

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000302886

Die
Beweglichen Brücken.

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.

*Die Brücken der Gegenwart
Abth. 4*

21 1/2 Bogen Text mit 87 Holzschnitten, einer Texttafel und 6 lithographirten Tafeln
in gross Doppel-Folio.

Leipzig, 1883.

Baumgärtner's Buchhandlung.





IV 35409



IV - 3010M

BPV-B-398/2017

Akc. Nr. 1185 52

DEN HERREN

DR. W. FRÄNKEL,

KGL. BAURATH UND PROFESSOR AN DER KGL. TECHNISCHEN HOCHSCHULE
ZU DRESDEN

UND

A. BENDEL,

INGENIEUR UND VORSTEHER DES EISENCONSTRUCTIONS-BUREAUS
DER KGL. EISENBAHNDIRECTION CÖLN (LINKSRHEINISCH) IN CÖLN

HOCHACHTUNGSVOLL ZUGEEIGNET

VOM

VERFASSER.

VORWORT.

Die vorliegende IV. Abtheilung der Brücken der Gegenwart, welche die beweglichen Brücken behandelt, enthält eine Monographie der Rollbrücken, Hubbrücken, Zugbrücken, Klappbrücken, Krahnbrücken, Drehbrücken und Schiffbrücken, welcher die analytischen, sowie die graphischen Berechnungs- und Darstellungs-Methoden zu Grunde gelegt und übersichtliche Zusammenstellungen der verschiedenen, meist ausgeführten Systeme beweglicher Brücken, sowie die Constructionsblätter der wichtigsten, zur Zeit gebräuchlichen Systeme derselben beigelegt sind.

Die vorausgeschickte technische Entwicklung bezweckt, indem sie unter Hinweis auf die einzelnen Figuren der beiden Uebersichtstafeln 1 und 2 einen Ueberblick über die verschiedenen, im Laufe der Zeit zur Ausführung gekommenen Systeme der beweglichen Brücken gewährt und hierbei die Nachteile der älteren, verlassenen sowie die Vortheile der neueren, vorzugsweise angewandten Constructions hervorhebt, die Auswahl des dem jeweiligen Zweck zumeist entsprechenden Systems thunlichst zu erleichtern.

Die statische Berechnung zerfällt in diejenige der verschiedenen Brückenträger mit Berücksichtigung ihrer verschiedenen Lage und Belastungsweise im geschlossenen oder geöffneten Zustande, in die Bestimmung der Kräfte und Zeiten, welche Lösung, Bewegung und Einstellung der Brücken erfordern, sowie in die Berechnung der hierzu nöthigen mechanischen Vorrichtungen. Bei Berechnung der hierbei angewandten Brückenträger auf einem Stützpunkte als Consolenträger, auf zwei Stützen als abgesetzte Träger ohne oder mit Ueberhang, als continuirliche Träger auf drei und auf vier Stützen ohne oder mit Ueberhang sind in möglichst allgemeiner Form zuerst die grössten Angriffsmomente und Vertikalscheerkräfte sodann die kleinsten Widerstandsmomente und Vertikalwiderstände entwickelt und Anhaltepunkte für die bei Eisenbahn- oder Strassenbrücken zu Grunde zu legenden Eigengewichts- und Verkehrsbelastungen sowie für die Widerstände der anzuwendenden Materialien hinzugefügt worden. Nach dieser allgemeinen folgt die specielle statische Berechnung der obenerwähnten beweglichen, insbesondere der relativ wichtigsten Drehbrücken nach der ihnen eigenthümlichen constructiven Anordnung und mechanischen Einrichtung, insbesondere der bei ihrem Betrieb auftretenden Reibungswiderstände und der zu ihrer Ueberwindung erforderlichen bewegenden Kräfte. Von der Mittheilung einer speciellen statischen Berechnung von Drehbrücken mit gegliederten Wandungen musste des vorgezeichneten Umfangs wegen abgesehen, dagegen darf auf analoge Berechnungen in den Heften 2, 3 und 6 der Abtheilung I dieses Werkes hiermit verwiesen werden. Einer besonderen Behandlung bedurften die Schiffbrücken, insbesondere diejenigen mit zusammenhängenden Gliedern, wobei eine angenäherte Berechnung der Eintauchung ihrer Pontons mit gegebenen Abmessungen oder des Umfangs ihrer Pontons bei vorgeschriebener Eintauchung zu Grunde gelegt wurde.

Der dritte constructive Theil behandelt unter Hinweis auf die beigegebenen Tafeln die Anordnung der einzelnen Brückengattungen im Allgemeinen und Besondern, konnte sich jedoch bei der erheblichen Zahl dieser Gattungen und grossen Verschiedenheit ihrer Theile nur auf das Wichtigste beschränken. Bei der vergleichsweise grossen Wichtigkeit und Verschiedenheit der Drehbrücken wurde denselben die ausführlichste Besprechung gewidmet, jedoch von einer Erörterung der Constructionsmaterialien, der Verbindungsmittel und der Verbindungen ihrer Träger abgesehen, da dieselben denjenigen der festen Brücken verwandt und in den Heften 1 bis 5 der Abtheilung I dieses Werkes mehr oder minder ausführlich behandelt sind.

Der vierte, die Beschreibung und statisch-numerische Berechnung meist ausgeführter beweglicher Brücken umfassende Theil beginnt mit einer kurzen Beschreibung aller auf den beiden Uebersichtstafeln 1 und 2 dargestellten beweglichen Brücken und Brückentheilen, enthält sodann die aus-

fürliche Beschreibung und statisch numerische Berechnung einer in neuerer Zeit ausgeführten Rollbrücke, Klappbrücke und Drehbrücke ohne Rollkranz nach dem System Schwedler und schliesst mit der Beschreibung zweier neueren amerikanischen Drehbrücken. Bei der Schwedler'schen Drehbrücke ist die für den geschlossenen und geöffneten Zustand derselben durchgeführte analytische Berechnung durch eine graphische Darstellung der Momente und Vertikalkräfte ergänzt und die Berechnung ihrer Bewegungs- und Fixirungsmechanismen auf Grund einer genauen analytischen Ermittlung und graphischen Darstellung der Durchbiegungen ihrer Träger, unter dankenswerther Mitwirkung des Herrn Ingenieur Palme, bewirkt worden.

In dem fünften Abschnitte ist die approximative und definitive Kostenberechnung beweglicher Brücken erörtert und die letztere durch die Mittheilung einer ausführlichen Gewichtsberechnung der im vorhergehenden Abschnitte behandelten Rollbrücke und Schwedler'schen Drehbrücke vervollständigt worden, während ihre Ausführung mit Bezug auf den verfügbaren Raum nur im Allgemeinen und unter Hinweis auf die in andern Heften dieses Werkes enthaltenen Mittheilungen besprochen werden konnte.

Zur angenehmen Pflicht gereicht es uns, der Königlichen Eisenbahndirection in Berlin für die bereitwillige Ueberlassung umfangreichen, amtlichen Materiales, den Herren Professoren Dr. W. Fränkel an der Technischen Hochschule in Dresden und Steiner an dem deutschen Polytechnikum in Prag, sowie dem Vorsteher des Eisenconstructions-Bureaus der Kgl. Eisenbahndirection Cöln (linksrheinisch), Herrn Ingenieur A. Bendel und Herrn Civilingenieur Orville Fisher zu Providence in Rhode Island für die Zuvorkommenheit zu danken, mit welcher sie die Herausgabe dieses Heftes gefördert haben. Besonderer Dank gebührt endlich der Verlagsbuchhandlung, welche mit Hülfe bewährter Kräfte auch diesem Hefte eine gediegene, geschmackvolle Ausstattung zu Theil werden liess.

Möchte das vorliegende 9. Heft der Brücken der Gegenwart dem auch an der diesseitigen Technischen Hochschule seit Jahren empfundenen Bedürfnisse einer Anleitung zum Berechnen, Entwerfen und Veranschlagen von beweglichen Brücken die erwünschte Abhülfe gewähren und sich, gleich den früheren Heften dieses Werkes, der wohlwollenden Nachsicht unserer Fachgenossen erfreuen.

Aachen, im August 1883.

H.

INHALT.

Bewegliche Brücken.

	Seite		Seite
I. Technische Entwicklung.			
1. Die älteren Constructionen	1		
2. Die neueren Constructionen	4		
II. Statische Berechnung.			
1. Die beweglichen Brücken im Allgemeinen	7		
2. Die Träger der beweglichen Brücken.			
A. Angriffsmomente und Vertikalscheerkräfte	7		
a. Träger auf einer Stütze	7		
b. Träger auf zwei Stützen	8		
c. Träger auf drei Stützen	10		
d. Träger auf vier Stützen	13		
B. Widerstandsmomente und Vertikalwiderstände	14		
a. Geschlossene Querschnitte	14		
b. Durchbrochene Querschnitte	15		
C. Verkehrsbelastung der beweglichen Brücken.			
a. Verkehrsbelastung der beweglichen Eisenbahnbrücken.			
α) Einzellasten und Lastvertheilung der schwersten Eisenbahnfahrzeuge	15		
β) Gleichförmig vertheilte Verkehrsbelastung.			
$\alpha\alpha$) Aequivalentbelastungen für Träger mit zwei Stützen	16		
$\beta\beta$) Aequivalentbelastungen für Träger mit drei Stützen	16		
b. Verkehrsbelastung der beweglichen Strassenbrücken.			
α) Einzellasten und Lastvertheilung der schwersten Strassenfahrwerke	17		
β) Gleichförmig vertheilte Belastung	17		
D. Eigengewicht der beweglichen Brücken.			
a. Eigengewicht der beweglichen Eisenbahnbrücken.			
α) mit Trägern auf zwei Stützen	17		
β) mit continuirlichen Trägern auf drei Stützen	18		
b. Eigengewicht der beweglichen Strassenbrücken.			
α) mit Trägern auf zwei Stützen	18		
β) mit continuirlichen Trägern auf drei Stützen	18		
E. Widerstände der Materialien beweglicher Brücken.			
a. Zug- und Druckfestigkeit	18		
b. Scheerfestigkeit	18		
c. Knickfestigkeit	19		
3. Die wagrecht verschieblichen Brücken (Rollbrücken)	19		
4. Die lothrecht verschieblichen Brücken (Hubbrücken)	20		
5. Die um wagrechte Endachsen drehbaren Brücken (Zugbrücken).			
A. Statische Berechnung der Zugbrücken im Allgemeinen	21		
B. Statische Berechnung der Träger	21		
C. Zugbrücken mit constanten Gegengewichten	22		
a. Zugbrücken mit Doppelhebeln von constantem Gewicht	22		
α) Zugbrücken mit festgelagerten Doppelhebeln	22		
β) Zugbrücken mit fahrbaren Doppelhebeln	22		
b. Zugbrücken mit geführten constanten Gegengewichten	23		
α) Zugbrücken mit sinusoidenförmiger Leitcurve	23		
β) Zugbrücken mit spiralförmiger Leitcurve	24		
D. Zugbrücken mit variablen Gegengewichten	24		
a. Zugbrücken mit Gegengewichtsketten	24		
b. Zugbrücken mit sich absetzenden Gewichten	25		
6. Die um wagrechte Zwischenachsen drehbaren Brücken (Klappbrücken)	25		
A. Klappbrücken mit festgelagerten Drehachsen	25		
a. Einflügelige Klappbrücken mit festen Drehachsen	25		
b. Zweiflügelige Klappbrücken mit festen Drehachsen	25		
B. Klappbrücken mit beweglichen Drehachsen	26		
a. Klappbrücken mit längs einer Geraden beweglichen Drehachsen	26		
b. Klappenbrücken mit längs einer Curve beweglichen Drehachsen	26		
7. Die um lothrechte Endachsen drehbaren Brücken (Krahnbrücken)	26		
a. Einflügelige Krahnbrücken	26		
b. Zweiflügelige Krahnbrücken	26		
8. Die um lothrechte Zwischenachsen drehbaren Brücken (Drehbrücken)	27		
A. Gleicharmige Drehbrücken	27		
a. Stützendrucke der Brückenträger	27		
b. Statische Berechnung der Brückenträger			
α) Drehzapfenbrücken	28		
β) Rollkranzbrücken	28		
γ) Rollkranzbrücken mit Zapfen	28		
δ) Drehzapfenbrücken mit Rollkranz	28		
c. Arbeit bei Hebung und Senkung der Brücken	29		
d. Arbeit bei Drehung der Brücken	30		
e. Zeitaufwand zum Oeffnen und Schliessen der Brücken	30		
B. Ungleicharmige Drehbrücken.			
a. Einflügelige Drehbrücken	30		
b. Zweiflügelige Drehbrücken	31		
C. Lager der Drehbrücken	31		
a. Die Zwischenlager	31		
α) Die Zwischenlager der Rollkranz-Drehbrücken	31		
$\alpha\alpha$) Der obere Laufkranz	31		
$\beta\beta$) Die Laufrollen	32		
$\gamma\gamma$) Der untere Laufkranz	32		
β) Die Zwischenlager der Stützzapfenbrücken	32		
$\alpha\alpha$) Der Stützzapfen	32		
$\beta\beta$) Das Druckhaupt	32		
$\gamma\gamma$) Das Stützzapfenlager	32		
b. Die Endlager der Drehbrücken	33		
α) Die Endlager mit excentrischen Scheiben	33		
β) Die Endlager mit Kurbelzapfen und Frictionsrollen	33		
γ) Die Endlager mit Keilen	34		
δ) Die Endlager mit Kniehebeln	34		
ϵ) Die Endlager mit Schraubenwinden	34		
ζ) Die Endlager mit hydraulischen Pressen	35		
D. Drehvorrichtungen	35		
a. Drehvorrichtungen der Rollkranzbrücken	35		
b. Drehvorrichtungen d. Stützzapfenbrücken	35		
c. Drehvorrichtungen der Rollkranz-Stützzapfenbrücken	35		
9. Die Schiffbrücken	36		
a. Statische Berechnung der Schiffbrücken			
α) Schiffbrücken mit unzusammenhängenden Gliedern	36		
β) Schiffbrücken mit zusammenhängenden Gliedern	36		
b. Statische Berechnung der Ankerketten			
α) Ankerketten für die Brückenjoche	37		
β) Ankerketten für die Durchlässe	37		
c. Statische Berechnung der Schiffbrücken-Rampen	37		
III. Anordnung und Construction.			
1. Die Rollbrücken.			
A. Allgemeine Anordnung	38		
B. Specielle Anordnung	38		
2. Die Hubbrücken.			
A. Allgemeine Anordnung	39		
B. Specielle Anordnung	39		
3. Die Zugbrücken.			
A. Allgemeine Anordnung	39		
B. Specielle Anordnung	39		
a. Zugbrücken mit festgelagerten Ziehstäben	39		
b. Zugbrücken mit fahrbaren Ziehstäben	40		

	Seite		Seite
c. Zugbrücken mit sinusoidenförmiger Leit- curve	40	a. Ermittlung der Angriffsmomente und Vertikalscheerkräfte.	
d. Zugbrücken mit spiralförmiger Leitcurve	40	Erster Belastungsfall	61
e. Zugbrücken mit Gegengewichtsketten	40	Zweiter Belastungsfall	62
f. Zugbrücken mit sich absetzenden Ge- wichten	40	Dritter Belastungsfall	62
		Vierter Belastungsfall	62
4. Die Klappbrücken.		b. Ermittlung der Querschnitte	63
A. Allgemeine Anordnung	40	B. Die Schwellenträger	63
B. Specielle Anordnung	41	C. Die Quer- und Bankettträger	63
5. Die Krahnbrücken.		a. Die Querträger	63
A. Allgemeine Anordnung	41	b. Die Bankettconsolen	64
B. Specielle Anordnung	42	D. Drehzapfen und Drehzapfenträger	64
6. Die Drehbrücken.		a. Der Drehzapfen	64
A. Allgemeine Anordnung	42	b. Die Drehzapfenquerträger	64
B. Specielle Anordnung.		c. Die Drehzapfenlangträger	64
a. Die Träger	43	E. Durchbiegungen der Brücke und Anord- nung ihrer davon abhängigen Theile	64
α) Die Träger der gleicharmigen Dreh- brücken	43	a. Trägheitsmomente der verschiedenen Querschnitte eines Hauptträgers	64
β) Die Träger der ungleicharmigen Dreh- brücken	44	b. Durchbiegungen der auf drei Stützen ruhenden Brückenträger.	
b. Die Querverbände	45	α) Beide Arme sind entlastet	65
α) Die vertikalen Querverbände	45	β) Längerer Arm ist vollbelastet, kür- zerer Arm ist entlastet	65
β) Die horizontalen Querverbände	45	c. Durchbiegungen der entlasteten, auf Drehzapfen und Stützrad frei schwe- benden Brücke.	
c. Die Zwischenlager.		α) Durchbiegung des längeren Brücken- arms	65
α) Die Zwischenlager der Rollkranz- brücken	45	β) Durchbiegung des kürzeren Brücken- arms	65
β) Die Zwischenlager der Stützzapfen- brücken	46	Zusammenstellung d. berechneten Durch- biegungen	66
d. Die Endlager.		d. Anordnung der von den Durchbie- gungen abhängigen Brückentheile.	
α) Die Endlager mit excentrischen Schei- ben oder Kurbelzapfen	46	α) Gesamthub der Hebe- und Senk- Vorrichtung	66
β) Die Endlager mit Keilen	47	β) Anordnung des Stützrades	66
γ) Die Endlager mit Kniehebeln	47	γ) Anordnung des Drehzapfens	66
δ) Die Endlager mit Schraubenwinden	47	δ) Anordnung der Mittelstütze	66
e. Die Drehungsmechanismen	47	ε) Anordnung der Trägerenden über den festen Lagern	66
α) Die Hand-Drehungsmechanismen	47	F. Die Drehvorrichtung der Brücke	66
β) Die hydraulischen Drehungsmecha- nismen	47	G. Die Hebe- und Senk-Vorrichtung des länge- ren Brückenarms	67
γ) Die Dampf-Drehungsmechanismen	47	3. Specielle Anordnung	67
f. Die Feststellungs-Vorrichtungen	47	A. Die Hauptträger	67
g. Die Signal-Vorrichtungen	48	B. Die Langträger	67
7. Die Schiffbrücken.		C. Die Querträger	67
A. Allgemeine Anordnung	48	D. Der Horizontalverband	67
B. Specielle Anordnung.		E. Der Drehzapfen	67
α) Construction der Schiffe	49	F. Die Drehvorrichtung	68
β) Construction der Brückenbahn	49	G. Die Hebe- und Senk-Vorrichtung	68
γ) Construction der Durchlässe	49	H. Die Stützvorrichtung	68
δ) Verankerung	49	J. Die Feststell- und Signal-Vorrichtung	68
ε) Construction der Schiffbrücken-Rampen	49	K. Die Einklinkungsvorrichtung	68
		Taf. VI. Amerikanische Drehbrücken.	
		1. Strassendrehbrücke über den Chicagofluss in Chicago, Fig. 1 bis 9	68
		2. Eisenbahndrehbrücke über den Passaic bei Newark in New-Yersey, Fig. 10 bis 25	68
IV. Beschreibung und statisch-numerische Be- rechnung.		V. Gewichts- und Kostenberechnung, Verge- bung und Ausführung.	
Taf. I. Uebersicht über die Roll-, Hub-, Zug-, Klapp-, Krahn- und Schiff- brücken.		1. Approximative Kostenberechnung.	
1. Die Rollbrücken, Fig. 1 bis 16	50	a. Eisenbahnbrücken	69
2. Die Hubbrücken, Fig. 17 bis 20	50	b. Strassenbrücken	69
3. Die Zugbrücken, Fig. 24 bis 44	51	2. Definitive Kostenberechnung	70
4. Die Klappbrücken, Fig. 45 bis 74	51	1. Beispiel. Gewichts- und Kostenberechnung der Roll- brücke am Pfaffendorfer Thor bei Coblenz	
5. Die Krahnbrücken, Fig. 75 bis 84	52	2. Beispiel. Gewichts- und Kostenberechnung der Klapp- brücke am Horchheimer Thor bei Coblenz	70
6. Die Schiffbrücken, Fig. 85 bis 110	53	3. Beispiel. Gewichts- und Kostenberechnung der Dreh- brücke der Berlin-Stettiner Bahn über die Parnitz bei Stettin	74
Taf. II. Uebersicht über die Drehbrücken.		3. Vergebung der Arbeiten	76
1. Gleicharmige Drehbrücken, Fig. 1 bis 24	54	4. Ausführung	76
2. Ungleicharmige Drehbrücken, Fig. 25 bis 54.		Literatur.	
a. Einflügelige Drehbrücken, Fig. 25 bis 48	55	I. Bewegliche Brücken	77
b. Zweiflügelige Drehbrücken, Fig. 49 bis 54	56	II. Rollbrücken	77
3. Details von Drehbrücken, Fig. 55 bis 93	56	III. Hubbrücken	77
Taf. III. Rollbrücke der rechtsrheini- schen Bahn am Pfaffendorfer Thor bei Coblenz.		IV. Zugbrücken	77
1. Constructive Anordnung	57	V. Klappbrücken	77
2. Statische Berechnung	57	VI. Krahnbrücken	77
a. Die Rollwagen	57	VII. Schiffbrücken	77
b. Die lange Rollbrücke	58	VIII. Drehbrücken	77
c. Die kurze Rollbrücke	59	IX. Theorie der beweglichen Brücken	78
Taf. IV. Klappbrücke der rechtsrheini- schen Bahn am Horchheimer Thor bei Coblenz.			
1. Constructive Anordnung	59		
2. Statische Berechnung	60		
Taf. V. Drehbrücke der Berlin-Stettiner Bahn über die Parnitz bei Stettin.			
1. Allgemeine Anordnung	61		
2. Statische Berechnung	61		
A. Die Hauptträger	61		

Bewegliche Brücken.

I. Technische Entwicklung.

1. Die älteren Constructionen.

Unter die ersten beweglichen Brücken des Alterthums gehören die zur Durchfahrt bemasteter Schiffe erforderlichen Durchlassjoche von Schiffbrücken, deren u. a. von Darius über den Bosphorus und über die Donau sowie von Xerxes über den Hellespont errichtet waren, oder Durchlassöffnungen von Pfahlbrücken, wie sie wahrscheinlich bereits bei der während des peloponnesischen Krieges zur Vertheidigung gegen die Athenienser von den Bewohnern der Insel Euböa zwischen Chaleis und Aulis¹⁾ hergestellten Brücke über den Euripus angebracht waren. Nach Plinius wurde die zur Verbindung der auf beiden Ufern der Tiber gelegenen Stadttheile unter Ancus Martius um 625 a. C. erbaute älteste, auf Pfählen ruhende Brücke (pons sublicius) Roms, nachdem deren Ueberbau um d. Jahr 500 a. C. bei der heldenmüthigen Vertheidigung des Horatius Cocles gegen den Etruskerkönig Porsenna abgehauen worden war, dieser durch Verbindung der Holzstücke ohne Anwendung von Eisen wieder so ergänzt, dass man ihn nöthigenfalls ab- und wieder aufschlagen konnte. Im Mittelalter wurden zur Absperrung fester Plätze bewegliche, besonders Zugbrücken, welche gleichzeitig den Verkehrsweg unterbrechen und die Eingangsöffnung abschliessen, angewandt. So erhielt die i. J. 1683 von dem Dominikanermönch Romano erbaute Brücke über die Maas zu Maestricht ausser 8 überwölbten Oeffnungen von 12 bis 13,5 m ein hölzernes Dach von 19,9 m Spannweite, um im Fall einer Belagerung dem Feinde den Zugang abschneiden zu können. In der neueren Zeit wurden bewegliche Brücken, ausser zum Abschluss von festen Plätzen, auch zur Freihaltung von Canälen an ihren Kreuzungsstellen mit Strassen angewandt. Hierbei herrschten die Zug- und Klappenbrücken vor. Die Zugbrücken erhielten einfache oder doppelte Flügel und wurden mit Hülfe von Ziehbäumen und Gegengewichten aufgezogen. Das Bestreben, die Bewegung der Brückenbahn möglichst rasch und leicht bewirken zu können, führte um d. J. 1740 Belidor auf die Anordnung der Sinusoidenbrücken, Taf. I, Fig. 28—30, bei welchen der Brückenflügel mittelst Zugseil durch ein Gegengewicht balancirt wird, welches auf einer Curve, deren Ordinaten dem Sinus des Hebungswinkels der Brücke proportional sind, auf- und abrollt. Die aus einer Eisenschiene gebildete Leiteurve des Gegengewichtes ersetzte Ardagh durch eine Construction, bei welcher an die Stelle einer Sinusoide eine mit dieser möglichst zusammenfallende Ellipse tritt, wobei die Rolle, woran das Gegengewicht hängt, durch eine in den Brennpunkten jener Ellipse befestigte Kette geführt wird. Diese Anordnung hat jedoch eine zu geringe seitliche Steifigkeit gezeigt. Da selbst bei richtiger Vertheilung der Gewichte diese Bewegung der Brückenbahn schwierig und gefährlich

¹⁾ Vgl. Strabo 9 pag. 400 u. 403, dann 10 pag. 447 und Diod. 13, 47.

ist, indem die bewegende Kraft an dem Gegengewichte selbst angreifen muss, so schlug Capitain Delille vor, die beiden Rollen jenes Gegengewichtes durch eine eiserne Axe zu verbinden und an derselben Räder mit tiefen Kehlen anzubringen, woran kleine, zur Bewegung durch Menschenkraft bestimmte Ketten ohne Ende hängen. Dieser Vorschlag führte ihn ferner darauf, das auf einer Curve gleitende, durch Rollen mittelst Ketten ohne Ende zu bewegende Gegengewicht mit der beweglichen Brückenbahn durch feste Eisenstangen zu verbinden, welche durch beiderseits in den Brückenpfeilern angebrachte Oeffnungen hindurchgehen, s. Taf. II, Fig. 39—40. Da der Schwerpunkt dieses Systems stets in gleicher Höhe bleiben muss, so hat Bergère die Delille'sche Curve weggelassen, dagegen auf einer durch die Verbindungsstange gehenden, in jenem Schwerpunkte befestigten Axe zwei Rollen angebracht, welche sich auf horizontalen eisernen Schienen bewegen, wenn man das Gegengewicht senkt, um die Brückenbahn zu heben, s. Taf. II, Fig. 37. Eine i. J. 1825 in den Aussenwerken von Mons nach diesem System construirte Brücke hat eine wagrechte, wenig über dem Boden erhabene Leitbahn aus Stein erhalten. Bei den von Dobbenheim construirten Zugbrücken, s. Taf. II, Fig. 38, wurden die Zugketten über Rollen geführt und dann an zwei um ihre Enden drehbare Schwengel befestigt, welche verschieblich befestigte Gegengewichte trugen. Zwei andere ähnliche, unter Winkeln von ca. 45° zu den ersteren geneigte, um ihre Enden drehbare Schwengel wurden an den entgegengesetzten Enden mit den ersteren durch besondere Ketten verbunden. Beim Aufheben der Brückenklappe, wobei die grösseren Momente auftraten, wirkten daher beide Schwengel so lange zusammen, bis die unteren Schwengel die lothrechte Lage annahmen, worauf — den kleineren Momenten entsprechend — die oberen allein wirkten. Wegen des nicht in allen Lagen stattfindenden Gleichgewichtes, wegen der Schwankungen jener Schwengel und der erforderlichen bedeutenden Zugkraft haben indessen die in Berques, Condé, Kehl, Cherbourg u. a. O. nach diesem System ausgeführten Zugbrücken sich nicht bewährt. Während man die i. J. 1799 am Canal St. Denis erbauten zweiflügeligen Zugbrücken von 7,5 m lichter Weite als Schlagbalkenbrücken construirte, versah Capitän Derché die in den Jahren 1810 und 1811 in Oposo und Palmanova erbauten Zugbrücken mit einem Spiralrade, s. Taf. II, Fig. 31—33, welches mit dem Zugseile des Brückenflügels verbunden war und woran das constante Gegengewicht derart wirkte, dass es dem Gewichte der Klappe in allen ihren Lagen das Gleichgewicht hielt. Eine in dem äusseren vertieften Umfange jenes Rades angebrachte Kette ohne Ende vermittelte die Drehbewegung der Brückenbahn. An die Stelle dieser Spirale mit variablem Hebelarm und constantem Gegengewicht setzte später Poncelet ein Rad mit constantem Hebelarm und eine ein variables Gegengewicht bildende Kette, s. Taf. II, Fig. 41 bis 44, welche — mit einem Ende am Thorpfeiler, mit

dem anderen Ende an der Welle jenes Rades aufgehängt — die Länge ihres jene Welle belastenden Theiles immer so veränderte, dass das Gleichgewicht gegen Drehung stets gewahrt blieb. Nach diesem Systeme, bei welchem man die Bewegung der Brücke ebenfalls durch eine Kette ohne Ende bewirkte, wurden von dem Jahr 1821 ab u. a. an den Festungsthoren von Metz, Verdun, Strassburg, Belfort, Toul und Sedan Brücken ausgeführt. Einzelne constructive Vervollkommnungen¹⁾ erfuhr dasselbe bei der i. J. 1826 an dem deutschen Thore zu Metz unter Poncelet's Aufsicht durch Bugnot ausgeführten Zugbrücke. Statt der Gegengewichtsketten wollte Lacoste an dem hinteren Ende der Zugketten einen Satz durchlöcherter gusseiserner Scheiben mit nach unten abnehmenden Durchmesser, s. Taf. II, Fig. 35, aufgereiht wissen, welche sich beim Niedergehen der Zugkette nacheinander auf eiserne Kreuze mit abnehmenden kreisförmigen Oeffnungen derart absetzten, dass das Gleichgewicht stets gewahrt blieb: eine Anordnung, welche zwar den Vorzug grösserer Einfachheit, aber den Nachtheil besass, für die fast um die ganze Länge der Zugkette sinkenden Gegengewichte, eventuell durch Anlage von Schächten, Raum schaffen zu müssen. Dieser, sowie der von Bergère gemachte Vorschlag, das Gegengewicht in eine Flüssigkeit eintauchen zu lassen und durch die Wahl einer passenden Form desselben mittelst des hydrostatischen Auftriebes die jeder Klappenlage entsprechende Gewichtsveränderung zu erzielen, erlangte jedoch keine praktische Bedeutung. Gegen Ende des vorigen Jahrhunderts kamen in den Strassennetzen von Holland, Belgien, England und Frankreich auch Drehbrücken zur Anwendung, welche für Spannweiten bis und über 8 m bzw. als ein- und zwei-flügelige construirt und deren Tragrippen je nach der Spannweite aus einfachen oder künstlich verstärkten Holzbalken hergestellt wurden.

Die gegen Ende des 18. Jahrhunderts bewirkte Anwendung des Gusseisens zum Bau fester Brücken veranlasste bereits i. J. 1804 den Engländer Walter zum Entwerfe gusseiserner Drehbrücken. Die ersten dieser Brücken wurden über den Regent-Canal erbaut und erhielten Rollkränze mit zahlreichen Laufrollen. Die erste eiserne Brücke des Continents scheint die von dem Belgier Teichmann i. J. 1812 nach englischem Vorbilde erbaute gusseiserne Drehbrücke in Antwerpen zu sein. Diese 17,76 m weite, 4,6 m breite Drehbrücke erhielt zwei Flügel, wovon jeder durch 16 auf einem Laufkranze ruhende Rollen getragen und im geschlossenen Zustande durch schiefe, vor der Drehung mechanisch auslösbare Streben gestützt wurde, während ihre Drehung mittelst Zahnrädern und gekrümmter Zahnstange binnen 7 Minuten bewirkt wurde: eine Drehvorrichtung, welche Teichmann bei der i. J. 1820 erbauten einflügeligen Drehbrücke in Brüssel von 7 m Lichtweite und 5 m Breite beibehielt. Bei diesen ältesten eisernen Drehbrücken waren die Drehzapfen nur gering belastet und dienten vorzugsweise zur Führung beim Drehen der Brücke, während fast das ganze Gewicht derselben auf den Laufrollen ruhte, die man in England in grösserer Zahl als in Belgien — wo man dieselben später auf zwei bis drei beschränkte — anwandte. Für die seit dem Jahre 1830 zuerst in England, Belgien und Holland eingeführten Eisenbahnen wurden zunächst ähnliche einflügelige gusseiserne Drehbrücken angewandt, wovon die 1835 in der Linie Brüssel-Antwerpen zu Mecheln²⁾ und die 1842 von Conrad in der Linie Amsterdam-Haag erbaute Drehbrücke Beispiele liefern. Bei Ueberbrückung grösserer Flüsse, auf welchen der Schiffsverkehr möglichst wenig gestört werden durfte, entstanden auch zweiarmige, gusseiserne und hölzerne Drehbrücken auf Drehpfeilern, bei welchen nicht nur zwei Oeffnungen mit grösseren Spannweiten zugleich, sondern auch in kürzerer Zeit und mit geringerem Kraftaufwande frei gemacht werden konnten. So ruht die in Holland nach diesem System

1) Näheres s. Poncelet, Lehrb. d. Anwendung der Mechanik auf Maschinen, deutsch von Schnuse. Darmst. 1815. Bd. I, S. 394 ff.

2) Vgl. Becker. Der Brückenbau in seinem ganzen Umfange. Stuttgart 1873, S. 300.

ausgeführte gusseiserne Brücke über die Spaarne¹⁾ über einem 6,5 m starken, je 8 m von den beiden Landpfeilern entfernten Zwischenpfeiler auf einem Laufkranze und 6 Laufrädern, wird durch einen Zahnradmechanismus, welcher in eine gekrümmte Zahnstange mit verticalen Zähnen eingreift, gedreht und vorher durch excentrische Scheiben von den Auflagern frei gemacht. Die in der kleinen Zweigbahn, welche von South-Eastern-Bahn quer durch den Hafen von Folkestone führt, errichtete hölzerne Drehbrücke²⁾ dieser Art besitzt Träger mit zwei gekrümmten Gurten nach dem seit dem Jahre 1835 bekannten Laves'schen System, ruht auf einem runden Drehpfeiler und kann mittelst eines an dessen oberem Umfang angebrachten gusseisernen Zahnkranzes, in welchen ein Zahnrad eingreift, gedreht werden. Ausser den Drehbrücken mit zwei Armen sind in Amerika, Frankreich und besonders Holland solche ohne Hinterarm, sog. Krahnbrücken aus Holz angewandt worden, welche in Holland bis zu 4 m Weite einfach, bis zu 10 m Weite doppelt — z. B. bei Breda und Schiedam mit um Wendesäulen drehbaren Hauptträgern und drehbaren Querverbindungen derselben — zur Ausführung gekommen sind.

Die geringe Festigkeit und Dauer der hölzernen, die Schwerfälligkeit und Kostspieligkeit der gusseisernen Drehbrücken sowie die Erfahrung, dass das Gusseisen wegen seiner geringen Zugfestigkeit und grossen Sprödigkeit als Constructionsmaterial zu Brücken mit grösseren Spannweiten, welche bedeutenden Erschütterungen ausgesetzt sind, weniger geeignet sei, als das Walzeisen, welches man bereits seit den 40er Jahren zu einzelnen, besonders auf Zug beanspruchten Brückentheilen verwandt hatte, führten vom Jahre 1846 ab zur Anwendung des Walzeisens auch zu beweglichen, insbesondere Schiebe- und Drehbrücken aus Kesselblech und Profileisen. Unter die ersten Ausführungen dieser Art gehören die zwei-flügelige Eisenbahn-Drehbrücke zu Leith bei Edinburg³⁾ mit geraden Blechträgern, die zweiarmige Drehbrücke bei Hull³⁾ mit parabolischen Blechträgern, die Hafenbrücke in Birkenhead bei Liverpool³⁾, zu deren Drehung bereits hydraulischer Mechanismus verwendet wurde und die von Cubitt construirte bewegliche Landungsbrücke nächst der Schiffswerfte St. Georg in Liverpool.⁴⁾ Auch die i. J. 1852/53 von Stephenson in der ägyptischen Eisenbahn von Alexandria nach Kairo über den Nilstrom von Damiette bei Benha erbaute Brücke⁵⁾ erhielt eine zweiarmige Drehbrücke von 47,11 m (154' 6" e.) Länge, mit schmiedeeisernen Kastenträgern auf eisernem, aus 6 Röhren bestehenden Drehpfeiler, welchem flussauf- und abwärts je ein eiserner Aufschlagpfeiler hinzugefügt ist.

In den 50er Jahren finden sich in England, und zwar südlich von London am Grand-Surrey-Canal, bereits die ersten Hubbrücken, wobei die durch 4 Gegengewichte ausbalancirte Brückenbahn mit Seilen an 4 Rollen hängt, welche an den vier Ecken der Brückenbahn auf Gerüsten oder kleinen Thürmen ruhen. Bei einer in Liverpool zur Ueberführung der von der East-Lancashire-Bahn nach dem Wellington-Dock erbauten Zweigbahn über die längs den Docks hinführende Strasse hergestellten Hubbrücke von 15,2 m (50' e.) Weite hängen die 4 Gegengewichte im Inneren kleiner gemauerter Thürme, jedoch genügt es, ihre Brückentafel, deren Unterkante sich nie unter 3,66 m (12' e.) über der Strasse befindet, nur bei der Passage hochbepackter Wagen aufzuziehen.⁶⁾

Um dieselbe Zeit sind in Irland zur Uebersetzung von Canälen, worin ein fast gleichhoher Wasserstand erhalten wird, kleine Pontonbrücken, s. Taf. I, Fig. 91, 92, im Gebrauch, welche vor dem Durchgang eines Schiffes

1) A. a. O. S. 301.

2) Vgl. Tellkamp, Reisenotizen über neuere Brückenbauten in England. Ztschr. d. Hann. Arch.- u. Ing.-Ver. Hannover 1857. Sp. 176.

3) A. a. O. Sp. 176.

4) Vgl. Heinzerling, Die Brücken in Eisen, Leipzig 1870, S. 214.

5) A. a. O. S. 870 ff.

6) Vgl. Ztschr. f. Hannover. 1857. Sp. 178 ff.

mit einer Kette erst seitwärts aus der Strassenfahrbahn und dann in eine der Grösse des Pontons entsprechende Nische der Canalmauer eingefahren werden.¹⁾

Eine der ersten eisernen Drehbrücken in Deutschland wurde von 1844—48 in der Main-Neckarbahn über den Main in Frankfurt erbaut. Sie überspannt eine Oeffnung von 8,46 m Weite, ist einarmig und besitzt 4 schmiedeiserne Fischbauchträger von 19,6 m Gesamtlänge, einen gusseisernen Rollkranz von 6,2 m Durchmesser und zwei Triebrollen, mittelst deren die Brücke durch 2 Mann in 3 Minuten gedreht wird. Ihr folgte i. J. 1849 die von Unruh und Benda erbaute Drehbrücke über die Elbe mit zwei Oeffnungen von je 12,55 m (40' pr.) und 33,88 m (108' pr.) Totallänge, i. J. 1852 die auf 12 Rollen und Rollkranz aus Gusseisen ruhende Drehbrücke über den Papenburger Canal von 9,42 m (30' pr.) Weite, sowie die einarmige, auf 10 Rollen laufende Drehbrücke über die Leda bei Leer mit 8,47 m (29' hann.) lichter Weite, in den Jahren 1853—56 die zweiarmige, 52,0 m (178' hann.) lange Drehbrücke über die Geeste zwischen Geestemünde und Bremerhafen mit zwei Blechträgern mit gekrümmtem Obergurt, gusseisernem, gezahnten Rollkranz und je 3 fixen Rollen unter den mit schiefen Ebenen zum Auf- und Ablaufen versehenen Trägerenden, während die Zapfen mittelst Keilen zum Tragen eingerichtet werden können.

Inzwischen wurden in Frankreich und Belgien, der geringeren Kosten wegen, immer noch hölzerne Drehbrücken mit hölzernen Stützen erbaut, welche jedoch bei der Passage schwerer Wagen mehr oder minder beträchtlichen Schwankungen unterworfen waren. Auch in den Vereinigten Staaten von Nordamerika wurden in den 50er Jahren vorwiegend hölzerne Drehbrücken erbaut, während Rollbrücken vereinzelt und Klappbrücken gar nicht vorkommen. Diese Drehbrücken besaßen entweder je zwei armirte Balken, s. Taf. II, Fig. 5, wie die über den Delaware- und Raritan-Canal führende Strassenbrücke in Trenton²⁾ von 15,2 m (50' e.) freier Weite, oder je zwei, meist Howe'sche Fachwerkträger, s. Taf. II, Fig. 1, 2, 4, wie die über eine 13,71 m (45 e.) breite Schleuse des Lachine-Canals führende Strassenbrücke in Montreal³⁾ und die zweigeleisige Eisenbahnbrücke über den Harlemfluss in der New-York-Harlem-Bahn.⁴⁾ Die Enden der letzteren wurden von schmiedeisenen, regulirbaren Spannstrangen unterstützt, welche von einem über dem mittleren Auflager stehenden und mit den Trägern verbundenen — also mit ihnen sich drehenden — hölzernen Pfeileraufsatz ausgingen. Diese Brücken waren theils ein-, theils zweiarmig, ruhten meist über einem Drehkranz auf Rollen, drehten sich um einen Zapfen und wurden theils durch Zahnradmechanismen von Hand, theils durch Wasserkraft, z. B. mittelst Turbinen und über Leitrollen geführter Ketten, gedreht. Bei den von Boston ausgehenden, über Meeresbuchten und Canäle führenden Eisenbahnen wurde eine Art Krahnbrücken angewandt, deren Träger zwar in der ebenerwähnten Weise an einem hölzernen Pfeileraufsatz hingen, aber durch um Verticalbolzen drehbare Querschwellen verbunden waren, sich also einzeln um die Aufhängepunkte an diesen Aufsätzen und um die lothrecht unter jenen Punkten an ihren Enden befestigten Drehzapfen so drehen liessen, dass sie in aufgedrehtem Zustande dicht nebeneinander lagen. Auch zu schiefen Drehbrücken wurde das System mit Vortheil angewandt. Die Träger der i. J. 1856 vollendeten, damals grössten Drehbrücke über den Mississippi bei Davenport⁵⁾, deren drehbarer Theil zwei Oeffnungen von je 35,35 m (116' e.) überspannt, auf einem Drehpfeiler von 12,2 m (40' e.) Durchmesser ruht und eine Länge von 85,34 m (280' e.) besitzt, erhielten gekrümmte Obergurten, übrigens die Anordnung Howe'scher Fachwerkträger mit 8,83 m (29' e.) und 2,6 m (8,5 e.) Höhe bezw. in der Mitte und an den Enden und waren ebenfalls mittelst Spann-

strangen an hölzernen, drehbaren Pfeileraufsätzen aufgehängt. Das Ganze ruht über einem Rollkranz von 9,75 m (32' e.) Durchmesser auf 28 Rollen von je 48 cm (19" e.) Durchmesser und wird mittelst zweier Vorgelege gedreht, wozu 4 Mann erforderlich sind. Von ähnlichem System, jedoch von Schmiedeeisen und ohne die erwähnten Spannstrangen und Pfeileraufsätze, wurden die Träger der Strassenbrücke über den grossen Canal in Chicago¹⁾ mit zwei Oeffnungen von je 25,0 m (82' e.) Weite construirt, welche bei einer Länge von 60,95 m (200' e.), bei 4,57 m (15' e.) Höhe in der Mitte und 2,28 m (7,5') Höhe an den Enden, auf einem Mittelpfeiler von 10,66 m (35' e.) ruhten, auf 6 Rollen über einem Drehkranz liefen und mittelst Vorgelegen durch je 2 Mann gedreht wurden. Die früher erwähnten Rollbrücken konnten entweder auf schrägen, versenkten Geleisen mittelst Zahnstange und Vorgelege so lange verschoben werden, bis die Oeffnung frei war, s. Taf. II, Fig. 12, oder wie bei einer Brücke der New-Jersey-Bahn über den Passaic von 10,97 m (36' e.) Weite auf Rädern und Laufschiene mittelst Zahnstangen und Vorgelegen parallel zur Bahnaxe zurückgerollt werden, nachdem eine Schiebebrücke von gleicher Länge durch Seitwärtsschieben ausgeschaltet war.

Unter den deutschen Drehbrücken sind die i. J. 1859 in der Berliner Verbindungsbahn über den Berlin-Spandauer Schiffahrtscanal erbaute einflügelige Blechbrücke mit 7,84 m (25' pr.) Lichtweite, die i. J. 1861/62 über den Hauptcanal bei Geestemünde erbaute zweiarmige Blechparabelträgerbrücke mit je 19,71 m (63' hann.) Lichtweite und durch Keile regulirbarem Zapfen, sowie die i. J. 1867 in der Brücke der Bremen-Oldenburger-Eisenbahn über die grosse Weser in Bremen²⁾ erbaute zweiarmige Drehbrücke mit je 18,24 m lichter Weite und Parabelträgern hervorzuhoben, deren Enden abgestumpft und Wandungen aus Gitterwerk gebildet wurden, während sie über dem Drehpfeiler auf 32 Rollen nebst Rollkranz, über den Auflagerpfeilern auf gusseisernen Unterlagplatten und regulirbaren Schraubenböcken-Lagern ruhen.

Zu den französischen Drehbrücken dieser Zeit gehören die zweiarmige Blechbrücke über die Somme bei Abbeville von 28 m Gesamtlänge, mit 20 auf gezahntem Rollkranz laufenden Rollen, und die i. J. 1862 erbaute Penfeldbrücke bei Brest, s. Taf. II, Fig. 52—54, mit zwei ungleicharmigen, je 86,775 m langen Flügeln, welche über den Drehpfeilern 7,72 m, in der Brückenmitte 1,4 m hoch sind, eine Mittelöffnung von 106 m Lichtweite überspannen und auf Rollkränzen nebst je 50 Rollen von 0,5 m Durchmesser laufen. Die Feststellung in der Mitte erfolgt durch starke Riegel, an den Widerlagern durch schraubstockartige Balken, welche sich an einen eisernen Vorsprung pressen. Zur Oeffnung sind 15 Minuten Zeit und auf jedem Flügel 2 Mann erforderlich.

