erhält man alsdann die grösste Zugspannung

$$131) \dots \dots \dots Y_m \max = -Y_m \min.$$

#### 4. Die Grenzspannungen in den Vertikalen.

Da die Vertikalen durch Eigengewichtsbelastung die Spannung  $-p$  und durch die volle Verkehrsbelastung die Spannung  $-q$  annehmen, so folgt, dass dieselben durch Ergänzungslasten, d. h. partielle Verkehrslasten, welche sich zur vollen Verkehrslast ergänzen, Spannungen erfahren, welche sich gegenseitig zu  $-q$  ergänzen. Mit hin ist auch hier, unter Zugrundlegung derselben drei Fälle, nur eine Spannung zu bestimmen, worunter diejenige gewählt werden soll, welche die einfachste statische Berechnung zulässt. Allgemein erhält man

$$132) \dots \dots \dots V_m^q = -\frac{^a M_m}{v_m},$$

worin

$$133) \dots \dots v_m = \left( \frac{n^2 h - m(2n-m)h_n}{h_n(2n+1-2m)} + 1 \right) \lambda.$$

a) Die Grenzspannungen durch Verkehrsbelastung.

Erster Fall. Der Drehpunkt liegt links von der verlängerten Charnierdrucklinie  $BC$ . Wenn nur die links von der Lastscheide, also nur die links von dem Schnitt und die zwischen Schnitt und Lastscheide befindlichen Lasten  $P$  und  $Q$  wirken, so ergibt sich aus Gleichung 7 und 152 die grösste Druckspannung

$$134) V_m^q \min = -\frac{1}{v_m} \left[ Pp \left( \frac{b}{1} - \frac{k}{2f} \right) + Q \left( q \frac{a}{1} - (1-q) \frac{k}{2f} \right) \right],$$

worin  $v_m$  den obigen Werth hat und  $k = h$  ist. Hieraus ergibt sich nach dem Früheren

$$135) \dots \dots \dots V_m^q \max = -V_m^q \min - q.$$

Zweiter Fall. Der Drehpunkt liegt zwischen den verlängerten Charnierdrucklinien  $AC$  und  $BC$ . Wenn nur die zwischen dem Schnitt  $\alpha\beta$  und der Lastscheide befindlichen Lasten  $Q$  wirken, so erhält man für die mte Vertikale aus Gleichung 7 und 132 die grösste Druckspannung

$$136) \dots \dots V_m^q \min = -\frac{1}{v_m} Q \left( q \frac{a}{1} - (1-q) \frac{k}{2f} \right),$$

worin  $v_m$  und  $k$  die früheren Werthe haben. Man erhält hieraus

$$137) \dots \dots \dots V_m^q \max = -V_m^q \min - q.$$

Dritter Fall. Der Drehpunkt liegt rechts von der verlängerten Charnierdrucklinie  $AC$ . Wenn nur die links von dem Schnitt  $\alpha\beta$  befindlichen Lasten  $P$  wirken, so ergibt sich für die mte Vertikale aus Gleichung 7 und 132 die grösste Zugspannung

$$138) \dots \dots V_m^q \max = -\frac{1}{v_m} Pp \left( \frac{b}{1} - \frac{k}{2f} \right),$$

worin  $v_m$  und  $k$  die obigen Werthe haben. Hieraus ergibt sich dann

$$139) \dots \dots \dots V_m^q \min = -V_m^q \max - q.$$

b) Die Gesamtspannungen.

Nimmt man an, dass die eine Hälfte  $\frac{p}{2}$  des Eigengewichtes an dem oberen, die andere Hälfte an dem unteren Endpunkte jeder Vertikalen angreift, so erfährt dieselbe die Druckspannung  $-\frac{p}{2}$ , welche zu der durch den Verkehr erzeugten grössten Zug- oder Druckspannung hinzutritt. Hiernach erhält man

$$140) V_m \max = V_m^q \max - \frac{p}{2} \text{ und } V_m \min = V_m^q \min - \frac{p}{2}.$$

B. Die elastischen Bogenträger mit zwei Kämpfer-Charnieren.

1. Die Bogenträger im Allgemeinen.

Werden die elastischen Bogenträger mit zwei Kämpfercharnieren aus einem parabolischen Untergurt und einem zur Aufnahme der Brückenbahn bestimmten, geraden und wagrechten Obergurt gebildet, welche nur durch Vertikale verbunden sind, so haben die letzteren nur die ihnen zufallenden Lastentheile der Brückenbahn und des Verkehrs auf die Bogen zu übertragen, während der Untergurt sämtliche, durch die ungünstigsten Belastungen erzeugten Druck-, Scheer- und Biegungsspannungen aufzunehmen hat.

Führt man einen Schnitt  $\alpha\beta$  durch diesen bogenförmigen Untergurt und bezeichnet mit  $R$  die Resultante aller äusseren, auf den Gurtquerschnitt wirkenden Kräfte, welche in einem normalen Abstand  $r$  an dem Punkt  $O$  der neutralen Axe desselben vorbeigeht, mit  $N$  die zu jenem Querschnitte normale Komponente derselben, welche mit der Resultante  $R$  den Winkel  $\gamma$  einschliesst und in einem Abstand  $e$  von der neutralen Axe den Querschnitt trifft, so ist, mit Bezug auf Fig. 17, das auf die neutrale Axe des Querschnitts

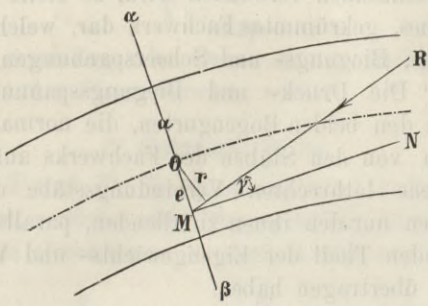


Fig. 17.

bezogene Angriffsmoment

141) . . . . .  ${}^aM = Rr,$

mithin, da  $R = \frac{N}{\cos\gamma}$  und  $r = e \cdot \cos\gamma$  ist,

142) . . . . .  ${}^aM = Ne.$

Werden in der neutralen Axe des Querschnittes zwei zu ihm normale, gleiche und direct entgegengesetzte Kräfte  $N$  hinzufügt, welche an dessen Gleichgewichtszustande nichts ändern, so erleidet der Querschnitt ausser der Drehung durch das Moment  $Ne$  bei einem Flächeninhalt  $f$  einen gleichförmig darüber vertheilten Druck  $k_1 = \frac{N}{f}$ . Bezeichnet man mit  $t$  das Trägheitsmoment, mit  $k_{11}$  die Spannung der untersten Lamelle des Querschnittes und mit  $a$  deren Abstand von der neutralen Axe, so ist das Widerstandsmoment des Querschnittes

143) . . . . .  ${}^wM = k_{11} \frac{t}{a},$

woraus, wegen  ${}^wM = {}^aM$ , die Biegungsspannung

144) . . . . .  $k_{11} = \frac{a}{t} \cdot {}^aM = \frac{a}{t} \cdot Ne$

und wenn, wie bei symmetrischen Querschnitten,  $t = \frac{fh^2}{4}$

und  $a = \frac{h}{2}$  gesetzt werden kann,

145) . . . . .  $k_{11} = \frac{2e}{h} \cdot \frac{N}{f}.$

Die äusserste Lamelle erleidet also die Gesamtspannung

146) . . . . .  $k = k_1 + k_{11} = \frac{N}{f} \left( 1 + \frac{2e}{h} \right).$

Für  $e = 0$  ist keine Biegungsspannung vorhanden, also  $k = \frac{N}{f}$  d. h. der Spannung durch den gleichförmig vertheilten Druck gleich. Für  $e = \frac{h}{2}$  ergibt sich der grösste, aus Druck- und Biegungs-Druckspannung zusammengesetzte Werth  $k_{max} = \frac{2N}{f}$ , für  $e = -\frac{h}{2}$  der kleinste, aus Druck- und Biegungszugspannung zusammengesetzte Werth  $k_{min} = 0$ . Die Drehpunkte  $M_1$  und  $M_{11}$ , für welche die grössten Gesamtanspruchnahmen des Querschnitts entstehen, liegen daher in den äussersten Lamellen mit den Abständen  $e = \pm \frac{h}{2}$ . Nach dem Früheren werden die für  ${}^aM$  geltenden Angriffsmomente zwischen den Belastungsscheiden negativ, ausserhalb derselben positiv, die obersten Lamellen erfahren also hier bzw. die grösste Druck- und Zugspannung  $k_{11}^o$ , die untersten Lamellen hier bzw. die grösste Zug- und Druckspannung  $k_{11}^u$ , welche beide die grösste zulässige Anspruchnahme des Schmiedeisens nicht überschreiten dürfen.

Zur Bestimmung der zum Querschnitte normalen Druckkraft  $N$  und der zu demselben parallelen Scheerkraft  $S$  bedient man sich der für den Querschnitt berechneten vertikalen und horizontalen Componente  $V$  und  $H$  der Resultante  $R$  aller Kräfte. Schliesst die Querschnittsfläche mit einer lothrechten Ebene den Winkel  $\alpha$  ein, so ergibt sich jene Normalkraft

147) . . . . .  $N = H \cos\alpha + V \sin\alpha$

und jene Scheerkraft

148) . . . . .  $S = V \cos\alpha - H \sin\alpha.$

## 2. Die Bogenträger mit geschlossenem Querschnitt.

Die Gesamtspannungen der elastischen Bogenträger werden durch

- a) die Verkehrslast,
- b) das Eigengewicht,

c) die bei Temperaturwechsel eintretenden Längenveränderungen des Eisens hervorgerufen, sind für jede dieser 3 Anspruchnahmen besonders zu bestimmen und hierauf zu addiren. Um die grösste Gesamtspannung zu erhalten, sind hierbei die ungünstigste Stellung der Verkehrslast und bei den Längenveränderungen des Eisens die der jeweiligen Baustelle entsprechenden Temperaturgrenzen zu berücksichtigen.

### a. Die Spannungen durch die Verkehrslast.

Die Maximal-Spannungen in einem Querschnitte des Bogenträgers von dem Flächeninhalt  $f$  erfordern:

1) die Berechnung des Normaldruckes auf die Flächeneinheit des Querschnittes

149) . . . . .  $k_v = \frac{N}{f} = \frac{H \cos\alpha + A \sin\alpha}{f},$

worin  $H$  und  $A$  die durch Gleichung 22 und 21 gegebenen, für die ungünstigste Lastvertheilung ermittelten, Werthe besitzen,

2) die Berechnung der grössten Biegungsspannung

α) in der obersten Lamelle des Querschnittes

150) . . . . .  $k_v^o = \frac{a^o}{t} \cdot {}^aM,$

β) in der untersten Lamelle desselben

151) . . . . .  $k_v^u = \frac{a^u}{t} \cdot {}^aM,$

worin  $a^o$  und  $a^u$  den Abstand der bzw. obersten und untersten Lamelle von der neutralen Axe des Querschnittes,  $t$  dessen Trägheitsmoment

und  ${}^aM$  den durch Gleichung 142 gegebenen Werth des Angriffsmomentes für die ungünstigste Lastvertheilung bezeichnet,

3) die Berechnung der grössten Gesamtspannung mit Benutzung der unter 1) und 2) gewonnenen Werthe

α) in der obersten Lamelle des Querschnittes

152) . . . . .  $k^o = k_v + k_v^o,$

β) in der untersten Lamelle des Querschnittes

153) . . . . .  $k^u = k_v + k_v^u,$

4) die Berechnung der Scheerspannung der Flächeneinheit des Querschnittes

154) . . . . .  $s_v = \frac{S_v}{f} = \frac{A \cos\alpha - H \sin\alpha}{f},$

worin  $A$  und  $H$  bzw. die durch Gleichung 21 und 22 gegebenen Werthe haben.

### b. Die Spannungen durch das Eigengewicht.

α) Bogenträger mit beliebiger Form des Untergurts.

Wird das Eigengewicht — wie dies in den meisten Fällen zulässig ist — als eine gleichförmig und stetig über die Horizontalprojection des Trägers vertheilte Belastung angenommen, so ergibt sich

1) der Normaldruck auf die Flächeneinheit des Querschnittes

155) . . . . .  $k_e = \frac{N}{f} = \frac{H \cos\alpha + A \sin\alpha}{f},$

worin  $H$  und  $A$  die durch Gleichung 38 und 35 gegebenen Werthe besitzen.

2) die Biegungsspannung

α) in der obersten Lamelle des Querschnittes

156) . . . . .  $k_e^o = \frac{a^o}{t} \cdot {}^aM,$

β) in der untersten Lamelle desselben

157) . . . . .  $k_e^u = \frac{a^u}{t} \cdot {}^aM,$

worin  $a^o$   $a^u$  und  $t$  die frühere Bedeutung haben und  ${}^aM$

den durch die Gleichung 32 gegebenen Werth des Angriffsmomentes bezeichnet,

3) die Gesamtspannung, mit Benutzung der unter 1. und 2. erhaltenen Werthe,

α) in der obersten Lamelle des Querschnittes

158) . . . . .  $k^o = k_e + k_o^o,$

β) in der untersten Lamelle des Querschnittes

159) . . . . .  $k^u = k_e + k_o^u,$

4) die Scheerspannung der Flächeneinheit des Trägerquerschnittes

160) . . . . .  $s_e = \frac{S_e}{f} = \frac{A \cos \alpha - H \sin \alpha}{f},$

worin  $A$  und  $H$  die durch Gleichung 35 und 38 gegebenen Werthe besitzen.

β) Bogenträger mit parabolischem Untergurt.

Nimmt der Untergurt die Form einer gemeinen Parabel an, so überträgt derselbe die gleichförmig und stetig vertheilte Last  $q$  der Längeneinheit allein und derart auf die Stützpunkte, dass die mittlere Drucklinie des Untergurtes parallel zu dessen neutraler Axe verläuft, mithin Scheerkräfte wegfallen und in jedem Querschnitte mit dem Neigungswinkel  $\alpha$  der neutralen Axe zum Horizonte nur ein Normaldruck

161) . . . . .  $N = \frac{H}{\cos \alpha}$

auftritt, worin

162) . . . . .  $H = q \frac{l^2}{8f}$

zu setzen ist. Für die Einheit der Querschnittsfläche  $f$  erhält man hieraus den Normaldruck

163) . . . . .  $n = \frac{N}{f}.$

Die lothrechte Componente des Auflagerdruckes beträgt

164) . . . . .  $A = ql/2.$

c. Die Spannungen bei Temperaturwechsel.

Der Temperaturwechsel erzeugt

1) eine zur Querschnittsfläche normale Spannung

165) . . . . .  $n = \frac{N}{f},$

worin für den Neigungswinkel  $\alpha$  der Querschnittsfläche zur Vertikalen

166) . . . . .  $N = H \cos \alpha$

und hierin für  $H$  der, durch Gleichung 40 gegebene, Werth zu setzen ist,

2) eine Biegungsspannung

α) in der obersten Lamelle des Querschnittes

167) . . . . .  $k_t^o = \frac{a^o}{t} \cdot {}^a M,$

β) in der untersten Lamelle desselben

168) . . . . .  $k_t^u = \frac{a^u}{t} \cdot {}^a M,$

worin  $a^o$   $a^u$  und  $t$  die frühere Bedeutung haben und  ${}^a M$  den, durch Gleichung 32 gegebenen, Werth besitzt,

3) die Gesamtspannung mit Benutzung der unter 1. und 2. erhaltenen Werthe

α) in der obersten Lamelle des Querschnittes

169) . . . . .  $k = n + k_t^o,$

β) in der untersten Lamelle des Querschnittes

170) . . . . .  $k^u = n + k_t^u,$

4) die Scheerspannung der Flächeneinheit des Trägerquerschnittes

171) . . . . .  $s_t = \frac{S^t}{f},$

worin

172) . . . . .  $S^t = H \sin \alpha$

ist und  $H$  den in Gleichung 40 gegebenen Werth besitzt.

3. Die elastischen Bogenträger mit offengebautem Querschnitt.

Wird der Bogen dieser Träger mit getrennten Gurten und mit zwischen dieselben eingeschaltetem Fachwerk konstruirt, während die Brückenbahn nur durch lothrechte

Stäbe mit demselben verbunden wird, so stellt der Bogen ein elastisches, gekrümmtes Fachwerk dar, welches sämtliche Druck-, Biegungs- und Scheerspannungen aufzunehmen hat. Die Druck- und Biegungsspannungen sind hierbei von den beiden Bogengurten, die normalen Scheerspannungen von den Stäben des Fachwerks aufzunehmen, während jene lothrechten Verbindungsstäbe der beiden Trägergurten nur den ihnen zufallenden, parallel zu ihrer Axe wirkenden Theil der Eigengewichts- und Verkehrsbelastung zu übertragen haben.

a. Die Spannungen der Bogengurten.

Bezeichnet  $c$  den Hebelsarm, woran die Resultanten der sämtlichen, durch Belastungs- und Temperaturwechsel erzeugten Zug- und Druckspannungen der beiden Bogengurten als Kräftepaar wirken,

$\left\{ \begin{matrix} p \\ s \end{matrix} \right\}$  die grösste zulässige  $\left\{ \begin{matrix} \text{Druckspannung} \\ \text{Zugspannung} \end{matrix} \right\}$  in der äussersten Faser,

$\left\{ \begin{matrix} a_s \\ a_p \end{matrix} \right\}$  den Abstand der letzteren von der neutralen Axe,

$\left\{ \begin{matrix} f_s \\ f_p \end{matrix} \right\}$  den Inhalt des  $\left\{ \begin{matrix} \text{gezogenen} \\ \text{gedrückten} \end{matrix} \right\}$  Bogengurtes,

$\left\{ \begin{matrix} b_s \\ b_p \end{matrix} \right\}$  den Abstand seines Schwerpunktes von der neutralen Axe,

so ist das Widerstandsmoment

173) . . . . .  ${}^w M = \left\{ \begin{matrix} \text{entweder } \frac{s}{a_s} f_s b_s c \\ \text{oder } \frac{p}{a_p} f_p b_p c. \end{matrix} \right.$

Für alle, zur neutralen Axe symmetrischen Querschnitte von der Höhe  $h$ , dem Flächeninhalt  $f$  und dem Abstände  $b$  der Schwerpunkte ihres gezogenen und gedrückten Theiles ist  $a_s = a_p = \frac{h}{2}$ ,  $f_s = f_p = \frac{f}{2}$  und  $b_s = b_p = \frac{b}{2}$ , mithin aus Gleichung 173 das Widerstandsmoment

174) . . . . .  ${}^w M = \left\{ \begin{matrix} s \\ p \end{matrix} \right\} \frac{fb}{2h} c.$

Für Bogen, welche im Verhältnisse zu ihrer Höhe sehr niedrige Gurten haben, so dass die Abstände  $c$  und  $b$  nur unbedeutend von einander abweichen und als einander gleich angesehen werden können, wird

175) . . . . .  ${}^w M = \left\{ \begin{matrix} s \\ p \end{matrix} \right\} \frac{f}{2} \cdot \frac{b^2}{h}$

und, wenn in jenem Falle der Abstand  $b$  von der Bogenhöhe  $h$  selbst nur unbedeutend abweicht,

176) . . . . .  ${}^w M = \left\{ \begin{matrix} s \\ p \end{matrix} \right\} \frac{f}{2} \cdot h.$

Wird in den Gleichungen 173–176 der aus Gleichung 20 und 39 bekannte Werth  ${}^a M$  statt  ${}^w M$  gesetzt und die Querschnittsdimensionen der Bogen als bekannt angenommen, so ergeben sich die grössten Biegungsspannungen  $s$  und  $p$ , welchen die gleichförmig vertheilte normale, durch Gleichung 147 bestimmte Druckspannung  $n = \frac{N}{f}$  hinzuzufügen ist.

b. Die Spannungen der Stäbe.

α) Einfache Stäbe.

Wird durch einen beliebigen Stab des Bogens ein zu demselben normaler Schnitt geführt und mit  $S$  die in diesem Schnitte wirkende, durch Gleichung 148 gegebene Scheerkraft bezeichnet, so ist die Spannung jenes Stabes, welcher mit dem Bogengurte den Winkel  $\gamma$  einschliesst, mit Bezug auf Fig. 18

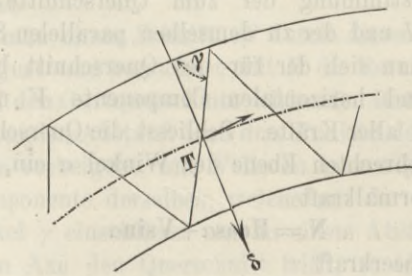


Fig. 18.

177) . . . . .  $T = \frac{S}{\sin \gamma}$   
 und stellt einen Zug oder Druck dar, je nachdem  $S$  auf- oder, wie in der Figur, abwärts wirkt.

$\beta$ ) Gekreuzte Stäbe.

Sind  $T$  und  $T_1$  die Spannungen,  $\beta$  und  $\delta$  die Neigungswinkel, welche die Diagonalstäbe bzw. mit den Bogengurten einschliessen, so ergibt sich aus Fig. 19

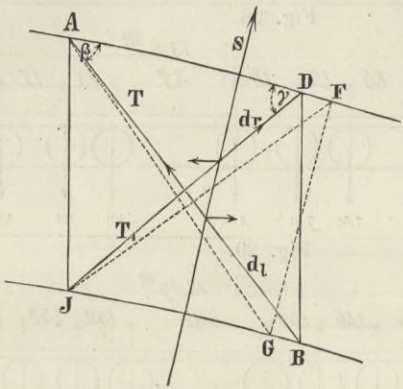


Fig. 19.

178) . . . . .  $S = T \sin \beta + T_1 \sin \gamma$ .  
 Rücken bei der Biegung des Bogens dessen Knotenpunkte von  $D$  nach  $F$  und von  $B$  nach  $G$ , so ist für nahezu gleiche Querschnitte der Gurtungen  $DF = BG = \sigma$ , während die Diagonalstäbe die Lagen  $AB$  und  $JD$  einnehmen. Die Spannungen der Stäbe sind ihren Längenveränderungen proportional, man erhält mithin, wenn mit  $E$  der Elasticitätsmodul, mit  $d_1$  die Länge des links, und mit  $d_r$  die Länge des rechts steigenden Stabes bezeichnet wird,

179) . . . . .  $\frac{T}{E} = \frac{\sigma \cos \beta}{d_1}$  und  $\frac{T_1}{E} = \frac{\sigma \cos \gamma}{d_r}$ ,

woraus durch Division

180) . . . . .  $T_1 = T \cdot \frac{\cos \gamma \cdot d_1}{\cos \beta \cdot d_r}$ ,

mithin, wenn dieser Werth in Gleichung 178 eingeführt und vereinfacht wird,

181) . . . . .  $T = S \cdot \frac{2d_r \cos \beta}{d_r \sin 2\beta + d_1 \sin 2\gamma}$

und

182) . . . . .  $T_1 = S \cdot \frac{2d_1 \cos \gamma}{d_r \sin 2\beta + d_1 \sin 2\gamma}$ .

Setzt man in diese Ausdrücke die Maximalwerthe von  $S$  ein, so erhält man die grössten Spannungen  $T$  und  $T_1$  der Stäbe. Die Maximalwerthe von  $S$  sowie deren wechselnde Richtungen ergeben sich bei der grössten, einmal von links nach rechts, zum andernmal von rechts nach links allmählig fortschreitenden Verkehrsbelastung, s. Fig. 20 und 21. Die Längen  $d_r$  und  $d_1$  der Diagonalstäbe sowie deren Neigungswinkel  $\beta$  und  $\gamma$  zu den oberen Gurtstücken sind aus der bekannten geometrischen Gestalt des Trägers herzuleiten. Die Maximalwerthe  $T$  und  $T_1$  der Stabspannungen werden hierauf tabellarisch oder in einem Trägerschema zusammengestellt und ihnen die hieraus sowie aus der grössten zulässigen Material-Anspruchnahme resultirenden Querschnittsflächen beige-schrieben.

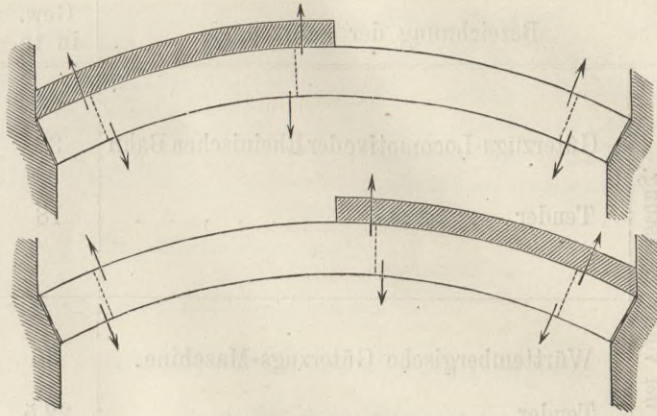


Fig. 20 und 21.

Die Werthe  $T$  und  $T_1$  sind  $S$  proportional und wechseln mit demselben das Vorzeichen. Wirkt  $S$  an der belasteten Seite des Trägers nach oben, s. Fig. 22, so werden die rechts und links steigenden Stäbe bzw. gedrückt und gezogen. Wirkt  $S$  abwärts, so findet das Umgekehrte statt. Bewegt sich die Last, nachdem sie den Träger vollständig bedeckt hat, weiter, so dass das zuerst belastete Ende auch zuerst entlastet wird, so treten dieselben Umstände für das andere Ende des Trägers ein. Diese Wirkungen ersehen sich aus den Figuren 23 und 24, worin die einfachen Li-

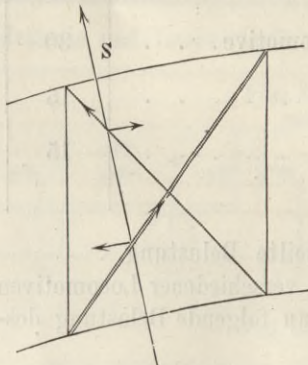


Fig. 22.

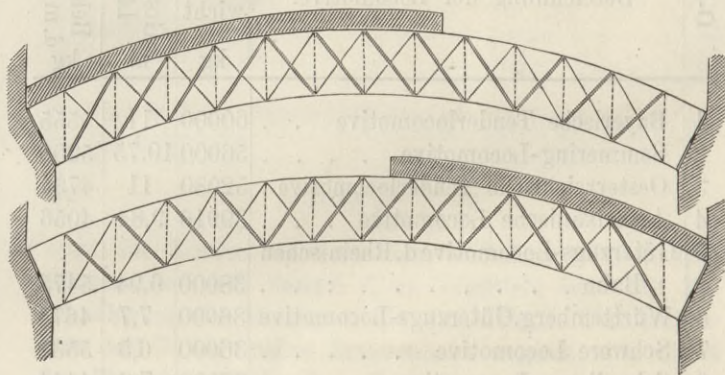


Fig. 23 und 24.

nien die gezogenen, die doppelten Linien die gedrückten Stäbe bezeichnen. Es folgt hieraus, dass beim Uebergang einer Last über den Träger jeder Diagonalstab sowohl gezogen als gedrückt wird und zwar bis zu den oben erwähnten grössten Werthen\*).

3. Belastungen.

A. Belastung von Eisenbahnbrücken.

a. Bewegte Belastung.

$\alpha$ ) Einzellasten und Lastvertheilung der schwersten Eisenbahnfahrzeuge in tn und m.

\*) Eine durchgeführte Berechnung und graphische Darstellung der Werthe von  $S$ ,  $T$  und  $T_1$  findet sich in Hartwich, die Erweiterungsbauten der Rheinischen Eisenbahn, Abth. I. Die Rheinbrücke bei Coblenz. Berlin 1864.

Bezeichnung der Fahrzeuge.	Gew. in tn.	Radstände und Vertheilung des Gewichtes auf die Axen.
Semmering-Locomotive . . . . .	56	<p>Fig. 25.</p>
Offene Lastwagen . . . . .	15,6	<p>Fig. 26.</p>
Tender-Locomotive . . . . .	52,08	
Offene-Lastwagen . . . . .	15,6	

Im Dienststande und bei voller Belastung

Druck per Räderpaar oder per Axe.

Bezeichnung der Fahrzeuge.		Gew. in tn.	Radstände und Vertheilung des Gewichts auf die Axen.
Im Dienststande und bei voller Belastung.	Güterzugs-Locomotive der Rheinischen Bahn	38	
	Tender . . . . .	18	
	Württembergische Güterzugs-Maschine.	36	
	Tender . . . . .	22,5	
	Güterwagen . . . . .	18	
	Bayerische Güterzugs-Locomotive. . .	30	
	Tender . . . . .	15	
	Kohlenwagen . . . . .	15	

Druck per Räderpaar oder per Axe.

β) Gleichförmig vertheilte Belastung.  
 Reducirt man die Gewichte verschiedener Locomotiven auf den m Geleise, so erhält man folgende Belastung desselben in kg.

O-Nr.	Bezeichnung der Locomotive.	Gewicht kg	Gesamtlänge m	Belastung kg d. m Geleise.
1	Bayerische Tenderlocomotive . .	60000	11	5555
2	Semmering-Locomotive . . . . .	56000	10,75	5209
3	Oesterreichische Tenderlocomotive .	52080	11	4734
4	Amerikanische Locomotive . . . . .	39916	9,84	4056
5	Güterzugs-Locomotive d. Rheinischen Bahn . . . . .	38000	6,94	5475
6	Württemberg. Güterzugs-Locomotive	36000	7,7	4675
7	Schwere Locomotive . . . . .	36000	6,5	5538
8	Schnellzugs-Locomotive . . . . .	32000	7,2	4444
9	Bayerische Güterzugs-Locomotive .	30000	7,53	3984

Werden bei den unter 4 bis 9 genannten Locomotiven deren Tender mit in Rechnung gezogen, so erhält man folgende Belastung des m Geleise.

O-Nr.	Bezeichnung der Locomotive.	Gewicht mit Tender kg	Gesamtlänge m	Belastung kg d. m Geleise.
zu 4	Amerikanische Locomotive . .	59876	14,90	3085
„ 5	Güterzugs-Locomotive der Rheinischen Bahn . . . . .	56000	13,74	4075
„ 6	Württembergische Güterzugs-Locomotive . . . . .	58500	13,50	4333
„ 7	Schwere Locomotive . . . . .	54000	12,50	4320
„ 8	Schnellzugs-Locomotive . . . . .	53000	12,40	4274
„ 9	Bayerische Güterzugs-Locomotive	45000	13,49	3335

Die Annahme einer gleichförmig vertheilten Verkehrslast zur Berechnung eiserner Brücken grösserer Spannweite ist in verschiedenen Ländern verschieden und ergibt sich aus folgender Zusammenstellung.

O-Nr.	Bezeichnung des Landes.	Belastung d. m Geleise.
1	Vereinigte Staaten v. Nord-Amerika	3333
2	England . . . . .	3333
3	Deutschland i. Mittel . . . . .	4500
4	Frankreich . . . . .	4000
5	Spanien und Russland . . . . .	4000
6	Oesterreich i. Mittel . . . . .	4500

Die statische Berechnung eiserner Bogenbrücken mit Hilfe einer gleichförmig vertheilten Last führt jedoch bei Bogenträgern mit 2 Gelenken stets, bei solchen mit 3 Gelenken meistens zu unrichtigen Resultaten. Grössere Genauigkeit gewähren verschiedene gleichförmig vertheilte Lasten zur Berechnung

- a) des absolut grössten Horizontalschubes  $H_1$ ,
- b) des durch einen über den ganzen Träger vertheilten Bahnzugs, dessen vorderstes Rad gerade über dem jenseitigen Auflager steht, erzeugten Horizontalschubes  $H_2$  und Auflagerdruckes  $A_1$ ,
- c) des durch einen über den halben Träger vertheilten Bahnzug, dessen vorderstes Rad gerade über dem Bogenscheitel steht, erzeugten Horizontalschubes  $H_3$  und Auflagerdruckes  $A_{11}$ .

Unter Zugrundlegung schwerer badischer Güterzugmaschinen von je 12,8 tn Axlast bei je 1,3 m Radstand, zugehöriger Tender von je 8 tn Axlast bei je 1,35 m Radstand und vierrädriger Lastwagen von je 8 tn Axlast bei 3,9 m Radstand giebt Engesser\*) für Spannweiten von 4 bis 100 m nachstehende Belastungs-Aequivalente für Eisenbahn-Bogenbrücken:

1	mit drei Gelenken.			mit zwei Gelenken.			mit zwei oder drei Gelenken.	
	$H_1$	$H_2$	$H_3$	$H_1$	$H_2$	$H_3$	$A_1$	$A_2$
4	10,54	8,68	16,74	10,02	8,76	14,67	12,55	16,74
6	9,37	8,27	14,05	9,49	7,97	12,78	11,16	14,05
8	8,37	6,04	12,71	7,83	5,63	11,64	9,38	12,71
10	7,34	4,33	12,10	6,81	4,64	11,36	8,28	12,10
12	6,48	4,05	11,16	5,83	4,61	10,71	7,67	11,16
15	5,79	3,87	9,79	5,18	4,15	8,88	6,87	9,79
18	5,47	3,97	8,71	4,99	4,08	7,73	6,37	8,71
20	5,32	4,26	8,22	4,97	4,42	7,32	6,26	8,22
25	4,79	4,45	7,48	4,95	4,64	6,72	6,00	7,48
30	4,69	4,64	6,83	4,89	4,59	6,16	5,76	6,83
35	4,71	4,70	6,40	4,78	4,53	5,82	5,56	6,40
40	4,80	4,69	6,24	4,73	4,65	5,80	5,47	6,24
50	4,72	4,54	5,98	4,71	4,53	5,66	5,26	5,98
60	4,53	4,26	5,74	4,48	4,18	5,45	5,00	5,74
70	4,30	3,96	5,54	4,21	3,84	5,32	4,75	5,54
80	4,10	3,59	5,46	3,96	3,55	5,26	4,53	5,46
90	3,91	3,30	5,37	3,73	3,32	5,19	4,34	5,37
100	3,74	3,08	5,26	3,56	3,14	5,07	4,17	5,26

b. Ruhende Belastung.

Bezeichnen  $p$  das Eigengewicht der Brückenträger und Brückenbahn für die Längeneinheit,  $l$  die Stützweite,  $c$  und  $f$  constante Erfahrungscoefficienten, so ist für Bogenbrücken annähernd

182) . . . . .  $p = f + cl$   
 Nimmt man das Fahrbahngewicht  $f$  zu 0,69 tn und  $c = 0,00625$  an, so ist, wenn  $l$  in m eingeführt wird, das Eigengewicht der Längeneinheit Brückenträger annähernd  
 183) . . . . .  $p = 0,69 + 0,00625.l$

\*) Vgl. Deutsche Bauzeitung. 1879. S. 322 ff.

Versteht man unter  $p_1$  das nach der Ausführung ermittelte Eigengewicht einer Bogenbrücke, so ergibt sich für verschiedene Bogenbrücken nachstehende Vergleichungstabelle in tn und m.

O-Nr.	Bezeichnung der Bogenbrücken.	$l$	$p_1$	$p$
1	Thorstrassenbrücke in Hannover . . . . .	11,3	0,92	0,76
2	Trankgassenbrücke in Cöln . . . . .	16	0,86	0,79
3	Ruhrbrücke bei Mülheim . . . . .	36	0,77	0,91
4	Theissbrücke bei Szegedin . . . . .	41	0,67	0,94
5	Ruhrbrücke bei Düssern . . . . .	48	0,99	0,99
6	Moselbrücke bei Güls . . . . .	65,6	1,10	1,10
7	Untere Rheinbrücke bei Coblenz . . . . .	99,7	1,99	1,31
8	Obere Rheinbrücke bei Coblenz . . . . .	107	1,50	1,36

Hieraus folgt, dass die Formel für mittlere Spannweiten genaue, für grössere Spannweiten kleinere, für kleinere Spannweiten meist grössere Eigengewichte für den m Bogenträger liefert, als sie sich thatsächlich herausstellen. Es empfiehlt sich daher für das Eigengewicht von Eisenbahn-Brücken mit 10 bis 50 m Spannweite

$$p = 0,795 + 0,00407 \cdot l,$$

mit 50 bis 100 m Spannweite

$$p = 0,575 + 0,00865 \cdot l$$

für den m Tragwand anzunehmen.

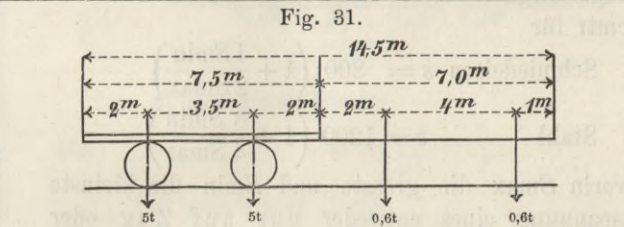
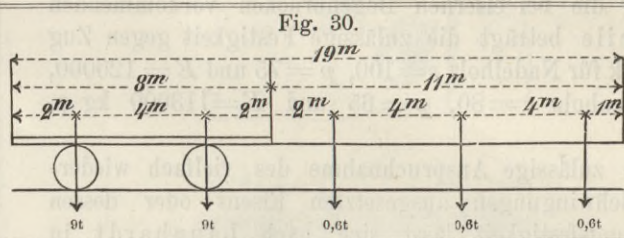
B. Belastung von Strassenbrücken.

a. Bewegte Belastung.

α) Einzellasten und Lastvertheilung der schwersten Strassenfahrwerke in tn und mtr.

	Bezeichnung der Fuhrwerke.	Gew. in tn.
Bei voller Belastung.	1. Schwerstes Frachtfuhrwerk . . . . .	18
	Bespannung mit 6 Pferden . . . . .	1,3
	2. Schweres Landfuhrwerk . . . . .	10
	Bespannung mit 4 Pferden . . . . .	1,2

Radstände und Lastvertheilung auf die Axen und Hufe.



Druck pro Axe und Pferdepaar in tn.

β) Gleichförmig vertheilte Belastung.

Je nach der Dichtigkeit eines Menschengedränges kommen auf 1 qm 5 bis 6 Mann, mithin, wenn das Gewicht eines Mannes zu 70 kg angenommen wird, 350 bis 420 kg auf den qm.

Die Annahme, welche man in verschiedenen Ländern für die gleichförmig vertheilte Belastung von Strassenbrücken macht, sind verschieden und betragen für den qm in den Vereinigten Staaten von Nordamerika 366—610, i. M. 488 kg, in Frankreich 400 kg, in Deutschland 360—560, i. M. 460 kg.

Nimmt man die Breite der unter B. a angeführten Strassenfahrwerke zu bzw. 2,5 und 2m an, so ergibt sich die Belastung des qm wie folgt:

O-Nr.	Bezeichnung des Fuhrwerkes.	Gewicht. tn	Länge. m	Breite. m	Belastung des qm tn
1	Schwerstes Frachtfuhrwerk . . . . .	24	8,8	2,5	1,09
2	Schweres Landfuhrwerk . . . . .	12	7,5	2,0	0,80

Wird die Bespannung mit in Rechnung gezogen, so vermindert sich die Belastung des qm wie folgt:

O-Nr.	Bezeichnung des Fuhrwerkes.	Gewicht. kg	Länge. m	Breite. m	Belastung des qm tn
1	Schwerstes Frachtfuhrwerk mit 6 Pferden . . . . .	25,8	19,8	2,5	0,521
2	Schweres Landfuhrwerk mit 4 Pferden . . . . .	13,2	14,5	2,0	0,455

welche letztere ohngefähr mit der Belastung des qm durch Menschengedrange übereinstimmt.

b. Ruhende Belastung.

Bezeichnet  $t_e = cl$  das Trägergewicht,  $f_e + v_e$  das gleichförmig vertheilte Fahrbahn- und Verkehrs-Gewicht der Eisenbahnbrücken, ferner  $t_s = c_1 l$  das Trägergewicht,  $f_s + v_s$  das gleichförmig vertheilte Fahrbahn- und Verkehrsgewicht der Strassenbrücken, so lässt sich das Trä-

gergewicht der Strassenbrücken annähernd finden aus der Formel

$$184) \dots \dots \dots t_s = \frac{f_s + v_s}{f_e + v_e} \cdot t_e$$

worin die Werthe von  $v$  aus dem Vorhergehenden zu entnehmen sind und danach  $f_s$  zu ermitteln ist. Mit Zu- grundlegung der Eigengewichte ausgeführter Strassenbrücken mit 75 m breiter Brückenbahn ergibt sich direct das Eigengewicht des 9 m Bogenträgers

a) bei Strassenbrücken mit Pflasterung

$$p = 0,925 + 0,0106 \cdot l \text{ tn,}$$

b) bei Strassenbrücken mit Bohlenbelag

$$p = 0,340 + 0,00706 \cdot l \text{ tn,}$$

woraus sich die Knotenlast der Träger berechnen lässt.

Beispiel. Für die Spannweite  $l = 40$  m wird nach a)  $p = 0,925 + 0,0106 \cdot 40 = 1,349$  tn  $p$  qm. Beträgt die Feldweite 2 m und die Entfernung der Träger 1,5 m, so ergibt sich eine Knotenlast derselben von  $1,5 \cdot 2 \cdot 1,349 = 4,047$  tn.

4. Materialwiderstände.

a. Zug- und Druckfestigkeit.

Bedeutet für einen Stab von 1 □ cm Querschnitt  $s$  die Zugspannung,  $p$  die Druckspannung, welcher er, unter den in nachfolgender Tabelle angegebenen Umständen, höchstens ausgesetzt werden darf,

$E$  den Elasticitätsmodul oder das Gewicht, welches ihn um seine ursprüngliche Länge ausdehnen oder zusammendrücken würde,

$$\lambda_s = \frac{s}{E} \text{ die seiner Spannung } s \text{ entsprechende Verlängerung,}$$

$$\lambda_p = \frac{p}{E} \text{ die seiner Pressung } p \text{ entsprechende Verkürzung,}$$

so ergibt sich bei Verwendung der Materialien unter grösstentheils constanter Kräfteeinwirkung und unter dem gewöhnlichen Einfluss der Atmosphärien nachstehende

Tabelle der Festigkeit der Baumetalle gegen Zug und Druck p. qcm in kg.

Nr.	Arten der Metalle.	Möglichst lange Dauer.									
		Wenige Erschütterungen.					Bedeutende Erschütterungen.				
		<i>s</i> Kg. p. □ cmtr.	<i>p</i> Kg. p. □ cmtr.	<i>E</i> Kg. p. □ cmtr.	$\lambda_s$	$\lambda_p$	<i>s</i> Kg. p. □ cmtr.	<i>p</i> Kg. p. □ cmtr.	<i>E</i> Kg. p. □ cmtr.	$\lambda_s$	$\lambda_p$
1	Schmiedeseisen	1340	1340	1940000	$\frac{1}{1446}$	$\frac{1}{1446}$	670	670	1860000	$\frac{1}{2771}$	$\frac{1}{2771}$
2	Eisenblech	1210	—	1700000	$\frac{1}{1400}$	—	605	—	1600000	$\frac{1}{2667}$	—
3	Stahl										
4	Gussstahl										
5	Gusseisen	400	1600	970000	$\frac{1}{2400}$	$\frac{1}{600}$	—	—	—	—	—

Für die bei eisernen Bogenbrücken vorkommenden Holztheile beträgt die zulässige Festigkeit gegen Zug und Druck für Nadelholz  $s=100$ ,  $p=75$  und  $E=120000$ , für Eichenholz  $s=80$ ,  $p=65$  und  $E=113000$  kg p. □ cmtr.

Die zulässige Anspruchnahme des vielfach wiederholten Schwingungen ausgesetzten Eisens oder dessen Schwingungsfestigkeit lässt sich nach Launhardt in kg und cmtr für

$$184) \dots \text{Schmiedeseisen } s = 800 \left( 1 + \frac{1 S_{\min}}{2 S_{\max}} \right)$$

$$185) \dots \text{Stahl } s = 1200 \left( 1 + \frac{3 S_{\min}}{4 S_{\max}} \right)$$

setzen, worin  $S_{\max}$  die grösste und  $S_{\min}$  die kleinste Gesamtspannung eines entweder nur auf Zug oder nur auf Druck beanspruchten Constructionstheiles bezeichnet.

Findet eine abwechselnde Beanspruchung auf Zug und Druck statt und wird die grössere derselben mit  $S_{\max}$  und die kleinere derselben mit  $S_{\min}$  bezeichnet, so lässt sich nach Weyrauch\*) die zulässige Anspruchnahme in kg. p. □ cmtr. für

$$186) \dots \text{Schmiedeseisen } s = 700 \left( 1 - \frac{1 S_{\min}}{2 S_{\max}} \right)$$

$$187) \dots \text{Stahl } s = 1100 \left( 1 - \frac{5 S_{\min}}{11 S_{\max}} \right)$$

setzen. In diesen beiden Gleichungen ist die quantitativ kleinste Spannung  $S_{\min}$  und die quantitativ grösste Spannung  $S_{\max}$ , gleichviel ob erstere Zug oder Druck und letztere bezw. Druck oder Zug ist oder ob das Umgekehrte stattfindet, ohne Berücksichtigung eines Vorzeichens, nur dem Zahlenwerthe nach, einzusetzen\*\*).

b. Scheerfestigkeit.

Die zulässige Anspruchnahme auf Scheerung beträgt für jeden □ cmtr.

Schmiedeseisen, weich . . . . .	0,50 tn.
dsgl., hart . . . . .	0,90 „
Bestes Nieteisen ***). . . . .	0,80 „
Gusseisen, gute Qualität. . . . .	0,22 „
dsgl., gewöhnliche . . . . .	0,19 „
Stahl, gehärtet . . . . .	1,87 „
dsgl., ungehärtet . . . . .	0,93 „
Gussstahl, gehärtet . . . . .	5,00 „
dsgl., ungehärtet . . . . .	3,33 „

während sie bei Nadel- und Eichenholz parallel zu seiner Faserrichtung zu bezw. 0,40 und 0,70 tn □ cmtr. angenommen werden kann.

\*) Vgl. dessen Festigkeit und Dimensionenberechnung der Eisen- und Stahlconstructions etc. Lpzg. 1876.

\*\*) Vgl. Heinzerling, die angreifenden und widerstehenden Kräfte der Brücken- und Hochbauconstructions etc. Brln. 1876. S. 80—85.

\*\*\*) Nach der österr. Ministerialverordnung v. 30. Aug. 1870 ist die Scheerfestigkeit der Niete in Oesterreich zu 6 kg. p. qmm anzunehmen.

c. Knickfestigkeit.

Auf Knicken sind vorzugsweise die Druckgurte und die Druckpfosten des Trägers beansprucht. Bezeichnet  $l$  die Länge eines solchen Constructionstheiles,  $t$  das Trägheitsmoment seines Querschnittes,  $E$  den Elasticitätsmodul des angewandten Materiales,  $m$  einen von der Befestigungsweise des Stabes abhängigen Coefficienten,

$N$  einen zuverlässigen Sicherheitscoefficienten, so beträgt diejenige nach der Längenaxe des Stabes wirkende Belastung, welche derselbe mit Sicherheit zu tragen vermag,

$$188) \dots \dots \dots P = N \cdot m \cdot \frac{Et}{l^2}$$

Hierin ist bei

a) Schmied- oder Walzeisen  $N = \frac{1}{6}$  und  $E = 1900$  tn,

Gusseisen  $N = \frac{1}{8}$  und  $E = 970$  tn,

Holzmaterial  $N = \frac{1}{10}$  und  $E = 120$  tn p. qcm

b) Festhaltung nur eines Endes  $m_1 = \frac{\pi^2}{4} = 2,467$ ,

drehbarer Befestigung beider Enden  $m_2 = 4m_1 = \pi^2 = 9,868$ ,

Festhaltung beider Enden  $m_3 = 16m_1 = 4\pi^2 = 39,472$ ,

c) rechteckigem Querschnitt mit der bzw. grössten und kleinsten Seite  $b$  und  $h$ ,  $t = \frac{bh^3}{12}$ ,

kreisförmigem Querschnitt mit dem Durchmesser  $d$ ,

$$t = \frac{\pi}{64} \cdot d^4,$$

kreuzförmigem Querschnitt mit den Armen  $H \times b$

und  $(B+b)h$   $t = \frac{1}{12}(bH^3 + Bh^3)$

zu setzen und hieraus eine Querschnittsdimension des Constructionstheiles zu bestimmen.

Einfacher ist die Berechnung der Stabquerschnitte mittelst Druckäquivalenten. Wird nämlich mit  $h$  die kleinste Querschnittsdimension des Stabes, mit  $c$  ein von dessen Querschnittsform abhängiger Coefficient

bezeichnet, so ist die mit zunehmender Schlankheit — also mit abnehmendem Verhältniss  $\frac{h}{l}$  — abnehmende zulässige Pressung der Quadrateinheit

$$189) \dots \dots \dots p = NE \cdot m \cdot c \left( \frac{h}{l} \right)^2,$$

mithin, wenn  $P$  die obige Bedeutung behält, der nutzbare Querschnitt des Stabes

$$190) \dots \dots \dots f = \frac{P}{p}$$

Werden die oben zusammengestellten Zahlenwerthe von  $N$ ,  $E$  und  $m$ , sowie der dem rechteckigen, kreisförmigen und kreuzförmigen (aus 5 Quadraten von



der Seite  $\frac{h}{3}$  gebildeten) Querschnitt entsprechende Coefficient  $c = \frac{1}{12}$ ,  $c = \frac{1}{16}$  und  $c = \frac{29}{540}$  in Gleichung 189 eingeführt, so ergeben sich nachstehende

Druckaequivalente  $p$  auf Knicken beanspruchter Stäbe in Kg. p. □ cmtr.

$\frac{h}{l}$	Schmiedeseisen			$\frac{h}{l}$	Gusseisen			$\frac{h}{l}$	Holz		
	□	○	+		□	○	+		□	○	+
0,126	—	—	670	0,315	—	—	1600	0,217	—	—	75
0,120	—	—	603	0,300	—	—	1443	0,201	—	—	64
0,117	—	—	670	0,292	—	—	1600	0,174	75	56	48
0,110	—	—	590	0,275	—	—	1413	0,150	55	42	36
0,101	670	498	430	0,253	1600	1195	1028	0,125	38	29	25
0,090	527	345	340	0,225	1257	944	813	0,100	25	18	16
0,080	417	312	269	0,200	944	747	642	0,090	20	15	13
0,070	318	239	206	0,175	751	573	490	0,080	16	12	10
0,060	234	176	151	0,150	559	421	362	0,070	12	9	8
0,050	162	122	105	0,125	388	291	251	0,060	9	7	6
0,040	104	78	67	0,100	248	187	160	0,050	6	5	4
0,030	59	66	38	0,075	164	123	106	0,040	4	3	3
0,020	26	20	17	0,050	62	46	40	0,030	2	2	2
0,010	6	5	4	0,025	15	12	6	0,020	1	1	1

Die vorstehenden Werthe von  $p$  sind, um zu der drehbaren Befestigung sowie zu der Festhaltung beider Stabenden überzugehen, mit bezw. 4 und 16 zu multiplizieren. Für zwischenliegende Werthe von  $\frac{h}{l}$  ist zu interpolieren. Für den kreuzförmigen Querschnitt mit gleichen Kreuzarmen von der Länge  $h$  und der Dicke  $\frac{h}{n}$  derselben,

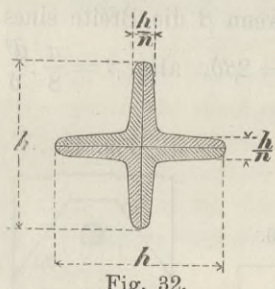


Fig. 32.

s. Textfigur 32, ist  
 191)  $c = \frac{n^3 + n - 1}{12(2n - 1)n^2}$ ,  
 für den I-förmigen Querschnitt mit der Steglänge  $2h$ , Stegdicke  $\frac{2h}{n}$ , Flanschbreite  $h$  und Flansch-

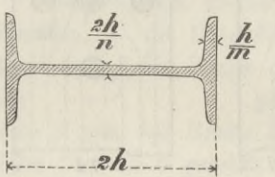


Fig. 33.

dicke  $\frac{h}{m}$ , s. Textfigur 33, ist  
 192)  $c = \frac{n^3 + 8(m - 1)}{12(n + 2m - 2)n^2}$   
 zu setzen und hieraus ein genauere Werth von  $p$  abzuleiten\*).

5. Niet- und Bolzenverbindungen.  
 a. Nietverbindungen der Bleche.

Bezeichnet  $\delta$  die Blechdicke,  $d$  den Schaftdurchmesser des Niets,  $e$  den Abstand der Nietachsen,  $a$  deren Abstand vom Blechrande, so ist, wenn die Scheerfestigkeit  $v_1$  des Blechs und  $v$  der Nieten bezw.  $\frac{3}{4}$  und  $\frac{1}{2}$  der Zugfestigkeit  $s$  des Blechs und dessen Druckfestigkeit  $p = \frac{7}{8} s$  angenommen wird, bei gleicher Gefahr des Ausreissens oder Zerdrückens der Bleche und der Abscherung der Niete für

1) einfache Nietung, s. Textfigur 34, und einfache Laschennietung, s. Textfigur 35,

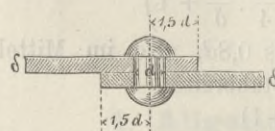


Fig. 34.

α) gezogener Bleche

193)  $e = d \left( \frac{\pi d}{4\delta} + 1 \right)$ ,

β) gedrückter Bleche, wenn die Nietlöcher nicht abgezogen werden,

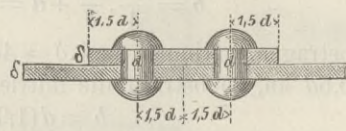


Fig. 35.

\*) Eine für verschiedene Werthe  $n$  und  $m$  beider Querschnitte berechnete Tabelle der zugehörigen Druckaequivalente  $p$  s. Heinzerling, Die angr. u. widerst. Kräfte etc. Berlin 1876. S. 139.

194)  $e_1 = \frac{2\pi}{7} \cdot \frac{d}{\delta} \cdot d$ ,

wobei gewöhnlich  $d = 2\delta$  und mindestens  $a = 1,5d$  gewählt wird, in welchem Fall  $e = 2,57d$  und  $e_1 = 1,79d$ .

2) doppelte Nietung (Kettennietung) s. Textfigur 36 und 37, sowie doppelte Laschennietung, s. Textfigur 38,



Fig. 36.

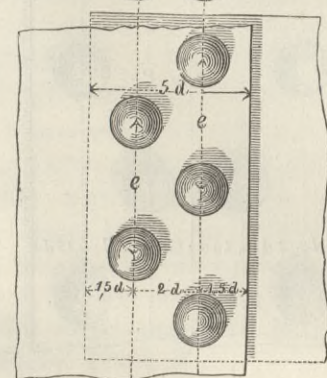


Fig. 37.

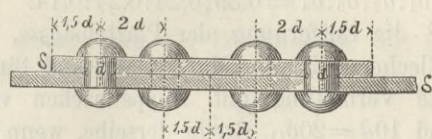


Fig. 38.

α) gezogener Bleche

195)  $e = d \left( \frac{\pi d}{2\delta} + 1 \right)$ ,

β) gedrückter Bleche

196)  $e_1 = \frac{4\pi}{7} \cdot \frac{d}{\delta} \cdot d$ ,

wobei gewöhnlich  $d = 2\delta$ ,  $a = 1,5d$  und der Abstand der Nietreihen  $b = 2d$  gewählt wird, in welchem Fall  $e = 4,14d$  und  $e_1 = 3,58d$  wird.

3) einfache Nietung mit Doppellaschen, also mit zweischnittigen Nieten, s. Textfigur 39,

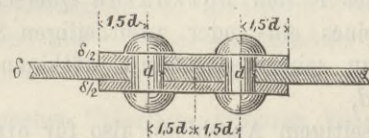


Fig. 39.

α) gezogener Bleche, wenn die Laschendicke  $d_1 = \frac{\delta}{2}$  gewählt wird,

197)  $e = d \left( \frac{\pi d}{2\delta} + 1 \right)$ ,

β) gedrückter, dicht zusammenstossender Bleche, wenn die Laschendicke mit  $d_1$  bezeichnet wird,

198)  $e_1 = 2\pi \frac{(\delta + 2d_1)d^2}{7\delta d_1}$

wobei man gewöhnlich  $d = 2\delta$  und  $a = 1,5d$  wählt, in welchem Falle  $e = 4,14d$  und  $e_1 = 2,28d$  wird.

4) doppelte Nietung (Kettennietung) mit Doppellaschen von der Dicke  $d_1 = \frac{\delta}{2}$ , also mit zweischnittigen Nieten, s. Textfigur 40 und 41, für gezogene Bleche

199)  $e = d \left( \frac{\pi d}{\delta} + 1 \right)$ ,

wobei gewöhnlich  $d = 2\delta$ ,  $a = 1,5d$ ,  $b = 2d$  und der Abstand der beiden mittleren Nietreihen  $c = 3d$  angenommen wird, in welchem Falle  $e = 7,28d$ . Die Festigkeitsverminderung der gezogenen Bleche  $\sigma = \frac{d}{e}$  ergibt sich, wenn überall  $d = \frac{\delta}{2}$  gesetzt wird, für die vorstehenden 4 Fälle bezw.

\*) Bei Anwendung nur einer Lasche wird

196)  $e_1 = \frac{2\pi(\delta + d_1)d^2}{7\delta d_1}$

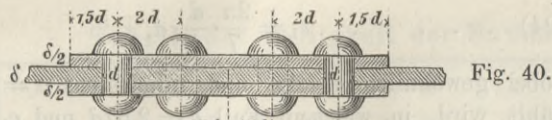


Fig. 40.

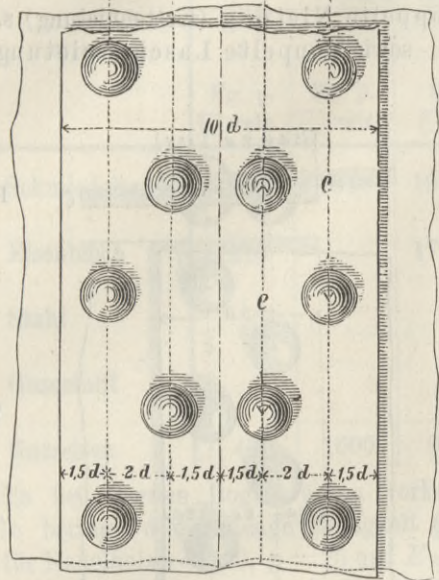


Fig. 41.

177) . . .  $\sigma_1:\sigma_2:\sigma_3:\sigma_4 = 0,39:0,24:0,24:0,14$ .  
 Bezeichnet  $\lambda$  die Entfernung der Plattenstösse, also die Länge der Bleche, so ist der Materialaufwand für einfache und doppelte Vernietung mit Doppellaschen von bezw.  $6d = 12\delta$  und  $10d = 20\delta$ , Breite derselbe, wenn

201) . . .  $\frac{\delta}{\lambda}(\lambda + 12\delta) = \frac{\delta_1}{\lambda}(\lambda + 20\delta_1)$ .

Bei gleicher Festigkeit für  $\sigma_3 = 0,24$  und  $\sigma_4 = 0,14$  muss  $\delta(1 - 0,24) = \delta_1(1 - 0,14)$ , also  $\delta_1 = 0,9\delta$  sein, in welchem Falle  $\lambda = 42\delta$  wird. Ist  $\lambda > 42\delta$ , so gewährt die doppelte, ist  $\lambda < 42\delta$ , die einfache Nietung eine Materialersparnis.

b. Nietverbindungen der Stäbe.

a) Befestigung der Stabendenden.

α. Gezogene Stäbe.

Bezeichnet  $F$  den nutzbaren Querschnitt (Nettoquerschnitt) eines ein- oder zweitheiligen Stabes,  $n$  die Anzahl der zu seinem Anschluss nöthigen Nieten vom Durchmesser  $d$ , so ist bei einseitigem Anschluss, also für einschnittige Nieten,  $n \cdot \pi \cdot \frac{d^2}{4} = F$ , woraus entweder, bei gegebener Zahl der Nieten, deren Schaftstärke

202) . . .  $d = 2 \sqrt{\frac{F}{n\pi}}$ ,

oder, bei angenommener Schaftstärke, welche mit zunehmender Stabdicke 2,0 bis 2,6 cmtr. beträgt, die Nietenzahl

203) . . .  $n = \frac{\pi \cdot F}{4 \cdot d^2}$ .

Bei zweiseitigem Anschluss, also für zweisechnittige Nieten ist  $2n\pi \frac{d^2}{4} = F$ , woraus bzw. deren Schaftstärke

204) . . .  $d = \sqrt{\frac{2F}{n\pi}}$

und Nietenzahl

205) . . .  $n = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot d^2}$

gefunden wird.