Im Jahre 1861 schlug Nöggerath³⁾ vor, das Gegengewicht der Zugbrücken, nicht wie bei der Belidor'schen Sinusoidenbrücke durch eine feste Leitcurve, sondern durch ein oberhalb desselben aufgehängenes Pendel, s. Taf. I, Fig. 36, zu führen, welches sich entweder an eine cardioide Evolventencurve anschliesst und beim Aufziehen der Brücke selbst eine Cardioide beschreibt, oder welches, mit nur angenäherter Gewichtsausgleichung, als Kreispendel mit dem halben Ausschlagwinkel ausgeführt wird.

Auch die Krahnbrücken erhielten durch die i. J. 1865 erbaute Vechtbrücke in Holland, s. Taf. II, Fig. 84, die i. J. 1866 in der Linie Zwolle-Meppen über einen Schiffahrtscanal bei Zwolle erbaute schiefe Drehbrücke, s. Taf. II, Fig. 75, 76, und die in der Oldenburg-Leerbahn i. J. 1868/69 hergestellte Brücke über den Georgsvehn-Canal⁴⁾ in Oldenburg, s. Taf. II, Fig. 77—83, eine weitere Ausbildung. So ist statt der zur Hebung der Trägerenden von den Holländern angewandten Excentriks, welche sich mit der Zeit abnutzen und dann eine ungleiche Höhen-

1) A. a. O.

2) Vgl. Ztschr. f. Bauw. Berlin 1862. Sp. 385.

3) A. a. O. Sp. 384.

4) A. a. O. Sp. 384.

5) A. a. O. Sp. 386.

1) A. a. O. Sp. 385.

2) Vgl. Ztschr. d. Hann. Arch.- u. Ing.-Vereins. 1869. Sp. 215 ff.

3) Vgl. Civilingenieur. 1861.

4) A. a. O. 1879. Sp. 233 ff.

lage der festen und beweglichen Fahrschienenenden zur Folge haben, bei der letzteren ein Keilmeechanismus zur Anwendung gekommen.

Die einen ständigen Landverkehr zwischen zwei Ufern vermittelnden Schiffbrücken sind zunächst nur für Strassenverkehr und aus Holz construirt worden. Bei seichtem Niederwasser wurden die am Ufer drehbar befestigten Ab- und Zufahrten auf Holzjoche, bei hinreichend tiefem Niederwasser auf einzelne oder mehrere, mit Bockgerüsten versehene hölzerne Pontons gestützt und diese Joche bezw. Gerüste mittelst Schraubenspindeln oder Zugwinden insoweit gehoben und gesenkt, als es der zeitweilige Wasserstand erforderte. Die Verbindungen der Ab- und Zufahrten mit den ersten, aus 2—3 Pontons bestehenden verankerten Mittelgliedern, sowie die Mittelglieder unter sich wurden mittelst Charnieren und Röddebalken nebst Bändern und Keilen zwar drehbar, aber mit der nöthigen Versteifung der Brückenbahn hergestellt, während die gleichfalls verankerten Durchlassglieder aus je einem Ponton oder aus zwei Pontons mit den nöthigen Winden und Steuerrudern bestanden, um nach Lösung von den angrenzenden Mittelgliedern aus- und eingefahren werden zu können. Solche Schiffbrücken, welche vor Eintritt des Eisganges abgefahren werden müssen, wurden u. a. in Cöln, Coblenz, Mainz, Mannheim, Knielingen, Breisach und Neckarelz angelegt.

2. Die neueren Constructionen.

Hatte man während der 50er und 60er Jahre allmählig wegen der relativ grösseren Ersparniss an mechanischer Arbeit den Drehbrücken und wegen des Gewinns an Zugfestigkeit und Elasticität als Baumaterial der Drehbrücken dem Schmiedeisen den Vorzug gegeben, so führten doch die mit der Drehung dieser Brücken auf Rollkränzen verbundene Schwerfälligkeit der Bewegung, sowie die durch Abnutzung, also Senkung ihres Rollkranzes und ihrer Laufrollen vermehrten Reibungswiderstände und die zu deren Verminderung erforderlichen Reparaturkosten die europäischen Constructeure zu dem Bestreben, die Drehbrücken ganz oder zum grössten Theile auf dem Drehzapfen ruhen zu lassen, die Rollen möglichst wenig zu belasten und nur zu einer seitlichen Stützung zu verwenden. Nachdem schon i. J. 1812 Teichmann den Zapfen der oben erwähnten Drehbrücke in Antwerpen möglichst hoch angeordnet und man ihn später bei den erwähnten, bezw. in den Jahren 1853 und 1861 erbauten Drehbrücken über die Geeste und über den Geestemünder Hauptcanal — ohne den Rollkranz völlig zu entlasten — durch Keile gehoben und dadurch vorzugsweise belastet hatte, erhielt die zwischen 1866 und 1872 von den Holländern erbaute Oude-Maas-Brücke bei Dordrecht¹⁾ einen hohen, auf einem tief in das Mauerwerk eingelassenen gusseisernen Lager drehbaren Zapfen, worauf die Brücke durch ein Kopflager aufgehängt ist, während die auf dem Mauerwerke drehbar befestigten Laufrollen nur deren Kippen zu verhindern haben. Die Drehung erfolgt durch einen Zahnradmechanismus, welcher in einen mit dem Mauerwerk verbolzten Zahnkranz mit lothrechten Innenzähnen eingreift. Noch vollständiger wurde dies Constructionsprincip bei der für 80 Ctr. Wagenladung berechneten, von Hand drehbaren Strassenbrücke über den Righvart-Canal in Amsterdam²⁾ durchgeführt, deren hölzernes Drehfeld — welches einen an einem mitdrehbaren, eisernen Bock durch Zugstangen aufgehängten Arm von 5 m und von 9,33 m besitzt — auf dem Drehzapfen aufgehängt und ausbalancirt ist, während Rollen und Rollkranz gänzlich fehlen. Auch bei der i. J. 1873 im Zuge der Hude-Braker-Eisenbahn erbauten einarmigen Drehbrücke über die Hunte³⁾ mit 13,5 m lichter Weite und 19,2 m Gesamtlänge blieben die letzteren weg, während das Drehfeld auf einem zuckerhutförmigen

1) Vgl. Röhra, Eisenbahn-Unter- und Oberbau Wien. 1877. Bd. II, S. 485.

2) Vgl. Ztschr. deutscher Ingenieure. Berlin 1870.

3) Vgl. Ztschr. des Hann. Arch.- u. Ing.-Vereins. 1874.

Zapfen ruht, s. Taf. II, Fig. 27—29, gegen dessen unteren Theil zur Vermeidung von Seitenschwankungen sich zwei Leitrollen stemmen. Die Drehung erfolgt mittelst Zahnkranz und Vorgelege, der Verschluss durch eine Keilvorrichtung. Eine ähnliche Anordnung versuchte Lüders bei einem i. J. 1873 in Wien ausgestellten Projecte zu einer Drehbrücke über den Lijmpfiord zwischen Aalborg und Norre-Sundby in Dänemark, bei welchem der Drehzapfen in den 6,83 m (21' 9 $\frac{1}{2}$ " dän.) Durchmesser haltenden Drehpfeiler 7,54 m (24' d.) eingelassen und oben durch Frictionsrollen geführt werden soll. Die Zapfenlagerung ist in einer Kammer geplant, zu welcher man auf einer, in einem etwas geneigten Schachte angebrachten, Leiter niedersteigen soll. Um die mechanische Arbeit zum Lösen der Brücke noch erheblicher zu vermindern, liess Schwedler¹⁾ die Brücke im geschlossenen Zustande auf drei ungleichweit entfernten Stützen ruhen, während sich der Drehzapfen innerhalb der grösseren Stützweite neben der mittleren Stütze befand. Vor dem Aufdrehen gelangte durch Beseitigung der Stützen unter dem Ende des längeren und schwereren Armes dieser letztere zur Senkung bezw. Auflagerung auf den Drehbolzen, das Ende des kürzeren Armes dagegen zum Abheben von seinem Lager, wodurch sich die Brücke ausbalancirte und in diesem Zustande unter Mitwirkung von Laufrädern, welche nur zur seitlichen Stützung dienten, durch einen Zahnradmechanismus gedreht wurde. Der ersten, nach diesem System ausgeführten Drehbrücke in der Vorpommerschen Bahn über die Peene bei Anclam, s. Taf. II, Fig. 47, 48, folgten bis zum Jahre 1871 die Drehbrücken in der Hafensbahn bei Stralsund, in der Bergisch-Märkischen Bahn über den Canal bei Duisburg, in einer Strassenbrücke bei Danzig, in den Eisenbahnbrücken über den Pregel bei Königsberg i. Pr., über die Oder und Parnitz bei Stettin, s. Taf. II, Fig. 10, 83, 91 und Taf. V, über die Elbe bei Hämerten, Harburg, Dömitz und Hohnstorf, sowie über den Rhein bei Düsseldorf.

An die Stelle des bei allen vorgenannten Brücken angewandten festen Zapfens setzte man bei neueren Ausführungen auch bewegliche Drehzapfen, mittelst deren die ganze Drehbrücke von ihren Lagern abgehoben, ausbalancirt und gedreht werden konnte. Nachdem die Engländer zu den Rollkranzbrücken über den Medway in Rochester und an dem Hafen bei Bristol schon bewegliche Zapfen angewandt hatten, um den Rollkranz möglichst zu entlasten, erhielt die i. J. 1857 erbaute Canalbrücke zu Triest einen Rollkranz und einen Zapfen, welcher emporgeschraubt und mit der ausbalancirten Brücke zugleich gedreht wurde. Die am Bassin Joliette zu Marseille ums Jahr 1873 erbaute Drehbrücke, s. Taf. II, Fig. 30—33, erhielt einen Drehzapfen, welcher durch hydraulischen Druck lothrecht gehoben werden konnte und ein horizontales Charnier trug, um welches das Brückenfeld, gleich einer Klappbrücke, in einer Verticalebene soweit gedreht werden konnte, als es die Durchfahrt niedrigerer Schiffe erforderte, während bei der Durchfahrt höherer Schiffe eine Ausschwenkung des Brückenfeldes um jenen Verticalzapfen stattfand. Da diese Aufklappung und Drehung der Brücke einen Zeitaufwand von bezw. 2 und 8 Minuten beansprucht, so wurde durch erstere die Zeit der Unterbrechung des durch die Brücke vermittelten Strassen- und Eisenbahnverkehrs wesentlich abgekürzt. Der zur Hebung von 260 Ctr. Brückenlast erforderliche Druck wird den Accumulatoren der Docks, woselbst er 82 Atmosphären beträgt, entnommen, während der Zapfen 85 cm stark und 2 m hoch ist, folglich bei der zum Aufklappen erforderlichen Hebung von 0,9 m noch 1,1 m, bei der zum Aufdrehen erforderlichen Hebung von 20 cm noch 1,8 m Führung besitzt. Ein in dem Wärterhause befindliches Hebelwerk drückt das Wasser unter den Drehzapfen und entfernt dasselbe wieder, wobei das beim Senken des Zapfens entweichende Wasser in den Accumulator zurückfliesst und so etwa $\frac{1}{5}$ der sonst erforderlichen Wassermenge erspart. Die gleichfalls durch Wasserdruk bewirkte Drehung erfolgt mittelst Ketten, welche um ein mit

1) Vgl. Ztschr. f. Bauwesen. Berlin 1871. Sp. 193 ff.

der Brücke drehbar verbundenes Kettenrad geschlungen sind und welche durch hydraulische Pressen hin- und zurückgezogen werden. Da jede Hebung und Drehung des Zapfens bezw. 0,0566 und 0,0763 cbm comprimierten Wassers erfordert und täglich im Durchschnitte 40 Hebungen und 10 Drehungen nöthig werden, so beträgt der tägliche Wasserverbrauch 3,027 cbm, mithin bei einer Vergütung an die Dockgesellschaft von 1 fr. für den Cubikmeter, der tägliche Kostenaufwand nur etwas über 3 frs.

Zu den Drehbrücken, deren Zapfen durch Wasserdruck gehoben und sammt der Brücke gedreht wird, gehören die im Jahre 1874 vollendete, zwischen den Brückendocks und dem Bassin national befindliche Hafenbrücke zu Marseille, s. Taf. II, Fig. 34—36, und die einarmige Victoriabrücke zu Leith. Der Drehzapfen der ersteren, welche mittelst dreier abgestumpfter Parabelträger ein Eisenbahngleise, eine 7 m breite Fahrstrasse nebst einem auf Consolen ruhenden Fussweg überführt und 750 Ctr. wiegt, befindet sich 38,8 m von dem freien und 23,6 m von dem Schwanzende, welches durch 3 Rollen unterstützt wird, ist durch Frictionsrollen geführt, hat bei einer Stärke von 58 cm eine Brückenlast von 685 Ctr. zu tragen, wird durch hydraulischen Druck von 270 Atm. um 15 cm gehoben und ruht auf einem Pfeiler von 9,5 m Durchmesser. In geschlossenem Zustande ruht das freie Ende auf dem Widerlager, das Schwanzende auf Stützen, welche vor der Hebung mittelst Keilen und hydraulische Pressen gesenkt werden, wodurch sich die Rollen auf den Laufkranz legen, während die Drehung mittelst eines Kettenrades von 14 m Durchmesser nebst Kette gleichfalls durch hydraulischen Druck erfolgt. Der Drehzapfen der zweigeleisigen Victoriabrücke, welche zwei Tragwände und einschliesslich zweier, je 1,5 m breiten Balken eine Breite von 11,9 m besitzt, ist 44,8 m von dem freien und 20,4 m von dem auf zwei Rollen ruhenden Schwanzende entfernt und wird vor der Drehung um 18 cm gehoben, während die Drehung durch hydraulische Pressen und Ketten erfolgt, welche um ein Kettenrad von 7,6 m Durchmesser geschlungen sind. Die von van Hasselt vorgeschlagene mechanische Hebung des Drehzapfens¹⁾ erfolgt mittelst eines durch den letzteren gesteckten Splintes, unter welchen die kurzen Arme zweier ungleicharmiger Hebel greifen, während die auf deren längeren Armen rollenden Gewichte durch einen Mechanismus so weit von deren Drehpunkt entfernt werden, bis das zur Hebung des Zapfens erforderliche Moment erreicht ist.

Die in den Vereinigten Staaten erbauten beweglichen Brücken der neueren Zeit sind fast durchweg zweiarmlige Drehbrücken, welche meist zum Durchdrehen, d. h. so eingerichtet sind, dass sie beim Ausschwenken stets nach einer Richtung gedreht werden. Die Tragwände dieser Drehbrücken sind häufig entweder nach dem Pratt'schen System des einfachen Fachwerks mit gekreuzten Diagonalen oder nach dem Linville'schen System des doppelten Fachwerkes mit steifen Verticalen und schlaffen Diagonalen, selten und dann nur bei kleinen Strassenbrücken nach dem Howe'schen System construirt, wobei die Gurten und lothrechten Hängstangen aus Eisen, die Streben und Gegenstreben aus Holz hergestellt sind. Auflagerung und Mechanismus der Drehbrücken werden von den bestehenden Brückenbaugesellschaften nach eigenen, meist patentirten Typen ausgeführt. So zeigt die von der Keystone Bridge Cie. für die New-York- und Long-Branch-Eisenbahngesellschaft erbaute eingleisige Raritan Bai Swingbrücke²⁾, welche bei einer Gesamtlänge von 143,86 m Linville'sche Träger von 12,2 m Höhe in der Mitte und von 9,1 m Höhe an den Enden besitzt, continuirlich angeordnete Obergurten, während die Untergurten über dem Drehpfeiler vollständig getrennt sind. Im geschlossenen Zustande und unter der Belastung von Eisenbahnzügen wirken somit die beiden Trägerhälften als zwei abgesetzte Träger, bei welchen der von ihnen auf die Pfeiler übertragene Druck genau bestimmt werden kann, weil auch

¹⁾ Vgl. Rziha, Eisenbahn-Unter- und Oberbau. Wien 1877, Bd. II, S. 498. ²⁾ Vgl. Steiner, Ueber Brückenbauten in den Vereinigten Staaten. Wien 1878. S. 174 ff.

die ungleiche Erwärmung von Ober- und Untergurt hierauf ohne Einfluss bleibt. Im geöffneten Zustande zeigen dagegen die nach beiden Seiten hin frei überhängenden Trägerhälften eine Continuität, da der Obergurt gespannt wird, während die beiden gedrückten Theile des Untergurtes sich fest aneinander pressen. Das Gewicht des ganzen Brückenfeldes von 590 Ctr. wird durch 4 mittlere Verticalpfosten auf eine Trommel und von dieser mittelst regulirbarer Zugstangen auf dreissig, je 30 cm breite Laufräder oder auf den 61 cm starken Drehzapfen übertragen. Vor dem Ausschwenken der Brücke wird dieselbe von vier unter jenen Verticalpfosten angebrachten hydraulischen Pressen um ca. 10 cm gehoben, wodurch auch deren etwas gebogene Trägerenden von ihren Lagern sich abheben, mithin ihr ganzes Gewicht auf den Drehzapfen, s. Taf. II, Fig. 80, concentrirt wird. Die Drehung der Brücke erfolgt mittelst einer Frictionskuppelung und zweier gegenüber angebrachter, in einen am unteren Trommelrande befestigten Zahnkranz eingreifenden Getriebe, welche durch eine auch das Druckwasser für die hydraulischen Pressen liefernde Dampfmaschine mit zwei Cylindern von 20 cm Durchmesser und 25,4 cm Hubhöhe in Drehung versetzt werden. An Stelle der auf dem Drehpfeiler aufgestellten hydraulischen Pressen, welche vor dem Ausschwenken die ganze Drehbrücke zu tragen haben, hat die Gesellschaft bei dem grössten Theile der von ihr ausgeführten Drehbrücken solche unter den freien Enden der Brücke angebracht, wo sie nur je $\frac{1}{4}$ des ganzen Brückengewichts zu tragen haben. Nach dem Einschwenken und Heben der Brückenenden werden dieselben durch Keile unterstützt, welche mittelst eines Hebelmechanismus vom Drehpfeiler aus untergeschoben werden.

Von den weiterhin durch diese Gesellschaft ausgeführten grossen Drehbrücken sind hervorzuheben die Mississippibrücke zu Keokuh mit 114,7 m, die Kansas-City-Brücke mit 109,5 m und die Dubuquebrücke über den Mississippi mit 109,5 m Gesamtlänge.

Die der Firma Clarke, Reeves & Cie. patentirten Einrichtungen bezwecken ein rasches Abheben von den Widerlagern beim Ausschwenken und die schnelle Wiederherstellung einer festen Unterstützung nach dem Einschwenken in die Gleislinie. Unter den zahlreichen, von ihr ausgeführten Drehbrücken ragen die Hudson-River- und Albany-Brücken der New-York-Central- und Boston-Albany-Eisenbahn durch die Grösse ihrer Maasse hervor.

Die Phoenixville Bridge Cie. bewirkt dies Abheben und Unterstützen der Trägerenden durch Kniehebel, die durch eine lothrechte Schraubenspindel mit auf- und absteigender Mutter — welche zugleich die Centrirung vermittelt — bezw. gehoben und gesenkt werden, während durch denselben Mechanismus die Fahrschienenenden bezw. aus dem gemeinschaftlichen Schienenstuhle gehoben und in denselben wieder niedergelassen werden können, s. Taf. II, Fig. 76—79. Die Bewegung dieses Mechanismus, sowie die Drehung der Brücke selbst erfolgt durch Handarbeit oder durch eine Dampfmaschine.

Die Hebung und Senkung der Trägerenden wird von der American Bridge Cie. durch Drehung einer Schraube ohne Ende von der Brückenmitte aus bewirkt, welche eine aussen mit Zähnen versehene Mutter dreht, durch welche der oben in eine Spindel endigende Stützzapfen soweit auf- und absteigt, dass im ersteren Fall ein ungehindertes Ausschwenken, im letzteren Fall eine feste Auflagerung erfolgt, s. Taf. II, Fig. 87. Die Centrirung der Fahrschienen bewerkstelligt sie — unter Vermeidung gemeinschaftlicher Lagerstühle, wobei jene leicht verbogen oder zerbrochen werden — mittelst Schubstangen, welche durch Federn in die entsprechenden Vertiefungen der Auflager geschoben und vor dem Ausschwenken der Brücke von deren Mitte aus zurückgezogen werden. Alle von dieser Gesellschaft erbauten Drehbrücken, worunter die 112,8 m lange Atchison-Brücke über den Missouri, die je 111,3 m lange Quincy- und Winona-Brücke über den Mississippi, s. Taf. II, Fig. 5, die bedeutendsten sind, besitzen continuirliche Träger mit etwas gesenkten Endstützen, wodurch die Endpfeiler

etwas entlastet werden. Ihre Strassen-Drehbrücken erhalten wegen des häufigen Oeffnens und Schliessens keine besonderen Adjustirungen, laufen vielmehr nur auf feste Rollen auf und werden durch Sperrklinken festgehalten.

Dem herrschenden Gebrauch entgegen lässt die Baltimore Bridge Cie. bei Drehbrücken mit grösseren Spannweiten zur angeblichen Verminderung der Reibungswiderstände das ganze Gewicht der Brücke von einem starken Rollkranz aufnehmen, während sie den Drehzapfen unbelastet lässt und nur zur Führung der Brücke verwendet. Hierbei wird der Durchmesser der Rollen ihrer Belastung proportional gesetzt und auf den laufenden Centimeter der Berührungslinie für jeden Centimeter des Durchmessers eine Belastung von 7,8 kg gerechnet.

Um die oben erwähnten Vortheile der discontinuirlichen Brücken mit möglichst geringer Arbeitsleistung zu verbinden, erwarben Pröll & Scharowsky i. J. 1879 ein Patent auf eine Drehbrücke¹⁾ mit getrennten Untergurten und ausbalancirtem Eigengewichte, wobei ein lothrecht beweglicher Laufring durch ein entsprechendes Gegengewicht mittelst ungleicharmiger Hebel in der Schwebe gehalten werden soll, s. Taf. II, Fig. 69, 201. Die Hebung der Brücke soll durch den Druck einer, durch eine in der Mitte der Brückenträger befestigte Mutter geführten, lothrechten Schraube auf einen mit dem Drehpfeiler verankerten Ständer, die Drehung derselben mittelst eines an der Brücke befestigten, in einen mit dem Drehpfeiler verbundenen Zahnkranz eingreifenden Vorgeleges erfolgen.

Um bei Hubbrücken die dem Winddruck ausgesetzte Fläche und die hierdurch vermehrten Reibungswiderstände zu vermindern, schlug Röper schon i. J. 1867 vor²⁾, zur Herstellung freier Durchfahrt nicht den ganzen Brückenüberbau, sondern nur die Brückenbahn zu heben und diese an hoch- und festgelagerten Hauptträgern beweglich aufzuhängen.

Unter den in den Vereinigten Staaten zur Ausführung gekommenen Hubbrücken dieser Gattung ist die i. J. 1874 von Whipple construirte Strassenbrücke über den 18 m breiten Erie canal in Utica³⁾, s. Taf. I, Fig. 20, 21, hervorzuheben, deren 5,5 m breite Fahrbahn an hochgelagerten Fachwerkträgern mittelst Rollen aufgehängt und durch Gegengewichte so ausbalancirt ist, dass sie mittelst eines durch ein horizontales Trittrad bewegten Zahnradmechanismus in 10 Sekunden gehoben und gesenkt werden kann.

Um die Dauer der Schiffbrücken zu erhöhen, hat man die hölzernen Schiffe derselben theils mit Metall, z. B. an der Lijmfjord-Brücke bei Aalborg, s. Taf. I, Fig. 93 bis 97, mit Zink bekleidet, theils, wie bei der Rheinbrücke zu Mannheim, durch eiserne Pontons ersetzt. Bei der i. J. 1865 vollendeten Schiffbrücke bei Maxau, s. Taf. I, Fig. 99—110, wurde der Verkehr auch auf Eisenbahnzüge ausgedehnt und erhielt diese aus 2 Bockjochen, 6 Durchlassjochen und 4 Mitteljochen bestehende Brücke eine Gesamtlänge von 362,8 m, wovon 128,8 m auf die Brückenrampen und 234 m auf die eigentliche Schiffbrücke entfallen. Mit Ausnahme der kleineren Durchlassjoche ruhen sämtliche Joche auf 3 Pontons, so dass die ganze Brückenbahn von 34 Pontons getragen wird. Die Brückenbahn der Schiffbrücke enthält die 3,5 m breite Eisenbahn in der Mitte und die je 4,2 m breiten Strassenfahrbahnen zu beiden Seiten. Die Fahrbahn der Eisenbahn besteht aus 2 doppelten hölzernen Längsträgern, worauf die durch Laschen verbundenen Fahrschienen liegen, nebst der 6 cm starken Bedielung, während die Fahrbahn der beiden Strassenbrücken aus je 2 doppelten und 4 einfachen hölzernen Trägern mit 8 cm starker Bedielung gebildet ist. Diese Doppelträger der Eisen- und Strassenbahn sind bei den Mitteljochen stumpf gestossen und durch eiserne Bänder zusammengehalten, während die einfachen Strassenträger auf dem mittleren Ponton übereinander greifen. Bei den Durchlassjochen reichen sämtliche Träger über beide Pontons. Jeder Durchlass besteht aus drei einzelnen Jochen, deren Pontons durch Kreuzspannketten verbunden und mit Anker-

winden nebst Steuerruder versehen sind. Ausser diesen Durchlassconstructions sind auch Schiffsdrehbrücken u. a. in der schon erwähnten Brücke bei Aalborg zur Anwendung gekommen, welche sich wegen der Sicherheit und Schnelligkeit des Aus- und Eindrehs empfehlen.

Ein Rückblick über die auf festen Stützen ausgeführten Systeme der beweglichen Brücken ergibt solche mit wagrecht (Rollbrücken) und lothrecht verschieblicher (Hubbrücken) Brückenbahn, solche mit um wagrechte Endachsen (Zugbrücken) und um wagrechte Zwischenachsen (Klappbrücken), ferner solche mit um lothrechte Endachsen (Krahnbrücken) oder lothrechte Zwischenachsen (Drehbrücken), oder solche sowohl um wagrechte als auch um lothrechte Achsen (Klappdrehbrücken) drehbarer Brückenbahn. Die verhältnissmässig seltenen Rollbrücken sind entweder schräg oder axial verschieblich, letztere bei Eisenbahnen mit seitwärts verschieblichem Rollwagen, wobei die Verschiebung der Brücke durch Zahnrad- oder hydraulischen Mechanismus erfolgt. Dieselben werden zur Zeit nicht mehr aus Holz, sondern aus Schmiedeisen erbaut. Als vortheilhaftestes System der vereinzelt ausgeführten Hubbrücken ist dasjenige mit beweglichen Hauptträgern bei kleineren Spannweiten, dasjenige mit auf- und absteigender Brückenbahn und hoch liegenden festen Brückenträgern bei grösseren Spannweiten angewandt. Von Zugbrücken sind zur Zeit noch diejenigen mit Ziehbäumen im Gebrauch, und zwar tritt auch hierbei Schmiedeisen an die Stelle des Holzes. Die Klappbrücken sind verhältnissmässig mehr und dann meist an Stelle der Zugbrücken bei Festungswerken derart ausgeführt, dass die Brückenbahn ausbalancirt ist und durch Zahnradmechanismus mittelst Seilen oder Ketten auf und nieder bewegt wird. Krahnbrücken, welche zwar den Vortheil vergleichsweise billiger Herstellung, aber den Nachtheil einer unzusammenhängenden Brückenbahn besitzen, sind nur vereinzelt und dann mit verbessertem Stützmechanismus ausgeführt worden. Die unter den beweglichen Brücken weitaus verbreitetsten Drehbrücken sind theils mit Führungsdrehzapfen und Rollkränzen, theils mit entweder feststehenden oder mit durch Schrauben, durch hydraulischen Druck oder durch Hebel beweglichen Stützdrehzapfen ohne Rollkranz versehen. Hierbei werden wegen geringerer Reibungswiderstände Stützzapfen ohne Rollkränze bei kleineren, Rollkränze mit Führungszapfen bei grösseren Drehbrücken, ferner wegen geringeren Kraftbedarfs beim Betriebe feste Stützzapfen in Verbindung mit beweglichen Mechanismen unter den Trägern den beweglichen Stützzapfen im Allgemeinen vorgezogen. Auch die gleichzeitige Verwendung des Drehzapfens und eines Rollkranzes zum Tragen je eines Theiles der Brückenlast wird in einzelnen Fällen mit Vortheil angewandt. Unter den Aus- und Einschwenkvorrichtungen der Drehbrücken sind die verbreitetsten die Zahnradmechanismen, welche bei kleineren Drehbrücken von Hand, bei grösseren durch Dampfkraft oder hydraulischen Druck in Bewegung gesetzt werden. Die Hebung und Senkung sowie die Stützung der Brückenenden wird theils durch Keile oder Kniehebel, theils — um einer mangelhaften Stützung durch abgenutzte Heb- und Senkvorrichtungen zu begegnen — durch Rollen oder Excenter in Verbindung mit Pendeln oder Böcken bewirkt, welche man durch entsprechende Mechanismen aus- und einrückt. Hiermit werden, wo dies die Sicherheit des Betriebes erfordert, zugleich geeignete Signalvorrichtungen verbunden. Bei kleineren Spannweiten werden der einfacheren Herstellung halber meist Blechträger, bei grösseren Spannweiten, besonders wo Sturmdruck den Trägern mit vollen Wandungen gefährlich werden könnte, stets Träger mit gegliederten Wandungen und parallelen oder gekrümmten Gurten in Anwendung gebracht.

Die Schiffbrücken sind fast ganz auf Strassenverkehr beschränkt geblieben und dann mit ausfahrbarem oder drehbarem Durchlassgliede, vereinzelt auch für Eisenbahnverkehr, zur Ausführung gelangt, während die Pontons derselben zur Zeit vorzugsweise aus Holz mit Metallbekleidung oder durchweg aus Eisen gebaut werden.

1) Vgl. Annalen f. Gewerbe u. Bauwesen. Berlin 1879. Nr. 53.

2) Vgl. Wochenblatt d. Berl. Arch.-Vereins. Berlin 1867/68.

3) Vgl. Ztschr. f. Bauwesen. Berlin 1876.

II. Statische Berechnung.

1. Die beweglichen Brücken im Allgemeinen.

Die statische Berechnung der beweglichen Brücken im weitesten Sinne zerfällt in die statische Berechnung ihrer Träger mit Berücksichtigung der ungünstigsten Lage und Belastung der Brücke im geschlossenen oder geöffneten Zustande, sowie bei ihrem Uebergange von dem einen in den anderen; in die Bestimmung der Kräfte und der Zeit, welche die Lösung, Bewegung und Einstellung der Brücke erfordert, sowie in die Berechnung der hierzu dienenden Mechanismen. Die Bewegung von Brücken oder Brückentheilen erfolgt entweder durch eine Verschiebung im wagrechten oder lothrechten Sinne, durch eine Drehung um wagrechte oder lothrechte Achsen oder durch Aus- und Einfahren wie bei den Schiffbrücken¹⁾. Wir theilen daher die Brücken nach der Art ihrer Bewegung in solche, deren Brückenbahnen

1. wagrecht verschieblich (Rollbrücken), 2. lothrecht verschieblich (Hubbrücken), 3. um wagrechte Endachsen drehbar (Zugbrücken), 4. um wagrechte Zwischenachsen drehbar (Klappbrücken), 5. um lothrechte Endachsen drehbar (Krahnbrücken), 6. um lothrechte Zwischenachsen drehbar (Drehbrücken) sind.

Für den Zustand der Ruhe erfordert deren Gleichgewicht in Bezug auf lothrechte Verschiebung, dass die widerstehende Vertikalkraft aV der angreifenden Vertikalkraft wV mindestens gleich, oder

$${}^aV - {}^wV = 0 \quad (1)$$

in Bezug auf wagrechte Verschiebung, dass die widerstehende Horizontalkraft wH der angreifenden Horizontalkraft aH mindestens gleich, oder

$${}^aH - {}^wH = 0 \quad (2)$$

und in Bezug auf drehende Bewegung, dass das Widerstandsmoment wM dem Angriffsmoment aM mindestens gleich, oder

$${}^aM - {}^wM = 0 \quad (3)$$

sei. Hierbei sind die widerstehenden Kräfte entweder äussere oder innere, während die angreifenden Kräfte stets äussere Kräfte sind. Insbesondere haben der Gleichung 1 die Hubbrücken, der Gleichung 2 die Rollbrücken, der Gleichung 3 die um wagrechte oder lothrechte Achsen drehbaren Brücken zu entsprechen. Alle diese Brücken sollen sich mit möglichst geringem Aufwand an Arbeit und Zeit öffnen und schliessen lassen und sind so zu construiren, dass während ihrer Bewegung der Schwerpunkt des ganzen Systems sich weder hebt noch senkt, also nur die Widerstände zu überwinden sind, welche der bewegenden Kraft entgegen wirken.

Um diese Bewegung herbeizuführen, müssen also die angreifenden Kräfte bzw. deren Momente die widerstehenden äusseren Kräfte bzw. deren Momente übertreffen, also die in Gleichung 1, 2, 3 enthaltenen algebraischen Summen > 0 sein. Bewirkt die angreifende Kraft K eine Bewegung, bei welcher der Widerstand W überwunden und der Weg s zurückgelegt wird, so leistet sie die mechanische Arbeit

$$A = K \cdot s = W \cdot s \quad (4)$$

worin meist K oder W in kg und s in m ausgedrückt wird. Kennt man nun die mechanische Arbeit a in kgm, welche ein Arbeiter oder eine Arbeitsmaschine in der Secunde als Einheitszeit zu leisten vermag, so ergibt sich die zum Öffnen und Schliessen der Brücke erforderliche Zeit

$$t = \frac{A}{a} \quad (5)$$

Die Anordnung der beweglichen Brücken ist nun so zu treffen, dass die Arbeitsleistung, also der Bewegungswider-

1) In streng mechanischem Sinne gehören auch die Durchlassjoche der Schiffbrücken zu den wagrecht verschieblichen Brücken.

stand W sowie der zurückzulegende Weg möglichst vermindert und die Zeit t durch geeignete Vermehrung der Arbeitsleistung a möglichst eingeschränkt wird.

Die Träger der beweglichen Brücken sind nicht nur bei den obigen sechs Gattungen derselben verschieden, sondern werden auch im geschlossenen Zustande dieser Brücken anders als im geöffneten Zustande derselben beansprucht. Im ersteren Falle ruhen dieselben auf je zwei, je drei, oder höchstens je vier Stützen, im letzteren Falle auf je einer bis höchstens je zwei Stützen und zwar liegen

die Träger der	bei geschlossener Brücke	bei geöffneter Brücke
1) Rollbrücken	auf 3 Stützen	auf 2 Stützen
2) Hubbrücken	" 2 "	" 2 "
3) Zugbrücken	" 2 "	" 2 "
4) Klappbrücken	" 2 "	" 1 "
5) Krahnbrücken	" 2 "	" 1 "
6) Drehbrücken		
mit abgesetzten Trägern	auf je 2 "	mit Stützzapfen auf 1 Stütze
mit continuirlichen Trägern	auf 3, 4 "	mit Rollkränzen auf 2 Stützen

Hierbei sind die Träger auf einem Stützpunkte als Consolenträger, die Träger auf zwei Stützen als abgesetzte Träger ohne oder mit Ueberhang, die Träger auf drei und vier Stützen als continuirliche Träger ohne oder mit Ueberhang zu betrachten und zu berechnen.

2. Die Träger der beweglichen Brücken.

A. Angriffsmomente und Vertikalscheerkräfte.

Bei Berechnung dieser Träger kommt es wesentlich auf Erfüllung der Gleichgewichtsbedingung 3 in Bezug auf Drehung und 1 in Bezug auf Verschiebung durch Vertikalscheerkräfte durch zweckmässige Wahl ihres Systems und ihrer Querschnitte an und zwar erfordert ihre praktische Sicherheit, dass das grösste Angriffsmoment dem kleinsten Widerstandsmomente höchstens gleich oder dass

$${}^aM_{\max} \leq {}^wM_{\min} \quad (6)$$

sei und dass die grösste Vertikalscheerkraft dem kleinsten Vertikalwiderstand höchstens gleich oder dass

$${}^aV_{\max} \leq {}^wV_{\min} \quad (7)$$

sei. Hierin bestehen ${}^aM_{\max}$ und ${}^aV_{\max}$ aus den Antheilen, welche die Verkehrslast v und das Eigengewicht e zu dem grössten Angriffsmoment und zu der grössten Vertikalscheerkraft beitragen, oder es ist das grösste Angriffsmoment

$${}^aM_{\max} = {}^aM_v_{\max} + {}^aM_e \quad (8)$$

und die grösste Vertikalscheerkraft

$${}^aV_{\max} = {}^aV_v_{\max} + {}^aV_e \quad (9)$$

Die Verkehrsbelastung besteht bei Eisenbahn- und Strassenbrücken jederzeit aus ungleichen, ungleich vertheilten Einzellasten, deren ungünstigste — in dem zu berechnenden Trägertheile die relativ grösste Anspruchnahme hervorrufoende — Laststellung zu ermitteln ist. Die Verkehrslast kann annäherungsweise als eine gleichförmig, entweder stetig oder auf Knoten vertheilte, das Eigengewicht der Brücke ebenfalls meist als eine gleichförmig, stetig oder auf Knoten vertheilte Belastung in die Rechnung eingeführt werden.

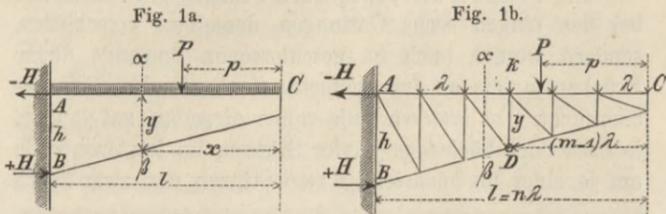
B. Träger auf einer Stütze.

Diese Träger, welche im geöffneten Zustande der Brücken entlastet sind, kommen bei den Krahnbrücken als einarmige, bei den Klappbrücken und Drehbrücken als zweiarmige vor und können in beiden Fällen als Träger mit über der Stütze festeingespannten Enden angesehen werden, welche theils mit Einzellasten (Gegengewichten), theils mit gleichförmig und stetig oder auf Knoten vertheilten Belastungen (Eigengewicht) beschwert sind.

Bezeichnet P eine Einzellast mit dem Abstände p ihres Schwerpunktes vom Trägerende, s. Textfig. 1a, so ist für den beliebigen Schnitt durch einen vollwandigen Träger in der Entfernung x von demselben das Angriffsmoment

$$^aM = P(x-p) \dots \dots \dots (10)$$

welches für $x=1$ und $p=0$ seinen grössten Werth annimmt. Bei gegliederten Trägern mit dem Abstände a des zweckmässigsten Drehpunktes vom Trägerende, ist $x=a$ zu setzen.



Bezeichnet e ein gleichförmig und stetig vertheiltes Gewicht, so wird $P = ex$ und $p = \frac{x}{2}$, also

$$^aM = \frac{ex^2}{2} \dots \dots \dots (11)$$

welches eine parabolische Curve darstellt und für $x=1$ seinen grössten Werth annimmt. Für das gleichförmig auf Knoten vertheilte Gewicht k eines Trägers mit n Feldern von der gleichen Weite λ , s. Textfig. 1b, wird für einen durch das beliebige m te Feld geführten Schnitt $P = m \cdot k$ und $x-p = \frac{(m-1)\lambda}{2}$, also

$$^aM = k \cdot \frac{m(m-1)\lambda}{2} \dots \dots \dots (12)$$

welches für $m=n$ seinen grössten Werth annimmt. Hiernach ergibt sich das gesammte Angriffsmoment für vollwandige Blech-Träger

$$^aM = P(x-p) + \frac{ex^2}{2} \dots \dots \dots (13)$$

und für gegliederte Träger, wenn $a = (m-1)\lambda$ wird,

$$^aM = P((m-1)\lambda - p) + k \frac{m(m-1)\lambda}{2} \dots (14)$$

Die gesammte, in dem Schnitt $\alpha\beta$ wirkende Vertikalscheerkraft ist entweder

$$^aV = P + ex \dots \dots \dots (15)$$

worin ex eine gerade Linie darstellt, oder

$$^aV = P + km \dots \dots \dots (16)$$

deren Maximum für bezw. $x=1$ und $m=n$ eintritt, in welchen Fällen sie dem Stützdrucke numerisch gleich wird.

Graphische Darstellung. Werden die Angriffsmomente und Vertikalscheerkräfte z. B. einer Krahnbrücke oder einer ungleicharmigen Drehbrücke, welche im ausgeschwenkten Zustande auf dem an ihrem Ende oder zwischen beiden Enden befindlichen Stützapfen ruht, nach vorstehenden Gleichungen berechnet und nach einem angenommenen Massstabe bezw. der Momente in kgm und der Vertikalscheerkräfte in kg aufgetragen, so werden die Angriffsmomente einzelner und gleichförmig vertheilter Lasten bezw. durch gerade Linien und durch Parabeln, die Vertikalscheerkräfte durch gerade Linien dargestellt.¹⁾

C. Träger auf zwei Stützen.

Diese Träger, welche im geschlossenen Zustande der Hub-, Zug-, Klapp-, Krahn- und discontinuirlichen Drehbrücken durch Verkehr belastet werden können, im geöffneten Zustande der Roll-, Hub-, Zug- und auf Rollkränzen gelagerten Drehbrücken aber stets nur mit Eigengewicht ohne oder mit Gegengewichten belastet sind, hat man für Einzellasten und, je nachdem die Träger construirt sind, für gleichförmige, entweder stetig oder auf Knoten vertheilte Lasten zu berechnen.

Analytische Behandlung. Bezeichnen P und Q die links und rechts von einem beliebigen, durch den Träger

1) Vgl. u. a. die graphische Darstellung der Angriffsmomente und Vertikalscheerkräfte der Träger der Drehbrücke über die Parnitz in Stettin in ausgeschwenktem Zustande auf der Texttafel A, Fig. 7 u. 8 dieses Heftes.

geführten Schnitte $\alpha\beta$, s. Textfig. 2, gelegenen Lasten, p und q bezw. deren Abstände von der linken und der rechten Stütze, a und b die Abstände des zweckmässigsten Drehpunktes D von bezw. der linken Stütze A und der rechten Stütze B , so ist für einen zwischen den Stützen mit der Entfernung l liegenden Drehpunkt D ganz allgemein das Angriffsmoment

$$^aM = P \frac{p}{l} b + Q \frac{q}{l} a \dots \dots \dots (17)$$

Das relative Maximum desselben ergibt sich bekanntlich aus der Bedingung¹⁾

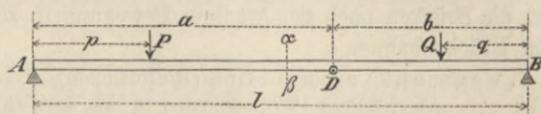
$$Pb - Qa \geq 0 \dots \dots \dots (18)$$

der ungünstigsten Laststellung, das absolute Maximum, wenn das Verhältniss

$$\frac{P}{Q} = \frac{a}{b} \dots \dots \dots (19)$$

stattfindet, wenn also die Lasten auf den zu beiden Seiten des Drehpunktes befindlichen Strecken diesen letzteren proportional oder die auf die Längeneinheiten vertheilten Lasten beider Strecken einander gleich sind.

Fig. 2.



Bezeichnet $g = e + v$ die grösste, auf die Längeneinheit gleichförmig vertheilte Belastung, so wird $P = 2pg$ und $Q = 2qg$, daher nach Gleichung 17 das relativ grösste Angriffsmoment

$$^aM = \frac{2g}{l}(p^2b + q^2a) \dots \dots \dots (20)$$

welches eine parabolische Linie darstellt, und, wenn der Drehpunkt in den Schnitt fällt, für welchen Fall $p = \frac{a}{2}$ und $q = \frac{b}{2}$ wird,

$$^aM = \frac{g}{2} ab \dots \dots \dots (21)$$

Fällt der Drehpunkt in die Mitte des Trägers, in welchem Fall $a = b = \frac{l}{2}$ wird, so ergibt sich das absolute Maximum dieses Angriffsmoments

$$^aM_{\text{max}} = g \frac{l^2}{8} \dots \dots \dots (22)$$

Erhält der Träger n gleiche Felder mit der Weite λ , also $n-1$ Knoten und hat in jedem derselben die grösste Knotenlast $k = e' + v'$ zu tragen, so wird für den beliebigen m ten Knotenpunkt $P = km$, $Q = k(n-1-m)$, $p = \frac{(m+1)\lambda}{2}$, $q = \frac{(n-m)\lambda}{2}$ und es ergibt sich, wenn $l = n\lambda$ gesetzt wird, das relativ grösste Angriffsmoment

$$^aM = \frac{k}{2n} [m(m+1)b + (n-m)(n-1-m)a] \dots (23)$$

Fällt der Drehpunkt in eine durch den m ten Knotenpunkt geführte Lothrechte, so wird noch $a = m\lambda$ und $b = (n-m)\lambda$, mithin

$$^aM = \frac{k\lambda}{2} m(n-m) \dots \dots \dots (24)$$

Fällt der Drehpunkt in die Mitte des Trägers, so wird $m = \frac{n}{2}$ und das Angriffsmoment erreicht sein absolutes Maximum

$$^aM_{\text{max}} = k\lambda \frac{n^2}{8} \dots \dots \dots (25)$$

Werden die lothrecht aufwärts und abwärts wirkenden Kräfte bezw. positiv und negativ genommen, so ist die in dem Schnitt $\alpha\beta$ wirkende Vertikalscheerkraft

$$^aV = -P \frac{p}{l} + Q \frac{q}{l} \dots \dots \dots (26)$$

welche für das Maximum von Pp und das Minimum von Qq ihren grössten negativen und für das Minimum von Pp und das Maximum von Qq ihren grössten positiven Werth annimmt.