β. Gedrückte Stäbe.

Bezeichnet  $F$  den vollen Querschnitt (Bruttoquerschnitt) eines ein- oder zweitheiligen Stabes, so ist, wenn alle übrigen Bezeichnungen beibehalten werden und wie früher  $v = s$ , also  $p = \frac{7}{8}v$  angenommen wird, für einschnittige Nieten  $n \cdot \pi \cdot \frac{d^2}{4} = \frac{7}{8}F$ , woraus entweder die Schaftstärke

206) . . .  $d = \sqrt{\frac{7F}{2\pi n}}$

oder die Nietenzahl

207) . . .  $n = \frac{7 \cdot F}{2\pi \cdot d^2}$

erhalten wird. Für zweisechnittige Nieten ergibt sich bzw.

208) . . .  $d = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{7F}{\pi \cdot n}}$

und

209) . . .  $n = \frac{7 \cdot F}{4\pi \cdot d^2}$ .

b) Vertheilung der Nieten.

α. Gezogene Stäbe.

Werden zum Anschlusse der Stäbe 1, 2, 3 .. Nietreihen bzw. mit der Nietenzahl  $n_1 n_2 n_3 \dots$  erforderlich, so ist, wenn die früheren Bezeichnungen beibehalten werden, bei gleicher Sicherheit gegen Zerreißen in allen Nietreihen, für die beliebige mte Nietreihe

210) . . .  $n_m \cdot d\delta = n_{m-1} \cdot \left( d\delta + \frac{\pi d^2}{4} \right)$ ,

woraus sich die Nietenzahl der mten Reihe

211) . . .  $n_m = \frac{d\delta + \frac{\pi d^2}{4}}{d\delta} \cdot n_{m-1}$

aus derjenigen der vorhergehenden, mithin als eine zunehmende, ergibt. Hiernach nimmt man die Nietenzahl der ersten Reihe möglichst klein, z. B. 1 bis 2 und lässt sie in den folgenden Reihen, zur möglichst gleichmässigen Vertheilung des Zuges auf alle Nieten, in denselben allmählig, z. B. um je 1 Niet, zunehmen. Nimmt man mit Schwedler\*) an, dass sich der Stab in  $2n$  Stränge zerlegen lasse, mittels deren er an  $n$  Nieten aufgehängt sei, s. Textfigur 42 bis 47, so muss, wenn  $\beta$  die Breite eines solchen Stranges bezeichnet,  $\frac{\pi d^2}{4} = 2\beta\delta$ , also  $\beta = \frac{\pi \cdot d^2}{8 \cdot \delta}$  und die Stabbreite

Fig. 42.

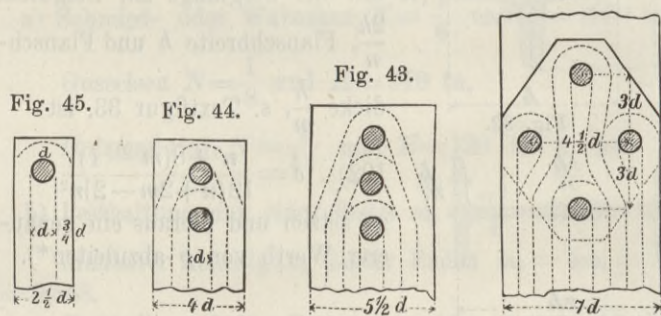
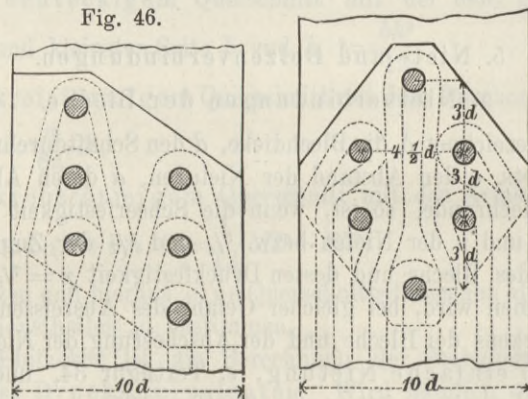


Fig. 47.



$b = \frac{\pi n \cdot d^2}{4 \cdot \delta} + d = d \left( \frac{\pi n \cdot d}{4 \cdot \delta} + 1 \right)$

betragen. Nimmt man  $\delta = 4d$  bis  $0,8d$ , also im Mittel  $0,6d$  an, so beträgt die mittlere Stabbreite

$b = d(1,91n + 1)$

und z. B. für 6 Nieten  $7,86d$ .

Um die Bildung dieser Stränge möglichst zu befördern, ist das überflüssige Material der Stabendenden oder der zum Anschlusse von Stäben dienenden Laschen in der durch Textfigur 45 bis 47 angegebenen Weise zu beseitigen.

β. Gedrückte Stäbe.

Bei der entgegengesetzten Anspruchnahme der Stäbe

\*) Vgl. Architektonisches Wochenblatt, herausg. v. Mitgl. d. Arch.-Ver. zu Brln. 1867. S. 463 u. 464.

tritt zweckmässig, statt der Zunahme, eine Abnahme der Nietenzahl von der 1ten bis zur mten Reihe ein.

c. Bolzenverbindungen der Stäbe.

Wird zum Anschluss eines Stabes von der Dicke  $\delta$ , dem nutzbaren Querschnitt  $F$  und dem vollen Querschnitt  $F_1$  ein Bolzen von dem Durchmesser  $d$  angewandt, so beträgt der Bolzendurchmesser

a) bei gezogenen Stäben

$$212) \dots \dots \dots d = 2\sqrt{\frac{F}{\pi}}$$

b) bei gedrückten Stäben

$$213) \dots \dots \dots d = 2\sqrt{\frac{F_1}{\pi}}$$

Bezeichnet  $k$  die Zug- oder Druckspannung des Stabes und  $v$  die Abscherungsfestigkeit des Bolzens, so ist

$$214) \dots \dots \dots k = v \cdot \frac{\pi d^2}{4}$$

und, wenn  $p_1$  der Druck auf die Flächeneinheit des Bolzens und der Laibung des Bolzenloches ist,

$$215) \dots \dots \dots p_1 = \frac{k}{d\delta}$$

Wird wieder  $v = \frac{8}{7} p$  angenommen, so ist  $k = \frac{2\pi d^2}{7} p$

und, wenn man diesen Werth einführt, der Druck

$$216) \dots \dots \dots p_1 = \frac{2\pi}{7} p \cdot \frac{d}{\delta} = 0,9p \cdot \frac{d}{\delta},$$

welcher, da stets  $d > 2\delta$ , den Druck  $p$  übersteigt, wesshalb sich zur Vermehrung dieser Festigkeit die Anwendung eines härteren Materials, also der Gebrauch von Stahlbolzen und eine Verstählung der Stabenden empfiehlt\*).

6. Berechnung der Lager und Charniere.

a. Abmessungen der Lager.

Die unter den Enden der Obergurten befindlichen Lager sind beide Gleitlager, haben deren grössten Druck aufzunehmen und müssen so gross, dass der zulässige Druck auf das Mauerwerk nicht überschritten, und so lang sein, dass die durch Temperatur- und Belastungswechsel erzeugte Längsverschiebung noch auf der Lagerplatte erfolgen kann.

Stellt  $A$  den grössten lothrechten Druck eines Obergurtendes,  $p$  die Druckfestigkeit des Mauerwerks,  $\lambda$  die Länge und  $\beta$  die Breite der Lagerplatte dar, so ist

$$218) \dots \dots \dots p\beta\lambda = A,$$

worin  $\beta$  von der Breite  $b$  des Obergurts abhängt und im Mittel  $\beta = 1,5 b$  gesetzt werden kann, woraus sich die Länge der Lagerplatte

$$219) \dots \dots \dots \lambda = \frac{A}{1,5p \cdot b}$$

ergibt und worin, je nach der Qualität des Mauerwerks, der Druck auf den qcm desselben  $p = 5$  bis 20 kg betragen kann.

Berücksichtigt man nun die ungleich bedeutendere Längsverschiebung des Obergurts durch Temperaturwechsel und bezeichnet

\*) Ueber die Niet- und Bolzenverbindungen eiserner Brückenträger vgl. insbesondere Winkler, Vorträge über Brückenbau. Eiserne Brücken. Heft 2. Wien 1872.

$\tau$  die grösste, der Brückenbaustelle entsprechende Temperaturdifferenz,

$\alpha$  den Ausdehnungskoeffizienten des Eisens,

$l$  die Länge des Obergurts,

so beträgt die grösste Verschiebung jenes Gurtendes

$$220) \dots \dots \dots \lambda_1 = \frac{\alpha \tau l}{2},$$

mithin die Gesamtlänge der Lagerplatte

$$221) \dots \dots \dots A = \lambda + \lambda_1 = \frac{A}{1,5 \cdot p \cdot b} + \frac{\alpha \tau l}{2}$$

Nimmt man an, dass die Temperatur zwischen  $-20$  und  $+40^\circ \text{C}$ . wechselt, so ist  $\tau = 60^\circ$  zu setzen, während für den Centesimalgrad  $\alpha = 0,0000145$  der auf  $0^\circ$  zu reduzierenden Obergurtlänge angenommen werden kann.

b. Abmessungen der Charniere.

Wird angenommen, dass die Bogenenden sich gegen einen Halbzapfen oder Charnierbolzen mit dem Durchmesser  $d$ , der Länge  $k$  und der Druckfestigkeit  $p$  stemmen, so kann der Druck ebenso gross angenommen werden, als wenn er sich auf die halbe Oberfläche des Drehzapfens vertheilen würde, mithin ist für den grössten, auf denselben wirkenden Druck  $R$

$$222) \dots \dots \dots p \cdot \frac{\pi \cdot d \cdot k}{4} = R$$

zu setzen, woraus sich der Durchmesser des Halbzapfens oder Bolzens zu

$$223) \dots \dots \dots d = 4 \frac{R}{\pi k p}$$

ergibt. Hierin kann, nach den bei ausgeführten Brücken gemachten Annahmen, für den qcm  $p = 0,15$  bis 0,55, also im Mittel 0,35 tn gesetzt werden.

c. Abmessungen der Kämpferplatte.

Die Kämpferplatte muss so gross sein, dass die zulässige Anspruchnahme des Mauerwerks nicht überschritten wird, erhält daher, wenn mit  $\beta$  deren Breite und mit  $p$  die Druckfestigkeit des Mauerwerks bezeichnet wird, mindestens die Länge

$$224) \dots \dots \dots \lambda = \frac{R}{\beta p},$$

worin bei Kämpfercharnieren annähernd  $\beta = 1,5$  gesetzt werden kann und  $p$  die früher angegebenen Werthe annimmt. Das grösste Moment, welches die Kämpferplatte

bei unvollkommener Unterlage erfahren kann, ist  $R \cdot \frac{\lambda}{2}$ ,

mithin ergibt sich deren grösste Dicke

$$225) \dots \dots \dots \delta = \sqrt{\frac{3R\lambda}{\beta s}},$$

worin  $s$  die grösste zulässige Zugspannung bezeichnet.

Bei Anwendung von zwei Keilpaaren mit dem gegenseitigen Abstände  $\lambda_1$  unter den Bogenenden hat jedes derselben den grössten Normaldruck  $\frac{R}{2}$  aufzunehmen,

mithin ergibt sich das grösste Moment  $\frac{R}{2} \cdot \frac{\lambda - \lambda_1}{2}$ , mithin

die grösste Dicke der Unterlagplatte

$$226) \dots \dots \dots \delta = \sqrt{\frac{3}{2} \frac{R(\lambda - \lambda_1)}{\beta s}}$$

### III. Construction.

#### 1. Allgemeine Anordnung.

A. Situation und Grundriss. Ist der Schnittpunkt der Brückenaxe mit der Axe der zu unterführenden Wasser-, Thal-, Weg- oder Eisenbahnlinie bestimmt, welche die zweckmässigste Tracé der — die Bogenbrücke erfordernden — Verkehrslinie sowie die zur Gründung und Ueberführung geeignetste Stelle des Stromes oder Thales erheischen, so ist der Schnittwinkel beider Axen womöglich als rechter und, wo ein spitzer Schnittwinkel  $\alpha$  aus örtlichen Rücksichten, z. B. bei Ueberführung von Eisenbahnen über schiefe, nicht oder schwer verlegbare städtische

Strassen, s. Taf. 3, Fig. 2, nicht zu umgehen ist, nicht unter  $30^\circ$ \*) zu wählen, damit die Anschlusswinkel nicht zu spitz und die Verbindungen der einzelnen Theile nicht zu unbequem werden.

Wo die Brücke in eine Curve mit dem Verhältniss  $\frac{f}{l}$  ihres Pfeiles zur Spannweite der Brücke fällt, ist die für die gerade Strecke erforderliche Breite  $b$  auf

$$B = b + f$$

\*) Die schrägste, zur Zeit bekannte, schmiedeiserne Bogenbrücke in der Stadt Paris-Creil bei Paris, s. Taf. 1, Fig. 86 bis 94, übersetzt den Kanal St. Denis unter einem Winkel von  $30^\circ 29'$ .

zu vergrössern. Dasselbe gilt für jede Oeffnung einer längeren, in der Curve liegenden Brücke, deren Hauptträger alsdann im Grundriss eine polygonale Anordnung erhalten.

B. Querprofil und Querschnitt. Der Querschnitt der Bogenbrücke hängt zunächst von dem Querprofil der zu überführenden Verkehrslinie ab und wird bei ein- oder zweigeleisigen Eisenbahnbrücken so bestimmt, dass im ersteren Fall das einfache Normalquerprofil, im letzteren Falle ausserhalb jeder Geleisaxe das halbe Normalquerprofil zwischen den Brüstungen, s. Taf. 4, Fig. 11 bis 14, und, wo die Träger sich — wie bei der nördlichen Coblenzer Rheinbrücke, s. Taf. 1, Fig. 63 und 65, — theilweise über die Brückenbahn erheben, zwischen den Bogenträgern Platz findet. Wo die Herstellung eines besonderen Fusswegs erforderlich ist, wird derselbe meist auf ausserhalb der Hauptträger angeordnete Consolen gelegt, s. Taf. 2, Fig. 5, Taf. 3, Fig. 2, 3, Taf. 4, Fig. 11 bis 14.

Strassenbrücken erhalten bei einer durchschnittlichen Breite der, für zwei sich ausweichende Fuhrwerke bestimmten, Fahrbahn von 5 bis 5,5 m meist zwei, je 1 bis 1,25 m breite Bankette, welche letztere theils zwischen die Stirnträger, s. die Brücke über die Lahn bei Ems Taf. 1, Fig. 54 bis 56, theils auf ausserhalb der Stirnträger angebrachte Consolen gelegt werden, s. Taf. 2, Fig. 20 und 21. Während die Bogenbrücken eingleisiger Bahnen selten mehr als je zwei Hauptträger erhalten, welche man entweder direct unter die Fahrschienen oder, bei normalspurigen Bahnen, in Abständen von je 2 m von einander anordnet, giebt man den Brücken zweigeleisiger Bahnen theils je vier Träger, welche man entweder direct unter den Fahrschienen oder, bei normalspurigen Bahnen mit 3,5 m Geleis-Distanz, in Entfernungen von je 1,8 m anbringt, wobei die mittleren Verticalebenen der Fahrschienen und Träger je 0,15 m von einander abstehen; theils je drei Träger, wobei die Geleise meist in der Mitte zwischen je zwei Trägern liegen, theils nur je zwei Träger, wobei die äusseren Geleisestränge direct auf den Hauptträgern, die innern Geleisestränge auf besonderen, an Querträgern befestigten, Längsträgern ruhen.

Die schmiedeisernen Strassenbrücken erhalten eine mit ihrer Breite zunehmende Zahl der Bogenträger\*), welche unter einer relativ stärker belasteten Fahrbahn geringere, unter minder belasteten Banketten grössere Abstände erhalten. Während man die Fahrbahnträger meist in gleichen — auch von den Abmessungen der als Oberbau-Unterlagen verwendeten Buckelplatten, Wellenblechen u. s. w. abhängigen — Entfernungen von je 1 bis 2 m, also 1,5 m im Mittel verlegt, werden die Bankette an ihren beiden Seiten meist durch nur je zwei Träger unterstützt, deren Abstand von der Construction der Bankette abhängt und 1,5 bis 2,5 m, also 2 m im Mittel beträgt. Ist die Belastung der Flächeneinheit der Fahrbahn und Bankette eine ganz oder nahezu gleiche, so werden die Bogenträger in ganz oder nahezu gleicher Entfernung vertheilt, wobei die Bankette nach Massgabe ihrer Breite durch zwei, drei oder selbst mehrere Bogenträger unterstützt werden, s. Taf. 1, Fig. 56 und Taf. 6, Fig. 14. Wo, wie dies häufig geschieht, die Bankette durch Consolen unterstützt werden, niemet man dieselben an die zu diesem Zwecke bisweilen etwas erhöhten Stirnträger der Fahrbahn, s. Taf. 2, Fig. 21. Die zum seitlichen Abschluss der Bankette dienenden Brüstungen werden im ersteren Falle auf die Stirnbogenträger, im letzteren Falle an die äusseren Enden der Consolen befestigt und erhalten eine Höhe von 0,75 bis 1 m bei Eisenbahn- und von 1 bis 1,25 m bei Strassen-Brücken.

## 2. Die Brückenbahn.

A. Eisenbahnbrücken. Die einfachste Anordnung der Brückenbahn ist die Unterstützung der Fahrschiene durch hölzerne Querschwellen, welche direct auf die Bogenträger befestigt, innerhalb und ausserhalb der Schienenstränge mit Längsbohlen belegt und durch Saumschwellen

\*) So besitzt u. a. die 9,4 m breite Brücke über die Lahn in Ems 7, die 20 m breite Stadthausbrücke in Paris 12 Bogenträger.

eingefasst werden, mit welchen letzteren man zugleich die Brüstungsstäbe verschraubt, s. Taf. 2, Fig. 1, 2, 5 und Taf. 4, Fig. 11 bis 14. Die Befestigung der Querschwellen auf die Bogenträger geschieht entweder direct durch Schraubenbolzen, durch einzelne, an die Bogenträger genietete Platten mittelst Schraubenbolzen oder durch doppelte, quer auf die Bogenträger und dicht an die Querschwellen genietete Winkellappen, welche mittelst horizontaler Bolzen mit den Querschwellen verschraubt werden. Die Bankette werden hierbei durch die zu beiden Seiten der Stirnträger entsprechend verlängerten Querschwellen unterstützt.

Die zweite Construction der Brückenbahn besteht in der Anordnung von Querträgern zwischen den einzelnen Knotenpunkten der Bogenträger, welche wieder durch Längsträger verbunden werden, während man die Bankette auf besonderen, an die Stirnträger genieteten Consolen auskragt. Jene Längsträger werden entweder unmittelbar unter den Fahrschienen angebracht und nehmen dieselben mittelst Bolzen, Unterlags- und Klemmplatten direct auf, s. Taf. 3, Fig. 3, oder sie werden in einem Abstände von 1,88 bis 2 m zwischen die Querträger genietet und nehmen in Entfernungen von 0,9 bis 1 m die Querschwellen auf, welche den Fahrschienen zur Unterstützung dienen, s. Taf. 1, Fig. 65, 66, 68 und 69. Im ersteren Falle werden die Längsbohlen ausserhalb der und zwischen den Fahrschienen entweder direct auf die Querträger geschraubt oder auf niedrige Sattelhölzer genagelt, welche man der Länge nach auf die Querträger schraubt, im letzteren Falle werden die Längsbohlen ausserhalb und zwischen den Fahrschienen auf die Querschwellen genagelt. Wo die Fahrbahn zur Zeit, worin Züge auf der Brücke nicht verkehren, von Fuhrwerken benutzt werden soll, werden diese Längsbohlen noch mit Querbohlen belegt, welche an den Fahrschienen nur den nöthigen Spielraum für den Spurrand lassen, s. Taf. 1, Fig. 65, 66, 68.

Der Belag jener auf Consolen ausgekragten Bankette wird durch Längsbohlen gebildet, welche man auf starke, durch zwei bis drei mässig starke Langschwellen unterstützte Querbohlen schraubt, s. Taf. 3, Fig. 3, Querschnitt 1 und 7.

Die dritte, jedoch ungewöhnlichste Construction der Brückenbahn besteht in der Anordnung von Querträgern in nicht zu grosser Entfernung, auf welche hölzerne Langschwellen, die zur unmittelbaren Aufnahme der Fahrschienen dienen, mittelst vertikaler Bolzen oder Winkellappen mit wagrechten Bolzen befestigt werden.

Um für die Construction nachtheilige, durch Zwischenräume zwischen den Enden der Fahrschienen entstehende Stösse der Räder zu vermeiden, lässt man die Fahrschienen über jeder Brückenöffnung dicht zusammenschliessen und giebt ihnen über den Zwischen- und Endpfeilern eine Dilatationsvorrichtung, welche meistens in doppelten Laschen besteht, die mit den Schienenköpfen einerseits fest verschraubt, andererseits mittelst Schrauben in ovalen Bolzenlöchern verschieblich verbunden sind.

B. Strassenbrücken. Bei Strassenbrücken besteht die Brückenbahn am einfachsten aus einem doppelten Bohlenbelag, in den meisten Fällen aus einer Beschotterung oder Pflasterung, welche durch einen starken Bohlenbelag oder besser durch verzinkte Eisen-Wellenbleche, durch Buckelplatten oder durch Belageisen unterstützt werden.

a) Doppelter Bohlenbelag. Das gewöhnliche Material desselben ist Tannen-, Kiefern- oder Eichenholz, welches sich übrigens nach den beim Betriebe der Strassenbrücke über den Rhein in Cöln angestellten Versuchen\*) schneller abnutzt, als Buchenholz. Die Stärke des aus Querbohlen bestehenden Belages ist nach dem grössten Raddrucke zu bestimmen und zwar ist dieselbe dem unteren Bohlenbelag allein zu geben, während der obere Belag zur Abnutzung durch das Fuhrwerk zugegeben wird. Die Bankette werden dann aus Längsbohlen, meist über zwei auf den Bohlenbelag geschraubten Langschwellen, hergestellt.

\*) Vgl. Zeitschr. f. Bauwesen. Berlin 1857 und 1863.

b) Bohlenbelag mit Beschotterung. Bei durchschnittlich 15 cm hoher Beschotterung und bei einer freiliegenden Weite und Breite der Bohlen von bezw. 60 und 20 cm erhalten dieselben eine Stärke von 12 bis 15 cm, wobei auf die, durch die Feuchtigkeit der Beschotterung darin allmählich erzeugte, Fäulnis und Verschwächung bereits Rücksicht genommen ist. Die Beschotterung wird durch hölzerne Saumschwellen begrenzt, welche — in Verbindung mit den auf die Stirnträger geschraubten Längsbalken — direct einen Querbohlenbelag oder besser einen auf kurzen Querschwellen befestigten Längsbohlenbelag der Bankette aufnehmen.

c) Wellenblech mit Beschotterung. Die zu Strassenbrücken verwendeten Wellenbleche erhalten Wellen von ca. 23 cm Höhe, Dicken von 3 bis 6 mm und werden auf der Dillinger Hütte zu Dillingen an der Saar bis zu 0,92 m Breite und 3 m Länge geliefert\*). Dieselben werden meist senkrecht zur Brückenaxe mit Ueberdeckungen von je einer halben Welle verlegt. Bei einer mittleren Höhe der Beschotterung von 15 cm und bei Blechstärken von 5 bis 6 mm können die Bogenträger in Entfernungen von je 1 m von einander angeordnet werden. Liegen die Bogenträger in grösseren Entfernungen, so empfiehlt sich die Anwendung hoher, sogenannter Träger-Wellbleche\*\*) und reichen für Raddrücke von 2500 bis 3000 kg bei 1,5 m freiliegender Weite Profile derselben von 80 mm Höhe, 50 mm Breite und 14 mm Stärke vollkommen aus. Zum Schutze gegen Rosten hat man die Vertiefungen der Wellen früher mit Asphalt ausgefüllt, zieht aber gegenwärtig die Anwendung verzinkter, sogenannter galvanisirter Wellenbleche\*\*\*) vor, deren Abgang erfahrungsmässig ein sehr geringer ist.

d) Buckelplatten mit Beschotterung. Die zu Strassenbrücken dienenden Buckelplatten, s. Taf. 2, Fig. 21, erhalten bei Längen und Breiten von je 1 bis 1,5 m Pfeilhöhen von 10 bis 15 cm und werden von der oben bereits erwähnten Dillinger Hütte in Dicken von 6 bis 10 mm geliefert†). Sie erhalten entweder eine nach oben convexe oder concave Lage, in welcher letzterem Falle sie mit einer zum Abfluss des Wassers dienenden Oeffnung versehen werden und entwickeln die grösste Tragfähigkeit, wenn sie an allen Rändern vernietet werden. In diesem Falle werden die Buckelplatten durch Querverbindungen unterstützt, welche an die Bogenträger mittelst Winkeleisen angeschlossen werden. Auch die Buckelplatten werden zum Schutze gegen Rosten mit Asphalt gefüllt oder in galvanisirtem Zustande angewendet.

e) Belageisen mit Beschotterung. Bei den relativ grössten Raddrücken und Entfernungen der Bogenträger von einander werden  $\Omega$ förmige Belageisen angewendet, welche von verschiedenen Eisenwerken: Phönix, Hörde, Lothringer Eisenwerk u. a. in Höhen von 60 bis 90 cm geliefert werden und bei den nunmehr aufgestellten Normalprofilen für Walzeisen mit Höhen von 50, 60, 75, 90 und 110 mm in Aussicht genommen sind.

Die Belageisen werden unter den Fahrbahnen wegen der grösseren Lasten meist dichter, als unter den minder schwerbelasteten Fussbahnen, jedoch auch im ersten Falle mit Zwischenräumen verlegt, welche einen Abzug des Wassers gestatten. Diese Zwischenräume werden meist durch dicht nebeneinander gestellte, gebrannte Steine geschlossen und hierüber der aus Pflaster oder aus einer Beschotterung bestehende Oberbau der Fahrbahn gebracht, s. Taf. 6, Fig. 20 und 21. Im ersteren Falle bildet Kies oder Beton das Bett des Pflasters, im letzteren Falle Sand oder Beton die Unterlage der Beschotterung. Bei geringen Entfernungen der Bogenträger lassen sich statt der Belageisen auch

\*) Die zugehörige Eisentabelle s. Heinzerling, die angr. u. widerst. Kräfte etc. Zweite Aufl. Berlin 1876. S. 198 u. 199.

\*\*) Von Hein, Lehmann u. Cie in Berlin, Walzwerk für Trägerwellblech. Vgl. u. a. Deutsche Bauzeitung.

\*\*\*) Bei Jacob Hilgers, Verzinkerei zu Rheinbrohl in Rheinpreussen.

†) Die zugehörige Eisentabelle, s. Heinzerling a. a. O., S. 200 und 201.

Brückschienen verwenden, welche auf die Bogenträger genietet, in den Vertiefungen mit Backsteinen ausgemauert und mit Beton belegt werden, in welchen man, vor dessen Abbinden, eine Lage Schottersteine, deren Zwischenräume mit Sand ausgefüllt sind, einwalzt\*).

Die gewöhnlich etwas erhöhten Trottoirs werden über einer der erwähnten Unterstützungen durch einen Plattenbelag oder durch ein leichtes Diagonalpflaster auf Sandunterlage oder auch durch eine Sandunterlage mit darüber ausgebreiteter Betonschicht und Asphaltdecklage gebildet.

### 3. Die Gurten der Bogenträger.

Die Form und Stärke der Gurte von Bogenträgern hängt von deren Systemform, diese aber wieder von der Grösse der Spannweite und der von ihnen zu übertragenden Last ab. Bei Bogenbrücken von 5 m bis etwa 75 m Spannweite erhalten deren Träger oben meist einen geraden und unten einen geschlossenen, gekrümmten oder polygonalen Gurt, welche beide bei Spannweiten von 5 bis etwa 15 m durch Vertikalbleche, s. Taf. 2, Fig. 1 und 17, bei Spannweiten von 15 bis 75 m durch Stabwerk verbunden sind, s. Taf. 3, 4 und 6. Bei dieser ersteren Anordnung findet die Aussteifung der Bogenträger in deren Bogenzwickeln statt. Bei Bogenbrücken von 75 bis 150 m und mehr Spannweite erhalten deren Träger zweitheilige, geschlossene oder offengebaute, gekrümmte oder polygonale Untergurte, deren beide Bogen durch Blech oder Stabwerk verbunden sind, während die Belastung der Brückenbahn durch Verkehrs- und Eigengewicht nur durch senkrechte Stäbe auf diesen zweitheiligen Untergurt übertragen wird, s. Taf. 5 und Taf. 1, Fig. 63 und 75. Bei dieser letzteren Anordnung ist die Aussteifung der Bogenträger innerhalb jenes geschlossenen oder zweitheiligen Untergurts bewirkt. Die Querschnittsform dieser Gurten muss eine leichte Zusammensetzung, bei in den einzelnen Feldern verschiedenen Spannungen eine leichte Variation des Querschnittes und Verbindung mit den Vertikalen und Diagonalen, sowie mit den Traversen und Diagonalen der Windverbände und vertikalen Querverbände gestatten, nicht über das  $2\frac{1}{2}$ - bis höchstens 4fache ihrer Dicke  $d$  lange Bolzen erfordern und zur Verhütung von Oxydation frei von Wassersäcken sein. Die Querschnitte der gedrückten Theile der Gurten müssen zugleich eine möglichst grosse Seitensteifigkeit entwickeln.

#### a. Die Gurte der Bogenträger mit geradem Ober- und gekrümmtem Untergurt.

Diese Gurte besitzen T-förmige, +-förmige, I-förmige oder II-förmige Querschnitte, welche meist miteinander combinirt werden.

α) Der Gurtquerschnitt mit T-förmigem Ober- und I-förmigem Untergurt, s. Taf. 2, Fig. 5, besteht meist aus einem Vertikalblech mit je zwei Winkeleisen oben und je vier Winkeleisen unten, wobei das Stehblech des Untergurts und die wagrechten Schenkel der Winkeleisen bisweilen noch durch aufgenietete ein- oder mehrfache Platten verstärkt werden. Wo die Trägerwand nicht aus Vollblech hergestellt, sondern gegliedert wird, werden zwischen die oberen und unteren Winkeleisen Knotenbleche eingeschaltet, an deren beide Seiten sich die Stäbe anschliessen. Die horizontalen Querverbände lassen sich hierbei an wagrechte Bleche befestigen, welche an die Obergurten und an die Untergurten genietet sind, während man die vertikalen Querverbände an vertikale Anschlussbleche zu befestigen hat, welche mittelst Winkellappen oben an jene Knotenbleche, unten an die Vertikalbleche des Untergurts genietet werden. Wo die Stirnträger, z. B. wegen der anzuschliessenden Bankettconsolen, etwas zu erhöhen sind, werden die Winkeleisen des Obergurts entsprechend hinaufgesetzt.

β) Der Querschnitt mit T-förmigem Ober- und +-förmigem Untergurt, s. Taf. 2, Fig. 21, unterscheidet sich von dem T-förmigen durch die Form des Untergurts.

\*) Ueber die Unterstützung einer beschotterten Brückenbahn durch Ziegelgewölbe, Blechgewölbe oder gusseiserne Platten vgl. Fränkel, Construction und Berechnung von Fahrbahnen für eiserne Strassenbrücken. Zeitschr. f. Bauw. Berlin 1868. Sp. 175 ff.

det sich von dem vorhergehenden nur durch die kreuzförmige, anstatt der I-förmigen, Zusammenstellung der vier Winkeleisen des Untergurts, wenn der letztere eine relativ geringere Anspruchnahme entwickelt. Die horizontalen Windverbände lassen sich hierbei an wagrechte Anschlussplatten befestigen, welche zwischen die Horizontalschenkel der Winkeleisen des Untergurts genietet werden, während die etwa erforderlichen vertikalen Querverbände sich in einer, der unter  $\alpha$  erwähnten ähnlichen, Weise anschliessen lassen.

$\gamma$ ) Der Querschnitt mit I-förmigem Ober- und Untergurt, s. Taf. 4, Fig. 11 bis 13 und Taf. 5, Fig. 6 und 7, besteht entweder aus Vertikal- oder Knotenblechen, an welche sich die je vier Winkeleisen des Ober- und Untergurts anschliessen oder aus je zwei [-Eisen, zwischen welche die Stehbleche oder Knotenbleche genietet werden. Beide Querschnitte lassen sich durch Auflegen von Platten in einer, der unter  $\alpha$  erwähnten ähnlichen, Weise verstärken. Die beiden Horizontalverbände lassen sich im letzteren Falle mittelst Winkellappen und Anschlussblechen bequem in der halben Höhe des Obergurts befestigen, s. Taf. 4, Fig. 11 bis 13, wobei die unteren Anschlüsse die der Anschlussstelle entsprechende Neigung des Untergurts besitzen. Werden die I-förmigen Querschnitte der beiden Gurten oben und unten mit durchgehenden Horizontalplatten verstärkt, so lassen sich die Zwischenstäbe durch je zwei Winkellappen anschliessen, während die vertikalen Querverbände auch unter Benutzung der Vertikalstäbe eingeschaltet werden können, s. Taf. 5, Fig. 6 und 7.

$\delta$ ) Der Querschnitt mit U-förmigem Ober- und Untergurt, s. Taf. 3, Fig. 3, besteht entweder aus je zwei, durch je zwei oder vier Winkeleisen mit einer Horizontalplatte verbundenen Vertikalplatten oder aus je einem I-Eisen, mit dessen Schenkeln Vertikalplatten vernietet sind, während bei kräftigen Gurtquerschnitten Horizontalplatten mit I-Eisen und mit je zwei Vertikalplatten nebst zwei Winkeleisen Anwendung finden, s. Taf. 3, Fig. 5. Wo zum Anschlusse der Stäbe besondere Knotenbleche erforderlich sind, werden dieselben zwischen die Vertikalplatten und lothrechten Winkelschenkel eingeschaltet.

$\epsilon$ ) Der Querschnitt mit röhrenförmigem Untergurt und T- oder I-förmigem Obergurt wird unten meist aus Quadranteisen zusammengesetzt, zwischen deren vertikale und horizontale Flanschen bzw. die Knotenbleche der Tragwände und die Anschlussbleche des unteren Windverbandes eingeschaltet werden, während der Obergurt und das eingeschaltete Stabwerk in einer, der unter  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  erläuterten analogen Weise, behandelt wird\*).

b. Die Gurte der Bogenträger mit zweitheiligem Untergurt und eingeschaltetem Stabwerk besitzen meist U-förmigen oder röhrenförmigen Gurtquerschnitt, während die Fahrbahnträger meist U-förmigen oder I-förmigen Querschnitt erhalten.

$\alpha$ ) Der Querschnitt mit II-förmigem Untergurt, s. Taf. 1, Fig. 63 bis 74, besteht aus Horizontalplatten mit je zwei Vertikalplatten, welche durch je zwei oder je vier Winkeleisen untereinander verbunden sind. Die beiden Vertikalplatten dienen zum Anschluss der zwischen die zwei Gurten einzuschaltenden Stäbe, welche entweder eintheilig, meist von I-förmigem Querschnitt, sind und den zwischen den Vertikalen befindlichen Zwischenraum ausfüllen oder zweitheilig, meist von T-förmigem Querschnitt, sind und von aussen oder von innen an die Vertikalplatten anschliessen, oder auch viertheilig, gleichfalls meist von T-förmigem Querschnitt, sind und dann von aussen und innen zugleich an jene Vertikalplatten anschliessen. Querträger, Traversen und die zu denselben gehörigen Diagonalen der vertikalen Querverbände lassen sich mittelst Winkellappen, und zwar, wo diess die zum Anschluss nöthige Zahl der Nieten erfordert, in Verbindung mit Anschlussblechen bequem an die Vertikalstäbe der Bogenträger befestigen, s. Taf. 1, Fig. 65, 66 und 68, während die aus

\*) Vergl. u. a. die Tegetthoffbrücke in Wien. Allg. Bztg. Wien 1877, S. 12 ff.

Traversen und gekreuzten Diagonalen bestehenden Windverbände entweder an die Horizontalplatten der Doppelgurten oder mittelst wagrechter Anschlussbleche an die Traversen und Querträger befestigt werden, s. Taf. 1, Fig. 67. Wo zwischen den Doppelgurten der Bogenträger Vertikalstäbe nicht, sondern nur geneigte Stäbe vorhanden sind, lassen sich die vertikalen Querverbände theilweise durch geneigtes Gitterwerk ersetzen, welches zwischen jene Stäbe eingeschaltet wird, während die Windverbände, wie im ersten Fall, an die Horizontalplatten der Gurten direkt oder, wo diess die nöthige Zahl der Anschlussniete erfordert, durch Vermittelung von wagrechten Anschlussblechen befestigt werden. Die zur Unterstützung der Fahrbahn nöthigen Vertikalen sind mittelst Winkeleisen, wenn nöthig in Verbindung mit Laschenblechen, auf die Gurten zu nieten und oben, in der früher angedeuteten Weise, mit den Brückenbahnträgern zu verbinden.

$\beta$ ) Der Querschnitt mit röhrenförmigen Gurten, s. Taf. 1, Fig. 75 bis 84, besteht aus zwei im Querschnitt kreisförmigen Röhren, welche entweder eintheilig sind und mittelst zweitheiliger, innen gerippter Muffen und Schrauben verbunden werden, s. Taf. 1, Fig. 80 und 81, oder mehrtheilig und mit durchlaufenden Flanschen versehen sind, welche der Länge nach mit versetzten, spiralförmig angeordneten Stossfugen verschraubt werden. Im ersteren Falle lassen sich die Stäbe mittelst wagrechter Bolzen von aussen an die Röhren anschliessen, s. Taf. 1, Fig. 79, und durch Gitterwerk gegenseitig versteifen, s. Fig. 76, im letzteren Falle zwischen den erwähnten Flanschen direkt oder indirekt durch Anschlussbleche befestigen und gleichfalls durch Gitterwerk aussteifen. Die vertikalen Querverbände lassen sich zwischen die erwähnten wagrechten durchgehenden Bolzen sowie zwischen die auf die Röhrengurte aufgesetzten Vertikalen einschalten und erfordern dann in beiden Fällen die Anordnung gekreuzter Diagonalen, s. Taf. 1, Fig. 76 und 79.

#### 4. Die Stäbe.

Die zwischen Obergurt und Untergurt sowie die zwischen zweitheilige Untergurten eingeschalteten oder die zu den vertikalen Quer- und Windverbänden dienenden Stäbe erhalten verschiedene Querschnitte, je nachdem sie einem Zug, einem Druck oder einem Zug und Druck zugleich ausgesetzt sind.

##### a. Die gezogenen Stäbe.

Sie werden meist aus einem oder aus zwei einfachen, aus einem oder aus zwei doppelten Flacheisen, selten aus Rund- oder Quadranteisen konstruirt und ist ihrem nutzbaren Querschnitte stets der Ausfall durch die Löcher der Anschlussniete hinzuzufügen.

##### b. Die gedrückten Stäbe.

Der Querschnitt der gedrückten Stäbe ist nach dem, ihrem abnehmenden Verhältnisse der kleinsten Querschnittsdimension zur Länge entsprechend abnehmenden zulässigen Druck — und zwar ohne Abzug der Nietlöcher — zu bemessen, wobei deren Querschnittsform und Befestigungsweise an den Enden zu berücksichtigen ist. Die Querschnittsform derselben muss einen hinreichend grossen Widerstand gegen seitliche Ausbiegung entwickeln, die erforderliche Variation des Querschnitts, leichte Herstellung und Zusammensetzung und bequemen Anschluss an die Gurte gestatten. Die zur Zeit in der Praxis gebräuchlichsten Querschnitte sind der L, T, [ , + und I-förmige.

$\alpha$ ) Der L-förmige Querschnitt findet nur bei Trägern mit kleinen Spannweiten und bei Trägern mit grösseren Spannweiten nur zu den Druckstäben der vertikalen Querverbände und des Windverbandes Anwendung.

$\beta$ ) Der T-förmige Querschnitt wird sowohl homogen, s. Taf. 1, Fig. 71 und 72, als auch aus je zwei Winkeleisen ohne oder mit flachen Verstärkungsplatten zusammengesetzt angewandt.

$\gamma$ ) Der ]-förmige Querschnitt wird meist homogen, s. Taf. 3, Fig. 4 und 6, seltener aus je zwei, durch eine Platte verbundene, Winkeleisen hergestellt.

$\delta$ ) Der +-förmige Querschnitt wird selten homogen,

meist aus je vier, s. Taf. 5, Fig. 6 und 7, bei geringeren Anspruchnahmen aus je zwei, durch Flacheisenlappen verbundene, s. Taf. 4, Fig. 7 und 8, Winkeleisen, seltener aus je zwei T-eisen ohne oder mit eingeschalteten Verstärkungsplatten, s. Taf. 1, Fig. 93, 94, zusammengesetzt.

ε) Der I-förmige Querschnitt wird sowohl homogen als auch aus je vier Winkeleisen mit Einschaltung einer vollen Platte, eines einfachen oder eines doppelten Gitterwerks, selten aus je zwei [-eisen zusammengesetzt angewandt. Bei dem aus Platte und Winkeleisen zusammengesetzten Querschnitte sind die anschliessenden Schenkel der letzteren entweder gegen- oder aus einander zu kehren, je nachdem ihre flache Seite sich von aussen oder von innen an die Gurte anschliessen soll.

ζ) Der röhrenförmige Querschnitt, s. Taf. 1, Fig. 78, wird selten und dann meistens zu den gedrückten Transversalen der Quer- und Windverbände so angewandt, dass sie durch Innengewinde mit den entsprechenden Schraubenspindeln der Querbolzen, s. a. a. O., oder mittelst durchgesteckter Zugstangen und zugehöriger Vorlagscheiben mit den Gurten verbunden werden.

#### c. Verbindung der Stäbe mit den Gurten.

Die Stäbe werden den Gurten entweder durch Niete, s. Taf. 3, 4, 5 und 6, oder durch Bolzen, s. Taf. 1, Fig. 78 und 79, angeschlossen. In beiden Fällen müssen die Mittellinien der Stäbe die Schwerlinien der Gurte schneiden.

α) Die Nietverbindung ist einschnittig, wenn der Stab einseitig an ein Steh- oder Knotenblech angeschlossen; zweiseitig, wenn er zweiseitig entweder ohne oder mit Laschen angeschlossen wird. Im letzteren Fall erreicht man den Vortheil einer centrischen Zug- oder Druckwirkung und eine Verminderung der Nietenzahl auf die Hälfte. Soll der Stab eintheilig bleiben und gleichwohl nur die Hälfte der Anschlussniete erhalten, so lässt sich diess durch einfache oder durch mehrere, an das Stabende angenietete Flach- oder Winkeleisenstücke, s. Taf. 4, Fig. 7 und 8, erreichen, welche das Steh- oder Knotenblech des Gurts einschliessen, also die Anwendung zweiseitiger Niete gestatten. Ueber Form und Abmessungen der Niete siehe 9a dieses Abschnitts.

β) Die Bolzenverbindung erfordert eine einmalige Durchbohrung und eine derselben entsprechende Verbreiterung des Stabendes, s. Taf. 1, Fig. 79, welches, zur Verminderung des Lochdruckes, durch seitlich angenietete Platten bisweilen noch verstärkt wird. Um der, durch die Herstellung des Bolzenlochs meist herbeigeführten, Verschlechterung der Qualität des Eisens Rechnung zu tragen, vermehrt man die theoretisch erforderliche Breite des Oehres meist zu beiden Seiten um je  $\frac{1}{3}$  und am Ende des Stabes um  $\frac{2}{3}$  der Bolzenstärke, giebt demselben also für die Stabbreite  $b$  und den Bolzendurchmesser  $d$  bezw. die Breite  $b/2 + d/3$  und  $b/2 + 2d/3$ . Ueber Form und Abmessung der Schrauben selbst enthält 9a dieses Abschnitts das Wichtigste.

γ) Die Stehbolzenverbindung findet an allen den Stellen Anwendung, wo die zu verbindenden Theile der Gurtungen oder Stäbe nicht dicht aufeinander liegen und wegen ihres allzugrossen Abstandes sehr dicke Futterbleche erfordern würden. Die Niete erhalten die nothwendige Länge und werden in der unter 9b dieses Abschnitts angegebenen Weise angewendet.

### 5. Die vertikalen Querverbände.

Sie sind dazu bestimmt, die Bogenträger in paralleler und lothrechter Lage zu erhalten und werden verschieden construirt, je nachdem sie eine geringere Höhe und Stärke, wie bei kleineren Bogenträgern oder bei den niedrigeren Feldern grösserer Bogenträger, oder aber eine grössere Höhe und Stärke wie bei den Endfeldern, insbesondere grösserer Bogenbrücken, erhalten müssen.

#### a. Die niedrigen Querverbände.

Diese niedrigen Querverbände werden meist nur aus einzelnen Fachwerkfeldern mit gekreuzten Diagonalen gebildet, deren Traversen meistens aus Winkeleisen, deren

Diagonalen meist aus Flacheisen bestehen, welche an die vollen Wandungen, s. Taf. 2, Fig. 2 und 5, oder an die Vertikalstäbe der gegliederten Wandungen der Bogenträger, s. Taf. 14, Fig. 13 und 14 — meist durch Vermittelung von Eckblechen — angeschlossen werden. Die Flacheisendiagonalen werden alsdann abwechselnd auf die Vorder- und Rückseite der Anschlussbleche genietet und in ihrem Kreuzungspunkte, wo ein Futterblech von der Dicke der Anschlussbleche eingeschaltet wird, vernietet. Stärkere Querverbände, besonders der höheren Trägerenden, werden aus Blechtafeln hergestellt, welche durch einfache oder doppelte Winkeleisen oben und unten gesäumt und seitlich angeschlossen werden. Bei Anwendung von Querträgern bestehen diese Querverbände bisweilen nur aus Stäben, welche sich auf die Untergurten der Bogenträger stützen, s. Taf. 3, Fig. 3.

#### b. Die hohen Querverbände.

Diese höheren Querverbände erhalten meist zwei oder mehrere Fachwerkfelder mit gekreuzten Diagonalen, deren Traversen und Diagonalen in der oben erwähnten Weise gebildet, seitlich angeschlossen und unter sich verbunden sind, s. Taf. 4, Fig. 11 und 12. Die Traversen werden hierbei am einfachsten aus doppelten Winkeleisen, bei Bogenträgern, welche bedeutenden Lasten und Stössen ausgesetzt sind, wohl auch als im Querschnitt I-förmige Blechbalken oder als Fachwerkconstruktionen ausgebildet, s. Taf. 5, Fig. 6 und 7, welche meist aus je zwei Winkeleisen zusammengesetzte Gurten mit zwischen dieselben genieteten Flachstäben und Eckblechen bestehen. Bei Bogenbrücken mit zweitheiligen Untergurten und aufgestellten, die Brückenbahn aufnehmenden Zwischenstützen werden sowohl die ersteren als die letzteren durch die erforderlichen vertikalen Querverbände abgesteift, s. Taf. 1, Fig. 68, 76 und 77.

### 6. Die horizontalen Querverbände.

Diese seitlichen oder Windverbände werden bei kleinen Bogenbrücken einfach und zwar meist über dem Untergurt, s. Taf. 2, Fig. 2 u. 5, bei grösseren Brücken doppelt und dann meist zwischen dem Unter- und zwischen dem Obergurt, s. Taf. 4, Fig. 3, und nur bei den grössten Bogenbrücken dreifach, nämlich zwischen die beiden Bogen des zweitheiligen Untergurtes und in die wagerechte Fahrbahnebene eingeschaltet.

Auch die horizontalen Querverbände bilden Fachwerke, welche durch Traversen in einzelne Felder getheilt werden, die man durch gekreuzte Diagonalen ausfüllt. Wo Querträger oder vertikale Querverbände vorhanden sind, können diese als Traversen dienen, s. Taf. 2, Fig. 2 u. 8 und Taf. 3, Fig. 6 u. 7, in welchem Falle also die Diagonalen des Windverbandes in den Ecken der Haupt- und Querträger anzuschliessen sind.

Bei kleinen Brücken können die Traversen und Diagonalen der Windverbände direct an die Bogenträger genietet werden, s. Taf. 2, Fig. 2 u. 4, bei grösseren Brücken, wo mehr Anschlussniete erforderlich sind, werden sowohl die Transversalen als auch die Diagonalen durch Vermittelung von Winkellappen ohne oder mit Anschlussblechen mit den Hauptträgern verbunden, welche entweder direct auf oder unter die wagrechten Gurtplatten, s. Taf. 3, Fig. 6, oder aber mittelst Winkellappen an die Stehbleche der Gurten, s. Taf. 4, Fig. 19 und 20, genietet werden. Die Stärken der einzelnen Theile der Windverbände sind verschieden, je nachdem dieselben den Winddruck auf die Construction allein — wie beim Untergurt — oder auf diese und die Verkehrsbelastung zugleich — wie beim Obergurt — aufzunehmen haben.

#### a. Der obere Windverband.

Derselbe schliesst sich meist an den Obergurt, bezw. an die Fahrbahnebene an und ist continuirlich von Auflager zu Auflager fortzuführen, um einen wirksamen, wagrechten Fachwerkträger zu bilden. Bei Bogenträgern mit verbundenen Scheiteln ist diess leicht, bei Bogenträgern mit Scheitelcharnieren nur dadurch möglich, dass der

Windverband von beiden Seiten bis zu einer in der Achse des Scheitelcharniers befindlichen Traversen geführt und drehbar, jedoch seitlich unverschieblich, mit ihr verbunden wird, s. Taf. 4, Fig. 3, 16 u. 17.

#### b. Der untere Windverband.

Dieser erfordert gleichfalls eine Durchführung von Stützpunkt zu Stützpunkt, was bei Bogenbrücken mit Scheitelcharnieren einen ähnlichen Anschluss wie im vorhergehenden Falle bedingt, s. Taf. 4, a. a. O. Da der untere Windverband in einer gebrochenen Ebene herzustellen ist, so erhalten die Anschlussbleche eine solche Biegung, dass sie sich, sammt den angeschraubten Diagonalen, den zugehörigen Ebenen jener gebrochenen Fläche anschliessen.

### 7. Die Lager.

#### a. Die Lager der Untergurten.

Die Untergurten der Bogenbrücken stützen sich gegen Lager, welche eine Drehung nicht, s. Taf. 6, Fig. 4 u. 10, oder gegen Lager, welche eine Drehung gestatten, s. Taf. 2, Fig. 2 u. 18, Taf. 3, Fig. 4, Taf. 4, Fig. 2 u. 3, Taf. 5, Fig. 4, während sie im Scheitel entweder fest, s. Taf. 4, Fig. 4, Taf. 6, Fig. 4, oder drehbar, s. Taf. 2, Fig. 1, 2, Taf. 3, Fig. 4, Taf. 5, Fig. 3 verbunden sind. Wir unterscheiden hiernach die festen Lager und die drehbaren Lager oder Gelenke.

α) Die festen Lager der Untergurten bestehen meist in zwei geneigten gusseisernen Platten, wovon die unterste mit dem Mauerwerk verankert, die oberste mit dem Bogenende verschraubt ist, und zwei Paaren eiserner oder stählerner Keile, welche eine Regulirung und feste Einspannung der Bogenträger zwischen den Widerlagern gestatten, s. Taf. 6, Fig. 10. Die Anordnung dieser festen Lager erfordert, dass der grösste, von dem Untergurt ausgeübte Druck sich möglichst gleichmässig auf die Lagerplatten, die Keilpaare und das Widerlagmauerwerk theilt und hierbei die zulässige Anspruchnahme des Gusseisens, des Schmiedeeisens, des Stahls und des Mauerwerks nicht überschreitet. Da jedoch durch die bei Temperaturwechsel eintretenden Hebungen und Senkungen der Bogenträger ein ungleicher Druck auf die Keilpaare und somit auf die Lagerplatten stattfindet, so sind die Druckflächen aller genannten Theile so zu vergrössern, dass auch bei dem grössten einseitigen Druck jene zulässige Anspruchnahme nicht überschritten wird.

β) Die Kämpfergelenke bestehen entweder in cylindrischen, schmiedeisernen oder stählernen Drehbolzen, welche zwischen die entsprechenden, kreissegmentförmig ausgehöhlten gusseisernen Lager eingelegt werden, s. Taf. 4, Fig. 4 und 5, oder in halbcylindrischen Bolzen, welche mit den unteren Bogenenden fest verbunden werden, während die unterste Lagerplatte eine entsprechende Vertiefung erhält, s. Taf. 2, Fig. 16, 29 u. 30, oder auf der untersten Lagerplatte aufruhend und mittelst zweier Regulirungskeile etwas verschoben werden können, während die untersten Bogenenden eine entsprechende Vertiefung erhalten, s. Taf. 3, Fig. 11, Taf. 5, Fig. 12. In allen Fällen sind die Unterlagplatten mit den nöthigen Verstärkungsrippen und Bolzenlöchern mit meist verstärkten Rändern für die Steinschrauben zu versehen, s. Taf. 2, Fig. 11 und 12, 26 und 27, Taf. 3, Fig. 10 und 11, Taf. 4, Fig. 4 und 5, Taf. 5, Fig. 12, 13 und 14, einer leichten Bewegung halber die Drehbolzen nebst den zugehörigen Lagern sorgfältig abzdrehen und zusammenschleifen sowie die Bogenfüsse dem zu übertragenden Druck entsprechend zu verstärken. Diese Verstärkung wird theils durch gusseiserne oder gussstählerne Einlagen, s. Taf. 3, Fig. 4, theils durch treppenförmig verdickte, gusseiserne Bogenschuhe, zwischen welche die schmiedeisernen Bogenenden geschraubt werden, s. Taf. 5, Fig. 12 u. 14, theils durch schuppenartig aufgelegte Blechplatten bewirkt, welche unter sich und mit den Bogenenden, am besten durch konische Bolzen, verschraubt werden. Um eine bei der Drehung der Gelenke allmählig eintretende Abnutzung ausgehöhlter Bogenenden und die hiermit verbundene Senkung der Bogenträger

zu vermeiden, empfiehlt sich die Einschaltung einer gussstählernen, aussen eckigen Lagerschale, s. Taf. 4, Fig. 4 u. 5, welche sich in dem Bogenende nicht, also nur um den Bolzen drehen kann.

γ) Die Scheitelgelenke bestehen in meist gussstählernen Drehzapfen, welche, durch verbreiterte Enden an seitlicher Verschiebung verhindert, zwischen die — mit kreissegmentförmig ausgehöhlten, entsprechend verstärkten Scheitelenden versehenen — Bogenhälften eingeschaltet werden. Die Verstärkung dieser Scheitelenden geschieht, wie an den Kämpferenden, entweder durch gussstählerne Einlagen, s. Taf. 3, Fig. 6, durch treppenartig verdickte Gussstücke, zwischen welche die schmiedeisernen Bogenenden geschraubt werden oder durch schuppenartig übereinander gelegte Blechplatten, welche unter sich und mit den Enden der Bogenträger am besten durch konische Bolzen verschraubt werden. In allen diesen Fällen müssen jene Scheitelenden mit Zwischenraum versehen und so geformt sein, dass sie, selbst bei der grössten Hebung und Senkung der Bogenhälften, sich nicht gegenseitig berühren. Bei nicht weitgespannten Brücken genügt, statt der vorgeschriebenen Anordnung, die Einschaltung einer wagrechten Platte zwischen die Scheitelenden, welche die bei den grössten Vertikalbewegungen der letzteren eintretende Biegung gestatten, s. Taf. 2, Fig. 22 bis 25, während die vertikale Stellung der Bogenenden durch zwei mit ihnen verschraubte vertikale Laschenplatten erhalten wird, deren Schraubenbolzen einerseits befestigt, andererseits durch ovale Bolzenlöcher gesteckt sind, s. a. a. O.

#### b. Die Lager der Obergurten.

Die Obergurten der Bogenbrücken sind zur besseren Erhaltung der vertikalen Stellung der Bogenträger und zur Unterstützung der Brückenbahnenden meist soweit verlängert, dass sie auf dem Mauerwerke ruhen und erhalten dann meist gusseiserne Unterlagplatten, auf welchen sie die bei Temperatur- und Belastungswechsel eintretenden Verschiebungen ungehindert ausführen können. Diese Schiebplatten erhalten eine abgehobelte, vertiefte Bahn und zur Führung der oberen Gurtenden dienende, erhöhte Backenstücke, welche mit zwei bis vier Löchern zur Aufnahme von Steinschrauben versehen sind und zugleich den durch den Wind erzeugten Seitendruck des zunächst der Brückenbahnebene angebrachten Windverbandes aufzunehmen haben, s. Taf. 4, Fig. 3. Nöthigenfalls erhalten sie eine weitere Führung durch je zwei bis je vier, mit Spielraum aufgeschraubte Führungsplättchen, s. Taf. 5, Fig. 4, 5.

### 8. Constructionsmaterial\*).

#### a. Flache Eisensorten.

Die Bleche für Bogenbrücken werden in Stärken von 1 bis 2, höchstens 2,5 cm verwendet, welche in Breiten von 1 bis 1,5 m und in Längen von 5 bis 6 m geliefert werden. Die Flacheisen werden in Stärken von 1 bis 2 cm und darüber, in Breiten von 5 bis 60 cm und in Längen von 5 bis 10 m und darüber angewandt.

#### b. Façoneisen.

Die Winkleisen für Brückenträger werden in Stärken von  $7,5 \times 7,5 \times 1$  bis  $17 \times 17 \times 1,6$  cm und in Längen von 7 bis 12 m verwendet. Die verhältnissmässig selten verwendeten  $\perp$ -Eisen werden in Stärken  $6 \times 5 \times 0,6$  bis  $15 \times 1,5 \times 15 \times 1,5$  cm, in Längen von 10 m und darüber gewalzt.

Die zu Stäben verwendeten I-Eisen werden mit 7,5 bis 20 cm Steghöhe, 5 bis 10 cm Flanschbreite, 0,5 bis 1 cm mittlerer Stärke und bezw. 10 bis 7,5 m Länge gewalzt, während die zu Fahrbahnträgern verwendeten Massivbalken Höhen von 20 bis 40 cm, Flanschbreiten von 10 bis 14 cm, mittlere Stärken von 1 bis 1,6 cm und Längen von 6 m und darüber erhalten.

Die [-Eisen werden in Stücken von  $6 \times 2,75 \times 0,7$

\*) Die speziellen Metallsortentabellen verschiedener Hüttenwerke s. u. a. Heinzerling, die angr. u. widerst. Kräfte etc. Zweite Aufl. Berl. 1876.



bis  $30 \times 7,75 \times 1,1$  cm geliefert und deren kleinere und grössere Abmessungen. bzw. zu Stäben und Gurten verwendet.

#### c. Unterlagplatten.

Die gusseisernen Unterlagplatten der Untergurten von Bogenbrücken erhalten Längen von 50 bis 100, Breiten von 40 bis 80 und Stärken von 3 bis 5 cm, werden oben mit den entsprechenden Verstärkungsrippen nebst Lagern versehen und unten entweder glatt oder mit Quer-, auch mit Quer- und Längsrippen gegossen.

#### d. Verwendung des Constructions materiales.

Um an dem zu den Stossverbindungen der Gurten erforderlichen Material und Arbeitslohn möglichst zu sparen, sind Eisensorten von möglichst grossen Längen und sowohl glatte Sorten als Façoneisen mit nicht zu grossen Querschnitten zu verwenden, dagegen ist zur Vermeidung von Materialverlusten und falschen Spannungen das Material der Stäbe wenigstens möglichst zu zersplintern. Zur Vermeidung der Oxydation ist auf eine möglichste Reduction der mit der Atmosphäre in Berührung stehenden Oberfläche, auf eine möglichste Vermeidung von Wassersäcken sowie auf eine sorgfältige Conservirung des Materiales Rücksicht zu nehmen.