1) Die Ableitung nachstehender Formel nebst deren Anwendung auf praktische Beispiele s. Abth. I, Heft 3 dieses Werkes.

Für die gleichförmig und stetig vertheilte Last g wird $P = 2pg$ und $Q = 2qg$, also

$${}^aV = \frac{2g}{1}(-p^2 + q^2) \dots (27)$$

daher, wenn e das Eigengewicht bezeichnet,

$${}^aV_{\max} = -\frac{2ep^2}{1} + \frac{2gq^2}{1} \dots (28a)$$

$$\text{und } {}^aV_{\min} = -\frac{2ep^2}{1} + \frac{2eq^2}{1} \dots (28b)$$

Für die gleichförmig auf Knoten vertheilte grösste Last k wird $P = mk$, $Q = (n-1-m)k$, $p = \frac{(m+1)\lambda}{2}$ und $q = \frac{(n-m)\lambda}{2}$, also

$${}^aV_m = \frac{k}{2n}[-m(m+1) + (n-m)(n-1-m)], (29)$$

also, wenn e' das auf jeden Knotenpunkt entfallende Eigengewicht bedeutet, das positive Maximum

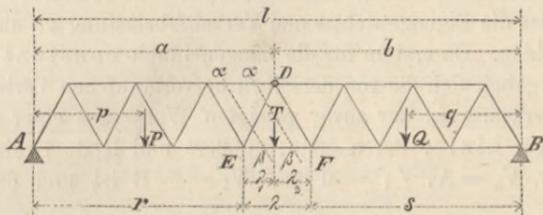
$${}^aV_{m\max} = -m(m+1)\frac{e'}{2n} + (n-m)(n-1-m)\frac{k}{2n} (30)$$

und das negative Maximum

$${}^aV_{m\min} = -m(m+1)\frac{k}{2n} + (n-m)(n-1-m)\frac{e'}{2n} (31)$$

Wirkt in dem Feld $EF = \lambda$ eines Trägers, für welches die Lage des Schnittes $\alpha\beta$ gleichgültig ist, eine Last T , während sich links und rechts von demselben bzw. die Lasten P und Q befinden, s. Textfig. 3, und es erscheint

Fig. 3.



zweifelhaft, ob T zu den Lasten P oder Q zu rechnen ist, so zerlegt man die Last T in die Theillasten

$$T \frac{\lambda_2}{\lambda} = R \text{ und } T \frac{\lambda_1}{\lambda} = S, \dots (32)$$

welche bzw. in den Punkten E und F mit den Abständen r und s bzw. von dem linken und rechten Stützpunkte wirken. Alsdann ergibt sich das Angriffsmoment

$${}^aM = \frac{Pp + Rr}{1} b + \frac{Qq + Ss}{1} a, \dots (33)$$

und das relative Maximum desselben aus der Bedingung ¹⁾

$$Pb - Qa + \frac{T}{\lambda}(s \cdot a - r \cdot b) \geq 0 \dots (34)$$

der ungünstigsten Laststellung und das absolute Maximum aus dem Verhältniss

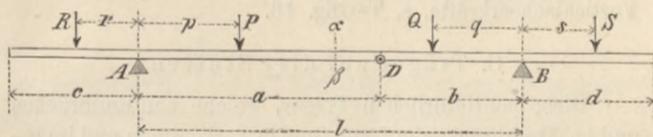
$$\frac{P - T \frac{r}{\lambda}}{Q - T \frac{s}{\lambda}} = \frac{a}{b} \dots (35)$$

In dem Schnitt $\alpha\beta$ wirkt die Verticalscheerkraft

$${}^aV = -\frac{Pp + Rr}{1} + \frac{Qq + Ss}{1} \dots (36)$$

für welche in der bereits angegebenen Weise das positive und negative Maximum zu bestimmen ist.

Fig. 4.



Ragen Träger beweglicher Brücken, z. B. von Rollbrücken, über ihre beiden Stützen A und B hinaus und sind ausserhalb derselben bzw. mit den in den Abständen r und s von diesen Stützen wirkenden Einzellasten R und S beschwert, während zwischen denselben, wie früher, die Einzellasten P und Q in den zugehörigen Abständen p und q von den ihnen zunächst liegenden Stützpunkten A und B wirken, s. Textfig. 4, so ergibt sich für den Ab-

¹⁾ Die Ableitung nachstehender Formel nebst deren Anwendung auf praktische Beispiele s. Abth. I, Heft 3 dieses Werkes.

Heinzerling, Bewegliche Brücken.

stand a und b des Drehpunktes bzw. von der linken und rechten Stütze und für die Stützweite l das Angriffsmoment

$${}^aM = \frac{Pp - Rr}{1} b + \frac{Qq - Ss}{1} a, \dots (37)$$

woraus sich das Maximum sowohl für diese Einzellasten als auch für gleichförmig, entweder stetig oder auf Knotenpunkte vertheilte Lasten in der zuvor angegebenen Weise bestimmen lässt.

Die in dem Schnitt $\alpha\beta$ wirkende Verticalscheerkraft ist

$${}^aV = -\frac{Pp + Ss}{1} + \frac{Qq + Rr}{1}, \dots (38)$$

welche also für die Maxima von Pp und Ss sowie für die Minima von Qq und Rr ihren grössten negativen, für die Minima von Qq und Rr sowie für die Maxima von Pp und Ss ihren grössten positiven Werth annimmt. Sind noch gleichförmig vertheilte Lasten g vorhanden, so sind dieselben wie früher zu berücksichtigen, also z. B. $Rr = g \frac{c^2}{2}$ und $Ss = g \frac{d^2}{2}$ in Gleichung 37 und 38 zu setzen.

Fig. 5.

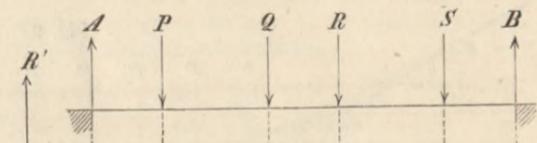


Fig. 7.

Fig. 6.

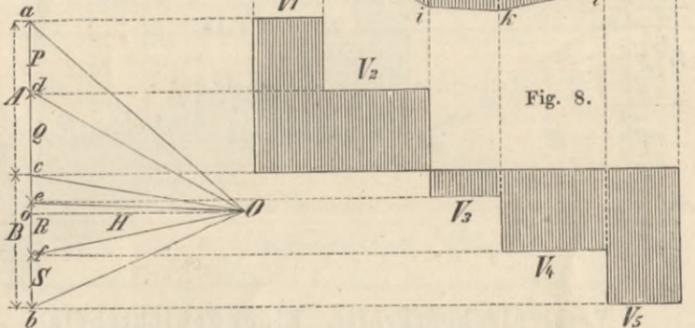


Fig. 8.

Graphische Behandlung. a) Ungleiche und ungleich vertheilte Einzellasten. Wirken zwischen den beiden Stützen A und B die beliebig von einander entfernten Kräfte P , Q , R und S , s. Textfig. 5 u. 6, so ergibt sich aus dem mit Hülfe einer willkürlich gewählten Poldistanz $oO = H$ abgeleiteten Kräftepolygone der letzteren Figur das in Textfig. 7 dargestellte Seilpolygon, indem man gh , hi , ik , kl , lm bzw. parallel zu aO , dO , eO , fO , bO und die Schlusslinie gm zieht, worauf die zu letzterer Parallele eO die Auflagerdrücke A und B bestimmt. Da nun das Angriffsmoment für einen in dem beliebigen Abstand x vom linken Auflager gelegenen, lothrechten Schnitt bekanntlich dem Product aus der Resultante R , aller links von demselben thätigen, äusseren Kräfte in deren normalen Abstand r von dem Schnitt gleich, also ${}^aM = R'r$ ist, R' durch den Schnittpunkt der durchschnittenen Polygonseiten nm und hi geht und hier $A - P$, also der Grösse ed gleich ist, so erhält man, weil hi zu dO und nm zu eO parallel ist, mit Bezug auf die Figuren 6 und 7 die Proportion

$$\frac{R'}{H} = \frac{y}{r}, \dots (39)$$

woraus folgt

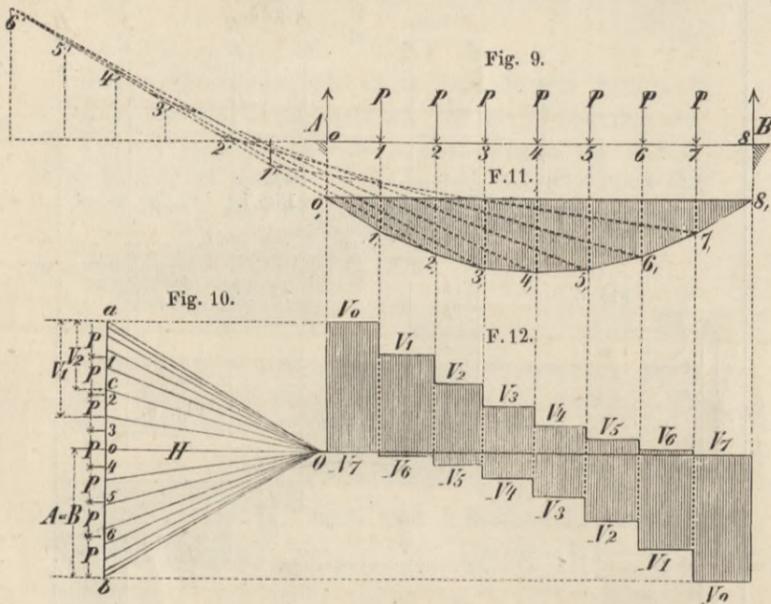
$${}^aM = R'r = Hy. \dots (40)$$

Das Angriffsmoment für einen beliebigen lothrechten Schnitt ist mithin der in demselben enthaltenen Ordinate des Seilpolygons proportional und, wenn die Poldistanz oder constante Horizontalspannung H als Kräfteinheit gilt, derselben gleich. Das grösste Angriffsmoment für den untersuchten Querschnitt ergibt sich, wenn zuvor die ungünstigste Stellung der Lasten P , Q , R und S für denselben ermittelt ist.

Die aufeinanderfolgenden Verticalscheerkräfte $V_1 = A$, $V_2 = A - P$, $V_3 = A - (P + Q)$; $V_4 = A - (P + Q + R)$;

$V_3 = A - (P + Q + R + S) = -B$ erhält man, indem man die in Textfig. 8 dargestellte, einfache Construction ausführt. Um die grösste Verticalscheerkraft für einen beliebigen Querschnitt zu bestimmen, ist vorher die ungünstigste Laststellung für denselben zu ermitteln.

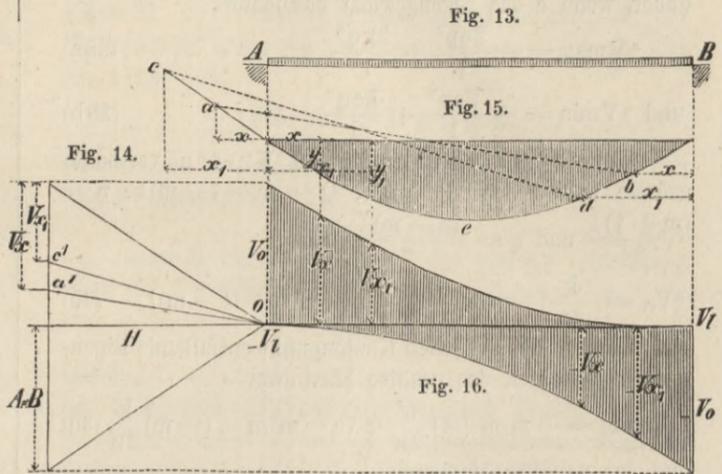
β) Gleiche und gleichförmig auf Knoten vertheilte Lasten. Angriffsmomente. Wirken zwischen den beiden Stützen A und B die beliebigen, aber unter sich gleichen Kräfte P, s. Textfig. 9 und 10, so ergibt sich mit Hülfe der willkürlich gewählten Poldistanz $oO = H$ bekanntlich das in Textfig. 11 dargestellte Seilpolygon, indem man 0,1, 1,2, 2,3, ... parallel zu 10 20 30 ... und die Schlusslinie 0,8 zieht, worauf die zu letzterer Parallele oO die gleichen Auflagerdrücke A und B abschneidet. Die in einem beliebigen lothrechten Schnitte dieses Seilpolygons, welches bekanntlich ein einer gemeinen Parabel eingeschriebenes Polygon darstellt, enthaltene Ordinate ergibt wie früher das Angriffsmoment indirect durch Multiplication mit der Poldistanz oder direct, wenn letztere als Kräfteinheit angenommen wird.



Verticalscheerkräfte. Eigengewichtsbelastung. Wenn dieselbe für jeden Knotenpunkt constant ist, so ergeben sich die von derselben hervorgerufenen Verticalscheerkräfte aus dem Aufriss und Kräfteplan auf die zuvor gezeigte Weise in der Form einer regelmässigen, staffelförmigen Linie, deren Ordinaten die von den bewegten Lasten erzeugten grössten Verticalscheerkräfte hinzuzufügen sind.

Verkehrbelastung. Die grösste Verticalscheerkraft eines beliebigen Knotens entsteht, wenn die Verkehrslast von dem entfernteren der beiden Auflager bis zu jenem Knoten fortgeschritten ist. Wirken zwischen den beiden Stützen 0 und 8 die sieben gleichen Knotenlasten P, s. Textfig. 9 und 10, so ist z. B. die im dritten Knoten wirkende Verticalscheerkraft am grössten, wenn die Knoten 3—7 belastet, die Knoten 1—2 unbelastet sind. Verlängert man, um das diesem Belastungszustande entsprechende neue Seilpolygon aus dem in der zuvor angedeuteten Weise bereits gefundenen abzuleiten, die letzte Polygonseite 0,1, und schneidet dieselbe in der wagrechten Entfernung $02 = 02'$ durch eine Lothrechte, so entspricht das Seilpolygon 2'1,2, 3,4,5,6,2' dem erwähnten Belastungszustande und eine durch den Pol O zu dessen Schlusslinie 6,2' gelegte Parallele cO schneidet im Kräfteplane die Strecke $ac = V_3$, also die im dritten Knoten wirkende grösste Verticalscheerkraft ab. Werden in analoger Weise die Schlusslinien 0,8, 1'7, 3'5, 4'4, ... 6'1, in dem Seilpolygon und durch den Pol O die zu ihnen parallelen Strahlen gezogen, so schneiden diese in dem Kräfteplane die der jeweiligen einseitigen Belastung entsprechenden, grössten positiven Verticalscheerkräfte $V_0, V_1, V_3, \dots, V_7$ ab, welchen bei der entgegengesetzten, von links nach rechts fortschreitenden Belastung die numerisch gleichen, jedoch in umgekehrter Reihenfolge entstehenden grössten negativen Verticalscheerkräfte $-V_0, -V_1, -V_3, \dots, -V_7$ entsprechen, s. Textfig. 12.

γ) Gleichförmig und stetig vertheilte Lasten. Wirkt zwischen den beiden Stützen A und B eine gleichförmig und stetig vertheilte Belastung, s. Textfig. 13 und 14, so lässt sich dieselbe aus einer genügenden Zahl



kleiner, unter sich gleicher Einzelkräfte bestehend denken, woraus sich in einer, der zuvor erörterten analogen Weise das Seilpolygon als eine gemeine Parabel um so genauer ergibt, je grösser die Anzahl jener Einzelkräfte gewählt wurde. Das Angriffsmoment wird hieraus wie an der angegebenen Stelle abgeleitet, s. Textfig. 15.

Bei Ermittlung der Verticalscheerkräfte ist wieder die Eigengewichts- und Verkehrsbelastung zu unterscheiden. Da erstere für die Längeneinheit constant ist, so ergeben sich die von derselben hervorgerufenen Verticalscheerkräfte in der zuvor gezeigten Weise aus einer geraden Linie, deren erste, mittlere und letzte Ordinate bzw. $V_0 = A, V_1 = 0$ und $V_1 = -B$ ist und deren Ordinaten die von den bewegten Lasten erzeugten grössten Verticalscheerkräfte hinzuzufügen sind. Die einem Querschnitte mit beliebiger Abscisse, s. Textfig. 15, entsprechende, von der Verkehrsbelastung erzeugte grösste Verticalscheerkraft entsteht wieder, wenn die Last von dem entfernteren Auflager bis zu jenem Querschnitte vorgeschritten ist. Wird die Tangente an den linken Endpunkt des früher ermittelten Seilpolygons verlängert und durch eine in der Entfernung x vom linken Stützpunkte gezogene Lothrechte geschnitten, so bildet aeba das diesem Belastungszustande entsprechende Seilpolygon und eine zu dessen Schlusslinie ab durch den Pol O gelegte Parallele a'O schneidet in dem Kräfteplane die grösste Verticalscheerkraft V_x ab. In ähnlicher Weise erhält man für die Abscisse x_1 die Schlusslinie cd des Seilpolygons und mittelst der zu ihr parallelen c'O die zugehörige grösste Verticalscheerkraft V_{x_1} . Werden die auf dieselbe Weise in hinreichender Anzahl ermittelten grössten Verticalscheerkräfte zusammengestellt und deren obere Endpunkte durch eine stetige Linie verbunden, so ergibt sich die parabolische Begrenzungslinie der positiven Verticalscheerkräfte, deren Achse senkrecht steht und durch den rechten Stützpunkt geht. Bei entgegengesetzter Belastungsweise erhält man eine der Grösse nach gleiche, der Lage nach entgegengesetzte Begrenzungslinie der negativen Verticalscheerkräfte, s. Textfig. 16.

C. Träger auf drei Stützen.

Diese continuirlichen Träger, welche bei Rollbrücken und bei Drehbrücken auf Stützzapfen vorkommen und im geschlossenen Zustande derselben auch die Verkehrsbelastung in allen Variationen aufzunehmen haben, sind für verschiedene Stützweiten und für eine aus Einzellasten bestehende Verkehrslast, welche der Einfachheit halber annäherungsweise in eine äquivalente, gleichförmig und stetig vertheilte Belastung umgesetzt werden kann, und für ein meist gleichförmig und stetig vertheiltes Eigengewicht zu berechnen.

Werden die Auflagerdrücke der Reihe nach mit ABC, die Stützweiten der ersten und zweiten Oeffnung bzw. mit l_1 und l_2 , die gleichförmig und stetig vertheilte Be-

lastung der Träger über der ersten und zweiten Oeffnung bezw. mit g_1 und g_2 bezeichnet, so erhält man mit Bezug auf Textfig. 17 für beliebige Querschnitte die erforderlichen Angriffsmomente und Verticalscheerkräfte.

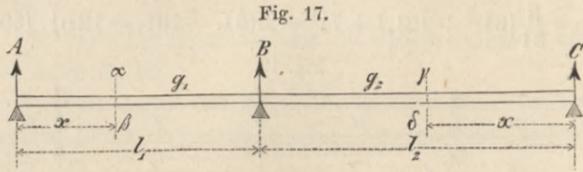


Fig. 17.

In der ersten Oeffnung ist, wenn die Abscissen von dem ersten Stützpunkte A aus gezählt werden, für den Querschnitt $\alpha\beta$ das Angriffsmoment

$$^aM = Ax - g_1 \frac{x^2}{2}, \dots (41)$$

welches einer parabolischen Linie entspricht, und die Verticalscheerkraft

$$^aV = A - g_1 x, \dots (42)$$

welche einer geraden Linie entspricht. Für $x = 0$ wird $^aM = 0$ und $^aV_{\max} = A$,

$$x = \frac{A}{g_1} \text{ wird } ^aM_{\max} = \frac{A^2}{2g_1} \text{ und } ^aV_{\min} = 0 \dots (43)$$

$$x = l_1 \text{ wird } ^aM = Al_1 - g_1 \frac{l_1^2}{2} \text{ und } ^aV = A - g_1 l_1. \dots (44)$$

In der zweiten Oeffnung ist, wenn die Abscissen von dem dritten Stützpunkte C aus gezählt werden, für den Querschnitt $\gamma\delta$ das Angriffsmoment

$$^aM = Cx - g_2 \frac{x^2}{2}, \dots (46)$$

welches einer parabolischen Linie entspricht und die Verticalscheerkraft

$$^aV = C - g_2 x, \dots (47)$$

welche einer geraden Linie entspricht. Für $x = 0$ wird $^aM = 0$ und $^aV_{\max} = C$,

$$x = \frac{C}{g_2} \text{ wird } ^aM_{\max} = \frac{C^2}{2g_2} \text{ und } ^aV_{\min} = 0 \dots (48)$$

$$x = l_2 \text{ wird } ^aM = Cl_2 - g_2 \frac{l_2^2}{2} \text{ und } ^aV = C - g_2 l_2. \dots (49)$$

In vorstehenden Gleichungen ist nach den Ergebnissen der Elasticitätstheorie ¹⁾ unter Annahme gleich hoher

1) Wird nämlich ein in A fest eingespannter gerader Balken durch ein am Ende B wirkendes Gewicht P gebogen, s. Textfig. 18, und angenommen, dass die vor der Biegung parallelen und ebenen Querschnittsflächen auch nach der Biegung normal zur neutralen Achse und eben bleiben, so ist, wenn mit

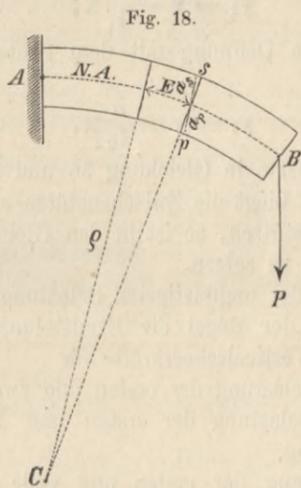


Fig. 18.

s die Spannung } der Flächeneinheit der äussersten Faser-
 p die Pressung } schichte,
 a_s } der Abstand der } gespanntesten } Faser von der neutralen
 a_p } gepresstesten } Achse,
 t das Trägheitsmoment des Balkenquerschnittes,
 ρ der Krümmungshalbmesser der neutralen Achse,
 E der Elasticitätsmodul des Trägermaterials

bezeichnet wird, $\frac{s}{a_s} = \frac{p}{a_p} = \frac{E}{\rho}$, daher

$$^wM = \frac{s}{a_s} t = \frac{p}{a_p} t = \frac{E}{\rho} t = ^aM$$

und, da für sehr kleine Biegungen $\rho = \frac{1}{\frac{d^2 y}{dx^2}}$ angenommen werden kann,

$$Et \frac{d^2 y}{dx^2} = ^aM \dots (a)$$

Stützen, und wenn $l_1 + l_2 = l$ gesetzt wird, der Auflagerdruck der Endstützen

Bezeichnet man ferner mit l_1, l_2 die Stützweiten, mit g_1, g_2 die Belastungen der ersten und zweiten Oeffnung und setzt eine gleiche Höhenlage der Stützen voraus, so lassen sich hieraus für beide Oeffnungen nachstehende Gleichungen ableiten.

In der ersten Oeffnung erhält man, wenn der Ursprung in A angenommen wird, für den in dem beliebigen Abstand x geführten Schnitt $\alpha\beta$

$$Et \frac{d^2 y}{dx^2} = Ax - \frac{g_1 x^2}{2} \dots (b)$$

und hieraus durch Integration

$$Et \frac{dy}{dx} = A \frac{x^2}{2} - \frac{g_1 x^3}{6} + \text{Const.} \dots (c)$$

Schliesst die über der Mittelstütze B an die neutrale Achse gelegte Tangente mit dem Horizonte den Winkel φ ein, so ist für $x = l_1$, $\frac{dy}{dx} = \text{tang } \varphi$, mithin

$$Et \text{ tang } \varphi = A \frac{l_1^2}{2} - \frac{g_1 l_1^3}{6} + \text{Const.} \dots (d)$$

mithin, wenn der Werth der Constanten in Gleichung c eingeführt wird,

$$Et \frac{dy}{dx} = Et \text{ tang } \varphi - A \frac{l_1^2}{2} + \frac{g_1 l_1^3}{6} + A \frac{x^2}{2} - \frac{g_1 x^3}{6} \dots (e)$$

Die zweite Integration ergibt, da für $x = l_2$ die Ordinate $y = 0$ wird, mithin auch die Constante verschwindet,

$$Ety = Etx \text{ tang } \varphi - A \frac{l_1^2}{2} x + \frac{g_1 l_1^3}{6} x + A \frac{x^3}{6} - \frac{g_1 x^4}{24} \dots (f)$$

Da hierin für $x = l_1$, $y = 0$ wird, so erhält man

$$Et l_1 \text{ tang } \varphi = \frac{A l_1^3}{3} - \frac{g_1 l_1^3}{8} \dots (g)$$

und wenn dieser Werth in Gleichung f eingeführt wird, die Gleichung 59 der Biegungcurve in der ersten Oeffnung.

In der zweiten Oeffnung ergibt sich, wenn man den Ursprung in C annimmt und berücksichtigt, dass für $x = l_2$ der Werth $\frac{dy}{dx} = -\text{tang } \varphi$ wird, analog der ersten Integration

$$Et \frac{dy}{dx} = -Et \text{ tang } \varphi - C \frac{l_2^2}{2} + \frac{g_2 l_2^3}{6} + C \frac{x^2}{2} - \frac{g_2 x^3}{6} \dots (h)$$

und nach der zweiten Integration

$$Ety = -Etx \text{ tang } \varphi - C \frac{l_2^2}{6} x + \frac{g_2 l_2^3}{6} x + C \frac{x^3}{6} - \frac{g_2 x^4}{24} \dots (i)$$

Da hierin für $x = l_2$ die Ordinate $y = 0$ wird, so erhält man

$$Et l_2 \text{ tang } \varphi = \frac{C l_2^3}{3} - \frac{g_2 l_2^3}{8} \dots (k)$$

und, wenn dieser Werth in Gleichung i eingeführt wird, die Gleichung 60 der Biegungcurve in der zweiten Oeffnung.

Setzt man in Gleichung (f) $x = l_1$, in Gleichung (i) $x = l_2$, für welche beiden Werthe $y = 0$ und der Winkel φ , welchen die Tangente an die neutrale Achse über dieser Stelle mit dem Horizont einschliesst, φ ist, so lässt sich die Unbekannte $\text{tang } \varphi$ eliminieren und man erhält

$$\frac{A l_1^2}{3} + \frac{C l_2^2}{3} = \frac{g_1 l_1^3}{8} + \frac{g_2 l_2^3}{8} \dots (l)$$

Ferner erfordert das Gleichgewicht für lothrechtes Fortschreiten, dass

$$A + B + C = g_1 l_1 + g_2 l_2 \dots (m)$$

das Gleichgewicht für Drehung um die Zwischenstütze, dass

$$A l_1 - \frac{g_1 l_1^2}{2} = C l_2 - \frac{g_2 l_2^2}{2} \dots (n)$$

sei. Aus den drei Gleichungen l, m und n ergeben sich sodann die in Gleichung 51, 52 und 53 enthaltenen Werthe der Auflagerdrücke A, B, C.

Liegen nur die Endstützen gleich hoch, während die Mittelstütze um σ gesenkt ist, s. Textfig. 20, so lassen sich die zuvor entwickelten Gleichungen benutzen, wenn in Gleichung (f) für $x = l_1$, $y = -\sigma$ statt 0 und in die Gleichung (i) für $x = l_2$, $y = -\sigma$ statt 0 gesetzt wird. Auf diese Weise erhält man aus Gleichung (f)

$$-Et \sigma = \frac{g_1 l_1^4}{8} - \frac{A l_1^3}{3} + Et l_1 \text{ tang } \varphi \dots (o)$$

und hieraus

$$\text{tang } \varphi = -\frac{\sigma}{l_1} + \frac{l_1^2}{Et} \left(\frac{A}{3} - \frac{g_1 l_1}{8} \right), \dots (p)$$

ferner aus Gleichung (i)

$$-Et \sigma = \frac{g_2 l_2^4}{8} - \frac{C l_2^3}{3} - Et l_2 \text{ tang } \varphi \dots (q)$$

und hieraus

$$\text{tang } \varphi = \frac{\sigma}{l_2} + \frac{l_2^2}{Et} \left(\frac{g_2 l_2}{8} - \frac{C}{3} \right) \dots (r)$$

Durch Verbindung der Gleichungen (p) und (r) ergibt sich die Gleichung

$$\frac{A l_1^2}{3} + \frac{C l_2^2}{3} = Et \sigma \left(\frac{l_1 + l_2}{l_1 l_2} \right) + \frac{g_1 l_1^3}{8} + \frac{g_2 l_2^3}{8}$$

und mit Hilfe derselben sowie der allgemeinen Gleichgewichtsbedingungen für lothrechtes Fortschreiten

$$A + B + C = g_1 l_1 + g_2 l_2 \dots (s)$$

und für Drehung um die Zwischenstütze

$$A l_1 - \frac{g_1 l_1^2}{2} = C l_2 - \frac{g_2 l_2^2}{2} \dots (t)$$

$$A = \frac{g_1(3l_1 + 4l_2)l_1^2 - g_2l_2^3}{8l_1l} \dots (51)$$

und $C = \frac{g_2(3l_2 + 4l_1)l_2^2 - g_1l_1^3}{8l_2l} \dots (52)$

woraus sich der Auflagerdruck der Mittelstütze $B = g_1l_1 + g_2l_2 - (A + C) \dots (53)$ ergibt.

Werden die Belastungen, z. B. durch Eigengewicht, einander gleich, in welchem Falle in Gleichung 51—53 $g_1 = g_2 = g$ zu setzen ist, so ergeben sich die Auflagerdrücke

$$A = g \frac{3l_1^2 + l_2(l_1 - l_2)}{8l_1} \dots (51a)$$

$$B = g \frac{l_1^2(l_1 + 4l_2) + l_2^2(l_2 + 4l_1)}{8l_1l_2} \dots (52a)$$

$$C = g \frac{3l_2^2 + l_1(l_2 - l_1)}{8l_2} \dots (53a)$$

Werden die Stützweiten, wie bei gleicharmigen Drehbrücken, einander gleich, in welchem Falle in Gleichung 51—53 $l_1 = l_2 = l$ zu setzen ist, so ergeben sich die Auflagerdrücke

$$A = \frac{1}{16}(7g_1 - g_2) \dots (51b)$$

$$B = 10 \frac{1}{16}(g_1 + g_2) \dots (52b)$$

$$C = \frac{1}{16}(7g_2 - g_1) \dots (53b)$$

Werden, wie bei voller Belastung und bei Entlastung der Träger, auch die Belastungen einander gleich, in welchem Falle in Gleichung 51b—53b $g_1 = g_2 = g$ zu setzen ist, so ergibt sich der Auflagerdruck

$$A = C = \frac{3}{8}gl \dots (54)$$

$$B = \frac{10}{8}gl \dots (55)$$

Die Ordinaten der elastischen Linie ergeben sich für die erste Oeffnung mit dem Stützpunkte A als Ursprung $y = \frac{1}{6Et} \left[l_1^2 x \left(\frac{g_1 l_1}{4} - A \right) + Ax^3 - \frac{g_1}{4} x^4 \right]$, (56) für die zweite Oeffnung mit dem Stützpunkte B als Ursprung

$$y = \frac{1}{6Et} \left[l_2^2 x \left(\frac{g_2 l_2}{4} - C \right) + Cx^3 - \frac{g_2}{4} x^4 \right]$$
, (57)

in welche Gleichungen die verschiedenen Stützweiten und Belastungen nebst den ihnen entsprechenden Auflagerdrücken einzuführen sind.

Ragt ein Träger mit den Stützweiten l_1 und l_2 und dem Eigengewichte g über die Endstütze C rechts um λ vor und ist von diesem Ende ab auf die Entfernung $\lambda + \lambda_1$ mit einem Gegengewichte γ pro m belastet, so sind, wenn $l_1 + l_2 = l$ gesetzt wird, die Auflagerdrücke

$$A = \gamma \left(\lambda^2 \frac{2l_2}{8l_1l} - \lambda_1^2 \frac{2l_2^2 - \lambda_1^2}{8l_1l_2l} \right) + [A] \dots (58)$$

$$B = \gamma \left(-\lambda^2 \frac{2l_1 + l_2}{4l_1l_2} + \lambda_1^2 \frac{4l_1l_2 + 2l_2^2 - \lambda_1^2}{8l_1l_2^2} \right) + [B] \dots (59)$$

$$C = \gamma \left(\lambda + \frac{\lambda^2(2l_1 + 3l_2)}{4l_2l} + \lambda_1 - \frac{\lambda_1^2(6l_2^2 + 4l_1l_2 - \lambda_1^2)}{8l_2^2l} \right) + [C] \dots (60)$$

worin [A], [B], [C] bzw. aus Gleichung 51a, 52a, 53a zu entnehmen sind.

Ragt ein auf die Längeneinheit gleichförmig mit g belasteter Träger von der Länge L , welcher auf drei gleichhohen, um je l von einander abstehenden Stützen ruht, um l_1 über die linke Stütze vor, s. Textfig. 19, so ist der Auflagerdruck

die in den Gleichungen 61, 62 und 63 enthaltenen Werthe der Auflagerdrücke A_1, B_1, C_1 .

Setzt man die in Gleichung (p) und (r) für $\tan \varphi$ gefundenen Werthe beziehungsweise in die Gleichungen (f) und (h), so ergeben sich die Ordinaten der Biegungcurve des Trägers in Gleichung 69 und 70.

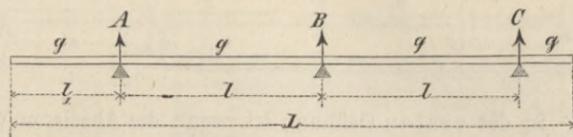
Eine allgemeinere und ausführlichere Theorie der continuirlichen Träger, als sie hier gegeben werden kann, welche ausser gleichförmig vertheilten, auch Einzellasten und zwar beide in ihrer ungünstigsten Vertheilung und Stellung berücksichtigt, folgt bei der statischen Berechnung der Träger eiserner Viaducte in Abth. I, Heft 6 dieses Werkes.

$$A = \frac{g}{8l} \left[6l_1^2 + 12l_1l + 7l^2 - 2L \left(l_1 + 2l - \frac{L}{2} \right) \right] \dots (58a)$$

$$B = \frac{g}{8l} \left[-12l_1^2 - 24l_1l - 14l^2 + 12L \left(l_1 + 2l - \frac{L}{2} \right) \right] \dots (59a)$$

$$C = \frac{g}{8l} \left[6l_2^2 + 12l_2l + 7l^2 + L(5L - 10l_1 - 12l) \right] \dots (60a)$$

Fig. 19.



Unter Annahme einer Senkung σ der mittleren Stütze und gleichhoher Endstützen, s. Textfig. 20, ergibt sich der Auflagerdruck

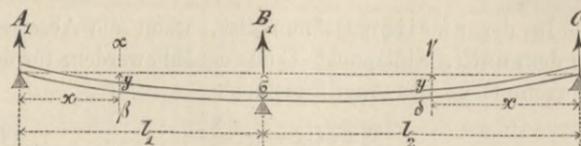
$$A_1 = A + \frac{3Et\sigma}{l_1^2 l_2} \dots (61)$$

$$B_1 = B - \frac{3Et\sigma(l_1 + l_2)}{l_1^2 l_2^2} \dots (62)$$

$$C_1 = C + \frac{3Et\sigma}{l_1 l_2^2} \dots (63)$$

worin A, B und C die in Gleichung 51—55 und 58—60a angegebenen Werthe haben.

Fig. 20.



Werden die Stützweiten $l_1 = l_2 = l$, so ergeben sich die Auflagerdrücke

$$A_1 = A + \frac{3Et\sigma}{l^3} \dots (64)$$

$$B_1 = B - \frac{6Et\sigma}{l^3} \dots (65)$$

$$C_1 = C + \frac{3Et\sigma}{l^3} \dots (66)$$

welche für $g_1 = g_2 = g$ übergehen in

$$A_1 = C_1 = \frac{3}{8}gl + \frac{3Et\sigma}{l^3} \dots (67)$$

$$B_1 = \frac{10}{8}gl - \frac{6Et\sigma}{l^3} \dots (68)$$

Die Ordinaten der elastischen Linie ergeben sich in diesem Falle für die erste Oeffnung mit dem Stützpunkte A_1 als Ursprung

$$y_1 = y - \frac{\sigma}{l_1} x \dots (69)$$

für die zweite Oeffnung mit dem Stützpunkte C_1 als Ursprung

$$y_1 = y - \frac{\sigma}{l_2} x \dots (70)$$

worin y den bezw. in Gleichung 56 und 57 enthaltenen Werth besitzt. Liegt die Zwischenstütze um σ höher als die beiden Endstützen, so ist in den Gleichungen 61 bis 70 $-\sigma$ statt σ zu setzen.

Bezüglich der ungünstigsten Belastungsweise der Träger genügt in der Regel die Ermittlung der Angriffsmomente und Verticalscheerkräfte für

- 1) volle Belastung der ersten und zweiten Oeffnung,
- 2) volle Belastung der ersten und Entlastung der zweiten Oeffnung,
- 3) Entlastung der ersten und volle Belastung der zweiten Oeffnung.

Bei Vollbelastung des Trägers hat man in obigen Gleichungen $g_1 = g_2 = e + v$, bei Entlastung derselben $g_1 = g_2 = e$ zu setzen.

Graphische Darstellung. Werden die Angriffsmomente und Verticalscheerkräfte der auf Taf. 5 dargestellten Drehbrücke über die Parnitz in Stettin, für welche $l_1 = 18,360$ m, $l_2 = 18,948$ m und $e = 1195$ kg ist, nach den vorstehenden Gleichungen berechnet und nach den auf Texttafel A angegebenen beiden Massstäben aufgetragen, so stellen

- 1) bei voller Belastung beider Arme, wenn die Verkehrsbelastung v der Längeneinheit 4203 kg beträgt, die Parabeln Aabc und cdeC die Angriffsmomente in kgm, die Geraden $A'a'e'$ und $c''e'C'$ die Verticalscheerkräfte in kg,

2) bei voller Belastung nur des längeren Armes, wenn $v = 4319$ kg ist,

die Parabeln Afgh und hikC die Angriffsmomente in kgm, die Geraden A''f'h' und h''k'C'' die Verticalscheerkräfte in kg,

3) bei voller Belastung nur des kürzeren Armes, wenn $v = 4679$ kg ist,

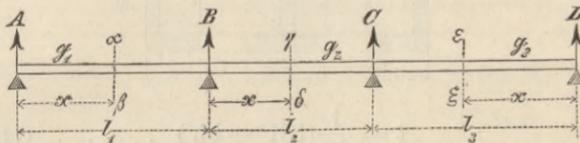
die Parabeln Almn und nopC die Angriffsmomente in kgm, die Geraden A'''l'n' und n''p'C''' die Verticalscheerkräfte in kg dar.

D. Träger auf vier Stützen.

Diese continuirlichen Träger, welche bei Drehbrücken auf Rollkränzen vorkommen und im geschlossenen Zustande derselben auch die Verkehrsbelastung in allen Variationen aufzunehmen haben, sind für verschiedene Stützweiten und für eine aus Einzellasten bestehende Verkehrslast, welche der Einfachheit halber näherungsweise in eine äquivalente, gleichförmig und stetig vertheilte Belastung umgesetzt werden kann, und für ein meist gleichförmig und stetig vertheiltes Eigengewicht zu berechnen.

Werden die Auflagerdrücke der Reihe nach mit ABCD, die Stützweiten der ersten, zweiten und dritten Oeffnung bezw. mit l_1, l_2 und l_3 , die gleichförmig und stetig vertheilte Belastung der Träger über der ersten, zweiten und dritten Oeffnung bezw. mit g_1, g_2 und g_3 bezeichnet, so erhält man mit Bezug auf Textfig. 21 für beliebige Querschnitte die erforderlichen Angriffsmomente und Verticalscheerkräfte.

Fig. 21.



In der ersten Oeffnung ist, wenn die Abscissen von dem ersten Stützpunkte A aus gezählt werden, in Bezug auf den Schnitt $\alpha\beta$ das Angriffsmoment

$$^aM = Ax - g_1 \frac{x^2}{2} \quad (71)$$

und die Verticalscheerkraft

$$^aV = A - g_1 x \quad (72)$$

Für $x = 0$ wird $^aM = 0$ und $^aV_{max} = A$ (73)

$$x = \frac{A}{g_1} \text{ wird } ^aM_{max} = \frac{A^2}{2g_1} \text{ und } ^aV_{min} = 0 \quad (74)$$

$$x = l_1 \text{ wird } ^aM = Al_1 - g_1 \frac{l_1^2}{2} \text{ und } ^aV = A - g_1 l_1 \quad (75)$$

In der zweiten Oeffnung ist, wenn die Abscissen von dem zweiten Stützpunkte B aus gezählt werden, in Bezug auf Schnitt $\gamma\delta$ das Angriffsmoment

$$^aM = A(l_1 + x) + Bx - g_1 l_1 \left(x + \frac{l_1}{2}\right) - g_2 \frac{x^2}{2} \quad (76)$$

und die Verticalscheerkraft

$$^aV = A + B - g_1 l_1 - g_2 x \quad (77)$$

Für $x = l_1$ wird $^aM = Al_1 + g_1 \frac{l_1^2}{2}$ und $^aV = A + B - g_1 l_1$ (78)

$x = \frac{A+B}{g_2} - \frac{g_1 l_1}{g_2}$ wird aM ein Maximum und $^aV = 0$. (79)

$x = l_2$ wird $^aM = A(l_1 + l_2) + Bl_2 - g_1 l_1 \left(\frac{l_1}{2} + l_2\right) - g_2 \frac{l_2^2}{2}$ und $^aV = A + B - (g_1 l_1 + g_2 l_2)$. (80)

In der dritten Oeffnung ist, wenn die Abscissen von dem letzten Stützpunkte C aus gezählt werden, in Bezug auf Schnitt $\epsilon\zeta$ das Angriffsmoment

$$^aM = Dx - g_3 \frac{x^2}{2} \quad (81)$$

und die Verticalscheerkraft

$$^aV = D - g_3 x \quad (82)$$

Für $x = 0$ wird $^aM = 0$ und $^aV_{max} = D$ (83)

$$x = \frac{D}{g_3} \text{ wird } ^aM_{max} = \frac{D^2}{2g_3} \text{ und } ^aV_{min} = 0 \quad (84)$$

$$x = l_3 \text{ wird } ^aM = Dl_3 - g_3 \frac{l_3^2}{2} \quad (85)$$

In vorstehenden Gleichungen ist nach den Ergebnissen

Heinzerling, Bewegliche Brücken.

der Elasticitätstheorie¹⁾ unter Annahme gleichhoher Stützen der Auflagerdruck

$$A = \frac{2g_1 l_1^2 (3l_1 l_2 + 3l_1 l_3 + 3l_2^2 + 4l_2 l_3) - g_2 l_2^3 (l_2 + 2l_3) + g_3 l_2 l_3^3}{4l_1 (4l_1 l_2 + 4l_1 l_3 + 4l_2 l_3 + 3l_2^2)} \quad (86)$$

$$B = \frac{1}{4l_2^2} \left[6g_1 l_1^2 l_2 + 4g_1 l_1 l_2^2 + g_2 l_2^3 + 3g_1 l_1^3 - 4A(3l_1 l_2 + l_2^2 + 2l_1^2) \right] \quad (87)$$

$$D = \frac{1}{l_3} \left[A(l_1 + l_2) + Bl_2 - g_1 l_1 \left(l_2 + \frac{l_1}{2}\right) - \frac{g_2 l_2^2}{2} + \frac{g_3 l_3^2}{2} \right] \text{ mithin der Auflagerdruck} \quad (88)$$

$$C = g_1 l_1 + g_2 l_2 + g_3 l_3 - (A + B + D) \quad (89)$$

Werden, wie dies gewöhnlich der Fall ist, die beiden Endfelder einander gleich und man setzt in vorstehenden Formeln $l_3 = l_1$, so erhält man

$$A = \frac{2g_1 l_1^2 (3l_1^2 + 7l_1 l_2 + 3l_2^2) - g_2 l_2^3 (2l_1 + l_2) + g_3 l_1^3 l_2}{4l_1 (2l_1 + l_2)(2l_1 + 3l_2)} \quad (90)$$

$$B = \frac{1}{4l_2^2} \left[6g_1 l_1^2 l_2 + 4g_1 l_1 l_2^2 + g_2 l_2^3 + 3g_1 l_1^3 - 4A(3l_1 l_2 + l_2^2 + 2l_1^2) \right] \quad (91)$$

$$C = 2g_1 l_1 + g_2 l_2 - (A + B + D) \quad (92)$$

$$D = \frac{1}{l_1} \left[A(l_1 + l_2) + Bl_2 - g_1 l_1 \left(l_2 + \frac{l_1}{2}\right) - \frac{g_2 l_2^2}{2} + \frac{g_3 l_1^2}{2} \right] \quad (93)$$

Bei gleichen Stützweiten, wobei in vorstehenden Formeln $l_1 = l_2 = l_3 = l$ zu setzen ist, erhält man

$$A = D = \frac{1}{60} (26g_1 - 3g_2 + g_3) \quad (94)$$

$$B = C = \frac{1}{60} (13g_1 + 11g_2 - 2g_3) \quad (95)$$

$$C = \frac{1}{60} (-6g_1 + 33g_2 + 39g_3) \quad (96)$$

$$D = \frac{1}{60} (g_1 - 3g_2 + 26g_3) \quad (97)$$

und wenn endlich noch sämtliche Belastungen einander gleich, also $g_1 = g_2 = g_3 = g$ werden,

$$A = D = \frac{4}{10} gl \quad (98)$$

$$B = C = \frac{11}{10} gl \quad (99)$$

Die Ordinaten der elastischen Linie ergeben sich für diese Träger in der ersten Oeffnung, wenn der Ursprung in A angenommen wird,

$$y = \frac{1}{6Et} \left[-l_1^2 x \left(\frac{g_1 l_1}{4} - A\right) + Ax^3 - \frac{g_1}{4} x^4 \right] \quad (100)$$

in der zweiten Oeffnung, wenn der Ursprung in B angenommen wird,

$$y = \frac{1}{6Et} \left[l_1^2 x \left(2A - \frac{3g_1 l_1}{4}\right) + 3l_1 \left(A - \frac{g_1 l_1}{2}\right) x^2 + (A + B - g_1 l_1) x^3 - \frac{g_2 x^4}{4} \right] \quad (101)$$

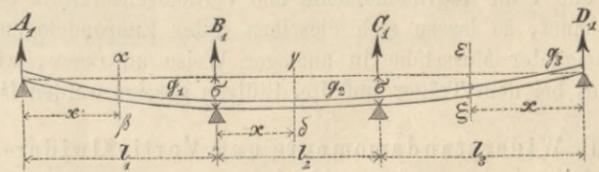
in der dritten Oeffnung, wenn der Ursprung in D angenommen wird,

$$y = \frac{1}{6Et} \left[l_3^2 x \left(\frac{g_3 l_3}{4} - D\right) + Dx^3 - \frac{g_3}{4} x^4 \right] \quad (102)$$

in welche Gleichungen die verschiedenen Belastungen und Stützweiten entsprechenden Werthe sowie die hierbei erzeugten Auflagerdrücke einzusetzen sind.