#### e. Conservirung des Materiales.

Die zur Unterhaltung eiserner Brücken erforderlichen Arbeiten des Grundirens und Anstreichens reichen, insbesondere wenn sie nicht auf metallisch reiner Oberfläche ausgeführt werden, erfahrungsgemäss nicht aus, das Eisen vor allmäliger Oxydation zu schützen, indem sie keine vollkommene Isolirung der bereits oxydirten Fläche von Luft und Wasser bewirken und der Oxydationsprozess unter dem Anstrich, wenn auch langsamer, fortschreitet und eine stellenweise — den Atmosphärien wieder freien Zutritt zu den darunter befindlichen Eisentheilen gestattende — Ablösung desselben veranlasst. Besonders empfehlenswerth, ja nothwendig erscheint daher das zuerst von der Eisenbauanstalt von Clett und Cie. eingeführte, z. B. bei dem Bau der Eisenbahnbrücke über den Rhein bei Mainz eingehaltene und später verbesserte Verfahren. Hiernach werden sämtliche Eisentheile vor ihrer Verarbeitung zunächst von dem daran haftenden Oxyd, Hammerschlag und Rost durch Beizen mit Salzsäure befreit, hierauf zur Neutralisirung der Säuren in Kalkwasser abgewaschen und endlich, nach vorherigem Eintauchen in heisses Wasser, mit zunächst kaltem, dann durch die hohe Temperatur des Eisens erhitztem Oel angestrichen, wodurch jede Spur von Feuchtigkeit entfernt und auf dem metallisch reinen Eisen eine sehr fest haftende Firnissschicht erzeugt wird, welche die Eisentheile vor, während und nach ihrer weiteren Bearbeitung und Montirung gegen Oxydation schützt. Erst auf diese Schichte wird der erwähnte Grundanstrich aus Eisenmenige, Bleiweiss oder Grünspan aufgetragen.

### 9. Die Verbindungsmittel.

#### a. Die Niete.

Die Niete sollen bei einer und derselben Bogenbrücke nicht allzu verschiedene Bolzendurchmesser erhalten, und diese nicht unter 1,6 cm und nicht über 2,6 cm betragen. Bei Trägern mit kleinen Spannweiten genügen Nietdurchmesser von 2 cm, während bei weitgespannten Brückenträgern und besonders stark beanspruchten Theilen kleinerer Träger, z. B. an Trägerschnäbeln und Endständern meist solche von 2,3 bis 2,5 cm Anwendung finden. Die Bolzenschäfte der Niete dürfen, um einer schädlichen Verschwächung beim Erkalten nicht ausgesetzt zu sein, nicht über das  $2\frac{1}{2}$ fache bis höchstens 4fache ihrer Bolzendurchmesser lang sein, während die zweckmässigste Ausladung der zur Bildung des Schlusskopfs dienenden konischen Versenkung im Mittel  $\frac{1}{8}$  des Nietbolzendurchmessers betragen soll.

#### b. Die Stehbolzen.

Die zur Verbindung paralleler, nicht dicht aufeinander liegender Platten, Flacheisen oder Winkelschenkel dienenden Stehbolzen erhalten die angegebenen Abmessungen der Niete und werden zwischen den zu verbindenden Theilen mit ringförmigen, meist aus Röhrenabschnitten her-

gestellten Einlagen oder, bei grösseren Abständen, mit langen, aus Blech gerollten Büchsen umgeben.

#### c. Die Schrauben.

$\alpha$ ) Die Kopfschrauben, welche zur Verbindung von gusseisernen, schmiedeisernen und von solchen schmiedeisernen Theilen, deren Gesamtstärke die zulässige Schaftlänge der Nietbolzen übersteigt, dienen, erhalten Bolzendurchmesser von 1 bis 3 cm. Quadratischen Schraubenköpfen giebt man meist die Seitenlänge  $0,4 + 1,5 \cdot d$  und die Höhe  $0,7 \cdot d$ , während sechseckige Schraubenköpfe und Schraubenmutter den Durchmesser  $D$  des dem Sechseck umschriebenen Kreises von  $0,5 + 1,7 \cdot d$  und bzw. die Höhe von  $0,7 \cdot d$  und  $d$  erhalten. Der Schraubenmutter giebt man eine Unterlagscheibe von  $\frac{1}{3} D$  Durchmesser und  $\frac{1}{10} D$  Dicke.

$\beta$ ) Die konischen Schrauben, welche zur Verbindung mehrerer Plattenlagen, z. B. bei Verstärkung der unteren Bogengurte an den Kämpfer- und Scheitelenden, s. Taf. 4, Fig. 4 und 5, 15 und 16, dienen, werden ohne Kopf, nur mit einer Verjüngung von  $\frac{1}{20}$  des Schaftes hergestellt und erhalten Muttern von den unter  $\alpha$  angegebenen Dimensionen, wobei  $d$  den kleinsten Schaftdurchmesser bezeichnet. Um einen dichten Anschluss der Schäfte an die Bolzenlöcher zu erreichen, müssen erstere sorgfältig abgedreht und letztere mit der Reibahle sorgfältig ausgerieben werden. Vor dem Einziehen dieser Schrauben werden unter die Muttern Vorlagscheiben gelegt.

$\gamma$ ) Die Steinschrauben, welche zur Befestigung der Lagerplatten an die Unterlagquader dienen, erhalten 2 bis 3 cm Spindeldurchmesser, bzw. 3 bis 4 cm grösste Seitenlänge des unteren vierseitigen, pyramidenförmig gestauchten, in eine nach unten erweiterte Oeffnung des Quaders versenkten, am besten mit Blei vergossenen Theiles und je nach dem Grad der Befestigung und der Härte des Steins 15 bis 25 cm Länge des versenkten Schaftes.

### 10. Die Verbindungen.

#### a. Feste Verbindungen.

$\alpha$ ) Die Nietverbindungen. Bei kleineren Bogenträgern sind Eisenstärken von 1 bis höchstens 1,5 cm mit Nieten von 2 cm Schaftdurchmesser, bei grösseren Brückenträgern Eisenstärken von 1,3 bis höchstens 2,5 cm mit Nieten von 2,3 bis 2,5 cm starken Schäften die geeignetsten. Ein allzugrosser Wechsel in den Nietstärken ist unbequem, Schaftlängen mehrschnittiger Niete über  $2d$  sind nicht zu empfehlen, über  $5d$  zu vermeiden. Die Niettheilung bedingt bei einfacher Nietung das 3- bis höchstens 4fache des Durchmessers. Rechnet man auf einen Scheerwiderstand des Nietquerschnittes von 600 bis höchstens 800 kg für den qcm des besten Nieteisens, so muss die Nietreibung unberücksichtigt bleiben, während der Druck des Niets im Nietloch 600 kg auf den qcm Lochquerschnitt nicht viel überschreiten darf.

Die Niete der Gurtplatten werden am einfachsten und in den meisten Fällen einander gegenüber gestellt, s. Taf. 5, Fig. 6, selten gegeneinander versetzt, in beiden Fällen aber, um die unnöthige Verschwächung eines Querschnittes zu vermeiden, die zur Verbindung der Winkelseisen mit dem Stehblech dienenden Niete zwischen je zweien der ersteren angebracht, s. Taf. 5, Fig. 4. Die Stösse der Gurtplatten werden durch meist einseitige Laschen gedeckt, welche den nutzbaren Querschnitt der gestossenen Lamelle ersetzen müssen und diese auf beiden Seiten der Fuge durch so viele Niete angeschlossen, dass deren Gesamtquerschnitt demselben nutzbaren Querschnitt entspricht. Die Stösse der Stehbleche werden meist durch zweiseitige Laschen von dem halben nutzbaren Querschnitt der ersteren gedeckt, die Stossverbindungen der Winkelseisen entweder durch Platten oder durch Winkelseisenstücke, sog. Deckwinkel bewirkt. Bei sorgfältig aufeinander gepassten Stossfugen ist eine geeignete Verminderung sowohl der Laschenstärken, als auch der Nietenzahl statthaft. Die Vertheilung der Stösse längs der Träger ist, der Fabrikationslänge der einzelnen Theile der Gurten entsprechend, möglichst so zu bewirken,

dass in keinem Querschnitt mehr als einer jener Theile gestossen ist. Die einfachen oder gekreuzten Gitterstäbchen gegliederter Stäbe und Traversen werden meist mit je einem Niet an den Enden und an ihren Kreuzungspunkten versehen, s. Taf. 5, Fig. 6 und 7. Die zweckmässigsten Verbindungen der Stäbe mit den Gurten durch Nietung ergeben sich aus dem unter 4 Bemerkten sowie aus den Tafeln 1 und 3 bis 6.

β) Die Schraubenverbindungen dienen da, wo sie die Nietverbindungen nicht ersetzen, also Walzeisen mit Walzeisen verbinden sollen, hauptsächlich zur Verbindung von Constructionstheilen aus verschiedenem Material, insbesondere walzeiserner und gusseiserner, walzeiserner und hölzerner Theile, sowie gusseiserner Lagerplatten und ihrer Unterlagquader. Die Verbindungen selbst werden mittels der verschiedenen, unter 9c beschriebenen Schrauben ausgeführt.

Die gusseisernen Kämpfergelenktheile werden mit den schmiedeisernen Bogenenden theils mittelst Stiftschrauben, s. Taf. 2, Fig. 16 und Taf. 6, Fig. 10, theils mittelst Kopfschrauben, s. Taf. 3, Fig. 4 und 6 und Taf. 5, Fig. 14, bewirkt. Die gusseisernen Lagerstühle werden mit den walzeisernen Quer- oder Längsträgern durch kurze, meist versetzte Kopfschrauben, s. Taf. 5, Fig. 6—11, die schmiedeisernen, meist aus Quadrateisen bestehenden Geländerstäbe mit den hölzernen Querschwellen durch Schrauben verbunden, welche an deren unteres Ende angeschnitten sind, am Ende der Querschwelle durchgesteckt und unten mittelst einer Mutter angezogen werden, s. Taf. 4, Fig. 11—14. Die Verbindung der Lagerplatten mit den Mauerquadern durch Steinschrauben zeigt Taf. 2, Fig. 2, 5, 11, 13 und Fig. 18, 21, 26 und 28, Taf. 3, Fig. 9 bis 12, Taf. 4, Fig. 4 bis 6 und Taf. 5, Fig. 12 bis 14.

## IV. Beschreibung und statisch-numerische Berechnung.

### Taf. I. Bogenbrücken verschiedener Länder.

#### A. Gusseiserne Bogenbrücken.

1. Die Carrousselbrücke über die Seine in Paris, Fig. 1—7, besitzt drei gleiche Bogenöffnungen von 47,7 m Spannweite und 1,7 m Pfeilhöhe, wovon jede mit fünf hohlen gusseisernen Bogenträgern überspannt ist, welche mit hölzernen Bogen aus horizontal übereinander gelegten, unter sich verschraubten Bohlen ausgefüllt sind und sich gegen geneigte, in die Pfeilerquader eingelassene, gusseiserne Widerlagplatten stemmen. Die einzelnen Bogenträger bestehen aus Röhren von elliptischem Querschnitt mit lothrechter grosser Axe, welche in der Mitte getheilt, mit Flanschen versehen und seitlich mit versetzten Stossfugen zusammengeschaubt sind. Die Querverbindung der Röhrenbogen besteht aus den schrägen, im Querschnitt kreuzförmigen Versteifungen a, sowie aus den zur Brückenaxe normalen Stemmröhren b und Zugstangen c, s. Fig. 4, 5, 6. Die Bogenschenkel sind durch gusseiserne Ringe ausgefüllt, die sich bei d, s. Fig. 7, auf die Röhrenbogen stützen und oben bei d'' die Längsbohlenpaare e aufnehmen, welche die Querschwellen f der Brückenbahn unterstützen. Die Brückenbahn ist durch die diagonalen Zugstangen g seitlich versteift und besteht in den aus Langschwellen h und Querbohlen i gebildeten Trottoirs, sowie in der aus einem doppelten Bohlenbelag mit darüber ausgebreiteten Schichten aus weichen Kalksteinen und groben Kieseln hergestellten Fahrbahn, während die Fusswege durch eiserne Abweiser geschützt sind.

2. Die zweigeleisige, gusseiserne Brücke über die Kinzig bei Offenbourg, s. Fig. 8 bis 15, besass fünf Bogenträger von je 12,66 m Spannweite und 1,2 m Pfeilhöhe. Die Brückenbahn eines jeden Feldes wurde von 6 gusseisernen, aus je drei Stücken zusammengesetzten Rippen, s. Fig. 8 u. 9, getragen, wovon vier direct unter den Schienensträngen, zwei am äusseren Rande der Bankette angebracht waren und mittelst gusseiserner Schuhe

#### b. Bewegliche Verbindungen.

Ausser den besprochenen, drehbaren und verschieblichen Verbindungen bei den Gelenken und Gleitlagern erfordern die Bogenträger noch einige bewegliche Verbindungen.

α) Verschiebliche Verbindungen. Hierher gehören die verschieblichen Verbindungen von Laschenplatten, s. Taf. 2, Fig. 23 und 25 und von Geländerholmen, s. Taf. 4, Fig. 18, welche meistens in der Anwendung von Schraubenbolzen bestehen, die in ovalen Bolzenlöchern von hinreichender Länge stecken. Auch die bekannten Dilatationsvorrichtungen der Fahrschienen gehören hierher, bei welchen die Doppellaschen der Stösse am einen Schienenende festgeschraubt, am anderen Ende mit Schrauben versehen sind, welche in ovalen Löchern der Fahrschienen eine Längsverschiebung des einen Schienenendes gestatten.

β) Drehbare Verbindungen. Hierzu gehören die Verbindungen der Windverbände mit den Drehbolzen der Kämpfer- und Scheitelgelenke, s. Taf. 4, Fig. 19, 20, 16 und 17, wobei die Diagonalen des Windverbandes durch paralleletrapezförmige Lappen verbunden werden, die man charnierbandartig ineinander greifen lässt, während man die Gelenke durch eine Traverse verbindet, welche von geringerem Durchmesser als die Gelenkbolzen sind und mit diesen durch Einschrauben der in Gewinde endigenden Traversen verbunden werden können. Während diese Charnierband-Verbindung an dem Kämpfercharnier einfach ist, erhält sie am Scheitelcharnier, wo der obere und untere Windverband zusammentreffen, die Taf. 4, Fig. 17 dargestellte Anordnung, nach welcher jene Charnierbänder doppelte, unter einem spitzen Winkel gegeneinander geneigte Lappen haben.

auf den Widerlagern ruhten. Jene Bogenstücke waren mittelst Flanschen und Bolzen sowohl unter sich als auch mit den Widerlagern verbunden. Die Querverbindung der Bogenträger einer Oeffnung bestand aus zwölf, mittelst Muffen und Keilen, s. Fig. 12, regulirbaren Querbolzen, durch welche zugleich — ebenfalls wieder mittelst Keilen — der Abstand der Bogenträger fixirt wurde. Die Fahrbahn selbst bestand aus Langschwellen, welche an die Bogenträger festgeschraubt waren und die Schienen sowie die Geländer unterstützten, ferner aus dazwischen gelegten Querschwellen, welche einen Belag von Längsbohlen aufnahmen. Die gusseisernen Geländer waren mittelst Flanschen und Bolzen auf Stirnträger befestigt, s. Fig. 13 u. 14, während die Ränder der Fahrbahn von eisernen Querbalken unterstützt wurden, welche mit einem Gesimse versehen, an der Oberfläche mit Eisenblech beschlagen und in geeigneten Abständen mit den Seitenrippen verbolzt waren. Ueber

3. die Brücke über die Rhone bei Tarascon, s. Fig. 16, 17,

4. die Rochesterbrücke, s. Fig. 18,

5. die St. Louisbrücke in Paris, s. Fig. 19 und

6. die Radetzkybrücke in Laibach, s. Fig. 20 bis 24 und vgl. Abschnitt I dieses Heftes, Nr. 1, S. 2.

#### B. Schmiedeiserne Bogenbrücken.

Ueber 1. die Schluchtbrücke bei Waldshut, s. Fig. 25,

2. die Brücke über den Rhein bei Constanz, s. Fig. 26, 27,

3. die Brücke über die Theiss bei Szegedin, s. Fig. 28—41, und

4. die Unterspreebrücke bei Berlin, s. Fig. 42 bis 52 und vgl. Abschn. I dieses Heftes, Nr. 1 u. 2, S. 3.

5. Die von Eiffel und Cie. in Paris entworfene, im Jahre 1878 vollendete Brücke über den Douro bei Oporto, s. Fig. 53, besteht aus zwei continuirlichen Fachwerkträgern, die durch sieben eiserne Pfeiler und eine

Bogenconstruction unterstützt werden, auf welchen letzteren selbst zwei dieser Pfeiler ruhen. Die beiden ersten Oeffnungen des rechten, zunächst Oporto liegenden Ufers und die drei Oeffnungen des linken, zunächst Lissabon liegenden Ufers haben Spannweiten von je 37,40 m, während die vier Oeffnungen über dem Bogen je 28,75 m und die beiden Schlussheile desselben je 26 m Spannweite besitzen. Die Breite der Brückenbahn beträgt 4,5 m zwischen den auf Consolen ausgekragten Brüstungen, der Abstand der Parallelträger im Mittel 31 m, während die Bogenconstruction, um dem Windstoss den nöthigen Widerstand entgegen zu setzen, von 3,95 m Abstand am Scheitel auf 15 m Abstand am Fusse wächst. Die Höhe der eisernen Pfeiler beträgt nach Oporto hin 36 und 43, über dem Bogen je 13,2 m und nach Lissabon hin 43,39 und 15,8 m. Die Spannweite und Höhe der sichelförmig construirten Bogenträger beträgt bezw. 160 und 10 m, wodurch alle, bis jetzt bei Bogenbrücken erreichten, Dimensionen übertroffen werden. Die Bogenträger selbst haben Kämpfergelenke, womit sie sich gegen die äusseren Theile der — mit normal zur Stützlinie geneigten Lagerfugen gemauerten — Widerlager stemmen, jedoch Scheitel-Gelenke nicht erhalten. Die Aufstellung der Brücke wurde ohne Gerüste derart bewirkt, dass zunächst die continuirlichen Parallelträger soweit vorgeschoben wurden, bis ihre vorderen Enden in die Mittellinien der auf die Bogen aufgesetzten beiden Stützen gerückt waren, wonach dann der — mit Hülfe von Seilen, die nach dem nächsten Pfeiler und nach den unterstützten Enden der continuirlichen Träger hin gespannt waren, bewirkte — Aufbau des Bogens begann. Laufseile, die von einem Ufer zum anderen reichten, sowie Tragsseile, mittelst deren die zur Bogenconstruction gehörigen Eisentheile aus Kähnen in die Höhe gewunden wurden, unterstützten diesen Vorgang. Nach Herstellung des Bogens erfolgte der Aufbau der auf dessen beide Schenkel aufgesetzten Stützen und zuletzt, als Abschluss der Montage, die Aufbringung der vier mittleren Theile des Parallelträgers.

6. die Brücke über die Lahn in Ems, s. Fig. 54 bis 62,

7. die nördliche Eisenbahnbrücke über den Rhein bei Coblenz, s. Fig. 63—74,

8. die Brücke über den Mississippi bei St. Louis, s. Fig. 75—84,

9. die Stadthausbrücke über die Seine in Paris, s. Fig. 85,

10. die Brücke über den Canal bei St. Denis, s. Fig. 86—94, und

11. die Brücke über die Aar bei Olten, s. Fig. 95 bis 100 und vgl. Abschnitt I dieses Heftes, Nr. 1 u. 2, S. 2—5.

## Taf. II. Bogenbrücken mit Gelenkträgern.

Die in den Figuren 1 bis 33 dargestellten, von Reyman construirten, kleinen Bogenbrücken in der Zweigbahn Wittenberg-Lüneburg der Berlin-Hamburger-Bahn zu Lüneburg sind beide mit Kämpfercharnieren und beweglichen Verbindungen im Scheitel construiert, während die eine derselben eine Eisenbahn, die andere eine Strasse überführt.

1. Die Unterführung der Lüne- und Altenbrücker Thorstrasse zu Lüneburg. Diese in Fig. 1 bis 16 dargestellte Bogenbrücke überführt die eingleisige Lüneburg-Wittenberger Eisenbahn mittelst zwei Bogenträgern, deren Mittel sich in einem Abstände von 1,88 m (6' pr.) befinden und bei einer Stützweite von 11,30 m (36' pr.) eine Pfeilhöhe von 1,41 m (4' 6" pr.) besitzen. Die beiden Bogenträger sind als Blechträger mit oberer gerader und unterer segmentbogenförmiger Begrenzung mit 12,005 m (38' 3" pr.) Radius ihrer Mittellinie construiert und bestehen, wie der in Fig. 5 dargestellte Querschnitt nach *cd* zeigt, aus einem durchgehenden, 0,9 cm ( $\frac{3}{8}$ " pr.) starken Stehblech, welches an dem oberen wagrechten Rande mit zwei je  $6,5 \times 6,5 \times 0,9$  cm ( $2\frac{1}{2} \times 2\frac{1}{2} \times \frac{3}{8}$ " pr.) starken Winkeleisen gesäumt, an dem unteren bogenförmigen Rande

durch zwei, je 31,4 cm (12" pr.) hohe, 0,9 cm ( $\frac{3}{8}$ " pr.) dicke Platten und je vier  $13 \times 8,4 \times 1,3$  cm ( $5 \times 3\frac{1}{4} \times \frac{1}{2}$ " pr.) starke Winkeleisen verstärkt ist. Das erwähnte Vertikalblech besitzt bei jeder Trägerhälfte einen Stoss, welcher an dem Untergurt durch zwei, je 1,3 cm ( $\frac{1}{2}$ " pr.) und in den Bogenwickeln durch zwei, je 0,9 cm ( $\frac{3}{8}$ " pr.) starke Laschen gedeckt ist. In jedem Bogenschenkel ist das Vertikalblech überdiess durch je ein Winkeleisen ausgesteift und an den Stirnseiten, s. Fig. 1, durch zwei parallele Bandeisen-Dreiecke verziert. Die beiden Bogenträger sind an den Enden und in 1,78 m (5' 8" pr.) Entfernung von denselben durch vertikale, in Fig. 5 dargestellte, Querverbände in 1,91 m (6' 1" pr.) und 1,94 m (6' 3" pr.) Entfernung durch wagrechte doppelte Winkeleisen von  $6,5 \times 6,5 \times 0,9$  cm ( $2\frac{1}{2} \times 2\frac{1}{2} \times \frac{3}{8}$ " pr.) Stärke verbunden und durch gekreuzte, auf die oberen und unteren Winkelschenkel des unteren Gurts genietet, je  $6,5 \times 0,9$  cm ( $2\frac{1}{2} \times \frac{3}{8}$ " pr.) starke Flacheisen gegen seitliche Ausweichung durch den Seitendruck des Windes gesichert, s. Fig. 2, 4 und 5.

Das Kämpfercharnier besteht aus einer, in Fig. 16 dargestellten, gusseisernen Platte mit Halbzapfen, welcher in eine, in Fig. 11, 12, 13 dargestellte, Platte mit entsprechendem Lager passt. Der Bogengurt ist an den Enden durch eine doppelte, je 1,3 cm ( $\frac{1}{2}$ " pr.) starke Platte und zwei Winkeleisen von  $13,7 \times 8,4 \times 1,3$  cm ( $5\frac{1}{4} \times 3\frac{1}{4} \times \frac{1}{2}$ " pr.) verstärkt. Mit diesem Bogenschuh, welcher mit einer Bleiplatte unterlegt ist, wurde die mit dem Halbzapfen versehene Platte durch vier Bolzen verschraubt, während die mit acht Rippen versehene Lagerplatte durch zwei Steinschrauben mit dem Kämpferquader verankert ist, s. Fig. 11 und 13. Das Scheitelcharnier besteht in einer 5,5 cm ( $2\frac{1}{8}$ " pr.) dicken, gusseisernen Scheibe von 15,7 cm (6" pr.) Durchmesser, gegen welche sich die — durch zwei rechteckige, zwischen die vertikalen Schenkel der Winkeleisen eingeschaltete Platten von je 54,9 cm (1' 9" pr.) Länge und je 1,3 cm ( $\frac{1}{2}$ " pr.) Dicke und aussen durch zwei sechseckige, zwischen die horizontalen Schenkel der Winkeleisen eingeschalteten Platte von je 40,5 cm (1' 3 $\frac{1}{2}$ " pr.) Länge und je 0,9 cm ( $\frac{3}{8}$ " pr.) Dicke verstärkten — Scheitelenden des Untergurts stemmen. Während die fünf, zwischen diesen sechseckigen Laschenplatten befindlichen, Blechplatten durch Nieten mit versenkten Köpfen, s. Fig. 7 und 10, verbunden sind, wurden die beiden äusseren Laschenplatten von acht durchgehenden, je 1,9 cm ( $\frac{3}{4}$ " pr.) dicken Schraubenbolzen (deren Querschnitte in Fig. 7 geschwärzt sind) mit weiten Bolzenlöchern mit jenen ersteren etwas drehbar und mit den gusseisernen Scheitelbolzen durch sechs Nieten mit versenkten Köpfen fest vereinigt. Die nach aussen vorgeheftete, verzierte gusseiserne Rosette ist durch einen durchgehenden, vorn mit einem runden Kopf, hinten mit Mutter versehenen Schraubenbolzen, s. Fig. 7 und 9, festgehalten. Der Scheitelbolzen bildet hiernach mit den erwähnten Laschen einschliesslich dieser Rosette ein in dem Horizontalschnitte *vw* H-förmig gestaltetes Verbindungsglied, zwischen dessen Schenkeln die einschalteten und durch jene, mit Spielraum versehenen Bolzen zusammengehaltenen Bogenenden die durch die grössten Temperaturdifferenzen bedingte Drehung ausführen können.

Die Brückenbahn besteht, wie die Figuren 1 bis 5 zeigen, aus je  $23,2 \times 26,2$  cm ( $9 \times 10$ " pr.) zwischen den Bogenträgern und je  $18,3 \times 26,2$  cm ( $7 \times 10$ " pr.) starken, je 0,94 m (3' pr.) von Mittel zu Mittel abstehenden Querschwellen, welche durch doppelte, mittelst je zweier Nieten auf den Obergurten befestigte, Winkellappen auf die Bogenträger befestigt sind und zwischen den Fahrseilen 5, ausserhalb derselben je 4 Längsbohlen nebst einfachen profilirten Saumschwellen aufnehmen.

Die in Fig. 1, 2 und 5 dargestellte 0,94 m (3' pr.) hohe Brüstung besteht aus quadrateisenförmigen Hauptstäben von je 2,6 cm (1" pr.) Seite, welche nach Fig. 5 mit den Querschwellenköpfen und Saumschwellen verschraubt sind, aus oben aufgenieteten Flacheisen von  $3,2 \times 1,3$  cm ( $1\frac{1}{4} \times \frac{1}{2}$ " pr.) Stärke, die wieder mit birnförmigen Handleisteneisen vernietet sind, und einem zwischen beide eingeschalteten Stabwerk, wovon die Horizontalstäbe zu beiden

Seiten der Hauptstäbe umgekröpft und mit den letzteren durch horizontal eingezogene Nieten verbunden sind.

Die Widerlager sind, nach Fig. 2, aus Backsteinmauerwerk mit kräftigen Kämpferquadern und je 0,94 m (3' pr.) starker, zugleich als Futtermauer dienender Aufmauerung aufgeführt, welche oben eine Querschwelle aufnimmt und hinten mit einer Abwässerung versehen ist.

2. Ueberführung der Güterstrasse über die Altenbrücken-Thorstrasse zu Lüneburg. Diese in Fig. 17 bis 33 dargestellte Strassenbrücke überführt eine 7,84 m (25' pr.) breite Fahrbahn und zwei, je 1,26 m (4' pr.) breite Bankette auf sechs, je 1,57 m (5' pr.) von einander entfernten Bogenträgern von 11,3 m (36' pr.) Stützweite und 1,56 m (5' pr.) Gesamthöhe mit oberer horizontaler und unterer, kreissegmentbogenförmiger Lagerung, welche den auf verzinkten Winkelplatten ruhenden Oberbau der Fahrbahn, sowie die auf Consolen mit concaven, verzinkten Winkelplatten ruhenden Fusswege sammt Brüstung aufnehmen. Die Bogenträger bestehen aus einem je 0,9 cm ( $\frac{3}{8}$ " pr.) starken Verticalblech, welches oben von zwei, je 6,5 × 6,5 × 0,9 cm ( $2\frac{1}{2} \times 2\frac{1}{2} \times \frac{3}{8}$ " pr.), unten von vier ebenso starken Winkeleisen, deren horizontale Schenkel je 2,2 cm ( $\frac{7}{8}$ " pr.) von einander abstehen, an den Enden durch die 7,8 cm (3" pr.) langen, 14,3 cm ( $5\frac{1}{2}$ " pr.) breiten und 3,2 cm ( $1\frac{1}{4}$ " pr.) dicken Zapfen der Kämpfercharniere nebst je sechs Schrauben und an den Scheiteln durch je 4,8 cm ( $1\frac{6}{16}$ " pr.) lange, ebenso breite und dicke Laschenplatten mittelst Nieten verbunden sind. Die in der Nähe der Mitte der Verticalbleche befindlichen Stösse derselben sind durch zwei je 0,9 cm ( $\frac{3}{8}$ " pr.) starke Laschen gedeckt, während die Winkeleisen in der Bogenhälfte durchlaufen. In Entfernungen von je 1,26 m (4' pr.) sind zwischen den Bogenträgern je 20,9 cm (8" pr.) hohe, massiv gewalzte, im Querschnitt L-förmige Querträger, mittelst je eines lothrechten Winkeleisens und ausserhalb der Stirnträger paralleltrapezförmige Consolen mittelst umgekröpfter, je 39,2 cm (15" pr.) hoher Stehbleche angenietet. Die Stirnbogenträger sind zu diesem Zweck, wie Fig. 21 zeigt, entsprechend erhöht und oben mittelst einfacher, gegen die inneren Winkeleisen etwas versetzter Winkeleisen gesäumt, welche mit den zu ihnen parallelen, an die umgekröpften äusseren Enden der Consolen genieteten Winkeleisen zur Unterstützung der Bankett-Blechplatten dienen. Während die im tiefsten Punkte mit Ablauflöchern versehenen Buckelplatten der Fahrbahn, um möglichst tragfähig zu werden, mit allen ihren vier Rändern auf die Obergurten der Bogenträger und deren Querträger genietet sind, wurden die Hohlplatten der Bankette mit ihren umgebogenen Längsrändern auf die oben erwähnten und gleichfalls concaven oberen Winkeleisen der Consolen genietet, s. Fig. 19 und 21. Zwischen den hohen Enden und den früher erwähnten Stössen der Verticalbleche der beiden äusseren und der beiden inneren Bogenträger sind vertikale — aus gekreuzten, je 7,8 × 0,9 cm ( $3 \times \frac{3}{8}$ " pr.) starken Flacheisen, welche in ihren Kreuzungspunkten vernietet sind, bestehende — Querverbände, s. Fig. 18 und 21, angebracht. Der Ausführung der Bogenträger wurden Nietbolzenstärken von je 1,9 cm ( $\frac{3}{4}$ " pr.) und eine Niettheilung von 10,5 cm (4" pr.) zu Grunde gelegt. Die Kämpfercharniere bestehen aus dem, in Fig. 29 und 30 dargestellten, gusseisernen, je 14,3 cm ( $5\frac{1}{2}$ " pr.) breiten, 9,1 cm ( $3\frac{1}{2}$ " pr.) starken — mit je 2,6 cm (1" pr.) starker Stützplatte und mit dem oben erwähnten, mit sechs Schraubenlöchern versehenen Zapfen, welcher in den Zwischenraum der vier, den Untergurt bildenden Winkeleisen eingeschraubt ist, zusammengewachsenen — Drehbolzen. Zwischen jene Stützplatte und den Bogenfuss ist, der besseren Vertheilung des Druckes halber, eine je 0,3 cm ( $\frac{1}{8}$ " pr.) starke Bleiplatte gelegt. Der Drehzapfen stemmt sich gegen ein entsprechendes halbcylindrisches, auf eine durch acht Rippen verstärkten Unterlagplatte ruhendes, 41,8 cm (16" pr.) langes und 31,4 cm (12" pr.) breites Lager, s. Fig. 26—28, welches durch zwei Steinschrauben mit dem Kämpferquader verankert ist. Die im Scheitel durch einen, je 1,9 cm ( $\frac{3}{8}$ " pr.) weiten Zwischenraum getrennten Bogen-

enden sind daselbst ausser der oben bereits erwähnten wagrechten, zwischen die Winkeleisen des Untergurts eingeschalteten Laschenplatte durch je zwei vertikale, zwischen die vertikalen Winkelschenkel des Ober- und Untergurts eingeschaltete Laschenplatten vereinigt, welche mit der einen Bogenhälfte durch je fünf Nieten fest, mit der anderen Bogenhälfte durch je fünf Schrauben mit ovalen Bolzenlöchern etwas beweglich verbunden ist. Bei den infolge Temperaturwechsels eintretenden Längenveränderungen der Bogenhälften gestatten jene im Stehblech angebrachten ovalen Löcher eine kleine horizontale Verschiebung, während jene wagrechte Laschenplatte bei geringen Hebungen und Senkungen eine kleine Biegung zulässt.

Zur Entwässerung der Brückenbahn sind drei in Fig. 31 bis 33 dargestellte gusseiserne, je 2,6 cm (1" pr. starke) Rinnen zwischen die Fahrbahn und die beiden Bankette eingeschaltet, s. Fig. 21, welche der Dichtigkeit halber mit Muffen, s. Fig. 32, versehen und ausserhalb mit je 3,9 cm ( $1\frac{1}{2}$ " pr.) starken, unten wagrechten Rippen verstärkt sind. Die je 1,1 m ( $3\frac{1}{2}$ " pr.) hohen Geländer sind denjenigen der unter 1 beschriebenen Brücke durchaus ähnlich construiert, s. Fig. 17, 18 u. 21, nur sind die aus Quadratische hergestellten Hauptstäbe unten in kleeblattförmige Lappen ausgeschmiedet, s. Fig. 17, welche mittelst je dreier Nieten an die früher erwähnten, verkröpften Verticalbleche der Consolen angeschlossen sind. Um der Brücke ein gefälligeres Ansehen zu geben, sind die einzelnen, zwischen den Consolen befindlichen, paralleltrapezförmigen Felder der Stirnträger mit geeignetem Profileisen, s. Fig. 17, eingefasst.

Die Widerlager sind, wie Fig. 18 zeigt, den unter 1 beschriebenen durchaus ähnlich construiert, nur oben mittelst Deckplatten abgedeckt, an welche sich das Pflaster der angrenzenden Theile der Güterstrasse anschliesst.

### Taf. III. Schiefe Charnierbogenbrücke.

Die durch Figur 13 in der Situation, durch Figur 14 nach ihrem Trägerschema und durch die Figuren 1 bis 12 hinsichtlich ihrer constructiven Anordnung dargestellte Bogenbrücke unterführt die Sudenburger Strasse in Magdeburg unter den Geleisen der Magdeburg-Halberstädter und der Magdeburg-Leipziger Bahn unter einem Schnittwinkel von nahe 66° 30' und besteht aus 7 einzelnen Brücken mit je 4,315 m Abstand der Geleis-Axen, zwischen welche 6 Bankette eingeschaltet sind, während noch zwei Bankette auf den an den Stirnbogenträgern der beiden äussersten Brücken angebrachten Consolen ruhen. Die zu den Geleis-Axen normalen Entfernungen der Geländermitten von den Mitten der Stirnbogenträger, der Mitten zueinander gehöriger Bogenträger einer Brücke und der Mitten der beiden, ein Zwischenbankett begrenzenden Bogenträger messen bezw. je 1,2, je 2,62 und je 1,695 m. Die aus zwei Bogenhälften mit je 6 Feldern von je 1,68 m Weite bestehenden Bogenträger haben hiernach eine Spannweite von 20,16 m zwischen den Mitten der Endvertikalen bei einer grössten Höhe von 2,2 m des Endfeldes und bei einer kleinsten Höhe von 0,53 m des Mittelfeldes, also einer Pfeilhöhe von 1,68 m. Die oberen geraden Gurten der Bogenträger bestehen aus zwei, je 17,6 cm von einander entfernten Winkeleisen von je 10,5 × 6,5 × 1 cm Stärke mit aufgenieteten, je 1 cm starken Horizontalplatten von je 31,4 cm Breite, während die unteren parabolisch-polygonalen Gurten aus zwei, je 20,2 cm von einander entfernten Winkeleisen von je 10,5 × 6,5 × 1 cm Stärke und aus zwei, je 21 cm hohen und 1,3 cm starken Verticalblechen mit untergenieteten, je 1,6 cm starken Horizontalplatten von je 42 cm Breite und von oben gegen dieselben genieteten je 14,4 × 8 × 1 cm starken [-Eisen, s. Fig. 5, zusammengesetzt sind. Zwischen diese Verticalplatten und [-Eisen des unteren und an die Innenseiten jener Winkeleisen des oberen Gurts sind die je 1,6 cm starken Knotenbleche genietet, an welche die im Querschnitt [-förmigen, je 14,4 × 7,8 × 1,3 starken Vertikalen und Diagonalen angenietet sind. In allen Feldern sind jene Knotenbleche so gestaltet, wie es der Anschluss der Vertikalen

und Diagonalen erfordert und des gefälligeren Aussehens halber in den Ecken abgerundet, nur die beiden mittleren Felder sind von je 1,6 m starken Blechen ausgefüllt, hinter welche die Diagonalen genietet sind.

Die Brückenbahn besteht aus Querträgern, welche aus je 26 cm hohen, von vier je  $7,8 \times 7,8 \times 1$  cm starken Winkeleisen gesäumten, Stehblechen zusammengesetzt und in einem Abstände von je 31 cm unter Oberkante der Hauptträger mittelst paralleltrapezförmiger, je 1 cm starker, gebogener Anschlussbleche an die flachen Rückseiten der im Querschnitt [-förmigen Vertikalen angenietet sind. Wo diess die Höhe der Vertikalen gestattet, sind die Querträger in ihrer Mitte durch zwei, aus je zwei Winkeleisen von  $6 \times 6 \times 1$  cm Stärke bestehende Streben gegen die beiden unteren Gurten abgesteift, wo sie mittelst besonderer, je 1 cm starker, mittelst Winkeleisen an die Knotenbleche der unteren Gurtung angenieteter Eckbleche angeschlossen sind, s. Fig. 3, Schnitt 1 bis 4. Diejenigen Köpfe dieser Streben, welche sich über den Kreuzungspunkten der Diagonalen des Hauptwindverbandes befinden, stehen mit Hängstangen in Verbindung, welche zwischen die doppelten Winkeleisen der Traversen eingietet sind, um jenen Windverband zu unterstützen. Die aus 21 cm hohen, durch vier Winkeleisen von je  $7,2 \times 7,2 \times 1,3$  bis  $5,9 \times 5,9 \times 1$  cm gesäumten Stehblechen bestehenden Längsträger sind in normalen Entfernungen von je 1,5 m mittelst doppelter, spitz- und stumpfwinkliger Winkellappen an die Querträger genietet und nehmen je zwei, je 0,84 m voneinander abstehende Lagerplatten sammt Fahrschienen auf, welche durch Klemmplättchen und Schrauben unter sich und mit den Längsträgern verbunden sind. Unter den Lagerplatten sind die Längsträger durch je zwei versetzte, vertikale Winkeleisenstücke ausgesteift. Zwischen den und ausserhalb der beiden Fahrschienen sind die Querträger mit 15,2 cm starken Bohlen belegt.

Die Windversteifung der Hauptträger besteht aus wagrechten, durch je zwei  $5,9 \times 5,9 \times 1$  cm starke Winkeleisen gebildeten, schrägen Traversen, s. Fig. 2 und 6, und aus gekreuzten, je  $7,8 \times 1$  cm starken Diagonalen, welche beide an den Knotengurten der Hauptträger mittelst je 1,6 cm starker, unter die polygonalen Gurten derselben genieteter Anschlussbleche angenietet sind. Nur an den Enden der Trägerhälften bestehen die erwähnten Traversen aus je einem Winkeleisen von je  $7,8 \times 7,8 \times 1,3$  cm Stärke, wobei die beiden an den Trägerscheiteln befindlichen einen Abstand besitzen, der — parallel zur Trägeraxe gemessen — 30 cm beträgt. Die Windversteifung der Fahrbahn besteht in gekreuzten, je  $6,5 \times 1$  cm starken Flacheisen, welche an paralleltrapezförmige, je 1 cm starke, auf die Verbindungspunkte der Quer- und Längsträger genietete Anschlussplatten mittelst je eines Niets angeschlossen sind.

Um die zwischen je zwei Hauptträgern von zwei benachbarten Brücken befindlichen Bankette zu unterstützen, sind an den Knotenpunkten der ersteren je 10,5 cm hohe U-Eisen von 6,6 m Flanschbreite, 1,125 cm Flanschdicke und 0,9 cm Stegstärke mittelst Winkellappen schräg angenietet und mit zwei Langschwelen belegt, worauf die Querbohlen jener Bankette genagelt sind, s. Fig. 2 und 5. Die an den beiden äussersten Hauptträgern angebrachten Bankette bestehen aus Dreiecksblechen, welche oben wagrecht und durch je zwei Winkeleisen von je  $5,9 \times 5,9 \times 1$  cm Stärke gesäumt, unten geneigt und durch je ein Winkeleisen von  $6,5 \times 6,5 \times 1$  cm Stärke ausgesteift sind. Auf den beiden oberen Winkeleisen dieser Consolen ruhen je zwei Langschwelen, welche auf quergelegten, hölzernen Unterlagen die Längsbohlen der beiden äussersten Bankette aufnehmen.

Das in Figur 1, 4 im Kleinen und in Figur 10 bis 12 in grösserem Massstabe dargestellte Kämpfercharnier besteht in einem Halbzapfen von 7,8 cm Durchmesser und 55 cm Länge, welcher zwischen den zwei Backenstücken einer gusseisernen, quadratischen Unterlagplatte durch Keile verstellbar ist und in eine am unteren Bogenende angebrachte Höhlung passt. Jene Unterlagplatte besitzt 63 cm Seitenlänge und ist mit vier Versteifungsrippen und ebenso

viel Schraubenlöchern versehen, durch welche die Steinschrauben, wodurch sie mit dem Mauerwerk verankert ist, gehen. Das Scheitelcharnier besteht aus einem Stahlbolzen von 6,5 cm Durchmesser und 42 cm Länge, gegen welchen sich die mit entsprechenden Höhlungen versehenen, durch eingeschraubte Einlagen verstärkten Scheitelenden der beiden Trägerhälften stemmen, s. Fig. 4 und 6. Die in Figur 2, 7, 8 und 9 dargestellten Lager der Längsträger-Enden bestehen aus wagrechten, mit versteiften Stehrippen versehenen, durch je 3 Steinschrauben mit dem Mauerwerk verankerten Unterlagplatten, worauf jene durch angeschraubte [-förmige Gussstücke verstärkten Trägerenden sich bei Temperatur- und Belastungswechsel hinreichend verschieben können. Um die unter der Brückenbahn verkehrenden Fuhrwerke und Fussgänger vor durchdringendem Regen zu schützen, sind unter sämtliche, innerhalb und ausserhalb der Hauptträger befindliche Zwischenräume verzinkte Wellenbleche von verschiedener Stärke angebracht, welche über den Consolen nach den äussersten Hauptträgern hin, zwischen den beiden zusammengehörigen Hauptträgern einer Brücke nach den Längsträgern hin und zwischen den Hauptträgern zweier nebeneinander liegender Brücken nach der Mitte hin geneigt sind. Unter den tiefsten Rändern derselben sind theils rechteckige, theils halbcylindrische Blechrinnen angebracht, welche parallel zur Axe der unterführten Strasse geneigt sind und den durch die Brückenbahn dringenden Regen auffangen und abführen.

#### Taf. IV. Charnier-Bogenbrücke.

A. Allgemeine Anordnung. Die Figuren 1 bis 20 stellen eine, an der diesseitigen polytechnischen Schule construirte, zweigeleisige parabolische Charnier-Bogenbrücke über drei Oeffnungen mit je 40 m Stützweite, 5 m Pfeilhöhe und 0,5 m Höhe im Scheitel dar, deren vier, je 1,75 m von einander entfernte Tragrippen in 20 je 2 m weite, durch Vertikale, Diagonale und Mittelbänder ausgesteifte Felder getheilt sind und die je  $\frac{2}{3}$  m von einander entfernten, je 16 cm hohen und 20 cm breiten Querswellen mit den je 1,5 m entfernten Fahrschienen derart aufnehmen, dass die ersteren ausserhalb der Stirnrippen je 1 m breite, mit je 1 m hohen Brüstungen versehene Bankette unterstützen und letztere zwischen und symmetrisch zu den beiden äusseren Tragrippen liegen. Fig. 1 und 2 stellen diese Anordnungen nach Auf- und Grundriss in dem Massstabe von 1:290 im Allgemeinen dar.

Um die Tragrippen in lothrechter Stellung zu erhalten, sind dieselben durch je 20 vertikale Querverbände, welche zwischen die Vertikalen und Gurten eingeschaltet sind, aus Transversalen und Diagonalen bestehen und zwischen der 1. bis 4. Vertikalen je zwei Felder, zwischen den übrigen Vertikalen je ein Feld besitzen, verbunden, s. Taf. 4, Fig. 3 und 11 bis 13.

Zum Schutze gegen den Seitendruck des Windes sind zwischen die beiden Gurten Windverbände eingeschaltet, wovon der obere den auf die höher gelegenen Theile der Tragrippen und auf die grösste Oberfläche der Verkehrsmittel, der untere nur den auf die tiefer liegenden Theile der Tragrippen wirkenden Winddruck aufzunehmen hat. Beide Windverbände bestehen aus Transversalen und zwischen dieselben eingeschalteten Diagonalen und sind über die ganze Oeffnung durchgeführt, s. Fig. 19 und 20. Um diese Durchführung auch bei dem oberen Windverbände bewerkstelligen zu können, ohne die Charnierbewegung der Brücke zu beeinträchtigen, sind die Diagonalen der beiden, dem Scheitel zunächst liegenden Felder bis zu einer, zwischen die Scheitelcharniere eingeschalteten, Drehaxe herabgeführt und mit dieser, in der durch Figur 16 und 17 dargestellten Weise, drehbar verbunden.

Die Kämpfer- und Scheitel-Charniere bestehen aus kurzen, mit vorspringenden Köpfen versehenen Gussstahlbolzen, welche an den Kämpfern in den Pfannen gusseiserne Lagerstühle, an dem Scheitel in zweitheiligen, aussen sechseckigen Büchsen ruhen und gegen welche sich die beiden, zur gleichmässigen Vertheilung des Druckes an

den Enden schuppenartig verstärkten Bogenenden stemmen, s. Fig. 3 bis 6 und 16 bis 18.

B. Statisch-numerische Berechnung. Der auf Textt. A, Fig. 7 dargestellte Bogenträger mit horizontaler, oberer und polygonaler, unterer Gurtung besitzt eine Spannweite  $l=40\text{m}$ , eine Feldweite  $\lambda=2\text{m}$ , eine Pfeilhöhe  $h_m=5\text{m}$  und eine Scheitelhöhe  $c=0,5\text{m}$ , während die Belastung seiner Knotenpunkte durch Eigengewicht  $p=2,4\text{ tons}$ , durch Verkehr  $q=4\text{ tons}$  beträgt.

**I. Berechnung der durch Eigengewicht und Verkehrsbelastung erzeugten Spannungen des Bogenträgers.**

α) Analytische Behandlung.

1. Berechnung der Grenzspannungen  $Z$  in den Polygonstücken.

a. Berechnung der Spannungen durch Eigengewicht und ganze Verkehrsbelastung nach Gleichung 109

$$Z_m^p = -\frac{pn^2}{2h_n} \cdot b_m = -\frac{2,4 \cdot 100}{2,5} \cdot b_m = -24 \cdot b_m$$

$$\text{und } Z_m^q = -\frac{qn^2}{2h_n} \cdot b_m = -\frac{4 \cdot 100}{2,5} \cdot b_m = -40 \cdot b_m,$$

worinn. Gleichg. 111 d. Werth  $b_m = \sqrt{2^2 + \left(\frac{2(10-m)+1}{100} \cdot 5\right)^2}$

Für $m=1$ ist $b_1=2,213$ m, daher $Z_1^p = -53,11$ tn, $Z_1^q = -88,52$ tn.
„ $m=2$ „ $b_2=2,172$ „ „ $Z_2^p = -52,12$ „ $Z_2^q = -86,88$ „
„ $m=3$ „ $b_3=2,135$ „ „ $Z_3^p = -51,24$ „ $Z_3^q = -85,40$ „
„ $m=4$ „ $b_4=2,102$ „ „ $Z_4^p = -50,45$ „ $Z_4^q = -84,08$ „
„ $m=5$ „ $b_5=2,073$ „ „ $Z_5^p = -49,75$ „ $Z_5^q = -82,92$ „
„ $m=6$ „ $b_6=2,049$ „ „ $Z_6^p = -49,18$ „ $Z_6^q = -81,96$ „
„ $m=7$ „ $b_7=2,029$ „ „ $Z_7^p = -48,70$ „ $Z_7^q = -81,16$ „
„ $m=8$ „ $b_8=2,015$ „ „ $Z_8^p = -48,36$ „ $Z_8^q = -80,60$ „
„ $m=9$ „ $b_9=2,005$ „ „ $Z_9^p = -48,12$ „ $Z_9^q = -80,20$ „
„ $m=10$ „ $b_{10}=2,000$ „ „ $Z_{10}^p = -48,00$ „ $Z_{10}^q = -80,00$ „

b. Berechnung der Spannungen durch Verkehrsbelastung.

α) Berechnung der Lage der Belastungsscheiden. Nach Gleichung 112 ist

$$e = \frac{2}{5,5 + \frac{1}{(m-1)5 + 10}} \cdot \lambda.$$

Für $m=1$ ist $e=0,0\lambda$ , die Lastscheide liegt im 1. Pfosten,
„ $m=2$ „ $e=1,7\lambda$ , „ „ „ 2. Felde.
„ $m=3$ „ $e=3,1\lambda$ , „ „ „ 4. „
„ $m=4$ „ $e=4,3\lambda$ , „ „ „ 5. „
„ $m=5$ „ $e=5,3\lambda$ , „ „ „ 6. „
„ $m=6$ „ $e=6,3\lambda$ , „ „ „ 7. „
„ $m=7$ „ $e=7,1\lambda$ , „ „ „ 8. „
„ $m=8$ „ $e=7,8\lambda$ , „ „ „ 8. „
„ $m=9$ „ $e=8,5\lambda$ , „ „ „ 9. „
„ $m=10$ „ $e=9,0\lambda$ , „ „ „ 9. Pfosten.

β) Berechnung der grössten Zugspannungen durch Verkehrsbelastung nach Gleichung 50.

$$Z_m^{max} = \frac{1}{z \cdot e} [Pp(20-w-a) + Qa(q-20-w)].$$

Werden die entsprechenden Zahlenwerthe eingeführt, so ergibt sich z. B. für das 5. Bogenstück

$$Z_5^{max} = \frac{1}{2,219 \cdot 10,666} [4,4 \cdot 5(20-9,334-8) + 4,8(30-20-9,334)] = 9,91 \text{ kg.}$$

Werden diese Spannungen in ähnlicher Weise auch für die übrigen Felder berechnet, so erhält man für

$m =$	1	2	3	4	5	6	7
$Z_m^{max}$	0	+0,71	+2,53	+5,70	+9,91	+14,97	+19,98
$m =$	8	9	10				
$Z_m^{max}$	+23,77	+20,63	0				

γ) Berechnung der grössten Druckspannungen durch Verkehrsbelastung nach Gleichung 51.

$$Z_m^{min} = -\frac{1}{z \cdot e} \left[ Qa(20+w-q) + Rr \cdot \frac{2aw}{40} \right].$$

Nach Einführung der zugehörigen Zahlenwerthe ergibt sich z. B. für das 5. Bogenstück

$$Z_5^{min} = -\frac{1}{2,219 \cdot 10,666} \left[ 5,4 \cdot 8(20+9,334-24) + 9,4 \cdot 10 \cdot \frac{2 \cdot 8 \cdot 9,334}{40} \right] = 92,95 \text{ kg.}$$

Werden diese Druckspannungen in ähnlicher Weise auch für die übrigen Felder berechnet, so erhält man für

$m =$	1	2	3	4	5
$Z_m^{min}$	-88,52	-87,65	-87,96	-89,75	-92,95
$m =$	6	7	8	9	10
$Z_m^{min}$	-96,81	-101,14	-104,27	-100,85	-80,00

c. Berechnung der grössten Gesamtspannungen durch Eigengewicht und Verkehrsbelastung nach Gleichung 55.

Hieraus ergibt sich, unter Benutzung der unter a und b erhaltenen Zahlenwerthe, z. B. für das 5. Bogenstück,  $Z_5^{max} = 9,91 - 49,75 = -39,84 \text{ t}$  und  $Z_5^{min} = -92,95 - 49,75 = -142,70 \text{ t}$ .

Werden in ähnlicher Weise auch die Spannungen der übrigen Bogenstücke berechnet, so ergibt sich für

$m =$	1	2	3	4	5
$Z_m^{max}$	-53,11	-51,41	-48,71	-44,75	-39,84
$Z_m^{min}$	-141,63	-139,77	-139,20	-140,20	-142,70
$m =$	6	7	8	9	10
$Z_m^{max}$	-34,21	-28,72	-24,59	-27,49	-48,00
$Z_m^{min}$	-145,99	-149,84	-152,63	-148,97	-128,00

2. Berechnung der Grenzspannungen in dem Streckbaum.

a. Berechnung der Lage der Belastungsscheiden. Nach Gleichung 119 ist

$$e = \frac{2}{20-m + \frac{1}{10}} \cdot \lambda.$$

Für $m=1$ ist $e=6,9\lambda$ , die Lastscheide fällt in das 7. Feld.
„ $m=2$ „ $e=7,2\lambda$ , „ „ „ 8. „
„ $m=3$ „ $e=7,5\lambda$ , „ „ „ 8. „
„ $m=4$ „ $e=7,7\lambda$ , „ „ „ 8. „
„ $m=5$ „ $e=8,0\lambda$ , „ „ „ den 8. Pfstn.
„ $m=6$ „ $e=8,4\lambda$ , die Lastscheide fällt in das 9. Feld.
„ $m=7$ „ $e=8,7\lambda$ , „ „ „ 9. „
„ $m=8$ „ $e=9,1\lambda$ , „ „ „ 10. „
„ $m=9$ „ $e=9,53\lambda$ , „ „ „ 10. „
„ $m=10$ „ $e=10,0\lambda$ , „ „ „ den 10. Pfstn.

b. Berechnung der Grenzspannungen  $X$  nach Gleichung 58.

$$X_m^{max/min} = \pm \frac{1}{x \cdot e} \left[ Qa(20+w-q) + Rr \cdot \frac{2wa}{40} \right]$$

Werden die zugehörigen Zahlenwerthe eingeführt, so ergibt sich z. B. für das 5. Obergurtstück

$$X_5^{max/min} = \pm \frac{1}{1,75 \cdot 16} \left[ 2,4 \cdot 10(20+4-21) + 9,4 \cdot 10 \cdot \frac{2,4 \cdot 10}{40} \right] = \pm 34,28 \text{ t.}$$

Berechnet man diese Spannungen auch für die übrigen Felder, so erhält man für

$m =$	1	2	3	4	5
$X_m^{max/min}$	$\pm 5,19$	$\pm 11,15$	$\pm 18,06$	$\pm 25,92$	$\pm 34,28$
$m =$	6	7	8	9	10
$X_m^{max/min}$	-43,57	$\pm 50,69$	$\pm 50,30$	$\pm 36,00$	0

3. Berechnung der Grenzspannungen in den Diagonalen.

a. Berechnung der Lage der Belastungsscheiden. Nach Gleichung 124 ist

$$e = \frac{2}{(21-2m)5,5 + \frac{1}{550-5m(m-1)} + 10} \cdot \lambda.$$

Für $m=1$ ist $e=6,90\lambda$ , die Lastscheide fällt in das 7. Feld.
„ $m=2$ „ $e=7,30\lambda$ , „ „ „ 8. „
„ $m=3$ „ $e=7,70\lambda$ , „ „ „ 8. „
„ $m=4$ „ $e=8,30\lambda$ , „ „ „ 9. „
„ $m=5$ „ $e=8,53\lambda$ , „ „ „ 9. „
„ $m=6$ „ $e=8,93\lambda$ , „ „ „ 9. „
„ $m=7$ „ $e=9,37\lambda$ , „ „ „ 10. „
„ $m=8$ „ $e=9,90\lambda$ , „ „ „ 10. „
„ $m=9$ „ $e=10,70\lambda$ , „ „ „ jenseits des 10. „
„ $m=10$ „ $e=12,90\lambda$ , „ „ „ „ 10. „



# Graphische Ermittlung der Spannungen im Bogenträger mit drei Gelenken.

Fig. 1 Ermittlung der ungünstigsten Belastungen.

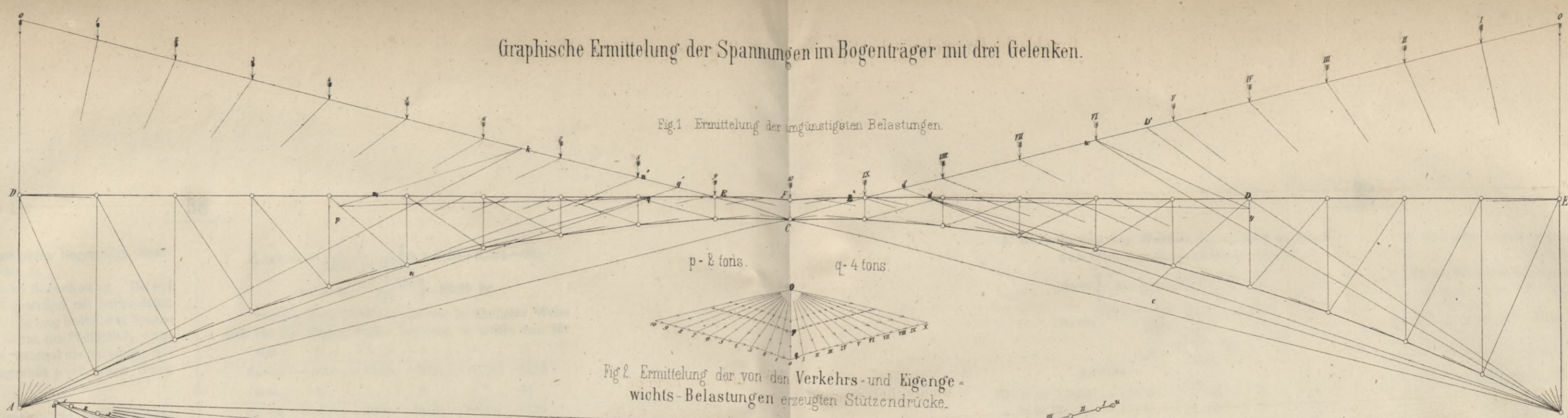


Fig. 2 Ermittlung der von den Verkehrs- und Eigengewichts-Belastungen erzeugten Stützdrücke.

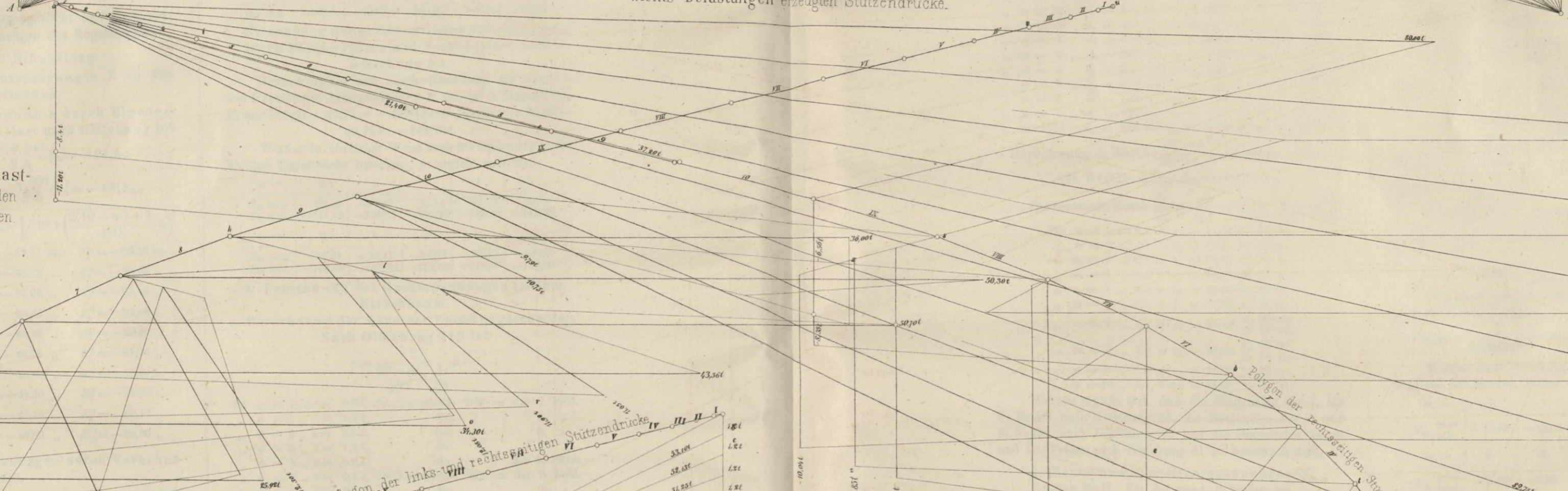
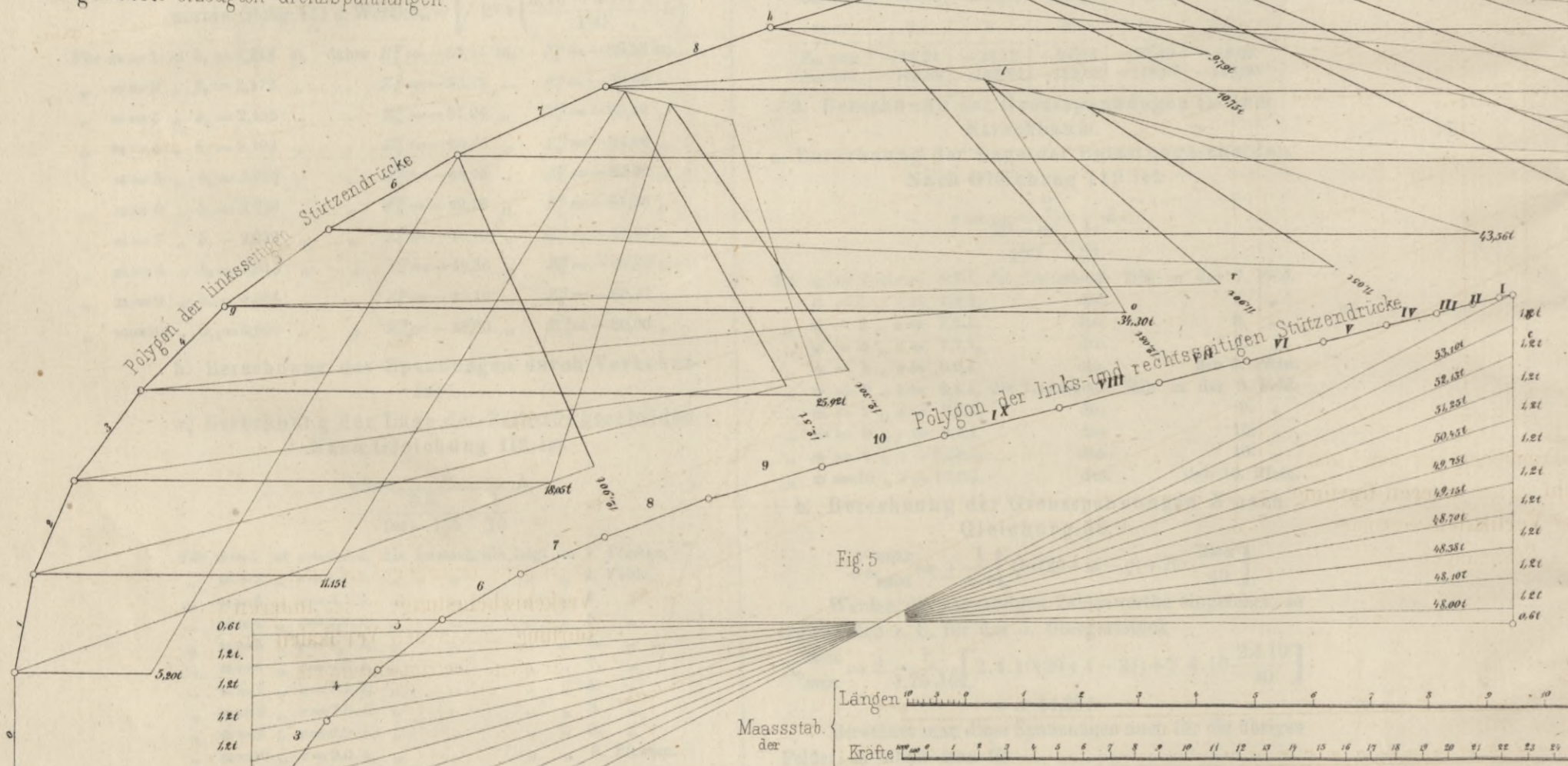


Fig. 3 Ermittlung der durch die Verkehrsbelastung in der oberen Gurtung und in den Diagonalen erzeugten Grenzspannungen.



Graphische Ermittlung der durch das Eigengewicht in der unteren Gurtung und in den Vertikalen erzeugten Spannungen.

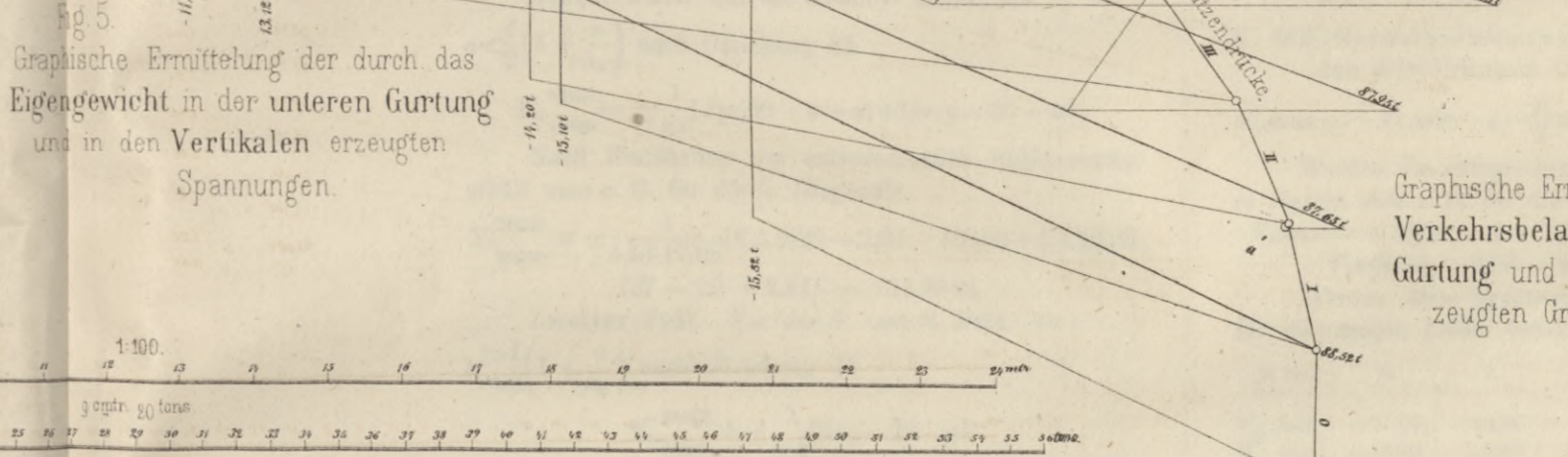


Fig. 4 Graphische Ermittlung der durch die Verkehrsbelastung in der unteren Gurtung und in den Vertikalen erzeugten Grenzspannungen.

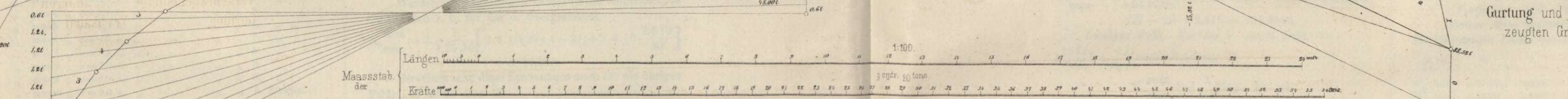
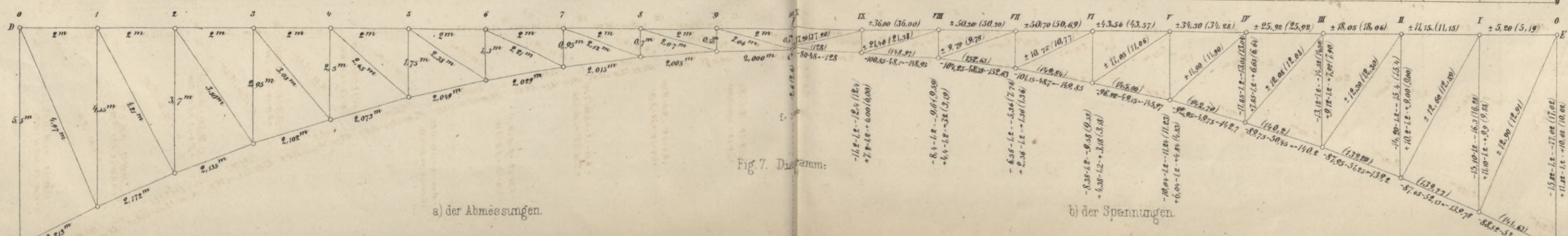


Fig. 6 Schemata der ungünstigsten Belastungen zur Ermittlung der Spannungen in:



Fig. 7 Diagramm:







b. Berechnung der Werthe  $d_m$ ,  $v_m$  und  $y_m$  nach den Gleichungen auf Seite 18.

$$d_m = \sqrt{2^2 + \left(5,5 - \frac{m(20-m)}{100} \cdot 5\right)^2};$$

$$v_m = \left(\frac{100 \cdot 5,5 - (m-1)(21-m)5}{5(21-2m)}\right) \lambda$$

$$y_m = v_m \cdot \frac{5,5 - \frac{m(20-m)}{100} \cdot 5}{d_m}$$

Für  $m = 1$  ist  $d_1 = 4,97$  m;  $v_1 = 11,58$  m;  $y_1 = 10,46$  m;  
 „  $m = 2$  „  $d_2 = 4,21$  m;  $v_2 = 10,71$  m;  $y_2 = 9,40$  m;  
 „  $m = 3$  „  $d_3 = 3,56$  m;  $v_3 = 9,87$  m;  $y_3 = 8,17$  m;  
 „  $m = 4$  „  $d_4 = 3,05$  m;  $v_4 = 9,08$  m;  $y_4 = 6,83$  m;  
 „  $m = 5$  „  $d_5 = 2,65$  m;  $v_5 = 8,36$  m;  $y_5 = 5,51$  m;  
 „  $m = 6$  „  $d_6 = 2,38$  m;  $v_6 = 7,78$  m;  $y_6 = 4,25$  m;  
 „  $m = 7$  „  $d_7 = 2,21$  m;  $v_7 = 7,43$  m;  $y_7 = 3,19$  m;  
 „  $m = 8$  „  $d_8 = 2,12$  m;  $v_8 = 7,60$  m;  $y_8 = 2,51$  m;  
 „  $m = 9$  „  $d_9 = 2,07$  m;  $v_9 = 9,32$  m;  $y_9 = 2,47$  m;  
 „  $m = 10$  „  $d_{10} = 2,06$  m;  $v_{10} = 22,00$  m;  $y_{10} = 5,32$  m;

c. Berechnung d. Werthe  $\frac{l}{2} \left(1 \pm \frac{c}{h_n}\right)$  und  $a = (m-1)\lambda + v_m$  zur Bestimmung der drei Fälle.

$$\text{Der constante Werth } \frac{l}{2} \left(1 \pm \frac{c}{h_n}\right) = 20 \left(1 \pm \frac{0,5}{5}\right) = \left\{ \begin{matrix} 22 \\ 18 \end{matrix} \right\}$$

Für  $m = 1$  ist  $0 \cdot \lambda + v_1 = 11,58 < 18$  m;  
 „  $m = 2$  „  $1 \cdot \lambda + v_2 = 12,71 < 18$  m;  
 „  $m = 3$  „  $2 \cdot \lambda + v_3 = 13,87 < 18$  m;  
 „  $m = 4$  „  $3 \cdot \lambda + v_4 = 15,08 < 18$  m;  
 „  $m = 5$  „  $4 \cdot \lambda + v_5 = 16,36 < 18$  m;  
 „  $m = 6$  „  $5 \cdot \lambda + v_6 = 17,78 < 18$  m;  
 „  $m = 7$  „  $6 \cdot \lambda + v_7 = 19,42 > 18$  m;  
 „  $m = 8$  „  $7 \cdot \lambda + v_8 = 21,60 > 18$  m;  
 „  $m = 9$  „  $8 \cdot \lambda + v_9 = 25,32 > 22$  m;  
 „  $m = 10$  „  $9 \cdot \lambda + v_{10} = 40,00 > 22$  m;

Hieraus ergibt sich, dass die Diagonalen des 1. bis 6. Feldes nach Gleichung 65, die Diagonalen des 7. und 8. Feldes nach Gleichung 71 und die Diagonalen des 9. und 10. Feldes nach Gleichung 81 zu berechnen sind.

d. Berechnung der Grenzspannungen  $Y$ .

Erster Fall. Für die ersten 6 Felder, wo

$$a < \frac{l}{2} \left(1 + \frac{c}{h_n}\right) \text{ nach Gleichung 65}$$

$$Y_{m \min}^{max} = \pm \frac{1}{y \cdot e} [Pp(20-w-a) + Qa(q-20-w)].$$

Nach Einführung der entsprechenden Zahlenwerthe erhält man z. B. für die 5. Diagonale

$$Y_5^{max} = \pm \frac{1}{5,51 \cdot 17,06} [4,4 \cdot 5(20 - 2,94 - 16,36) + 4,4 \cdot 16,36(27 - 20 - 2,94)] = \pm 11,90 \text{ tn.}$$

Zweiter Fall. Für das 7. und 8. Feld, wo

$$a > \frac{l}{2} \left(1 + \frac{c}{h_n}\right) \text{ nach Gleichung 71}$$

$$Y_{m \min}^{max} = \pm \frac{1}{y \cdot e} Qa(q-20-w).$$

Setzt man die entsprechenden Zahlenwerthe ein, so ergibt sich z. B. für die 7. Diagonale

$$Y_7^{max} = \pm \frac{3,4 \cdot 19,42}{3,19 \cdot 18,74} (24 - 20 - 1,26) = \pm 10,77 \text{ tn.}$$

Dritter Fall. Für das 9. und 10. Feld, wo

$$a > \frac{l}{2} \left(1 + \frac{c}{h_n}\right) \text{ nach Gleichung 81}$$

$$Y_{m \min}^{max} = \pm \frac{1}{y(20+w)} Pp(a-20-w).$$

Führt man die entsprechenden Zahlenwerthe ein, so ergibt sich z. B. für die 9. Diagonale

$$Y_9^{max} = \pm \frac{8,4 \cdot 9}{2,47 \cdot 21,40} (25,32 - 20 - 1,40) = \pm 21,38 \text{ tn.}$$

Werden die Spannungen in ähnlicher Weise auch für die übrigen Felder berechnet, so erhält man für

$m =$	1	2	3	4	5
$Y_{m \min}^{max}$	$\pm 12,91$	$\pm 12,59$	$\pm 12,30$	$\pm 12,08$	$\pm 11,90$
$m =$	6	7	8	9	10
$Y_{m \min}^{max}$	$\pm 11,06$	$\pm 10,77$	$\pm 9,78$	$\pm 21,38$	$\pm 37,20$

4. Berechnung der Grenzspannungen in den Vertikalen.

a. Ohne Berücksichtigung des Eigengewichts.

Erster Fall. Für die 1. bis 6. Vertikale, wo

$$a < \frac{l}{2} \left(1 + \frac{c}{h_n}\right), \text{ ist nach Gleichung 87}$$

$$V_{m \min} = -\frac{1}{v \cdot e} [Pp(20-w-a) + Qa(q-20-w)].$$

Werden die Zahlenwerthe eingeführt, so erhält man z. B. für die 5. Vertikale

$$V_5^{min} = -\frac{1}{7,78 \cdot 17,86} [4,4 \cdot 5(20 - 2,14 - 17,78) + 4,4 \cdot 17,78(27 - 20 - 2,14)] = -10,03 \text{ tn.}$$

Zweiter Fall. Für die 6. und 7. Vertikale, wo

$$a > \frac{l}{2} \left(1 + \frac{c}{h_n}\right), \text{ ist nach Gleichung 93}$$

$$V_{m \min} = -\frac{1}{v \cdot e} Qa(q-20-w).$$

Nach Einführung der Zahlenwerthe erhält man z. B. für die 6. Vertikale

$$V_6^{min} = -\frac{1}{7,42 \cdot 18,74} 4,4 \cdot 19,42(25 - 20 - 1,26) = -8,38 \text{ tn.}$$

Dritter Fall. Für die 8. und 9. Vertikale, wo

$$a < \frac{l}{2} \left(1 - \frac{c}{h_n}\right), \text{ ist nach Gleichung 103}$$

$$V_{m \max} = \frac{2}{v(20+w)} Pp(a-20-w).$$

Werden die Zahlenwerthe eingeführt, so erhält man z. B. für die 8. Vertikale

$$V_8^{max} = \frac{1}{9,32 \cdot 21,40} 7,4 \cdot 8(25,32 - 20 - 1,4) = +4,49 \text{ tn.}$$

Werden diese Vertikalspannungen in ähnlicher Weise auch für die übrigen Felder berechnet, so ergibt sich für

$m =$	0	1	2	3	4
$V_{m \min}^{max}$	-15,82	-15,08	-14,20	-13,10	-11,84
$m =$	5	6	7	8	9
$V_{m \min}^{max}$	-10,03	-8,38	-6,56	+4,39	+7,2

b. Mit Berücksichtigung des Eigengewichts nach den Gleichungen 135, 137, 139 und 140.

$$V_{m \max} = -V_{m \min} - q - \frac{p}{2} \text{ und } V_{m \min} = -V_{m \max} - q - \frac{p}{2}$$

Werden die entsprechenden Zahlenwerthe eingeführt, so ergibt sich z. B. für die 5. Vertikale

$$V_5^{max} = +10,04 - 4 - 1,2 = 6,03 - 1,2 = 4,83 \text{ tn und}$$

$$V_5^{min} = -6,03 - 4 - 1,2 = -11,23 \text{ tn.}$$

Werden diese Spannungen in ähnlicher Weise auch für die übrigen Felder berechnet, so erhält man für

$m =$	0	1	2	3	4	5
$V_{m \min}^{max}$	-17,02	-16,28	-15,40	-14,30	-13,04	-11,23
$V_{m \max}^{min}$	-10,62	+9,88	+9,00	+7,90	+6,64	+4,83
$m =$	6	7	8	9	10	
$V_{m \min}^{max}$	-9,58	-7,76	-9,59	-12,40	-2,6	
$V_{m \max}^{min}$	+3,18	+1,36	+3,19	+6,00		

$\beta$ ) Graphische Behandlung.

Da die ungünstigsten Belastungen für die einzelnen Stücke der beiden Gurten durch die ihnen entsprechenden Belastungsscheiden, die ungünstigsten Belastungen der Stäbe durch die ihnen entsprechenden Belastungsscheiden, Belastungsscheiden und Schnitte oder Schnitte allein begrenzt werden, so sind, da die Schnitte vom ersten bis zum letzten Felde regelmässig fortschreiten, nur die Belastungsscheiden graphisch zu bestimmen.

Wählt man beispielsweise das fünfte Trägerfeld, so erhält man die Belastungsscheide für das fünfte untere Gurtungsstück, indem man den Durchschnittspunkt  $D$  (Fig. 1, rechts) der beiden mitdurchschnittenen Stäbe unten mit dem Stützpunkte  $B$  verbindet und oben bis zur Verlängerung von  $AC$  verlängert. Da der Schnittpunkt  $D$ , durch welchen die lothrechte Belastungsscheide geht, zwi-

schen die Knoten V und VI fällt, so stellt die in Fig. 6 angegebene, von I bis VI reichende Verstärkung der 5. Horizontallinie die in dem 5. Gurtstück den grössten Druck erzeugende Belastung dar.

Die Belastungsscheide für das fünfte obere Gurtstück findet sich, indem man den Durchschnittspunkt  $n$  (Fig. 1, links) der beiden mitdurchschnittenen Stäbe mit dem Stützpunkt  $A$  verbindet und andererseits bis zur Verlängerung von  $BC$  verlängert. Da deren Schnittpunkt  $n'$  in die durch den 8. Knoten gehende Vertikale, als Belastungsscheide fällt, so stellt die in Fig. 6 angegebene, von 1 bis 8 reichende Verstärkung der 5. Horizontallinie die in dem 5. oberen Gurtstück den grössten Druck — also auch den grössten Zug — erzeugende Belastung dar.

Für die fünfte Diagonale findet man die Belastungsscheide, indem man den Durchschnittspunkt  $q$  (Fig. 1, links) der beiden mitdurchschnittenen Gurtstücke unten mit dem Stützpunkt  $A$  verbindet und oben bis zur Verlängerung von  $BC$  verlängert. Da die durch deren Schnittpunkt  $q'$  gehende Belastungsscheide zwischen den 8. und 9. Knoten fällt, so stellt die in Fig. 6 enthaltene, von 1 bis 8 reichende Verstärkung der 5. Horizontallinie die in der 5. Diagonale den grössten Zug — also auch den grössten Druck — erzeugende Belastung dar.

Die Belastungsscheide für die fünfte Vertikale findet man, indem man den Durchschnittspunkt  $d$  (Fig. 1, rechts) der beiden mitdurchschnittenen Gurtstücke unten mit dem Stützpunkt  $B$  verbindet und oben bis zur Verlängerung von  $BC$  verlängert. Da die durch deren Schnittpunkt  $d'$  gehende Belastungsscheide zwischen den Knoten VIII und IX fällt, so stellt die in Fig. 6 angegebene, von I bis VIII reichende Verstärkung der 5. Horizontallinie die in der 5. Vertikale den grössten Druck erzeugende Belastung dar.

In ähnlicher Weise sind die Belastungsscheiden für die Constructionstheile aller übrigen Felder ermittelt, in die Fig. 6 eingetragen und mit  $B$  bezeichnet worden. Die durch die Schnitte bedingten Belastungsgrenzen sind mit  $S$  bezeichnet. Sämmtliche der graphischen Berechnung zu Grunde gelegten ungünstigsten Belastungen sind in Fig. 6 durch die verstärkten Linien angedeutet und zwar entsprechen die in diese Figur eingetragenen, dicken und dünnen Linien der grössten bzw. Druck- und Zug-Belastung mit Ausnahme der den Diagonalen 1 bis 8 entsprechenden Horizontallinie, bei welcher die dicken und dünnen Linien die grössten bzw. Zug- und Druckbelastungen darstellen.

Um die von den einzelnen Eigengewichtsbelastungen  $p = 2,4$  tons und Verkehrsbelastungen  $q = 4$  tons für jeden Knotenpunkt herrührenden Stützendrucke in  $A$  und  $B$  der Grösse und Richtung nach zu erhalten, trägt man die ersteren — wie dies in Fig. 2 nach dem Massstabe von  $9\text{ cm} = 20\text{ tn}$  geschehen ist — von  $O$  nach  $o$  lothrecht auf und construirt in Fig. 1 die Richtungen der letzteren, z. B. für die Belastung 5 die Richtungen  $5A$  und  $5CB$ , für die Belastung  $V$  die Richtungen  $VB$  und  $VCA$ . Werden nun in Fig. 2 die zugehörigen Parallelen gezogen, so ergeben sich jene Stützendrucke der Grösse nach. Zieht man z. B. für die Verkehrsbelastung  $q = 4\text{ tn}$  die Parallelen  $O5$ ,  $o5$  links und  $OV$ ,  $oV$  rechts, so ist der von jener im Knotenpunkt wirkenden Verkehrsbelastung erzeugte Stützendruck im linken Stützpunkt  $A$  durch  $O5$ , im rechten Stützpunkt  $B$  durch  $o5$  der Richtung und Grösse nach dargestellt. Ebenso stellen die Linien  $OV$  und  $oV$  bzw. die von der im Knotenpunkt  $V$  wirkenden Verkehrsbelastung herrührenden Stützendrucke im bzw. rechten Stützpunkt  $B$  und linken Stützpunkt  $A$  dar. Reiht man die bei Belastung aller Knotenpunkte des Trägers durch Eigengewicht oder durch Verkehrsbelastung entstehenden aufeinanderfolgenden Stützendrucke aneinander, so entsteht das in Fig. 5 dargestellte Polygon der durch sämmtliche Eigengewichtsbelastungen im linken Stützpunkt erzeugten Stützendrucke, sowie die in Fig. 3 und 4 dargestellten Polygone der durch sämmtliche Verkehrslasten bzw. im linken Stützpunkt  $A$  und im rechten Stützpunkt  $B$  erzeugten Stützendrucke. Aus diesen Stützendruckpolygonen

lassen sich die Resultate beliebiger aufeinanderfolgender Stützendrucke durch Einschaltung von geraden Linien als Sehnen finden, welche mit denselben ein geschlossenes Kräftepolygon bilden. Fügt man dem in Fig. 5 enthaltenen Polygon noch den lothrechten Stützendruck der Eigengewichtsbelastung von  $2,4\text{ tn}$  des Vertikalständers  $o$  hinzu und zieht das in dessen unterem Ende angreifende halbe Eigengewicht  $\frac{p}{2} = 1,2\text{ tn}$  von demselben ab, so bildet  $ab$

die Resultante der Stützendrucke sämmtlicher Eigengewichtsbelastungen einer Tragrippe im linken Stützpunkte  $A$ , Fig. 1. Wird  $ab$  mit der erwähnten, in  $o$  wirkenden halben Eigengewichtsbelastung von  $1,2\text{ tn}$  zusammengesetzt und beide Linien durch eine Parallele  $ac$  zum 1. unteren Gurtstück und eine solche  $bc$  zur 1. Vertikale geschlossen, so stellen  $ac$  und  $bc$  die durch Eigengewicht erzeugten Spannungen von bzw.  $53,10$  und  $1,2\text{ tn}$  in der ersteren und letzteren dar. Auf ähnliche Weise ergeben sich die in Fig. 5 enthaltenen Spannungen von  $52,13$ ,  $51,25 \dots 48\text{ tn}$  in den übrigen 9 Polygonstücken nur von je  $1,2\text{ tn}$  in den folgenden 9 Verticalen, während die Spannung der 10., über dem Scheitel befindlichen Vertikale, welche nur den 4. Theil einer Eigengewichtsbelastung aufzunehmen hat,  $0,6\text{ tn}$  beträgt.

Die graphische Berechnung der Grenzspannungen durch Verkehrslast in den einzelnen Theilen der Tragrippe ergibt sich z. B. für deren fünftes Feld wie folgt. Das 5. Untergurtstück erfährt nach Fig. 6<sup>a</sup>, 5 die grösste Druckspannung, wenn die Knotenpunkte 0, 1, 2... VI einschliesslich belastet sind. Dieselben bringen in  $B$  (Fig. 1) einen Stützegegendruck hervor, welcher nach Richtung und Grösse der zu den Polygonstücken 0, 1, 2... VI ausschliesslich gehörigen Resultante  $ab$ , s. Fig. 4, entspricht und die Verlängerung der Diagonale des 5. Feldes in  $c$  schneidet. Verbindet man nun  $c$  mit dem Durchschnittspunkte  $d$ , Fig. 1, des durchschnittenen Ober- und Untergurtstücks, so lässt sich die Kraft  $ab$ , Fig. 4, in eine Parallele  $be$ , Fig. 4, zur Diagonale, Fig. 1, und eine Parallele  $ae$ , Fig. 4, zu  $cd$ , Fig. 1, zerlegen. Da  $cd$  im Durchschnittspunkte von Unter- und Obergurt angreift, so lässt sich dieselbe in zwei zu denselben parallele Componenten  $af$  und  $ef$ , Fig. 4, zerlegen, wovon die erstere die gesuchte Untergurtspannung von  $92,95\text{ tn}$  darstellt.

Das 5. Obergurtstück erfährt nach Fig. 6<sup>b</sup>, 5 die grösste Druckspannung, wenn die Knotenpunkte 0, 1... 8 einschliesslich belastet sind, wovon 4 rechts und 4 links von dem Schnitte durch das 5. Feld sich befinden. Die ersteren rufen in dem linken Stützpunkt  $A$ , Fig. 1, einen Stützegegendruck hervor, welcher durch die zu den 4 Polygonstücken 6 bis 8 gehörige Resultante  $gh$ , Fig. 3, nach Grösse und Richtung dargestellt wird, und die Verlängerung von  $BC$  in  $k$ , Fig. 1, schneidet, während die letzteren in dem rechten Stützpunkt  $B$ , Fig. 1, einen Stützegegendruck erzeugen, welcher durch die Summe  $ai$ , Fig. 4, der 4 Polygonstücke 1 bis 4 nach Grösse und Richtung gegeben ist. Wird  $gh$  mit  $ai = hl$  in Fig. 3, zusammengesetzt, zu  $gl$  eine Parallele durch  $k$ , Fig. 1, gezogen, bis sie den Obergurt in  $m$  schneidet, und  $m$  mit dem Durchschnittspunkt  $n$  der beiden mitdurchschnittenen Trägertheile verbunden, so lässt sich  $gl$  in eine Horizontale  $go$  und in eine zu  $mn$  Parallele  $ol$  zerlegen, wovon erstere die gesuchte Untergurtspannung von  $34,3\text{ tn}$  darstellt.

Da die 5. Diagonale bei dem in Fig. 6<sup>c</sup>, 5 dargestellten, dem bei dem 5. Obergurtstück erwähnten und gleichen Belastungszustande den grössten Zug erfährt, so lässt sich die ebendasselbst abgeleitete Resultante  $gl$ , Fig. 3 — nachdem zuvor die Linie  $km$ , Fig. 1, bis zum Schnitt  $p$  mit der Diagonalen verlängert und  $p$  mit dem Durchschnittspunkte  $q$  der beiden mitdurchschnittenen Querstücke des 5. Feldes verbunden worden ist — in eine zur Diagonalen Parallele  $lr$ , Fig. 3, und in eine zu  $pq$  Parallele  $gr$  zerlegen, wovon die erstere die gesuchte Diagonalspannung von  $11,9\text{ tn}$  darstellt.

Die 5. Vertikale erfährt nach Fig. 6<sup>d</sup>, 5 die grösste Druckspannung, wenn die Knotenpunkte I, II... VIII

einschliesslich belastet sind, wovon 5 links und 3 rechts von dem schrägen, durch die 5. Vertikale gelegten Schnitt sich befinden. Die ersteren bringen in dem rechten Stützpunkte  $B$ , Fig. 1, einen Stützendruck hervor, welcher durch die zu den 5 Polygonstücken IV... VIII gehörige Resultante  $ts$ , Fig. 4, nach Grösse und Richtung dargestellt wird, und die Verlängerung von  $AC$  in  $w$ , Fig. 1, schneidet, während die letzteren in dem linken Stützpunkt  $A$ , Fig. 1, einen Stützegegendruck  $B$  erzeugen, welcher durch die aus den 3 Polygonstücken I, II, III bestehende Summe  $uw$ , Fig. 3, gebildet wird. Wird  $ts$  mit  $uw = sx$ , Fig. 4, zusammengesetzt, zu der Resultante  $tx$  durch  $w$ , Fig. 1, eine Parallele  $wy$  gezogen, welche die 5. Vertikale in  $y$  schneidet und  $y$  mit dem Durchschnittspunkte  $d$  der beiden mitdurchschnittenen Gurtungsstücke verbunden, so lässt sich die Resultante  $xt$  in eine Vertikale  $xz$  und in eine Parallele  $zt$  zu  $dy$  zerlegen, wovon erstere die gesuchte Vertikalspannung von 11,85 tn darstellt.

In ähnlicher Weise sind in den Figuren 3 und 4 die massgebenden Grenzspannungen der Constructionstheile durch die Verkehrslast auch aller übrigen Felder gefunden und mit den Spannungen durch das Eigengewicht in dem Diagramm, Fig. 7<sup>b</sup>, zusammengestellt worden. Um die durch die analytische Behandlung gewonnenen, mit den graphisch ermittelten Spannungszahlen bequem vergleichen zu können, sind die ersteren den letzteren in Klammer beigefügt.

## II. Berechnung der durch Winddruck erzeugten Spannungen des Bogenträgers.

Nimmt man den Winddruck auf den qm zu 0,15 tn an, so beträgt derselbe auf einen Knotenpunkt der obersten Gurtung mit der Stirnfläche von durchschnittlich 1,42 qm (mit Einschluss der anstossenden Stabhälften)  $p = 1,42 \cdot 0,15 = 0,213$  tn, auf einen Knotenpunkt der unteren Gurtung mit der Stirnfläche von durchschnittlich 1,92 qm (mit Einschluss der anstossenden Stabhälften)  $p^1 = 1,92 \cdot 0,15 = 0,288$  tn. Die Windbelastungen  $p$  und  $p^1$  wirken auf alle Knotenpunkte der oberen und unteren Gurtung gleichzeitig. Bei jedem Knotenpunkte der oberen Gurtung kommt zu dem Drucke  $p$  noch diejenige Belastung  $q$  hinzu, welche durch den Winddruck auf die über ihm stehenden Fahrbetriebsmittel entsteht, und bei einer Feldweite  $\lambda = 2$  m und Waggonhöhe von 2,8 m höchstens  $q = 2,2 \cdot 8,0 \cdot 15 = 0,84$  tn beträgt. Bei dem Obergurte wirkt daher, ausser dem auf alle Knotenpunkte wirkenden Winddrucke  $p$ , noch der Winddruck  $q$  auf alle diejenigen Knotenpunkte, welche der unter I. 2 ermittelten, ungünstigsten Laststellung entsprechen und entweder vom linken Ende bis zur zugehörigen Belastungsscheide oder von dieser bis zum rechten Ende des Trägers reichen. Hiernach ist der obere Horizontalverband zu berechnen, worauf die sonach für den oberen Gurt gefundenen Windspannungen zu den unter I. 2 gefundenen Spannungen desselben zu addiren sind. Ebenso werden die in dem Untergurte durch die Belastung  $p$  aller Knotenpunkte entwickelten Windspannungen zu den früher gefundenen addirt.

### 1. Berechnung der Spannungen des oberen Horizontalverbandes.

#### a. Spannungen in den oberen Gurten.

Werden die vier Obergurten der je 1,75 m entfernten Tragrippen durch  $\nu = 3$  gleiche horizontale Fachwerkssysteme mit nur gezogenen Diagonalen verbunden und angenommen, dass jedes derselben  $\frac{1}{3}$  des gesammten gleichförmig vertheilten Winddruckes aufnimmt, so erhält man für die dem Winde zugekehrte Seite in dem beliebigen mten Felde die Spannung des Vordergurtes

$$Z_m = -\frac{p\lambda}{2 \cdot \nu \cdot h} m(2n-m) = -\frac{0,213 \cdot 2}{2 \cdot 3 \cdot 1,75} \cdot m(20-m) \\ = -40,57 m(20-m),$$

für die dem Wind abgewandte Seite im beliebigen mten Felde die Spannung des Hintergurtes

$$X_m = \frac{p\lambda}{2 \cdot \nu \cdot h} (m-1)(2n+1-m) = \frac{0,213 \cdot 2}{2 \cdot 3 \cdot 1,75} \cdot (m-1)(21-m) \\ = 40,57 (m-1)(21-m).$$

Wird hierin successive  $m = 1, 2 \dots 10$  gesetzt, so ergibt sich in tn für

$m =$	1	2	3	4	5	6	7
$Z_m^p$	-0,771	-1,460	-2,069	-2,596	-3,043	-3,408	-3,692
$X_m^p$	0	+0,771	+1,460	+2,069	+2,596	+3,043	+3,408

$m =$	8	9	10
$Z_m^p$	-3,895	-4,016	-4,057
$X_m^p$	+3,692	+3,895	+4,016

wovon die Druckspannungen, als die grösseren, massgebend sind.

b. Berechnung der in den oberen Gurten durch den Winddruck auf die bewegte Last erzeugten Spannungen.

Wird die Resultante der rechts von der Belastungsscheide  $\gamma d$  auf Druck wirkenden Belastungen mit  $R$ , deren Abstand von der rechten Stütze mit  $r$  bezeichnet, so ist der Auflagerdruck links  $A = \frac{Rr}{l}$ , mithin — für den Abstand  $a$  desselben vom zweckmässigsten Drehpunkte  $D$  und die Breite  $b$  des Horizontalverbandes — die Spannung

$$Z_m^q = -\frac{Rr}{l} \cdot \frac{a}{b}$$

Für das 5. Feld sind nach Texttafel A, Fig. 6b rechts von der Lastscheide 11 Knotenpunkte mit  $q = \frac{0,84}{3} = 0,28$  tn zu belasten, mithin ist  $R = 11 \cdot 0,28$  tn und der Abstand  $r = 6\lambda = 12$  m. Der Abstand  $a$  des in die 5. Transversale fallenden Drehpunktes beträgt  $5\lambda = 10$  m, mithin ist für die Breite  $b = 1,75$  eines Horizontalverbandes

$$Z_5^q = -\frac{11 \cdot 0,28 \cdot 12}{40} \cdot \frac{10}{1,75} = -5,28 \text{ tn.}$$

In ähnlicher Weise ergibt sich, wenn der constante Factor  $\frac{0,28}{40 \cdot 1,75} = 0,004$  ausgeschieden wird, für das

1. Feld  $Z_1^q = -0,004 \cdot 13 \cdot 14$ . 2 = -1,456 tn,
2. „  $Z_2^q = -0,004 \cdot 12 \cdot 13$ . 4 = -2,496 „
3. „  $Z_3^q = -0,004 \cdot 12 \cdot 13$ . 6 = -3,744 „
4. „  $Z_4^q = -0,004 \cdot 12 \cdot 13$ . 8 = -4,992 „
5. „  $Z_5^q = -0,004 \cdot 11 \cdot 12 \cdot 10 = -5,280$  „
6. „  $Z_6^q = -0,004 \cdot 11 \cdot 12 \cdot 12 = -6,336$  „
7. „  $Z_7^q = -0,004 \cdot 11 \cdot 12 \cdot 14 = -7,392$  „
8. „  $Z_8^q = -0,004 \cdot 10 \cdot 11 \cdot 16 = -7,040$  „
9. „  $Z_9^q = -0,004 \cdot 10 \cdot 11 \cdot 18 = -7,920$  „

Wird die Spannung  $Z_5^q = -5,28$  tn mit der unter a ermittelten Spannung  $Z_5^p = -3,043$  tn zusammengestellt, so ergibt sich die durch Winddruck erzeugte Gesamtspannung  $Z_5 = -(5,28 + 3,043) = -8,32$  tn. Kommt hierzu die unter I. 2. b gefundene grösste Druckspannung von -34,28 tn, so ist die in dem 5. oberen Querstück eintretende grösste Druckspannung  $Z_5^{\text{min}} = -(8,32 + 34,28) = -42,60$  tn. Aehnlich ergibt sich für alle Felder des oberen Gurtes folgende Zusammenstellung der Druckspannungen in tn

$m$	1	2	3	4	5
$Z_m$	-2,23	-3,96	-5,81	-7,59	-8,32
$Z_m^{\text{min}}$	-7,42	-15,11	-23,87	-33,51	-42,60

$m$	6	7	8	9	10
$Z_m$	-9,74	-11,08	-10,93	-11,94	-20,66
$Z_m^{\text{min}}$	-53,31	-61,77	-61,23	-47,94	-20,66

Wird die Resultante der links von der Belastungsscheide  $\gamma d$  auf Zug wirkenden Belastungen mit  $S$ , deren Abstand von der rechten Stütze mit  $s$  bezeichnet, so ist der Auflagerdruck  $A = \frac{Ss}{l}$ , mithin, für den Abstand  $a$  des letzteren vom zweckmässigsten Drehpunkt  $D$ , die Spannung

$$Z_m^s = \frac{1}{b} \left( \frac{Ss}{l} \cdot a - S' s' \right),$$

worin  $S'$  die Resultante der links von dem Schnitte  $\alpha\beta$

wirkenden Lasten und  $s_1$  deren Abstand vom Drehpunkte bezeichnet. Für das 5. Feld sind z. B., nach Texttafel A, Fig. 6b links von der Lastscheide 8 Knotenpunkte mit  $q=0,28$  tn zu belasten, mithin ist  $S=8.0,28$  tn und der Abstand  $s=15,5$ ,  $\lambda=31$  m. Der Abstand  $a$  des mit der 4. Transversale zusammenfallenden Drehpunktes  $D$  beträgt  $4\lambda=8$  m, ferner  $S'=3.0,28$  tn und  $s'=2$ ,  $\lambda=4$  m, mithin

$$Z_5^q = \frac{0,28}{1,75} \left( \frac{8.31.8}{40} - 3.4 \right) = 6,016 \text{ tn.}$$

In ähnlicher Weise ergibt sich, wenn der Quotient  $\frac{0,28}{1,75} = 0,16$  eingeführt wird,

$$Z_1^q = 0,16 \cdot \frac{6.7}{40} \cdot 0 = 0 \quad \text{tn,} \quad Z_5^q = 0,16 \left( \frac{8.31.10}{40} - 4.5 \right) = 6,720 \text{ tn,}$$

$$Z_2^q = 0,16 \cdot \frac{7.32}{40} \cdot 2 = 1,792 \quad \text{,,} \quad Z_6^q = 0,16 \left( \frac{8.31.12}{40} - 5.6 \right) = 7,104 \quad \text{,,}$$

$$Z_3^q = 0,16 \left( \frac{7.32.4}{40} - 2 \right) = 3,264 \quad \text{,,} \quad Z_7^q = 0,16 \left( \frac{9.30.14}{40} - 6.7 \right) = 8,400 \quad \text{,,}$$

$$Z_4^q = 0,16 \left( \frac{7.32.6}{40} - 2.3 \right) = 4,416 \quad \text{,,} \quad Z_8^q = 0,16 \left( \frac{9.30.16}{40} - 7.8 \right) = 8,320 \quad \text{,,}$$

Wird die Spannung  $Z_5^q = 6,016$  tn mit der unter  $a$  ermittelten Spannung  $Z_5^p$  verbunden, so ergibt sich die durch Winddruck erzeugte Gesamtspannung  $Z_5 = 6,016 + 2,596 = 8,61$  tn. Hierzu die grösste, unter I.2.b gefundene Zugspannung von 34,28 tn, so wird die in dem 5. oberen Gurtstück eintretende grösste Gesamtzugspannung  $Z_{5,max} = 8,61 + 34,38 = 42,99$  tn. Hiernach ergibt sich für alle Felder des oberen Gurtes folgende Zusammenstellung der Zugspannungen in tn

$m$	1	2	3	4	5
$Z_m$	0	2,56	4,72	6,49	8,61
$Z_m \text{ min}$	5,19	13,71	22,78	32,41	42,89
$m$	6	7	8	9	10
$Z_m$	9,76	10,51	12,09	12,21	20,45
$Z_m \text{ min}$	53,33	61,20	62,39	48,21	20,45

### c. Spannungen in den Diagonalen.

Die Diagonalen werden bei allmähig fortschreitender Verkehrsbelastung am meisten beansprucht und erfahren, wenn die ständige Belastung jedes Knotenpunktes  $p=0,213$  tn, die veränderliche Belastung jedes Knotenpunktes  $q=0,84$  tn und die Länge der Diagonalen  $d=\sqrt{1,75^2+2^2}=2,657$  m beträgt, für die Breite  $b=1,75$  m eines der 3 Horizontalverbände bei einer Felderzahl  $n=20$  die grösste Zugspannung  $Y_{m,max} = \frac{d}{2.3.h} \left[ p(n+1-2m) + \frac{q}{n}(n-m)(n+1-m) \right] = 0,253 [0,213(21-2m) + 42(20-m)(21-m)]$ . Setzt man hierin successive  $m=1,2..10$ , so ergeben sich folgende Spannungen in tn

$m$	1	2	3	4	5
$Y_m \text{ max}$	5,062	4,550	4,060	3,601	3,140
$m$	6	7	8	9	10
$Y_m \text{ max}$	2,716	2,311	1,927	1,564	1,223

Die Spannung der 10. Diagonale, welche eine Neigung nach der Axe des Scheitelcharniers und hierdurch die Länge 2,7 m erhält, ergibt sich aus der Spannung 1,223 einer horizontalen Diagonale mit dem Verhältniss  $\frac{2,7}{2,657}$  der Längen beider oder zu  $1,223 \cdot \frac{2,7}{2,657} = 1,243$  tn.

### d. Die Spannungen der Transversalen.

Auch die Transversalen erfahren bei allmähig fortschreitender Verkehrsbelastung ihre ungünstigste Anspruchnahme und zwar beträgt dieselbe, wenn obige Bezeichnungen beibehalten und deren Zahlenwerthe eingeführt werden,

$$V_{m,min} = -\frac{1}{2.3} \left[ p(n+1-2m) + \frac{q}{n}(n-m)(n+1-m) \right] = -\frac{1}{6} [0,213(21-2m) + 42(20-m)(21-m)].$$

Setzt man hierin successive  $m=1,2..10$ , so ergeben sich folgende Spannungen in tn

$m$	1	2	3	4	5
$V_m \text{ min}$	-3,335	-2,998	-2,675	-2,366	-2,071
$m$	6	7	8	9	10
$V_m \text{ min}$	-1,790	-1,523	-1,270	-1,031	-0,806

## 2. Berechnung der Spannungen des unteren Horizontalverbandes.

### a. Spannungen in den polygonalen Gurten.

Werden die vier Untergurte der je 1,75 m entfernten Tragrippen durch  $\nu=3$  gleiche Fachwerksysteme mit nur gezogenen Diagonalen verbunden und angenommen, dass jedes derselben  $\frac{1}{3}$  des gesammten gleichförmig vertheilten Winddrucks aufnimmt, so erhält man für die andere, dem Winde zugekehrte Seite die Spannung des beliebigen  $m$ ten, unter dem Winkel  $\alpha$  zum Horizonte geneigten Vordergurtstücks

$$Z_m = -\frac{p^1 \lambda}{2.v.h} m(n-m) \frac{1}{\cos \alpha} = -\frac{0,288.2}{2.3.1,75} m(20-m) \frac{1}{\cos \alpha}$$

und die Spannung des  $m$ ten, unter demselben Winkel geneigten Hintergurtstücks

$$X_m = \frac{p^1 \lambda}{2.v.h} (m-1)(n+1-m) \frac{1}{\cos \alpha} = \frac{0,288.2}{2.3.1,75} \frac{(m-1)(21-m)}{\cos \alpha}$$

Setzt man in diesen Gleichungen successive  $m=1,2..10$  und berechnet die zugehörigen Werthe von  $\frac{1}{\cos \alpha}$ , so ergibt sich nachstehende Zusammenstellung der Spannungen  $Z_m$  und  $X_m$  in tn

$m$	1	2	3	4	5
$Z_m$	2,213	2,172	2,135	2,102	2,073
$X_m$	-1,153	-2,145	-2,987	-3,690	-4,265
$m$	6	7	8	9	10
$Z_m$	2,049	2,029	2,015	2,005	2,000
$X_m$	4,215	4,675	5,030	5,280	5,431

### b. Spannungen in den Diagonalen.

Wird die Länge der Horizontalprojektion der Diagonalen mit  $d$  und deren wirkliche Länge mit  $d^1$ , der Winkel, welchen sie mit dem Horizont einschliessen, mit  $\beta$  bezeichnet, so ist wegen  $\cos \beta = \frac{d}{d^1}$  im  $m$ ten Felde deren, durch den gleichförmig vertheilten Winddruck erzeugte, Spannung  $Y_m = \frac{d}{2.v.h} \cdot p^1(n+1-2m) \frac{1}{\cos \beta} = \frac{d^1}{2.3.1,75} \cdot 0,288(21-2m)$

Wird hierin successive  $m=1, 2, 3..10$  gesetzt und die zugehörigen Werthe von  $d^1 = \sqrt{d^2 + Ay^2}$ , worin  $Ay$  die Differenz der Ordinaten je zweier aufeinanderfolgender Knotenpunkte des Untergurtes bezeichnet, berechnet, so ergibt sich nachstehende Zusammenstellung der Werthe  $d^1$  in m und der Spannungen  $Y_m$  in tn

$m$	1	2	3	4	5
$d^1$	2,82	2,79	2,76	2,73	2,71
$Y_m$	1,470	1,301	1,136	0,973	0,818
$m$	6	7	8	9	10
$d^1$	2,69	2,68	2,66	2,66	2,65
$Y_m$	0,664	0,515	0,365	0,219	0,073

### c. Spannungen in den Transversalen.

Die Transversalen erfahren bei voller Belastung durch Winddruck die Anspruchnahme

$$V_m = -\frac{p^1}{2.v} (n+1-2m) = -\frac{0,288}{2.3} (21-2m),$$

mithin ergibt sich für

$m$	1	2	3	4	5
$V_m$	-0,912	-0,816	-0,720	-0,624	-0,528
$m$	6	7	8	9	10
$V_m$	-0,432	-0,336	-0,240	-0,144	-0,048

### III. Berechnung der in den Gurten erzeugten grössten und kleinsten Gesamtspannungen.

Addirt man die unter I und II berechneten Spannungen durch Eigengewicht, Verkehrs- und Windbelastung, so ergibt sich die grösste und kleinste Gesamtspannung für den unteren und für den oberen Gurt, wie folgt.

#### 1. Grösste und kleinste Gesamtspannungen in dem unteren Gurt.

Bezeichnet man wie früher die durch Eigengewicht und Verkehrslast erzeugte kleinste und grösste Druckspannung bzw. mit  $Z_{m\max}$  und  $Z_{m\min}$ , die durch Winddruck erzeugte Spannung mit  $Z_m$ , und nennt die kleinste und grösste Gesamtspannung bzw.  $Z_m^g\max$  und  $Z_m^g\min$ , so erhält man mit einiger Abrundung für  $m = 1, 2, \dots, 10$  nachstehende Zusammenstellung in tn

$m$	1	2	3	4	5
$Z_m \max$	-53,11	-51,41	-48,71	-44,75	-37,13
$Z_m \min$	-141,63	-139,77	-139,20	-140,20	-142,70
$Z_m$	-1,15	-2,14	-2,99	-3,69	-4,26
$Z_m^g \max$	-54,26	-53,55	-51,70	-48,44	-41,39
$Z_m^g \min$	-142,78	-141,91	-142,19	-143,89	-146,96

$m$	6	7	8	9	10
$Z_m \max$	-34,21	-28,72	-24,59	-27,49	-48,00
$Z_m \min$	-145,99	-149,84	-152,63	-148,97	-128,00
$Z_m$	-4,72	-5,06	-5,31	-5,44	-5,49
$Z_m^g \max$	-38,93	-33,78	-29,90	-32,93	-53,49
$Z_m^g \min$	-150,71	-154,90	-157,94	-154,41	-133,49

#### 2. Grösste und kleinste Gesamtspannungen in dem oberen Gurt.

Bezeichnet man die durch Verkehrslast und Winddruck erzeugte kleinste und grösste Spannung mit bzw.  $X_m^g\max$  und  $X_m^g\min$ , so erhält man, nach dem Früheren, für  $m = 1$  bis 10 folgende Zusammenstellung in tn

$m$	1	2	3	4	5
$X_m^g \max$	5,19	13,71	22,78	32,41	42,89
$X_m^g \min$	-7,42	-15,11	-23,87	-33,51	-42,60

$m$	6	7	8	9	10
$X_m^g \max$	53,33	61,20	62,39	48,21	20,45
$X_m^g \min$	-53,31	-61,77	-61,23	-47,94	-20,66

### IV. Berechnung der Querschnittsflächen und Zusammensetzung der Querschnitte.

Werden die Querschnitte der einzelnen Theile der Tragrippen mit Berücksichtigung ihrer Schwingungsfestigkeit bestimmt, so sind die zulässigen Anspannungen der gleichartig beanspruchten Polygonstücke des Untergurtes nach Gleichung 184, diejenigen der ungleichartig beanspruchten Obergurte, Diagonalen und Vertikalen nach Gleichung 186 zu berechnen.

#### 1. Querschnitte des Untergurtes.

Nach dem Früheren erfährt z. B. das 5. Polygonstück die Grenzspannungen von -41,4 und von -146,96 tn, mithin ergibt sich für den qcm seines Querschnittes die zulässige Anspannung

$$s_g = 0,8 \left( 1 + \frac{S_{\min}}{2 \cdot S_{\max}} \right) = 0,8 \left( 1 + \frac{41,39}{2 \cdot 146,96} \right) = 0,912 \text{ tn}$$

und dessen nutzbarer Querschnitt

$$q_g = \frac{S_g}{s_g} = \frac{146,96}{0,912} = \text{rot } 162 \text{ qcm.}$$

Werden in ähnlicher Weise auch die übrigen zulässigen Anspannungen und Querschnitte berechnet, so ergibt sich für  $m = 1$  bis 10 die nachfolgende Zusammenstellung in tn und qcm

$m$	1	2	3	4	5
$s_g$	0,952	0,950	0,945	0,934	0,912
$q_g$	150	150	151	154	162

$m$	6	7	8	9	10
$s_g$	0,903	0,887	0,876	0,885	0,960
$q_g$	167	175	181	175	139

Hiernach erfordert der Netto-Querschnitt des Unter-

gurtes einen Flächeninhalt von wenigstens 150 und höchstens 181 qcm und wurde zusammengesetzt im ersten, dritten und zehnten Felde aus je zwei [-Eisen von  $300 \times 12 \times 94 \times 16$  mm, einer oberen Horizontalplatte von  $204 \times 11$  mm und je zwei unteren Horizontalplatten von je  $94 \times 11$  mm Stärke, mit  $167,6 - 15,6 = 152$  qcm Nettoquerschnitt, im vierten bis neunten Felde aus denselben Theilen, vermehrt um vier Horizontalplatten von je  $82 \times 11$  mm Stärke mit  $203,68 - 20 = 183,68$  qcm Nettoquerschnitt, s. Taf. 4, Fig. 10.

#### 2. Querschnitt des Obergurtes.

Nach dem Früheren erfährt z. B. das 5. Obergurstück die Grenzspannungen von +42,89 und -42,60 tn, also ergibt sich für dessen qcm die zulässige Anspannung

$$s_u = 0,7 \left( 1 - \frac{42,6}{2 \cdot 42,89} \right) = 0,353 \text{ tn}$$

und dessen nutzbarer Querschnitt

$$q_u = \frac{S_u}{s_u} = \frac{42,89}{0,353} = \text{rot. } 122 \text{ qcm.}$$

Werden in analoger Weise auch die übrigen zulässigen Anspannungen und Querschnitte berechnet, so ergibt sich für  $m = 1$  bis 10 die nachfolgende Zusammenstellung in tn und qcm

$m$	1	2	3	4	5
$s_u$	0,455	0,382	0,366	0,362	0,353
$q_u$	17	40	66	93	122

$m$	6	7	8	9	10
$s_u$	0,351	0,354	0,358	0,352	0,353
$q_u$	152	175	175	137	59

Hiernach erfordert der Obergurt einen kleinsten und grössten Nettoquerschnitt von bzw. 17 und 175 qcm und wurde zusammengesetzt im 1. bis 4. und im 10. Felde aus je zwei [-Eisen von  $260 \times 12 \times 93 \times 14$  mm Stärke mit  $107,76 - 4,8 = 102,69$  qcm Nettoquerschnitt, im 5. und 9. Felde aus denselben Theilen mit einer oberen Horizontalplatte von  $202 \times 12$  mm und je zwei unteren Horizontalplatten von je  $93 \times 12$  mm Stärke, zusammen  $154,32 - 15,2 = 139,12$  qcm Nettoquerschnitt, im 6. und 8. Felde aus denselben Theilen mit vier weiteren Horizontalplatten von je  $85 \times 12$  mm Stärke mit zusammen  $195,12 - 20 = 175,12$  qcm Nettoquerschnitt, s. Taf. 4, Fig. 9.

#### 3. Querschnitte der Diagonalen der Hauptträger.

Da die Diagonalen gleiche Grenzspannungen erfahren, mithin  $S_{\min} = S_{\max}$  ist, so ergibt sich für den qcm die constante zulässige Anspannung in tn

$$s_u = 0,7 \left( 1 - \frac{1}{2} \right) = 0,35 \text{ tn,}$$

mithin z. B. für die 5. Diagonale mit der grössten Spannung  $S_u = 11,9$  tn und der zugehörige Querschnitt

$$q_u = \frac{S_u}{s_u} = \frac{11,90}{0,35} = 34 \text{ qcm.}$$

Werden in ähnlicher Weise auch die übrigen Querschnitte berechnet, so ergibt sich für  $m = 1$  bis 9 für qcm folgende Zusammenstellung

$m$	1	2	3	4	5
$q_u$	37	36	36	35	34

$m$	6	7	8	9
$q_u$	32	31	28	62

Hiernach sind die Diagonalen im 1. Felde aus zwei Winkeleisen von  $92 \times 92 \times 13$  mm Stärke mit  $44,46 - 5,20 = 39,26$  qcm Nettoquerschnitt; im 2. bis 5. Felde aus zwei Winkeleisen von  $92 \times 92 \times 12$  mm Stärke mit  $41,28 - 4,80 = 36,48$  qcm Nettoquerschnitt; im 6. Felde aus zwei Winkeleisen von  $85 \times 85 \times 12$  mm Stärke mit  $37,92 - 4,80 = 33,13$  qcm Nettoquerschnitt; im 7. und 8. Felde aus zwei Winkeleisen von  $79 \times 79 \times 12$  mm Stärke mit  $35,04 - 4,80 = 30,24$  qcm Nettoquerschnitt; im 9. Felde aus vier Winkeleisen von  $79 \times 79 \times 12$  mm Stärke mit  $70,08 - 9,60 = 60,48$  qcm zusammengesetzt worden, s. Taf. 4, Fig. 3.

#### 4. Querschnitte der Vertikalen.

Nach dem Früheren erfährt z. B. die 5. Diagonale die Grenzspannungen +4,83 und -11,23 tn, mithin er-

giebt sich für den qcm ihrer zulässigen Anspruchnahme

$$s_u = 0,7 \left( 1 - \frac{4,83}{2,11,23} \right) = 0,55 \text{ tn,}$$

also ihr nutzbarer Querschnitt

$$q_u = \frac{S_u}{s_u} = \frac{11,23}{0,55} = \text{rot } 20,5 \text{ qcm.}$$

Werden in ähnlicher Weise auch die übrigen zulässigen Anspruchnahmen und Querschnitte berechnet, so ergibt sich für  $m=0$  bis 9 in tn und qcm folgende Zusammenstellung:

$m$	0	1	2	3	4
$s_u$	0,49	0,49	0,50	0,51	0,53
$q_u$	35,3	33,4	31,2	28,3	25,0
$m$	5	6	7	8	9
$s_u$	0,55	0,59	0,64	0,59	0,53
$q_u$	20,5	16,5	12,2	16,5	23,4

Hiernach sind die Vertikalen im 0. Felde aus zwei Winkeleisen von  $92 \times 92 \times 12$  mm Stärke und  $41,28 - 4,8 = 36,48$  qcm Nettoquerschnitt, im 1. und 2. Felde aus zwei Winkeleisen von  $85 \times 85 \times 12$  mm Stärke und  $37,92 - 4,8 = 33,12$  qcm Nettoquerschnitt, im 4. Feld aus zwei Winkeleisen von  $79 \times 79 \times 12$  mm Stärke und  $35,04 - 4,8 = 30,24$  qcm Nettoquerschnitt, im 5. Feld aus zwei Winkeleisen von  $79 \times 79 \times 10$  mm Stärke und  $30,06 - 4,8 = 25,26$  qcm Nettoquerschnitt, im 6. Feld aus zwei Winkeleisen von  $72 \times 72 \times 10$  mm Stärke und  $26,8 - 4,0 = 22,8$  qcm Nettoquerschnitt, im 7. bis 9. Feld aus zwei Winkeleisen von  $62 \times 62 \times 10$  mm Stärke und  $22,8 - 4,0 = 18,8$  qcm Nettoquerschnitt, im 10. Feld aus zwei Winkeleisen von  $72 \times 72 \times 11$  mm Stärke und  $20,46 - 4,4 = 16,06$  qcm Nettoquerschnitt hergestellt worden, s. Taf. 4, Fig. 3.

5. Querschnitte der Diagonalen und Transversalen der Windverbände.

a. Oberer Windverband.

Die aus Flacheisen bestehenden Diagonalen haben durchweg einen nutzbaren Querschnitt von  $10,1 - 2,1 = 8$  qcm erhalten und erfahren mithin, da die grösste, in der ersten Diagonale wirkende Spannung  $5,06$  tn beträgt, eine grösste Anspruchnahme von  $\frac{5,06}{8} = 0,633$  tn, welche mehr als zulässig erscheint.