Liegen nur die beiden Endstützen gleich hoch, während, wie dies meist der Fall ist, die Mittelstützen um je σ gesenkt sind, s. Textfig. 22, so erhält man die Auflagerdrücke

Fig. 22.



$$A_1 = A + \frac{6Et}{l_1^2 l_3} \left[\frac{\sigma [2l_3 (l_2 + l_3) - l_1 l_2]}{4l_1 l_2 + 4l_1 l_3 + 4l_2 l_3 + 3l_2^2} \right] \quad (103)$$

1) Die Ermittlung der hier mitgetheilten Auflagerdrücke und Ordinaten der elastischen Linie erfolgt in analoger Weise wie bei den continuirlichen Trägern auf drei Stützen.

$$B_1 = B - \frac{6Et}{l_1^2 l_2 l_3} \quad (104)$$

$$\frac{2l_3^2(l_1 + l_2) + l_2^2(2l_3 - l_1) + 3l_1 l_2(l_3 - l_1) - 2l_1^3}{4l_1 l_2 + 4l_1 l_3 + 4l_2 l_3 + 3l_2^2}$$

$$C_1 = C - \frac{6Et}{l_1 l_2 l_3^2} \quad (105)$$

$$\frac{2l_1^2(l_2 + l_3) + l_2^2(2l_1 - l_3) + 3l_2 l_3(l_1 - l_3) - 2l_3^3}{4l_1 l_2 + 4l_1 l_3 + 4l_2 l_3 + 3l_2^2}$$

$$D_1 = D + \frac{6Et}{l_1 l_3^2} \left[\frac{\sigma [2l_1(l_1 + l_2) - l_2 l_3]}{4l_1 l_2 + 4l_1 l_3 + 4l_2 l_3 + 3l_2^2} \right] \quad (106)$$

worin ABCD bzw. aus den Gleichungen 86 bis 89 zu entnehmen sind. Werden, wie gewöhnlich, die beiden Endfelder einander gleich und man setzt in vorstehenden Formeln $l_3 = l_1$, so erhält man

$$A_1 = A + \frac{6Et\sigma}{l_1^2(2l_1 + 3l_2)} \quad (107)$$

$$B_1 = B - \frac{6Et\sigma}{l_1^2(2l_1 + 3l_2)} \quad (108)$$

$$C_1 = C - \frac{6Et\sigma}{l_1^2(2l_1 + 3l_2)} \quad (109)$$

$$D_1 = D + \frac{6Et\sigma}{l_1^2(2l_1 + 3l_2)} \quad (110)$$

worin ABCD bzw. aus den Gleichungen 90 bis 93 zu entnehmen sind. Bei gleichen Stützweiten, wobei in vorstehenden Formeln $l_1 = l_2 = l_3 = l$ zu setzen ist, erhält man

$$A_1 = A + \frac{6Et\sigma}{5l^3} \quad (111)$$

$$B_1 = B - \frac{6Et\sigma}{5l^3} \quad (112)$$

$$C_1 = C - \frac{6Et\sigma}{5l^3} \quad (113)$$

$$D_1 = D + \frac{6Et\sigma}{5l^3} \quad (114)$$

wobei ABCD bzw. aus den Gleichungen 94 bis 97 zu entnehmen sind, und wenn endlich noch sämtliche Belastungen einander gleich, also $g_1 = g_2 = g_3 = g$ werden,

$$A_1 = D_1 = \frac{4}{10}gl + \frac{6Et\sigma}{5l^3} \quad (115)$$

$$B_1 = C_1 = \frac{11}{10}gl - \frac{6Et\sigma}{5l^3} \quad (116)$$

Liegen die beiden Zwischenstützen um σ höher als die beiden Endstützen, so ist in den Gleichungen 103 bis 116 $-\sigma$ statt σ zu setzen.

Bezüglich der ungünstigsten Belastungsweise der Träger genügt in der Regel die Ermittlung der Angriffsmomente und Verticalscheerkräfte für

- 1) volle Belastung der drei Oeffnungen,
- 2) volle Belastung der Seitenöffnungen, Entlastung der Mittelöffnung,
- 3) volle Belastung der Mittelöffnung, Entlastung der Seitenöffnungen,
- 4) volle Belastung der ersten und zweiten, Entlastung der dritten Oeffnung,
- 5) Entlastung der ersten, volle Belastung der zweiten und dritten Oeffnung.

Bei Vollbelastung der Träger hat man in obigen Gleichungen $g_1 = g_2 = g_3 = e + v$, bei Entlastung derselben $g_1 = g_2 = g_3 = e$ zu setzen.

Graphische Darstellung. Hat man für einen Träger mit Hilfe der gegebenen Stützweiten l_1, l_2, l_3 und Belastungen e und v die Angriffsmomente und Verticalscheerkräfte berechnet, so lassen sich dieselben unter Zugrundelegung geeigneter Massstäbe in analoger Weise auftragen, wie dies bei dem Träger auf drei Stützen gezeigt worden ist.

B. Widerstandsmomente und Verticalwiderstände.

Die Träger der beweglichen Brücken erhalten bei kleineren Spannweiten meist geschlossene, bei grösseren Spannweiten meist durchbrochene Querschnitte.

a) Geschlossene Querschnitte. Bezeichnet t das Trägheitsmoment eines Träger-Querschnitts,

s } die grösste zulässige {Zugspannung} der äussersten
 p } {Druckspannung} Faser,
 a_s } den Abstand der {gespanntesten} Faser von der neu-
 a_p } {gepresstesten} tralen Achse,
 so ist für Träger mit geschlossenem Querschnitt das Widerstandsmoment

$$^w M = \begin{cases} \text{entweder } \frac{s}{a_s} t \\ \text{oder } \frac{p}{a_p} t \end{cases} \quad (117)$$

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

f den Inhalt des beliebigen Querschnittes mit dem Trägheitsmomente t ,

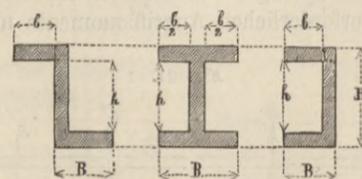
v die grösste zulässige Anspruchnahme auf Abscheerung des Trägermaterials, so ist der Verticalwiderstand

$$^w V = f \cdot v \quad (118)$$

Unter die beim Bau der kleineren Drehbrücken mit Massiv- oder Blechträgern meistens angewandten Querschnitte gehören der einfache und zusammengesetzte I-, C-, Z-, L- und T-förmige Querschnitt.

Sind die drei erstgenannten Querschnitte einfach und wie gewöhnlich zu ihrer neutralen Achse symmetrisch, so ist mit Bezug auf die Bezeichnungen der Textfig. 23, 24 und 25 das Trägheitsmoment

Fig. 23. Fig. 24. Fig. 25.



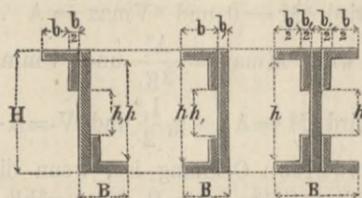
$$t = \frac{1}{12}(BH^3 - bh^3) \quad (119)$$

und die Querschnittsfläche

$$f = BH - bh \quad (120)$$

Werden diese Querschnitte aus Stehblechen und Winkelisen zur neutralen Achse symmetrisch zusammengesetzt, so erhält man mit Bezug auf Textfig. 26, 27 und 28 das Trägheitsmoment

Fig. 26. Fig. 27. Fig. 28.



$$t = \frac{1}{12}(BH^3 - bh^3 - b_1 h_1^3) \quad (121)$$

und die Querschnittsfläche

$$f = BH - bh - b_1 h_1 \quad (122)$$

Erhalten diese Querschnitte oben und unten gleiche Gurtungsplatten von der Breite β und der Dicke δ , so beträgt das Trägheitsmoment dieser Platten

$$t_1 = \frac{\beta}{12} [(H + 2\delta)^3 - H^3]$$

und deren Querschnitt

$$f_1 = 2\beta\delta,$$

mithin das ganze Trägheitsmoment

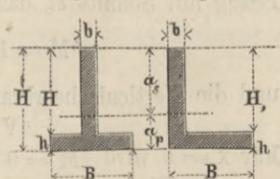
$$T = t + t_1,$$

und die ganze Querschnittsfläche

$$F = f + f_1.$$

Fig. 29. Fig. 30.

Bei dem einfachen L- und I-förmigen Querschnitt, s. Textfig. 29 und 30, befinden sich die äussersten gezogenen und gedrückten Fasern bzw. in den Abständen



$$a_s = \frac{Bh^2 + bH_1^2 + 2BH_1b}{2(Bh + bH_1)} \text{ und } a_p = H - a_s \quad (123)$$

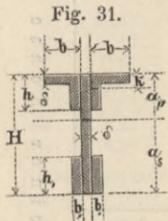
von der neutralen Achse. Mit Benutzung dieser Werthe ergibt sich das Trägheitsmoment

$$t = \frac{1}{3} [ba_s^3 + Ba_p^3 - (B-b)(a_p-h)^3]. \quad (124)$$

Ferner ist die Querschnittsfläche

$$f = Bh + bH_1. \quad (125)$$

Wird der T-förmige Querschnitt aus einem Stehblech, zwei Winkelisen oben und zwei Flacheisen unten zusammengesetzt, s. Textfig. 31, so ist, wenn der aus Gleichung 123 bekannte Abstand der Schwerlinie beider Winkelisen mit k und deren Flächeninhalt mit f bezeichnet wird, mit Bezug auf die Bezeichnungen der Figur



$$a_s = \frac{f(H-k) + \frac{\delta}{2}H^2 + b_1h_1^2}{f + H\delta + 2b_1h_1} \quad \text{und} \quad a_p = H - a_s \quad (126)$$

daher, mit Benutzung dieser Grössen, das Trägheitsmoment

$$t = \frac{1}{3} [a_p^3(2b + \delta) - 2b(a_p - \delta)^3 - 2\delta(a_p - h)^3 + a_s^3(2b_1 + \delta) - 2b_1(a_s - h_1)^3]. \quad (127)$$

Ferner ist die Querschnittsfläche

$$F = f + H\delta + 2b_1h_1. \quad (128)$$

Mit Hilfe der Werthe von t und f lassen sich die gesuchten Werthe wM und wV für die Träger mit geschlossenen Querschnitten finden.

b) Durchbrochene Querschnitte. Nennt man S die Resultanten der in den Gurten {Zugspannungen, P} eines Trägers sich entwickelnden {Druckspannungen, c} den Hebelsarm, woran jene Resultanten als Kräftepaar wirken, so ist das Widerstandsmoment dieses Trägers

$${}^wM = \begin{cases} \text{entweder } Sc \\ \text{oder } Pc. \end{cases} \quad (129)$$

unter welchen Werthen der kleinere zu wählen ist.

Bedeutet nun

f_s } den Inhalt des {gezogenen} Gurtes,
 f_p } den Inhalt des {gedrückten} Gurtes,
 b_s } den Abstand seines Schwerpunktes von der neutralen Achse,
 b_p } den Abstand seines Schwerpunktes von der neutralen Achse,

während die übrigen Bezeichnungen beibehalten werden,

so ist $S = \frac{s}{a_s} f_s b_s$ und $P = \frac{p}{a_p} f_p b_p$, mithin

$${}^wM = \begin{cases} \text{entweder } \frac{s}{a_s} f_s b_s \cdot c \\ \text{oder } \frac{p}{a_p} f_p b_p \cdot c \end{cases} \quad (130)$$

wovon wieder der kleinere Werth zu wählen ist.

Für alle zur neutralen Achse 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

$$b_s = b_p = \frac{b}{2}, \quad \text{mithin}$$

$${}^wM = \left\{ \begin{matrix} s \\ p \end{matrix} \right\} \frac{fb}{2h} \cdot c \quad (131)$$

Für Träger, welche im Verhältnisse zu ihrer Höhe so niedrige Gurten haben, dass der Hebelsarm c der Resultanten aller Zug- und Druckspannungen mit dem Ab-

stande b ihrer Schwerpunkte fast zusammenfällt, lässt sich

$${}^wM = \left\{ \begin{matrix} s \\ p \end{matrix} \right\} \frac{f}{2} \cdot \frac{b^2}{h} \quad (132)$$

und, wenn in jenem Falle der Abstand b von der Trägerhöhe selbst nur unbedeutend abweicht,

$${}^wM = \left\{ \begin{matrix} s \\ p \end{matrix} \right\} \frac{f}{2} \cdot h \quad (133)$$

setzen, worin stets wieder der kleinere Alternativwerth zu wählen ist.

Der Verticalwiderstand des durchbrochenen Querschnittes ist

$${}^wV = (f_s + f_p) v, \quad (134)$$

worin gewöhnlich $f_s = f_p = \frac{f}{2}$ angenommen wird.

Unter die beim Bau der grösseren Drehbrücken meistens angewendeten durchbrochenen Querschnitte gehören die einfache und zusammengesetzte T- und I-, II- und III-förmige.

Sind diese Querschnitte einfach oder zusammengesetzt, so ergeben sich deren Trägheitsmomente, Querschnittsflächen, sowie die Lagen ihrer neutralen Achsen leicht aus den zuvor entwickelten Gleichungen.

Bezeichnet

T das Trägheitsmoment des ganzen Querschnittes,

$\left. \begin{matrix} m_s \\ m_p \end{matrix} \right\}$ das statische Moment des {gezogenen} Gurtes, {gedrückten}

so ist der Abstand der Resultanten sämtlicher Zug- und Druckspannungen

$$c = \frac{T}{m_s} = \frac{T}{m_p} \quad (135)$$

d. h. gleich dem Quotienten aus dem statischen Momente des Zuggurt- oder Druckgurt-Querschnittes in das Trägheitsmoment des Trägerquerschnittes.)

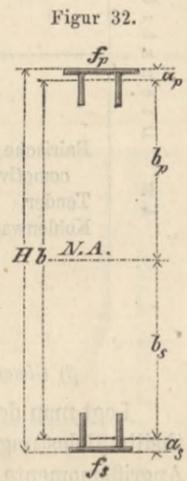
Wird mit a_p und a_s der Abstand bzw. der äussersten Fasern von dem Schwerpunkte der beiden Gurten mit den Querschnitten f_p und f_s , mit H die Höhe des ganzen Trägers bezeichnet, s. Textfig. 32, so ist der Abstand der Gurt- Schwerpunkte des Trägers von einander $b = H - (a_p + a_s)$ und deren Abstand von der neutralen Achse des Trägers

$$b_s = b \frac{f_s}{f} \quad \text{und} \quad b_p = b \frac{f_p}{f} \quad (137)$$

Sind, wie gewöhnlich, beide Gurtquerschnitte einander gleich und zur neutralen Achse des Trägers symmetrisch, so wird $a_p = a_s = a$ und $f_p = f_s = \frac{f}{2}$, daher $b = H - 2a$ und $b_s = b_p = \frac{b}{2}$.

Mit Hilfe der Werthe in Gleichung 135, 136 und 137 lassen sich die gesuchten Werthe wM und wV der Träger mit durchbrochenem Querschnitte finden.

1) Ein vereinfachtes analytisches sowie ein graphisches Verfahren zur Bestimmung von c findet sich in Abth. I, Heft 3, S. 9-11 dieses Werkes.



C. Verkehrsbelastung der beweglichen Brücken.

a) Verkehrsbelastung der beweglichen Eisenbahn-Brücken.

α) Einzellasten und Lastvertheilung der schwersten Eisenbahn-Fahrzeuge in t und m .

Bezeichnung der Fahrzeuge	Gewicht in t	Radstände und Vertheilung der Gewichte auf die Achsen
Im Dienststande und bei voller Belastung		
Semmering- Locomotive	56	
Offene Lastwagen	15,6	

Bezeichnung der Fahrzeuge	Gewicht in t	Radstände und Vertheilung der Gewichte auf die Achsen	
Im Dienststande und bei voller Belastung	Tender- Locomotive	52,08	<p>Fig. 34.</p>
	Offene Lastwagen	15,60	
	Güterzugs- Locomotive	39	
	Tender	24	
Güterwagen	16	<p>Fig. 35.</p>	
Württembergische Güterzugs- Locomotive	30	<p>Fig. 36.</p>	
Tender	15		
Güterwagen	15		
Bairische Güterzugs- Locomotive	36		<p>Fig. 37.</p>
Tender	22,5		
Kohlenwagen	18		

Druck je eines Räderpaares oder je einer Achse

β) Gleichförmig vertheilte Verkehrsbelastung.

Legt man der statischen Berechnung gleichförmig vertheilte Belastungen zu Grunde, welche dieselben grössten Angriffsmomente und Verticalscheerkräfte erzeugen, wie die grössten ungleichen und ungleich vertheilten Einzel-lasten, so hat man die Aequivalentbelastungen von Brücken mit abgesetzten und fortgesetzten (continuirlichen) Trägern und in beiden Fällen die Aequivalentbelastungen für die Angriffsmomente und Verticalscheerkräfte zu unterscheiden.

αα) Aequivalentbelastungen für Träger mit zwei Stützen.

Für einen Zug aus drei, vorstehend dargestellten, Semmering- Locomotiven von je 56 t und zweiachsigen Lastwagen von je 15,6 t Gewicht in der ungünstigsten Laststellung ergeben sich für nachstehende Spannweiten die beiden zur Berechnung der grössten Angriffsmomente und grössten Verticalscheerkräfte dienenden gleichförmig vertheilten Belastungen für den m Geleise.

Spannweite in m	Gleichförmig vertheilte Belastung zur Bestimmung der		Spannweite in m	Gleichförmig vertheilte Belastung zur Bestimmung der	
	Angriffsmomente in t für den m Geleise	Verticalscheerkräfte in t für den m Geleise		Angriffsmomente in t für den m Geleise	Verticalscheerkräfte in t für den m Geleise
10	7,960	8,695	40	5,205	5,800
15	6,160	7,886	45	5,000	5,511
20	6,090	7,150	50	4,830	5,321
25	5,747	6,532	55	4,605	5,090
30	5,670	6,343	60	4,380	4,883
35	5,490	6,000	65	4,245	4,800

Für zwischenliegende Spannweiten sind die zugehörigen Belastungen durch Interpolation zu ermitteln.

Für einen Zug aus drei, vorstehend dargestellten, Tenderlocomotiven von je 52,08 t und zweiachsigen Lastwagen von je 15,6 t Gewicht in der ungünstigsten Laststellung ergeben sich für nachstehende Spannweiten die beiden zur Berechnung der grössten Angriffsmomente

und grössten Verticalscheerkräfte dienenden gleichförmig vertheilten Belastungen für den m Geleise in t.

Spannweite in m	Gleichförmig vertheilte Belastung zur Bestimmung der		Spannweite in m	Gleichförmig vertheilte Belastung zur Bestimmung der	
	Angriffsmomente in t für den m Geleise	Verticalscheerkräfte in t für den m Geleise		Angriffsmomente in t für den m Geleise	Verticalscheerkräfte in t für den m Geleise
10	6,770	7,577	40	4,680	5,000
15	5,470	7,066	45	4,580	4,889
20	5,353	6,300	50	4,430	4,798
25	5,150	5,762	55	4,250	4,618
30	5,060	5,333	60	4,100	4,483
35	4,916	5,286	65	3,965	4,307

Nach der österreichischen Ministerial-Verordnung betr. die bei Erbauung eiserner Brücken zu beobachtenden Sicherheits-Rücksichten, d. d. 30. Aug. 1870, beträgt die in Oesterreich anzunehmende kleinste zufällige Belastung bei

- 1 m Spannweite 20 t
- 2 m „ 15 „
- 5 m „ 10 „
- 20 m „ 5 „

30 und mehr m Spannweite 4 t für den m Geleise, wobei für zwischenliegende Spannweiten zu interpoliren ist.

ββ) Aequivalente Belastungen für Träger auf drei Stützen.

Für einen Zug aus drei vorstehend dargestellten Güterzugs- Locomotiven von je 39 t mit Tendern von je 24 t und zweiachsigen Lastwagen von je 16 t Gewicht ergeben sich nach Fränkel¹⁾ bei der ungünstigsten Laststellung für nachstehende Spannweiten und Querschnittsabstände x vom Trägerende die beiden zur Berechnung der grössten positiven und negativen Angriffsmomente und Verticalscheerkräfte dienenden, gleichförmig vertheilten Belastungen für den m Geleise in t:

1) Vgl. Handbuch der Ingenieur- Wissenschaften. Bd. II. Abth. 2. S. 117 ff.

I. Gleicharmige Träger ($l_1 = l_2 = l$).

Spannweite m	Grösste positive Angriffsmomente			Grösste negative Angriffsmomente			
	x = 0	x = 3/8 l	x = 3/4 l	x = 0	x = 3/8 l	x = 3/4 l	x = l
5	10,82	9,22	9,87	9,14	8,89	8,79	5,49
10	7,10	6,11	7,05	5,78	5,67	5,64	5,47
15	6,60	5,80	6,02	4,81	4,51	4,47	5,09
20	6,30	5,67	5,44	5,45	5,30	5,28	5,10
30	5,60	5,15	5,20	5,01	4,97	5,03	4,46
40	5,21	5,07	5,15	5,05	5,11	4,94	3,80
50	4,90	4,83	4,86	4,75	4,72	4,69	3,68

Spannweite m	Grösste positive Verticalkräfte			Grösste negative Verticalkräfte			
	x = 0	x = 3/8 l	x = 3/4 l	x = 0	x = 3/8 l	x = 3/4 l	x = l
5	11,50	13,76	15,23	8,32	11,86	10,57	9,56
10	7,80	10,06	11,30	5,51	7,20	7,30	7,37
15	7,39	7,84	9,00	4,45	5,91	6,39	6,68
20	6,78	7,02	8,11	4,52	4,89	5,61	6,20
30	6,13	5,96	6,99	4,75	4,03	4,91	5,52
40	5,70	5,77	6,47	4,76	3,60	4,49	5,15
50	5,33	5,38	6,30	4,60	3,45	4,42	4,78

II. Ungleicharmige Träger ($l_2 = \frac{l_1}{2}$).

Spannweite m	Langer Arm ($l = l_1$)			Kurzer Arm ($l = l_2$)			
	x = 0	x = 3/8 l	x = 3/4 l	x = 0	x = 3/8 l	x = 3/4 l	x = l
5	10,90	7,43	10,76	9,66	9,97	9,97	8,99
10	7,87	6,46	8,00	8,39	8,91	8,91	5,96
15	6,96	6,01	6,63	6,62	7,00	7,00	5,53
20	6,23	5,62	5,69	5,14	5,63	5,63	5,25
30	5,53	5,16	5,67	4,70	4,91	4,91	4,98
40	5,39	5,08	5,34	5,09	5,28	5,28	4,95
50	5,23	5,07	5,08	4,94	5,18	5,18	4,96

b) Verkehrsbelastung der beweglichen Strassenbrücken.

a) Einzellasten und Lastvertheilung der schwersten Strassenfahrwerke in t und m.

Bezeichnung der Fahrwerke	Gewicht in t	Radstände und Lastvertheilung auf die Achsen und Hufe	
		Radstand	Lastvertheilung
1. Schwerstes Frachtfuhrwerk Bespannung mit 6 Pferden	18	19m	9t, 9t, 0,6t, 0,6t, 0,6t
	1,3		
2. Schweres Landfuhrwerk Bespannung mit 4 Pferden	10	14,5m	5t, 5t, 0,6t, 0,6t
	1,2		

β) Gleichförmig vertheilte Belastung.

Bei Menschengedränge kommen auf den qm 5 bis 6 Mann, mithin, wenn das Durchschnittsgewicht eines Mannes zu 70 kg angenommen wird, 350 bis 420 kg auf den qm.

Die gleichförmig vertheilte Belastung von Strassenbrücken, welche man in mehreren Ländern verschieden annimmt, beträgt in den Vereinigten Staaten von Nordamerika 366 bis 610, i. M. 480 kg, in Frankreich 400 kg, in Deutschland 360—560, i. M. 460 kg.

Nimmt man die Breite der unter C. b. angeführten Strassenfahrwerke zu bezw. 2,5 und 2 m an, so ergibt sich folgende Belastung des qm.

No.	Bezeichnung des Fuhrwerkes	Gewicht t	Länge m	Breite m	Belastung des qm t
1) Ohne Berücksichtigung der Bespannung					
1	Schwerstes Frachtfuhrwerk	24	8,8	2,5	1,09
2	Schweres Landfuhrwerk	12	7,5	2,0	0,80
2) Mit Berücksichtigung der Bespannung					
1	Schwerstes Frachtfuhrwerk	25,8	19,0	2,5	0,521
2	Schweres Landfuhrwerk	13,2	14,5	2,0	0,455

welche letztere der Belastung durch Menschengedränge ohngefähr gleichkommt.

Heinzerling, Bewegliche Brücken.

Spannweite m	Grösste positive Angriffsmomente			Grösste negative Angriffsmomente			
	x = 0	x = 3/8 l	x = 3/4 l	x = 0	x = 3/8 l	x = 3/4 l	x = l
2,5	14,31	11,27	13,81	8,89	8,99	8,99	7,89
5,0	10,62	9,08	9,57	5,70	5,64	5,64	5,96
7,5	8,44	7,65	7,82	4,67	4,77	4,77	5,53
10,0	6,96	6,32	6,58	5,28	5,21	5,21	5,25
15,0	6,54	5,37	5,84	4,99	4,90	4,90	4,98
20,0	6,16	5,39	5,82	4,95	4,86	4,86	4,94
25,0	5,62	5,29	5,19	4,94	4,87	4,87	4,95

Spannweite m	Langer Arm ($l = l_1$)			Kurzer Arm ($l = l_2$)			
	x = 0	x = 3/8 l	x = 3/4 l	x = 0	x = 3/8 l	x = 3/4 l	x = l
5	11,74	14,33	17,16	10,00	15,26	11,79	10,16
10	8,52	9,76	14,07	8,74	10,97	7,89	7,58
15	7,55	8,15	10,65	6,67	9,03	6,54	6,80
20	6,82	7,13	9,16	5,62	7,46	5,77	6,26
30	5,99	5,94	8,43	4,77	6,13	5,35	5,70
40	5,86	5,86	7,77	4,94	5,49	5,18	5,48
50	5,60	5,82	7,09	4,99	5,47	5,03	5,36

D. Eigengewicht der beweglichen Brücken.

Die Eigengewichte der beweglichen Brücken wechseln mit deren Constructionssystem, Querschnittsanordnung, Betriebsbelastung und Materialwiderstand. Bei der grossen Verschiedenheit ihrer Constructionssysteme und Betriebsbelastungen lassen sich daher allgemeine Formeln nicht aufstellen. Angenäherte Mittelwerthe wird man aus den Eigengewichten der festen Brücken erhalten, wenn man Eisenbahnbrücken sowie Strassenbrücken und hierbei wieder solche mit Trägern auf 2 und 3 Stützen unterscheidet.

a) Eigengewichte der beweglichen Eisenbahnbrücken.

a) Mit Trägern auf zwei Stützen.

Bezeichnet e das Eigengewicht der Brückenträger und der Brückenbahn für die Längeneinheit eines Geleises, l die Stützweite in m, c und f constante Erfahrungs-Coefficienten, so ist allgemein

$$e = cl + f \dots (138)$$

Für feste eiserne Brücken schwerster Construction von 10 bis 70 m Stützweite ist annähernd

$$e = 0,031 + 0,8 t \text{ Gesamtgewicht} \dots (139)$$

$$e' = 0,031 + 0,4 t \text{ Eisengewicht} \dots (140)$$

Für eiserne Brücken mittlerer Construction bei einer Anspruchnahme des qem der Hauptträger von 800 kg und des qem der Fahrbahntheile von 600 kg ist annähernd

$$e = 0,031 + 0,55 t \dots (141)$$

Für eiserne Brücken leichtester Construction von 10 bis 60 m Stützweite ist im Mittel

$$e' = 0,0251 + 0,375 \text{ t Eisengewicht.} \quad (142)$$

Trennt man das Material der festen Brücken in Walzeisen, Schmiedeeisen und Gusseisen, und unterscheidet Haupt- und Neben- sowie Berg- und Thalbahnen, so ergeben die Tabellen von J. Seefehlner¹⁾ zur Berechnung der Eigengewichte fester eiserner Eisenbahnbrücken mit Blech- und Fachwerkträgern genauere Werthe.

β) Mit continuirlichen Trägern auf drei Stützen.

Für continuirliche Drehbrückenträger mit zwei gleichen Armen von der Länge l, welche bei geringeren Spannweiten als Blech-, bei grösseren Spannweiten als Fachwerkträger construirt sind, lässt sich nach Fränkel²⁾ für ein Geleise als mittleres Gewicht annähernd die Gleichung

$$e = \left(25 + \frac{1}{3}\right)l + f \quad (143)$$

benutzen, in welche man für Träger mit ungleichen Armen von der Länge l₁ und l₂, wobei l₁ > l₂ ist, l₁ statt l einsetzen kann.

Für die grössten gleicharmigen, z. B. amerikanischen Drehbrücken, deren Armlänge l = 30 bis 70 m beträgt, lässt sich das Eigengewicht für ein Geleise genauer aus der Formel

$$e = \left(25 + \frac{1}{5}\right)l + 800 \text{ kg} \quad (144)$$

bestimmen, worin l in m einzusetzen ist.

b) Eigengewicht der beweglichen Strassenbrücken.

α) Mit Trägern auf zwei Stützen.

Bezeichnet e das Eigengewicht der Brückenträger und der Brückenbahn für die Längeneinheit der Brücke, l die Stützweite in m, c' und f' constante Erfahrungscoefficienten, so ist allgemein

$$e = c'l + f' \quad (145)$$

Für feste eiserne Strassenbrücken mit 5,5 m breiter Fahrbahn und je 1 m breiten Banketten, also mit 7,5 m Gesamtbreite, lässt sich setzen bei Anwendung

1) von 0,2 m dicker Beschotterung

$$e = 0,0421 + 3,6 \text{ t Gesamtgewicht,} \quad (146)$$

$$e' = 0,0421 + 0,9 \text{ t Eisengewicht;} \quad (147)$$

2) von doppelter, 14 cm starker eichener Bedielung

$$e = 0,0281 + 1,3 \text{ t Gesamtgewicht,} \quad (148)$$

$$e' = 0,0281 + 0,6 \text{ t Eisengewicht} \quad (149)$$

Weicht die Breite b der Brücke von 7,5 m ab, so ergibt sich in beiden Fällen für die Längeneinheit der Brücke

$$\text{das Gesamtgewicht } \varepsilon = \frac{b}{7,5} e \quad (150)$$

$$\text{das Eisengewicht } \varepsilon' = \frac{b}{7,5} e' \quad (151)$$

β) Mit continuirlichen Trägern auf drei Stützen.

Bezeichnet t₀ = cl das Trägergewicht, f₀ + v₀ das gleichförmig vertheilte Fahrbahn- und Verkehrs-Gewicht des m einer eisernen Eisenbahnbrücke, ferner t_s = c'l das Trägergewicht, f_s + v_s das gleichförmig vertheilte Fahrbahn- und Verkehrsbahn-Gewicht des m einer gleichweit gespannten eisernen Strassenbrücke, so erhält man annähernd das Trägergewicht des m der eisernen Strassenbrücken

$$t_s = \frac{f_s + v_s}{f_0 + v_0} t_0 \quad (152)$$

wobei t₀ entweder bekannt oder aus Gleichung 143 bzw. 144 zu ermitteln ist. Es schwankt das Gewicht f₀ zwischen den in Gleichung 140 bis 142, f_s je nach der Beschaffenheit der Brückenbahn zwischen den in Gleichung 147 und 149 angegebenen Werthen.³⁾ Die Verkehrslasten v₀ und v_s erhält man aus den Angaben bzw. unter Ca und Cb.

1) Vgl. u. a. Heinzerling, Die angreifenden und widerstehenden Kräfte etc. Berlin 1876, S. 27 ff.

2) Vgl. Handbuch der Ingenieurwissenschaften. Bd. II. Abth. 2. S. 116.

3) Genauere Angaben über Bahngewichte von Eisenbahn- und Strassenbrücken s. Heinzerling, Die angreifenden und widerstehenden Kräfte. Berlin 1876. S. 16 bis 24.

E. Widerstände der Materialien beweglicher Brücken.

a) Zug und Druckfestigkeit.

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

E den Elasticitätsmodul,

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

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

so ergibt sich bei Verwendung der Materialien unter grösstentheils constanter Krafterwirkung und unter dem gewöhnlichen Einflusse der Atmosphärien nachstehende

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

L. No.	Arten der Metalle	Möglichst lange Dauer									
		Wenige Erschütterungen					Bedeut. Erschütterungen				
		s kg	p kg	E kg	λ _s	λ _p	s kg	p kg	E kg	λ _s	λ _p
1	Schmiedeeisen	1000	1000	1940 Tsd.	$\frac{1}{1446}$	$\frac{1}{1446}$	670	670	1860 Tsd.	$\frac{1}{2771}$	$\frac{1}{2771}$
2	Eisenblech	1000	—	1700 Tsd.	$\frac{1}{1400}$	—	605	—	1600 Tsd.	$\frac{1}{2667}$	—
3	Stahl	2000	2000	—	—	—	1000	1000	—	—	—
4	Gussstahl	3000	3000	—	—	—	1500	1500	—	—	—
5	Gusseisen	400	1600	970 Tsd.	$\frac{1}{2400}$	$\frac{1}{600}$	—	—	—	—	—

Für die bei beweglichen Brücken vorkommenden Holztheile beträgt die zulässige Festigkeit des qcm gegen Zug und Druck für Nadelholz s = 100 kg, p = 75 kg und E = 120000 kg, für Eichenholz s = 120 kg, p = 90 kg und E = 113000 kg.

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

$$\text{Schmiedeeisen } s = 800 \left(1 + \frac{1}{2} \frac{S_{\min}}{S_{\max}}\right) \quad (153)$$

$$\text{Stahl } s = 1200 \left(1 + \frac{3}{4} \frac{S_{\min}}{S_{\max}}\right) \quad (154)$$

setzen, worin S_{max} die grösste und S_{min} die kleinste Gesamtspannung eines entweder nur durch Zug oder nur durch Druck beanspruchten Constructionstheils bezeichnet.

Findet eine abwechselnde Beanspruchung durch Zug und Druck statt und wird die grössere derselben mit S_{max} und die kleinere derselben mit S_{min} bezeichnet, so lässt sich nach Weyrauch¹⁾ die zulässige Anspruchnahme des qcm in kg für

$$\text{Schmiedeeisen } s = 700 \left(1 - \frac{1}{2} \frac{S_{\min}}{S_{\max}}\right) \quad (155)$$

$$\text{Stahl } s = 1100 \left(1 - \frac{5}{11} \frac{S_{\min}}{S_{\max}}\right) \quad (156)$$

setzen. In diesen beiden Gleichungen ist die quantitativ kleinste Spannung S_{min} und die quantitativ grösste Spannung S_{max}, gleichviel ob erstere eine Zug- oder Druck- und letztere bzw. eine Druck- oder Zug-Spannung ist oder ob das Umgekehrte stattfindet, ohne Berücksichtigung eines Vorzeichens nur dem Zahlenwerthe nach einzusetzen.²⁾

b) Scheerfestigkeit.

Die zulässige Anspruchnahme des qcm auf Scheerung beträgt bei

1) Vgl. dessen Festigkeit und Dimensionenberechnung der Eisen- und Stahlconstructions etc. Leipzig 1876.

2) Ueber weitere Anspruchnahmen sowie über Schwingungsfestigkeit überhaupt vgl. u. a. Heinzerling, Die angreifenden und widerstehenden Kräfte der Brücken- und Hochbau-Constructions. Berlin 1876, S. 80—85.

Schmiedeeisen, weich	0,5 t
desgl., hart	0,90 „
Bestes Nieteisen 1)	0,80 „
Gusseisen, gute Qualität	0,22 „
desgl., gewöhnliche	0,19 „
Stahl, gehärtet	1,87 „
desgl., ungehärtet	0,93 „
Gussstahl, gehärtet	5,00 „
desgl., ungehärtet	3,33 „

während sie bei Nadel- und Eichenholz parallel zu seiner Faserrichtung bzw. 0,40 und 0,70 t für den qcm angenommen werden kann.

c) Knickfestigkeit.

Auf Knicken sind vorzugsweise die Druckgurten und Druckpfosten der Träger 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 geeigneten Sicherheitscoefficienten, so beträgt diejenige nach der Längsachse des Stabes wirkende Belastung, welche derselbe mit Sicherheit zu tragen vermag,

$$P = Nm \frac{Et}{l^2} \dots \dots \dots (157)$$

Hierin ist für

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

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

Holzmaterial $N = \frac{1}{10}$ und $E = 120 t$ für den qcm,

b) die Festhaltung nur eines Endes $m_1 = \frac{\pi^2}{4} = 2,464$,

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

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

c) rechteckigen Querschnitt mit der bzw. grössten

und kleinsten Seite b und h , $t = \frac{bh^3}{12}$,

kreisförmigen Querschnitt mit dem Durchmesser d ,

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

kreuzförmigen Querschnitt mit dem Abstände

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

zu setzen und hieraus eine Querschnittsdimension des Constructionstheiles zu bestimmen.²⁾

3. Die wagrecht verschieblichen Brücken (Rollbrücken).

Die Träger von Rollbrücken im geschlossenen Zustande sind als continuirliche Träger auf drei Stützen, im geöffneten Zustande als Träger auf zwei Stützen zu betrachten und demgemäss zu berechnen.

Gegengewicht. Um ein Kippen der Brücke im geöffneten, also unbelasteten Zustande zu vermeiden, muss das Gleichgewicht in Bezug auf Drehung entweder durch ein im Abstände g von der rechten Stützrolle angebrachtes Gegengewicht G , s. Textfig. 43, oder durch Verlängerung der Brücke über die linke Stützrolle, s. Textfig. 44, bewirkt werden. Im ersten Falle muss $e \frac{a^2}{2} + Gg - e \frac{b^2}{2} \geq 0$,

also das Gegengewicht

$$G \geq \frac{e(b^2 - a^2)}{2g}, \dots \dots \dots (158)$$

sein: ein Betrag, welcher um so kleiner wird, je grösser man a und g im Vergleich zu b wählt. Nimmt man, wie gewöhnlich, $a = \frac{b}{2}$ und $g = a$, so wird $G \geq \frac{eb^2}{4a}$.

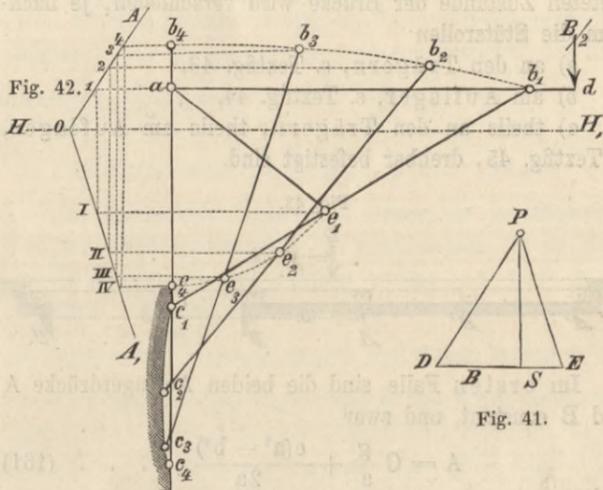
1) Nach der österr. Ministerialverordnung v. 30. Aug. 1870 ist die Scheerfestigkeit der Niete zu 6 kg für d qmm anzunehmen.

2) Die Berechnung auf Knicken beanspruchter Stäbe mittelst Druckäquivalenten findet sich in Abth. I. Heft 3. S. 15 dieses Werkes.

Soll das Gegengewicht nur durch eine Verlängerung y der Träger über die linke Stützrolle hinaus hergestellt werden, so erfordert das Gleichgewicht gegen Drehung um B , dass $ey - e(l - y) = 0$, woraus $y = \frac{l}{2}$, und gegen Drehung um C , dass $e(y + b) - e(l - y - b) = 0$ sei, woraus $y = \frac{l}{2} - b$ gefunden wird. Jene Verlängerung hat sich also zwischen den Grenzen $\frac{l}{2}$ und $\frac{l}{2} - b$ zu halten, wenn ein Kippen um bezw. die linke oder die rechte der beiden Stützrollen nicht erfolgen soll.

Bewegliche Brückenstreben. Statt der Gegengewichte lassen sich zur Unterstützung der Brückenbahn nach Guthrie, s. Taf. I Fig. 9 und 10, auch die Streben bc anwenden, welche in ihrem Schwerpunkt e aufgehängt und deren obere Enden a mit der Brückenbahn ab durch Charniere verbunden sind, s. Textfig. 40. Diese Streben verschieben sich mit den Hauptträgern, während deren untere Enden c sich längs einer entsprechend geformten Führung c_1, c_2 bewegen.

Fig. 40.



Die Form dieser Führung lässt sich, unter Vernachlässigung des Gewichts der Hängstangen, graphisch bestimmen¹⁾, indem man mittelst der Gewichte B und S der Brückenbahn und der Streben, sowie des beliebig angenommenen Pols P das Kräftepolygon, s. Textfig. 41, und mittelst der bezw. durch 1 und I gelegten Parallelen A_0 zu PD und $A_1, 0$ zu PE das Seilpolygon $Aa, A_1, 1$, s. Textfig. 42, konstruirt, um die Horizontale H_0H_1 zu erhalten, auf welcher sich der Schwerpunkt des Gesamtsystems zu verschieben hat, wenn bei Bewegung der Brücke nur Reibungswiderstände zu überwinden sein sollen. Verschieben sich nun die Schwerpunkte e_i der Streben successive nach den auf einem aus a mit dem Radius ae beschriebenen Kreisbogen liegenden Punkten e_2, e_3, e_4 , welche bezw. den Punkten II, III, IV der Seite $0B$ des Seilpolygons entsprechen, so geben die correspondirenden Punkte $2, 3, 4$ der Seite $0A$ des Seilpolygons die Wagrechten, auf welchen die Endpunkte b_2, b_3 und b_4 , sowie die Lagen der Streben durch Kreisbogen bestimmt werden, die man bezw. von e_2, e_3 und e_4 aus mit dem Radius $e_2b_2 = e_3b_3 = e_4b_4 = e_i b_i$ schlägt. Durch Auftragen der Stücke $e_1c_1 = e_2c_2 = e_3c_3 = e_4c_4$ auf die so erhaltenen Lagen der Streben werden die Punkte c_1, c_2, c_3, c_4 der gesuchten Curve erhalten.

Die grösste Anspruchnahme der Brückenträger und Streben erfolgt im geschlossenen Zustande der Brücke. Wird das Eigengewicht der Brückenbahn B zur Hälfte an den Enden a und d wirkend angenommen, ad mit l und die Länge der Strebe b, c_1 mit s bezeichnet, so ist, wenn α deren Neigungswinkel zum Horizonte bedeutet, der grösste, längs der Strebe wirkende Druck

$$S = \frac{Bl}{s \sin 2\alpha}, \dots \dots \dots (159)$$

welcher für $\sin 2\alpha = 1$, also für $\alpha = 45^\circ$ der relativ kleinste wird. Die Streben sind nach der Formel 157 auf

1) Vgl. Handbuch der Ingenieur-Wissenschaften Band II, Abthlg. 2 S. 67.

Ausbiegung zu berechnen, wobei die ganze oder halbe Strebennlänge zu Grunde zu legen ist, je nachdem die Strebe in ihrem Schwerpunkt e' als festgehalten anzusehen ist oder nicht.

Bewegende Kraft. Die zur Bewegung der Brücke erforderliche Zugkraft muss nach Gleichung 2 der Bedingung ${}^aH - {}^wH > 0$ entsprechen. Der zu überwindende Widerstand wH setzt sich aus der rollenden und Zapfenreibung der Stützrollen zusammen, deren Gewicht mit S , Rad- und Zapfenhalbmesser bezw. mit r und ρ bezeichnet werden soll. Nennt man die Coefficienten für rollende und Zapfenreibung bezw. φ und μ , so muss, wenn χ einen unter andern von der Durchbiegung der Hauptträger abhängigen Sicherheitscoefficienten darstellt, beim Oeffnen und Schliessen der Brücke

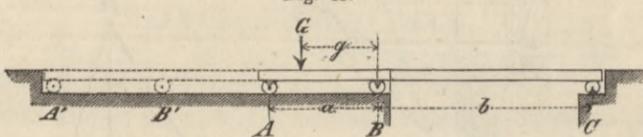
$${}^aH > \chi \left[(\mu\rho + \varphi) \frac{e(a+b) + G}{r} + \varphi \frac{S}{r} \right] \quad (160)$$

werden, worin im Mittel $\varphi = 0,05$, $\mu = 0,18$ und $\chi = 4$ zu setzen ist. Werden zur Bewegung der Brücke Zahnradmechanismen angewandt, so kommen die Reibungswiderstände der letzteren zu wH noch hinzu.

Die Berechnung der Träger im geöffneten, also entlasteten Zustande der Brücke wird verschieden, je nachdem die Stützrollen

- a) an den Trägern, s. Textfig. 43,
- b) am Auflager, s. Textfig. 44,
- c) theils an den Trägern, theils am Auflager, s. Textfig. 45, drehbar befestigt sind.

Fig. 43.



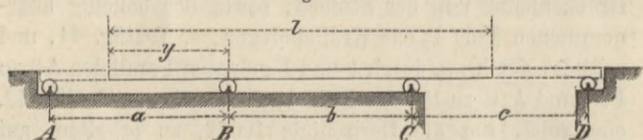
Im ersten Falle sind die beiden Auflagerdrücke A und B constant, und zwar

$$A = G \frac{g}{a} + \frac{e(a^2 - b^2)}{2a} \quad (161)$$

und

$$B = G \frac{a-g}{a} + \frac{e(a+b)^2}{2a} \quad (162)$$

Fig. 44.



Im zweiten Falle, worin gewöhnlich Gegengewichte nicht angebracht, sondern durch eine Verlängerung der Träger ersetzt sind, welche hierdurch die Gesamtlänge l annehmen, ändern sich beide Auflagerdrücke und erhalten für den variablen Ueberhang y über der linken Stützrolle die Werthe

$$B = \frac{el}{b} \left(y + b - \frac{l}{2} \right) \quad (163)$$

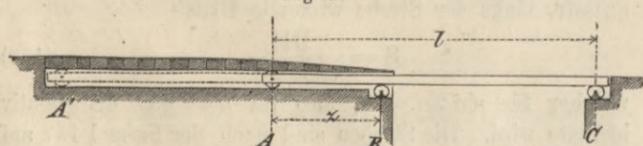
und

$$C = \frac{el}{b} \left(\frac{l}{2} - y \right), \quad (164)$$

welche für $y = 0$ bezw. ihren kleinsten und grössten, für $y = a$ bezw. ihren grössten und kleinsten Werth annehmen.

Im ganz geöffneten und im ganz geschlossenen Zustande ruhen die Träger auf je drei Stützen und sind nach Gleichung 41 bis 68 als continuirliche Träger zu berechnen, welche im ersten Falle entlastet sind und die Stützweiten a und b haben, im zweiten Falle entweder voll- oder theilweise belastet sind und die Stützweiten b und c besitzen.

Fig. 45.



Im dritten Fall ändert sich die Stützweite z der ersten und zweiten Laufrolle, mithin auch deren Gegen-

druck, welcher für die erste und zweite Rolle bezw. den Werth

$$A = el \frac{z - \frac{1}{2}}{z} \quad (165)$$

und

$$B = \frac{el^2}{2z} \quad (166)$$

annimmt. So lange $z > \frac{1}{2}$, wird A positiv und die erste Stützrolle übt einen Druck auf den Canalboden aus, während A für $z < \frac{1}{2}$ negativ wird und die Stützrolle einen Druck auf die Canaldecke ausübt, welcher von der letzteren aufgehoben werden muss. Für $z = 0$ würde $A = B = \infty$ werden, wesshalb die feste und die bewegliche Stützrolle auch bei geschlossener Brücke nicht zusammenfallen dürfen, bei völlig geöffneter Brücke, also für $z = l$, wird $A = B = e \frac{l}{2}$, in welchem Falle also jede Stützrolle die Hälfte des Brückengewichtes aufzunehmen hat. Mit Hülfe der Gleichungen 17 bis 40 und 117 bis 134 lassen sich die Angriffsmomente und Verticalscheerkräfte sowie die Widerstandsmomente dieser Träger für beliebige Querschnitte berechnen. Bei Anwendung I-förmiger Trägerquerschnitte wird man sich behufs Wahl des zweckmässigsten Querschnitts mit Vortheil des deutschen Normal-Profilbuches bedienen, indem man in der Gleichung ${}^aM \max = k \frac{t}{a}$ und ${}^aV \max = fv$ die Quotienten $\frac{{}^aM \max}{k}$ und $\frac{{}^aV \max}{v}$ berechnet und diejenigen Querschnitte aufsucht, für welche bezw. die Werthe $\frac{t}{a}$ und f jenen Quotienten am nächsten kommen.

4. Die lothrecht verschieblichen Brücken (Hubbrücken).

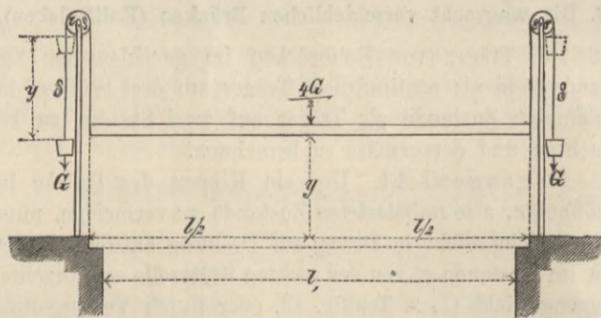
Die Hauptträger der Hubbrücken sind bei geschlossenem und geöffnetem Zustande derselben als Träger auf zwei Stützen zu betrachten und zu berechnen, welche im ersteren Falle vollbelastet, im letzteren Falle entlastet anzunehmen sind.

Gegengewichte. Um das Oeffnen und Schliessen der Brücke zu erleichtern, werden an deren vier Ecken Zugseile befestigt, über Rollen geführt und durch Gegengewichte belastet, s. Textfig. 46. Bezeichnet l die Spannweite, b die Breite der Brücke, so ist für den Zustand des Gleichgewichts in jeder Lage der Brücke nach Gleichung 1 die Grösse eines Gegengewichtes

$$G = \frac{ebl}{4}, \quad (167)$$

welche zugleich die Spannung je eines Zugseiles darstellt.

Fig. 46.



Bewegende Kraft. Beim Aufziehen der Brücke sind die Widerstände zu überwinden, welche durch die Zapfenreibung der Rollen, durch die von dem Winddruck erzeugte Reibung in den Führungen, sowie durch die Steifigkeit der Seile entsteht. Bezeichnet man mit r und ρ den Halbmesser bezw. der Rolle und ihres Zapfens, mit w den Winddruck auf die Einheit der von ihm getroffenen Fläche F , mit φ den zugehörigen Reibungcoefficienten, mit δ den Seildurchmesser, mit α den von der Seilstruktur, β den von der Seilspannung, n den von der Biegsamkeit der Seile abhängigen Coefficienten, so ist nach Gleichung 1 die erforderliche Zugkraft an einem Seile

$${}^aV = 2G\mu \frac{\rho}{r} + \varphi wF + \frac{\delta^n}{r} (\alpha + \beta G), \quad (168)$$

woraus folgt, dass es vorthailhaft ist, Rollen mit möglichst grossen Durchmesser und dünnen Zapfen zu verwenden, die dem Winddruck ausgesetzte Fläche — wie dies bei den Hubbrücken mit festen Hauptträgern und beweglicher Brückenbahn geschieht — möglichst zu vermindern und die zum Betriebe dienenden Drahtseile so dünn und biegsam als thunlich zu wählen.

Stärke der Hauptträger und Tragseile. Beide Theile werden im geschlossenen und vollbelasteten Zustande der Brücke am meisten beansprucht. Sind n Hauptträger vorhanden, so ist nach Gleichung 3, wenn die früheren Bezeichnungen beibehalten werden,

$$(e + v) \frac{bl^2}{8n} = \frac{k}{a_k} t, \quad \dots (169)$$

woraus die Abmessungen der Hauptträger, je nachdem sie aus Holz oder Eisen bestehen, in ähnlicher Weise wie bei den Rollbrücken, ermittelt werden können. Bezeichnet s die zulässige Festigkeit eines Tragseiles, so ist dessen Durchmesser

$$d = 2 \sqrt{\frac{G}{\pi s}}, \quad \dots (170)$$

wobei s wegen der nachtheiligen Anspruchnahme der Seile durch Erschütterung und Biegung beim Auf- und Abwinden entsprechend zu ermässigen ist. Die Träger einer Brückenbahn, welche für sich aufgezogen und niedergelassen werden kann, während die Hauptträger festbleiben, werden nur durch deren eigenes Gewicht e' belastet und sind daher, wenn ihre Zahl n' beträgt, aus der Gleichung

$$e' \frac{bl^2}{8n'} = \frac{k}{a_k} t \quad \dots (171)$$

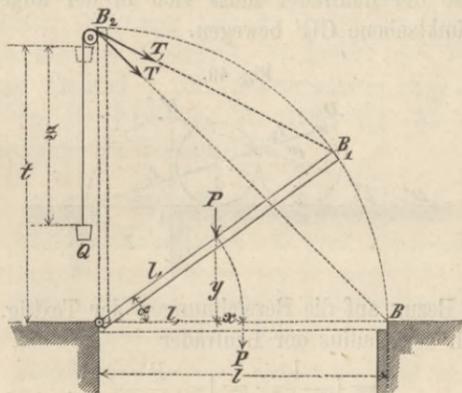
zu ermitteln.

5. Die um wagrechte Endachsen drehbaren Brücken (Zugbrücken).

A. Statische Berechnung der Zugbrücken im Allgemeinen.

Jede Zugbrücke besteht aus einem um seine Endachse A drehbaren Flügel, s. Textfig. 47, welcher mittelst Seilen oder Ketten aufgezogen und niedergelassen werden kann, und muss für jede Lage dieses Flügels im Gleichgewichte sein. Die Arbeit der bewegenden Kraft muss daher, abgesehen von den Bewegungswiderständen, stets der Arbeit des Gewichtes des bewegten Flügels gleich sein, oder der Schwerpunkt sämtlicher bewegten Brückentheile darf bei deren Bewegung weder steigen noch sinken, sondern sich nur wagrecht mehr oder minder verschieben.

Fig. 47.



Bezeichnet Q die bewegende Kraft, welche sich um z senkt, während sie das Gewicht P des Brückenflügels, welches man sich in dessen Schwerpunkt wirkend denken kann, um y hebt, so muss also für den Fall des Gleichgewichtes in allen Lagen

$$Qz - Py = 0 \quad \dots (172)$$

sein, woraus sich die bewegende Kraft

$$Q = P \frac{y}{z} \quad \dots (173)$$

ergiebt. Hierin ist P constant, während y und z variabel sind. Bleiben y und z stets einander gleich oder behalten nur das gleiche Verhältniss zu einander, so lässt sich die Brücke stets durch eine constante Kraft Q im Gleichgewicht halten. Ist keins von beiden der Fall, so erfordert

Heinzerling, Bewegliche Brücken.

das Gleichgewicht der Brücke eine Kraft Q , welche variabel ist. Gewöhnlich stellt man die Kraft Q durch ein Gegengewicht her, in welchem Falle nur noch eine Kraft zur Ueberwindung der Reibungswiderstände nöthig wird, um die Brücke in Bewegung zu setzen. Man unterscheidet daher Brücken mit constanten und veränderlichen Gegengewichten.

Da sich der Schwerpunkt des Brückenflügels bei dessen Drehung um seine Endachse um den Winkel α in einem Kreisbogen bewegt, so ist bei einem Abstände l' von der Drehachse dessen lothrechte Erhebung

$$y = l' \sin \alpha \quad \dots (174)$$

und dessen wagrechte Verschiebung

$$x = l'(1 - \cos \alpha) \quad \dots (175)$$

Führt man den Werth y in Gleichung (173) ein, so erhält man

$$Q = P \frac{l' \sin \alpha}{z} \quad \dots (176)$$

Bei den Zugbrücken mit constanten Gegengewichten ist also die Senkung so zu bewerkstelligen, dass sie der Hebung des Brückenflügels proportional bleibt, dass also

$$z = \frac{P}{Q} l' \sin \alpha = cl' \sin \alpha \quad \dots (177)$$

wird. Bei den Zugbrücken mit variablen Gegengewichten dagegen muss die Aenderung der Gegengewichte der Aenderung des Quotienten $l' \cdot \frac{\sin \alpha}{z}$ entsprechen.

B. Statische Berechnung der Träger.

Die Träger der Zugbrücken werden im geschlossenen und vollbelasteten Zustande der Brückenbahn, in welchem sie als Balken auf zwei Stützen wirken, am meisten beansprucht. Werden n Tragbalken mit dem gegenseitigen Abstände $a = \frac{b}{n}$ angenommen und jeder derselben bei kleineren Spannweiten durch eine in der Mitte befindliche Einzlast Q sowie durch das gleichförmig vertheilte Eigengewicht e , bei grösseren Spannweiten durch eine gleichförmig vertheilte Verkehrslast v und Eigenlast e beschwert, so erhält man für einen Tragbalken, wenn die unter Gleichung 2 gewählten Bezeichnungen beibehalten werden, entweder

$$Q \frac{l}{4} + e \frac{l^2}{8} = \frac{k}{a_k} t \quad \dots (178)$$

oder

$$(v + e) \frac{l^2}{8} = \frac{k}{a_k} t, \quad \dots (179)$$

woraus die Abmessungen der aus Holz oder besser aus Eisen bestehenden Hauptträger in der früher angegebenen Weise zu berechnen sind.

Für hölzerne Balken von der Breite b , der Höhe h und dem Gewichte γ ihrer kubischen Einheit, worauf das gleichförmig vertheilte Gewicht f des Brückenbelages ruht ist $e = bh\gamma + f$ und $\frac{t}{a_k} = \frac{bh^2}{6}$. Wird dieser Werth in Gleichung 178 und 179 eingeführt und nach Q und v aufgelöst, so erhält man die Tragfähigkeit eines Hauptträgers bezw.

$$Q = \frac{2}{3} k \frac{bh^2}{l} - (bh\gamma + f) \frac{1}{2} \quad \dots (180)$$

und

$$v = \frac{4}{3} k \frac{bh^2}{l^2} - (bh\gamma + f) \quad \dots (181)$$

Wird der Querschnitt der grössten Tragfähigkeit angenommen, also $b = \frac{5}{7} h$ gesetzt und nach Potenzen von h geordnet, so erhält man aus Gleichung 180 und 181 bezw.

$$h^3 - \frac{3}{4} \frac{l^2 \gamma}{k} h^2 = \frac{3 \cdot 7}{2 \cdot 5} \frac{1}{k} (Q + f \frac{l}{2}) \quad \dots (182)$$

und

$$h^3 - \frac{3}{4} \frac{l^2 \gamma}{k} h^2 = \frac{3 \cdot 7}{4 \cdot 5} \frac{l^2}{k} (v + f), \quad \dots (183)$$

woraus die Abmessungen der Hauptbalken zu ermitteln sind. Da die Brückenbahn der hölzernen Zugbrücken meist aus einem Bohlenbelage besteht, dessen Bohlen quer auf die Träger oder die Balken geschraubt bezw. genagelt werden,

so lässt sich meist, wegen der hierdurch entstehenden Verschwächung der Bohlen über deren Unterlagen, von einer Continuität derselben absehen. Bezeichnet nun β die Breite und δ die Dicke der Bohlen, so ist, wenn ihr eigenes Gewicht vernachlässigt wird, unter Beibehaltung der früheren Bezeichnungen für jene, in der Mitte der freiliegenden Weite wirkende Einzellast

$$\delta = \sqrt{\frac{3}{2} \frac{Ql}{k\beta}} = 1,22 \sqrt{\frac{Ql}{k\beta}} \quad \dots (184)$$

und für eine gleichförmig auf die Flächeneinheit vertheilte Belastung v_1 , die Bohlenstärke

$$\delta = \frac{1}{2} \sqrt{3 \frac{v_1}{k}} = 0,87 \cdot 1 \sqrt{\frac{v_1}{k}} \quad \dots (185)$$

C. Zugbrücken mit constanten Gegengewichten.

Um die Bedingung in Gleichung 177 zu erfüllen, lässt man das Gegengewicht entweder denselben oder einen ähnlichen Kreisbogen beschreiben, wie ihn der Schwerpunkt des Brückenflügels beschreibt, oder es auf einer Führung laufen, deren Form eigens zu bestimmen ist. Man unterscheidet hiernach die Zugbrücken mit Doppelhebeln und die Zugbrücken mit geführten Gegengewichten.

a) Zugbrücken mit Doppelhebeln von constantem Gewicht.

Die Drehachsen der zweiarmigen Hebel, womit diese Zugbrücken bewegt werden, hat man entweder auf feststehende Pfosten oder auf Tragräder mit horizontaler Laufbahn gelagert. Man unterscheidet daher Zugbrücken mit festgelagerten und mit fahrbaren Doppelhebeln.

\alpha) Zugbrücken mit festgelagerten Doppelhebeln.

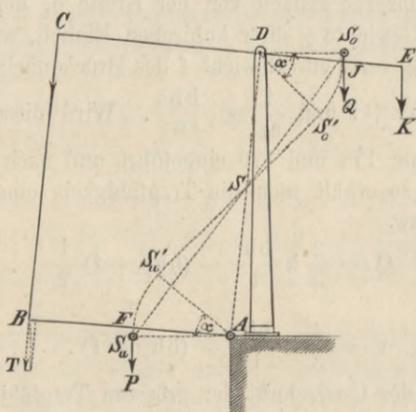
Hierher gehören die gewöhnlichen Zugbrücken mit Ziehbäumen und Schlagbalken.

Wird der Ziehbaum, welcher einen zweiarmigen Hebel von der Länge CD links und DE rechts vom Stützpunkt bildet, s. Textfig. 48, mit dem Schlagbalken durch eine Kette CB so verbunden, dass beide zu einander parallel sind und bleiben, so heben und senken sich beide stets um denselben Winkel α . Greift das in den Schwerpunkten S_0 der Ziehbäume wirkende Gewicht Q in dem Abstände JD = q vom Drehpunkte, das in dem Schwerpunkte S_u der Klappe wirkende Gewicht P in dem Abstände AF = p von der Drehachse A an, so ist

$$Q = P \frac{p}{q}, \quad \dots (186)$$

worin P das Gewicht des unbelasteten Brückenflügels und der beiden halben Tragketten CB bedeutet.

Fig. 48.



Wird die lichte Weite mit l, der Abstand ED mit k bezeichnet, so erhält man den Zug in den Tragketten

$$T = P \frac{p}{l} \quad \dots (187)$$

und die erforderliche Zugkraft am Ende E des Ziehbaumes

$$K = Q \frac{q}{k} \quad \dots (188)$$

Die Schlagbalken der Brückenklaappe und ihre Beläge sind als vollbelastete Träger mit frei aufliegenden Enden, die Stärken der Ziehbäume als zweiarmige Hebel zu berechnen. Sind dies hölzerne Balken mit rechteckigen Quer-

schnitten von der nutzbaren Höhe h und Breite $b = \frac{5}{7} h$, so erhält man

$$h = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot 7}{5 \cdot 2} \cdot Q \frac{q}{k}} = 1,613 \sqrt[3]{\frac{Qq}{k}} \quad \dots (189)$$

Der nutzbare Querschnitt f jeder Tragkette mit der zulässigen Anspruchnahme s ergibt sich aus der Gleichung

$$f = \frac{P}{2sl} \cdot P \quad \dots (190)$$

Erhält eine Zugbrücke von der Spannweite 2l zwei gleiche, durch bewegliche, in der Entfernung l' von der Drehachse angebrachte Streben unterstützte Flügel mit dem Gewichte 2P, so ist das im Kopfe der Streben angreifende Gewicht $\frac{1}{2l_1} P$ mithin, wenn die Strebe den Neigungswinkel β mit dem Schlagbalken einschliesst, der längs jener Streben von der Länge λ wirkende Gesamtdruck

$$S = P \frac{1}{2l'} \cdot \frac{1}{\lambda \cos \beta \sin \beta} = P \frac{l^2}{l' \lambda \sin 2\beta} \quad (191)$$

Sind n Winkelbänder mit rechteckigem Querschnitt von der grössten Seite β und der kleinsten Seite δ vorhanden, so lässt sich, wenn E den Elasticitätsmodul des Strebenmaterials und N einen von dem letzteren abhängigen Sicherheitscoefficienten bezeichnet, eine jener Abmessungen aus der Gleichung

$$\beta \delta^3 = 12 \frac{\lambda}{N \pi^2 E n} \cdot \frac{P l^2}{l' \sin 2\beta} \quad \dots (192)$$

ermitteln. Diese Abmessungen werden unter übrigens gleichen Umständen am kleinsten, wenn $\sin 2\beta = 1$, also das Winkelband so angebracht wird, dass es bei geschlossener Brücke einen Winkel von 45° mit dem Schlagbalken einschliesst, s. Taf. I, Fig. 34, 35.

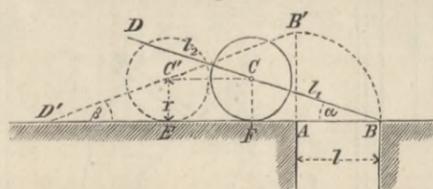
\beta) Zugbrücken mit fahrbaren Doppelhebeln.

Wird der Doppelhebel an einem Ende mit dem Brückenflügel verbunden, am anderen Ende mit einem Gegengewichte versehen und auf die Drehachse von Tragrollen oder von Tragrädern gelagert (System Bergère), s. Taf. I Fig. 34, so heben und senken sich seine beiden Arme stets um denselben Winkel. Bezeichnen nun l_1 und l_2 die Längen der Hebelarme, woran bezw. das Gewicht $\frac{P}{2}$ des halben Brückenflügels und das Gegengewicht G wirkt, so ergibt sich das Gegengewicht

$$G = \frac{l_1}{l_2} \cdot \frac{P}{2} \quad \dots (193)$$

Die Achse der Laufräder muss sich in der allgemeinen Schwerpunktschene CC' bewegen.

Fig. 49.



Mit Bezug auf die Bezeichnungen der Textfig. 49 ergibt sich der Radius der Laufräder

$$r = l \frac{l_2}{l_1 + l_2} = l \frac{P}{P + 2G} \quad \dots (194)$$

und, wenn man annimmt, dass die Achse des Laufrades bei geschlossenem Brückenflügel in der wagrechten Entfernung AF = u von der Drehachse des letzteren steht, die erforderliche Länge des Hebelarmes

$$l_1 = \sqrt{r^2 + (l + u)^2} \quad \dots (195)$$

und des Doppelhebels

$$l_1 + l_2 = \frac{l}{1 - r} \sqrt{r^2 + (l + u)^2} \quad \dots (196)$$

Der grösste Winkel $\alpha + \beta$, um welchen sich der Doppelhebel dreht, lässt sich aus den Werthen $\sin \alpha = \frac{r}{l_1}$ und $\sin \beta = \frac{r}{l_2}$ berechnen, daher beschreibt das Laufrad bei dieser Drehung den Weg

$$w = \frac{\pi T}{180}(\alpha + \beta), \dots (197)$$

welcher zugleich der erforderlichen Länge EF der wagrechten Laufbahn entspricht.

b) Zugbrücken mit geführten, constanten Gegengewichten.

Analytische Behandlung. Bezeichnet t den lothrechten Abstand des Schwerpunktes des in seiner Anfangslage befindlichen Gegengewichtes Q, s. Textfig. 50, und h den lothrechten Abstand des dem Gegengewichte und dem Brückenflügel gemeinsamen Schwerpunktes K von einer Wagrechten durch den Schwerpunkt des in seiner Anfangslage befindlichen Brückenflügels AB, so entspricht einer Hebung $y = h$ des Brückenflügelgewichtes P eine Senkung $z = t - h$ des Gegengewichtes Q, mithin ergibt sich, wenn beide Werthe in Gleichung 172 eingeführt werden,

$$Q(t - h) - Ph = 0 \dots (198)$$

und hieraus der Abstand des Gesamtschwerpunktes, also auch der Horizontalebene HH', worin sich der letztere stets bewegen muss,

$$h = \frac{Q}{P + Q} t \dots (199)$$

Fig. 50.

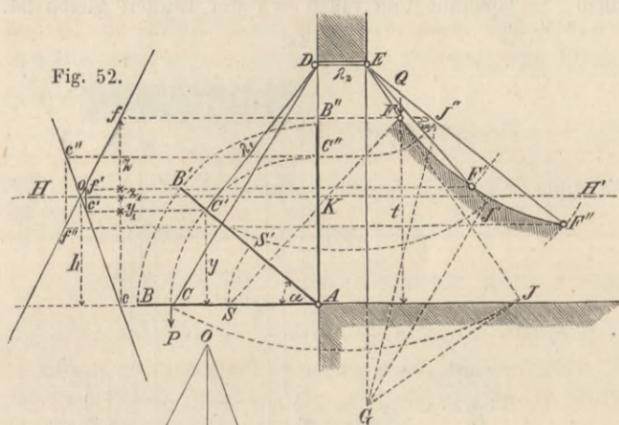


Fig. 52.

Fig. 51.

Stellt man die Gleichungen 172 und 198 zusammen, so erhält man $Qz - Py = Q(t - h) - Ph$ und hieraus

$$Q(t - h - z) = P(h - y), \dots (200)$$

worin $t - h - z = z_1$ und $h - y = y_1$ die Abstände bezw. der Gewichte Q und P von der allgemeinen Schwerpunkts-Ebene in jeder beliebigen Lage des Systemes bezeichnen. Hat man daher die Grösse Q des Gegengewichtes und den Abstand t seiner Anfangslage angenommen und hieraus mittelst Gleichung 199 die Lage der allgemeinen Schwerpunkts-Ebene bestimmt, so ergibt sich für jeden beliebigen Abstand y_1 des Schwerpunktes des Brückenflügels von der letzteren, der zugehörige Abstand des Schwerpunktes des Gegengewichtes

$$z_1 = \frac{P}{Q} y_1 \dots (201)$$

Mit Hilfe der Gleichung 172 oder 201 ist die Leitcurve zu construiren, welche das Gegengewicht so führt, dass in allen Lagen die Arbeit der bewegenden Kraft der Arbeit der bewegten Last gleich ist.

Graphische Behandlung. Construirt man das Kräftepolygon der Gewichte P und Q mit dem beliebig angenommenen Pol O, s. Textfig. 51, und hieraus — mit Bezug auf die Anfangslage AB des Brückenflügels und F des Gegengewichtes Q — das Seilpolygon cof, s. Textfig. 52, so bestimmt der Durchschnittspunkt o der beiden Polygonseiten den Abstand h der horizontalen Schwerpunkts-Ebene HH' von der durch den Schwerpunkt S des in seiner Anfangslage befindlichen Brückenflügels gelegten Horizontalebene. Wird der Brückenflügel um den Winkel α gedreht, also der Befestigungspunkt C der Zugkette nach dem Punkte C' bewegt, welcher dem Punkte c' des Seilpolygons entspricht, so ergibt sich in dem letzteren der Punkt f', welcher die Tiefe z bezeichnet, um welche sich das Gegengewicht Q bei der Hebung y des Punktes C nach C' gesenkt haben muss. Zugleich zeigt die Figur, dass der

Abstand y des Punktes c' und z, des Punktes f' von der Schwerpunkts-Ebene HH' sich zu einander verhalten, wie Q zu P, also umgekehrt wie die Gewichte, deren Senkung sie entsprechen. Ist der Brückenflügel AB um 90° gedreht, wobei der Punkt C nach C'' gelangt ist, welchem der Punkt c'' des Seilpolygons entspricht, so erhält man in dem letzteren den Punkt f'', welcher die ganze Senkung des Gegengewichtes Q bestimmt.

a) Zugbrücken mit sinusoidenformiger Leitcurve.

Diese von Belidor angegebenen Zugbrücken besitzen Leitcurven FF'F'', s. Textfig. 50, für die Gegengewichte, deren Ordinaten nach Gleichung 177 den Sinus der Drehungswinkel α des Brückenflügels proportional sind.

Analytische Behandlung. Diese Ordinaten, welche für eine genügende Zahl von Drehungswinkeln α berechnet werden, sind von einer durch die Anfangslage F des Schwerpunktes des Gegengewichtes gelegten Horizontalen BA lothrecht abwärts aufzutragen. Will man diese Ordinaten von der allgemeinen Schwerpunkts-Horizontale ab lothrecht aufwärts abtragen, so hat man, nach Gleichung 199, zuerst die Lage h der letzteren zu bestimmen und dann die, durch Gleichung 201 und 174 gegebenen, Ordinaten

$$z_1 = \frac{P}{Q} y_1 = \frac{P}{Q} (h - y) = \frac{P}{Q} (h - l' \sin \alpha) \quad (202)$$

zu benutzen. Das Gegengewicht Q ist am einen Ende F einer über eine feste Rolle geführten Kette CDEF von constanter Länge befestigt, mit deren anderem Ende C der Brückenflügel drehbar verbunden ist. Besitzt die Kette die constante Länge $\lambda = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3$, während für den beliebigen Drehungswinkel α Stücke von der Länge λ_1 und λ_2 einerseits zwischen dem Brückenflügel und der linken Rolle, andererseits zwischen der rechten Rolle und dem Gegengewichte sich befinden, so hat man von dem Berührungspunkt zwischen Kette und Rolle aus mit der Länge $\lambda_3 = \lambda - (\lambda_1 + \lambda_2)$ einen Kreisbogen zu beschreiben und diesen durch die Wagrechte zu schneiden, welche man durch den oberen Endpunkt der zugehörigen Ordinaten legt. Hierdurch erhält man einen Punkt der durch den Schwerpunkt der Rolle gehenden Curve FF'F'', von welcher die Leitcurve überall um den Halbmesser der Rolle absteht. Bezeichnet man mit G das im Schwerpunkt S wirkende Gewicht des Brückenflügels, mit l_1 und l_2 bezw. die Entfernungen SA und CA, so ist das am Befestigungspunkte C der Kette wirkende Gewicht $P = G \frac{l_1}{l_2}$ und, wenn noch $CD = s$ und $AD = u$ gesetzt wird, der grösste, in der Kette stattfindende Zug $Z_{\max} = P \frac{s}{u}$.

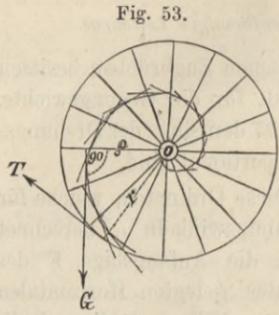
Graphische Behandlung. Hat man nach dem Früheren für die Anfangslage AB, die Zwischenlage AB' und die Endlage AB'' des Brückenflügels sowie für die Anfangslage F die durch die Wagrechten f_1F_1 und f_2F_2 bestimmten Senkungen z des Gegengewichtes bestimmt, s. Textfig. 50—52, so hat man von E aus mit den obenerwähnten Differenzen $\lambda_3 = EF_1$ und EF_2 der constanten Kettenlänge $\lambda = CDEF$ als Radien Kreisbogen zu beschreiben, welche jene Horizontalen in den Punkten F' und F'' der Leitcurve schneiden. Die Zugspannung in der Kette wird durch die Strecken CD, C'D, C''D dargestellt, wenn DA das Gewicht P des Brückenflügels bedeutet. Ueberträgt man diese Spannungen bezw. auf die Richtungen EF, EF' und EF'', so erhält man die Punkte J, J', J'' und, wenn $EG = \frac{Q}{P} DA = \frac{7}{5} DA$ die Grösse des Gegengewichtes darstellt, durch Verbindung von G mit J, J' und J'' die Richtung und Grösse der Normaldrücke, welche das Gegengewicht Q bezw. in den Punkten F, F' und F'' auf die Leitcurve ausübt.

Die sinusoidische Leitcurve will Ardagh durch eine mit ihr möglichst zusammenfallende elliptische Leitcurve ersetzen, indem er die Rolle, woran das Gegengewicht hängt, über eine in den Brennpunkten jener Ellipse aufgehängene Kette laufen lässt.

β) Zugbrücken mit spiralförmiger Leiteurve.

Bei diesen von Derché angegebenen Zugbrücken, s. Taf. I, Fig. 31–33, wirkt das volle Gegengewicht an Spiralrädern, also an Hebelsarmen, welche derart wechseln, dass in jeder Lage das statische Moment des Gegengewichtes G gleich dem statischen Momente der erforderlichen Zugkraft T des Kettenstückes ist.

Bezeichnet r den Halbmesser des Rades, um welches die Zugkette aufgewunden wird, s. Textfig. 53, ϱ den variablen Hebelsarm des Gegengewichtes in Bezug auf die dem Spiralrad und Kettenrad gemeinschaftliche Drehachse o, so ist



so ist $Tr - G\varrho = 0$, also $\varrho = \frac{T}{G}r$ (203)

Andererseits muss das Moment der Zugkraft des Kettenstückes ac, Taf. I, Fig. 31, von der gleichen Spannung T, dem Momente des Klappengewichtes Q in der Anfangslage mit Bezug auf die Drehachse b der Klappe gleich, also, wenn mit t der Hebelsarm von T, mit l, der Abstand eb des Schwerpunktes e der Klappe von ihrer Drehachse bezeichnet wird,

$$Tt - Ql_1 = 0 \quad \dots \dots \dots (204)$$

sein. Wird hieraus der Werth von T bestimmt und in Gleichung 203 eingeführt, so ergibt sich

$$\varrho = \frac{Q}{G} \cdot \frac{l_1}{t} r, \quad \dots \dots \dots (205)$$

worin G und r angenommen wird. Ermittelt man den variablen Werth t durch Construction, so lässt sich ϱ leicht berechnen und hiernach die erwähnte Spirale mit Hilfe ihrer Tangenten auf folgende einfache Art construiren. Man wählt die aufeinanderfolgenden Lagen der sich hebenden Klappe so, dass beim Uebergange von einer zur anderen sich immer ein gleich langes Stück der Zugkette auf das Kettenrad aufwickelt und trägt auf die diesen Lagen entsprechenden Radien des Kettenrades die nach Gleichung 205 berechneten Werthe $\varrho_1, \varrho_2, \dots$ von der Achse o aus auf. Errichtet man in den so erhaltenen Punkten Normale auf die zugehörigen Richtungen der Werthe ϱ , so erhält man ein Tangentenpolygon, in welches sich die gesuchte Spirale eintragen lässt.

Wird die Rolle c in einer durch die Drehachse b geführten Lothrechten angebracht, so ist, wenn die Zugkette in einem Abstand $ab = l$ an der Drehachse b der Klappe befestigt ist, das im Punkte a der Klappe wirkende Gewicht derselben $Q_1 = Q \frac{l_1}{l}$, also, wenn mit k die Länge des Kettenstückes ac, mit h der Abstand bc bezeichnet wird, der Zug in der Kette

$$T = Q_1 \frac{k}{h} = Q \frac{l_1}{l} \cdot \frac{k}{h} \quad \dots \dots \dots (206)$$

und, wenn dieser Werth in Gleichung 203 eingesetzt wird,

$$\varrho = \frac{Q}{G} \cdot \frac{l_1}{lh} \cdot k = A \cdot k, \quad \dots \dots \dots (207)$$

worin A eine Constante bezeichnet. Hierin ist die abgewickelte Länge k der Kette proportional dem Drehungswinkel φ der Spiralenachse, also $k = \frac{\pi r}{180} \varphi$, und wenn dieser Werth in Gleichung 207 eingeführt wird, der Radiusvector

$$\varrho = a \frac{\pi r}{180} \varphi = a' \varphi, \quad \dots \dots \dots (208)$$

welcher der archimedischen Spirale angehört. Bei geschlossener Klappe nimmt t seinen kleinsten Werth an, man erhält mithin aus Gleichung 205

$$\varrho_{\max} = \frac{Q}{G} \cdot \frac{l_1}{t_{\min}} \cdot r. \quad \dots \dots \dots (209)$$

Soll der Radius des Kettenrades diesem grössten Radiusvector der Spirale gleich werden, so muss hierin

$$\frac{Q}{G} \cdot \frac{l_1}{t_{\min}} = 1, \text{ also das Gegengewicht } G = Q \frac{l_1}{t_{\min}} \quad \dots \dots \dots (210)$$

und soll ferner das Kettenrad bei völliger Hebung der Klappe, wenn s die Länge des ganzen aufgewickelten Kettenstückes ist, nur einen Umgang machen, $2\pi r = s$, also

$$r = \frac{s}{2\pi} \quad \dots \dots \dots (211)$$

angenommen werden.

Die vorstehenden Formeln gelten für Zugbrücken mit Spiralrädern, bei welchen das Gewicht der Zugkette ausser Betracht bleiben kann, lassen sich jedoch auch zu vorläufigen Berechnungen von solchen Brücken, bei welchen dies nicht der Fall ist, benutzen, wobei man das Spiralrad ohne Rücksicht auf das Gewicht der Zugkette construirt und, mit Benutzung der gefundenen Kettenlängen und Gewichte, die Berechnung wiederholt durchführt.

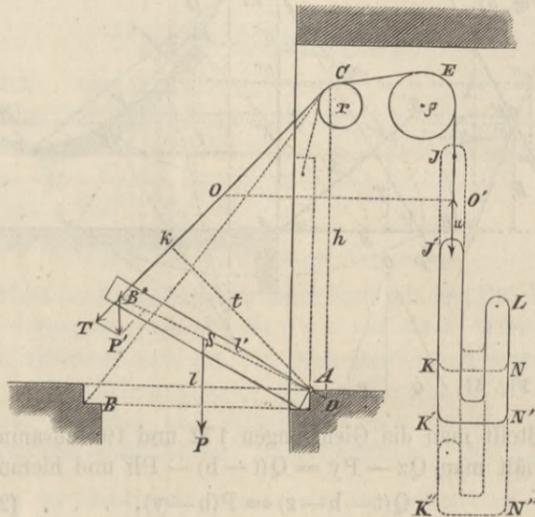
D. Zugbrücken mit variablen Gegengewichten.

Wird die Zugkette BC, Textfig. 54, über eine Rolle C mit dem Radius r, das Gegengewicht G über eine zweite Rolle E mit dem Radius ϱ geführt, so ist, wenn mit T die für eine beliebige Klappenlage in der Zugkette herrschende Spannung bezeichnet wird, das Gegengewicht

$$G = \frac{r}{\varrho} T, \quad \dots \dots \dots (212)$$

worin $\frac{r}{\varrho}$ constant und für $\varrho = r$ der Einheit gleich ist.

Fig. 54.



Das Gegengewicht muss also in diesem Falle der Zugkettenspannung T proportional, mithin variabel werden. Mit Bezug auf die Bezeichnungen der Figur ergibt sich T aus Gleichung 206, mithin, wenn sein Werth in Gleichung 212 eingeführt wird,

$$G = Q \frac{r l_1}{\varrho l} \cdot \frac{k}{h} = C \frac{k}{h}, \quad \dots \dots \dots (213)$$

worin C eine Constante darstellt. Diese Veränderlichkeit der Gegengewichte hat Poncelet durch geeignete, an ihren beiden Enden aufgehängene Ketten, s. Taf. I, Fig. 41–44, erreicht, während Lacoste eine allmähige Gewichtsverminderung beim Aufziehen der Klappe durch einzelne ungleiche, allmähig sich absetzende Gewichte, s. Taf. I, Fig. 35, und Bergère — jedoch ohne praktischen Erfolg — eine solche durch Eintauchen besonders geformter Gegengewichte in Wasserbehälter, wobei sie das entsprechende Gewicht verlieren, vorschlug.

a) Zugbrücken mit Gegengewichtsketten.

Bei diesen, von Poncelet angewandten Zugbrücken werden die Gegengewichte durch Gliederketten JKNL, s. Textfig. 54, gebildet, die mit einem Ende J an die Zugkette, mit dem andern Ende L an einen eisernen Stützklöben so aufgehängt werden, dass sich beim Aufziehen der Klampe in die Lage AB' der Theil JK der Kette zu J'K' verkürzt, der Theil LN der Kette um NN' verlängert. Die für jede Klappenlage erforderliche Schwere G des Gegengewichtes ergibt sich aus Gleichung 213. Soll hierbei auch das Gewicht der Kette berücksichtigt werden, welches für deren Längeneinheit γ betragen mag, so wirkt im Punkte B' noch das Gewicht $\frac{\gamma k}{2}$ des halben Kettenstückes OB', während

sich das über der Horizontale OO' hängende Kettenstück OCEO' im Gleichgewichte befindet. Nur das unterhalb derselben hängende Kettenstück von der Länge O'J' = u vermehrt das Gegengewicht, ist also von demselben in Abzug zu bringen. Hiernach ergibt sich aus Gleichung 213 der genauere Werth des am unteren Ende der Zugkette befestigten Gegengewichtes

$$G = \left(P \frac{rl'}{\rho l} + \frac{\gamma k}{2} \right) \frac{k}{h} - \gamma u, \dots (214)$$

worin u negativ zu nehmen ist, wenn O' unter J' sinkt, während die Längen k und h mit hinreichender Genauigkeit aus der Zeichnung abgegriffen werden können. Liegt der mittlere Berührungspunkt der Zugkette BC und Rolle C lothrecht über der Drehachse A der Klappe, so lässt sich die Berechnung von G vereinfachen, wenn man h annähernd constant setzt.

Zur Bewegung des für sich im Gleichgewichte befindlichen Systems dient ein an der Achse der Rolle E befestigtes Triebrad mit dem Halbmesser R und eine um dasselbe geschlungene Manövrkette, s. Taf. I, Fig. 41—44. Die zu überwindenden Widerstände bestehen hauptsächlich in der Zapfenreibung der Klappenachse und in der Reibung der Rollen C und E. Bezeichnet man die Zapfendurchmesser jener Achse und dieser Rollen bezw. mit ρ_a , ρ_c und ρ_o , mit φ und φ' bezw. die Coefficienten jener Achsen- und Rollenreibung, so muss die zur Bewegung der Klappe erforderliche mittlere Zugkraft

$$Z > \frac{1}{R} \left[\varphi \frac{\rho_a}{t} P'' + \varphi' \left(\frac{\rho_c}{r} N' + \frac{\rho_o}{e} N'' \right) \right] (215)$$

sein, worin sich der Achsdruck A annähernd zwischen $\frac{P}{2}$ bis P bewegt und die Normaldrücke

$$N' = 2T \sin \frac{\alpha}{2} \quad \text{und} \quad N'' = 2T \sin \frac{\alpha'}{2} (216)$$

mit der Spannung T der Zugkette und dem Centriwinkel α und α' wachsen, welchen die durch die äussersten Berührungspunkte der Zugkette gehenden Radien der Rollen C und E miteinander einschliessen.

b) Zugbrücken mit sich absetzenden Gegengewichten.

Bei diesen, von Lacoste vorgeschlagenen Zugbrücken, s. Taf. I, Fig. 35, sollen an das hintere Ende der Zugkette eine Anzahl gusseiserner Scheiben a von verschiedener Grösse derart aufgereiht werden, dass sie sich beim Heben der Brückenklappe, also beim Sinken des hinteren Endes der Zugkette — eine nach der anderen — auf eisernen, in gewissen Abständen an eisernen Ständern wagrecht befestigten Kränzen e mit immer kleiner werdenden Oeffnungen absetzen. Die Berechnung der Gegengewichte lässt sich ohne und mit Berücksichtigung des Gewichtes der Zugkette bezw. nach Gleichung 213 und 214 vornehmen, während der zur Bewegung des für sich im Gleichgewichte befindlichen Systems dienende, dem vorigen ähnliche Mechanismus die durch Gleichung 215 und 216 bestimmte Zugkraft erfordert.

6. Die um wagrechte Zwischenachsen drehbaren Brücken (Klappbrücken).

Die Klappbrücken werden um eine wagrechte Zwischenachse A, s. Textfig. 55, gedreht, wobei die Hinterklappe das Gegengewicht der Vorderklappe bildet. Da sich beide Klappen stets gleichzeitig und um denselben Winkel drehen, so ist die Klappbrücke in allen Lagen im Gleichgewicht, wenn, mit Bezug auf die Bezeichnungen der Figur, $Gg - Pp = 0$, also das Gewicht der Hinterklappe

$$G = P \frac{p}{g} \dots (217)$$

beträgt. Wenn das Eigengewicht der Klappen, wie gewöhnlich, nicht gleichförmig auf die Längeneinheit vertheilt ist, sondern aus den Einzelgewichten $G_1 + G_{11} + \dots + G_m = G$ der Hinterklappe mit den zugehörigen Abständen ihrer Schwerpunkte g_1, g_{11}, \dots, g_m von der Drehachse sowie aus den Einzelgewichten $P_1 + P_{11} + \dots + P_n = P$ der Vorderklappe mit den zugehörigen Abständen p_1, p_2, \dots, p_n ihrer Schwerpunkte von der Drehachse besteht, so ist

Heinzerling, Bewegliche Brücken.

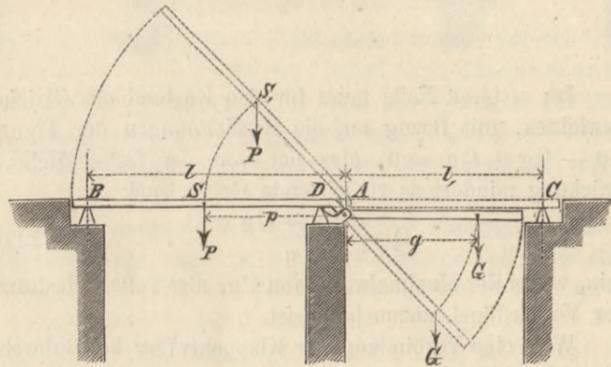
$$\text{und} \quad \left. \begin{aligned} Gg &= G_1 g_1 + G_{11} g_{11} + \dots + G_m g_m \\ Pp &= P_1 p_1 + P_{11} p_{11} + \dots + P_n p_n \end{aligned} \right\} (218)$$

woraus

$$g = \frac{G_1 g_1 + G_{11} g_{11} + \dots + G_m g_m}{G_1 + G_{11} + \dots + G_m} \quad \text{und} \quad p = \frac{P_1 p_1 + P_{11} p_{11} + \dots + P_n p_n}{P_1 + P_{11} + \dots + P_n} \quad (219)$$

gefunden wird: Werthe, welche der Bedingungsgleichung 217 zu genügen haben. Entsprechen die Momente der Hinterklappe nicht vollständig dieser Bedingung, so wird an

Fig. 55.



derselben ein besonderes Gegengewicht G_r in dem erforderlichen Abstände g_r von der Drehachse befestigt und so das zur Ausgleichung erforderliche Moment hinzugefügt, in welchem Falle in Gleichung 217

$$g = \frac{G_1 g_1 + G_{11} g_{11} + \dots + G_m g_m + G_r g_r}{G_1 + G_{11} + \dots + G_m + G_r} (220)$$

zu setzen ist. Hierbei empfiehlt es sich, G_r möglichst klein und g_r möglichst gross zu wählen, also das Ausgleichungsgewicht in möglichst grosser Entfernung von der Drehachse zu befestigen. Soll die Brücke sich von selbst schliessen, so hat man das Gegengewicht nur etwas kleiner zu nehmen. Sind beide Klappen auf diese Weise ins Gleichgewicht gebracht, so erfordert deren Drehung die Ueberwindung der Zapfenreibung an der Drehachse. Wird hierzu eine Kurbel oder ein Rad mit dem Radius R angewandt, so erfolgt die Drehung der Klappen, wenn die Zugkraft

$$Z > \varphi (G + P) \frac{\rho}{R}, \dots (221)$$

worin ρ den Zapfenhalbmesser und φ den Coefficienten der Zapfenreibung bedeutet. Die Drehachsen der Klappbrücken sind entweder fest oder beweglich, wonach die Klappbrücken mit festen und mit beweglichen Achsen besonders zu betrachten sind.