Die Transversalen sind aus zwei Winkeleisen von je  $65 \times 65 \times 10$  mm mit  $24 - 4 = 20$  qcm Nettoquerschnitt zusammengesetzt und erfahren mithin, da die grösste, in den ersten Transversalen wirkende Spannung nach dem Früheren  $3,335$  tn beträgt, eine grösste Anspruchnahme von  $\frac{3,335}{20} = 0,167$  tn, welche sehr gering ist.

b. Unterer Windverband.

Die aus Flacheisen bestehenden Diagonalen haben durchweg einen nutzbaren Querschnitt von  $5,1 - 1,5,1 = 3,5$  qcm, erfahren mithin, da die grösste, in der ersten Diagonale wirkende Spannung  $1,47$  tn beträgt, eine grösste Anspruchnahme von  $\frac{1,47}{3,5} = 0,42$  tn, welche mehr als zulässig erscheint.

Die aus zwei Winkeleisen von je  $65 \times 65 \times 10$  mm Stärke bestehenden Transversalen mit  $24 - 4 = 20$  qcm Nettoquerschnitt erfahren, da die grösste in den ersten Transversalen wirkende Spannung nach dem Früheren  $0,912$  tn beträgt, eine nur sehr geringe Anspruchnahme.

## V. Berechnung der Stabanschlüsse.

1. Nietanschlüsse der Diagonalen und Vertikalen.

Sowohl die Diagonalen als die Vertikalen werden mittelst einschnittiger Niete von  $d=2$  cm Durchmesser angeschlossen. Bezeichnet  $F$  den Querschnitt eines Stabes, so ist, wenn man die Scheerfestigkeit der Niete zu  $\frac{4}{5}$  der

Zugfestigkeit annimmt,  $n \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \frac{4}{5} = F$ , mithin die erforderliche Zahl der Niete

$$n = \frac{5F}{\pi d^2} = \frac{5}{3,14 \cdot 4} \cdot F = 0,398 \cdot F.$$

Nach dem Früheren (IV, 3) erfordert z. B. die 5. Diagonale einen nutzbaren Querschnitt  $F=34$  qcm, mithin eine Nietzahl  $n = 0,398 \cdot 34 = \text{rot } 14$ , die 5. Vertikale einen nutzbaren Querschnitt  $F=259$  cm, mithin eine Nietzahl  $n^1 = 0,398 \cdot 259 = \text{rot } 10$ . Werden in ähnlicher Weise die Nietzahlen  $n$  und  $n^1$  bzw. auch der übrigen Diagonalen und Stäbe berechnet, so ergibt sich für  $m=1$  bis 10 die nachfolgende Zusammenstellung

$m$	1	2	3	4	5
$n$	15	15	14	14	14
$n^1$	15	14	13	12	10
$m$	6	7	8	9	10
$n$	13	13	12	25	43
$n^1$	9	7	5	7	10

2. Stärke der Knotenbleche.

Bezeichnet man mit  $\delta$  die Dicke der Knotenbleche und lässt einen Druck im Nietloch von dem Doppelten der Scheerfestigkeit der Niete zu, so ist für zweischnittige Niete von  $d=2$  cm Durchmesser  $\frac{2\pi d^2}{4} = 2d\delta$  und hieraus

$$\delta = \frac{\pi d}{4} = \frac{3,14 \cdot 2}{4} = 1,57 \text{ cm,}$$

wofür rund 1,6 cm angenommen worden ist.

## VI. Berechnung der Kämpfer- und Scheitel-Construction.

1. Dimensionen und Befestigung der Kämpferplatte.

Der grösste Druck im 1. Polygonstück des Untergurts beträgt nach dem Früheren  $141,6$  tn, während die über dem Kämpfercharnier befindliche Vertikale  $6,4$  tn Gesamtlast zu tragen hat. Wird diese Last in eine zur Kämpferplatte parallele und normale Komponente zerlegt, wovon die letztere  $6,4 \cdot \frac{2,406}{5,5} = 2,85$  tn beträgt und dem Druck von  $141,6$  tn des Untergurts zuzuzählen ist, so erhält man, wenn die Druckfestigkeit des qcm Quadermauerwerk zu  $0,02$  tn und die Länge der Kämpferplatte zu  $90$  cm angenommen wird, deren Breite

$$b = \frac{141,6 + 2,85}{90 \cdot 0,02} = \text{rot } 82 \text{ cm.}$$

Die grösste, längs der Lagerfläche auf Abgleiten der Lagerplatte wirkende Kraft ergibt sich bei Belastung der ersten Knotenpunkte durch Verkehr, während der stets normal zur Lagerfläche wirkende Druck des Eigengewichtes ohne Einfluss auf dieselbe bleibt. Für jene — aus  $6 \times 4 = 24$  tn mit dem Hebelsarm  $7$  m bestehende — Belastung ergibt sich der Horizontaldruck

$$H = \frac{aM}{2h_n} = \frac{24,7}{2,5} = 16,8 \text{ tn,}$$

der Vertikaldruck

$$V = \frac{aM}{l} = \frac{24,33}{40} = 19,8 \text{ tn,}$$

welcher letztere sich noch um die Totalbelastung von  $6,4$  tn des 0. Vertikalständers, also auf  $26,2$  tn vermehrt. Zerlegt man  $V$  und  $H$  in je eine zur Lagerplatte normale und parallele, Komponente, so ergeben sich die letzteren bzw.

$$T = H \cdot \frac{2,406}{5,5} = 16,8 \cdot \frac{2,406}{5,5} = 7,35 \text{ tn und}$$

$$T^1 = V \cdot \frac{4,37}{5,5} = 26,2 \cdot \frac{4,37}{5,5} = 26,67 \text{ tn.}$$

Da die erstere auf-, die letztere abwärts wirkt, so ergibt sich die grösste, auf Verschiebung der Lagerplatte wirkende, Kraft  $T^1 - T = 26,67 - 7,35 = 16,32$  tn, daher aus  $16,32 = n \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot v$ , wenn  $d=3$  cm und  $v=0,6$  tn angenommen wird, die Zahl der erforderlichen Mauerbolzen

$$n = \frac{4,16,32}{3,14 \cdot 3^2 \cdot 0,6} = \text{rot } 4.$$

2. Stärke der Charnierbolzen.

Der Bolzen am Kämpfer erfährt einen Vertikaldruck  $V=10,5,6,4=67,2$  tn und einen Horizontaldruck

$H = \frac{^a M}{h_n} = \frac{9,6,4 \cdot 10 + 3,2 \cdot 20}{5} = 128 \text{ tn}$ , folglich einen hieraus resultierenden Druck

$$R = \sqrt{V^2 + H^2} = \sqrt{67,2^2 + 128^2} = 144,56 \text{ tn.}$$

Bezeichnet man mit  $\lambda = 20 \text{ cm}$  die Länge, mit  $d$  den Durchmesser des Bolzens und nimmt an, dass der Druck sich auf die halbe Bolzenoberfläche vertheilt und  $p = 0,355 \text{ tn}$  für deren qcm beträgt, so ist aus  $\pi \cdot \frac{d}{2} \cdot \lambda \cdot p = R$  dessen Durchmesser

$$d = \frac{2R}{\pi \lambda p} = \frac{2 \cdot 144,56}{3,14 \cdot 20 \cdot 0,355} = \text{rot. } 13 \text{ cm.}$$

Der Bolzen im Scheitel erfährt einen Horizontaldruck  $H = 128 \text{ tn}$  und erhält unter den übrigens gleichen Umständen einen Durchmesser

$$d = \frac{2 \cdot 128}{3,14 \cdot 20 \cdot 0,355} = \text{rot. } 11 \text{ cm.}$$

### VII. Berechnung der Querswellen.

Die Fahrschienen sind über allen Tragrippen um 12,5 cm aus deren Axe gerückt und haben einen grössten Raddruck von 6 tn, die Querswellen also ein Angriffsmoment  $^a M = 6 \cdot 12,5 = 75 \text{ tncm}$  aufzunehmen. Erhalten die Querswellen einen quadratischen Querschnitt mit der Seitenlänge  $h$ , so ist für die zulässige Anspruchnahme von 0,075 seines qcm deren Widerstandsmoment  $^w M = 0,075 \cdot \frac{h^3}{6}$ , folglich deren Seite

$$h = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot 75}{0,075}} = 18,3 \text{ cm,}$$

wofür 16 cm Höhe und 20 cm Breite angenommen wurde.

#### C. Spezielle Anordnung.

Nach der unter A beschriebenen, allgemeinen Anordnung und der unter B durchgeführten, statischen Berechnung und Querschnittsbestimmung ist die in Fig. 3 bis 20 dargestellte Construction im Besonderen durchgeführt. Während Figur 3 und 20 die Bogenträger einer halben Brückenöffnung in Längenschnitt und Grundriss, die Fig. 11, 12, 13 und 14 die Querschnitte der Brücke bzw. nach den Schnitten *ab*, *cd*, *ef* des Längenschnittes und im Scheitel, sämmtlich in dem Massstabe 1:42, darstellen, enthalten Fig. 7 und 8 die Details der Bogenträger im 4. und 5. Felde, Fig. 9 und 10 die Querschnitte der oberen und unteren Gurtung in sämmtlichen Feldern, Fig. 4 bis 6 und Fig. 15 bis 17 bzw. die Details der Kämpfer- und Scheitelcharniere, sämmtlich in  $\frac{1}{20}$  der natürlichen Grösse.

Die Gurten der Bogenträger sind nach Fig. 9 und 10 aus je 2 [-Eisen zweitheilig in solchen Zwischenräumen angeordnet, dass die zum Anschlusse der Verticalen und Diagonalen erforderlichen, je 16 mm starken Knotenbleche eingeschaltet werden können, welche am Ober- und Untergurt zum Anschlusse der, aus je zwei im Querschnitt kreuzförmig gestellten Winkeleisen zusammengesetzten, Verticalen und Diagonalen dienen, s. Fig. 7 und 8. Um die zunächst einschneidigen Anschlussniete dieser Diagonalen und Verticalen in zweiseitige zu verwandeln und hierdurch deren Zahl auf die Hälfte zu vermindern, ist jedem Winkeleisen der genannten Stäbe an beiden Enden ein Winkeleisenstück hinzugefügt, welches mit demselben vernietet ist und mit ihm einen T-förmigen Querschnitt bildet. Da die beiden Winkeleisen der Verticalen parallel zur Vertikalebene des Bogenträgers einen Zwischenraum von 16 mm, senkrecht zu derselben einen solchen von 10 mm lassen, so sind dieselben in den geeigneten Abständen durch rechteckige, zueinander senkrechte Flacheisen-Bänder mittelst je zwei bis je vier Niete zu einem, im Querschnitt kreuzförmigen Stabe verbunden. Die beiden Winkeleisen der Diagonalen stehen parallel zur Trägerebene je 16 mm von einander ab, während sie senkrecht zu derselben einen Zwischenraum nicht besitzen. Die Verbindung beider zu einem im Querschnitt kreuzförmigen Stabe ist daher durch rechteckige Flacheisen-Bänder mittelst je zwei bis je vier Niete bewirkt, wovon die zur Trägerebene parallelen Bänder eben, die zu derselben senkrechten verkröpft sind. Um die längeren

Verticalen und Diagonalen in der Ebene der Bogenträger gegen Ausbiegung zu schützen, sind dieselben innerhalb der 16 höheren Felder eines Bogenträgers in ihrer Mitte durch ein je 16 mm starkes, durchlaufendes Flacheisen verbunden, welches an die Winkeleisen derselben durch je 2 Niete befestigt ist, s. Fig. 3, 7 und 8. Um den unteren Gurten die zur Vertheilung des Druckes auf die Charnierbolzen nöthige Dicke zu geben, sind dieselben an den Kämpfern und Scheitelenden durch staffelförmig aufgelegte und durch konische Bolzen verbundene Bleche allmählich verstärkt, s. Fig. 4 bis 6 und 15, 16, an den zwischen den Knotenpunkten angeordneten Stössen je eines [-Eisens aber durch doppelte Vertikallaschen vereinigt. Aehnlich sind die Stösse der oberen Gurte angeordnet, während letztere an den Enden verlängert, durch Gleitlager unterstützt und durch doppelte T-Eisen, s. Fig. 3, verbunden sind.

Die vertikalen Querverbände, deren gekreuzte Diagonalen aus je einem Flacheisen bestehen, sind an trapezförmige Knotenbleche angenietet, welche bei den Stirnbogenträgern nur an der Innenseite, bei den Zwischenbogenträgern zu beiden Seiten mittelst je zweier Winkeleisenstücke angeschlossen sind. Da die letzteren an die Obergurte in senkrechter, an die Untergurte in radialer Lage angenietet sind, so sind jene Knotenbleche oben eben und lothrecht, während sie unten theils radial gebogen, theils lothrecht sind. Eine zweite Befestigung erhalten jene, je 10 mm starken Knotenbleche durch die erwähnten Winkeleisen und Winkeleisenstücke der Vertikalstäbe, welche je 10 mm von einander abstehen und jene Knotenbleche von beiden Seiten einschliessen. Zwischen den 12 niedrigeren Vertikalstäben eines Bogenträgers bilden die Diagonalen der lothrechten Querverbände ein einfaches liegendes Kreuz und sind an ihren Kreuzungspunkten mit Hülfe eines je 10 mm starken Zwischenblechs vernietet, s. Fig. 13. Zwischen den 8 höheren Vertikalstäben eines Bogenträgers bilden die Diagonalen der lothrechten Querverbände je zwei übereinander liegende Kreuze, s. Fig. 11 und 12, welche in der Mitte jener Vertikalstäbe an je 10 mm starke, mit den letzteren vernietete Anschlussbleche befestigt sind. Der an dieser Stelle nöthige, horizontale Querverband wird durch die in Fig. 3, 11 und 12 dargestellten, an dieselben Anschlussbleche genieteten, doppelten Winkeleisen bewirkt.

Die zwischen die Ober- und Untergurten in deren halber Höhe eingelegten Windverbände bestehen aus den, von 2 je 10 mm abstehenden Winkeleisen gebildeten, Transversalen, welche die Winkellappen und Anschlussbleche der vertikalen Querverbände umfassen, mit jenen ersteren verkröpft und mit beiden vernietet sind, s. Fig. 7 und 8, sowie aus den von Flacheisen gebildeten gekreuzten Diagonalen, welche in der halben Höhe der beiden Gurten mit Hülfe von Anschlussblechen und Winkellappen an die Stege der Gurten befestigt sind. Bei dem oberen Gurte, s. Fig. 7, 8 und 19, liegen jene Winkellappen wagrecht, und sind mit jenen Stegen sowie mit jenen, hier rechteckigen, Anschlussblechen vernietet, während die Diagonalen an ihren Enden mit je einem Niet abwechselnd oben und unten angeschlossen und in ihrem Kreuzungspunkte mit Hülfe eines eingelegten Blechs von der Dicke des Anschlussblechs vernietet sind. Bei dem unteren Gurte, s. Fig. 7, 8 und 20, sind jene Winkellappen je nach der Neigung des zugehörigen unteren Gurtstücks mehr oder minder geneigt und sind mit den Stegen der [-Eisen des Untergurts sowie mit den gleichfalls geneigten, hier trapezförmigen Anschlussblechen vernietet, während die Diagonalen an ihren Enden mit je drei Nieten abwechselnd oben und unten angeschlossen und in ihren Kreuzungspunkten mit je einem Niet, ähnlich wie bei dem oberen Windverbände, verbunden sind. Um diese Windverbände in der Mitte der Bogenträger nicht abbrechen zu müssen, sondern continuirlich von einem bis zum anderen Ende derselben durchzuführen zu können, sind dieselben beide mit einem durch die Axe des Scheitelcharnierbolzens gehenden Rundeisen, s. Fig. 14, 16, 17 und 20, welches die mittlere Transversale bildet, drehbar, jedoch seitlich unverschiebbar ver-



bunden. Während der untere Windverband durchweg der Mittellinie der unteren Gurtung folgt, liegt der obere in einer wagrechten Ebene und nur in den beiden mittleren Feldern in zwei geneigten Ebenen, welche sich in der Axe der Scheitelcharniere schneiden. Die an dieser Stelle angewandten, zur Vernietung mit den Diagonalen dienenden U-förmigen Anschlussbleche, welche charnierbandartig ineinander greifen, s. Fig. 17, und durch die an der Scheitel-Transversale angebrachten Ansätze, s. Fig. 14 und 16, gegen Seitenverschiebung gesichert sind, in Verbindung mit der an dieselben angeschlossenen Diagonalen vermitteln die Uebertragung des Winddruckes auf die Stützpunkte, welche an den Kämpfern durch die Bolzenlager und an den Enden des Obergurts durch je zwei backenartige Ansätze der Gleitlager hergestellt sind. Obwohl beide Windverbände horizontal unverschieblich sind, so können sie den bei Temperaturwechsel eintretenden, vertikalen Bewegungen der Bogenträger folgen, ohne nachtheiligen Spannungen ausgesetzt zu sein oder Verbiegungen zu erfahren.

Die Kämpfer- und Scheitel-Charniere bestehen in Stahlbolzen, welche in innerhalb runde, ausserhalb eckige Stahlhülsen und sammt diesen in die beiden Enden der beiden Bogenschenkel eingelassen sind, s. Fig. 15, und so eine drehende Bewegung der Bogenschenkel um die Bolzen gestatten, aber eine Drehung derselben um die Bolzenhülsen ausschliessen. Die in Fig. 15 und 16 dargestellten Scheitelbolzen besitzen die nöthigen, scheibenartigen Ansätze vor und hinter den staffelartig verstärkten oberen Bogenschenkeln, um eine seitliche Verschiebung zu verhindern. Das in Fig. 4 bis 6 dargestellte Kämpfercharnier besteht in einer, auf einem Bock ruhenden, gusseisernen Lagerschale, welche mit ihrer Fussplatte durch je 4 starke Rippen verbunden ist. Diese Fussplatte ruht in einer Vertiefung der, mittelst vier Schraubenbolzen mit dem Quadermauerwerk verankerten, unten überdiess mit Querrippe versehenen Unterlagplatte und ist innerhalb derselben durch doppelte Keile, wie Fig. 4 deutlich zeigt, regulirbar.

Die constructive Befestigung der Fahrbahn auf den Bogenträgern sowie des Geländers auf den Querschwellen geht aus den Figuren 3, 11, 12, 13 und 14 deutlich hervor, während Fig. 18 den verschieblichen Stoss des Geländerholmes darstellt.

#### Taf. V. Brücke über die Ruhr bei Düssern \*).

1. Allgemeine Anordnung. Diese in der Linie Duisburg-Quackenbrück erbaute Brücke führt 2 Eisenbahngeleise mit 3,56 m Axendistanz normal, gerade und mit 0,005 Gefäll über 3 Stromöffnungen von je 48 m lichter Weite mittelst 4, je 1,78 m i. M. von einander absteherender Bogenträger. Die Fahrschienen ruhen, mittelst gusseiserner Lagerstühle und Klemmplatten nebst Schrauben befestigt, s. Fig. 10 und 11, auf massiven, im Querschnitt I-förmigen, je 0,84 m von einander entfernten Querträgern, welche mittelst verkröpfter Winkellappen, s. Fig. 17, auf die Bogenträger und über den Bogenzwickeln auf die durch vertikale, je 3 m entfernte Pfosten unterstützten Langträger genietet, mit Längsbohlen belegt und an den Enden durch schmiedeiserne Geländer, s. Fig. 8 und 16, verbunden sind. Die Bogenträger ruhen mittelst schmiedeiserner Keile auf geneigten gusseisernen, mit den Unterlagquadern verankerten Stützplatten, jene Langträger mittelst Bleiplatten auf gusseisernen, mit ihren Unterlagquadern verankerten Gleitlagern. Die vier Bogenträger und die mit ihnen verbundenen Langträger werden durch 15, mit Fachwerk ausgesteifte Querverbände in lothrechter Lage erhalten und durch zwei mit ihren äussersten Gurten vernietete Horizontalverbände gegen seitliche Verbiegung durch die Seitenstösse des Windes und Verkehrs geschützt.

2. Statische Berechnung. A. Die Bogenträger. Als Mittellinie des Bogenträgers ist eine gemeine Parabel von der Spannweite  $l=48$  m, der Pfeilhöhe  $f=5,95$  m,

\*) Bearbeitet und veröffentlicht mit Genehmigung der Rheinischen Eisenbahngesellschaft nach der von A. Bendel aufgestellten Berechnung und Construction.

der auf den Mittelpunkt ihrer Sehne bezogenen Gleichung ihrer Ordinaten  $y=f-\frac{f}{(l/2)^2}x^2$  und ihrer Tangenten  $\frac{dy}{dx}=\text{tang } \alpha = -2\frac{f}{(l/2)^2}x$  zu Grunde gelegt, woraus sich für nachstehende 9 Abscissen  $x$  die folgende Tabelle I ergibt.

Nr.	$x$	$\text{tang } \alpha$	Winkel.	Sin. $\alpha$	Cos. $\alpha$
0	0	0,00000	0° 0' 0"	0,00000	1,00000
1	3	0,061979	3° 32' 48"	0,061861	0,998085
2	6	0,123958	7° 3' 58"	0,123015	0,992405
3	9	0,185937	10° 31' 59"	0,182803	0,983150
4	12	0,247916	13° 55' 26"	0,240633	0,970616
5	15	0,309895	17° 13' 5"	0,296002	0,955185
6	18	0,371875	20° 23' 56"	0,348554	0,937289
7	21	0,433854	23° 27' 12"	0,398002	0,917385
8	24	0,495833	26° 22' 25"	0,444223	0,895917

Die Verkehrsbelastung ist zu bzw. 4000 und  $q=2000$  kg für den m Geleise und Träger und zwar für den mittleren, auf je 14,28 m von dem Scheitel reichenden Theil des Bogenträgers, wo die Querschwellen direct auf ihm ruhen, als gleichmässig vertheilt, in den übrigen, mit Vertikalpfosten versehenen Trägertheilen als in Entfernungen von je 3 m wirkende Einzellast  $P=3.2000=6000$  kg angenommen. Hieraus und mit Hülfe der Gleichungen 21 und 22 ergibt sich nun für die, in nachstehenden Abständen  $x$  links und rechts vom Scheitel wirkenden, Lasten  $P$  folgende Tabelle II der lothrechten und wagrechten Stützdrucke  $A$  und  $H$  nebst deren Summen für  $m$  und  $kg$ .

Abstand $p$ vom Scheitel.	Lothrechter Stützdruck $A$		Wagrechter Stützdruck $H$ für links- oder rechtsseitige Belastung $P$
	für linksseitige Last $P$ .	für rechtsseitige Last $P$ .	
14,28 m	2393 kg *)	607 kg	2837 kg *)
17,28 "	5160 "	840 "	4081 "
20,28 "	5535 "	465 "	2317 "
23,28 "	5910 "	90 "	454 "
	18998 "	2002 "	9689 "

Die statische Berechnung erstreckt sich auf die Ermittlung der in verschiedenen Querschnitten erzeugten grössten Druck- und Scheerspannungen. Die grössten Druckspannungen in den beiden äussersten Lamellen der Bogen sowie die grössten Scheerspannungen werden durch das Zusammenwirken der Verkehrslast bei ihrer ungünstigsten Stellung des Eigengewichts und der grössten Temperaturdifferenz hervorgebracht, wobei sich erstere aus der hierdurch erzeugten grössten Normal- und Biegungsspannung zusammensetzen.

a. Die Maximalspannungen durch die Verkehrslast ergeben sich aus den Gleichungen 152, 153, worin nach Gleichung 149, 150 und 151 die Normalkräfte  $N$  und Angriffsmomente  $^aM$ , ferner die Flächeninhalte  $f$ , Trägheitsmomente  $t$  und Widerstandsmomente  $\frac{t}{a}$  zu ermitteln sind.

$\alpha$ ) Ermittlung von  $N$  und  $^aM$  für die Querschnitte 0 bis 8 des Obergurts bei der nach Textfigur 5 auf Texttafel B, Fig. 1 ausgeführten, graphischen Bestimmung der ungünstigsten Laststellung.

Im Scheitelquerschnitt  $o$  findet, nach Textt. 3, Fig. 1 und 3, die ungünstigste Belastung innerhalb der Grenzen  $p_2 = +10,1$  m statt. Hierfür ergibt sich nach Gleichung 35, worin  $p_1 = o$  zu setzen ist,  $A=qp_2=2000.10,1=20200$  kg und, nach Gleichung 38, wegen der auf beiden Seiten des Scheitels liegenden, gleichen Belastung

\*) Nach Einführung der Zahlenwerthe erhält man nämlich hier, wegen  $P=\frac{6000}{2}=3000$ , aus Gleichung 21

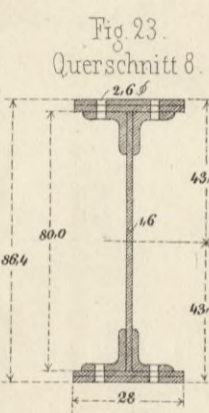
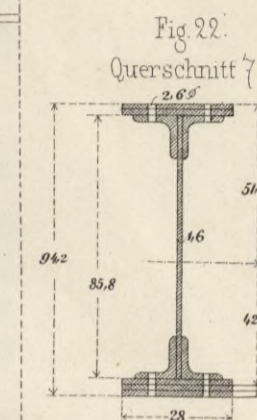
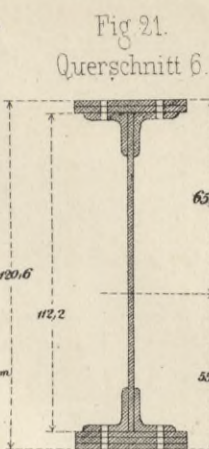
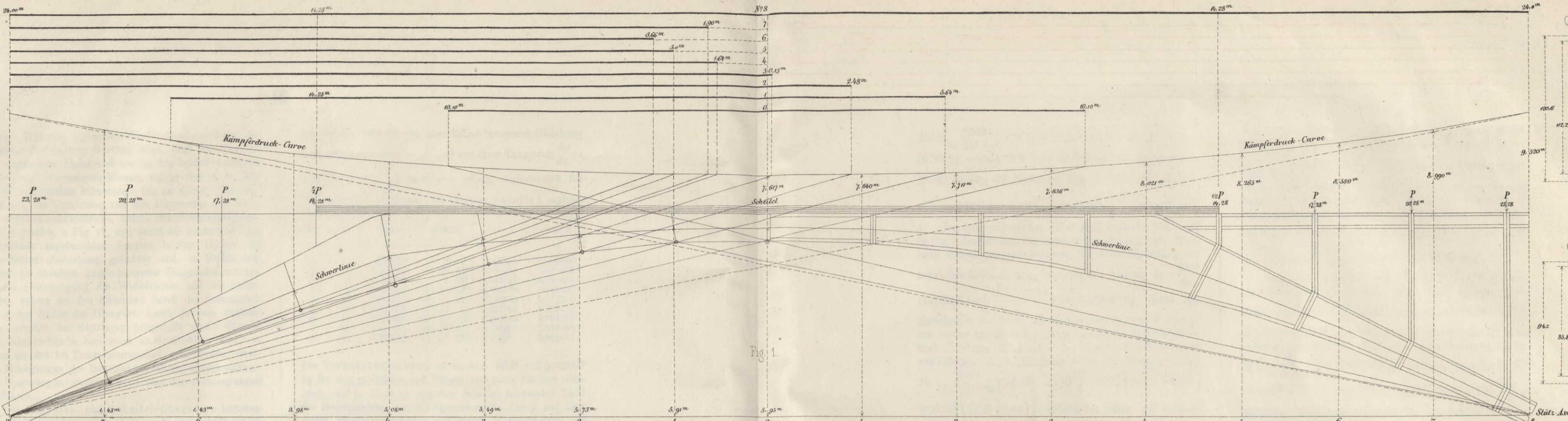
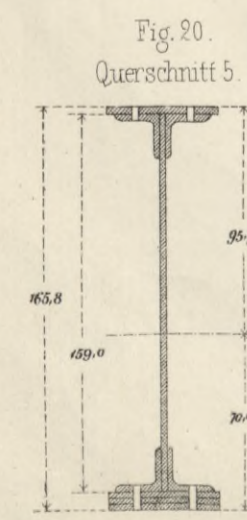
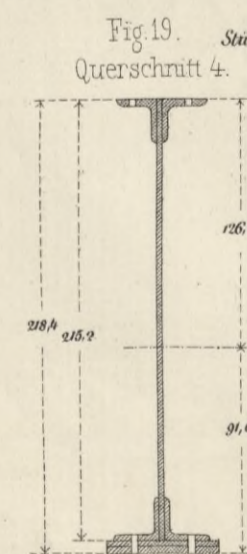
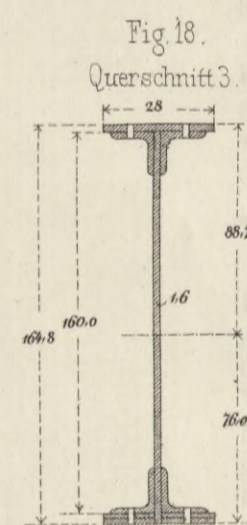
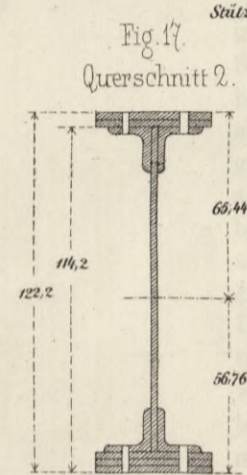
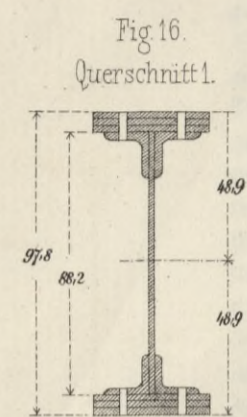
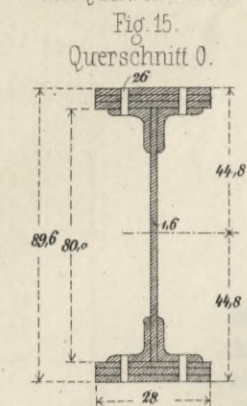
$$A=3000 \cdot \frac{24+14,28}{48} = 2393 \text{ kg,}$$

aus Gleichung 22

$$H=3000 \cdot \frac{5 \cdot 14,28^4 - 30 \cdot 24^2 \cdot 14,28^2 + 26 \cdot 24^4}{64 \cdot 24^3 \cdot 5,95} = 2837 \text{ kg.}$$



Fig 15-18. Querschnitt des Bogens in den Querschnitten 0-8.



2.) der unteren Gurtung in den Querschnitten 0-8.

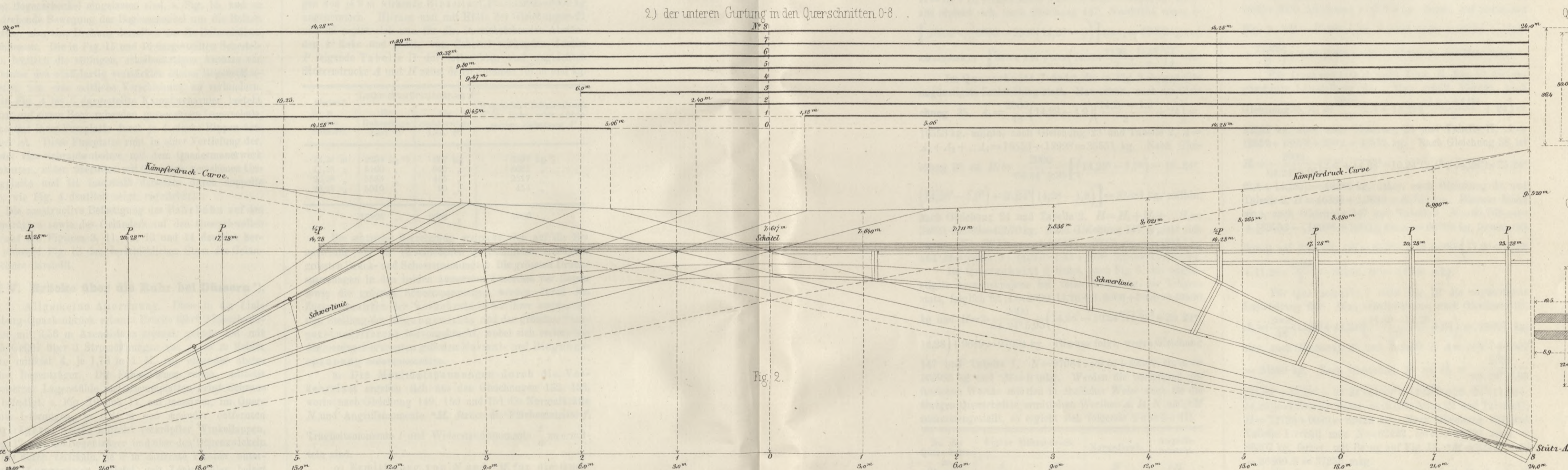


Fig 24 u 26. Querschnitte der Verticalen.

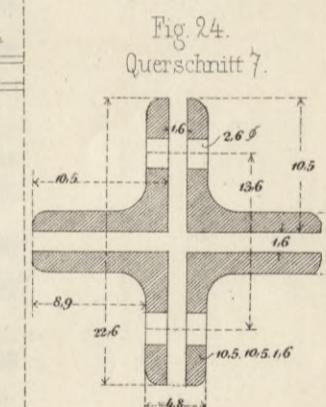


Fig 3-8. Ungünstigste Belastungen für die grössten Biegungs- u. Axialspannungen des Obergurts im:

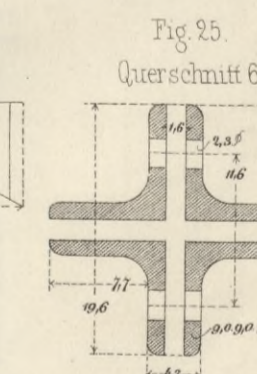
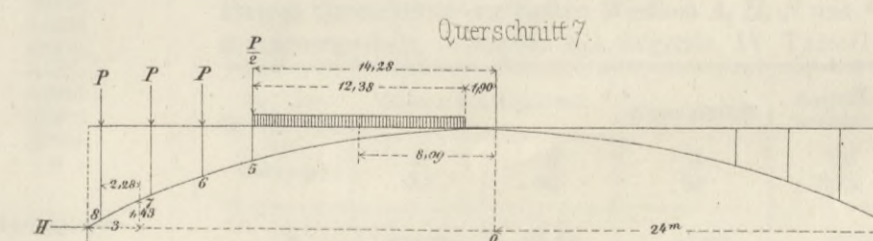
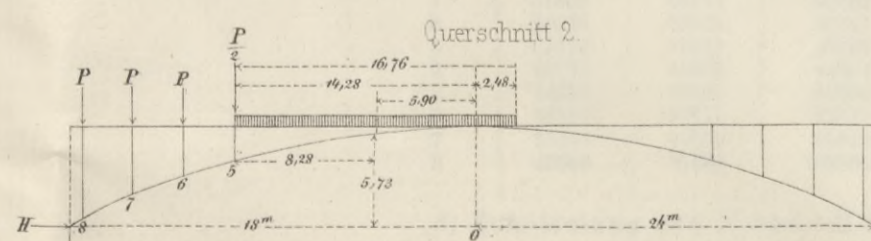
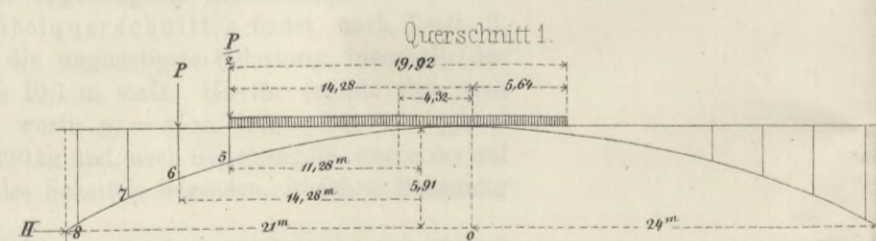
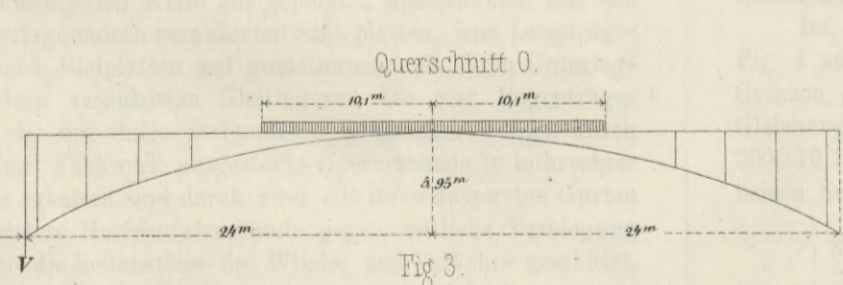


Fig 9-12. Ungünstigste Belastungen für die grössten Biegungs- u. Axialspannungen des Untergurts im:

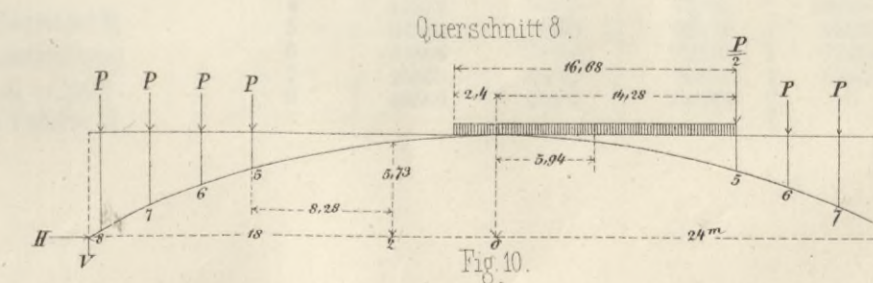
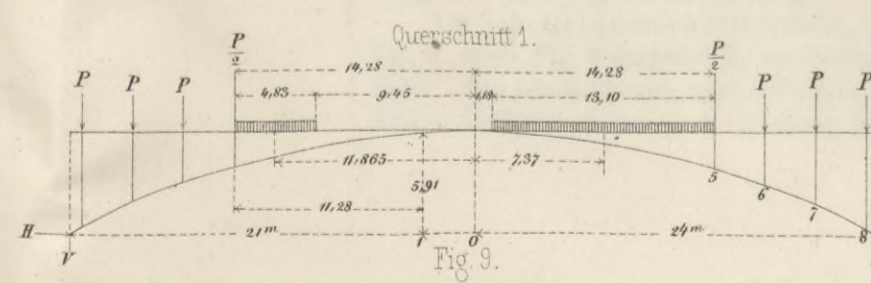
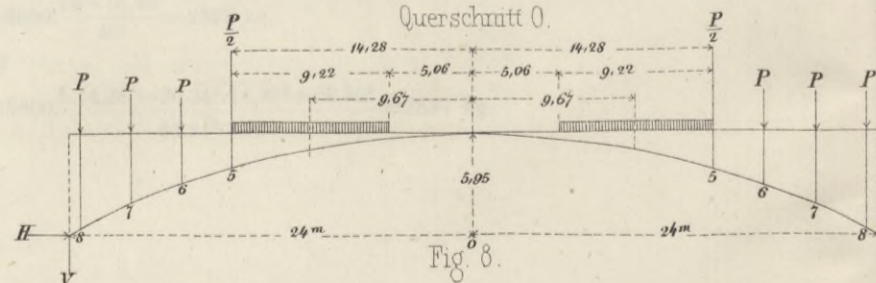
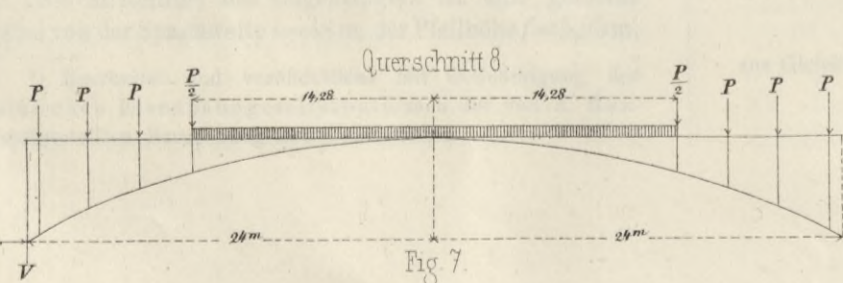


Fig 26. Querschnitt des Längenträgers

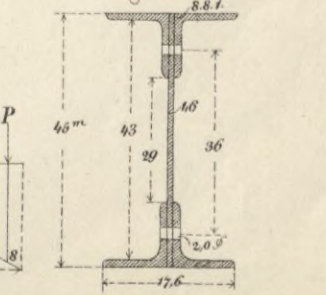
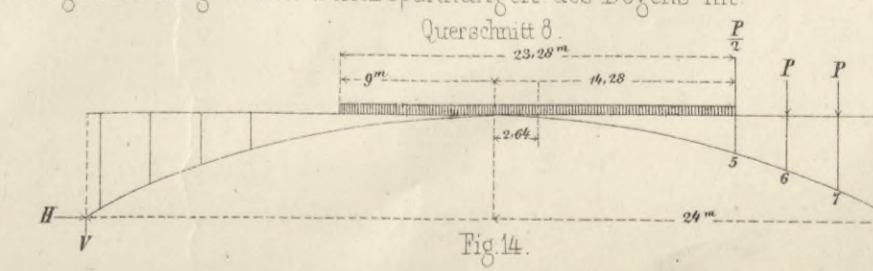
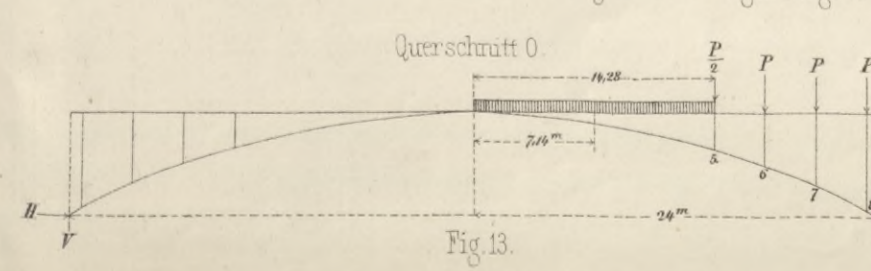
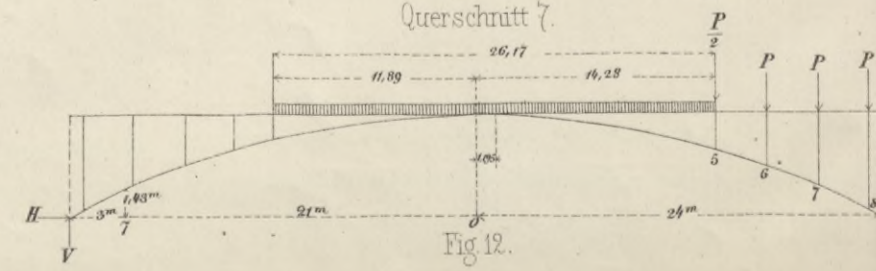
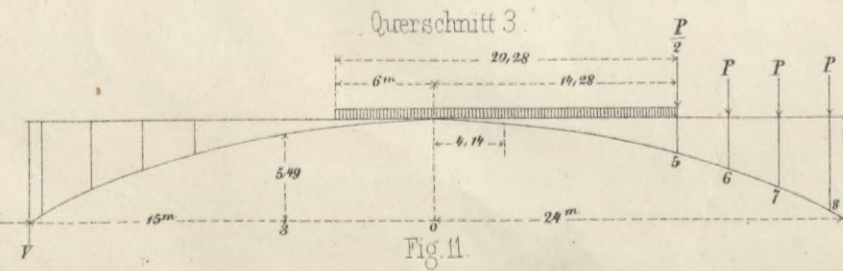


Fig 13 u 14. Ungünstigste Belastungen für die grössten Scher-spannungen des Bogens im:





$$H=2 \cdot \frac{2000}{64 \cdot 24^3 \cdot 5,95} (10,1^5 - 10 \cdot 24^2 \cdot 10,1^3 + 25 \cdot 24^4 \cdot 10,1) = 59184 \text{ kg, woraus sich nach Gleichung 147, wegen } \alpha = 0, N=H, \text{ ferner, mit Bezug auf Fig. 3, } {}^aM = A \cdot \frac{l}{2} - \left( Hf + q \frac{p_2^2}{2} \right) = 20200 \cdot 24 - \left( 59184 \cdot 5,95 + 2000 \cdot \frac{1,01^2}{2} \right) = 30645 \text{ mkg.}$$

Im Querschnitt 1 findet nach Textt. B, Fig. 1 die in Fig. 3 dargestellte, ungünstigste Laststellung statt. Hiernach ergibt sich aus Gleichung 35, nach Einführung der bekannten Zahlenwerthe, wegen  $p_1 = -5,64 \text{ m}$ ,  $A_1 = \frac{2000}{48} (14,28 + 5,64) \left( \frac{14,28 - 5,64}{2} + 24 \right) = 23506 \text{ kg}$ , daher mit Zurechnung der durch die Einzellasten  $P/2$  und  $P$  erzeugten, früher tabellarisch zusammengestellten Stützendrucke, nach Gleichung 23,  $A = A_1 + A_2 + A_3 = 23506 + 2393 + 5160 = 31059 \text{ kg}$ . Nach Gleichung 38 ist der Horizontaldruck  $H_1 = \frac{2000}{64 \cdot 24^3 \cdot 5,95} \left[ \left( \frac{14,28^5}{2} + 5,64^5 \right) - 10 \cdot 24^2 \left( \frac{14,28^3}{2} + 5,64^3 \right) + 25 \cdot 24^4 \left( \frac{14,28 + 5,64}{2} \right) \right] = 56236 \text{ kg}$ , daher, mit Berücksichtigung der beiden Einzellasten, nach Gleichung 24  $H = H_1 + H_2 + H_3 = 56236 + 2837 + 4081 = 63154 \text{ kg}$ . Hiernach ergibt sich, nach Gleichung 147,  $N = 63154 \cos \alpha_1 + \left[ 31059 - \frac{3}{2} 6000 - 2000 (14,28 - 3) \right] \sin \alpha_1 = 63002 \text{ kg}$  und  ${}^aM = 31059 \cdot 21 - \left[ 63154 \cdot 5,91 + 6000 \left( 14,28 + \frac{11,28}{2} + \frac{11,28^2}{6} \right) \right] \text{ mkg}$ .

Im Querschnitt 7 findet die in Fig. 3 dargestellte ungünstigste Laststellung statt. Man erhält, nach der Gleichung 35,  $A_1 = \frac{2000}{48} (14,28 - 1,9) \left( \frac{14,28 + 1,9}{2} + 24 \right) = 16553 \text{ kg}$ , mithin, nach Gleichung 23 und Tabelle 2,  $A = A_1 + A_2 + \dots + A_4 = 16553 + 18998 = 35551 \text{ kg}$ . Nach Gleichung 38 ist  $H_1 = \frac{2000}{64 \cdot 24^3 \cdot 5,95} \left[ \left( 14,28^5 - 1,9^5 \right) - 10 \cdot 24^2 \left( \frac{14,28^3}{2} - \frac{1,9^3}{2} \right) + 25 \cdot 24^4 \left( \frac{14,28 - 1,9}{2} \right) \right] = 32881 \text{ kg}$ , mithin, nach Gleichung 24 und Tabelle 2,  $H = H_1 + H_2 + \dots + H_4 = 32881 + 9689 = 42570 \text{ kg}$ . Nach Gleichung 147 ergibt sich hieraus  $N = 42570 \cos \alpha_7 + (35551 - 6000) \sin \alpha_7 = 50814 \text{ kg}$  und  ${}^aM = 35551 \cdot 3 - (42570 \cdot 1,43 + 6000 \cdot 2,28) = 32098 \text{ mkg}$ .

Im Querschnitt 8 findet, nach Fig. 5, die ungünstigste Anspruchnahme bei voller Belastung des Trägers statt, folglich ist  $A = 2000 \cdot 14,28 + 3 \cdot 6000 + 3000 = 49560 \text{ kg}$  und  $H = 2 \cdot \frac{2000}{64 \cdot 24^3 \cdot 5,95} \left( 14,28^5 - 10 \cdot 24^2 \cdot 14,28^3 + 25 \cdot 24^4 \cdot 14,28 \right) + 9689 = 97084 \text{ kg}$ . Hiernach folgt, wegen Gleichung 147 und Tabelle I,  $N = 97084 \cdot \cos \alpha_8 + 49560 \cdot \sin \alpha_8 = 108985 \text{ kg}$  und  ${}^aM = 0 \text{ mkg}$ . Werden die vorstehend gefundenen Werthe mit den in ähnlicher Weise auch für die übrigen Querschnitte ermittelten Werthen  $A, H, N$  und  ${}^aM$  zusammengestellt, so ergibt sich folgende Tabelle III.

No. des Querschnitts im Obergurt.	Linker Stützendruck.		Normalkraft. N kg	Angriffsmoment. {}^aM mkg
	A kg	H kg		
0	20200	59184	59184	30645
1	31059	63154	63002	32240
2	39878	56324	56181	44629
3	37676	49015	49307	49289
4	35831	43384	44581	48503
5	34339	39147	42230	58206
6	33587	37115	42311	52982
7	35551	42570	50814	32098
8	49560	97084	108995	0

$\beta$ ) Ermittlung von  $N$  und  ${}^aM$  für die Querschnitte 0 bis 8 des Untergurts bei der, nach Textfig. 5, auf Texttafel B, Fig. 2 ausgeführten graphischen Bestimmung der ungünstigsten Laststellung.

Im Scheitelquerschnitt 0 findet, nach Texttafel B, Fig. 2, die in Fig. 8 dargestellte, ungünstigste Laststellung statt. Man erhält hieraus, nach Gleichung 35,  $A_1 = 2000 \cdot 9,22 = 18440 \text{ kg}$ , daher, nach Gleichung 23 und Tabelle II,

$A = 18440 + 18998 = 39440 \text{ kg}$ . Nach Gleichung 36 ist wegen der zum Scheitel symmetrischen Belastung  $H_1 = 2 \cdot \frac{2000}{64 \cdot 24^3 \cdot 5,95} [14,28^5 - 5,06^5 - 10 \cdot 24^2 (14,28^3 - 5,06^3) + 25 \cdot 24^4 (14,28 - 5,06)] = 46380 \text{ kg}$ , daher, nach Gleichung 24 und Tabelle II,  $H = 46380 + 2 \cdot 9689 = 65758 \text{ kg}$ . Hiernach ist aus Gleichung 147, wegen  $\alpha = 0$ ,  $N = H$ , ferner, mit Bezug auf Fig. 8,  ${}^aM = 65758 \cdot 5,95 + 6000 (23,18 + 20,28 + 17,28 + \frac{14,28}{2} + 9,22 \cdot \frac{9,67}{3}) - 39 \cdot 440 \cdot 24 = 30895 \text{ mkg}$ .

Für Querschnitt 1 stellt Textt. B, Fig. 9 die ungünstigste Laststellung dar. Man erhält hieraus, nach Gleichung 35,  $A_1 = \frac{2000}{48} [4,83(11,865 + 24) + 13,1(24 - 7,73)] = 16099 \text{ kg}$ , also, nach Gleichung 23 und Tabelle II,  $A = 16099 + 18998 + 2002 = 37099 \text{ kg}$ . Nach Gleichung 38 ist  $H_1 = \frac{2000}{64 \cdot 24^3 \cdot 5,95} [2 \cdot 14,28^5 - (9,45^5 + 1,18^5) - 10 \cdot 24^2 (2 \cdot \frac{14,28^3}{2} - (9,45^3 + 1,18^3))] + 25 \left( \frac{l}{2} \right)^4 (2 \cdot 14,28 - (9,45 + 1,18)) = 46030 \text{ kg}$ , daher, nach Gleichung 24 und Tabelle II,  $H = 46030 + 2 \cdot 9689 = 65408 \text{ kg}$ . Hiernach ist, nach Gleichung 147 und Tabelle I,  $N = 65408 \cdot \cos \alpha_1 + [37099 - (18998 + 2002 + 2000 \cdot 4,83)] \sin \alpha_1 = 65681 \text{ kg}$ , ferner, mit Bezug auf Fig. 9,  ${}^aM = 65408 \cdot 5,91 + 6000 (20,28 + 17,28 + 14,28 + \frac{11,28}{2}) + 4,83 \cdot 2000 \cdot 8,865 - 37099 \cdot 21 = 37998 \text{ mkg}$ .

Für Querschnitt 2 stellt Textt. B, Fig. 10 die ungünstigste Laststellung dar. Man erhält hieraus, nach Gleichung 35,  $A_1 = \frac{2000}{48} (2,4 + 14,28) \left( \frac{2,4 - 14,28}{2} + 24 \right) = 12552 \text{ kg}$ , also, nach Gleichung 23 und Tabelle II,  $A = 12552 + 18998 + 2002 = 33552 \text{ kg}$ . Nach Gleichung 38 ist  $H_1 = \frac{2000}{64 \cdot 24^3 \cdot 5,95} [2,4^5 + 14,28^5 - 10 \cdot 24^2 (2,4^3 + 14,28^3) + 25 \cdot 24^4 (2,4 + 14,28)] = 46386 \text{ kg}$ , daher, nach Gleichung 24 und Tabelle 2,  $H = 46386 + 2 \cdot 9689 = 65763 \text{ kg}$ . Hiernach findet man, nach Gleichung 147 und Tabelle I,  $N = 65763 \cdot \cos \alpha + [33552 - (18998 + 2002)] \sin \alpha_2 = 66808 \text{ kg}$ , ferner, mit Bezug auf Fig. 10,  ${}^aM = 65763 \cdot 5,73 + 6000 (17,28 + 14,28 + 11,28 + \frac{8,28}{2}) - 33552 \cdot 18 = 54766 \text{ mkg}$ .

Für Querschnitt 7 stellt Fig. 12 die ungünstigste Laststellung dar. Man erhält hieraus, nach Gleichung 35,  $A_1 = \frac{2000}{48} (11,89 + 14,28) \left( \frac{11,89 - 14,28}{2} + 24 \right) = 24867 \text{ kg}$ , also, nach Gleichung 23 und Tabelle 2,  $A = 24867 + 2002 = 26869 \text{ kg}$ . Nach Gleichung 38 ist  $H_1 = \frac{2000}{64 \cdot 24^3 \cdot 5,95} [11,89^5 + 14,28^5 - 10 \cdot 24^2 (11,89^3 + 14,28^3) + 25 \cdot 24^4 (11,89 + 14,28)] = 72733 \text{ kg}$ , daher, nach Gleichung 24 und Tabelle II,  $H = 72733 + 9689 = 82422 \text{ kg}$ . Nach Gleichung 147 und Tabelle I erhält man  $N = 82422 \cdot \cos \alpha_7 + 26869 \cdot \sin \alpha_7 = 86307 \text{ kg}$ , ferner, mit Bezug auf Fig. 12,  ${}^aM = 82422 \cdot 1,43 - 26869 \cdot 3 = 37256 \text{ mkg}$ .