A. Klappbrücken mit festgelagerten Drehachsen.

Die Klappbrücken mit festliegenden Drehachsen sind die gewöhnlichen und werden theils mit einer Klappe oder als einflügelige, theils mit zwei Klappen oder als zweiflügelige angewandt. Sie erhalten in beiden Fällen am besten eiserne Träger und zwar mit I-förmigem Querschnitt, wonach deren Widerstandsmomente mit Hilfe der Gleichung 117 zu berechnen sind.

a) Einflügelige Klappbrücken mit festen Drehachsen.

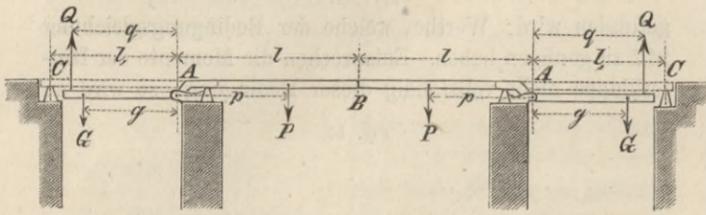
In geschlossenem Zustande sind die Träger dieser Brücken als vollbelastete Träger auf zwei Stützen nach Gleichung 178 bis 185 zu berechnen, während sie im geöffneten Zustande unbelastet sind und als einmal unterstützte, doppelarmige Hebel fungiren. Der unter der Hinterklappe befindliche Brückenkeller wird hierbei durch festgelagerte, zwischen die Träger der Hinterklappe eingeschaltete Träger AC, s. Textfig. 55, überbrückt, welche ebenso als Träger auf zwei Stützen zu berechnen sind.

b) Zweiflügelige Klappbrücken mit festen Drehachsen.

Im geschlossenen Zustande sind die Träger der Klappen als Doppelhebel zu berechnen, die sich um A, s. Textfig. 56, drehen und bei Belastung des Vorderarmes mit dem hinteren einen Druck Q nach oben ausüben, welcher entweder

— wie gewöhnlich — von der festen Ueberbrückung der beiden Klappenkeller oder — freilich nur selten — von der Drehachse aufgenommen werden muss, was im ersteren Falle meist, im letzteren Falle stets eine Verankerung mit dem Mauerwerk erforderlich macht.

Fig. 56.



Im ersteren Falle muss für den Zustand des Gleichgewichtes, mit Bezug auf die Bezeichnungen der Figur, $Pp - Gg + Qq = 0$, also der von der festen Ueberbrückung mindestens zu leistende Gegendruck

$$Q = \frac{Pp - Gg}{q} \dots \dots \dots (222)$$

sein, wobei der Maximalwerth von Pp , also volle Belastung der Vorderflügel, anzunehmen ist.

Wird eine Verbindung der Klappenträger bei B durch Riegel bewirkt, so ersetzen dieselben zwar den Zusammenhang der Träger nicht, verhindern aber doch eine ungleiche Durchbiegung der Trägerenden.

B. Klappbrücken mit beweglichen Drehachsen.

Diese Klappbrücken sind solche, deren Drehachsen, während sie in paralleler Lage verbleiben, sich beim Öffnen oder Schliessen der Brücke entweder längs einer Geraden oder längs einer Curve bewegen.

a) Klappbrücken mit längs einer Geraden beweglicher Drehachse.

Wird die Drehachse der Klappbrücken nach dem Vorgang Lombardies durch gezahnte Sektoren (Quadranten) ersetzt, deren Mittelpunkt mit dem Schwerpunkte des ganzen Systems zusammenfällt und deren Zahnkranz in die längs der Seitenmauern wagrecht befestigten Zahnstangen eingreift, s. Taf. I, Fig. 58, so beschreibt der Schwerpunkt des ganzen Systems bei der Drehung jener Sektoren eine wagrechte Gerade. Bei der Drehung des Sektors mit dem Radius r um 90° beschreibt dessen erster Berührungspunkt mit der Zahnstange den vierten Theil einer Cycloide und legt parallel zur Zahnstange den Weg $\frac{\pi r}{2}$ zurück, um welchen Betrag sich der Brückenkeller annähernd verkürzen lässt.

b) Klappbrücken mit längs einer Curve beweglicher Drehachse.

Wird nach Ardagh's Vorschlag die Klappe, deren Schwerpunkt sich in s befindet, s. Taf. I, Fig. 51, mittelst der in o verankerten Stangen oc in c aufgehängt und das hintere Ende a der Klappe mit Leitrollen versehen, welche sich beim Öffnen und Schliessen der Brücke längs Führungsschienen aa' bewegen, deren Form so gewählt ist, dass der Schwerpunkt s der Klappe sich wagrecht verschiebt, so lässt sich die mechanische Arbeit der Bewegung der Klappe allein auf die Ueberwindung der Reibungswiderstände zurückführen. Die Form der Leitcurve ergibt sich dann aus der Erwägung, dass der Aufhängepunkt c einen Kreisbogen $cc'e''$ mit dem Halbmesser oc beschreibt und dass für jede beliebige Lage $a'b'$ der Klappe, wobei sich deren Schwerpunkt s wagrecht nach s' verschoben hat, der Abstand $s'c' = sc$ und $a'c' = ac$ sein muss. Ist also der Aufhängepunkt von c nach c' gelangt, so hat man von c' aus mit dem Abstände sc als Halbmesser einen Kreisbogen zu schlagen, welcher die durch s gehende Horizontale in s' trifft. Hierdurch ist die Neigung $a'b'$ der Klappe bestimmt und hat man nur noch vom Punkte c' der Neigungslinie $a'b'$ ab die Entfernung $a'c' = ac$ aufzutragen.

7. Die um lothrechte Endachsen drehbaren Brücken (Krahnbrücken).

Die einzelnen Träger der Krahnbrücken, welche die Form von Consolen haben, sich um die an ihrem hinteren Ende angebrachten Wendesäulen AB , s. Textfig. 57, drehen und unter sich durch drehbar befestigte Verbindungsstangen parallel erhalten werden, sind beim geöffneten Zustande der Brücke als Consolträger zu betrachten. Bezeichnet P das Gewicht eines entlasteten Trägers mit dem Abstände p seiner Schwerlinie von der Wendesäulenachse und h die Entfernung des Stützzapfens vom Halsringe der Wendesäule, so ist die zur Befestigung des Halsringes erforderliche, durch eine Verankerung mit dem Mauerwerk zu beschaffende Kraft

$$H = \frac{p}{h} P, \dots \dots \dots (223)$$

während das Stützzapfenlager ausser dem lothrechten Drucke P einem Horizontaldrucke von derselben Grösse, aber entgegengesetzter Richtung, zu widerstehen hat. Beim Aus- und Einschwenken der Brücke ist daher die Reibung im Halsringe und am Stützzapfen zu überwinden, deren Coefficienten mit φ' und φ bezeichnet werden mögen. Wird zu diesem Zweck eine gezahnte Schubstange, welche in ein gezahntes Rad mit dem Radius r eingreift, angewendet, so ist, wenn T die Anspruchnahme der Schubstange und t deren Hebelsarm in Bezug auf die Achse der Wendesäule bezeichnet, zunächst die an der Peripherie des Zahnrades auszuübende Kraft

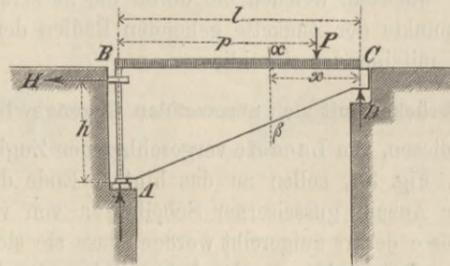
$$R = \frac{t}{r} P, \dots \dots \dots (224)$$

worin

$$T > \frac{P}{t} \left(\varphi + \varphi' \frac{p}{h} \right) \dots \dots \dots (225)$$

sein muss.

Fig. 57.



Die Träger der Krahnbrücken sind verschieden zu berechnen, je nachdem dieselben je einen oder je zwei Flügel besitzen.

a) Einflügelige Krahnbrücken.

Die Träger derselben sind bei geschlossener Brücke und zwar in vollbelastetem Zustande zu berechnen, wobei sie als Träger auf zwei Stützen zu betrachten sind. Da nämlich die während der Bewegung etwas durchgebogenen Trägerenden C , s. Textfig. 57, beim Schliessen der Brücke durch Drehung eines excentrischen Rades oder durch einen Keilmeechanismus insoweit gehoben werden, dass auch der etwas ovale Halseisenring bei B von dem Seitendruck des Trägers ganz oder nahezu befreit wird, so ruht der Träger alsdann an beiden Enden A und D frei auf und ist als solcher nach Gleichung 178 bis 185 zu berechnen.

b) Zweiflügelige Krahnbrücken.

Da bei diesen Brücken eine Unterstüttzung des freien Endes der Träger auch im geschlossenen Zustande derselben nicht eintritt, so sind deren Hauptträger als Consolträger mit voller Verkehrsbelastung zu berechnen. Bezeichnet Q die Belastung eines Flügels der Brücke mit dem Abstände q ihres Schwerpunktes von der Wendesäulenachse, so ergibt sich aus Gleichung 223 der Zug am Halsring $H = \frac{q}{h} Q$.

Enthält Q eine concentrirte Verkehrslast P mit dem Abstände p von der Drehachse, so erzeugt dieselbe ein An-

griffsmoment Pp und man erhält für die Ausladung l des Flügels mit Berücksichtigung des Eigengewichtes

$$H = \frac{1}{h} \left(\frac{el^2}{2} + Pp \right), \quad (226)$$

kann dagegen die Verkehrsbelastung als eine gleichförmig auf die Längeneinheit vertheilte Belastung v angenommen werden, so wird

$$H = \frac{(e+v)l^2}{2h}, \quad (227)$$

Hieraus ergibt sich bei einer zulässigen Anspruchnahme s der Flächeneinheit der Querschnitt

$$f = \frac{H}{s}, \quad (228)$$

des schmiedeisernen Ankers, mittelst dessen der Halsring der Wendensäule mit dem Mauerwerk horizontal zu verankern ist. Um den entgegengesetzt wirkenden Druck von der Grösse H aufnehmen zu können, ist das Stützzapfenlager mit dem dasselbe unterstützenden Mauerwerk durch lothrechte Bolzen zu verankern. Bezeichnet s_1 die zulässige Scheerfestigkeit der Flächeneinheit dieser Mauerbolzen, so ergibt sich deren Gesamtquerschnitt

$$f_1 = \frac{H}{s_1}, \quad (229)$$

Werden diese beiden Widerstände geleistet, so ist der Consolträger als ein am Hinterende festeingespannter Träger zu betrachten, mithin ergibt sich für einen Querschnitt in dem beliebigen Abstand x vom Hinterende der Consolträger für die beiden angegebenen Belastungsweisen bezw.

$$Px + \frac{e}{2} x^2 = \frac{k}{a_k} t, \quad (230)$$

und

$$\frac{(e+v)x^2}{2} = \frac{k}{a_k} t, \quad (231)$$

welche also für $x=1$ ihren grössten Werth annehmen. Für die Verticalscheerkräfte und Widerstände in jenem Querschnitt von dem Inhalt F ergeben sich bezw. Ausdrücke

$$P + ex = Fs_1, \quad (232)$$

und

$$(e+v)x = Fs_1, \quad (233)$$

welche für $x=1$ ihre grössten Werthe annehmen.

Aus den Gleichungen 230 und 232 oder 231 und 233 sind die Querschnittsdimensionen der Consolträger in der früher angegebenen Weise festzustellen.

Werden im geschlossenen Zustande der Brücke die Consolträger an ihren Vorderenden durch Riegel verbunden, so werden sie hierdurch zwar vor einseitiger Durchbiegung geschützt, können jedoch nicht als zusammenhängende Träger betrachtet und berechnet werden.

8. Die um lothrechte Zwischenachsen drehbaren Brücken (Drehbrücken).

Die Berechnung der Drehbrücken gestaltet sich verschieden, je nachdem dieselben gleicharmig oder ungleicharmig sind. Im ersteren Falle gleicht sich das Eigengewicht beider Arme aus, während die Gesamtlast auf einem Mittelpfeiler ruht, im letzteren Falle wird der Eigengewichts-Ueberschuss des längeren Armes durch ein besonderes, am kürzeren Arm angebrachtes Gegengewicht ausgeglichen, während die Gesamtlast meist auf einem Endpfeiler ruht. Ungleicharmige Drehbrücken erhalten bei kleineren Oeffnungen einen, bei grösseren Oeffnungen zwei Flügel; dieselben sind hiernach als einflügelige oder zweiflügelige zu berechnen. Bei Berechnung der Brückenlager und Brückenträger ist zu unterscheiden, ob die letzteren auf Rollkränzen mit Führungszapfen (Rollkranzbrücken) oder auf Drehzapfen ohne Rollkränze (Drehzapfenbrücken) oder auf Rollkränzen und Drehzapfen zugleich (Rollkranz-Drehzapfenbrücken) ruhen, wobei die Drehzapfen entweder fest oder beweglich sein können. Bei Dimensionirung der Träger sind dieselben im geschlossenen und geöffneten Zustande der Brücke zu berechnen, wobei sie bezw. meist als Träger auf drei Stützen oder als zweiarmige Consolträger fungiren, während die Bewegungsmechanismen der Brücke, deren Schwerpunkt

während der Drehung in einer Horizontalebene bleibt, nur die Reibungswiderstände zu überwinden haben, welche an den Rollkränzen, an den Drehzapfen oder an beiden zugleich auftreten. Hierzu kommt die Berechnung der Mechanismen, welche zum Freimachen der Brücke von ihren Lagern vor der Drehung und zur Lagerung und Feststellung der Brücke nach der Drehung dienen und somit in der Hebung und Senkung entweder nur der Trägerenden oder der ganzen Brücke bestehen.

A. Gleicharmige Drehbrücken.

a) Stützendrücke der Brückenträger.

Die gleicharmigen Drehbrücken werden meistens mit continuirlichen Trägern, seltener mit discontinuirlichen Trägern angeordnet, deren Untergurten in der Mitte durchschnitten und im geschlossenen Zustande der Brücke als zwei Träger auf je zwei Stützen zu betrachten und zu berechnen sind.

Bezeichnet G das gesammte, gleichförmig vertheilte Eigengewicht und l die Stützweite einer Oeffnung einer gleicharmigen Drehbrücke auf drei Stützen, so beträgt im geschlossenen Zustande derselben der Druck auf die drei, als gleichhoch vorausgesetzten, Stützen A, B, C bezw. bei

$$1) \text{ continuirlichen Trägern } \frac{3}{16} G, \frac{5}{8} G \text{ und } \frac{3}{16} G,$$

$$2) \text{ discontinuirlichen Trägern } \frac{1}{4} G, \frac{1}{2} G \text{ und } \frac{1}{4} G,$$

woraus folgt, dass im ersteren Falle die Mittelpfeiler um $\frac{G}{8}$ mehr und die Endpfeiler um je $\frac{G}{16}$ weniger, als im letzteren Falle belastet werden.

Die Stützendrücke dieser Brücken werden im vollbelasteten Zustande am grössten. Bezeichnet Q eine über die ganze Brücke gleichförmig vertheilte Verkehrslast, so beträgt der Druck auf jene drei Stützen A, B, C bezw. bei

$$1) \text{ ersteren Trägern } \frac{3}{16} (G+Q), \frac{5}{8} (G+Q), \frac{3}{16} (G+Q),$$

$$2) \text{ letzteren Trägern } \frac{1}{4} (G+Q), \frac{1}{2} (G+Q), \frac{1}{4} (G+Q),$$

woraus folgt, dass im ersteren Falle die Mittelpfeiler um $\frac{G+Q}{8}$ mehr und die Endpfeiler um je $\frac{G+Q}{16}$ weniger

als im letzteren Falle belastet werden. Diese Drücke A und C sind zugleich die grössten, welchen die Endpfeiler ausgesetzt werden. Da die Mittelstützen bei geöffneter Brücke das ganze Eigengewicht G aufzunehmen haben, so ist behufs Bestimmung ihrer grössten Belastung zu untersuchen, ob bei

$$1) \text{ ersteren Trägern } \frac{5}{8} (G+Q) \geq G, \text{ d. h. } Q \geq \frac{3}{5} G,$$

$$2) \text{ letzteren Trägern } \frac{1}{2} (G+Q) \geq G, \text{ d. h. } Q \geq G$$

wird. Da aber selbst bei den am weitesten gespannten Brücken die Betriebslast Q das Eigengewicht G übersteigt, so ist bei Berechnung der Lager in beiden Fällen derjenige Druck zu Grunde zu legen, welcher von der Brücke im geschlossenen und vollbelasteten Zustande auf seine Mittelstütze ausgeübt wird und sich je nach der Lagerungsweise verschieden vertheilt. Ruht die Brücke auf dem Drehzapfen oder auf einem Kranze von n gleichstark gedrückten Rollen, so ist der Druck auf den Drehzapfen und auf eine Rolle bei

$$1) \text{ ersteren Trägern bezw. } \frac{5}{8} (G+Q) \text{ und } \frac{5(G+Q)}{8n},$$

$$2) \text{ letzteren Trägern bezw. } \frac{1}{2} (G+Q) \text{ und } \frac{G+Q}{2n}.$$

Bei Anwendung eines Führungszapfens und eines Rollkranzes von dem Durchmesser d ruhen die continuirlichen Träger im geschlossenen Zustande der Brücke auf vier Stützen A, B, C, D mit den drei aufeinanderfolgenden Stützweiten l, d, l und sind, besonders wenn d im Verhältniss zu l nicht unbedeutend ist, als continuirliche Träger auf vier Stützen zu berechnen. Diese Berechnungsweise ist auch bei Trägern von Brücken geboten, welche auf einem an dem Drehzapfen aufgehängten Rollkranz ruhen, dessen

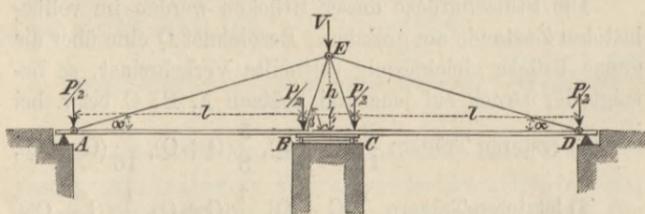
Rollen also nur zur Sicherung gegen Schwanken der Brücke beim Drehen derselben dienen. Im geschlossenen Zustande der Brücke sind diese Träger für die ungünstigste Verkehrsbelastung, im geöffneten Zustande derselben, nachdem entweder der Rollkranz gehoben oder jede Endstütze der Brücke gesenkt wurde, als Träger auf zwei gleich und zwar mit dem Gewichte $\frac{G}{2}$ belasteten Stützen mit beiderseits überhängenden Enden zu betrachten.

b) Berechnung der Brückenträger.

a) Drehzapfenbrücken. Die Träger der Drehzapfenbrücken sind im geschlossenen Zustande als continuirliche Balken auf drei Stützen mit den gleichen Abständen l und zwar für Eigengewichts- und Verkehrsbelastung zu berechnen, wobei die Angriffsmomente und Verticalscheerkkräfte aus den Gleichungen 41 bis 50, die Widerstandsmomente und Verticalwiderstände aus den Gleichungen 117 und 118 zu bestimmen sind. Im geöffneten, unbelasteten Zustande sind die Träger mit Armen von der gleichen Länge $l + \lambda$ nach den Gleichungen 230 und 232 oder 231 und 233 zu berechnen.

β) Rollkranzbrücken. Sind die Träger der Rollkranzbrücken discontinuirlich angeordnet, so sind sie im geschlossenen Zustande der Brücke als Balken auf zwei Stützen, im geöffneten Zustande derselben entweder als armirte Balken zu berechnen, deren freie Enden aufgehängt und deren innere Enden direct unterstützt sind, oder als Consolträger, welche nur durch Eigengewicht belastet und in der Mitte festgehalten sind.

Fig. 58.



Im letzteren Falle sind zur Bestimmung der Momente und Verticalkräfte die Gleichungen 230 und 232 oder 231 und 233 anzuwenden, im ersteren Falle ist den durch Biegung erzeugten Spannungen des Trägers noch der durch die Aufhängung erzeugte Druck des zwischen den Stützpunkten A, B und C, D, s. Textfig. 58, befindlichen Trägertheils, welcher den Ober- oder Untergurt des Trägers bilden kann, hinzuzufügen. Dieser Druck beträgt, wenn mit P das in A zur Hälfte wirkende Eigengewicht der ganzen Brücke bezeichnet wird, mit Bezug auf die Bezeichnungen der Figur, im Ganzen

$$Z_1 = \frac{P}{2} \cdot \frac{1}{\tan \alpha} = P \frac{2l + l_1}{4h} \quad (234)$$

während die Spannung der Zugstangen oder Zugseile AE im Ganzen

$$S = \frac{P}{2} \cdot \frac{1}{\sin \alpha} = P \frac{\sqrt{(2l + l_1)^2}}{4h} \quad (235)$$

und der lothrechte Druck im Aufhängepunkt E der letzteren $V = 2 \frac{P}{2} = P$ beträgt. Wird dieser Druck durch je zwei Streben EB und EC aufgenommen, so hat jede Stütze den Druck

$$S_1 = \frac{P}{2} \cdot \frac{1}{\sin \beta} = P \frac{\sqrt{(2h + l_1)^2}}{4h} \quad (236)$$

auf ihren Fusspunkt zu übertragen.¹⁾

1) Soll bei geöffneter, unbelasteter sowie bei geschlossener, belasteter Brücke die bezw. aus Biegungs- und Achsenspannung zusammengesetzte und die grösste Biegungspressung des Trägergurtes mit dem Querschnitt f einander gleich werden, so muss, wenn l_1 gegen $2l$ vernachlässigt wird,

$$\frac{el^2}{8fh} + \frac{el}{2f \tan \alpha} = \frac{(e + v)l^2}{8fh}$$

sein, also der Aufhängewinkel aus der Gleichung

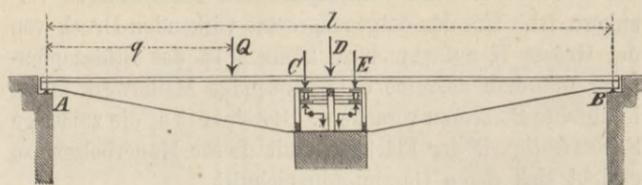
$$\tan \alpha_1 = 4 \frac{l}{v} \cdot \frac{h}{l} \quad (a)$$

bestimmt werden. Soll der Winkel α_2 ermittelt werden, bei welchem der geringste Materialverbrauch stattfindet, so ist

Sind die Träger der Rollkranzbrücken continuirlich angeordnet, so sind sie im geschlossenen Zustande der Brücke als Balken auf vier Stützen mit Berücksichtigung der Verkehrsbelastung nach Gleichung 71 bis 99 und 117 bis 118, im geöffneten Zustande derselben als unbelastete Balken auf zwei Stützen nach Gleichung 17 bis 38 zu berechnen.

γ) Rollkranzbrücken mit Drehzapfen. Die Träger dieser Brücken sind discontinuirlich oder continuirlich und unterscheiden sich von denjenigen der Rollkranzbrücken nur dadurch, dass im geschlossenen und geöffneten Zustande derselben gewisse Theile der Last vom Rollkranz und vom Drehzapfen aufgenommen werden.

Fig. 59.



Bei den von Pröll und Scharowsky mit discontinuirlichen Trägern projectirten Brücken dieser Gattung, s. Textfig. 69, wird ein auf dem Rollkranz ruhender Theil $\frac{P}{n}$ des Eigengewichts der Brücke durch ein Gegengewicht aufgehoben, während der Rest $P \left(1 - \frac{1}{n}\right)$ des Eigengewichts vor dem Ausschwenken durch eine Verticalschraube auf den Drehzapfen übertragen wird. Bei geschlossener, mit Verkehr Q belasteter Brücke, in welchem Falle jene Schraube gelöst wird, nimmt der Rollkranz wieder nur den ausbalancirten Theil $\frac{P}{n}$ des Eigengewichtes der Brücke, jedes Endauflager den halben Rest mit $\frac{P}{2} \left(1 - \frac{1}{n}\right)$ auf, während das linke und rechte Endauflager bezw. noch den Antheil $Q \frac{1-q}{l}$ und $Q \frac{q}{l}$ von der Verkehrslast aufzunehmen hat.

δ) Drehzapfenbrücken mit Rollkranz. Da die Träger dieser Brücken continuirlich sind, während die Unterstützung durch den Drehzapfen erfolgt, an welchen

das Volumen des Trägergurtes von dem Aufhängewinkel unabhängig, so lange $\alpha_2 > \alpha_1$ ist, weil dann die grösste Anspruchnahme des Trägergurtes bei geschlossener und vollbelasteter Brücke stattfindet. In diesem Falle betragen, wenn mit s die zulässige Spannung der Zugseile, mit r die auch in Bezug auf seitliche Ausbiegung zulässige Pressung der Ständer, mit k_z und k_s der Kostenbetrag ihrer Cubikeinheit bezeichnet wird, die Kosten für beide Zugseile und deren Ständer

$$K = \frac{el^2}{s \sin \alpha \cos \alpha} k_z + \frac{el^2}{r} \tan \alpha \cdot k_s,$$

welche in Bezug auf α differentiirt, zu einem Minimum werden für

$$\cotg \alpha_2 = \sqrt{1 + \frac{k_s s}{k_z r}} \quad (b)$$

Wird dagegen der Aufhängewinkel $\alpha_2 < \alpha_1$, so überwiegt die bei geöffneter Brücke stattfindende zusammengesetzte Pressung die bei geschlossener und vollbelasteter Brücke stattfindende Biegungspressung, wesshalb das Volumen des Trägergurtes von dem Aufhängewinkel abhängig wird. In diesem Falle betragen, wenn mit p und k_g bezw. die zulässige Pressung im Trägergurt und der Kostenbetrag seiner Längeneinheit bezeichnet wird, die Kosten für beide Trägergurt, beide Zugseile und deren Ständer

$$K = \frac{l^2}{p} \left(\frac{el}{4h} + \frac{e}{\tan \alpha} \right) k_g + \frac{el^2}{s \sin \alpha \cos \alpha} k_z + \frac{el^2}{r} \tan \alpha \cdot k_s.$$

Wird dieser Betrag in Bezug auf α differentiirt, so ergibt sich

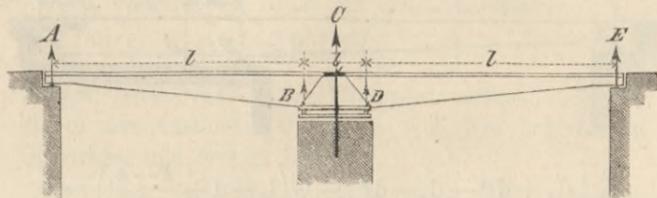
$$\cotg \alpha_2 = \sqrt{\frac{p}{r} \cdot \frac{s k_s + r k_z}{s k_g + p k_z}} \quad (c)$$

Beispiel. Wird für den qcm $s = p = 700$ kg, $r = 350$ kg, für den ccm $k_z = k_g = 0,3$ Pfg, $k_s = 0,2$ Pfg, $\frac{p}{q} = 1$; $\frac{h}{l_s} = \frac{1}{8}$ angenommen, so ergibt sich aus Gleichung a) $\tan \alpha_1 = \frac{1}{2}$, also $\alpha_1 = 27^\circ$, aus Gleichung (b) $\cotg \alpha_2 = 1,527$, also $\alpha_2 = 33^\circ$, aus Gleichung (c) $\cotg \alpha_2 = 1,08$, also $\alpha_2 = 43^\circ$.

Da nun $43^\circ > 30^\circ$, so ist der Werth von 43° nicht anwendbar, dagegen ist der Werth von 33° anwendbar, weil $33^\circ > 27^\circ$ ist. Der ökonomisch vortheilhafteste Aufhängewinkel der Zugseile ist also 33° .

der zur Vermeidung von Seitenschwankungen der Brücke beim Drehen derselben dienende ausbalancirte Rollenkranz angehängen ist, so sind dieselben im geschlossenen Zustande derselben als Träger auf vier Stützen A, B, D, E, s. Textfig. 60, zu betrachten, wobei die Stützen B und D

Fig. 60.



auf der Stütze C balanciren, also bei jeder Belastung einander gleich werden. Würden bei einer festen, unnachgiebigen Unterstüztung in B und D die in diesen Punkten entstehenden Drücke B_1 und D_1 sich nach den früher entwickelten Formeln 71 bis 99 für den Träger auf vier Stützen ergeben, so wird bei Ausbalancirung der beiden Mittelstützen

$$B = D = \frac{B_1 + D_1}{2}, \dots (237)$$

mithin lassen sich, wenn $P + Q$ die Totallast bezeichnet, die Auflagerdrücke A und E aus den Gleichungen

$$A + B + D + E = P + Q \dots (238)$$

und

$$B l + D(l + l) + E(2l + l) = \Sigma^* M, \dots (239)$$

worin $\Sigma^* M$ die Summe aller auf den Stützpunkt A bezogenen Momente darstellt, finden.

c) Arbeit bei Hebung und Senkung der Brücke.

Soll die Brücke geöffnet werden, wobei die Mittelstütze das ganze Gewicht G aufzunehmen hat und die Trägerenden sich in beiden Fällen um δ durchbiegen, so müssen entweder die Endstützen A und C um δ gesenkt, oder die Mittelstützen B um δ gehoben werden. Die hierzu an den Stützen A, B, C erforderliche Arbeit beträgt, mit Bezug auf S. 27 $8 \cdot A \cdot a$, bzw.

1) bei continuirlichen Trägern $\frac{3}{16} G \delta, \frac{5}{8} G \delta, \frac{3}{16} G \delta,$

2) bei discontinuirlichen Trägern $\frac{1}{4} G \delta, \frac{1}{2} G \delta, \frac{1}{4} G \delta,$

woraus folgt, dass im ersteren Falle die Hebung der Mittelstütze $\frac{G}{8} \delta$ mehr und die Senkung der Endstützen je $\frac{G}{16} \delta$ weniger Arbeit, als im letzteren Fall erfordert.

Um den Arbeitsaufwand beim Senken der Endstützen mit demjenigen beim Heben der Mittelstütze continuirlicher Träger vergleichen zu können, ist zu erwägen, dass hierbei der Druck A und C der Endstützen von $\frac{3}{16} G$ auf 0 abnimmt, also im Mittel $\frac{3}{32} G$ beträgt, der Druck B der Mittelstütze dagegen von $\frac{5}{8} G$ auf G wächst, also im Mittel $\frac{13}{16} G$ beträgt. Die Arbeit A_o der Senkung beider Endstützen und A_m der Hebung der Mittelstütze um δ ist daher bezw.

$$A_o = 2 \frac{3}{32} G \delta = \frac{3}{16} G \delta$$

und

$$A_m = \frac{13}{16} G \delta.$$

Hieraus folgt

$$A_o : A_m = 3 : 13,$$

mithin beträgt der Mehraufwand an Arbeit beim Heben der Mittelstütze gegenüber der Senkung beider Endstützen

$$A_m - A_o = \frac{G \delta}{16} (13 - 3) = \frac{10}{16} G \delta. \dots (240)$$

In analoger Weise ergibt sich für discontinuirliche Träger der Arbeitsaufwand beim Senken beider Enden

$$A'_o = 2 \frac{G}{8} \delta = \frac{G}{4} \delta$$

und beim Heben der Mittelstütze

$$A'_m = \frac{1}{2} G \left(\frac{1}{2} + 1 \right) \delta = \frac{3}{4} G \delta.$$

Heinzerling, Bewegliche Brücken.

Hiernach verhält sich

$$A'_o : A'_m = 1 : 3,$$

also beträgt der Mehraufwand an Arbeit beim Heben der Mittelstütze gegenüber der Senkung beider Endstützen

$$A'_m - A'_o = \frac{G \delta}{4} (3 - 1) = \frac{G \delta}{2}. \dots (241)$$

Ein Vergleich der gleicharmigen Drehbrücken mit continuirlichen und discontinuirlichen Trägern ergibt endlich

$$A_o : A'_o = 3 : 4,$$

also bei den letzteren eine Mehrarbeit bei Senkung der Endstützen

$$A'_o - A_o = \frac{G \delta}{16} (4 - 3) = \frac{G \delta}{16}, \dots (242)$$

dagegen eine Minderarbeit bei Hebung der Mittelstütze

$$A_m - A'_m = \frac{G \delta}{16} (13 - 12) = \frac{G \delta}{16}. \dots (243)$$

In allen diesen Fällen ist die Senkung

$$\delta = \frac{1}{8} \cdot \frac{G}{2} \cdot \frac{l^3}{Et}, \dots (244)$$

worin E den Elasticitätsmodul des Trägermaterials und t das Trägheitsmoment des Trägerquerschnittes bezeichnet.

Die Hebung und Senkung der Mittelstütze oder der beiden Trägerenden erfordert, ausser der hierzu nöthigen Arbeit des Hebens und Senkens, die Ueberwindung der hierbei auftretenden Reibungswiderstände des Heb- und Senkmechanismus. Bezeichnet *A die von der Einrichtung des letzteren abhängige Reibungsarbeit des letzteren, so ist die zur Hebung δ eines Trägerendes erforderliche Gesamtarbeit

1) bei continuirlichen Trägern

$$^*A = \frac{3}{16} G \delta + ^*A, \dots (245)$$

2) bei discontinuirlichen Trägern

$$^*A = \frac{1}{4} G \delta + ^*A. \dots (246)$$

Bezeichnet *A wieder die von der Einrichtung des Heb- und Senkmechanismus abhängige Reibungsarbeit, so ist die zur Hebung der Mittelstütze erforderliche Gesamtarbeit

1) bei continuirlichen Trägern

$$^*A = \frac{5}{8} G \delta + ^*A, \dots (247)$$

2) bei discontinuirlichen Trägern

$$^*A = \frac{1}{2} G \delta + ^*A. \dots (248)$$

d) Arbeit bei Drehung der Brücke.

Die Drehbewegung der von ihren Stützen gehobenen Brücke erfordert die Ueberwindung der Reibung am Stützmechanismus durch das Moment der drehenden Kraft D. Bezeichnet d deren Hebelsarm, bezogen auf die Drehachse der Brücke, so ist das Drehmoment $^dM = Dd$. Ruht die Brücke auf einem Laufkranze von dem Halbmesser r mittelst n Rollen mit dem Halbmesser ϱ und dem Zapfenhalbmesser ϱ' , so ist, wenn G' das Gewicht einer Rolle, μ den Coefficienten der gleitenden und φ den Coefficienten der rollenden Reibung bezeichnet, die zum Fortrollen der Brücke erforderliche Kraft an der Peripherie des Laufkranzes

1) bei continuirlichen Trägern

$$R = \mu \frac{\varrho'}{\varrho} \cdot \frac{5}{8} G + \varphi \frac{1}{r} \left(\frac{5}{8} G + n G' \right), \dots (249)$$

2) bei discontinuirlichen Trägern

$$R = \mu \frac{\varrho'}{\varrho} \cdot \frac{G}{2} + \varphi \frac{1}{r} \left(\frac{G}{2} + n G' \right). \dots (250)$$

Die zur Drehung um 90° erforderliche Arbeit, wobei der Weg $\frac{\pi r}{2}$ durchlaufen wird, ergibt sich also aus

$$^aA = \frac{\pi r}{2} R. \dots (251)$$

Ruht die Brücke auf einem unten abgerundeten Drehzapfen mit dem Halbmesser ϱ , so ist, wenn μ den Reibungscoefficienten und α einen von der Form der Abrundung sowie von dem Zustande des Zapfens abhängigen

Coefficienten bezeichnet, das zu überwindende Moment der am Umfange des Zapfens wirkenden Reibung

1) bei kontinuierlichen Trägern

$$M = \mu \alpha \frac{5}{8} G \rho, \dots (252)$$

2) bei discontinuirlichen Trägern

$$M = \mu \alpha \frac{G}{2} \rho. \dots (253)$$

Besitzt die Abrundung des Zapfens z. B. die Form einer Halbkugel mit dem Radius ρ , so ist für neue Zapfen $\alpha = \frac{\pi}{2}$, für eingelaufene Zapfen $\alpha = \frac{2}{\pi}$ zu setzen.

Ruht die Brücke auf einem Rollkranz und Drehzapfen zugleich, so sind die auf dieselben entfallenden Gewichtsantheile zu bestimmen und nach dem Vorhergehenden die Reibungswiderstände beider zu ermitteln und zu summieren.

e) Zeitaufwand zum Öffnen und Schliessen der Brücke.

Ist die Arbeit hA zum Heben oder Senken, sowie dA zum Drehen der Brücke bekannt, so lässt sich hieraus die zum Öffnen oder Schliessen der Brücke erforderliche Zeit t berechnen, wenn ein Arbeitsverlust vA und z. B. die Leistungsfähigkeit a eines Arbeiters nach kgm angenommen wird. In diesem Fall erhält man

$$t = \frac{^hA + ^dA + ^vA}{a} \dots (254)$$

Beispiel. Beträgt das ganze Eigengewicht einer Rollkranzbrücke mit Drehzapfen 310 000 kg, wovon 300 000 kg derart ausbalancirt sind, dass sie auf den Rollen von 225 mm Halbmesser und auf einem Lauf ring von 2,5 m ruhen, während 10 000 kg um 5 cm zu heben sind und dann auf dem Drehzapfen ruhen, so ist die Arbeit des Anhebens

$$^hA = 10\,000 \cdot 0,05 = 500 \text{ kgm.}$$

Die Arbeit des Drehens um den vierten Theil $\frac{\pi D}{4} = \frac{3,14 \cdot 2,5}{4} = 1,96$ m des Lauf rings ergibt sich, wenn der Hebelsarm der rollenden Reibung zu 0,5 mm angenommen wird,

$$^dA = 300\,000 \cdot \frac{0,5}{225} \cdot 1,96 = 1306 \text{ kgm.}$$

Wird hierzu ein Arbeitsverlust von 25%, also von rund 450 kgm gerechnet und die Leistungsfähigkeit a eines Arbeiters zu 16 kgm in der Secunde angenommen, so beträgt, nach Gleichung 254, die zum Öffnen der Brücke erforderliche Zeit

$$t = \frac{500 + 1306 + 450}{16} = \text{rund } 131 \text{ Sekunden,}$$

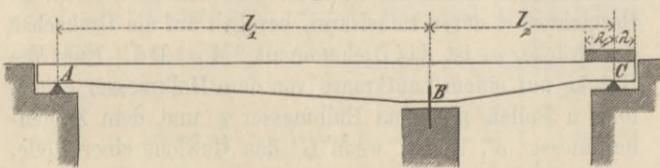
also etwas über 2 Minuten.

B. Ungleicharmige Drehbrücken.

a) Einflügelige Drehbrücken.

Reichen dieselben über zwei Öffnungen, wobei deren Träger über einem Drehpfeiler und sowohl im geschlossenen als im geöffneten Zustande auf einem Drehzapfen ruhen,

Fig. 61.



s. Textfig. 61, so sind diese Träger im geschlossenen Zustande als ungünstigst belastete Balken auf drei Stützen nach Gleichung 41 bis 50 zu berechnen, wobei nach Gleichung 58 bis 60 das über die Länge $\lambda + \lambda_1$ gleichförmig vertheilte Gegengewicht $G = g(\lambda + \lambda_1)$ zu berücksichtigen ist. Im geöffneten Zustande fungiren dieselben als Consolenträger, deren kürzerer Arm nach Gleichung 230 und 232, deren längerer Arm meist nach Gleichung 231 und 233 zu berechnen ist. Hierbei gilt die Bedingung

$$\frac{e}{2} (l_1^2 - l_2^2) - G \left(l_2 + \frac{\lambda - \lambda_1}{2} \right) = 0,$$

woraus das Gegengewicht

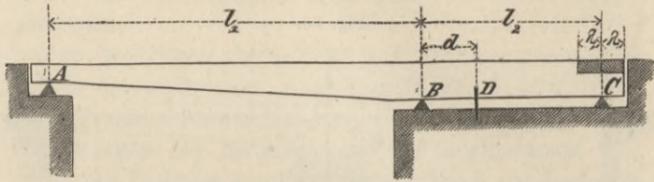
$$G = \frac{l_1^2 - l_2^2}{2l_2 + \lambda - \lambda_1} e \dots (255)$$

gefunden wird.

Reichen diese Brücken über nur eine Öffnung, wobei deren Träger im geschlossenen Zustande nur auf den drei Stützen A, B und C, im geöffneten Zustande nur auf dem Drehzapfen D ruhen, s. Textfig. 62, so sind sie im

ersteren Falle wieder als Träger auf drei Stützen, im letzteren Falle als Consolenträger und zwar mit Berücksichtigung des Gegengewichtes zu berechnen, welches in diesem Falle der Bedingung

Fig. 62.



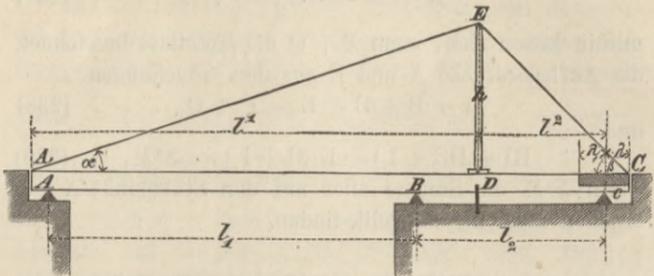
$$\frac{e}{2} [(l_1 + d)^2 - (l_2 - d)^2] - G \left(l_2 - d + \frac{\lambda - \lambda_1}{2} \right) = 0$$

entsprechen muss, also

$$G = \frac{(l_1 + d)^2 - (l_2 - d)^2}{2(l_2 - d) + \lambda - \lambda_1} \cdot e \dots (256)$$

beträgt. Wird eine Brücke dieser Gattung armirt, also mit Zugseilen AE und EC versehen, welche an lothrecht errichteten Ständern aufgehängt sind, s. Textfig. 63, so

Fig. 63.



ist dieselbe im geöffneten Zustande in den Punkten A, D C, unterstützt, also als ein Träger mit den Stützweiten l_1 und $l_2 + \lambda$ zu berechnen, wobei in den Gleichungen 58 bis 60 0 statt λ und $\lambda + \lambda_1$ statt λ , zu setzen ist. Bezeichnet A_1 und C_1 bezw. den gesammten, an den Enden des zweiarmigen Trägers erzeugten, lothrechten Gegendruck, so ist die Spannung in den Zugseilen $A_1 E$ und $C_1 E$ bezw.

$$S_1 = \frac{A_1}{\sin \alpha} = A_1 \frac{\sqrt{h^2 + l_1^2}}{h} \dots (257)$$

und

$$S_2 = \frac{C_1}{\sin \beta} = C_1 \frac{\sqrt{h^2 + l_2^2}}{h}$$

während der Druck auf den Kopf E des Ständers, abgesehen von dem Gewichte der Zugseile, $T = A_1 + C_1$, beträgt. Die durch diese Aufhängung in dem Träger erzeugte Achsenspannung ist alsdann bezw.

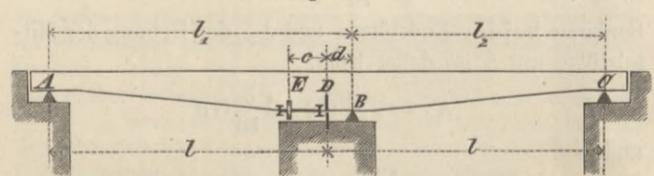
$$Z_1 = \frac{A_1}{\tan \alpha} = A_1 \frac{h}{l_1} \text{ und } Z_2 = \frac{C_1}{\tan \beta} = C_1 \frac{h}{l_2} \dots (258)$$

Sollen sich beide vernichten, so muss $Z_1 = Z_2$, also

$$\frac{A_1}{C_1} = \frac{\tan \alpha}{\tan \beta} = \frac{l_2}{l_1} \dots (259)$$

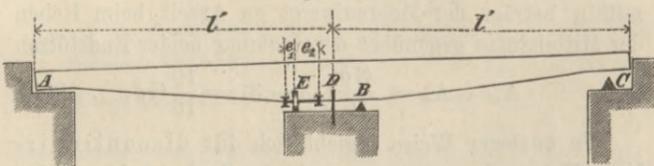
sein. Dieser Achsendruck, vermehrt um den durch die Biegung entstehenden Druck, darf den dem Trägermaterial entsprechenden, grössten zulässigen Druck nicht überschreiten.

Fig. 64 a.



Die Träger der Drehbrücke nach dem System Schwedler, s. Textfig. 64 a und 64 b, ruhen im geschlossenen Zu-

Figur 64 b.



stande auf den drei Stützen A, B, C mit den Stützweiten l_1 und l_2 und sind dann nach den Formeln 41 bis 50 und 117 bis 118 zu berechnen. Im geöffneten Zustande ruhen die Träger zumeist auf dem in ihrer Mitte befindlichen Drehzapfen D und nur zum kleinsten Theile auf dem Stütz-

rad E. Soll der Druck auf das in der Entfernung e vom Drehzapfen befindliche Stützrad E betragen, so muss das am Ende desselben Armes, also in der Entfernung l' vom Drehzapfen angebrachte Gegengewicht

$$G = E \frac{e}{l'} \dots \dots (260)$$

werden, während der Druck auf den Drehzapfen

$$D = 2el' + E \left(\frac{e}{l'} - 1 \right) \dots \dots (261)$$

beträgt. Der Druck E des Stützrades vertheilt sich auf die in den Abständen δ_1 und δ_2 von ihm befindlichen Querträger und beträgt bezw.

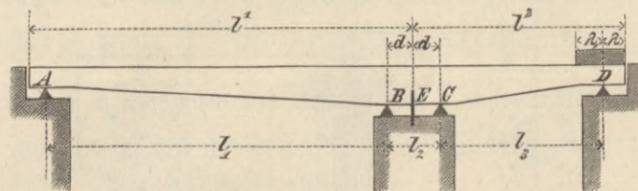
$$E_1 = E \frac{\delta_2}{\delta_1 + \delta_2} \quad \text{und} \quad E_2 = E \frac{\delta_1}{\delta_1 + \delta_2} \dots (262)$$

Nach Ermittlung dieser Werthe sind die Angriffsmomente und Verticalwiderstände in allen Theilen der beiden Trägerarme nach Gleichung 41 bis 50 zu berechnen.¹⁾

Beispiel. Bei der nach dem Schwedler'schen System erbauten Brücke über die Elbe bei Hohnstorf ist $l' = 19,3$ m, $e_1 = 0,56$ m, $e_2 = 3,1$ m, $e = 1300$ kg für den Meter und $E = 2500$ kg, daher nach Gleichung (260) $G = 2500 \cdot \frac{3,6}{19,3} = 465$ kg, nach Gleichung (261) $D = 2 \cdot 1300 \cdot 19,3 + 2500 \left(\frac{3,1}{19,3} - 1 \right) = 48145$ kg und nach Gleichung (262) $E_1 = 2500 \frac{3,1}{3,66} = 2118$ kg und $E_2 = 2500 \frac{0,56}{3,66} = 382$ kg.

Die Träger von ungleicharmigen Rollkranzbrücken, bei welchen der Drehzapfen nur zur Führung dient, s. Textfig. 65,

Fig. 65.



fungiren in geschlossenem und in geöffnetem Zustande der Brücke als Balken auf bezw. vier und zwei Stützen und sind nach den Gleichungen bezw. 71 bis 85 und 17 bis 38 zu berechnen. Bei geschlossener Brücke wird man das Gegengewicht G am einfachsten direct über der Stütze D concentriren, wodurch deren Auflagerdruck um den Betrag G vermehrt wird, während die Stützendrücke A , B , C , D sich nicht verändern. Bei geöffneter Brücke ergeben sich in diesem Falle die Auflagerdrücke

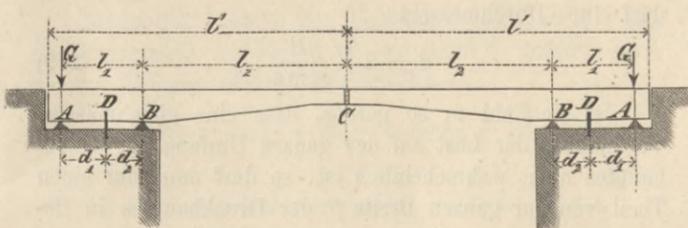
$$B = \frac{e}{2l_2} (l' + l)(l' - l + l_2) - G \frac{l_3}{l_2} \dots (263)$$

$$\text{und} \quad C = \frac{e}{2l_2} (l^2 + l')(l^2 - l' + l_2) + G \frac{l_2 + l_3}{l_3} \dots (264)$$

b) Zweiflügelige Drehbrücken.

Die zweiflügeligen unterscheiden sich von den einflügeligen Drehbrücken, s. Textfig. 66, hauptsächlich dadurch, dass sie im geschlossenen Zustande einer dritten Stütze in C , s. Textfig. 66, entbehren, dass vielmehr auch

Fig. 66.



in diesem, wie im geöffneten, Zustande das Gleichgewicht durch ein Gegengewicht G hergestellt werden muss. Beide Flügel ruhen im geöffneten Zustande nur auf ihrem Drehzapfen D , während im geschlossenen Zustande meist durch Heben der Stütze A oder durch Senken des Drehzapfens D der letztere entlastet wird und dann der Träger auf den Stützen A und B ruht. Da trotz der in C angebrachten Riegelvorrichtung auf eine Continuität beider Flügel nicht gerechnet werden kann, so sind die Träger zweiflügeliger

¹⁾ Vgl. die statische Berechnung der Brücke über die Parnitz bei Stettin in Abschnitt IV dieses Heftes.

Drehbrücken im geschlossenen Zustande als Träger auf zwei Stützen A und B , im geöffneten Zustande als Consolträger mit dem Drehzapfen D zu berechnen.

Bei geöffneter Brücke muss daher das Gegengewicht

$$G_1 \geq \frac{e}{2d_1} (l_2 + d_2)^2 - d_1^2, \dots (265)$$

bei geschlossener Brücke und voller Belastung der überhängenden Trägerarme wenigstens

$$G_2 \geq \frac{1}{2l_1} [(e + v)l_2^2 - e l_1^2] \dots (266)$$

sein, von welchen beiden Werthen der grössere zu wählen ist. Ruhen in geschlossenem Zustande die Träger auf den Drehzapfen, also auf den Stützen A und D , so wird ein Gegengewicht

$$G_3 \geq \frac{1}{2d_1} [(e + v)(l_2 + d_2)^2 - e d_1^2] \dots (267)$$

erforderlich. Die Stützendrücke betragen unter den vorausgesetzten Belastungszuständen bei geöffneter Brücke

$$D = e(l_1 + l_2) + G_1, \dots (268)$$

bei geschlossener Brücke mit den Stützen A und B

$$A = \frac{1}{2l_1} [e l_1^2 - (e + v)l_2^2] + G \dots (269)$$

$$\text{und} \quad B = \frac{1}{2l_1} [e(l_1 + l_2)^2 + v l_2(2l_1 + l_2)],$$

mit den Stützen A und D

$$A = \frac{1}{2d_1} [e d_1^2 - (e + v)(l_2 + d_2)^2] + G \dots (270)$$

$$\text{und} \quad D = \frac{1}{2d_1} [e d_1^2 + (e + v)(d_2 + l_2)(2d_1 + d_2 + l_2)].$$

Mit Hülfe dieser Werthe und der Gleichungen 41 bis 50 sind die Angriffsmomente und Verticalscheerkräfte für alle Querschnitte des Trägers leicht zu berechnen.

C. Lager der Drehbrücken.

Bei den Lagern der Drehbrücken sind die an der Drehachse und die an den Trägerenden erforderlichen Lager, also die Zwischenlager und die Endlager zu unterscheiden.

a) Die Zwischenlager.

Bei den Zwischenlagern sind vorzugsweise diejenigen der Drehbrücken auf Rollkränzen und auf Stützzapfen zu unterscheiden.

a) Die Zwischenlager der Rollkranz-Drehbrücken.

Dieselben bestehen aus dem oberen Laufkranz, welcher den Druck B auf die Zwischenstütze aufzunehmen und auf die Laufrollen zu übertragen hat, den Laufrollen, welche jenes Gewicht B , vermehrt, um das Gewicht K_o des oberen Rollkranzes, auf den unteren Rollkranz zu übertragen haben, und dem unteren Laufkranz, welcher das Gewicht $B + K_o$, vermehrt um das Gewicht L der Laufrollen und um sein eigenes Gewicht K_u , auf das Mauerwerk des Drehpfeilers so zu übertragen hat, dass dessen Druckfestigkeit nicht überschritten wird.

Fig. 67.

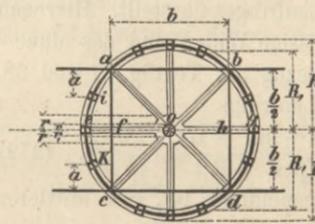
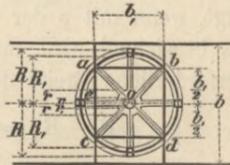


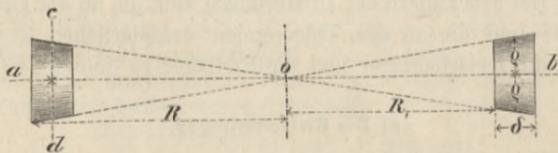
Fig. 68.



aa) Der obere Laufkranz. Befinden sich die Hauptträger der Drehbrücke in einem Abstände b , s. Textfig. 67 und 68, so werden dieselben über dem Drehpfeiler durch Querträger verbunden, welche bei Brücken mit grösseren und kleineren Spannweiten bezw. den gleichen Abstand b und einen kleineren Abstand b_1 haben. Werden im letzteren Falle diese Querträger durch Längsbalken ab und cd verbunden, welche den Abstand b_1 der Querträger haben, so bilden sich in beiden Fällen quadratische Rahmen $abcd$,

in deren Eckpunkten sich die Träger auf den oberen Laufkranz mit dem mittleren Halbmesser von bezw. $b\sqrt{\frac{1}{2}}$ und $b_1\sqrt{\frac{1}{2}}$ stützen. Damit der in seinen 4 Eckpunkten wirkende Druck B sich gleichmässig auf den Rollkranz übertragen kann, muss der obere Laufkranz den Druck der Rollen in ihrer ungünstigsten Stellung aufnehmen können, welche offenbar dann eintritt, wenn eine derselben in der Mitte je eines Quadranten, z. B. in e zwischen a und c steht, s. Textfig. 68. Sind z. B. acht Laufrollen vorhanden, wovon bei gleichförmiger Lastvertheilung jede den Druck $\frac{B}{8}$ aufzunehmen hat, so muss der Quadrant ac des oberen Rollkranzes in dem Punct e dem Momente ${}^aM = \frac{B}{16} \cdot \frac{b_1}{2} = \frac{1}{32} Bb_1$, des lothrecht aufwärts wirkenden Drucks $\frac{B}{8}$ und in jedem der Puncte a und c dem Momente ${}^cM_1 = \frac{B}{16} \cdot \frac{b_1}{\sqrt{2}} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{2}}\right)$ des lothrecht aufwärts wirkenden Drucks widerstehen. Sind über 8, z. B. 16, Rollen vorhanden, s. Textfig. 67, so sind die Gegendrücke der Zwischenrollen i und k mit den Abständen i und e bzw. von den Hauptträgern und dem Querträger ac auf die Mitte e zu reduciren, also ergibt sich in Bezug auf den Punct e das Moment ${}^eM = \frac{B}{32} \left(\frac{b}{2} + 2a\right) = \frac{B}{64} (b + 4a)$ und in Bezug auf den Punct a oder c das Moment ${}^aM_1 = \frac{B}{16} \left[\frac{b}{2\sqrt{2}} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{2}}\right) + c\right]$. Diesen Momenten eM und aM_1 haben die Widerstandsmomente des oberen Rollkranzes bezw. in den Punkten e sowie in a und c zu genügen, wobei selbstverständlich der sich ergebende grösste Querschnitt durchzuführen ist.

Fig. 69.



$\beta\beta$) Die Laufrollen, s. Textfig. 69, erfahren den Druck $B + K_0$, mithin ergibt sich, wenn mit $\alpha = 2\varrho$ deren mittlerer Durchmesser, mit δ deren Dicke und mit p deren zulässiger Druck für den cm von α und δ bezeichnet wird, deren Zahl

$$n = \frac{B + K_0}{p d \delta} \quad (271)$$

worin für Hartguss $p = 7$ bis 8 , also im Mittel $7,5$ kg, gesetzt werden kann.

Beispiel. Für eine Drehbrücke mit dem Drucke $B + K_0 = 120\,000$ kg und mit Rollen von 50 cm mittlerem Durchmesser bei 20 cm Dicke ergibt sich hiernach deren Zahl

$$n = \frac{120\,000}{7,5 \cdot 50 \cdot 20} = 16.$$

$\gamma\gamma$) Der untere Laufkranz hat den Druck $B + K_0 + L$ auf das Mauerwerk zu übertragen, worin L das Gewicht der Rollen und des Laufringes darstellt. Hiernach beträgt, wenn mit p der zulässige Widerstand des Mauerwerkes bezeichnet wird, mit Bezug auf Textfig. 67 und 68, die erforderliche Breite des Laufringes

$$R - R_1 = \frac{B + K_0 + L}{\pi p (R + R_1)} \quad (272)$$

oder, wenn dessen Breite angenommen ist, sein mittlerer Halbmesser

$$\frac{R + R_1}{2} = \frac{B + K_0 + L}{2\pi p (R - R_1)} \quad (273)$$

Sind m Radialarme von der Breite β und eine Centralplatte mit dem Halbmesser r vorhanden, so erhält man die Gleichung

$$p[\pi(R^2 - R_1^2) + \pi r^2 + m(R_1 - r)\beta] = B + K_0 + L, \quad (274)$$

woraus sich eine Unbekannte ermitteln lässt, wenn je nach der Beschaffenheit des Mauerwerkes dessen qcm mit $p = 5$ bis 10 kg belastet werden darf.

β) Die Zwischenlager der Stützzapfenbrücken.

Der Stützzapfen hat den Druck B der Drehbrücke auf die Zwischenstütze aufzunehmen und auf das mit der Spurfanne versehene Lager zu übertragen.

$\alpha\alpha$) Der Stützzapfen erfordert, wenn dessen zulässiger Druck auf die Einheitsfläche des Querschnittes mit p bezeichnet wird, einen Durchmesser

$$d = \sqrt{\frac{4}{\pi p_1} B}, \quad (275)$$

worin für den qcm Schmiedeisen und Gussstahl bezw. $p_1 = 500$ und 700 gesetzt werden kann.

Ragt der Stützzapfen um die Länge λ aus seinem Untersatzschuh hervor und die Drehbrücke wird vom Winde getroffen, welchem sie eine grösste Angriffsfläche F darbietet, so kommt zu dem Druck $p_1 = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{B}{d^2}$ noch ein Biegungsdruck

$$p_{11} = \frac{32}{\pi} \cdot \frac{\lambda - \lambda_1}{d^3} w \quad (276)$$

hinzu, worin w den grössten Winddruck auf die Flächeneinheit der Drehbrücke und λ_1 den Abstand des Angriffspunktes vom oberen Ende des Stützzapfens bezeichnet, in welchem die Resultante des Winddruckes den Stützzapfen trifft. Der Gesamtdruck $p_1 + p_{11} = p$ darf also den Werth

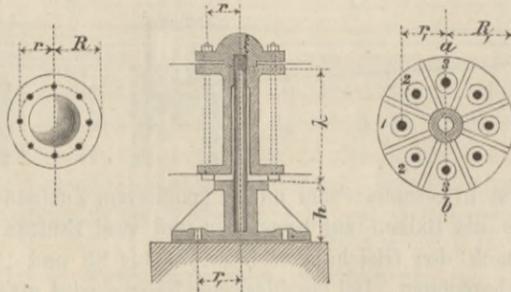
$$p = \frac{4}{\pi d^2} \left(B + \frac{8(\lambda - \lambda_1)}{d} w \right) \quad (277)$$

nicht überschreiten.

Fig. 70.

Fig. 71.

Fig. 72.



$\beta\beta$) Das Druckhaupt trägt die Last B entweder direct, wenn der Brückenarm auf demselben ruht, oder indirect, wenn er an dasselbe angehängt ist, s. Textfig. 70 u. 71. Im ersteren Fall ist das Druckhaupt für Druck zu berechnen, im letzteren Falle wird das Druckhaupt auf Biegung beansprucht und erfordert, wenn mit k seine zulässige Anspruchnahme bezeichnet wird, bei einer grösseren Zahl von Hängbolzen, s. Textfig. 71, mit Bezug auf die Bezeichnungen der Figur, eine Stärke

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{3 \left(r - \frac{d}{2} \right)}{\pi r k} B} \quad (278)$$

Sind m Hängbolzen vorhanden, so hat jeder derselben eine Last $\frac{B}{m}$ auf das Druckhaupt zu übertragen und bedarf eines Durchmessers

$$\delta = 2 \sqrt{\frac{B}{\pi m s}} \quad (279)$$

Ist die Zahl m so gering, dass eine gleichmässige Vertheilung der Last auf den ganzen Umfang des Druckhauptes nicht wahrscheinlich ist, so darf man nur einen Theil von der ganzen Breite β des Druckhauptes in Betracht ziehen, auf welche sich die Last $\frac{B}{m}$ voraussichtlich vertheilen wird. Ein solcher Arm des Druckhauptes erfordert die Stärke

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{6 \left(r - \frac{d}{2} \right)}{m \beta} B} \quad (280)$$

$\gamma\gamma$) Das Stützzapfenlager hat zunächst den Druck B der Drehbrücke, vermehrt um den Druck S der Stützzapfenconstruction auf das Mauerwerk, mit der Widerstandsfähigkeit p zu übertragen. Erhält dasselbe einen kreisförmigen Querschnitt, so muss dessen Halbmesser

$$R = \sqrt{\frac{B+S}{\pi p}} \dots (281)$$

werden, worin p den zuvor angegebenen Werth besitzt.

Das Stützzapfenlager mit der Höhe h hat ferner dem Momente des Winddruckes zu widerstehen, welchem das Moment der Steinanker, s. Textfig. 72, mit dem Durchmesser δ und der zulässigen Anspannung s entgegenwirkt.

Bezeichnen r_1 und $r_{11} = r_1 \sqrt{\frac{1}{2}}$ die Abstände der Steinanker 1, 2 und 2 von der Drehachse ab, so ergibt sich die Gleichung

$$\frac{\pi}{2} d^2 r_1 (1 + \sqrt{2}) k = Fw(\lambda - \lambda_1 + h), \quad (282)$$

woraus entweder der Radius

$$r_1 = \frac{2}{\pi} \frac{\lambda - \lambda_1 + h}{d^2 (1 + \sqrt{2}) k} \dots (283)$$

oder der Durchmesser

$$d = \sqrt{\frac{2(\lambda - \lambda_1 + h)}{\pi r_1 (1 + \sqrt{2}) k}} \dots (284)$$

der Steinanker zu berechnen ist.

b) Die Endlager der Drehbrücken.

Im ausgeschwenkten Zustande biegen sich die Trägerarme um die Höhe δ durch. Um dieselben nach dem Einschwenken wieder auf ihre Lager zu heben, bedient man sich excentrischer Scheiben, Kurbelzapfen mit Frictionsrollen, Keile, Kniehebel und hydraulischer Pressen. Beim Beginne und Ende der Hebung ist der Druck V der Trägerenden bezw. Null und dem Auflagerdrucke A gleich, beträgt also im Mittel $\frac{A}{2}$. Die gesammte Hebungsarbeit besteht sonach in der Arbeit der Hebung von $\frac{A}{2}$ auf die Höhe δ vermehrt um die Arbeit der Reibungswiderstände in den verschiedenen Hebungsmechanismen.

a) Die Endlager mit excentrischen Scheiben.

Bezeichnet δ die Durchbiegung des Trägerendes, so muss, mit Bezug auf die Bezeichnungen der Textfig. 73, $R_1 - R \geq \delta$ sein. Der Zapfendruck Z bildet die Resultierende aus dem Druck $\frac{A}{2}$ und der gleitenden Reibung $\mu \frac{A}{2}$, mithin ist

$$Z = \frac{A}{2} \sqrt{1 + \mu^2} \dots (285)$$

Bei Hebung der excentrischen Scheibe um 90° legt die gleitende Reibung den Weg s von a bis e, die Zapfenreibung den Weg $\frac{\pi r}{2}$ zurück, mithin beträgt nach Gleichung 4 die gesammte mechanische Arbeit zur Hebung jedes Trägerendes

$${}^m A = \frac{A}{2} \left[R_1 - R + \mu s + \zeta \sqrt{1 + \mu^2} \cdot \frac{\pi r}{2} \right], \quad (286)$$

worin im Mittel $\mu = 0,15$ und $\zeta = 0,1$ gesetzt werden kann, woraus sodann nach Gleichung 5 die zur Hebung erforderliche Zeit zu ermitteln ist.

Ferner ist, wenn a den Hebelsarm bezeichnet, woran die excentrische Scheibe durch die Kraft K gedreht wird, das zur Hebung nöthige Moment $Ka =$

$$\frac{A}{2} \left[(R_1 - e) \sin \alpha - \mu (e + (R_1 - e) \cos \alpha) - \zeta \sqrt{1 + \mu^2} r \right] \quad (287)$$

β) Die Endlager mit Kurbelzapfen und Frictionsrollen.

Bezeichnet R_1 den Halbmesser des Kurbelzapfens, s. Textfig. 74, R den Halbmesser der Frictionswelle, so muss $(R_1 + R) - R \geq \delta$ sein. Nennt man ω und ζ den Coefficienten bezw. der wälzenden und Zapfenreibung der Frictionsrolle mit dem Halbmesser r, so ist der Druck auf den Rollenzapfen

$$Z_1 = \frac{A}{2} \sqrt{1 + \omega^2} \dots (288)$$

und der Druck auf den Zapfen der Kurbel

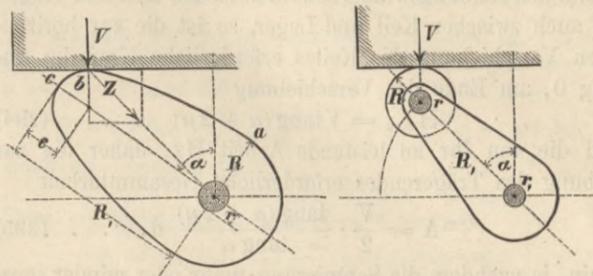
$$Z_{11} = \frac{A}{2} \sqrt{1 + \omega^2} \cdot \sqrt{1 + \zeta^2} \dots (289)$$

Bei Hebung des Kurbelzapfens um den Winkel α legt

die wälzende Reibung der Frictionsrolle sowie die Zapfenreibung der Rollenachse den Weg $R_1 \sin \alpha$, die Zapfenreibung des Kurbelzapfens den Weg $r \alpha$ zurück, mithin beträgt die gesammte Hebungsarbeit

Fig. 73.

Fig. 74.

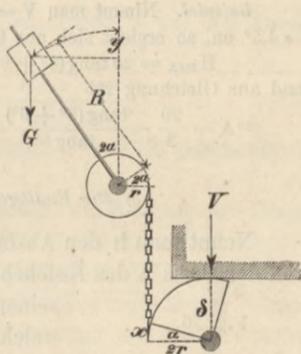


$${}^m A = \frac{A}{2} \left[R_1 \cos \alpha + \omega R_1 \sin \alpha + \zeta \frac{r}{R} \sqrt{1 + \omega^2} \cdot R_1 \sin \alpha + \zeta_1 \sqrt{(1 + \omega^2)(1 + \zeta^2)} r_1 \alpha \right], \quad (290)$$

worin ζ_1 den Reibungs-Coefficienten des Kurbelzapfens bedeutet. Die mechanische Arbeit wächst also mit R_1 , r und r_1 und nimmt ab, wenn R zunimmt. Um dieselbe möglichst zu vermindern, erscheint es daher vortheilhaft, die Kurbelzapfen so kurz und die Achsen der Kurbelzapfen und Frictionsrollen so dünn, dagegen die Frictionsrollen so gross anzunehmen, als dies die Verhältnisse in jedem einzelnen Fall irgend gestatten.

Bei der Schwedler'schen, zuerst an der Drehbrücke über die Parnitz bei Stettin verwandten, Hebevorrichtung, s. Textfig. 75, werden zwei mit Frictionsrollen versehene Kurbelzapfen mit dem Radius $2r$ durch Ketten mit zwei Kettenrädern von dem Radius r verbunden, an deren gemeinschaftlicher Welle mittelst zweier Hebel von der Länge R die beiden Gegengewichte G wirken, so dass bei der Hebung, welche durch ein Vorgelege nebst Spillrad bewirkt wird, nur die Reibung zu überwinden ist. Nennt man nämlich V den Verticaldruck des Trägerendes nach der ganzen Hebung δ , so ist nach einer Hebung x der Verticaldruck $\frac{V}{\delta} x$, welcher durch das sich gleichzeitig um

Fig. 75.



y senkende Gegengewicht G stets im Gleichgewicht gehalten werden muss, wenn bei diesem Vorgang immer nur die Reibung zu überwinden sein soll. Nach dem Princip der virtuellen Arbeit ist bei der Hebung dx des Trägerendes und der ihr entsprechenden Senkung dy des Gegengewichtes

$$\frac{V}{\delta} x dx = G dy \dots (291)$$

Wird das Trägerende um $x = r \sin \alpha$ gehoben, so wird das Gegengewicht um $y = R(1 - \cos 2\alpha)$ gesenkt, mithin ergibt sich $dx = r \cos \alpha d\alpha$ und $dy = 2R \sin 2\alpha d\alpha = 4R \sin \alpha \cos \alpha d\alpha$ und, wenn diese Werthe in Gleichung 291 eingeführt werden, das constante Gegengewicht

$$G = \frac{V r^2}{4R \delta}, \quad (292)$$

woraus folgt, dass dasselbe für jeden Hebungswinkel α , und zwar unabhängig von demselben, das Gleichgewicht herstellt.

Gewöhnlich werden, um eintretende Differenzen ausgleichen zu können, die Contregewichte verstellbar, also so angeordnet, dass der Hebelsarm R verändert werden kann. Man berechnet daher meist nur die Contregewichtsmomente

$$GR = \frac{V r^2}{4\delta} \dots (293)$$

Beispiel. Bei der Hohnstorfer Brücke ist mit Einschluss eines Uebergewichtes von 930 kg am zu senkenden Trägerende V = 20 830 kg, r = 14,8 cm und $\delta = 13,88$ cm, also

$$GR = \frac{20830 \cdot 14,8^2}{4 \cdot 13,83} = \text{rot. } 82477 \text{ cmkg.}$$

γ) Die Endlager mit Keilen.

Bezeichnet wieder δ die Durchbiegung des Trägerendes, α den Neigungswinkel des Keiles, so ist die erforderliche horizontale Verschiebung des letzteren $x \geq \frac{\delta}{\tan \alpha}$. Nennt man μ den Reibungswinkel sowohl zwischen Keil und Träger, als auch zwischen Keil und Lager, so ist die zur horizontalen Verschiebung des Keiles erforderliche Kraft im Anfang 0, am Ende der Verschiebung

$$H_{\max} = V \tan(\alpha + 2\mu) \quad (294)$$

und die von ihr zu leistende Arbeit Hx , daher die zur Hebung des Trägerendes erforderliche Gesamtarbeit

$${}^m A = \frac{V}{2} \cdot \frac{\tan(\alpha + 2\mu)}{\tan \alpha} \delta, \quad (295)$$

worin, je nachdem die Schmierung mehr oder minder sorgfältig geschieht, $\tan \mu = 0,07$ bis $0,14$, also $\mu = 4^{\circ}30'$ bis 8° angenommen werden kann. Wird ${}^m A$ nach α differenziert und $\frac{d {}^m A}{d \alpha} = 0$ gesetzt, so ergibt sich $\sin 2\alpha = \sin 2(\alpha + 2\mu)$, worin die Winkelsumme $2\alpha + 2(\alpha + 2\mu) = 180$ sein muss. Die mechanische Arbeit wird also ein Minimum für $\alpha = 45 - \mu$, jedoch ist dieser Winkel für Keile, welche das Trägerende nicht nur heben, sondern auch stützen sollen, nur anwendbar, so lange $\alpha < 2\mu$ ist, weil der Keil andernfalls zurückweicht. Für $\mu = 4^{\circ}30'$ würde man also α höchstens 9° oder einen Anzug des Keils von höchstens $0,158$ oder nahe $\frac{1}{7}$ anzunehmen haben.

Beispiel. Nimmt man $V = 20$ t, $\delta = 10$ cm, $\alpha = 8^{\circ}$ und $\mu = 4,5^{\circ}$ an, so ergibt sich aus Gleichung 294

$$H_{\max} = 20 \tan(8^{\circ} + 9^{\circ}) = 20 \cdot 0,30573 = 6,11 \text{ t}$$

und aus Gleichung 295

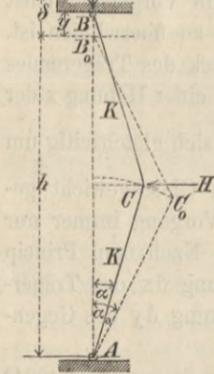
$${}^m A = \frac{20}{2} \cdot \frac{\tan(8^{\circ} + 9^{\circ})}{\tan 8^{\circ}} = 10 \cdot \frac{0,30573}{0,14054} = 217,54 \text{ tcm.}$$

δ) Die Endlager mit Kniehebels.

Nennt man h den Abstand des gesenkten Trägerendes von der Basis A des Kniehebels, s. Textfig. 76, k die Länge seiner Schenkel und α , den Winkel, welchen die letzteren bei der vollen Hebung δ des Trägerendes mit einer Lothrechten einschliessen, so ist

$$k = \frac{h + \delta}{2 \cos \alpha}$$

und in den Fällen, worin $\alpha_1 = 0$ ist, $k = \frac{h + \delta}{2}$. Bezeichnet V den grössten lothrechten Druck des Trägerendes, welcher letztere von 0 bis V wächst und im Mittel $\frac{V}{2}$ gesetzt werden kann, α_0 und α den Winkel, welchen die beiden Schenkel bzw. beim Beginn der Bewegung und bei einer beliebigen Hebung $y = 2k(\cos \alpha - \cos \alpha_0)$ mit einer



Lothrechten einschliessen, so ist der zur Hebung erforderliche Horizontaldruck

$$H = 2 \frac{V}{\delta} y \tan \alpha = 4 \frac{V}{\delta} k (\cos \alpha - \cos \alpha_0) \tan \alpha. \quad (296)$$

Für $\alpha = \alpha_0$, sowie für $\alpha = 0$ wird $H = 0$ und erreicht sein Maximum für $\frac{dH}{d\alpha} = 0$, also, da sich

$$\cos \alpha_0 = \frac{k - \frac{\delta}{2}}{k} \quad (297)$$

ergibt, für

$$\cos \alpha = \sqrt[3]{\frac{k - \frac{\delta}{2}}{k}} \quad (298)$$

Das Differential des Weges, welcher von dem Drucke H zurückgelegt wird, ist $d \cdot k \sin \alpha = k \cos \alpha d\alpha$, also die mechanische Arbeit des letzteren

$${}^m A = k \int_{\alpha_0}^{\alpha} H \cos \alpha d\alpha = \frac{4Vk^2}{\delta} \int_{\alpha_0}^{\alpha} (\cos \alpha - \cos \alpha_0) \sin \alpha d\alpha$$

oder, wenn die Integration ausgeführt wird,

$${}^m A = \frac{V}{2} \delta. \quad (299)$$

Wird die verhältnissmässig wenig einflussreiche Reibung der beiden, in A und B befindlichen Zapfen vom Halbmesser r mit dem Coefficienten μ berücksichtigt, so beträgt der Coefficient der Zapfenreibung $\varphi = 2 \frac{r}{k} \mu$, daher der Horizontaldruck

$$H = 4 \frac{V}{\delta} k (\cos \alpha - \cos \alpha_0) (\tan \alpha + \varphi), \quad (300)$$

welcher für $\cos \alpha = \frac{\tan(\alpha + \varphi) \sin 2\alpha \cos \alpha}{2} = \cos \alpha_0$

ein Maximum wird, ferner die mechanische Arbeit

$${}^m A = \frac{4Vk^2}{\delta} \int_{\alpha_0}^{\alpha} (\cos \alpha - \cos \alpha_0) (\tan \alpha + \varphi) \cos \alpha d\alpha,$$

daher, wenn die Integration ausgeführt wird,

$${}^m A = V \left[\frac{\delta}{2} + \frac{2k^2\varphi}{\delta} (\sin 2\alpha_0 - \alpha_0) \right], \quad (301)$$

worin α_0 aus der Gleichung 297 zu ermitteln ist.

Beispiel. Nimmt man $k = 25$ m, während $\delta = 10$ cm und $V = 20$ t beträgt, so ist aus Gleichung 297 $\cos \alpha_0 = \frac{25 - 5}{25} = 0,8$,

also $\alpha_0 = 36^{\circ}54'12''$, daher aus Gleichung 298 $\cos \alpha = \sqrt[3]{0,8} = 0,928$, mithin der Winkel, für welchen der Horizontaldruck ein Maximum wird, $\alpha = 21^{\circ}48'$ und $\tan \alpha = 0,4$. Nach Einführung dieser Werthe in Gleichung 300 erhält man

$$H_{\max} = \frac{4 \cdot 20 \cdot 25}{10} (0,928 - 0,800) 0,4 = 10,28 \text{ t,}$$

während nach Gleichung 299 die mechanische Arbeit ${}^m A = \frac{20}{2} \cdot 10 = 100$ tcm beträgt. Mit Berücksichtigung der Reibung ergibt sich

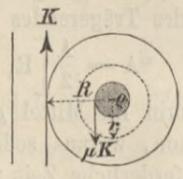
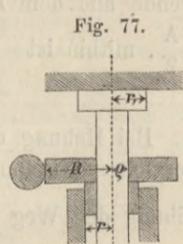
für $\mu = 0,1$, $r = 3$ cm, $\varphi = 2 \frac{3}{25} \cdot 0,1 = 0,024$ und, nach Einführung des $\sin 2\alpha_0 = 0,960$ sowie des Bogens $\alpha_0 = 0,644$, aus Gleichung 301 die mechanische Arbeit

$${}^m A = 20 \left[5 + \frac{2 \cdot 25^2 \cdot 0,024}{10} (0,960 - 0,644) \right] = 117,76 \text{ tcm,}$$

wobei mithin 17,76 tcm oder fast 15% von der Reibung herrühren.

ε) Die Endlager mit Schraubenwinden.

Wird mit V die in der Richtung der Schraubenachse wirkende Belastung durch das Trägerende, mit ϱ der mittlere Halbmesser einer flachgängigen Schraube, s. Textfig. 77 u. 78, mit α deren Steigung und mit φ der Reibungswinkel, ferner mit ϱ_1 der mittlere Halbmesser der ringförmigen Bodenfläche und mit μ der Reibungscoefficient für dieselbe bezeichnet, so ist das von dem Theilkreise des Schraubenrades mit dem Halbmesser R und dem Halbmesser r_1 des Halszapfens zur Drehung der Schraube erforderliche Kraftmoment $K(R - \mu r)$, daher die daselbst wirkende Tangentialkraft



$$K = \frac{V}{R - \mu r} \left[\varrho \tan(\alpha + \varphi) + \frac{\mu r_1}{2} \right],$$

oder, wenn für $\tan(\alpha + \varphi)$ ihr Werth eingeführt wird,

$$K = \frac{V}{R - \mu r} \left[\frac{\varrho (\tan \alpha + \tan \varphi)}{1 - \tan \alpha \cdot \tan \varphi} + \frac{\mu r_1}{2} \right]. \quad (302)$$

Wird, da der Verticaldruck mit der Höhe y wächst und abnimmt, $V = Cy$ gesetzt, so beträgt die Reibungs- und Hebungs- bzw. Senkungsarbeit bis zur Höhe h

$$A = \int_0^h \frac{KR}{\varrho \tan \alpha} dy =$$

$$\frac{CRV_{\max}}{\tan \alpha (R - \mu r)} \left[\frac{\tan \alpha \pm \tan \varphi}{1 \mp \tan \alpha \tan \varphi} + \frac{\mu r_1}{2 \varrho} \right] \frac{h^2}{2}, \quad (303)$$

worin die oberen und unteren Vorzeichen bzw. für Hebung und Senkung gelten.

Beispiel. Nimmt man $R = 15$ cm, $\mu = 0,08$, $r = 8$, $r_1 = 6,5$; $\varrho = 5$, $\mu = 0,08$, $\tan \alpha = 0,067$ und $\tan \varphi = 0,1$ an, so ergibt sich

$$K = \frac{V}{15 - 0,08 \cdot 8} \left[\frac{5(0,067 + 0,1)}{1 - 0,067 \cdot 0,1} + \frac{0,08 \cdot 6,5}{2} \right] = 0,076 V$$

und, wenn $h = 10$ cm, also $V_{\max} = 10 C$ kg oder $C = 0,1 V_{\max}$ gesetzt wird, z. B. die Reibungs- und Hebung-Arbeit

$$A = \frac{0,1 \cdot 15 \cdot V_{\max}}{0,067(15 - 0,08 \cdot 8)} \left[\frac{0,067 + 0,1}{1 - 0,067 \cdot 0,1} + \frac{0,08 \cdot 6,5}{2} \right] \frac{100}{2} = 33,3 V_{\max}$$

ζ) Die Endlager mit hydraulischen Pressen.

Wird die Hebung der Trägerenden um die Höhe δ durch hydraulische Pressen mit dem Kolbdurchmesser d bewirkt, so ist, wenn mit p die Pressung des Wassers bezeichnet wird, der Wasserdruck auf den Kolben

$$K = p \cdot \frac{\pi d^2}{4}, \dots (304)$$

welcher die Last V zu heben und hierbei die Reibungswiderstände in der Liderung von der Breite b zu überwinden hat. Versteht man unter φ den Coefficienten der Reibung zwischen Liderung und Cylinderwand, welcher im Mittel zu 0,25 angenommen werden kann, so darf höchstens

$$V + \varphi \pi d b \cdot p = K \dots (305)$$

werden. Durch Gleichsetzung beider Werthe erhält man den erforderlichen Wasserdruck

$$p = \frac{4V}{\pi d(d - 4\mu b)} \dots (306)$$

Beispiel. Wird $d = 10$ cm und $b = 5$ cm gesetzt, so ergibt sich

$$p = \frac{4}{3,14 \cdot 10(10 - 4 \cdot 0,25 \cdot 5)} V = 0,025 V,$$

also für die Last $V = 50\,000$ kg der auf den qcm erforderliche Wasserdruck $p = 1250$ kg.

D. Drehvorrichtungen.

Kleine Drehbrücken werden fast stets von Hand, grössere Drehbrücken mit Hilfe mechanischer Vorrichtungen gedreht, worunter geeignete, von 1 bis 2 Mann bediente Zahnradmechanismen zur Zeit die gebräuchlichsten sind. Bei den grössten Drehbrücken der neueren Zeit, bei welchen Menschenkraft nicht mehr ausreichend oder vortheilhaft erscheint, werden die Drehmechanismen entweder durch Dampfkraft oder durch hydraulischen Druck in Bewegung gesetzt. Die zum Drehen aller dieser Brücken erforderlichen Kräfte müssen sämtliche, hierbei auftretende Bewegungswiderstände überwinden und sind verschieden, je nachdem die Drehbrücken auf Rollkränzen, auf Stützapfen oder auf Stützapfen mit Stützrädern zugleich ruhen.

a) Drehvorrichtungen der Rollkranzbrücken.

Bezeichnet R den Halbmesser des Laufkranzes und H die zur Fortbewegung einer Rolle erforderliche Horizontalkraft, so ist, wenn n Rollen vorhanden sind, das Reibungsmoment

$$rM = nRH \dots (307)$$

Nennt man ferner r und ϱ die Halbmesser bzw. der Rollen und der Rollenzapfen, B, K_0 und G das Gewicht bzw. der Brücke des oberen Laufkranzes und aller Rollen, so ist — wenn μ und φ den Coefficienten bzw. der gleitenden und rollenden Reibung darstellt — die zum Fortbewegen einer Rolle erforderliche Horizontalkraft

$$H = (B + K_0) \frac{(\mu\varrho + \varphi)}{nr} + G \frac{\varphi}{nr}, \dots (308)$$

worin $\mu = 0,10$ bis $0,20$, also im Mittel $0,15$ und für cm $\varphi = 0,04$ bis $0,06$, also im Mittel $0,05$ gesetzt werden kann.

Ist die Brücke um einen Winkel α zu drehen, so ist der durchlaufene Weg $\frac{\pi R}{180} \cdot \alpha$ und es erwächst die zur Ueberwindung der Reibungswiderstände erforderliche Arbeit

$$A = nH \cdot \frac{\pi R}{180} \cdot \alpha, \dots (309)$$

worin für $\alpha = 90^\circ$ der durchlaufene Weg $\frac{\pi R}{2}$ zu setzen ist. Wird die Leistungsfähigkeit eines Arbeiters mit a bezeichnet, so ergibt sich, wenn m Arbeiter thätig sind und von Arbeitsverlusten abgesehen wird, die zum Aufdrehen erforderliche Zeit

$$t = \frac{A}{ma} \dots (310)$$

Nach Versuchen von Shaler Smith lässt sich der auf die Mittellinie des Rollkranzes bezogene Bewegungswiderstand zu 7% der auf demselben ruhenden Gesamtbelastung annehmen, wobei der Bewegungswiderstand von der Grösse des Rollendurchmessers wenig beeinflusst wird, wenn letzterer nur der Belastung entsprechend zunimmt.

Beispiel. Für $B + K_0 = 300\,000$ kg, $G = 500$ kg, $r = 50$ cm, $\varrho = 5$ cm, $n = 10$ und $R = 2$ m erhält man, wenn im Mittel $\mu = 0,15$ und $\varphi = 0,05$ gesetzt wird, aus Gleichung 308

$$H = 300\,000 \cdot \frac{0,15 \cdot 5 + 0,05}{10 \cdot 50} + 500 \cdot \frac{0,05}{10 \cdot 50} = 480 \text{ kg},$$

mithin aus Gleichung 307

$$rM = 10 \cdot 200 \cdot 480 = 960\,000 \text{ cmkg};$$

ferner aus Gleichung 309, wenn $\alpha = 90^\circ$ beträgt,

$$A = 10 \cdot 480 \cdot \frac{3,14 \cdot 200}{2} = 1\,507\,200 \text{ cmkg}$$

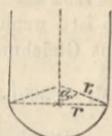
und aus Gleichung 310, wenn 4 Arbeiter thätig sind und bei kurzer Arbeitszeit die Leistung eines derselben in der Minute 90 000 cmkg beträgt, der zum Aufdrehen der Brücke erforderliche Zeitaufwand

$$t = \frac{1\,507\,200}{4 \cdot 90\,000} = \text{rot } 4,2 \text{ Minuten.}$$

b) Drehvorrichtungen der Stützapfenbrücken.

Erhält der Stützapfen einen Halbmesser r und endigt in eine Rundung mit dem grösseren Halbmesser r_1 , s. Textfig. 79, so ergibt sich der Winkel α , welchen beide Halbmesser mit ein-

Fig. 79.



ander einschliessen, aus $\sin \alpha = \frac{r}{r_1}$ und $\cos \alpha = \frac{\sqrt{r_1^2 - r^2}}{r_1}$, mithin, wenn μ den Reibungs-

coefficienten bezeichnet, für den Druck V auf den Drehzapfen dessen Reibungsmoment

$$rM = \mu V r \frac{\alpha - \sin \alpha \cdot \cos \alpha}{\sin^2 \alpha}, \dots (311)$$

worin für Gussstahl auf Gussstahl $\mu = 0,13$ angenommen werden kann.

Nach Shaler Smith beträgt die Reibung des Drehzapfens der 112 m langen, 682,7 t schweren Rock-Island-Brücke 9% ihres Gewichtes, während nach Gleim amerikanische eingeleisige Eisenbahnbrücken von 100 m Länge, bis zu 272 t Gewicht, bei Anwendung der Seller'schen Antifrictionszapfen durch Menschenhand bequem in Zeit von 1 bis 2 Minuten aufgedreht werden, was bei Annahme eines Drehzapfens von 20 cm Halbmesser einer Reibung desselben von etwa 4% des Brückengewichtes entspricht.

Beispiel. Beträgt das Brückengewicht 100 000 kg, der Halbmesser des Drehzapfens 8 cm, der Halbmesser seiner unteren Ab- rundung 10 cm, so ist aus $\sin \alpha = \frac{8}{10}$ der Winkel $\alpha = 54^\circ$, der zugehörige Bogen $\frac{3,14 \cdot 54}{180} = 0,942$, mithin, wenn der Reibungscoefficient zu 0,13 angenommen wird, aus Gleichung 311 das Reibungsmoment

$$rM = 0,13 \cdot 100\,000 \cdot 8 \cdot \frac{0,942 - 0,8 \cdot 0,59}{0,64} = 76\,375 \text{ cmkg.}$$

c) Drehvorrichtungen der Laufkranz-Stützapfenbrücken.