Für Querschnitt 8 berechnen sich  $V, H, N$  und  ${}^aM$  wie bei der oberen Gurtung. Werden die vorstehend gefundenen Werthe mit den in ähnlicher Weise auch für die übrigen Querschnitte ermittelten Werthen  $A, H, N$  und  ${}^aM$  zusammengestellt, so ergibt sich folgende, IV. Tabelle:

No. des Querschnitts im Obergurt.	Linker Stützendruck.		Normalkraft N kg	Angriffsmoment. {}^aM mkg
	A kg	H kg		
0	39440	65758	65758	30895
1	37099	65408	65681	37998
2	33552	65763	66808	54766
3	18784	66980	69285	85960
4	23372	76555	79930	108435
5	23835	77399	80985	93533
6	24658	78850	82500	71255
7	26869	82422	86307	37256
8	49560	97084	108995	0

γ) Ermittlung von  $f$ ,  $t$ ,  $\frac{t}{a_0}$  und  $\frac{t}{a_u}$  für die Querschnitte 0–8, Texttafel B, Fig. 18–23. In denselben sind die Vertikalplatten durchweg 1,6 cm, die Horizontalplatten  $28 \times 1,6$  und  $28 \times 2$  cm, die 4 Winkeleisen je  $10,5 \times 10,5 \times 1,6$  cm stark, mit je 31,43 qcm Querschnitt. Die in Abzug gebrachten vertikalen Nietlöcher der Gurten haben einen Durchmesser von 2,6 cm. Hiernach ergibt sich z. B., unter Hinweis auf Fig. 20, für Querschnitt 5,  $f = 159.1,6 + 28(3.1,6 + 2) + 4.31,43 - 2.10.2,6 = 518,5$  qcm;  $t = \frac{1}{3} [22,8(95,75^3 + 70,05^3) - 5,4(94,15^3 + 64,85^3) - 12,6(92,55^3 + 63,25^3) - 3,2(83,65^3 + 54,35^3)] = 2103013$  Mcm,  $\frac{t}{a_0} = \frac{2103013}{95,75} = 21964$  und  $\frac{t}{a_u} = \frac{2103013}{70,05} = 30022$  Mcm. Stellt man die für sämtliche Querschnitte in ähnlicher Weise berechneten Werthe zusammen, so ergibt sich nachstehende, V. Tabelle:

Nro. des Querschnitts.	Querschnittsfläche $f$ qcm	Trägheitsmoment $t$ Mcm	Biegemoment der	
			oberen	unteren
			Gurtung $\frac{t}{a_0}$ Mcm	Gurtung $\frac{t}{a_u}$ Mcm
0	456,0	605912	13525	13525
1	469,1	742825	15191	15191
2	474,2	1136367	17365	20021
3	474,6	1880396	21188	24726
4	531,5	3250823	25641	35482
5	518,5	2103013	21964	30022
6	480,2	1122091	17118	20383
7	437,9	631309	12285	14747
8	383,0	—	—	—

δ) Ermittlung der durch die Verkehrslast erzeugten grössten Spannungen  $k^o$  und  $k^u$  in den obersten und untersten Fasern der Querschnitte 0–8, s. Textt. B, Fig. 18–23. Die durch Gleichung 152 und 153 gegebenen Werthe  $k^o$  und  $k^u$  setzen sich aus den bzw. in Gleichung 149, 150 und 151 enthaltenen Werthe  $k_v$ ,  $k_v^o$  und  $k_v^u$  zusammen und ergeben sich, z. B. für den Querschnitt 5, mit Berücksichtigung der früher erhaltenen Werthe  $N$ ,  $f$ ,  $\frac{t}{a_0}$ ,  $\frac{t}{a_u}$  und  $^*M$  wie folgt:

1) Bei der ungünstigsten Belastung für den Obergurt, s. Textt. B, Fig. 1, ist nach dem Früheren  $N = 42230$  kg,  $^*M = 58206$  mkg,  $f = 518,5$  qcm,  $\frac{t}{a_0} = 219,64$  und  $\frac{t}{a_u} = 300,22$ , daher  $k_v = \frac{42230}{518,5} = 81,5$  kg,  $k_v^o = \frac{58206}{219,64} = 265$  kg,  $k_v^u = -\frac{58206}{300,22} = -193,9$  kg, mithin  $k^o = 81,5 + 265 = 346,5$  und  $k^u = 81,5 - 193,9 = -11,4$  kg. Werden diese Werthe in ähnlicher Weise auch für die übrigen Querschnitte berechnet und zusammengestellt, so ergibt sich folgende, VI. Tabelle:

Nro. des Querschnitts.	Normalspannung $k_v$ kg	Obere Untere Biegungsspannung.		Obere Untere Gesamtspannung.	
		$k_v^o$ , kg	$k_v^u$ , kg	$k^o$ , kg	$k^u$ , kg
		0	129,8	226,6	-226,6
1	134,3	212,2	-212,2	346,5	-77,9
2	118,5	257,0	-222,9	375,5	-104,4
3	103,9	232,6	-199,3	336,5	-95,4
4	83,9	189,2	-136,7	273,1	-52,8
5	81,4	265,0	-193,9	346,5	-112,5
6	88,1	309,5	-259,9	397,6	-171,8
7	116,0	261,3	-217,7	377,3	-101,7
8	284,6	0	0	284,6	284,6

2) Bei der ungünstigsten Belastung für den Untergurt, s. Textt. B, Fig. 2, ist nach dem Früheren  $N = 80985$  kg und  $^*M = 93533$  mkg, daher  $k_v = \frac{80985}{518,5} = 156,1$ ,  $k_v^o = \frac{93533}{219,64} = 425,9$  kg,  $k_v^u = \frac{93533}{300,22} = 311,5$  kg, mithin  $k^o = 156,1 + 425,9 = 582,0$  und  $k^u = 156,1 - 311,5 = -155,4$  kg. Werden diese Werthe ähnlich für die

übrigen Querschnitte berechnet und zusammengestellt, so ergibt sich folgende VII. Tabelle:

No. des Querschnitts.	Normalspannung $k_v$ kg	Obere Untere Biegungsspannung.		Obere Untere Gesamtspannung.	
		$k_v^o$ , kg	$k_v^u$ , kg	$k^o$ , kg	$k^u$ , kg
		0	144,2	-288,4	228,4
1	140,0	-250,1	250,1	-110,1	390,1
2	140,9	-315,4	273,5	-174,5	414,4
3	146,0	-405,7	347,7	-259,7	493,7
4	150,4	-422,9	305,6	-272,5	456,0
5	156,1	-425,9	311,5	-269,8	467,6
6	171,8	-416,3	349,5	-244,5	521,3
7	197,1	-303,3	252,7	-106,2	449,8
8	284,6	0	0	-284,6	284,6

b. Die Spannungen durch das Eigengewicht ergeben sich aus der Gleichung 163, worin die Werthe  $N$  und  $H$  bzw. aus Gleichung 161 und 162 zu entnehmen sind. Beträgt das Eigengewicht des  $m$  Träger  $q = 990$  kg\*). Nach Gleichung 162 ergibt sich  $H = 990 \frac{24^2}{2.5.95} = 47920$  kg. Hieraus ergibt sich, unter Hinweis auf Gleichung 161 und Tabelle I, z. B. für den Querschnitt 5,  $N = \frac{47920}{\cos \alpha_5} = 50168$  kg und, da  $f = 518,5$  qcm ist, nach Gleichung 160,  $n = \frac{50168}{518,5} = 96,8$  kg. Werden diese Werthe auch für alle übrigen Querschnitte ermittelt und zusammengestellt, so ergibt sich nachstehende, VIII. Tabelle:

Nro. des Querschnitts.	0	1	2	3	4
Normalkraft $N$	47920	48012	48287	48741	49371
Normalspannung $n$	105,1	102,4	101,8	102,7	92,9

Nro. des Querschnitts.	5	6	7	8	
Normalkraft $N$	50168	51126	52235	53487	kg
Normalspannung $n$	96,8	106,5	119,3	139,7	kg

c. Die Spannungen  $k^o$  und  $k^u$  bei den grössten Temperaturdifferenzen ergeben sich aus Gleichung 169 und 170, wobei die Werthe  $n$ ,  $k_t^o$  und  $k_t^u$  bzw. aus den Gleichungen 165, 167 und 168 zu entnehmen sind. Die zur Berechnung von  $n$  erforderlichen Werthe von  $N$  und  $H$  werden sodann bzw. aus den Gleichungen 166 und 40 ermittelt. Wird die mittlere Temperatur, bei welcher der Schluss des Trägers im Scheitel stattfindet, zu  $+10^\circ$  R, die höchste und niedrigste zu bzw.  $+40^\circ$  und  $-20^\circ$ , also die grösste Aenderung zu  $\tau = 30^\circ$  R angenommen, so ist, da die Längenänderung für je  $1^\circ$  R,  $\alpha = \frac{1}{846.80}$  und der Elasticitätsmodul  $E = 2040000$  kg f. d. qcm beträgt, mit Benutzung der bekannten Parabelordinaten  $y$  und Trägheitsmomente  $t$  der Querschnitte näherungsweise der in Gleichung 40 enthaltene Nenner

$$\int_0^{l/2} \frac{y}{t} dx = 3 \left[ \frac{595^2}{605912} + \frac{591^2}{742825} + \frac{573^2}{1136367} + \frac{549^2}{1880396} + \frac{508^2}{3250823} + \frac{398^2}{2103013} + \frac{278^2}{1122091} + \frac{143^2}{631309} \right] = 5,279, \text{ daher,}$$

$$\text{aus Gleichung 40, } H = \frac{24.30.2040000}{846.80.5,279} = 4111 \text{ kg.}$$

\*) Laut Gewichtsrechnung wiegen 1) die eingleisige Eisenconstruction, nach Abzug der Widerlagertheile,  $\frac{353909}{2} = 176955$  kg  
 2) zwei Fahrschienen  $2.48.40 \dots \dots \dots 3840$  „  
 3) 47 Belagbohlen  $47.0.13.0.04.48.8 \dots \dots 9385$  „  
 daher  $q = \frac{190180}{4.48} = 990$  kg w. o. zusammen 190180 kg

Hieraus ergibt sich, unter Hinweis auf die bekannten Werthe von  $f, \frac{t}{a_o}, \frac{t}{a_u}$ , z. B. für den Querschnitt 5, aus den Gleichungen 166 und 39,  $N = 4111 \cdot \cos \alpha_s = 3927$  kg und  $M = 4111 \cdot 3,98 = 16362$  mkg, woraus  $n = \frac{3927}{518,5} = 7,6$  kg gefunden wird. Andererseits ergibt sich die Biegungsspannung  $k_t^o = \frac{16362}{219,64} = 74,5$  und  $k_t^u = 54,5$  kg, mithin für  $-20^\circ$  R und  $+40^\circ$  R bzw. die Gesamtspannung  $k^o = \mp 7,6 \mp 74,5 = \pm 66,9$  kg und  $k^u = \mp 7,6 \mp 54,5 = \mp 62,1$  kg. Werden in ähnlicher Weise auch die übrigen Spannungen berechnet und zusammengestellt, so ergibt sich nachstehende Tabelle:

Nro. des Querschnitts.	Normalspannung $n$ kg	Obere Untere Biegungsspannung.		Obere Untere Gesamtspannung bei $-20^\circ$ und $+40^\circ$ R.	
		$k_t^o$ kg	$k_t^u$ kg	$k^o$ kg	$k^u$ kg
0	9,0	188,4	188,4	+ 179,4	+ 197,4
1	8,7	159,9	159,9	+ 151,2	+ 168,6
2	8,6	135,7	117,7	+ 127,1	+ 126,3
3	8,5	106,6	91,3	+ 98,1	+ 99,8
4	7,5	81,4	58,8	+ 73,9	+ 66,3
5	7,6	74,5	54,5	+ 66,9	+ 62,1
6	8,0	66,8	56,1	+ 58,8	+ 64,1
7	8,6	47,9	39,9	+ 39,3	+ 48,5
8	9,6	0	0	+ 9,6	+ 9,6

4) Ermittlung der Gesamtspannungen. Werden die grössten, durch die Verkehrslast, durch das Eigengewicht und durch die Längenveränderung bei Temperaturwechsel erzeugten Spannungen in den äussersten Fasern bei der ungünstigsten Belastung für die obere und untere Gurtung zusammengestellt, so ergibt sich nachstehende:

Tabelle der Spannungen bei der für den Obergurt ungünstigsten Belastung.

Querschnitt-Nro.	Gurtung.	durch Verkehrsbelastung.	durch Eigengewicht.	zusammen bei $+10^\circ$ R.	Diff. für die Temperaturgrenzen.	zusammen bei	
						$-20^\circ$ R	$+40^\circ$ R
0	Obere	356,4	101,5	457,9	+ 179,4	637,3	278,5
	Untere	-96,8	101,5	4,7	+ 197,4	-192,7	202,1
1	Obere	346,5	102,4	448,9	+ 151,2	600,1	297,7
	Untere	-77,9	102,4	24,5	+ 168,6	-144,1	193,1
2	Obere	375,5	101,8	477,3	+ 127,1	604,4	350,2
	Untere	-104,4	101,8	-2,6	+ 126,3	-128,9	123,7
3	Obere	336,5	102,7	439,2	+ 98,1	537,3	341,1
	Untere	-95,4	102,7	7,3	+ 99,8	-92,5	107,1
4	Obere	273,1	92,9	366,0	+ 73,9	439,9	295,1
	Untere	-52,8	92,9	40,1	+ 66,3	-26,2	106,4
5	Obere	346,5	96,8	443,3	+ 66,9	510,2	376,4
	Untere	-112,5	96,8	-15,7	+ 62,1	-77,8	46,4
6	Obere	397,6	106,5	504,1	+ 58,8	562,9	445,3
	Untere	-171,8	106,5	-65,3	+ 64,1	-129,4	-1,2
7	Obere	377,3	119,3	496,6	+ 39,3	535,9	457,3
	Untere	-101,7	119,3	17,6	+ 48,5	-30,9	66,1
8	Obere	284,6	139,7	424,3	+ 9,6	414,7	433,9
	Untere	284,6	139,7	423,3	+ 9,6	414,7	433,9

Tabelle der Spannungen bei der für den Untergurt ungünstigsten Belastung.

Querschnitt-Nro.	Gurtung.	durch Verkehrsbelastung.	durch Eigengewicht.	zusammen bei $+10^\circ$ R.	Diff. für die Temperaturgrenzen.	zusammen bei		Spannungs-diff. b. const. Temperatur.
						$-20^\circ$ R	$+40^\circ$ R	
0	Obere	-84,2	101,5	17,3	+ 179,4	196,7	-162,1	440,6
	Untere	372,6	101,5	474,1	+ 197,4	276,7	671,8	469,4
1	Obere	-110,1	102,4	-7,7	+ 151,2	143,5	-158,9	456,6
	Untere	390,1	102,4	492,5	+ 168,6	323,9	661,1	468,0
2	Obere	-174,5	101,8	-72,7	+ 127,1	54,4	-199,8	677,1
	Untere	414,4	101,8	516,2	+ 126,3	389,9	642,5	645,1
3	Obere	-259,7	102,7	-157,0	+ 98,1	-58,9	-255,1	596,2
	Untere	493,7	102,7	596,4	+ 99,8	496,6	696,2	589,1
4	Obere	-272,5	92,9	-179,6	+ 73,9	-105,7	-253,5	545,6
	Untere	456,0	92,9	548,9	+ 66,3	482,6	615,2	508,8
5	Obere	-269,8	96,8	-173,0	+ 66,9	-106,1	-239,9	616,3
	Untere	467,6	96,8	564,4	+ 62,1	502,3	626,5	580,1
6	Obere	-244,5	106,5	-138,0	+ 58,8	-79,2	-196,8	642,1
	Untere	521,3	106,5	627,8	+ 64,1	563,7	691,9	693,1
7	Obere	-106,2	119,3	13,1	+ 39,3	52,4	26,2	483,5
	Untere	449,8	119,3	569,1	+ 48,5	520,6	617,6	551,5
8	Obere	284,6	139,7	424,3	+ 9,6	414,7	433,9	0,0
	Untere	284,6	139,7	423,3	+ 9,6	414,7	433,9	0,0

Aus dieser Tabelle folgt, dass die grösste Pressung des qcm unter 700 kg, die grösste Zugspannung unter 260 kg bleibt, während die grössten Spannungsdifferenzen in den Gurten bei einer und derselben Temperatur die Annahme des qcm von 700 kg gleichfalls nicht erreichen.

5. Berechnung der Stützkörper. Zunächst ergibt sich der grösste Druck aus

- a) der Verkehrsbelastung . . . 108996 kg,
- b) dem Eigengewicht . . . . . 53487 „
- c) der Temperatur . . . . . 3683 „

zusammen 166165 kg.

Der nutzbare Querschnitt misst 383 qcm, mithin empfängt der qcm einen Druck von  $\frac{166165}{383} = 434$  kg. Die Laibungsfläche der den Druck übertragenden Schraubenbolzen misst  $3,1,6(4,7+3,5,10+3,10+2,5,2) = 470,4$  qcm, mithin empfangen dieselben einen Druck von  $\frac{166165}{470,4} = 353$  kg.

Die Schnittfläche der Schraubenbolzen misst  $2 \cdot \frac{\pi}{4} (4^2 \cdot 7 + 3,5^2 \cdot 10 + 3^2 \cdot 10 + 2,5^2 \cdot 2) = 529,4$  qcm, mithin erfahren dieselben einen Druck von  $\frac{166165}{529,4} = 314$  kg. Die Keilfläche misst

$15,40 = 600$  qcm, empfängt also einen Druck von  $\frac{166165}{600} = 277$  kg a. d. qcm. Die Lagerplatte misst  $70 \cdot 160 = 11200$  qcm, empfängt daher einen Druck von  $\frac{166165}{11200} = 15$  kg a. d. qcm. Das Angriffsmoment in der Mitte des gusseisernen Bocks beträgt, bei gleichförmiger Vertheilung des Druckes auf die Lagerfläche,  $\frac{166165 \cdot 160}{2 \cdot 4} = 33233$  mkg. Mit Bezug auf Taf. 5, Fig. 12 bis 14 beträgt für den Querschnitt in der Mitte das Trägheitsmoment

$$t = \frac{1}{3} [56(17,1^3 - 10,1^3) + 70(15,4^3 - 8,9^3) + 3,5(10,1^3 + 8,9^3)] = 144502 \text{ Mem.}$$

Der Abstand der neutralen Axe von der untersten Lamelle beträgt  $a_n = 15,4$  cm, folglich das Biegemoment  $\frac{t}{a_n} = \frac{144502}{15,4} = 9383$ , also die dort auftretende Zugspannung  $k^u = \frac{33230}{93,83} = 354$  kg f. d. qcm. Die mittlere Querrippe besitzt eine Querschnittsfläche von  $54,6 = 324$  qcm und erfährt daher einen Druck von  $\frac{166165}{324} = 513$  kg a. d. qcm.

6. Berechnung der Scheerkräfte a) durch die Verkehrsbelastung. Die Scheerkraft ergibt sich aus Gleichung 148 und erreicht für den Querschnitt o ihr Maximum, wenn der halbe Bogenträger vom Auflager bis zum Scheitel belastet ist, s. Textt. B, Fig. 13. In diesem Fall ergibt sich aus Gleichung 35  $A = \frac{2000}{48} \cdot 14,28(24 - 7,14) = 10032$  kg, mithin, nach Gleichung 23 und Tabelle II,  $A = 10030 + 2002 = 12034$  kg. Nach Gleichung 38 ist  $H = \frac{2000}{64 \cdot 24^3 \cdot 5,95} (14,28^5 - 10,24^2 \cdot 14,28^3 + 25 \cdot 24^4 \cdot 14,28) = 38853$  kg; daher, nach Gleichung 24 und Tabelle II,  $H = 38853 + 9689 = 48542$  kg. Hieraus ergibt sich, nach Gleichung 148, wegen  $\alpha_o = o$ ,  $S = 12034 \cdot \cos \alpha_o - 48542 \sin \alpha_o = 12034$  kg, die Scheerspannung beträgt mithin, nach Gleichung 154, nur  $s_v = \frac{12034}{456} = 28,6$  kg f. d. qcm.

Die Scheerkraft im Querschnitt 8 am linken Bogenanfang erreicht ihr Maximum bei der in Fig. 14 dargestellten Belastung. In diesem Fall erhält man, nach Gleichung 35,  $A = \frac{2000}{48} 23,28(24 - 2,64) = 20719$  kg, und, nach Gleichung 23 und Tabelle II,  $A = 20,719 + 2002 = 22721$  kg. Nach Gleichung 38 ist  $H = \frac{2000}{64 \cdot 24^3 \cdot 5,95} [9^5 + 14,28^3 - 10,24^3(9^3 + 14,28^3) + 25 \cdot 24^4(9 + 14,28)] = 26788$  kg, mithin, nach Gleichung 24 und Tabelle 2,  $H = 26788 + 9689 = 75330$  kg. Hieraus erhält man, nach Gleichung 148 und Tabelle I, die Scheerkraft  $S = 22721 \cdot \cos \alpha_s$

— 75330.  $\text{sin} \alpha_s = -13106$  kg. Die Scheerspannung beträgt mithin, nach Gleichung 154, nur  $s_v = \frac{13106}{383} = 34,2$  kg f. d. qcm und noch weniger in den Querschnitten zwischen Scheitel und Anfang des Bogens;

b) durch Temperaturwechsel. Für die Temperaturgrenzen ist, nach dem Früheren,  $H = \pm 4111$  kg, und aus Gleichung 172)  $S_t = 4111 \cdot \text{sin} \alpha$ . Für den Querschnitt 0 im Scheitel und 8 am Bogenanfang erhält man bzw.  $S_t^0 = 4111 \cdot \text{sin} \alpha_0 = 0$  und  $S_t^8 = 4111 \cdot \text{sin} \alpha_8 = \pm 1826$  kg.

Die grösste Scheerkraft am Bogenanfang ist hiernach  $S_t = -13106 - 1826 = -14932$  kg, daher die grösste Scheerspannung  $s = \frac{14932}{383} = 39$  kg.

#### A. Die Längenträger und Vertikalpfosten.

Die ersteren besitzen eine Stützweite von 3 m und werden durch das Treibrad der Locomotive mit 8500 kg am meisten belastet, daher ergibt sich, bei freier Auflagerung der Enden, ein grösstes Angriffsmoment  $^a M = \frac{1}{4} \cdot 8500 \cdot 3 = 6375$  mkg. Bei einer constanten Belastung des m von 905 kg\*) ergibt sich ein solches von  $^a M = \frac{1}{8} \cdot 905 \cdot 3 = 340$  mkg, also zusammen 6715 mkg.

Der Querschnitt des Längenträgers, s. Textt. B, Fig. 26, besitzt ein Trägheitsmoment  $t = \frac{1}{12} (17,645^3 - 14,43^3 - 2 \cdot 29^3) - \frac{1}{3} \cdot 2,3,6(19^3 - 17^3) = 32147$  Mcm. Wegen  $a^0 = a^1 = 22,5$  cm ist  $\frac{t}{a} = \frac{32147}{22,5} = 1429$ , daher die grösste Anstrengung  $k = \frac{6715}{14,29} = 470$  kg f. d. qcm.

Für eine Locomotive von 41000 kg Gewicht und von 1,8 m Radstand ergibt sich bei einer Belastung der Triebaxen mit 8500 und einer Laufaxen mit 6000 kg der grösste Druck auf einen der je 3 m entfernten Pfosten  $Q = 8500 + 2 \cdot 6000 \cdot \frac{1,2}{3} = 13300$  kg, wozu die constante Belastung durch den Längenträger mit 905 kg, zusammen also eine solche von 14205 kg kommt.

Wird die Widerstandsfähigkeit des qcm eines auf seitliche Ausbiegung beanspruchten Stabes von der Länge  $l$ , dem Inhalt  $f$  und dem Trägheitsmomente  $t$  seiner Querschnittsfläche  $\frac{p}{n}$  gesetzt, worin für Schmiedeeisen  $n = 1 + \frac{1}{10667} \cdot \frac{f l^2}{t}$  ist, so ergibt sich z. B. für den 7., 513,7 cm langen Pfosten mit dem auf Textt. B, Fig. 24 dargestellten Querschnitt  $f = 3,2 \cdot 22,6 + 17,8 \cdot 4,8 - 21 \cdot 1,6 - 2 \cdot 3,2 \cdot 2,6 = 107,52$  qcm,  $t = \frac{1}{3} [3,2 \cdot 22,6^3 + 17,8 \cdot 4,8^3 - 21 \cdot 1,6^3 - 2 \cdot (16,2^3 - 11^3)] = 9825$  Mcm, woraus  $n = 1 + \frac{1}{10667} \cdot \frac{107,52 \cdot 513,7^2}{9825} = 1,271$ . Wird  $p = 700$  kg gesetzt, so ist  $\frac{p}{n} = \frac{700}{1,271} = 550$  kg, mithin die Widerstandsfähigkeit dieses Pfostens  $107,52 \cdot 550 = 59136$  kg, was reichlich genügt. Für den 6., 362,4 cm langen Pfosten mit dem in Textt. B, Fig. 25 dargestellten Querschnitt erhält man in ähnlicher Weise eine Widerstandsfähigkeit von 44554 kg, welche ebenfalls vollkommen genügt.

#### B. Die Querträger.

Die auf Taf. 5, Fig. 10 und 11 dargestellten Querträger von 20 cm Höhe, 10 cm Flanschbreite, 1 cm Stegdicke und 1,5 cm Flanschdicke besitzt eine Stützweite von 178 cm und nimmt die 150,8 cm weit entfernten Fahrschienen auf.

\*) Dieselbe setzt sich zusammen aus:

Eigengewicht . . . . .	313 kg
Querschwellen mit Winkeln . . . . .	161 „
Fahrschienen mit Stühlen etc. . . . .	138 „
Geländer . . . . .	106 „
Bohlenbelag . . . . .	187 „
zusammen	905 kg w. o.

Nimmt man eine constante Belastung von 163 kg\*) f. d. m und eine Belastung durch die Treibräder der Locomotive mit 8500 kg Raddruck an, so ist das Angriffsmoment aus der constanten Belastung  $^a M = \frac{1}{8} \cdot 163 \cdot 178 = . . . 3627$  mkg

Verkehrs-Belastung  $^a M = \frac{1}{2} \cdot 8500(178 - 150,8) = 115600$  „

zusammen 119227 mkg.

Dagegen entwickelt der Querträger ein Biegemoment

$$\frac{t}{a} = \frac{1}{10} \cdot \frac{10}{12} (20^3 - 17^3) = 257 \text{ Mcm,}$$

woraus sich eine grösste Anspruchnahme von nur  $\frac{119227}{257} = 464$  kg ergibt.

3. Spezielle Anordnung. Mit Bezug auf die unter 2 durchgeführte, statische Berechnung sind die einzelnen Theile der Brückenträger, Fahrbahn, Querverbände und Stützkörper, wie folgt, angeordnet worden. Die Brückenträger bestehen zunächst aus den Bogenträgern, welche, nach Tafel 5, unten durch einen Kreissegmentbogen von 50,894 m Radius, oben durch drei, mit den am Bogen-Anfang und Scheitel gezogenen Tangenten in je 0,8 m Abstand parallel laufende Gerade begrenzt sind und demnach aus vier geometrisch gleichen Theilen bestehen. Hiernach hat die Trägeraxe einen Radius von  $50,894 + 0,4 = 51,294$  m, während die zugehörigen Sehnen und Pfeile je 46,2 und 5,496 m betragen. Da die Länge jedes Trägeranlaufes zwischen Bogenanfang und Stützaxe je 1,05 m, der Neigungswinkel zwischen Tangente und Sehne je  $26^\circ 45' 56''$  beträgt, so ergibt sich die Stützweite und Pfeilhöhe dieser Träger zu bzw. 48,074 und 5,969 m.

a. Die Bogenträger sind mit einem wechselnden, durch Textt. B, Fig. 15—23, dargestellten I-förmigen Querschnitte versehen. Die normale Niettheilung der oberen Gurtung des Bogenträgers beträgt in deren horizontalen und geneigten Theilen sowie in den Langträgern 120 mm, während die Niete der unteren Gurtung vertical unter denjenigen der oberen Gurtung angeordnet sind. Hierbei haben die normaltheiligen Niete je 26 mm, die anormaltheiligen je 23 mm, die übrigen Niete der Normalsteifen und Deckplatten je 20 mm Schaftdurchmesser. Die Stösse der Verticalplatten liegen in den Theilungslinien der Verticalen und sind durch je zwei, je 560 mm breite, je 12 mm starke Stossplatten gedeckt. Nur die höchsten, zwischen 3 und 4 befindlichen Verticalplatten sind auch der Höhe nach getheilt und deren Stoss durch zwei Laschen von je 180 mm Breite und 12 mm Dicke gedeckt. Die Stösse der Horizontalplatten liegen stets in der Mitte zwischen zwei verticalen Nietten, bei mehrfachen Stössen um 4 Niettheilungen von einander entfernt. Nur diejenigen Stösse, welche nicht durch die darüber liegende Plattenlage gedeckt werden, haben Deckplatten von je 280 mm Breite und 16 mm Dicke, die auf jeder Seite des Stosses durch 8 Niete angeschlossen sind. Die Stösse der Winkelisen liegen in der Nähe der Verticalplatten-Stösse mitten zwischen je zwei horizontalen Nietten und sind durch Deckwinkel von 940 mm Länge gedeckt, welche auf jeder Seite des Stosses durch 7 Niete angeschlossen sind. Die aus je 2 Paar,  $50 \times 80 \times 12$  mm starken Winkelisen gebildeten Normal-Steifen passen scharf zwischen die Horizontalschenkel der Gurtwinkelisen und sind von den 12 mm dicken Deckplatten der Verticalplatten-Stösse auf die 16 mm starken Verticalschenkel der Gurtwinkelisen gekröpft. Die abstehenden Schenkel der Normalsteifen umschliessen Futterstäbe und Platten von je 16 mm Dicke, während sich an die zwischen den Bogenträgern befindlichen Steifen die Querverbindungen anschliessen. Zu beiden Seiten der Verticalplatte des Bogenanfangs und zwischen die verticalen Schenkel der Gurtwinkelisen sind

\*) Dieselbe setzt sich zusammen aus:

Eigengewicht . . . . .	= 1,7432 = 57 kg
Bohlenbelag . . . . .	9,0,13,0,05,0,84,800 = 39 „
Fahrschienen . . . . .	2,0,84,40 = 67 „
zusammen	= 163 kg w. o.



Futterplatten von 590 mm Breite, 16 mm Dicke und 1060 mm Länge aufgenietet, der Bogenfuss selbst ist genau rechtwinkelig bearbeitet und von zwei genau geschmiedeten Brückenstücken umfasst, welche sich an die Horizontal- und hier mittelst versenkter Nieten angeschlossene Verticalschenkel der Winkeleisen dicht anschliessen und mittelst 30 bis 50 mm starker, konischer, auf  $\frac{1}{100}$  verjüngter Schraubenbolzen mit ihm verbunden sind. Die Endfläche jedes Bogenfusses ist in der Mitte nach einem Radius von 150 mm glatt ausgebohrt, während zu beiden Seiten die Nuthen für die 80 mm breiten Hülfskeile eingehobelt sind.

b. Die Längenträger. Die Stösse der im Querschnitt I-förmigen Längenträger, s. Text. B. Fig. 26, liegen bei den Verticalplatten in der Theilungslinie der verticalen Pfosten und sind beiderseits durch 560 mm lange, 290 mm breite, 10 mm dicke Laschen gedeckt, bei den Winkeleisen in der Nähe der Verticalplatten-Stösse unter einem Horizontalniet und sind durch Deckwinkel von 800 mm Länge gedeckt, welche auf jeder Seite des Stosses durch 6 Nieten abgeschlossen sind. Um die Gurtträger auf die Langträger ohne Unterlagplatten und zwar in derselben Höhe wie bei den Bogenträgern befestigen zu können, sind die Gurtwinkeleisen der ersteren an der Verbindungsstelle beider Träger um 48 mm abwärts gekröpft, s. Taf. 5, Fig. 4, und hier mit der ersten Horizontalplatte des Obergurts des Längenträgers vernietet. Die hier entstehenden Winkel sind durch dreieckige Futterstücke ausgefüllt. Unter die Auflagerenden der Langträger, welche auf gusseisernen, mit Bleiplatten unterlegten, mit den Unterlagquadern verankerten Lagerplatten ruhen, sind Sattelbleche von 560 mm Länge, 180 mm Breite und 13 mm Dicke genietet. Ueber den Auflagern und den Verticalstäben sind die Langträger mit je 2 Paar  $80 \times 80 \times 10$  mm starken, auf Deckplatten und Futterstäben sitzenden, lothrechten Winkeleisen, deren Enden dicht an die Horizontalschenkel der Gurtwinkeleisen schliessen, ausgesteift, während die abstehenden Schenkel dieser Verticalsteifen ausserhalb Futterstäbe, innerhalb die Dreiecksbleche der zu den Verticalversteifungen gehörigen oberen Traversen umfassen. Sämmtliche Nieten der Langträger haben 20 mm Schaftdurchmesser.

c. Die Vertikalpfosten. Die je vier Winkeleisen der im Querschnitt +förmigen Verticalen, s. Text. B. Fig. 24 und 25, umschliessen parallel und normal zur Trägerebene Futterstäbe und Futterbleche von 16 mm Dicke, welche letztere mit Hülfe von Winkellappen, s. Taf. 5, Fig. 23, zum Anschluss der oberen und unteren Stabenden sowie der Horizontalsteifen dienen. Hierbei sind die Winkeleisen der Verticalpfosten über die senkrechten Schenkel jener Winkellappen gekröpft und scharf zwischen deren wagrechte Schenkel gepasst.

d. Die Horizontalsteifen bestehen sämmtlich aus vier Winkeleisen von je  $80 \times 80 \times 10$  cm Stärke, welche durch Nieten von 2 cm Durchmesser zu einem +förmigen Querschnitt verbunden sind. Die Enden dieser Winkeleisen sind sowohl über die Anschlussplatte, als auch über den Winkelschenkel der Verticalpfosten gekröpft und mit denselben vernietet.

e. Die an jene, zwischen den Bogenträgern befindlichen Normalsteifen angeschlossenen Verticalverbände bestehen aus vier je 16 mm starken Eckplatten, welche von den abstehenden Schenkeln der Normalsteifen umfasst werden, aus zwei Paar horizontalen Winkeleisen von  $65 \times 65 \times 8$  mm Stärke, und aus, mit je zwei 23 mm starken Nieten angeschlossenen, Flacheisen-Diagonalen von  $60 \times 60 \times 8$  mm Stärke in Nr. 0 und 7, von  $75 \times 75 \times 16$  mm Stärke in Nr. 1 bis 6 nebst Futterringen. Die in den Theilungsnummern 4 bis 7 und über den Auflagern angebrachten Verticalverbände zwischen den Langträgern sind an die Vertikalsteifen angeschlossen, haben sämmtlich gleiche Höhe und sind wie die von 0 bis 7 zwischen den Bogenträgern angebrachten construirt. Die zwischen die Verticalpfosten, die Bogen- und Langträger eingeschalteten Winkelverbände bestehen aus verlängerten Eckplatten, woran die aus  $90 \times 90 \times 16$  bis  $75 \times 75 \times 16$  mm starken

Flacheisen gebildeten Diagonalen abwechselnd vorn und hinten sich mittelst je 3 Nieten von 23 mm Schaftdurchmesser anschliessen. Diese Stäbe sind mit einer Spannung von 200 kg d. qcm eingesetzt und deren Anschlussnietlöcher um das dieser Spannung entsprechende Maass verkürzt gebohrt, während diese Diagonalen in ihren Kreuzungspunkten durch je 20 mm starke Nieten verbunden sind.

f. Die Horizontalverbände, welche aus durchweg  $90 \times 90 \times 16$  mm starken Flacheisen bestehen, sind durch Anschlussplatten sowohl an die Träger-Gurten, als auch an die Querverbände angeschlossen. Bei dem oberen, unmittelbar unter den Gurtträgern befindlichen Horizontalverbände sind zunächst neben den oberen horizontalen Winkeleisen der Querverbände horizontale Platten von 16 mm Dicke auf die horizontalen Schenkel der Gurtungswinkel bei den Bogen- und bei den Langträgern genietet, während diese Platten mit den Querverbänden durch je 10 mm starke Platten, die auf den horizontalen Winkeleisen der Querverbände liegen, mittelst Nieten verbunden, s. Taf. 5, Fig. 24 und 25. Bei dem unteren, zwischen den unteren Gurten der Bogenträger liegenden Horizontalverbände sind die Anschlüsse der aus Flacheisen bestehenden Diagonalen ähnlich bewirkt, nur die Schenkel dieser Stäbe der Neigung der unteren Gurtung entsprechend gebogen. Auch diese Diagonalen sind mit 200 kg d. qcm Spannung eingesetzt, an den Enden durch je zwei Nieten von 26 mm Durchmesser und in ihrem Kreuzungspunkte durch je einen Niet von 20 mm Schaftdurchmesser verbunden.

g. Die Brückenbahn ist durch im Querschnitt I-förmige,  $200 \times 13 \times 100 \times 9$  mm starke Querträger bewirkt, welche in Entfernungen von je 7 Niettheilungen oder von 840 mm auseinander liegen, zum Theil 5,66 mm lang sind und dann alle vier Bogenträger, zum Theil nur 3,2 m lang sind und dann zwei äussere Bogenträger verbinden, sowie die Bankette mit ihren Geländern unterstützen, s. Taf. 5, Fig. 6—9. Auf jede Gurtung sind dieselben mittelst zweier über den unteren Flansch gekröpfter, je 10 mm starker Winkellappen — von 230 mm Breite auf den Bogenträgern und von 180 mm Breite auf den Langträgern — genietet. Da die Oberkanten der Querswellen in einer Ebene liegen müssen, so ist ein Theil der letzteren mit 16 mm dicken Futterplatten unterlegt, deren Zahl von derjenigen der horizontalen Gurtungsplatten abhängt, s. Taf. 5, Fig. 4. Die gusseisernen Schienenstühle schliessen unten dicht an die Querträger, sind oben mit einer Neigung von 1:20 für die Fahrschienen behobelt und sind durch je zwei, mit Unterlagscheiben und Klemmen versehenen Schraubbolzen von 20 mm Durchmesser auf die Querschwelle befestigt. Die vorgekragten Enden der Querträger sind durch aufgenietete, horizontale Winkeleisen von  $80 \times 80 \times 10$  mm Stärke verbunden, s. Taf. 5, Fig. 15 und 16, während jeder Querträger einen aus 25 mm starkem Quadrateisen hergestellten Geländerpfosten mit ebenso starker Strebe trägt, welcher unten mit einem Lappen und einem 20 mm starken Niet an den Vertikalschenkel jenes Winkeleisens angenietet ist und oben ein Auge trägt, welches einen, an beiden Seiten gleichviel vorstehenden, 105 mm langen, Zapfen von 33 mm Durchmesser umfasst. Die Pfosten nehmen mittelst der letzteren gezogene, schmiedeeiserne Gasrohre von 40 mm äusserem und 33 mm innerem Durchmesser auf und sind ausserdem durch zwei Paar horizontale,  $25 \times 6$  mm starke Flacheisen mit Hülfe von ebenso starken Laschen und entsprechenden Futterstücken verbunden. Zwischen diese Flachstäbe sind in Entfernungen von je 21 cm mittelst je 6 mm starker Nieten kürzere Stäbe auf die in Fig. 15 dargestellte Weise eingeschaltet.

h. Der Stützkörper besteht aus einem gusseisernen, mit 1,6 m langer, 0,7 m breiter Grundplatte versehenen, durch 4 mit Blei vergossene Bolzen von 50 mm Durchmesser mit dem Mauerwerk verbundenen Bock, der mittelst einer Querrippe und dreier Längsrippen die Lager der Keile und der Charnierbolzen trägt, s. Taf. 5, Fig. 12—14. Die 560 mm langen, 360 mm breiten, 45 mm dicken Lagerplatten der Langträger besitzen vorstehende Ränder und sind mittelst 4, je 33 mm starker Ankerbolzen mit dem

Mauerwerk verankert. Die unter der Mutter dieser Bolzen angebrachten, 130 × 130 mm grossen quadratischen, je 20 mm dicken Scheiben sind nicht fest geklemmt, so dass sie eine Verschiebung der Längsträger gestatten.

Unter Zugrundelegung der vorstehenden, allgemeinen und speciellen Anordnung der Eisenconstruction der Brücke ergibt sich das Gewicht derselben aus folgender Zusammenstellung des Gewichts einer Oeffnung:

	Gewichte in kg.	
	Einzel	Zusammen
<b>A. Schmiedeeisen.</b>		
1. Zwei innere Träger	33650	67300
2. Zwei äussere Träger	34389	68778
3. Die Verticalverbände		18356
4. Der obere Horizontalverband		1795
5. Der untere "		1646
6. Die Fahrbahn		15425
7. Zwei Geländer	1825	3650
8. Acht Widerlager	425	3400
	Zusammen	180350
<b>B. Gusseisen.</b>		
1. Acht Widerlager	1136	9088
2. Acht Auflagerplatten	66	608
3. 244 Schienenstühle	6	1464
	Zusammen	11160
<b>C. Blei.</b>		
Zu Unterlagplatten und zum Vergrüssen der Ankerbolzen		388

**Taf. VI. Obermainbrücke in Frankfurt\*).**

1. Allgemeine Anordnung. Die Brücke verbindet Frankfurt mit Sachsenhausen, gegenüber der Frankfurter Stadtbibliothek, auf deren Portal ihre Axe gerichtet ist, während sie auf dem linken Ufer auf einen halbkreisförmigen, von 3 Strassen durchschnittenen Platz mündet, s. Taf. 6, Fig. 1, und überspannt den Main mit fünf Oeffnungen von 31,5; 35; 36,75; 35 und 31,5 m Stützweite und

<i>x</i>	0,875	2,625	4,375	6,125	7,875	9,625	11,375	13,125	14,875	16,625	18,375
<i>V</i>	2017,50	6052,50	10087,50	14122,50	18157,50	22192,50	26227,50	30262,50	34297,50	38332,50	42367,50
<i>R</i>	106343	106495	106801	107211	107862	108617	109511	110547	111225	113022	114489

Die Belastung der Verticalen setzt sich zusammen aus der  $\alpha$ ) ständigen Last:

Gewicht des Längsbandes einschl. d. Verticalen	3350 kg
Schienenendeckung	4437 "
Brückenbahn	45294 "
	zus. 53081 "

$\beta$ ) beweglichen Last von 965 kg und beträgt mithin  $\frac{53087}{21} + 965 = 3493$  kg.

b. Bei einseitiger Belastung bis zum Scheitel und mit Bezug auf den mittleren Theil des Trägers nimmt die im Scheitel wirkende Resultante *R* aller Kräfte eine geneigte Lage an. Bezeichnen *P*<sub>1</sub> und *P*<sub>2</sub>, s. Txfg. 48,

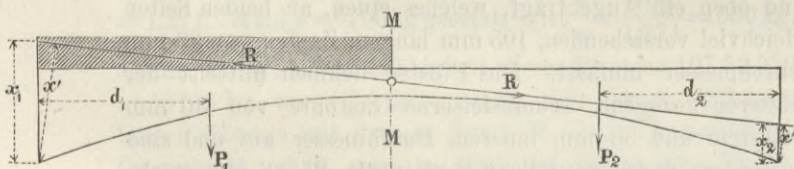


Fig. 48.

die in den, um bzw. *d*<sub>1</sub> und *d*<sub>2</sub> von ihren Stützpunkten abstehenden, Schwerpunkten der beiden Trägerhälften angreifenden Belastungen, *x*<sup>1</sup> und *x*<sup>11</sup> die Hebelarme der Resultante in Bezug auf jene Stützpunkte, so erfordert das Gleichgewicht gegen Drehung, dass  $Rx^1 = P_1d_1$  und  $Rx^{11} = P_{11}d_{11}$ . Hieraus ist, wenn man die vertikalen Abstände der Stützpunkte von der Resultante *x*<sub>1</sub> und *x*<sub>11</sub> nennt, wegen  $\frac{x_1}{x_{11}} = \frac{x^1}{x^{11}}$ ,  $\frac{x_1}{x_{11}} = \frac{P_1d_1}{P_{11}d_{11}}$ . Bei der angenommenen Belastungsweise ist  $P_1 = 42367,5$  kg,  $P_{11} = 32235$  kg und

\*) Vgl. die ausführliche Mittheilung des Erbauers, Ingenieur P. Schmick in Frankfurt a./M., in der Zeitschr. f. Baukunde. München 1879.

mittelst vier, oben 3,5 m starken Strompfeilern mit einem Gefälle von 1 : 40 an den Enden, an welches sich in der Mittellinie der beiden Endöffnungen ein Flachbogen mit 30,46 m Radius tangential anschliesst. Die Constructionshöhe im Bogenmittel sämtlicher Bogenträger ist zu 1 m, die Pfeilhöhen derselben bzw. zu 2,73; 3,42; 3,68; 3,42 und 2,73 angenommen. Die Pfeiler sind auf Beton mit Pfahlwand fundirt, mit Anlauf versehen, an den Sockeln und Vorköpfen mit Quadern, an den übrigen Theilen mit Halbquadern verkleidet. Die Bogenträger sind in Abständen von 1,75 m angeordnet worden, um besondere Gurträger ersparen und mit der in Belageisen bestehende Eindeckung auskommen zu können. Die Bogenträger sind ohne Gelenke ausgeführt und stemmen sich mit ihrem Fusse gegen ein doppeltes Keilpaar, mittelst dessen sie zwischen den Widerlagern fest eingespannt sind.

2. Statische Berechnung. Legt man einen innenliegenden Bogenträger der Mittelöffnung von 36,75 m mit einer Entfernung der 21 Knotenpunkte von je 1,75 m mit einer ständigen Belastung  $p = 3070$  kg\*), einer bewegten Belastung  $q = 965$  kg\*\*), also einer Gesamtbelastung  $p + q = 4035$  kg für den m zu Grunde, so ergeben sich folgende Anspruchnahmen der einzelnen Theile.

a. Bei vollständiger Belastung des Bogenträgers ist die

Gesamtbelastung	Q = 84735 kg
Spannweite	l = 36,75 m
Pfeilhöhe der Mittellinie des Bogens	f = 3,661 "

daher die Horizontalkraft im Bogenscheitel  $H = \frac{Ql}{8f} = \frac{84735 \cdot 36,75}{8 \cdot 3,661} = 106324$  kg. Die Vertikalkraft in der be-

liebigen Entfernung *x* vom Scheitel beträgt alsdann  $V = \frac{x}{l}Q$

und die Resultante beider  $R = \sqrt{H^2 + V^2}$ . Für verschiedene Abscissen *x* in m ergeben sich sodann nachstehende Werthe von *V* und *R* in kg.

$d_1 = d_{11} = \frac{l}{4}$ , mithin

$$\frac{x_r}{x_{rr}} = \frac{43367,5}{32235} = 1,314,$$

wodurch die Richtung der Resultirenden bestimmt ist.

Der Angriffspunkt der Resultirenden ist 6 cm über dem Schwerpunkte des Scheitelquerschnittes, d. h. in einem Punkte angenommen, für welchen die grössten Spannungen zu beiden Seiten des Bogenmittels nahezu gleich werden, und liegt also 3,8 m über den Stützpunkten\*\*\*).

Die Resultante *R* im Bogenscheitel, welche den Druck der rechten, entfernt gedachten Bogenhälfte vollkommen ersetzt, verbindet sich in dem Scheitel mit dem Gewichte des be- oder entlasteten, zwischen dem Scheitel und dem Querschnitt *ab*, s. Txfg. 49, befindlichen Stückes, welches

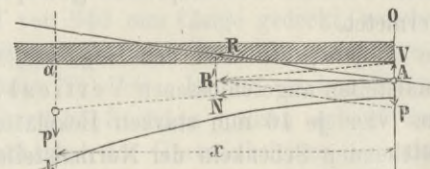


Fig. 49.

\*) Es beträgt nämlich:

1) Constructionsgewicht einschl. Windverband	14700 kg.
2) Schienenendeckung einschl. Befestigungsschrauben	153 · 1,45 · 20 = 4437 "
3) Brückenbahn-Betonirung, Ausmauerung der Eindeckung und Fahrbahn	36,75 · 1,45 · 850 = 45294 "
daher $p = \frac{64431}{21} = rot. 3070$ kg w. o.	zusammen 64431 kg.

\*\*) Die bewegte Belastung des *q* m Brückenbahn ist zu 380 kg angenommen und beträgt mithin für den Knotenpunkt

$$q = \frac{36,75 \cdot 1,45 \cdot 380}{21} = rot. 965 \text{ kg.}$$

\*\*) Die Oberkante des Scheitelquerschnittes liegt 3,661 + 0,58

man sich durch zwei an seinen Enden wirkende Kräfte  $p$  ersetzt denkt, wovon die im Querschnitt  $ab$  auf Abscheerung wirkende für diesen Fall vernachlässigt werden kann. Dagegen setzt sich die im Scheitel wirkende Kraft  $p$  mit  $R$  zu einer neuen Resultante  $R'$  zusammen, welche den Bögenträger im Querschnitt  $ab$  auf Druck und Biegung zugleich beansprucht. Die grössten Spannungen in den einzelnen Querschnitten ergeben sich dann aus der Zerlegung der Resultante  $R$  im Scheitel in eine lothrechte Komponente  $V$  und in eine nach der neutralen Axe des Querschnittes gerichtete Komponente  $N$ , s. Textfigur 49, wovon die erstere bei einem Abstand  $x$  des Querschnittes vom Scheitel ein Moment  $V \cdot x$  erzeugt und die letztere einen über den Querschnitt mit dem Inhalt  $f$  gleichförmig vertheilten Druck ausübt. Bezeichnet man mit  $t$  das Trägheitsmoment des Querschnittes, mit  $a$  den Abstand seiner äussersten Faser von der neutralen Axe, so ist die grösste Spannung in der obersten Faser des Querschnittes

$$k^o + \frac{N}{f} + \frac{a^o}{t} \cdot Vx$$

in der untersten Faser des Querschnittes

$$k^u = \frac{N}{f} + \frac{a^u}{t} \cdot Vx.$$

Mit Bezug auf die in Fig. 4, 5, 6 und 7 dargestellten Querschnitte ergeben sich für die Querschnitte 0, 1, 2, 3 und 4 die folgenden Werthe in qcm und cm.

Querschnitt	$f$	$a^o$	$a^u$	$t$	$\frac{t}{a^o}$	$\frac{t}{a^u}$
0	237,24	28,46	—	—	—	—
1	238,04	28,95	30,85	124809	4311	4045
2	244,44	32,91	33,29	153608	4667	4614
3	257,24	40,72	38,28	223545	5733	5839
4	284,24	54,97	43,33	321352	5845	7418

Nach dem Früheren ist, mit Bezug auf Textfig. 50,  $x_1 + x_2 =$

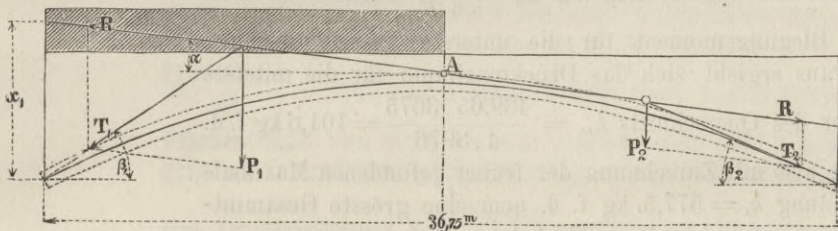


Fig. 50.

$= 7,6$  m, daher wegen  $\frac{x_1}{x_2} = 1,314$ ,  $x_1 = 4,316$  und  $x_2 = 3,284$ , daher aus  $\tan \alpha = \frac{4,316 - 3,284}{36,75}$  der Winkel, welchen die Resultante mit dem Horizont einschliesst,  $\alpha = 1^\circ 36' 31''$ . Ferner erhält man aus  $\tan \beta_1 = \frac{3,8 + 0,258}{9,1875}$  und  $\tan \beta_2 = \frac{3,8 - 0,258}{9,1875}$  bzw. die Winkel, welche die geneigten Stützendrücke  $T_1$  und  $T_2$  mit dem Horizont einschliessen,  $\beta_1 = 23^\circ 49' 49''$  und  $\beta_2 = 21^\circ 24' 58''$ . Mit Benutzung dieser Werthe ergibt sich

$$R = P_1 \frac{\cos \beta_1}{\sin(\alpha + \beta_1)} = P_2 \frac{\cos \beta_2}{\sin(\beta_2 - \alpha)} = 90223 \text{ kg.}$$

Wird diese Resultante im Scheitel nach der neutralen Axe  $A$ , des Querschnittes und nach einer Lothrechten im Scheitel zerlegt, so erhält man sofort die Druckkraft  $N$ , s. Textfig. 51, und die Vertikalkraft  $V = V' - p$ . Da nach obiger

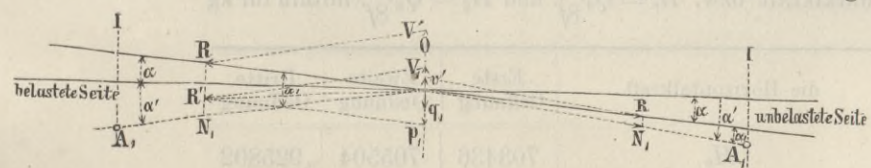


Fig. 51.

Tabelle die Schwerpunkte der Querschnitte um 28,95—22,6 = 6,35 cm unter dem angenommenen Angriffspunkt der Resultante liegen und die Entfernung des Querschnittes 1 + 0,01—0,225 = 4,026 m über den ideellen Stützpunkten (Durchschnittspunkt der Schwerlinie des Bogens und der ersten Vertikalen), und 0,285 m über dessen Schwerpunkt, daher liegt letzterer 4,026—0,285 = 3,741 m über den Stützpunkten.

vom Scheitel 87,5 cm beträgt, so ist  $\tan \alpha' = \frac{6,35}{87,5}$ , daher der Neigungswinkel von  $N$ ,  $\alpha' = 4^\circ 9' 3''$ . Hieraus erhält man

1) für die belastete Seite  $\alpha = \alpha + \alpha' = 5^\circ 45' 34''$ ,  $N = R \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha'} = 90425 \text{ kg}$ ,  $V = R \frac{\sin \alpha}{\sin \alpha'} = 9077,9 \text{ kg}$ ,  $p = 0,5 \cdot 2017,5 = 1008,75 \text{ kg}$  und  $V' = 8069,15 \text{ kg}$ , daher  $\frac{N}{f} = \frac{90425}{238,04} = 379,87 \text{ kg}$  und  $\frac{a^o}{t} V' x = \frac{8069,15 \cdot 87,5}{4311} = 163,78 \text{ kg}$  und  $k^o = 379,87 + 163,78 = 543,65 \text{ kg d. qcm}$ ,

2) für die unbelastete Seite  $\alpha = \alpha' - \alpha = 2^\circ 32' 22''$ ,  $N = R \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha'} = 90425 \text{ kg}$ ,  $V' = R \frac{\sin \alpha}{\sin \alpha'} = 4008,1 \text{ kg}$ ,  $q = 0,5 \cdot 1535 = 767,5 \text{ kg}$  und  $V = 3240,6 \text{ kg}$ , daher  $\frac{N}{f} = \frac{90425}{238,04} = 379,87 \text{ kg}$ ,  $\frac{a^o}{t} V' x = \frac{3240,6 \cdot 87,5}{4311} = 65,77 \text{ kg}$  und  $k^o = 445,64 \text{ kg d. qcm}$ .

Führt man diese Rechnungen auch für die 3 übrigen Querschnitte durch und stellt die erhaltenen Druckmaxima in kg für d. qcm zusammen, so ergibt sich für

Querschnitt	Druckmaximum	
	Belastete Seite	Unbelastete Seite
1	543,65	445,64
2	536,85	446,31
3	444,33	548,25
4	342,49	577,05

woraus folgt, dass die Maximalspannungen im mittleren Theile des Trägers, bei einseitiger Belastung bis zum Scheitel, die grösste zulässige Anspruchnahme nicht überschreiten.

Für die seitlichen Theile des Trägers hat man  $R = 90223 \text{ kg}$ , ferner die Stützendrücke

$$T_1 = P_1 \frac{\cos \alpha}{\sin(\alpha + \beta_1)} = 98593 \text{ kg} \text{ und } T_2 = P_2 \frac{\cos \alpha}{\sin(\beta_2 - \alpha)} = 96653 \text{ kg.}$$

Zerlegt man  $T$ , in eine zum ersten Bogenstück und in eine zur ersten Vertikalen parallele Komponente, so ergibt sich, mit Bezug auf Textfig. 52, bzw.  $B_{11} = T \frac{\cos \beta_1}{\cos b_{11}}$  und

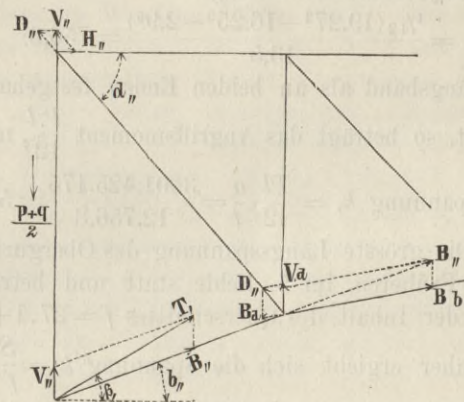


Fig. 52.

$V_{11} = T \frac{\sin(\beta_1 - b_{11})}{\cos \beta_{11}}$ . Von der letzteren kommt die Belastung  $\frac{p+q}{2}$  der ersten Vertikalen in Abzug, es bleibt mithin eine Vertikalkraft  $V'_{11} = V_{11} - \frac{(p+q)}{2}$  übrig, welche oben in der Richtung der oberen Gurtung und der Diagonale zu zerlegen ist, woraus sich, mit Bezug auf Textfig. 52,  $H_{11} = V'_{11} \frac{\cos d_{11}}{\sin d_{11}}$  und  $D_{11} = \frac{V'_{11}}{\sin d_{11}}$  ergibt.

Im zweiten Knotenpunkte des Untergurts wirken die beiden Kräfte  $B_{11}$  und  $D_{11}$ , welche nach der Richtung des zweiten Bogenstückes und der zweiten Vertikalen zu zerlegen sind. Hieraus ergibt sich, z. B. für das 10. Feld, die Spannung im Untergurt  $B_{10} = B_{11} - B_{10}$  und die Vertikalspannung  $V_{10} = V_{11} + V_{10}$ . Berechnet man auf analoge Weise sämtliche Zug- und Druckspannungen in den einzelnen Theilen der belasteten und unbelasteten, gegliederten Hälfte des Trägers, so erhält man folgende Spannungen:

Nr.	Belastete Seite.			
	Untergurt.	Vertikale.	Diagonale.	Obergurt.
11	-96800	-4800	+3200	-1600
10	-93800	-7200	+3900	-3800
9	-90300	-7500	+4600	-6800
8	-86300	-7700	+5700	-11000
7	-81100	-7900	+7200	-17000
6	-74500	-8000	+9200	-25200
5	-65600	-8100	+12400	-37000

Nr.	Unbelastete Seite.			
	Untergurt.	Vertikale.	Diagonale.	Obergurt.
11	-96700	-250	+2000	-1000
10	-96500	-1500	+2000	-2000
9	-96400	-1700	+1800	-3200
8	-96600	-2200	+1400	-4200
7	-96800	-2500	+900	-5000
6	-96800	-3200	-500	-4600
5	-95800	-3600	-1600	-3000

Die Berechnung der Maximalspannungen ergibt sich hieraus wie folgt.

a) Der im Untergurt stattfindende, grösste Druck bei vollständiger Belastung ist, nach dem Früheren,  $R=114489$  kg. Der Querschnitt desselben besteht aus einer 43 cm hohen, 1 cm starken Vertikalplatte, zwei je  $28 \times 1$  cm starken Horizontalplatten und vier je  $10 \times 10 \times 1,2$  cm starken Winkeleisen, besitzt mithin einen Inhalt  $f=43.1+2.28.1+4.22.56=189,24$  qcm. Die grösste Druckspannung beträgt daher  $k = \frac{R}{f} = \frac{114489}{189,24} = 605$  kg f. d. qcm.

b) Der Obergurt wird theils durch die zwischen zwei benachbarten Vertikalen befindliche Belastung auf Biegung, theils durch die darin wirkenden Horizontalkräfte auf Druck oder Zug beansprucht.

Die grösste Belastung eines zwischen zwei benachbarten Vertikalen befindlichen Stückes beträgt  $P=3001,425$  kg\*). Das Biegemoment des auf Taf. 6, Fig. 8 und 9 dargestellten, aus einem  $27 \times 1$  cm starken Verticalblech und vier je  $9 \times 9 \times 1$  cm starken Winkeleisen zusammengesetzten I-förmigen Querschnittes beträgt

$$\frac{t}{a} = \frac{1/12(19.27^3 - 16.25^3 - 2.9^3)}{13,5} = 756,3.$$

Da das Längsband als an beiden Enden festgehalten anzusehen ist, so beträgt das Angriffsmoment  $\frac{P \cdot l}{12}$ , mithin die

Biegungsspannung  $k = \frac{P \cdot l \cdot a}{12 \cdot t} = \frac{3001,425 \cdot 175}{12 \cdot 756,3} = 58,2$  kg f. d. qcm.

Die grösste Längsspannung des Obergurts findet, nach dem Früheren, im 5. Felde statt und beträgt  $S=37000$  kg, der Inhalt des Querschnittes  $f=27.1+4.17=959$  cm, daher ergibt sich die Spannung  $k_{,,} = \frac{S}{f} = \frac{37000}{95} = 389,5$  und  $k = k + k_{,,} = 447,7$  kg d. qcm.

c) Die Vertikalen und Diagonalen bestehen aus je vier Winkeleisen von  $f=4.12,16=48,64$  qcm Querschnitt. Bei voller Belastung, bei welcher die Diagonalen ohne Spannung sind, trägt jede Vertikale die Last  $Q=3493$  kg, mithin beträgt die Druckspannung in den Vertikalen  $d = \frac{Q}{f} = 71,8$  kg d. qcm.

Nach früherer Berechnung erfährt die Diagonale im 5. Felde der belasteten Hälfte die grösste Spannung  $Y=12400$  kg, woraus sich eine grösste Anspruchsnahme von  $z = \frac{Y}{f} = \frac{12400}{48,64} = 255$  kg d. qcm. ergibt.

d) Der Brückenbelag. Die Belageisen haben, mit Bezug auf cm, ein Biegemoment  $b=42$ , liegen auf eine

\*) Es beträgt nämlich:

das Eigengewicht	$0,95+17,5 \cdot 78 = 129,665$ kg
„ Gewicht der Fahrschienen	$14,5+1,45+7,5 = 157,500$ „
„ „ „ Fahrbahn	$1,75 \cdot 1000 = 1750,000$ „
„ Verkehrsgewicht	$964,250$ „
	zusammen $2001,426$ kg w. o.

Länge  $l=1,45$  m frei und sind auf die Bogenträger genietet. Beträgt der grösste Raddruck, welcher sich auf mindestens 3 Belageisen vertheilt, 4500 kg, so erfährt eines derselben eine Belastung von  $P=1500$  kg, welche in demselben eine grösste Spannung  $k = \frac{Pl}{8 \cdot b} = \frac{1500 \cdot 145}{8 \cdot 42} = 647,3$  kg d. qcm erzeugt.

### C. Spannungen bei Temperaturwechsel.

Bezeichnet  $f=3,661$  m die Pfeilhöhe des Bogens bei mittlerer Temperatur,  $f'$  die Pfeilhöhe des Bogens bei veränderter Temperatur,  $\delta$  die Differenz der bei Temperaturwechsel veränderten Länge des halben Bogens, so beträgt für die Spannweite  $l=36,75$  m die Hebung oder Senkung des Bogens

$$f' - f = \frac{3l/2\delta}{4f},$$

mithin, wenn die Länge des Bogens zu 37,8 m, die Ausdehnung des Eisens für  $1^\circ\text{C}$  zu 0,00001235 m, die höchste und niedrigste Temperatur zu bzw.  $+35$  und  $-15^\circ$ , die mittlere also zu  $25^\circ$  angenommen wird, die Längendifferenz für den halben Bogen  $\delta=18,9 \cdot 25 \cdot 0,00001235 = 0,00584$  m und

$$f' - f = \frac{3 \cdot 18,375 \cdot 0,00584}{4 \cdot 3,661} = 0,022 \text{ m.}$$

Die Einsenkung eines an beiden Enden frei aufliegenden, durch eine in seiner Mitte wirkende Einzellast  $P$  belasteten Trägers misst  $\sigma = \frac{P \cdot l^3}{tE \cdot 48}$ , worin der Elasticitätsmodul  $E=1700000$  kg und  $t=121553$  beträgt. Für die Einsenkung  $\sigma=2,2$  cm ergibt sich die der Temperaturwirkung äquivalente Kraft

$$P = \frac{121553 \cdot 1700000 \cdot 48 \cdot 2,2}{36,75^3} = 439,65 \text{ kg.}$$

Die von dieser Kraft hervorgerufene Spannung im Querschnitt ergibt sich aus  $k_{,,} = \frac{P \cdot l}{4 \cdot b}$ , worin  $b=3976$

das Biegemoment für die unterste Faser bezeichnet. Hieraus ergibt sich das Druckmaximum für die unterste Faser des Querschnittes  $k_{,,} = \frac{439,65 \cdot 3675}{4 \cdot 3976} = 101,6$  kg f. d. qcm, also mit Zurechnung der früher gefundenen Maximalspannung  $k = 577,5$  kg f. d. qcm eine grösste Gesamtspannung  $k = k + k_{,,} = 679,1$  kg.

d. Berechnung der Pfeiler. Die ständigen Verkehrs- und Gesamtsbelastungen der drei ersten Oeffnungen betragen in kg

Bezeichnung der Gewichte	Erste Oeffnung	Zweite Oeffnung	Dritte Oeffnung
Eigengew. der Träger . . .	113987	135879	144508,5
„ „ Windverbands . . .	8424	9355	9984,0
Eindeckung mit Befestigung . . .	20850	24100	25200,0
Brückenbahn . . . . .	315000	350000	367500,0
Geländer mit Befestigung . . .	26775	29750	31237,0
Summe der ständigen Last . . .	485036	549084	578430,0
Verkehrsbelastung . . . . .	173565	192850	202492,5
Gesamtsbelastung . . . . .	658601	741934	780922,5

Bezeichnen  $l$  die Spannweiten,  $f$  die Pfeilhöhen,  $Q_s$  und  $Q_g$  bzw. die ständigen und Gesamts-Belastungen der Oeffnungen, so ist für diese beiden Belastungen die Horizontalkraft bzw.  $H_s = Q_s \cdot \frac{l}{8f}$  und  $H_g = Q_g \cdot \frac{l}{8f}$ , mithin für kg

die Horizontalkraft	Erste Oeffnung	Zweite Oeffnung	Dritte Oeffnung
$H_s$	703436	705504	925802
$H_g$	955155	953293	979886

Hieraus folgt, dass die grösste Differenz der Horizontalkräfte dann stattfindet, wenn die dritte (mittlere) Oeffnung vollbelastet, die zweite und vierte Oeffnung unbelastet ist, in welchem Falle  $H_d = H_g - H_s = 979886 - 705504 = 274382$  kg beträgt und auf die Stützpunkte je eines der beiden mittleren Strompfeiler wirkt. Hierzu

kommen die lothrechten Drucke der halben belasteten Mittelöffnung  $P_b = \frac{780922,5}{2} = \text{rot. } 390460 \text{ kg}$  und einer halben unbelasteten Nebenöffnung  $P_u = \frac{5490811}{2} = 274542 \text{ kg}$ , s. Text-fig. 53, deren Differenz  $P_b - P_u = 115918 \text{ kg}$  ein entgegengesetzt drehendes Moment  $115918 \cdot 1,75 \text{ m}$  entwickelt.

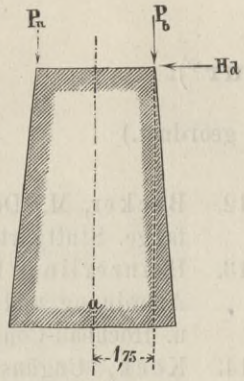


Fig. 53.

Werden alle Momente auf die Sohle des Mauerwerks bezogen, in welchem Falle der Hebelarm von  $H_a$   $87,665 - 89,9 = 7,765 \text{ m}$  beträgt, so erhält man das Angriffsmoment  $^aM = 274382 \cdot 7,765 - 115918 \cdot 1,75 = 1927709,73 \text{ mkg}$ , welches dem Widerstandsmoment  $^wM = k \cdot 164,212 \text{ mkg}$  der Mauerwerksohle entsprechen muss, woraus sich die Spannung in den letzteren  $k = \frac{^aM}{164,212} = 11739 \text{ kg d. qm}$  ergibt. Jene Sohle besitzt einen Flächeninhalt von  $151,58 \text{ qm}$  und erfährt einen Druck von  $2880042 \text{ kg}^*$ , mithin für den qm eine Druckspannung von  $\frac{2880042}{151,58} = 19000 \text{ kg}$ , die grösste und kleinste Druckspannung in derselben ergibt sich also für den qm zu bzw.  $19000 + 11739 = 30739 \text{ kg}$  und  $19000 - 11739 = 7261 \text{ kg}$ .

Bezieht man alle Momente auf die Basis des Pfeilerschaftes mit dem in Fig. 54 dargestellten Vorkopf, so beträgt der Hebelarm der Horizontalkraft  $97,665 - 92,71 = 4,955 \text{ m}$ , mithin das Angriffsmoment  $^aM = 274382 \cdot 4,955 - 115918 \cdot 1,75 = 1156696,3 \text{ mkg}$ , welches dem Widerstandsmoment  $^wM = k \cdot 60$  der Pfeilerbasis entsprechen muss, woraus sich die Spannung des qm in der letzteren  $k = \frac{1156696,3}{60} = 19278,27 \text{ kg}$  ergibt. Jene Basis besitzt einen Flächeninhalt von  $8689 \text{ qm}$  und erfährt einen Druck von  $2180040 - 855720^*) = 2024322 \text{ kg}$ , mithin für den qm eine Druckspannung von  $\frac{2024322}{86,89} = 23298 \text{ kg}$ . Die grösste und kleinste Druckspannung des qm ergibt sich mithin zu bzw.  $23298 + 19278,27 = 42576,27 \text{ kg}$  und  $23298 - 19278,8 = 4019,73 \text{ kg}$ .

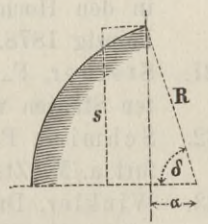


Fig. 54.

Die Differenz der Horizontaldrucke  $H_a$  wirkt ferner auf Abschieben des Pfeilerkopfes auf der  $57,75 \text{ qm}$

\*) Zu  $P_b + P_u$  kommt nämlich das Gewicht des Pfeiler-mauerwerkes von  $9085 \text{ cbm}$  zu  $2400 \text{ kg} \cdot 2180040 \text{ kg}$   
 von  $3 \text{ m}$  Fahrbahn à  $10000 \text{ kg}$   $30000 \text{ „}$   
 „ gusseisernen Lagerplatten  $5000 \text{ „}$   
 zusammen  $2215040 \text{ „}$

\*) Gewicht des gemauerten Pfeiler-Fundamentes.

messenden Kämpferfläche mit einer Kraft von  $\frac{274382}{57,75} = 4751 \text{ kg f. d. qm}$ . Da die Belastung jener Fläche  $2180040 - 1038338 = 1141602 \text{ kg}$ , also  $\frac{1141602}{57,75} = 19770 \text{ kg f. d. qm}$  und der Reibungscoefficient von Sandsteinmauerwerk  $0,7$  beträgt, so ergibt sich der mehr als genügende Scheerwiderstand von  $0,7 \cdot 19770 = 13839 \text{ kg}$ .

Das linksseitige Widerlager erfährt bei voller Belastung der ersten Oeffnung den Horizontaldruck von  $955155 \text{ kg}$ , der in Bezug auf die unterste Mauer-sohle an einem Hebelsarm von  $7,765 \text{ m}$  wirkt, ferner einen Vertikaldruck von  $\frac{658601}{2} = \text{rot. } 329300 \text{ kg}$ , dessen Hebelarm, nach Fig. 55,  $3,4 \text{ m}$  beträgt. Hieraus ergibt sich ein An-griffsmoment  $^aM = 955155 \cdot 7,765 - 329300 \cdot 3,4 = 6297159 \text{ mkg}$ , welches dem Widerstandsmoment  $^wM = k \cdot 351,72$  der Mauer-sohle zu entsprechen hat, woraus sich die Spannung des qm im letzteren  $k = \frac{6297159}{351,72} = 17904 \text{ kg}$  ergibt. Jene Sohle besitzt einen Flächeninhalt von  $223,2 \text{ qm}$  und erfährt einen Druck von  $4665000 \text{ kg}$ , daher eine Druckspannung des qm von  $\frac{4665000}{223,2} = 20558 \text{ kg}$ . Die grösste und kleinste Druckspannung des qm ergibt sich mithin zu bzw.  $20558 + 17904 = 38462 \text{ kg}$  und zu  $20558 - 17904 = 2654 \text{ kg}$ .

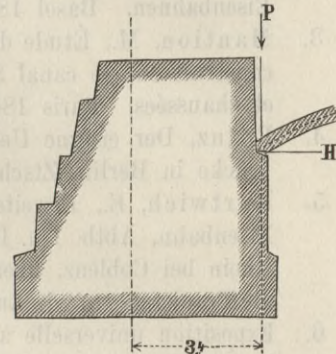


Fig. 55.

Die Horizontalkraft  $955155$  wirkt ferner auf Abscheeren des Pfeilerkopfes auf der  $128,8 \text{ qm}$  messenden Kämpferfläche mit einer Intensität von  $\frac{955155}{128,8} = 7416 \text{ kg f. d. qm}$ . Da die Belastung jener Fläche  $1389800 \text{ kg}$  beträgt, so ergibt sich der genügende Scheerwiderstand von  $\frac{0,7 \cdot 1389800}{128,8} = 7553 \text{ kg f. d. qm}$ .

3. Spezielle Anordnung. Nach vorstehender allgemeiner Anordnung und statischer Berechnung ist die Construction im Einzelnen durchgeführt. Dieselbe ergibt sich aus den Figuren 2 bis 21 der Taf. 6 und bezieht sich auf das ursprüngliche Project, an welchem bei der Ausführung einige, jedoch unwesentliche Abänderungen vorgenommen wurden. Die Detailconstruction der Bogen-träger, deren Gurtquerschnitte aus den Figuren 4, 5, 6, 7, 9 zu ersehen sind, ergeben sich aus den Figuren 15 bis 19, welche den oberen und unteren Knotenpunkt 9 in Ansicht und Horizontalschnitt, sowie einen Knotenpunkt des Horizontalverbandes deutlich darstellen. Die Lagerung des Obergurts sowie des Untergurts ersieht sich bzw. aus den Figuren 8, 10 und 11, während Fig. 20 und 21 Längenschnitte bzw. durch die Fahrbahn und durch die Bankette darstellen.

## 5. Literatur\*).

(Nach der Zeitfolge geordnet.)

1. Schmick, P., Brücke über die Lahn in Ems. Ztschr. f. Bauw. 1855.
2. Etzel, Brücken- und Thalübergänge schweizerischer Eisenbahnen. Basel 1856.
3. Manton, M., Étude de la partie métallique du pont construit sur le canal St. Denis. Annales des ponts et chaussées. Paris 1860. Nr. 265.
4. Franz, Der eiserne Ueberbau der neuen Unterspreebrücke in Berlin. Ztschr. f. Bauw. Berlin 1866.
5. Hartwich, E., Erweiterungsbauten der Rheinischen Eisenbahn, Abth. I u. III mit den Brücken über den Rhein bei Coblenz, über die Ruhr bei Mülheim, über die Trankgasse u. d. Lupusplatz in Cöln. Brl. 1864.
6. Exposition universelle à Paris en 1867. Notices sur les modèles, cartes et dessins relatifs aux travaux publics. Paris 1867.
7. Fränkel, Dr. W., Berechnung eiserner Bogenbrücken, Civilingenieur 1867.  
— Construction und Berechnung von Fahrbahnen für eiserne Strassenbrücken. Ztschr. f. Bauw. 1868.
8. Winkler, Dr. E., Vortrag über die Berechnung der Bogenbrücken, Mittheilungen des Architekten- und Ingenieur-Vereins in Böhmen 1868.
9. Heinzerling, Dr. F., Die Brücken in Eisen. Leipzig 1870.
10. Schmitt, Dr. E., Ueber die Construction eiserner Bogenträger, Civilingenieur 1870.
11. Ritter, Dr. A., Elementare Theorie und Berechnung eiserner Dach- und Brücken-Constructions. Hannover 1870.  
Mississippibrücke bei St. Louis. Zeitschr. d. österr. Ing.-Ver. Bd. XX u. XXII.
12. Becker, M., Der Brückenbau in seinem ganzen Umfange. Stuttgart 1873.
13. Heinzerling, Dr. F., Grundzüge der constructiven Anordnung und statischen Berechnung der Brücken- u. Hochbau-Construction II, 2. Lpzg. 1874.
14. Keck, Ungünstigste Belastungsart für Fachwerkträger, continuirliche Gelenkträger und für Bögen mit 3 Gelenken. Ztschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover. 1874. S. 352 ff.
15. Tetmajer, L., Die äusseren und inneren Kräfte an statisch bestimmten Brücken- und Dachstuhl-Constructions. Zürich 1875.
16. Margarethenbrücke in Pest. Deutsche Bauzeitung 1876.
17. Ritter, W., Der Bogen mit festem Auflager. Zeitschrift f. Bauw. Berlin 1876.
18. Köstlin A. u. Battig A., Die Tegetthoff-Brücke in Wien. Allg. Bztg. 1877. S. 12 ff.
19. Rziha, F., Eisenbahn-Unter- und Oberbau. Bd. II. Brückenbau. Wien 1877.
20. Klasen, L., Graphische Ermittlung der Spannungen in den Hochbau- und Brückenbau-Constructions. Leipzig 1878.
21. Steiner, F., Ueber Brückenbauten in den Vereinigten Staaten von Nordamerika. Wien 1878.
22. Schmick, P., Brücken- und Uferbauten in Frankfurt a./M. Ztschr. f. Baukunde. 1879.
23. Winkler, Dr. E., Beitrag zur Theorie der Bogenträger. Zeitschrift des Hannover Arch.- und Ing.-Ver. 1879.
24. Engesser, Fr., Theorie und Berechnung der Bogenträger ohne Scheitelgelenk. Berlin 1880.

\*) Vorstehend ist nur die wichtigste neuere Literatur angegeben.

## Verbesserungen.

## 1. Text.

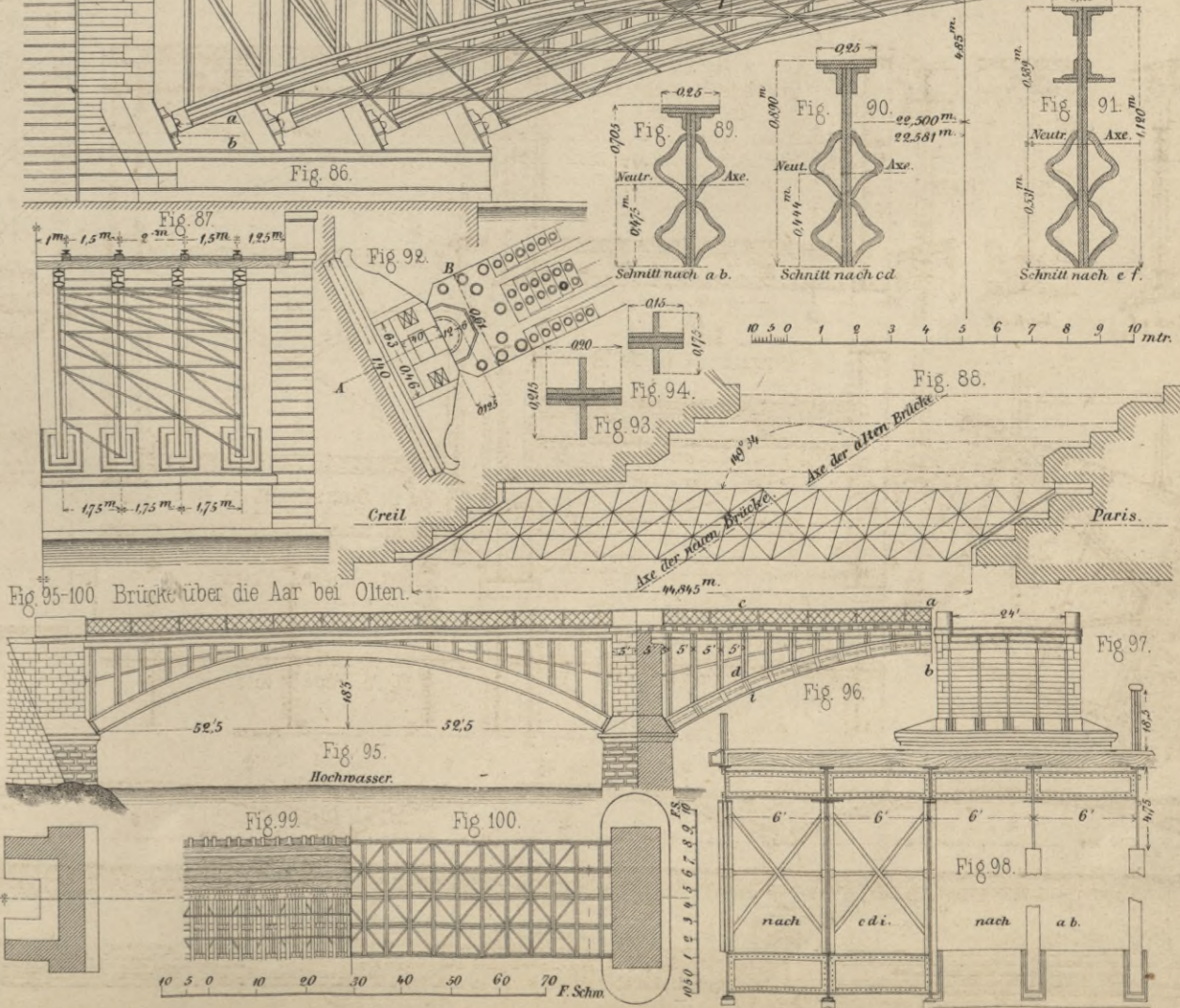
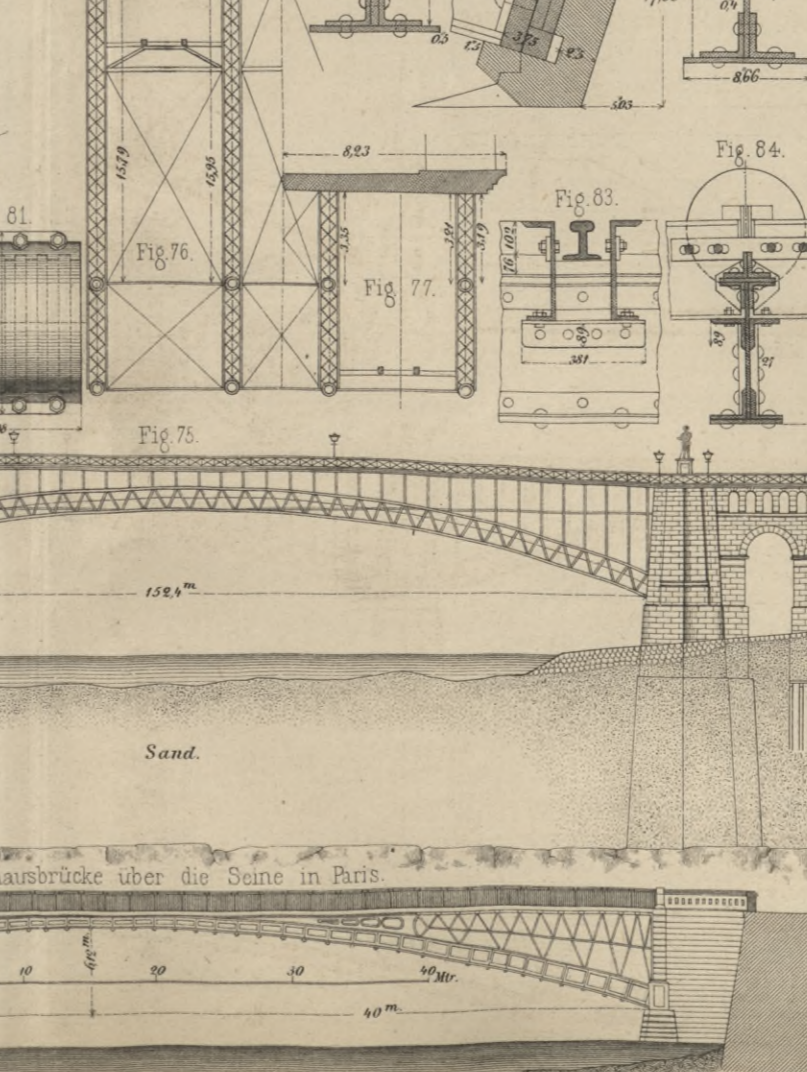
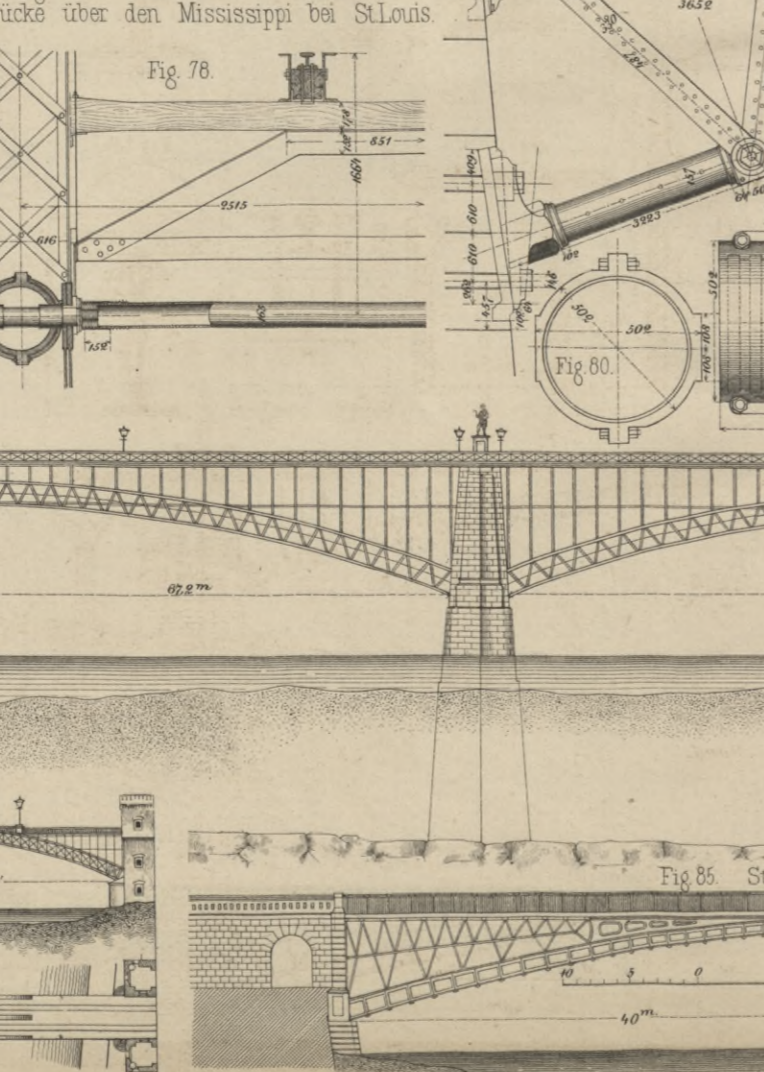
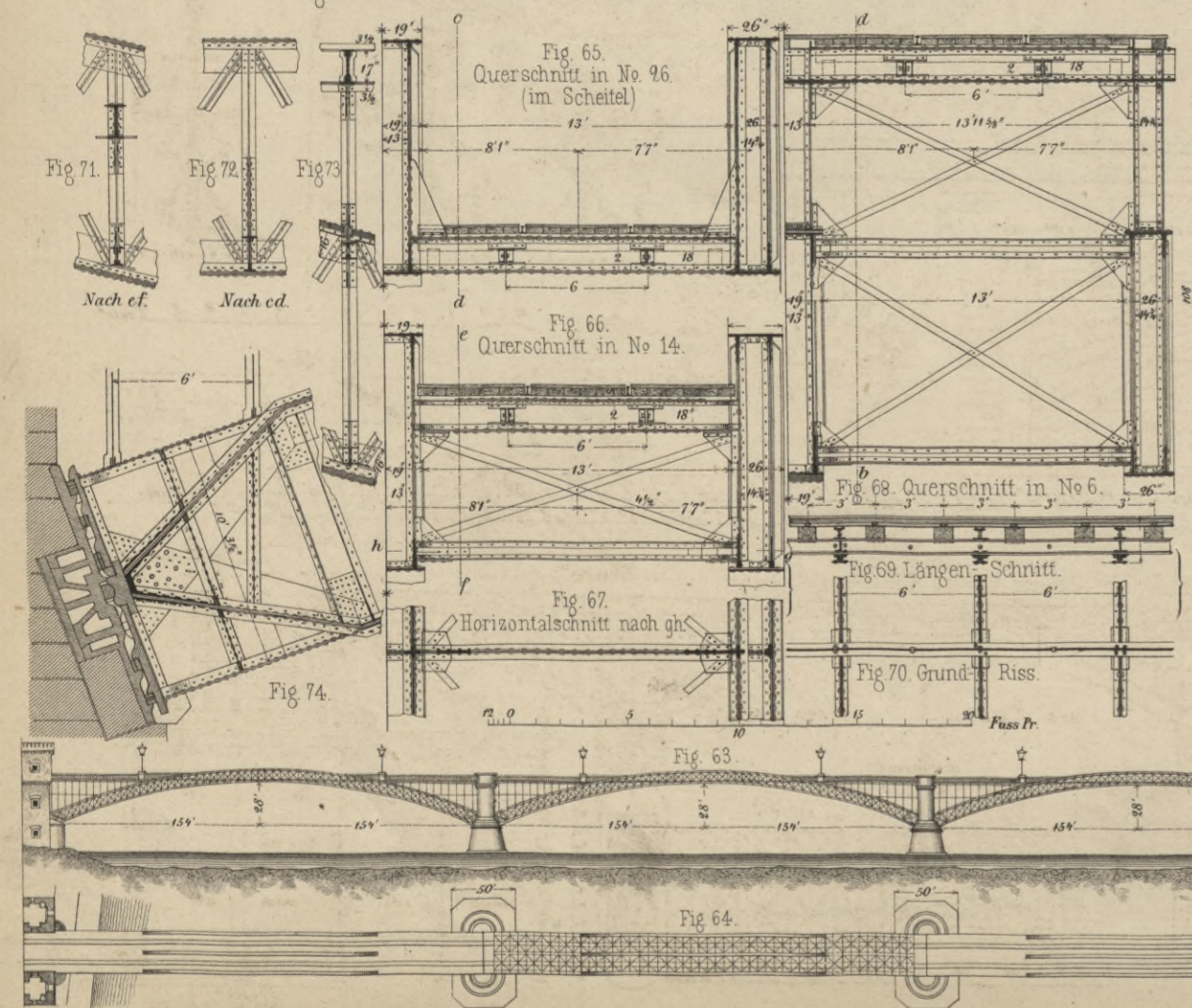
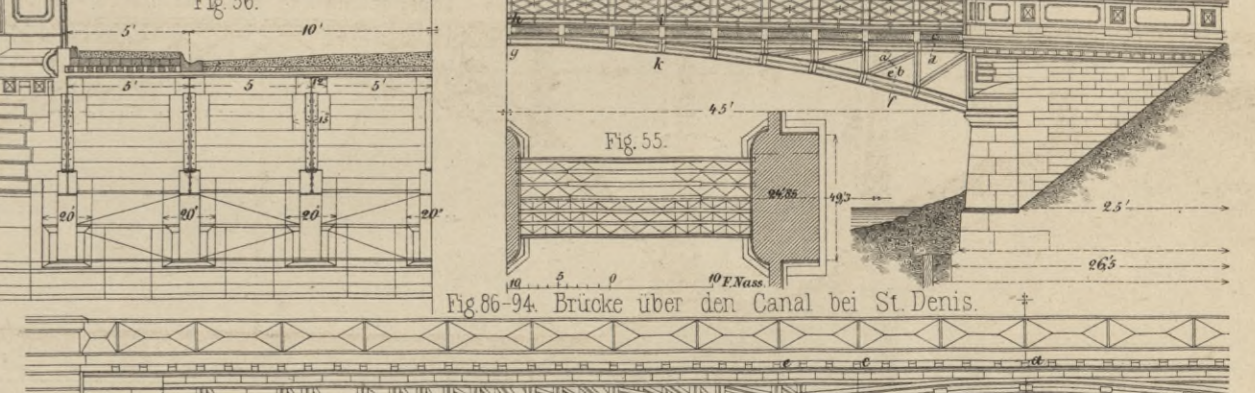
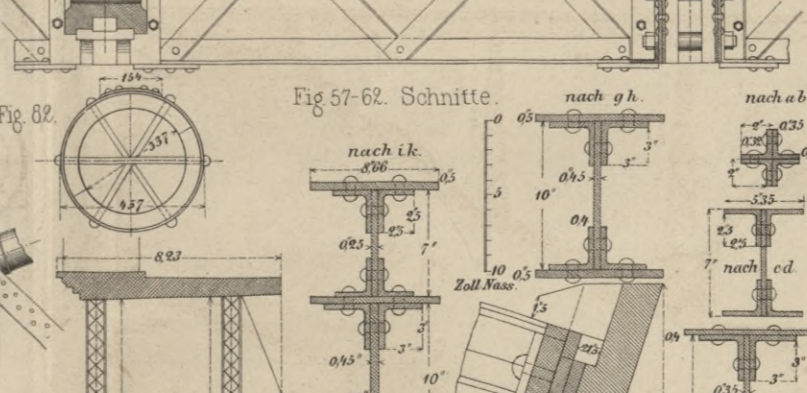
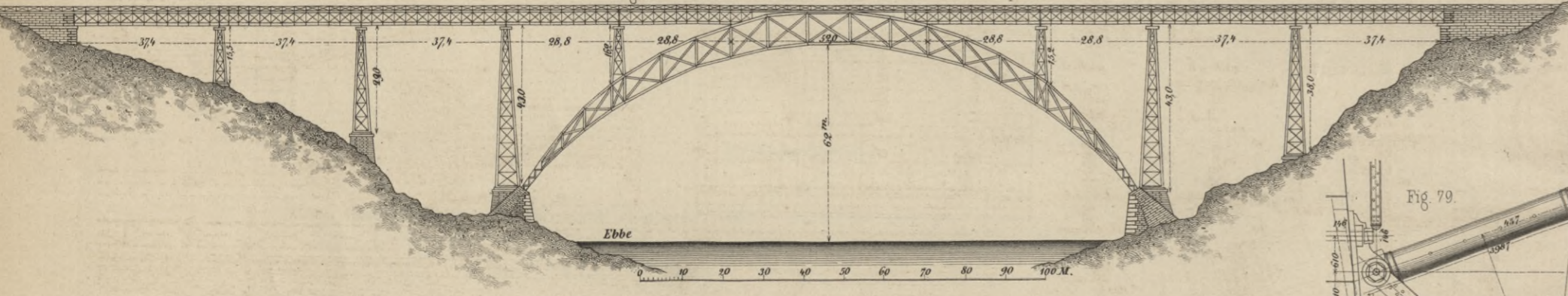
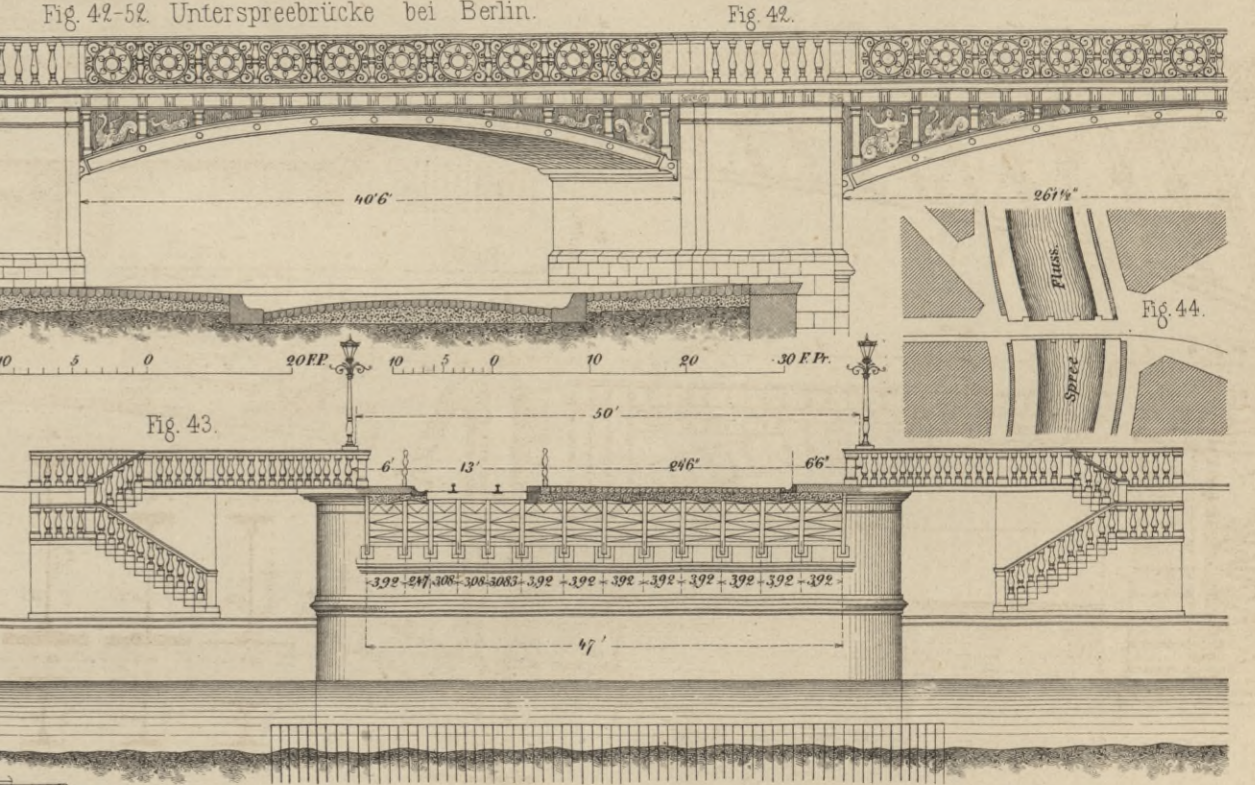
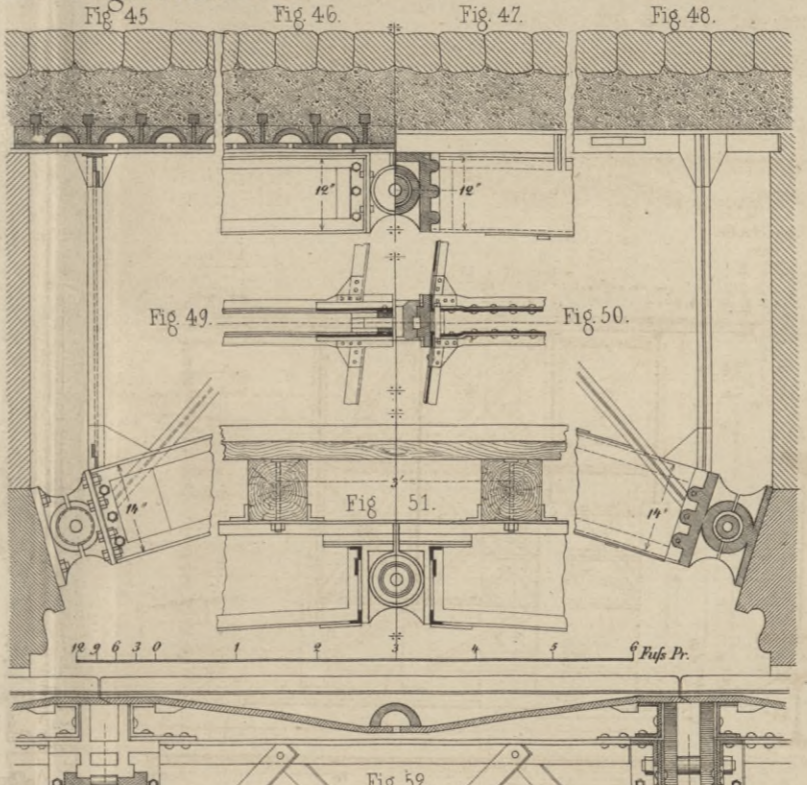
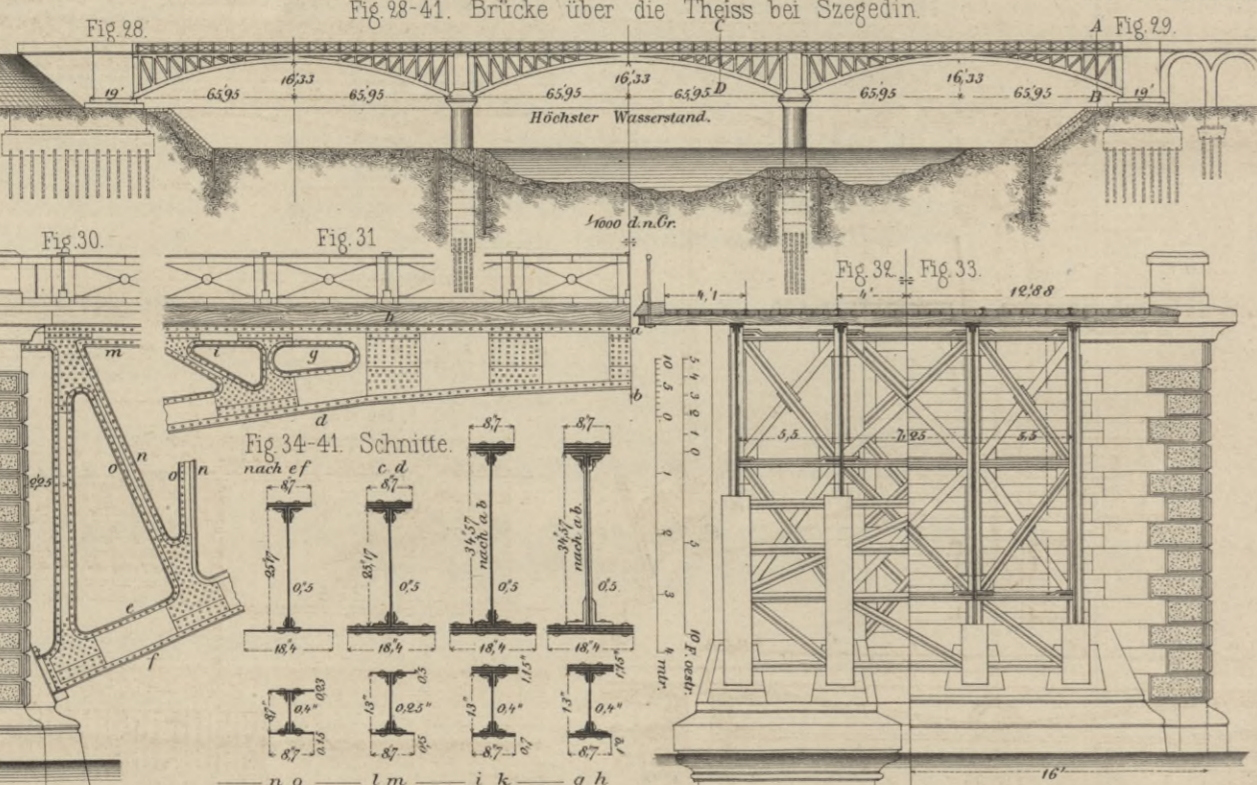
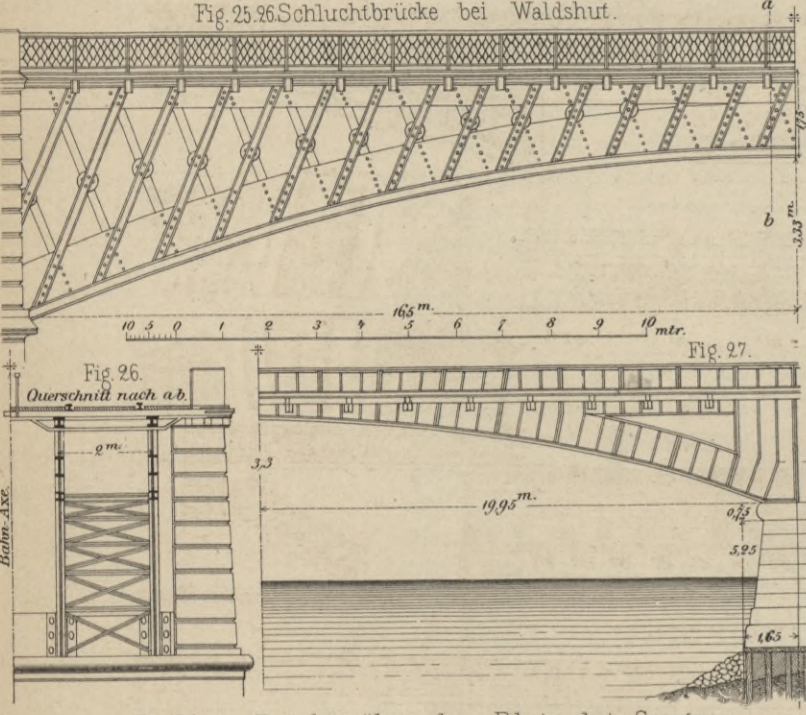
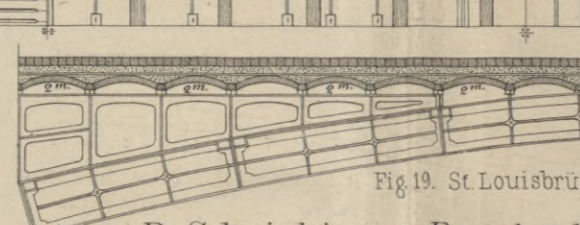
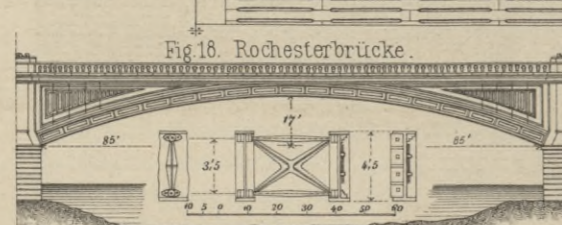
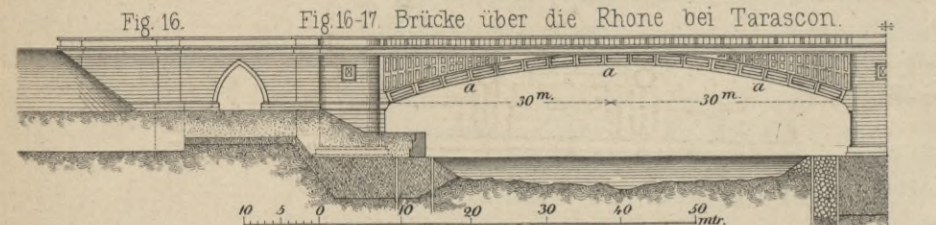
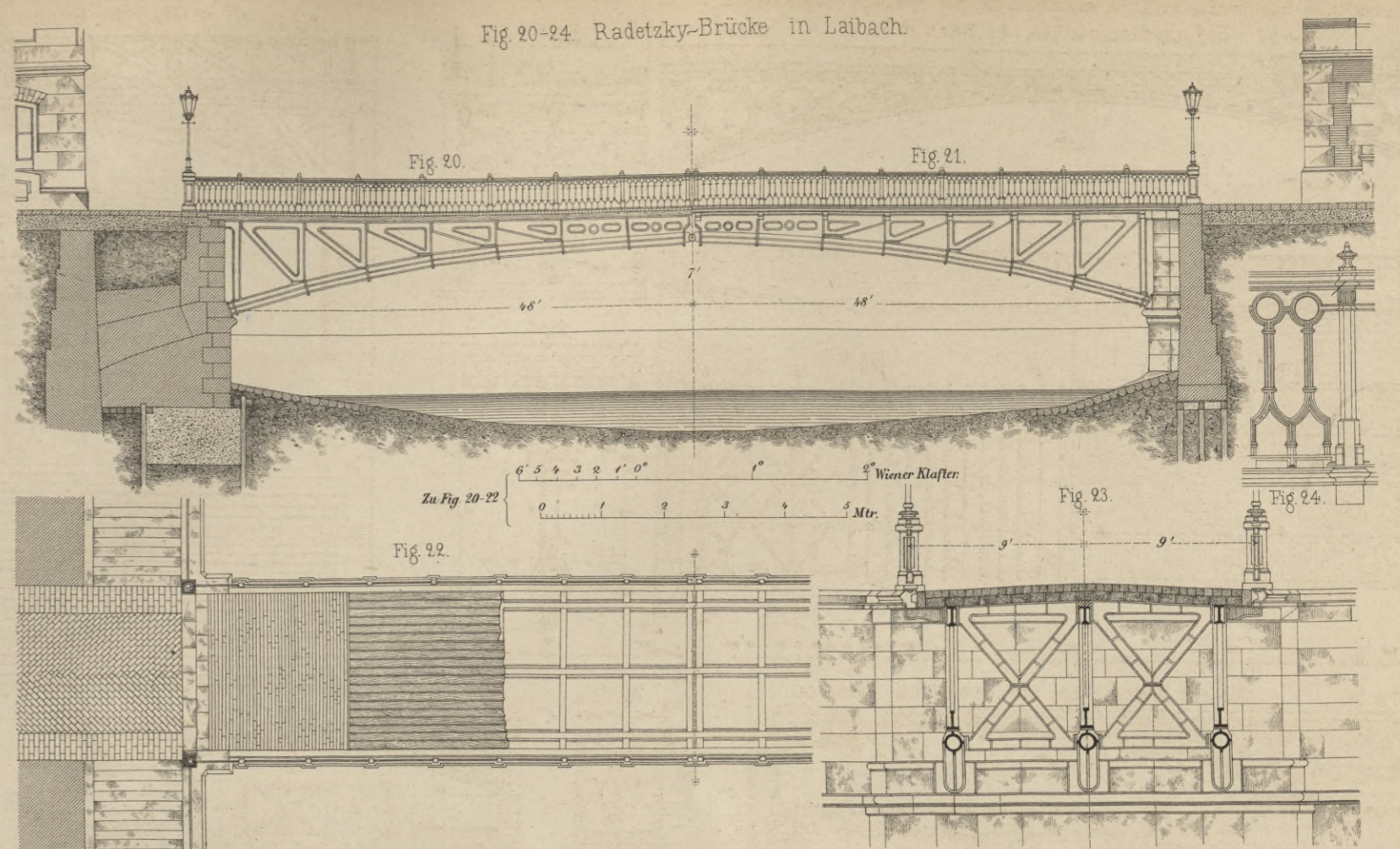
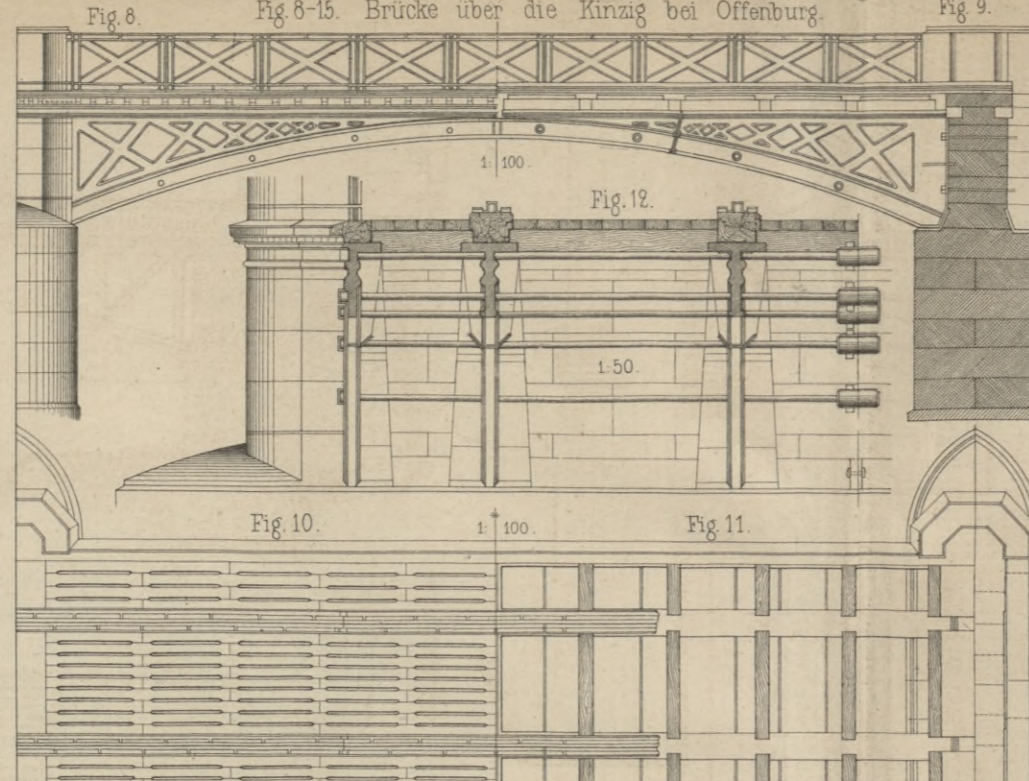
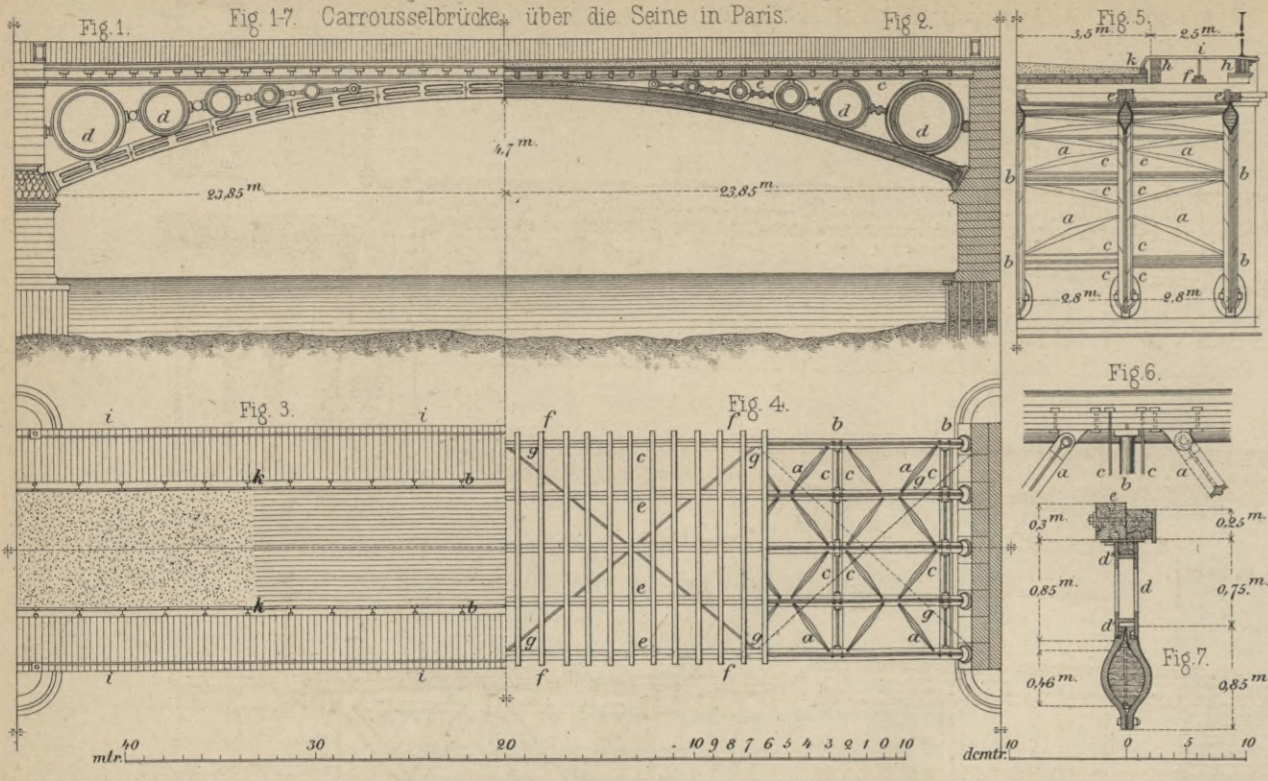
Seite 10, Formel	38	lies	$-10(l_2)^2 \cdot (p_2 - p_1)$	statt	$-10(l_2)^2(p_2 - p_1)$ .
„ 13, „	65	„	$Y_v$	statt	$X_v$ .
„ 17, „	108	„	$h_m = \frac{m(2n-m)}{n^2} \cdot h_n$		
„ 18, „	133	„	$v_m = \left( \frac{n^2 h - m(2n-m)h_n}{(2n-1-2m)h_n} \right) \lambda$		
„ 20, „	169	„	$k^o$	statt	$k$ .

## 2. Tafeln.

Texttafel A, Fig. 2 lies  $p=2,4$  statt  $p=2t$ .

- „ „ „ 6<sup>a</sup> sind die fetten Linien 3 bis 7 bezw. nur bis zur Mitte der Felder III IV, IV V, V VI, VI VII u. VII VIII fortzusetzen,  
 „ „ „ 6<sup>d</sup> ist die fette Linie 1 in der Mitte des Feldes 0 I abzubrechen.  
 „ B, „ 10 ist Querschnitt 2 statt Querschnitt 8 zu setzen.  
 „ „ „ 13 u. 14 lies: Schubspannungen statt „Schurspannungen“.  
 „ „ links oben lies: Fig. 15–23 statt 15–18.











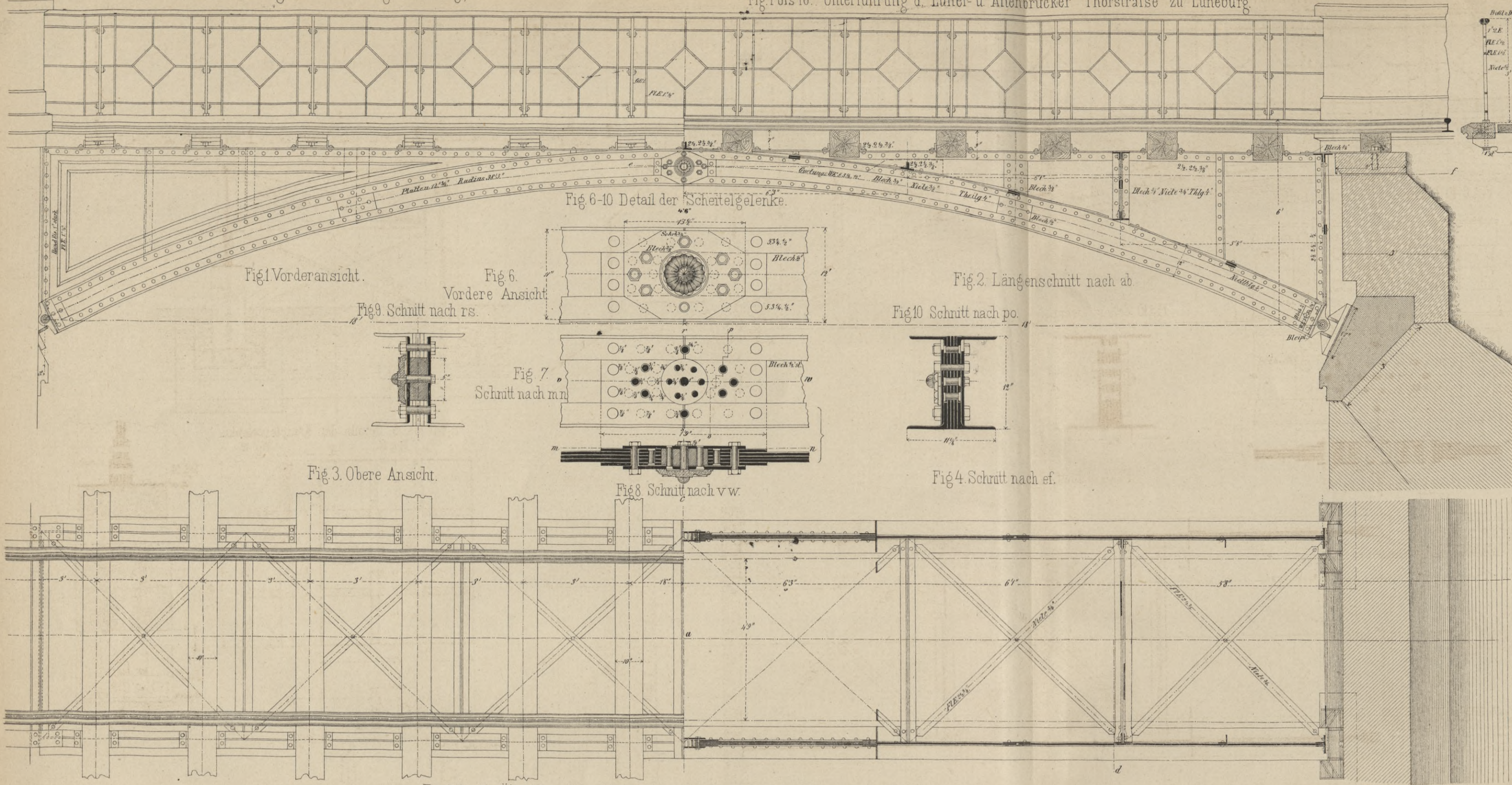


Fig 17 bis 33. Überführung der Güterstrasse über die Altenbrücker Thorstrasse zu Lüneburg.

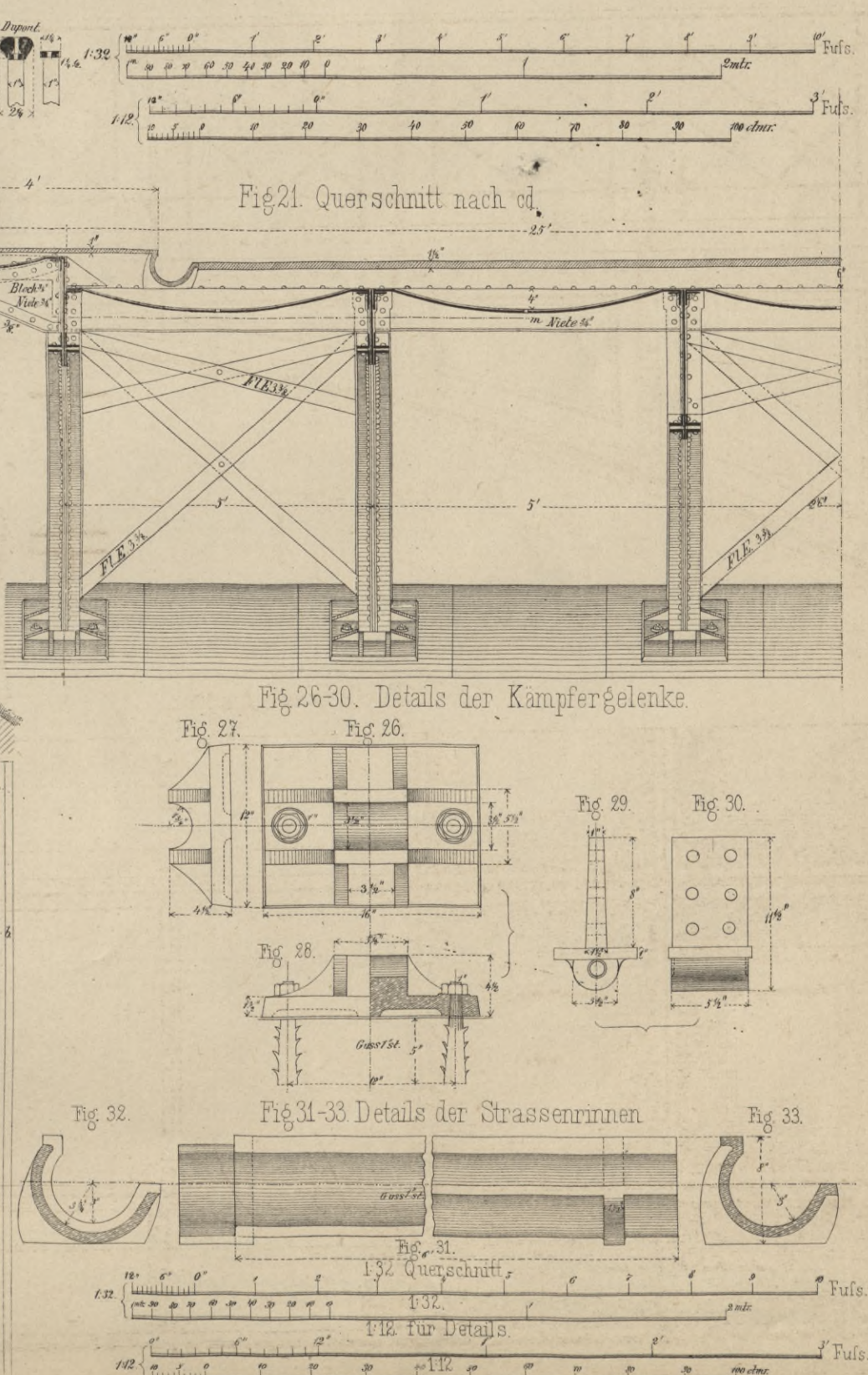
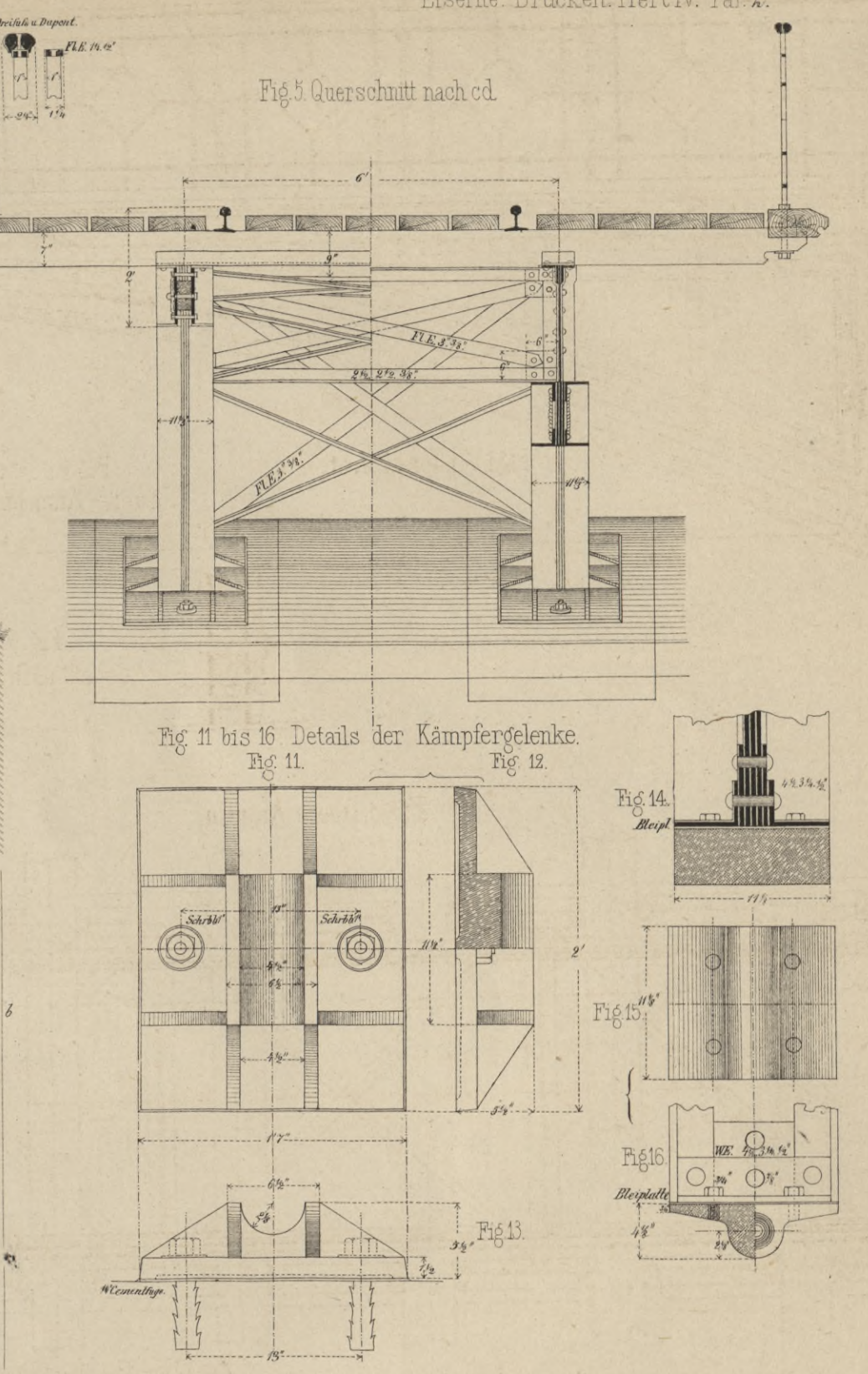
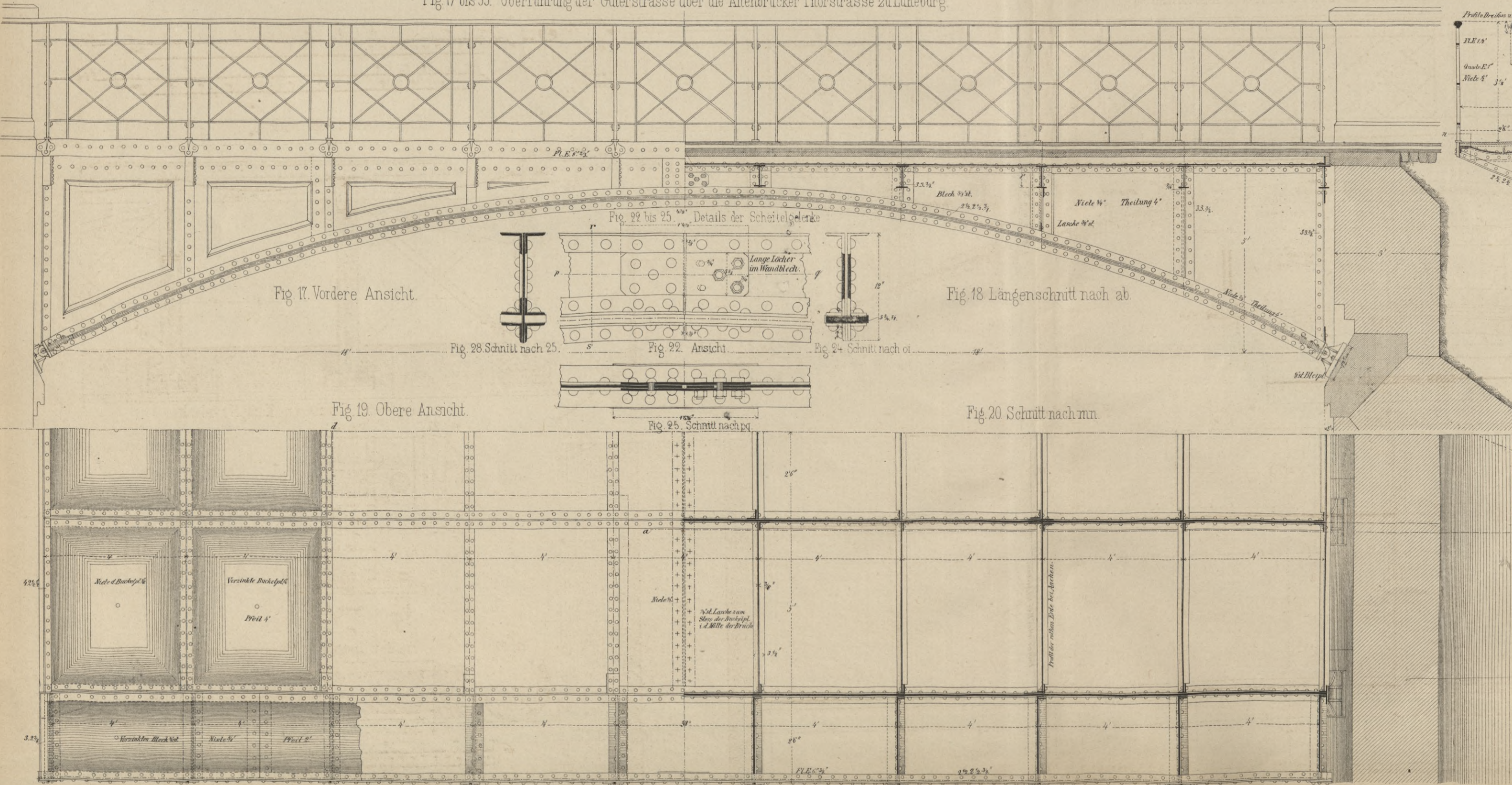






Fig 1. Ansicht eines Bogenträgers 1:50.

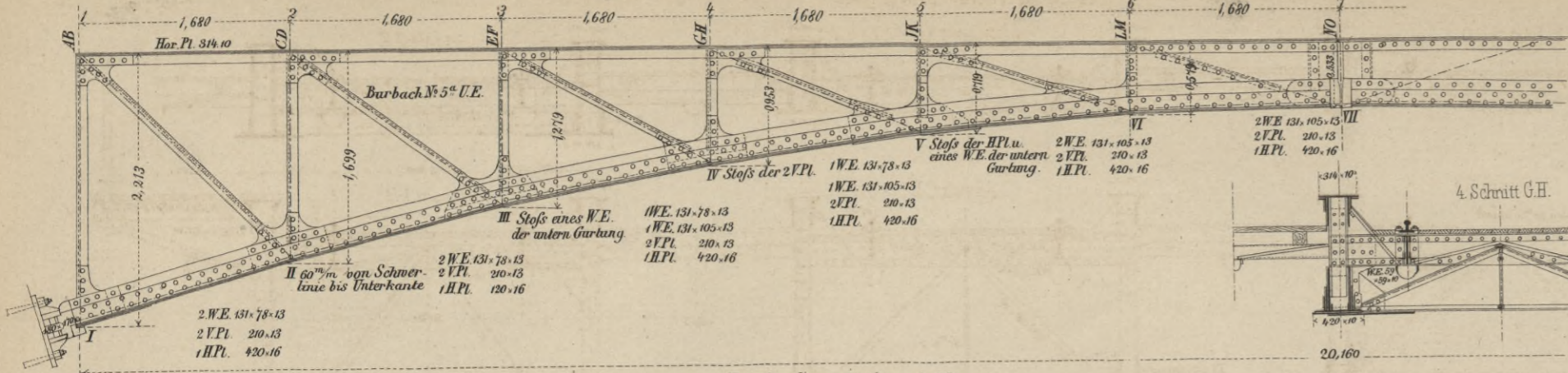


Fig 2. Grundriß 1:50.

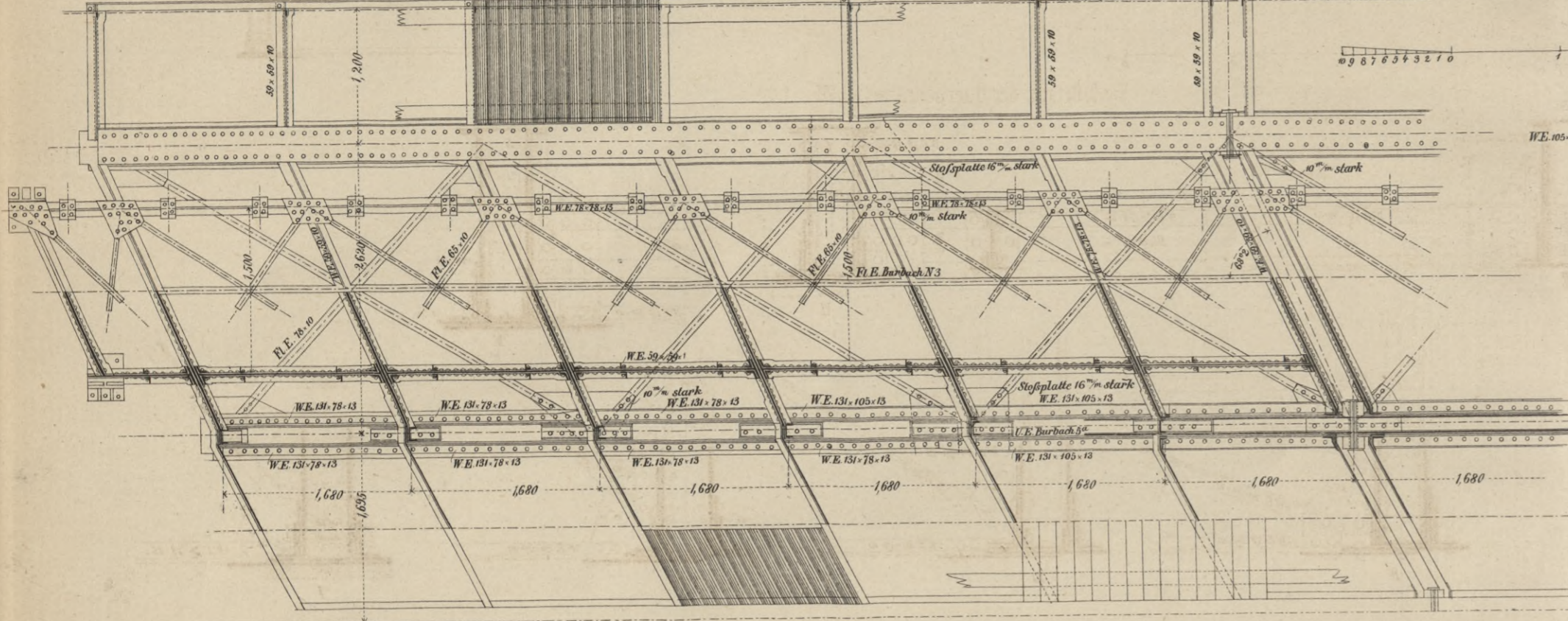


Fig 3. Querschnitt 1 bis 7. 1:50.

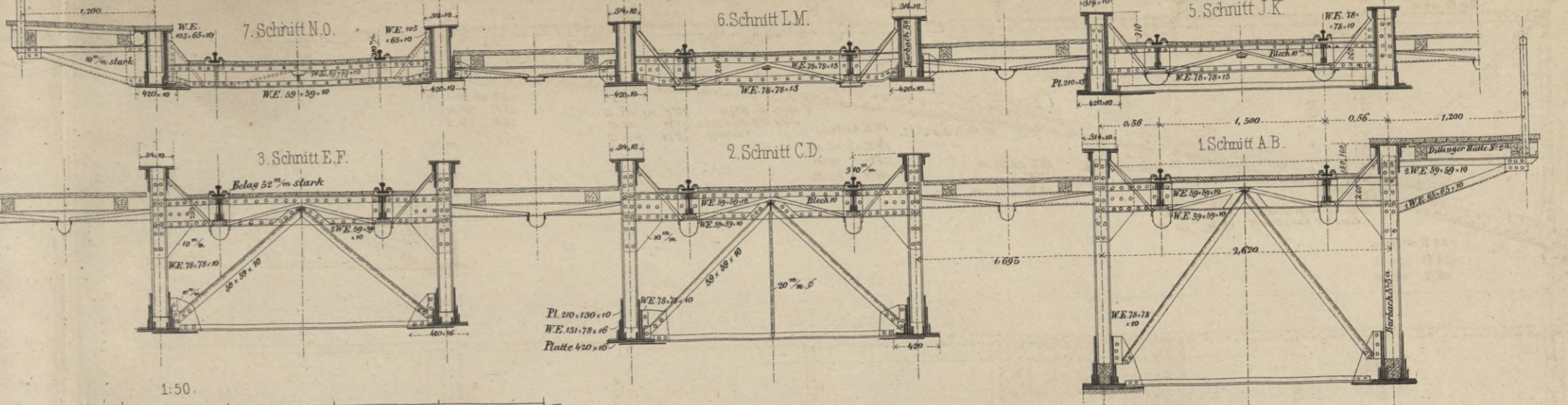


Fig 5. Details der Querschnitte 1 bis VII. 1:20.

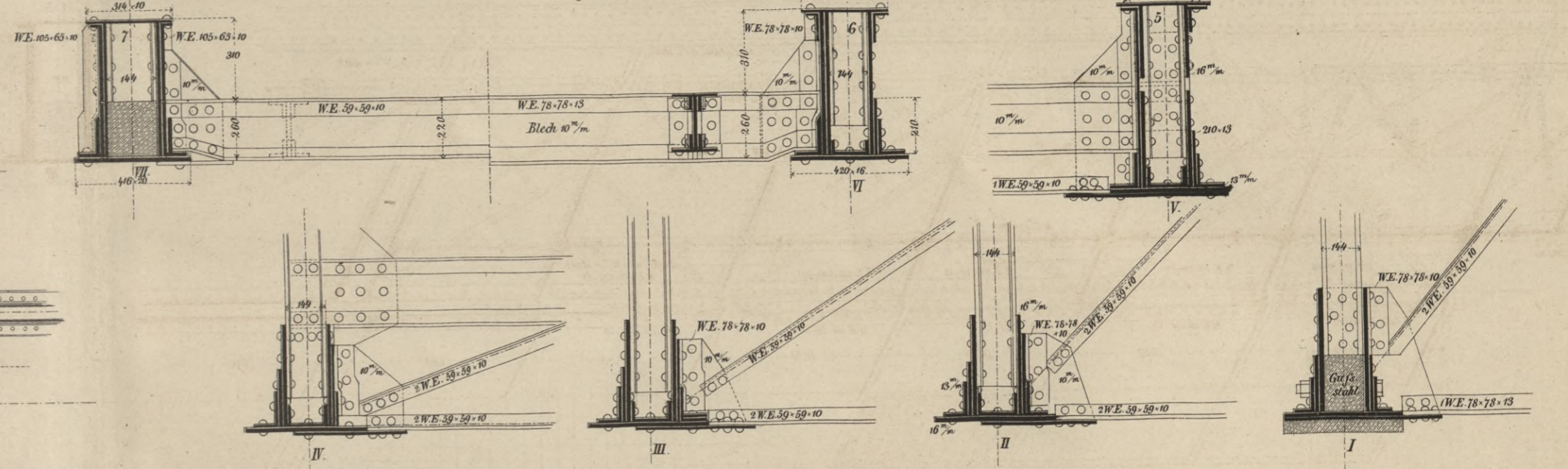
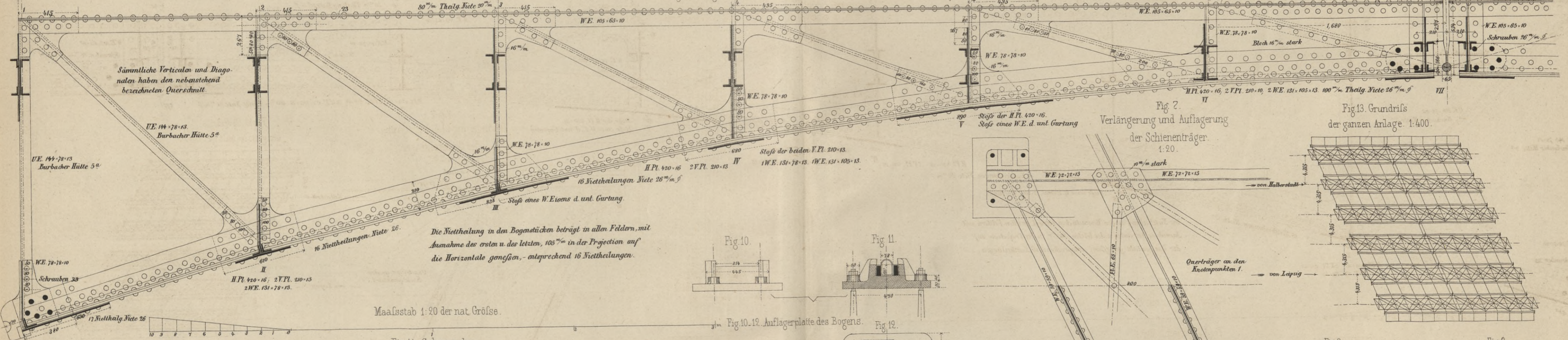


Fig 4. Längenschnitt eines Bogenträgers 1:20.



Maasstab 1:20 der nat. Größe.

Fig 14. Schema der

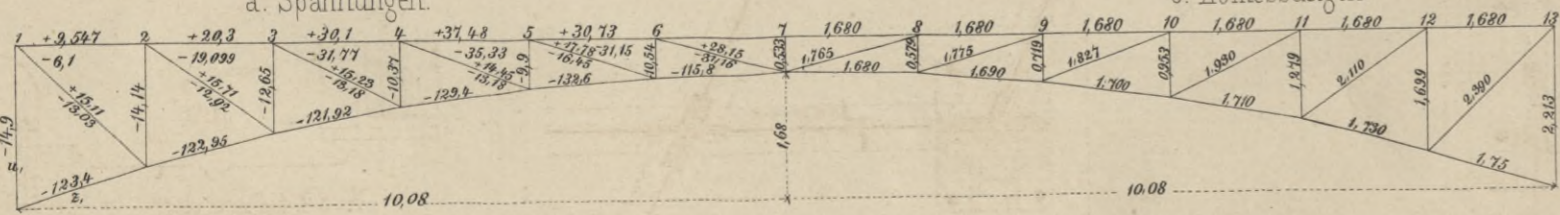
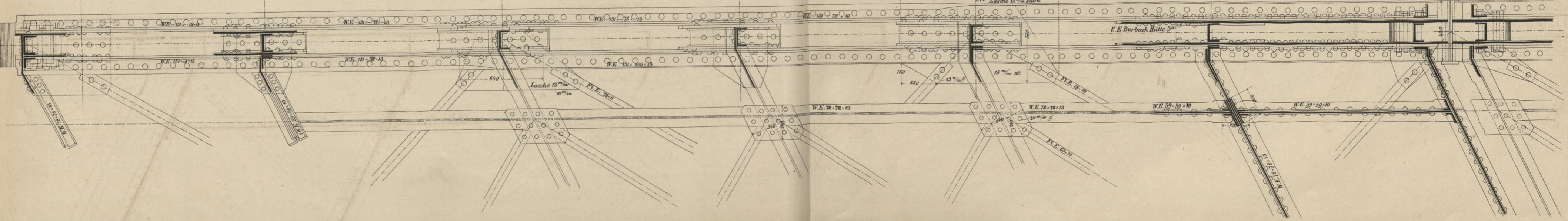


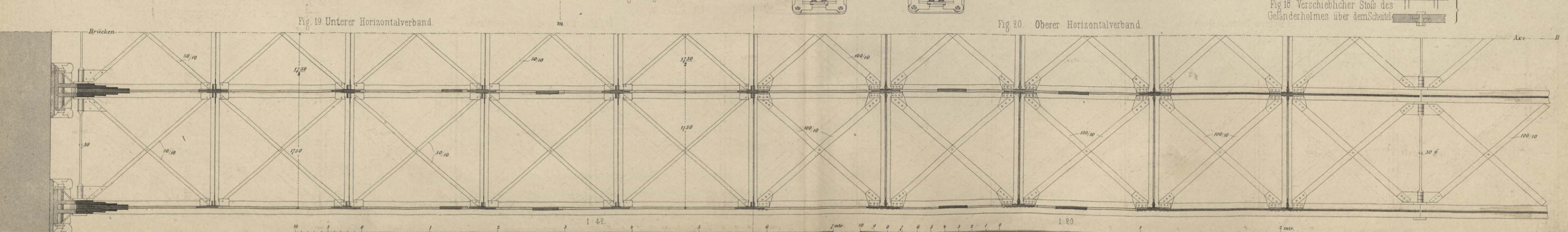
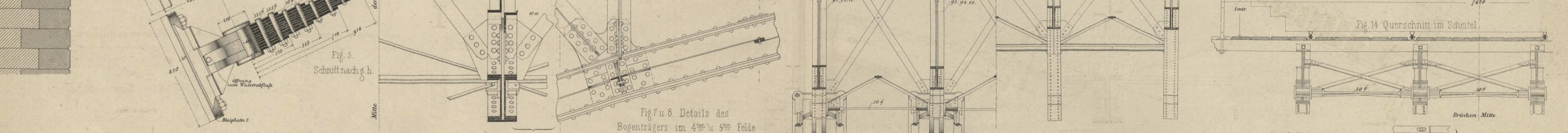
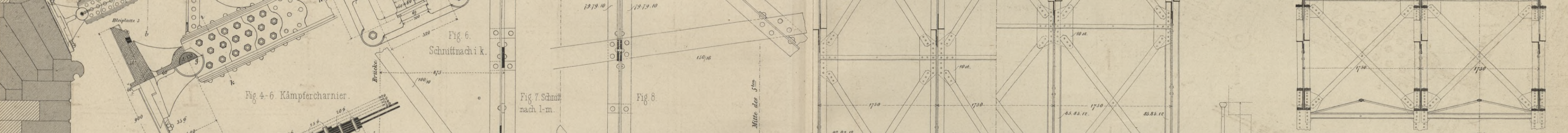
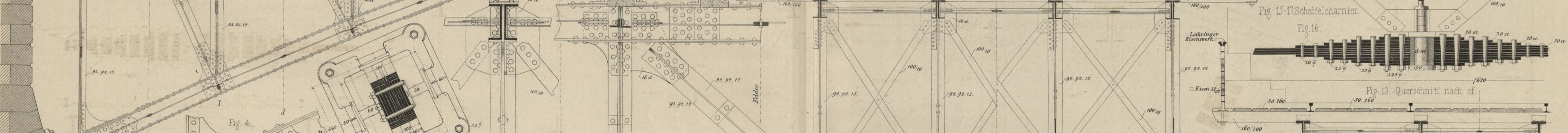
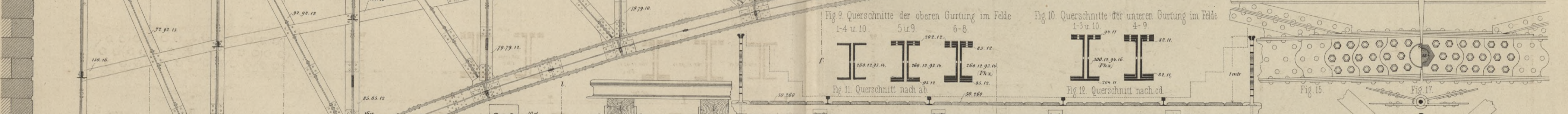
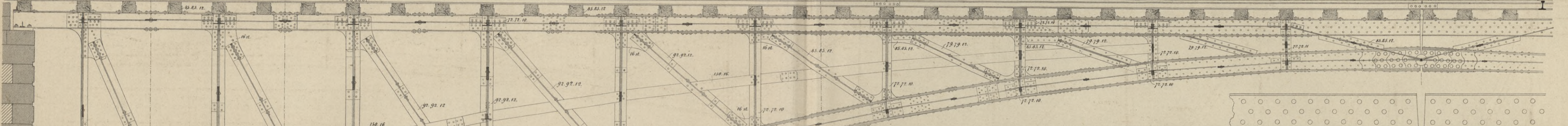
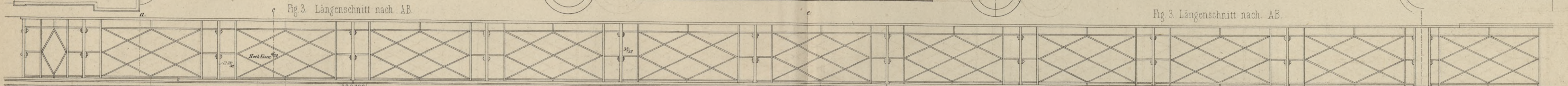
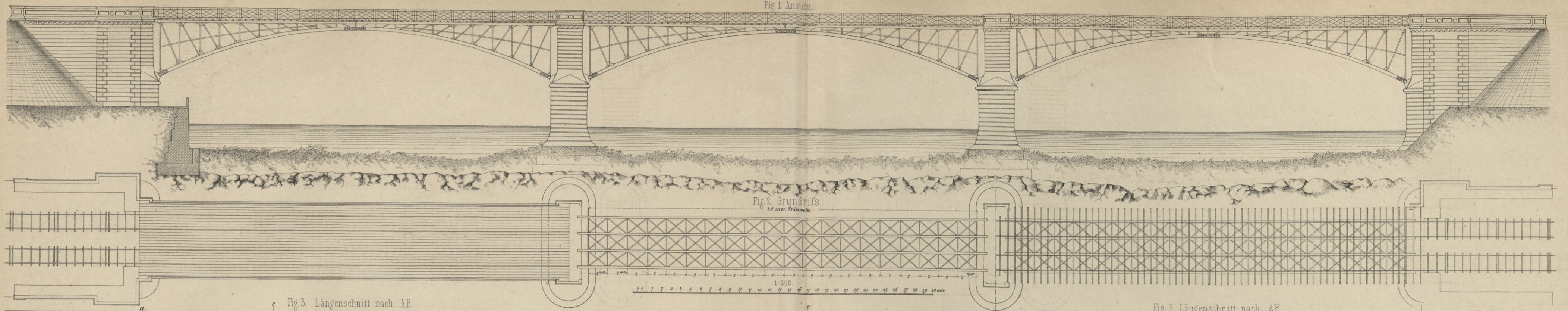
Fig 6. Untere Gurtung 1:20.





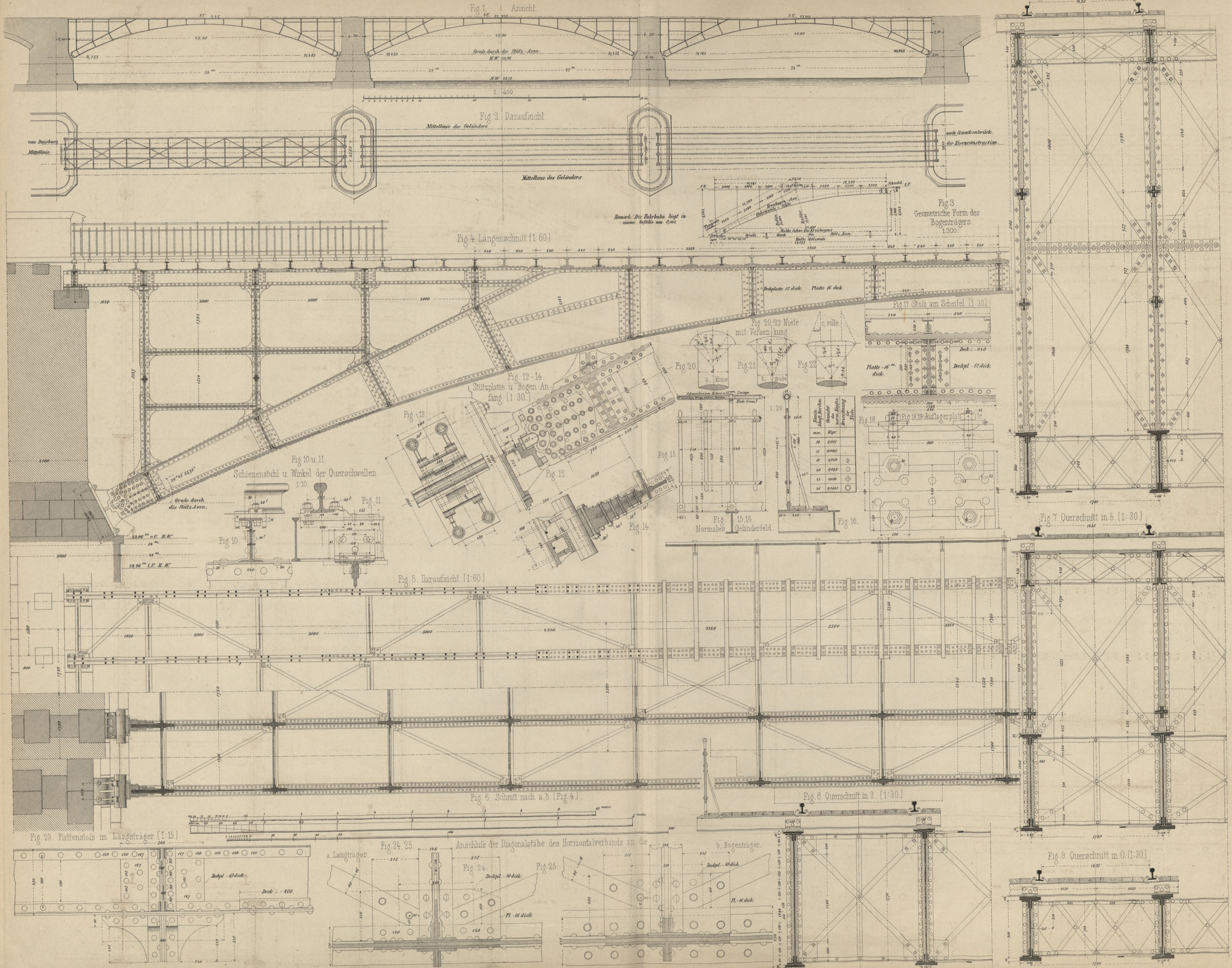






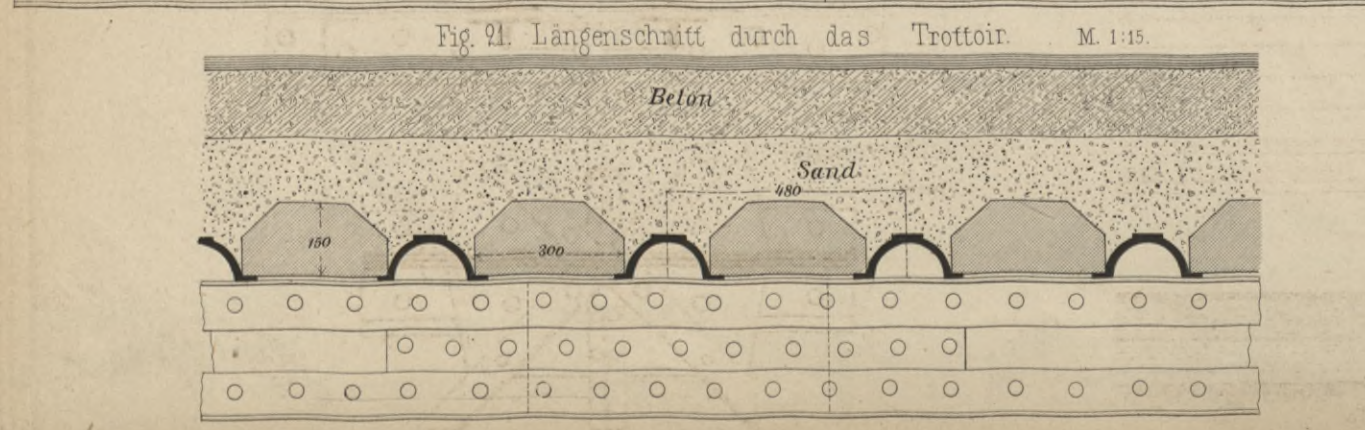
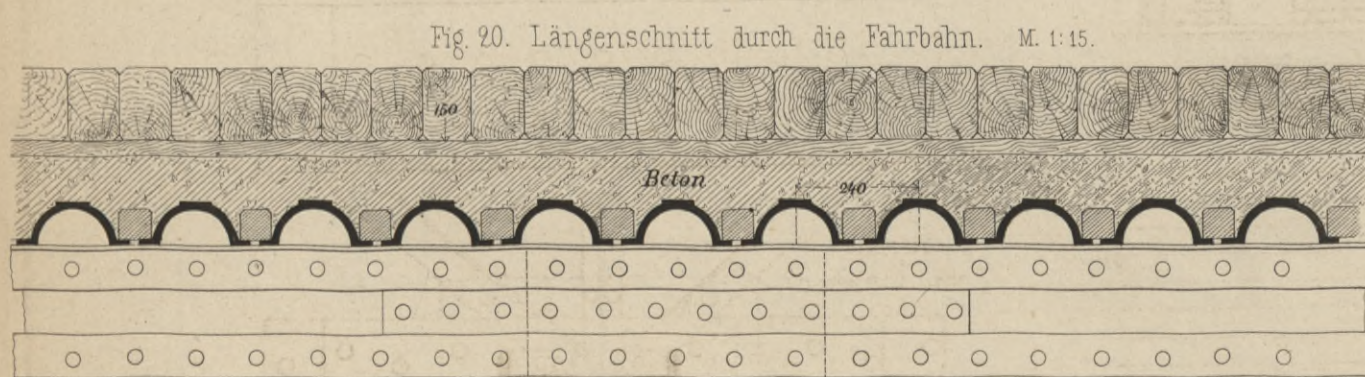
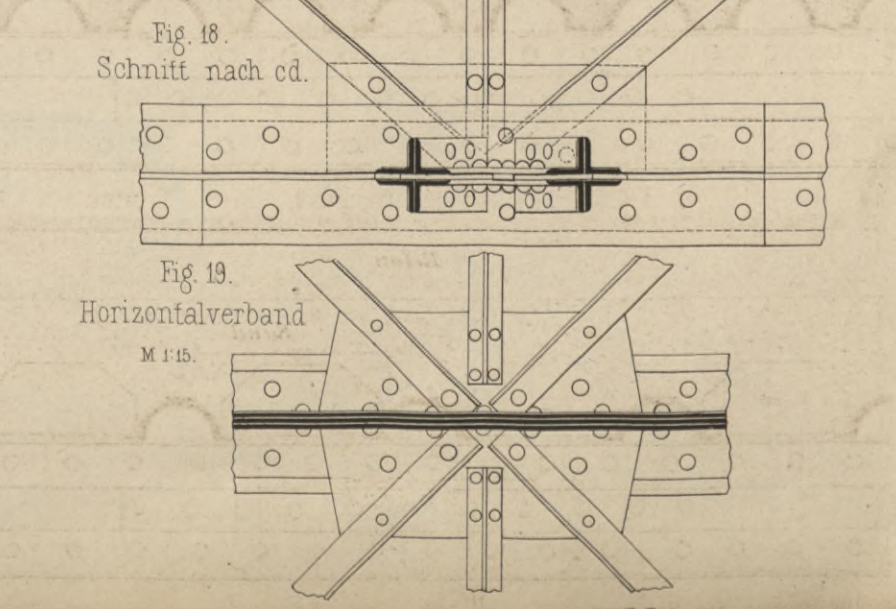
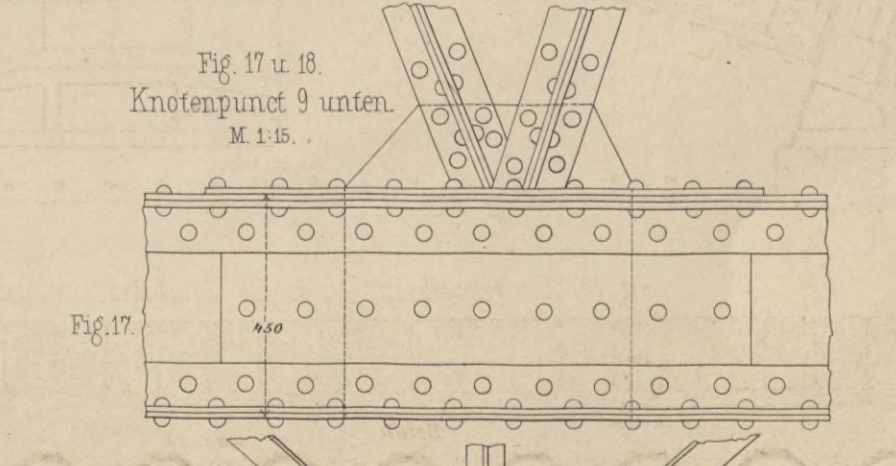
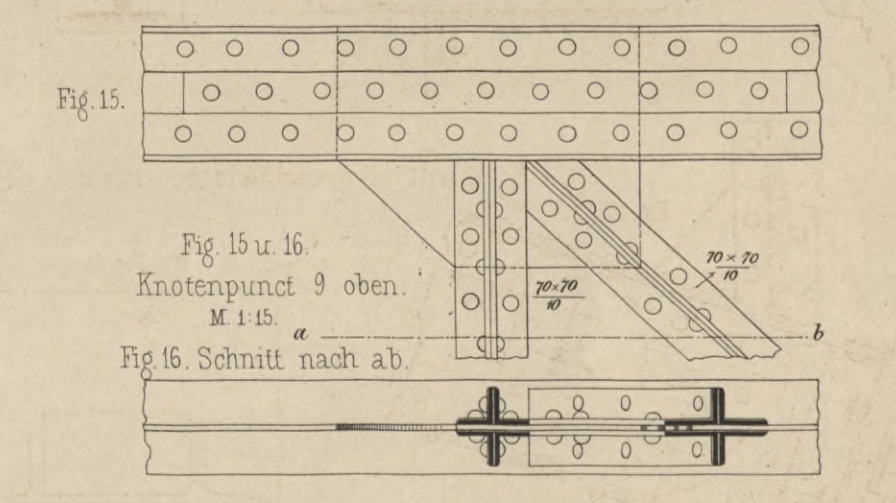
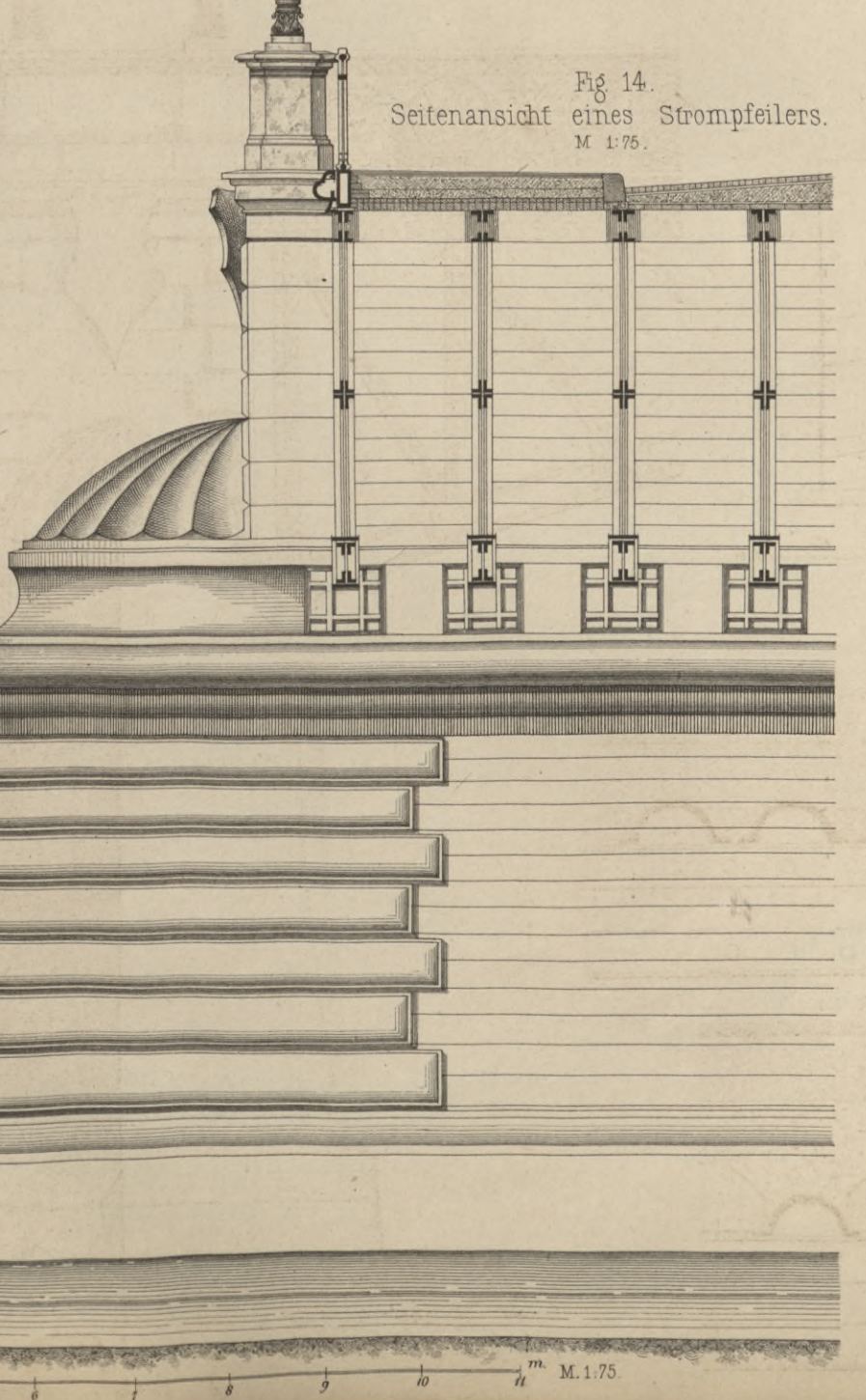
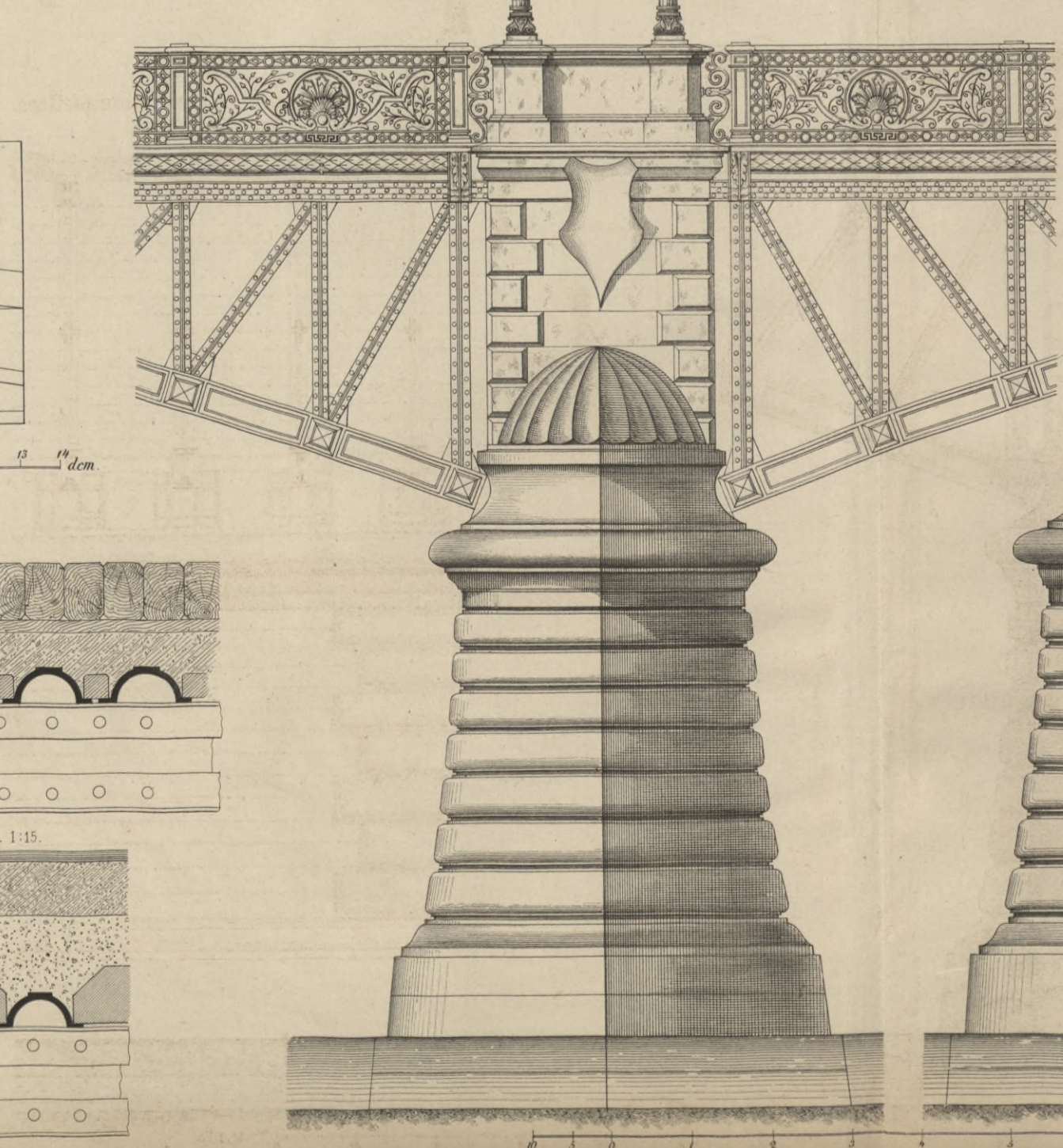
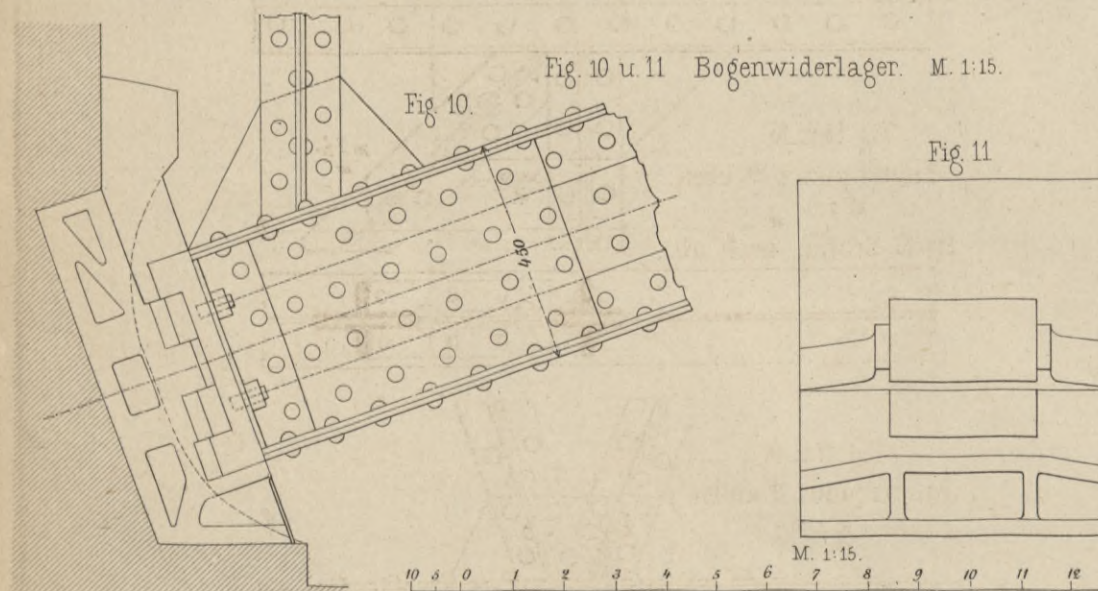
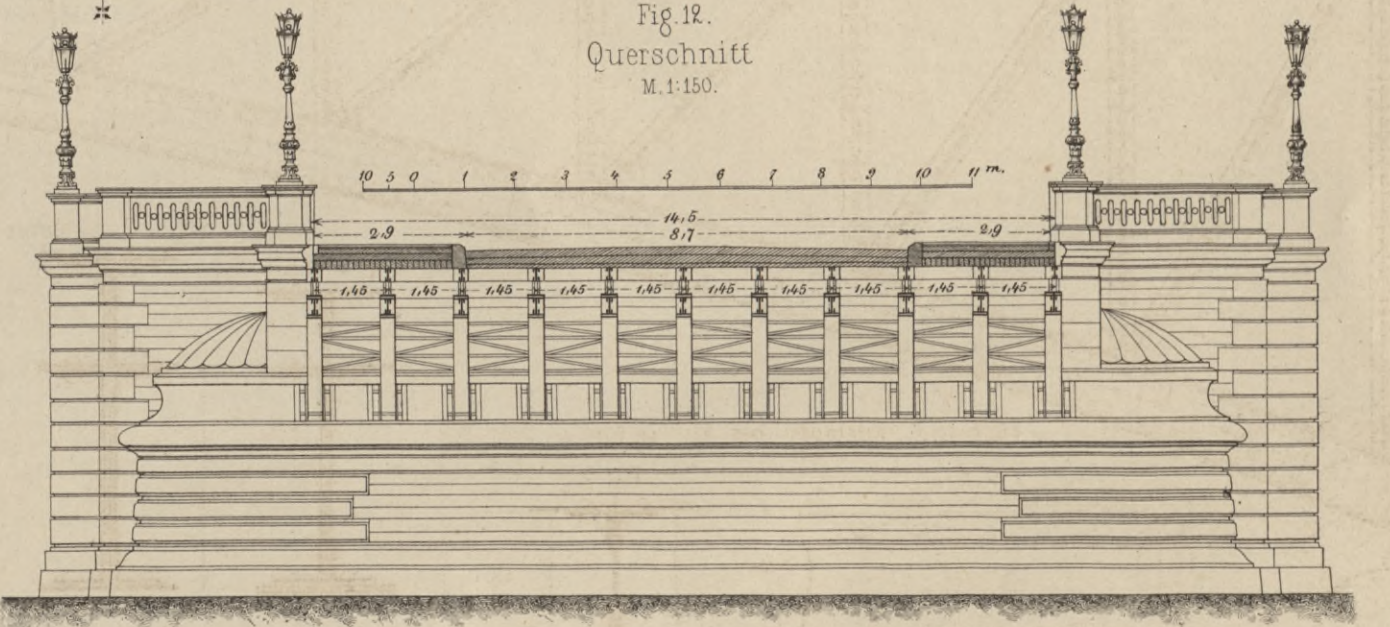
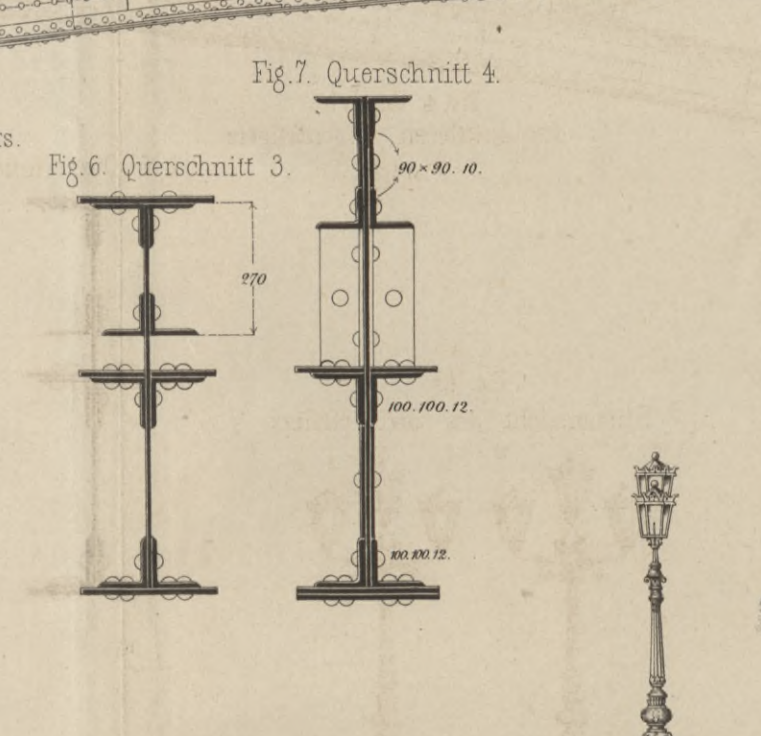
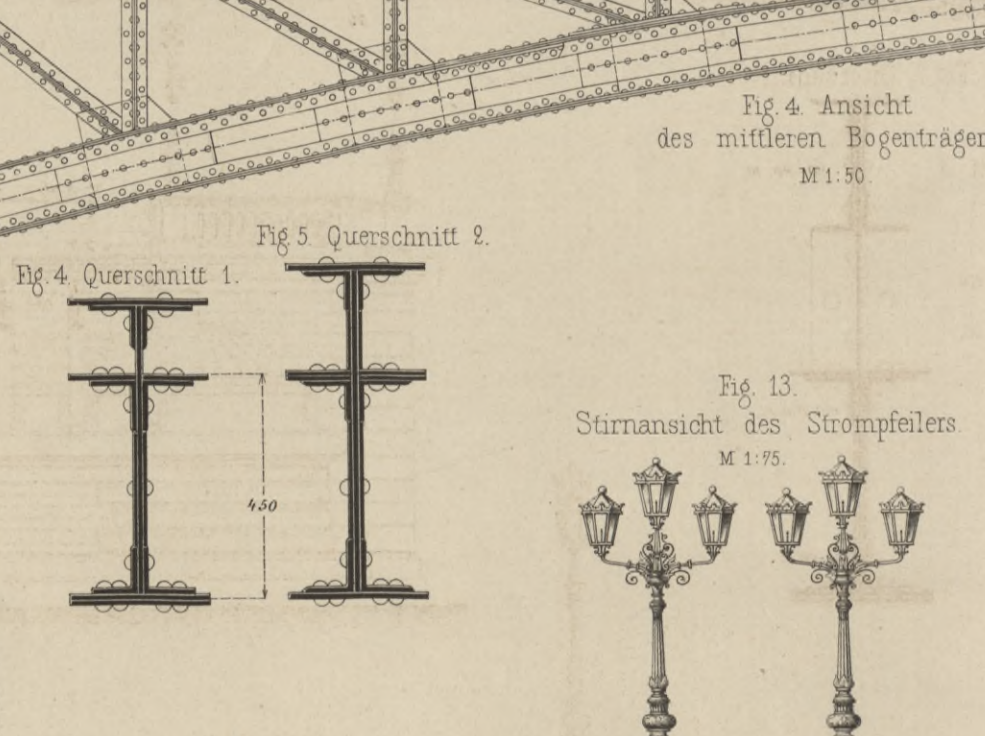
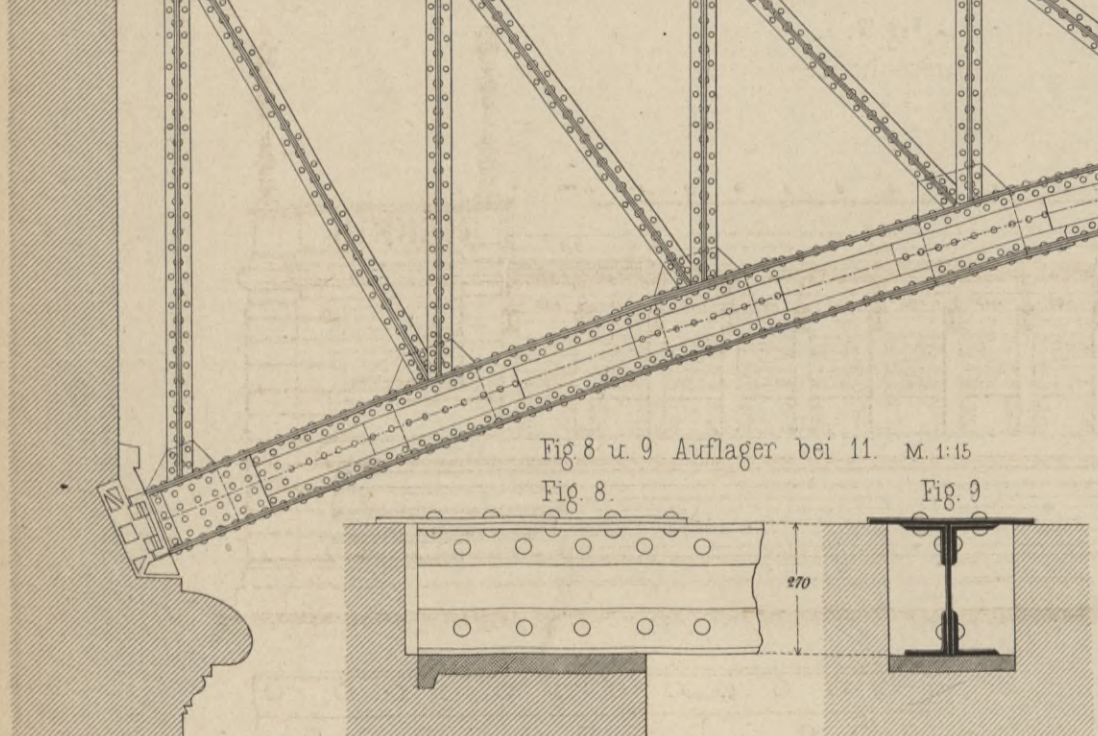
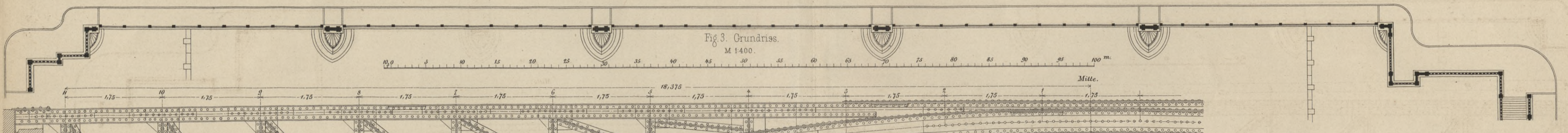
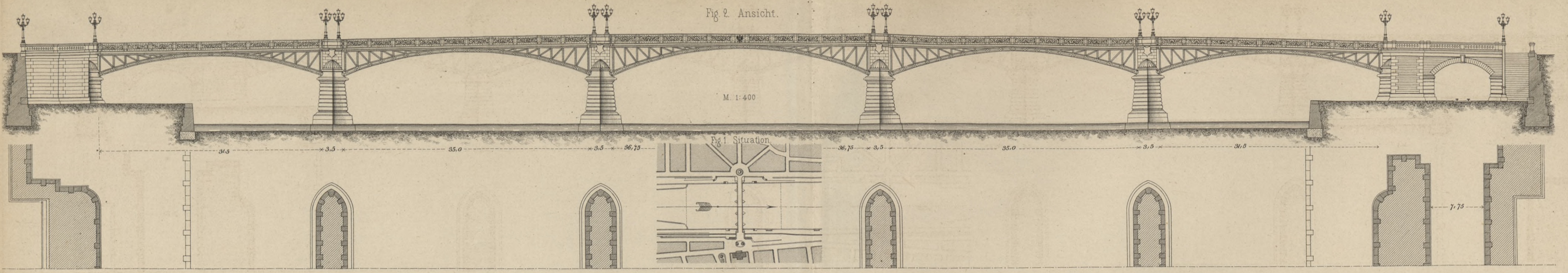














р. 2001





80

S. 61



WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

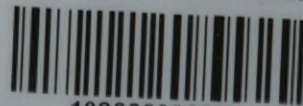
Biblioteka Politechniki Krakowskiej



IV-301010

k. U. J. Zam. 356. 10.000.

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000302884