Hierher gehören vorzugsweise die nach Schwedler's System erbauten Drehbrücken, welche auf einem Drehzapfen und einem Stützrade ruhen und ausserdem durch zwei Laufräder seitlich unterstützt werden. Das Reibungsmoment rM dieser Brücken setzt sich daher aus dem Reibungsmoment des Drehzapfens rM_d , des Stützrades rM_s und der beiden Laufräder rM_1 zusammen, worin rM_d aus Gleichung 311, rM_s und rM_1 aus Gleichung 307 und 308 zu entnehmen ist. Bezeichnet man in Gleichung 308 das Gewicht der Brücke mit Q und setzt $n = 1$, so erhält man aus Gleichung 307

$$rM_s = \left(Q \frac{\mu\varrho + \varphi}{r} + G \frac{\varphi}{r} \right) R \dots (312)$$

Da die Laufräder der Brücke dieselbe nur gegen Umkippen durch Winddruck schützen sollen, so ist immer nur eines derselben durch diesen Druck belastet, daher, wenn Q , diesen Druck bezeichnet, ebenso

$$rM_1 = \left(Q \frac{\mu\varrho + \varphi}{r} + 2G \frac{\varphi}{r} \right) R, \dots (313)$$

mithin

$$rM = rM_d + rM_s + rM_1 \dots (314)$$

Beispiel. Bei der Drehbrücke über die Elbe bei Hohnstorf mit dem Gesamtgewicht $V = 96250$ kg wurde $r = 6,5$ cm, $r_1 = 8,5$ cm angenommen, woraus sich $\sin \alpha = \frac{6,5}{8,5} = 0,7647$, $\cos \alpha = 0,6444$, der Winkel $\alpha = 49,881^\circ$ und der zugehörige Bogen $\frac{3,14 \cdot 49,881}{180} = 0,8706$ ergibt. Durch Einführung dieser Werthe in Gleichung 311 erhält man für den Reibungscoefficienten von Gussstahl auf Gussstahl $\mu = 0,13$, das Reibungsmoment des Drehzapfens

$$rM_d = 0,13 \cdot 96250 \cdot 6,5 \frac{0,8706 - 0,7647 \cdot 0,6444}{0,7647^2} = \text{rot } 52540 \text{ cmkg.}$$

Ferner beträgt die Belastung und das Gewicht des Stützrades bzw. $Q = 5000$ kg und $G = 315$ kg, der Halbmesser und Zapfenhalbmesser desselben bzw. $r = 47$ cm und $\rho = 3,75$ cm, der Halbmesser des Laufkranzes $R = 360$ cm. Daher erhält man, wenn der Coefficient der gleitenden Reibung von Stahl auf Bronze (wenig fettig) $\mu = 0,16$ und der rollenden Reibung für cm $\varphi = 0,05$ beträgt, aus Gleichung 312 das Reibungsmoment des Stützrades

$$rM_s = 360 \left(5000 \frac{0,16 \cdot 3,75 + 0,05}{47} + 315 \cdot \frac{0,05}{47} \right) = \text{rot } 25015 \text{ cmkg.}$$

Die vom Winde getroffene Fläche der Brücke beträgt $57,7$ qm, mithin, wenn hierbei der qm mit 125 kg belastet wird, der volle Winddruck $57,7 \cdot 125 = 7213$ kg. Da die Windresultante in einem Abstände von $99,4$ cm über dem unteren Stützpunkte des Drehzapfens angreift, so beträgt der Druck auf ein Laufrad $Q_1 = 7213 \frac{99,4}{360} = 1992$ kg. Da das Gewicht jedes Laufrades $G = 315$ kg beträgt, so ist, wenn dieselben Reibungscoefficienten beibehalten werden, aus Gleichung 313 das Reibungsmoment der Laufräder

$$rM_l = 360 \left(1992 \frac{0,16 \cdot 3,75 + 0,05}{47} + 2 \cdot 315 \frac{0,05}{47} \right) = 10160 \text{ cmkg.}$$

Durch Einführung der gewonnenen Werthe in Gleichung 314 ergibt sich nun das gesammte Reibungsmoment

$$rM = 52540 + 25015 + 10160 = 87715 \text{ cmkg.}$$

9. Die Schiffbrücken.

Bei der statischen Berechnung von Schiffbrücken und Schiffbrückengliedern hat man zu unterscheiden, ob die zur Unterstützung der Brückenbahn dienenden Brückenjoche nicht oder ob sie derart zusammenhängen, dass die Belastung eines Brückenjochs von den benachbarten Brückenjochen mitgetragen wird, s. Textfig. 80 und 81.

Fig. 80.

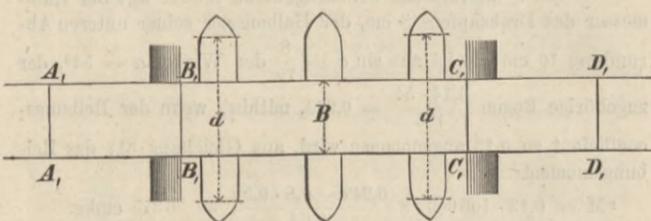
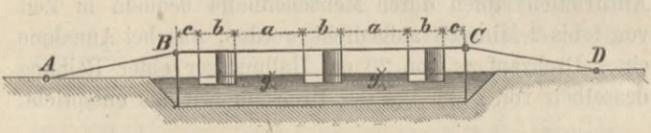


Fig. 81.

a) Statische Berechnung der Schiffbrückenglieder.

a) Unzusammenhängende Schiffbrückenglieder.

Bezeichnet F die Grundfläche in qm, b die Breite in m und G das Eigengewicht je eines Pontons in kg, c den Vorsprung der Balkenenden vor den Pontons, a den lichten Abstand und y die grösste Eintauchtungstiefe der Pontons in m, B die Breite der Brückenbahn in m, e deren Eigengewicht für den m und v die Verkehrsbelastung des qm in kg, so wird, wenn m Pontons vorhanden sind, das Brückenglied tragfähig, wenn

$m(1000 Fy - G) = (e + Bv)[mb + 2c + (m-1)a]$,
woraus, wenn alle übrigen Werthe bekannt, bzw. angenommen sind, entweder der zulässige lichte Abstand der Pontons

$$a = \frac{m}{m-1} \left[\frac{1000 Fy - G}{e + Bv} - \left(b + \frac{2c}{m} \right) \right] \quad (315)$$

und hieraus die gesammte Länge des Brückengliedes

$$l = (m-1)a + mb + 2c, \dots \quad (316)$$

die grösste Eintauchtungstiefe

$$y = \frac{\left[b + \frac{2c}{m} + \frac{(m-1)}{m} a \right] (e + Bv) + G}{1000 F}, \quad (317)$$

woraus sich für $l = G = 0$ die Zunahme der Eintauchtung h_v durch die Verkehrsbelastung und für $v = 0$ die Eintauchtungstiefe h_e bei unbelasteter Brücke ermitteln lässt, oder, wenn $F = bd$ gesetzt wird, die erforderliche mittlere Länge der Pontons

$$d = \frac{\left[b + \frac{2c}{m} + \frac{(m-1)}{m} a \right] (e + Bv) + G}{1000 y \cdot b}, \quad (318)$$

woraus sich, unter Berücksichtigung der Zuschärfung beider Enden, der Grundriss beider Pontons feststellen lässt.

Beispiel. Wird $F = 36,5$ qm, $b = 3$ m, $c = 1,05$ m, $B = 6,6$ m und $y = 0,55$ m angenommen, während $G = 6500$ kg, $e = 200$ kg und $v = 280$ kg beträgt, so ergibt sich aus Gleichung 315 ein lichter Abstand zweier Pontons

$$a = 2 \left[\frac{1000 \cdot 36,5 \cdot 0,55 - 6500}{200 + 6,6 \cdot 280} - (3 + 1,05) \right] = 5,14 \text{ m,}$$

mithin nach Gleichung 316 die Länge des ganzen Brückengliedes $l = 5,14 + 2(3 + 1,05) = 13,24$ m; ferner aus Gleichung 318 die mittlere Länge der Pontons

$$d = \frac{\left(3 + 1,5 - \frac{1}{2} \cdot 5,14 \right) (200 + 6,6 \cdot 288) + 6500}{1000 \cdot 0,55 \cdot 3} = 12,16 \text{ m.}$$

Für $e = 0$ und $v = 0$ erhält man aus Gleichung 317 bzw. die Tiefe der Eintauchtung

$$y_v = \frac{(3 + 1,05 + \frac{1}{2} \cdot 5,14) 6,6 \cdot 280}{1000 \cdot 36,5} = 0,35 \text{ m}$$

und

$$y_e = \frac{(3 + 1,05 + \frac{1}{2} \cdot 5,14) 200 + 6500}{1000 \cdot 36,5} = 0,20 \text{ m.}$$

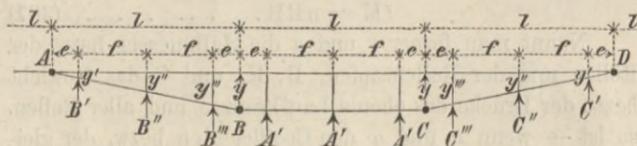
β) Zusammenhängende Schiffbrückenglieder.¹⁾

Werden mehrere, auf zwei bis drei Pontons ruhende Brückenjoche durch kräftige Längsbalken derart verbunden, dass eine gewisse Continuität entsteht, so wird die Belastung eines Brückenjochs von den benachbarten Brückenjochen mitgetragen. Nach Ausweis der mit so verbundenen Brückenjochen angestellten Versuche lässt sich annehmen, dass die Belastung eines Brückenjochs von den beiden benachbarten Brückenjochen so mitgetragen wird, als wenn dieselben gelenkartig mit ihm verbunden wären.

Werden die früheren Bezeichnungen beibehalten, so ergibt sich aus Gleichung 317, wenn darin $v = 0$ gesetzt wird, die Eintauchtung sämtlicher Pontons durch Eigengewicht

$$y_e = \frac{e \left(b + \frac{2c}{m} + \frac{(m-1)}{m} a \right) + G}{1000 F} = \frac{Ze}{F}. \quad (319)$$

Fig. 82.



Um die Eintauchtung y_v durch die Verkehrsbelastung zu finden, seien das zwischen B und C, s. Textfig. 82, befindliche Brückenglied direct und die beiden benachbarten Brückenglieder AB und CD indirect belastet. Nennt man y die Eintauchtung der Pontons des belasteten Brückengliedes mit den Auftrieben $A_1, y', y'', y''' \dots$ die Eintauchtungen der Pontons beider benachbarten Brückenglieder mit den Auftrieben $B' = C', B'' = C'', B''' = C'''$, so ist, da nach obiger Voraussetzung eine Eintauchtung bei A und D nicht mehr stattfindet, ABCD die Eintauchungsline. Nennt man der Kürze halber $c + \frac{b}{2} = e, a + b = f$ und $mb + 2c + (m-1)a = 2c + (m-1)f = l$, so erhält man die Einsenkungen

¹⁾ Eine exacte, aber weitläufigere Berechnungsmethode solcher Schiffbrücken giebt Engesser in seiner Abhandlung „Ueber continüirliche Träger mit elastischen Stützen“ im Jahrb. d. polyt. Ver., Carlsru. 1860.

$$y' = y \frac{e}{1}, y'' = y \frac{e+f}{1} \dots y^m = y \frac{e+(m-1)f}{1} \quad (320)$$

und die zugehörigen Auftriebe

$$\left. \begin{aligned} A' &= 1000 F \cdot y \text{ und } B' = 1000 F \cdot y' = C'; \\ B'' &= 1000 F \cdot y'' = C''; \\ &\dots \dots \dots \\ B^m &= 1000 F \cdot y^m = C^m. \end{aligned} \right\} \dots (321)$$

Bei gelenkartiger Verbindung der Brückenglieder erhält man, mit Bezug auf die Drehpunkte A und D, die Gleichung

$$B1 - B'e - B''(e+f) - \dots B^m[e+(m-1)f] = 0$$

und hieraus, wenn die Werthe für B' B'' ... B^m sowie für y' y'' ... y^m eingeführt werden, die gleichen, in B und C wirkenden Auftriebe der seitlichen Brückenglieder

$$B = \frac{1000 F}{1^2} [e^2 + (e+f)^2 + \dots (e+(m-1)f)^2] y = C. \quad (322)$$

Da der gesammte Auftrieb der Verkehrsbelastung Q des mittleren Brückengliedes mindestens gleich sein muss, so erhält man $m A' + 2 B = Q$ und hieraus, wenn für A' und B ihre Werthe eingeführt werden, die Eintauchung

$$y_v = \frac{Q}{2000 F \left[\frac{m}{2} + \left(\frac{e}{1}\right)^2 + \left(\frac{e+f}{1}\right)^2 + \dots \left(\frac{e+(m-1)f}{1}\right)^2 \right]} = \frac{Z_v}{F} \quad (323)$$

Werden die aus Gleichung 319 und 323 erhaltenen Werthe zusammengezählt, so erhält man die vollständige Eintauchung

$$y = y_e + y_v \dots (324)$$

Soll eine gewisse Eintauchung y nicht überschritten werden, so erhält man, nach Einführung der abgekürzten Werthe y_e und y_v aus Gleichung 319 und 323 in Gleichung 324, die hierzu erforderliche Grundrissfläche der Pontons

$$F = \frac{Z_e + Z_v}{y} \dots (325)$$

Beispiel. An der Eisenbahnschiffbrücke bei Maxau beträgt das Gewicht des m Brückenbahn $e = 1200$ kg und eines Jochpontons mit Einbau $G = 16800$ kg, dessen Grundrissfläche $F = 63,4$ qm, $b = 4,1$ m, $c = 8,75$ m und $a = 3,6$ m, mithin ergibt sich für $m = 3$ Pontons aus Gleichung 319

$$y_e = \frac{1200 \left(4,1 + \frac{2}{3} \cdot 0,75 + \frac{2}{3} \cdot 3,6 \right) + 16800}{1000 \cdot 63,4} = 0,39 \text{ m.}$$

Wird das mittlere Brückenglied auf dem Eisenbahngelise durch eine Locomotive von 16000 kg und durch $2,5$ beladene Lastwagen von je 15000 kg, also für den m mit $\frac{16000 + 2,5 \cdot 15000}{21}$

rot. 2500 kg, ferner auf der Strassenfahrbahn durch zwei Lastwagen von je 4000 kg beschwert, so ist $Q = 21 \cdot 2500 + 2 \cdot 4000$ kg, mithin wegen $e = 0,75 + 2,05 = 2,80$ m, $f = 3,6 + 4,1 = 7,7$ m und $1 = 2 \cdot 2,8 + 2 \cdot 7,7 = 21$ m aus Gleichung 323

$$y_v = \frac{21 \cdot 2500 + 2 \cdot 4000}{2000 \cdot 63,4 \left[\frac{3}{2} + \left(\frac{2,8}{21}\right)^2 + \left(\frac{10,5}{21}\right)^2 + \left(\frac{18,2}{21}\right)^2 \right]} = 0,19 \text{ m}$$

und aus Gleichung 324 die gesammte Einsenkung

$$y = 0,39 + 0,19 = 0,58 \text{ m.}$$

b) Statische Berechnung der Ankerketten.

Bezeichnet F die vom Wasser getroffene Fläche des Brückengliedes, v die grösste Geschwindigkeit und γ das Gewicht der Kubikeinheit Wasser, so ist der Stoss des letzteren $P = k \cdot \gamma \cdot \frac{v^2}{2g} \cdot F$, worin der Erfahrungscoefficient $k = 0,37$ gesetzt werden kann. Wird die zulässige

Anspruchnahme der Kette s genannt, so ist ferner $2s\pi \frac{d^2}{4} = P$, mithin der Durchmesser des Ketteneisens

$$d = v \sqrt{\frac{k \cdot \gamma}{\pi \cdot g s} F} = 3,465 v \sqrt{\frac{F}{s}} \dots (326)$$

a) Ankerketten für die Brückenjoche.

Die Pontons der feststehenden Brückenjoche werden an ihrer Schmalseite vom Stosse des Wassers getroffen und bieten demnach demselben, wenn wieder b deren Breite, y deren Eintauchung und m deren Zahl bezeichnet, eine Stossfläche $F = mby$ dar. Wird dieser Werth in Gleichung 326 eingeführt, so ergibt sich der Durchmesser dieser Ankerketten

$$d = 3,465 v \sqrt{\frac{mby}{s}} \dots (327)$$

Beispiel. An der Eisenbahnschiffbrücke bei Maxau beträgt $b = 3,7$ m, die grösste Geschwindigkeit $v = 2,34$ m, mithin ist für eine Eintauchung von $0,5$ m und eine Anspruchnahme des qcm Eisen $s = 775$ kg aus Gleichung 327

$$d = 3,465 \cdot 2,34 \sqrt{\frac{3 \cdot 3,7 \cdot 0,5}{775}} = 0,8 \text{ cm,}$$

wofür der Stösse und Abnutzung wegen $1,6$ cm angenommen wurde.

β) Ankerketten für die Durchlässe.

Die Pontons der beweglichen Brückenjoche bieten bei der während des Einfahrens eintretenden schrägsten Stellung zum Stromstrich dem Wasserstosse die grösste Oberfläche dar. Beträgt v die grösste Geschwindigkeit des Wassers, v₁ die Geschwindigkeit, womit der Durchlass gegen den Strom bewegt wird, so ist die erzeugte relative Geschwindigkeit $v + v_1$. Nennt man b, die Breite, in welcher ein Ponton vom Wasserstoss getroffen wird, so ist, mit Beibehaltung der früheren Bezeichnungen, $F = mb, y$, mithin aus Gleichung 326

$$d = 3,465 (v + v_1) \sqrt{\frac{mb, y}{s}} \dots (328)$$

Beispiel. Bei der Maxauer Eisenbahnschiffbrücke ist $v = 2,34$, $v_1 = 0,16$, also $v + v_1 = 2,5$ m, $b_1 = 10$ und $m = 3$, daher

$$d = 3,465 \cdot 2,5 \sqrt{\frac{3 \cdot 10 \cdot 0,5}{775}} = 1,2 \text{ cm,}$$

wofür der Stösse und Abnutzung wegen $1,8$ cm angenommen wurde.

c) Statische Berechnung der Schiffbrücken-Rampen.

Um die Zufahrten zu der mit dem Steigen und Fallen des Wassers sich hebenden und senkenden Brückenbahn entsprechend heben und senken zu können, werden dieselben als Brückenbahnen construiert, welche auf Längsträgern und sammt diesen auf Querträgern ruhen und vermittelt eines geeigneten Mechanismus von Hand nach Bedürfniss auf- und niedergewunden werden können, s. Taf. I, Fig. 85, 86, 99, 100 und 104. Diese Längs- und Querträger sind für verschiedene Belastungen, jenachdem sie Strassenbahnen oder Eisenbahngelise zu unterstützen haben, jedoch als Träger auf zwei Stützen, mithin nach Gleichung 17 bis 38 und 117 bis 137 zu berechnen. Sind die Querträger, wie an der Eisenbahnschiffbrücke bei Maxau, an eisernen Spindeln aufgehängt, s. Taf. I, Fig. 104, so haben diese das Eigengewicht E und die grösste Verkehrsbelastung V der Brückenbahn zu tragen, mithin ergibt sich, wenn n Querträger vorhanden sind, der innere Spindeldurchmesser

$$d = \sqrt{\frac{2}{\pi n s} (E + V)}, \dots (329)$$

worin $s = 600-700$ kg zu setzen ist.

Beispiel. Bei der Maxauer Eisenbahnschiffbrücke ist $\frac{E+V}{2n} = 9160$ kg, daher für $s = 700$ kg

$$d = \sqrt{\frac{4}{3,14 \cdot 700} 9160} = 4,1 \text{ cm,}$$

wofür $6,3$ cm angenommen wurde.

III. Anordnung und Construction.

Die Anordnung und Construction der beweglichen Brücken hängt von der Art der zu überführenden bzw. zu unterbrechenden Verkehrslinie, von der erforderlichen Weite und Art der Unterbrechung, von dem zur Verfügung stehenden Raume und Bewegungsmittel sowie von den Kosten der Herstellung und der Zweckmässigkeit der Bewegungsvorrichtung ab. Aus diesen verschiedenen Gesichtspunkten sind die verschiedenen Systeme der beweglichen Brücken hervorgegangen, welche wir unter II bereits als Rollbrücken, Hubbrücken, Zugbrücken, Klappbrücken, Krahnbrücken, Drehbrücken und Schiffbrücken unterschieden haben und die nun in Bezug auf ihre allgemeine Anordnung, die Construction ihrer Träger sowie die Einrichtung und Handhabung ihrer Bewegungs- und Fixirungs-Mechanismen zu besprechen sind.

1. Die Rollbrücken (s. Taf. I, Fig. 1—16).

A. *Allgemeine Anordnung.* Die Rollbrücken sind meist solche mit eintheiliger Bahn, welche um so viel länger als die zu überbrückende Oeffnung ist, dass das Drehmoment des über der lichten Oeffnung befindlichen Theils der Rollbrücke in allen Lagen durch das Drehmoment des über dem Rollpfeiler befindlichen Theils derselben aufgehoben wird. Dies wird erreicht, indem der letztere Theil entweder mit dem nöthigen Gegengewichte beschwert, s. Taf. I, Fig. 1—6, oder durch die Decke eines Canales, in welchen er beim Einrollen gelangt, am Aufwärtsskippen verhindert wird, s. Textfig. 45. Die bewegliche Brückenbahn kann auf dem Rollpfeiler wagrecht hin- und zurückgerollt werden. Diese Bewegung erfolgt entweder parallel zur Brückenachse, s. Taf. I, Fig. 1—11 u. 13—16, in welchem Falle der Anschluss des beweglichen Theils an den festen zwar schwieriger, aber der erforderliche Raum und Aufwand geringer wird, oder unter einem Winkel zur Brückenachse, s. Taf. I, Fig. 12, in welchem Falle jener Anschluss zwar erleichtert, aber der nöthige Platz und Kostenbetrag vergrößert wird.

Liegt die Verkehrsbahn zwischen den Hauptträgern der Rollbrücke, so werden diese meist über dem anstossenden festen Brückenbahntheile vor- und zurückgerollt (Ueberrollbrücken), liegt dieselbe auf den Hauptträgern der Rollbrücke, so werden diese meist unter der Oberfläche der anstossenden festen Brückenbahn vor- und zurückgerollt (Unterrollbrücken). Die Ueberrollbrücken gewähren den Unterrollbrücken gegenüber den Vortheil, dass sie dieselbe Breite wie die festen Brückenbahntheile, also eine sicherere Parallelführung erhalten können, nach dem Einfahren nur auf ihre Lager herabgelassen, also nicht erst wieder aufgehoben zu werden brauchen, dass der anschliessende feste Theil der Brücke einfacher, z. B. bei einem Rollpfeiler ohne Versenkung, bei einer Fachwerkbrücke ohne Beeinträchtigung des Querverbandes ausgeführt werden kann und dass besondere Stützen und Rollen für die Hauptträger der Rollbrücke entbehrlich werden.

Die Verschiebung der Rollbrückenträger erfolgt theils auf festen Rollen, s. Taf. I, Fig. 4—6, welche auf den Rollpfeilern drehbar befestigt sind, theils auf wandernden Rollen, s. Taf. I, Fig. 13, welche an jenen Trägern drehbar befestigt und mit ihnen verschieblich sind. Erstere Anordnung ist die einfachere, da die wandernden Rollen besondere, unter der Rollbrücke angebrachte Träger mit Querverband und mit eigenen Zwischenstützen bedürfen.

Rollbrücken mit zweitheiliger Brückenbahn, die aus je zwei der zuvor beschriebenen Rollbrücken bestehen und bei welchen die Verschiebung der beiden Brückenbahntheile stets nach entgegengesetzter Richtung erfolgt, werden bei Canälen mit grösseren Spannweiten, jedoch nur selten angewandt, da denselben im geschlossenen Zustande

in der Mitte der Oeffnung eine nur unvollkommene Unterstützung geboten werden kann. Die letztere besteht dann meist in Stützen, welche durch Charniere drehbar mit den Trägern verbunden sind und vor deren Verschiebung, um ein Schleifen auf der Sohle des Canals zu vermeiden, etwas hinaufgewunden werden, s. Taf. I, Fig. 11.

Um die obenerwähnte Verlängerung der Brückenbahn zu ersparen, aber ihr gleichwohl die nöthige Unterstützung zu verschaffen, hat man auch Rollbrücken mit beweglichen Streben (Streben-Rollbrücken), s. Taf. I, Fig. 9, 10, construirt, welche sich beim Vor- und Zurückrollen der Brücke so verschieben, dass nur die Reibungswiderstände zu überwinden bleiben.

Die Bewegungsmechanismen derjenigen Rollbrücken, welche nicht schon von Hand bewegt werden können, indem ein oder mehrere Mann an den Geländern schieben, bestehen in Getrieben, welche in gezahnte Laufäder oder Zahnstangen eingreifen, s. Taf. I, Fig. 1—3 u. 4—6, und durch Kurbeln gedreht werden; in Ketten, welche durch Winden bewegt werden, und in hydraulischen Verschiebungsmechanismen, s. Taf. I, Fig. 14, 15.

B. *Specielle Anordnung.* Die Hauptträger der Rollbrücken werden ausnahmsweise aus Holz, s. Fig. 11, meistens aus Eisen und dann bei kleinen Spannweiten aus I- oder J-förmigem Walzeisen, bei grösseren Spannweiten aus Blech-, Gitter- oder Fachwerkbalken hergestellt und unter sich entweder durch näher liegende Querträger, s. Taf. III, oder durch weiter auseinander liegende Querträger mit mehreren zwischen sie eingeschalteten Längsträgern verbunden. Der horizontale Widerstand wird bei niedrigeren Brückenträgern einfach und dann am meisten in der Ebene des Untergurtes, bei höheren Brückenträgern doppelt und dann in der Ebene beider Gurten angebracht. In allen Fällen, wo sich die Träger auf drehbar befestigten Rollen verschieben, sind die Untergurten durch gehörige Aussteifung gegen lothrechte und wagrechte Verbiegung zu sichern.

Bei Eisenbahn-Rollbrücken werden die Fahrschienen auf die Hauptträger, s. Taf. I, Fig. 4—6, auf die Querträger, s. Taf. III, und auf die zwischen die Querträger eingeschalteten Längsträger gelegt. Die Fahrschienen ruhen im ersten Fall auf Langschwellen, s. Fig. 6, oder Schienenstühlen, im zweiten Fall auf Schienenstühlen, s. Taf. III, Fig. 10 u. 11, im letzten Fall auf mehreren, an die Längsträger geschraubten Schienenstühlen oder Querschwellen. Rollbrücken mit auf den Hauptträgern ruhenden Fahrschienen erhalten meist zwei auf eisernen Consolen ausgekragte Bankette, s. Fig. 6, mit Bohlenbelag. Auch zwischen den Fahrschienen der meisten Rollbrücken werden Bohlenbeläge angebracht.

Bei Strassen-Rollbrücken werden die Fahr- und Fussbahnen meist aus mehr oder minder starken Bohlenbelägen hergestellt, welche auf den Hauptträgern, s. Fig. 13, oder auf den Querträgern, s. Fig. 2, ruhen und die Brückenbahnen, wenn sie sich nicht zwischen den Hauptträgern befinden, s. Fig. 2, mit eisernen, s. Fig. 13, selten mit hölzernen (s. Fig. 11) Geländern eingefasst.

Die Laufrollen der Rollbrücken bestehen meist aus Gusseisen und soliden Scheiben mit verstärkten Naben und Rändern, welche letztere zur Führung der Brückenbahn meist mit Spurkränzen, s. Taf. I, Fig. 5 und Taf. III, versehen sind. Feste Rollen erhalten meist gusseiserne, mit den aus Quadern, Querträgern, s. Fig. 6, oder Säulen, s. Fig. 5, bestehenden Unterstützungen verankerte oder verholzte Lager, während bewegliche oder Laufrollen mittelst eintheiliger oder zweitheiliger, unter die Hauptträger geschraubter Lager mittelst kurzer Bolzen oder durchgehender Achsen, s. Taf. III, festgehalten werden.

Die unter den Bewegungsvorrichtungen erwähnten Getriebe bestehen entweder aus Vorgelegen, welche mittelst Kurbeln gedreht werden und in Zahnräder eingreifen, welche auf die Achse der Laufräder fest gekeilt sind, s. Taf. I, Fig. 13, oder, wie bei grösseren Brücken, aus Vorgelegen, welche durch Kurbeln gedreht werden und mittelst einer über die geringe Breite der Brücke hinausreichenden Welle und eines daran befestigten Zahnrades in eine inmitten und unterhalb der Brückenbahn angebrachte Zahnstange eingreifen, s. Taf. I, Fig. 6 und Taf. III, Fig. 11. Die hydraulischen Bewegungsmechanismen bestehen meist in wagrechten, auf den Landpfeilern festgelagerten hydraulischen Cylindern l mit den zugehörigen Kolben n, s. Taf. I, Fig. 15, an deren Enden Kettenscheiben o befestigt sind, über welche continuirliche Ketten gehen, deren Enden in den Punkten p und q an der Brücke befestigt sind. Um eine continuirliche Bewegung der Brücke zu erzielen, können die Wasserzuleitungsrohre und Ventile so angeordnet werden, dass der Kolben eines Cylinders vorwärts, derjenige des anderen gleichzeitig rückwärts geht.

2. Die Hubbrücken (s. Taf. I, Fig. 17—23).

A. *Allgemeine Anordnung.* Die Hubbrücken, welche in ihrer tiefsten Lage den Verkehr zwischen zwei Ufern vermitteln und um so viel zu heben sind, als der unterführte Wasser- oder Landverkehr erfordert, werden entweder von oben, oder von unten gehoben und gesenkt. Im ersteren Falle wird die Hubbrücke mittelst vier an ihren Ecken befestigten Seilen, welche über ebensoviele, auf festen Ständern oder Pfeilern drehbar angebrachte Rollen geführt sind und wobei das Gewicht der Brücke durch angemessene, mit den Seilen verbundene Gegengewichte ausgeglichen wird, auf- und abwärts bewegt. Im letzteren Falle ruht die Brücke entweder auf vier, in lothrechten Falzen geführten Pfosten, welche man durch ebensoviele, an ihren unteren Enden befestigte und über drehbare Scheiben geführte Ketten hebt und senkt, oder auf drehbaren, mit ihr durch Gelenke verbundenen Sektoren, welche durch Gegengewichte ausbalancirt sind und durch Zahnstangen und Vorgelege vor- und rückwärts gedreht werden, s. Taf. I, Fig. 22 u. 23. Auch durch vier lothrechte, mit Kolben versehene hydraulische Cylinder würde die Brücke von unten auf- und abwärts zu bewegen sein.

Die Hubbrücken sind ferner entweder solche mit beweglichen Hauptträgern, s. Taf. I, Fig. 17—19, bei welchen der ganze, aus Trägern und Fahrbahn bestehende Ueberbau auf- und abbewegt, oder solche mit in genügender Höhe gelagerten, festen Hauptträgern, s. Taf. I, Fig. 20, 21, bei welchen nur die an sie gehangene Fahrbahn gehoben und gesenkt wird. Der ersteren und älteren Hubbrücken-Construction gegenüber hat die letztere den Vorzug einer Ermässigung des zu bewegenden Gewichtes und der zu überwindenden Reibungswiderstände, da die beweglichen Theile der Hubbrücke mit festen Hauptträgern dem Winddruck eine kleinere Fläche darbieten.

Die Bewegungsvorrichtungen, welche nur die Reibungswiderstände zu überwinden haben, bestehen meist in Vorgelegen, mittelst deren man die Achsen der an den Tragsäulen drehbar befestigten Seilscheiben in Bewegung setzt.

B. *Specielle Anordnung.* Bei den Hubbrücken mit beweglichen Hauptträgern werden die letzteren als Blechbalken, s. Taf. I, Fig. 17 u. 19, bei kleineren und als Gitter- oder Fachwerkbalken bei grösseren Spannweiten construirt, woran meist eiserne, zur Unterstützung von Banketten bestimmte Consolen befestigt werden, s. Taf. I, Fig. 17 u. 19. Die von unten beweglichen Hubbrücken dieser Gattung erhalten die relativ kleinsten Spannweiten und möglichst leichte, meist aus Holz construirt Brückenbahnen, während die von oben beweglichen Hubbrücken besondere, fest auf Säulen gelagerte, wagrechte Tragbalken erhalten, an welche der bewegliche Theil der Hubbrücke an mehreren Stellen mittelst Drahtseilen, welche über Führungsrollen gehen, angehängt und durch Gegengewichte ausbalancirt wird, s. Taf. I, Fig. 17 u. 18. Die oben erwähnten Tragbalken können an ihren Enden durch Treppen zugänglich gemacht und

mittelst eines geeigneten Belages, während die Brücke aufgezogen ist, wenigstens zum Fussverkehr benutzt werden.

Bei den für grössere Spannweiten bestimmten Hubbrücken mit festgelagerten Hauptträgern werden die letzteren am zweckmässigsten für Fachwerk construirt, in dessen Knoten die bewegliche Brückenbahn mittelst biegsamer, über Führungsrollen geführter Drahtseile angehängen und durch Gegengewichte ausbalancirt ist. Die auf diese Weise mehrfach unterstützte Brückenbahn kann weit leichter, z. B. aus Holzbalken mit Bohlenbelag, s. Taf. I, Fig. 21 u. 22, oder auch aus leichten Blechbalken construirt werden.

Die erwähnten, zur Hebung und Senkung der Hubbrücken dienenden Bewegungsvorrichtungen werden bei denjenigen mit beweglichen Hauptträgern an den Enden, bei denjenigen mit festen Hauptträgern am besten in der Mitte der letzteren angebracht. Im ersteren Falle setzt das durch eine Kurbel gedrehte Vorgelege eine durchgehende Querachse mit den an beiden Seiten der Brückenbahn befindlichen Seilscheiben in Bewegung, an deren Seilen einerseits ein Theil der Brücke, andererseits das gleichfalls durchgehende Gegengewicht hängt, s. Taf. I, Fig. 17. Die Kettenführung muss so eingerichtet sein, dass eine gleichmässige Hebung oder Senkung beider Brückenenden erfolgt, s. Taf. I, Fig. 18. Die Hebung und Senkung von Hubbrücken mit festgelagerten Hauptträgern lässt sich durch doppelte horizontale Wellen bewirken, welche an dem Stabwerk der Fachwerkträger gelagert sind und die Rollen tragen, über welche man die Drahtseile führt, woran die Brückenbahn hängt. Zur Drehung dieser Rollen können Querachsen mit konischen Zahnrädern dienen, welche in die gleichfalls konisch gezahnten Umfänge jener Rollen eingreifen und durch ein Trittrad, s. Taf. I, Fig. 20 u. 21, in gleichartige Bewegung versetzt werden, wobei ein Vor- und Rückwärtsdrehen des Trittrades die Hebung bzw. Senkung der Brücke bewirkt.

3. Die Zugbrücken (s. Taf. I, Fig. 24—44).

A. *Allgemeine Anordnung.* Die Zugbrücken drehen sich stets um eine horizontale Endachse und sind einflügelig, s. Taf. I, Fig. 26—44, wenn sie nur eine Endachse besitzen, welche auf einem ihrer Auflager ruht, und mit dem gegenüber befindlichen Ende auf dem andern Auflager ruhen, zweiflügelig, s. Taf. I, Fig. 24 u. 25, wenn sie zwei Endachsen besitzen und ihre beiden Klappen im geschlossenen Zustande entweder nur sich gegeneinander stemmen oder, um den Klappen eine bessere Unterstützung zu gewähren, mittelst besonderer Tragketten an die Brückenportale angehängt, oder, wenn unten genügender Raum vorhanden ist, mittelst beweglicher Streben gegen die Auflager abgestützt werden.

Die Bewegungsvorrichtungen zum Aufziehen und Niederlassen der Zugbrücken sind sehr verschieden, bezwecken aber alle eine möglichste Verminderung des hierzu erforderlichen Kraftaufwandes oder der hierbei auftretenden passiven Widerstände.

B. *Specielle Anordnung.* Hiernach sind die Zugbrücken entweder solche mit constanten oder veränderlichen Gegengewichten und die ersteren entweder solche mit drehbaren, theils festgelagerten theils fahrbaren Doppelhebeln (Ziehbäumen) oder mit geführten Gegengewichten, die letzteren entweder solche mit Gegengewichtsketten oder mit einzelnen, sich allmählig absetzenden Gegengewichten.

a) Zugbrücken mit festgelagerten Ziehbäumen, s. Taf. I, Fig. 24, 25 und 26, 27. Dieselben werden bei kleineren, etwa 3—7 m und bei grösseren, etwa 7—15 m messenden, zu überbrückenden Weiten bzw. einflügelig und zweiflügelig und so angeordnet, dass die Zugbäume und die Schlagbalken der Brückenklappe stets parallel zu einander bleiben. Die Zugbäume werden bei allen nicht ganz schmalen Zugbrücken paarweise angewandt, entweder auf lothrechten, zu einer Art Portal verbundenen Pfosten, welche oft, wie bei der in Fig. 24 u. 25 dargestellten Zugbrücke über den Canal St. Martin, durch eiserne Streben fh in lothrechter Stellung erhalten werden, oder, besonders bei Fisterungen, auf das Thormauerwerk gelagert und an ihren Hinterarmen

durch hinreichende, aus Verriegelungen oder aus eisernen, mit Steinen oder Eisenstücken gefüllten Kästen bestehende Gegengewichte ausbalancirt. Die meist aus Holz construirte Brückenklappe besteht, wie Fig. 24, 25 und 26, 27 zeigen, aus Längsbalken *r*, welche bei geringen Abständen unmittelbar, bei grossen Abständen erst Querbalken *s* und dann den Bohlenbelag aufnehmen. In beiden Fällen werden die Längsbalken an beiden Enden in Querriegel eingezapft und mit diesen durch eiserne Klammern und Schrauben verbunden. Die Klappencharniere werden entweder an den Stirnbalken selbst, s. o., Fig. 27, oder an besonderen, mit ihnen fest verbundenen Balken, s. e., Fig. 25, angebracht und bestehen aus schmiedeisernen, in gusseisernen Lagern drehbaren Querbolzen. Die Ziehbäume, welche man früher nur aus Holz herstellte und auf besondere, an die Pfosten geschraubte Lager legte, wurden in neuerer Zeit, z. B. bei der doppelten Strassenzugbrücke von 14 m in Dordrecht und bei der 5 m weiten eingelegten Eisenbahnbrücke über den Marne-Canal bei Marnaval, aus Walzeisen hergestellt und dann auf eiserne Portale gelagert. Die Verbindung der Ziehbäume mit den Klappen ist theils durch Ketten, s. Taf. I, Fig. 24, theils durch Zugstangen, s. Taf. I, Fig. 26, bewirkt. Zur Bewegung der Brücke dienen theils herabhängende, von Hand bewegbare Zugketten, s. Fig. 24, theils über Führungsrollen laufende, mittelst Kurbeln aufwindbare Ketten, s. Fig. 26.

b) Zugbrücken mit fahrbaren Ziehbäumen, s. Taf. I, Fig. 34. Bei dieser von Bergère angegebenen Construction werden die Ziehbäume am einen Ende mit der Brückenklappe verbunden, am anderen mit einem Gegengewichte ausbalancirt und in dem Gesamtschwerpunkte des Systems auf die Achsen von Rädern gelegt, welche auf horizontalen Steinbahnen, wie bei einer 1825 in den Aussenwerken von Mons erbauten derartigen Brücke, oder auf eisernen Leitschienen laufen.

Die Zugbrücken mit geführten Gegengewichten unterscheiden sich vorzugsweise durch die Form der Leitcurven, worauf die constanten Gegengewichte beim Oeffnen und Schliessen der Brücke stets so geführt werden, dass der Gesamtschwerpunkt der Brücke sich in einer Horizontalebene bewegt.

c) Zugbrücken mit sinusoïdenförmiger Leitcurve, s. Taf. I, Fig. 28—30 und 39, 40. Bei diesen von Belidor vorgeschlagenen Zugbrücken ist die meist hölzerne, aus Längsbohlen mit Endriegeln und Bohlenbelag bestehende Brückenklappe von beiden Seiten durch kurzgliedrige, über Führungsrollen laufende Ketten mit der Achse von zwei Gegengewichten verbunden, welche auf zwei seitlich angebrachten, nach einer Sinusoïde gekrümmten Leitcurven, beim Schliessen und Oeffnen der Brücke bezw. auf- und niedergerollt werden. Diese Bewegung wird mittelst eines auf der Achse des Gegengewichtes sitzenden Rades und einer um dasselbe geschlungenen continuirlichen Manövrirkette bewirkt, während nach den unter II, 5 entwickelten Gründen der Gesamtschwerpunkt der bewegten Brückentheile eine Horizontalbewegung beschreibt, wobei also nur Bewegungswiderstände zu überwinden sind. Sobald freilich die Manövrirketten den Boden erreicht haben, tritt ein Theil des Gegengewichtes ausser Wirksamkeit und muss durch einen Druck auf die Gegengewichtsachse ersetzt werden, wodurch leicht ein Reißen der Gegengewichtsketten und ein für die Bedienungsmannschaft gefahrvolles Herabstürzen der Gegengewichte erfolgen kann.

Statt der Zugketten verwandte Delille bei mehreren, u. a. in Dünkirchen, Lille, Brest, Strassburg und Bitsch ausgeführten Zugbrücken Zugstangen, welche das auf einer ähnlich geformten Leitcurve geführte Gegengewicht mit der Brückenklappe verbanden, während alle übrigen Anordnungen dieselben sind. Ein Brechen der Zugstangen kann auch hier für die Bedienungsmannschaft gefährlich werden.

d) Zugbrücken mit spiralförmiger Leitcurve, s. Taf. I, Fig. 31—33. Bei diesen von Derché angegebenen, i. J. 1810 zuerst ausgeführten Zugbrücken wirkt das Gegengewicht *g* an einem durch besondere Gegengewichte aus-

balancirten Rade *m* mit spiralförmig gebogenem Umfange, dessen Achse gleichzeitig die Räder *l*, welche zum Aufwinden der mit der meist hölzernen Zugklappe verbundenen Kette dienen und die Räder *n* trägt, um welche die Manövrirkette *k* geschlungen ist. Beim Auf- und Niederbewegen der Klappe bleibt auch hier der Gesamtschwerpunkt der bewegten Theile aus den unter II, 5 ermittelten Gründen in einer wagrechten Ebene, so dass nur die Bewegungswiderstände zu überwinden bleiben. Die ersten aus Holz construirten Räder wurden später durch eiserne ersetzt. Damit die aufzuwindenden Ketten nicht zu lang und schwer werden, verwendet man diesen Mechanismus an Zugbrücken mit Klappengewichten von höchstens 2500 kg.

e) Zugbrücken mit Gegengewichtsketten, s. Taf. I, Fig. 41—46. Das veränderliche Gegengewicht dieser von Ponçelet angegebenen Zugbrücken wird durch schwere Ketten gebildet, welche mit einem Ende an der Zugkette, s. Fig. 43, mit dem anderen Ende an einen in die Mauer eingelassenen Stützkloben, s. Fig. 44, regulär befestigt sind. Die Zugkette verbindet die Klappe mit der Gegengewichtskette und ist über die Rollen *c* und *d* geführt, von welchen die letztere an derselben Achse befestigt ist, die das Rad *e* trägt, um welches die Manövrirkette *k* geschlungen ist. Beim Auf- und Abwärtsbewegen der Klappe verändert sich die Länge des an der Zugkette hängenden Theils der Gegengewichtskette nach den unter II, 5 entwickelten Gründen stets derart, dass die Gewichtsveränderung der Gegengewichtskette stets der Spannungsveränderung der Zugkette entspricht. Die Gegengewichtsketten, s. Fig. 43 u. 44, bestehen aus gusseisernen, etwa 10 cm breiten, 21 cm langen, 6—8 cm dicken Platten, welche auf etwa 2—3 cm starken Bolzen in Zwischenräumen von je 1 cm nebeneinander gereiht sind. Zur genaueren Herstellung der Gewichte der einzelnen Kettenglieder hängt man zu beiden Seiten Plättchen von 1 bis 2 cm Stärke. Die Bedienung dieser von 1821 ab mehrfach, z. B. in Metz, Verdun, Strassburg, Belfort ausgeführten Brücken erfordert wenig Mannschaft und soll z. B. die 3000 kg schwere Klappe der Brücke zu Verdun durch einen Mann zu bewegen sein.

f) Zugbrücken mit sich absetzenden Gewichten, s. Taf. II, Fig. 35. Bei diesen von La Coste vorgeschlagenen Zugbrücken sollen an die Stelle der Ponçelet'schen Gegengewichtsketten an das hintere Ende der Zugketten gusseiserne Scheiben von verschiedener Grösse gehängt werden, welche sich bei gleichzeitigem Heben der Brückenklappe und Senken dieser Scheiben allmählig auf eisernen Kränzen mit nach und nach kleiner werdenden Oeffnungen absetzen. Diese Kränze sollen von eisernen Ständern mit einer Höhe getragen werden, welche der ganzen Länge der aufzuwickelnden Kette entspricht.

4. Die Klappbrücken.

A. *Allgemeine Anordnung.* Die Klappbrücken drehen sich stets um eine horizontale Zwischenachse, durch welche die Brückenbahn über der Hauptöffnung (Hauptklappe) und Nebenöffnung (Nebenklappe) in Theile mit dem Verhältniss von 1:1 bis 4:1 zerlegt wird. Die Nebenklappe wird, besonders wenn man sie kürzer als die Hauptklappe anordnet, durch Gegengewichte mit der letzteren derart ins Gleichgewicht gesetzt, dass man der Hauptklappe ein kleines Uebergewicht giebt, vermöge dessen sie sich von selbst schliessen kann. Das Auf- und Niederklappen der Klappbrücken erfordert einen freien Raum unter der Hinterklappe, welcher bei Landbrücken mit hölzernen Jochen frei bleibt, s. Taf. I, Fig. 48 u. 52, bei solchen mit steinernen Landpfeilern meist durch einen eventuell wasserdicht gemauerten Keller, s. Taf. I, Fig. 45 u. 46, bei Strombrücken mit Durchlassöffnungen in den angrenzenden Strompfeilern, s. Taf. I, Fig. 53 u. 56, oder unter bezw. in der Brückenbahn der angrenzenden, festüberbrückten Oeffnungen, s. Taf. I, Fig. 63, zu beschaffen ist. Dieser Raum erhält entweder die ganze Breite der Klappbrücke, s. Taf. I, Fig. 46, in welchem Falle gewöhnlich alle Brückenträger mit Hinterarm versehen werden, oder er wird aus ökonomischen Gründen schmaler

angelegt, s. Taf. I, Fig. 54 u. 67, in welchem Falle meist nur die mittleren Brückenträger Hinterarme erhalten. Der Winkel, um welchen die Klappbrücken zu drehen sind, richtet sich nach der Höhe der zu unterführenden Verkehrsmittel und schwankt zwischen 18° und etwas unter 90° , da man, um an Zeit zu sparen und um das Schliessen zu erleichtern, die Klappen nicht bis zur lothrechten Stellung aufschlägt.

Die Klappbrücken werden theils, und zwar in den meisten Fällen, mit fester Drehachse und dann entweder einflügelig oder zweiflügelig, theils mit beweglicher Drehachse und dann so construirt, dass deren Achse parallel zu sich selbst, entweder längs einer geraden oder längs einer gekrümmten Führung verschoben wird.

Der Bewegungsmechanismus der Klappbrücken mit fester Achse, welcher nur deren Drehung und zwar durch Senkung der Nebenklappe bezweckt, bestand früher meist aus grossen gezahnten, an der Hinterklappe befestigten Quadranten, welche durch ein festverankertes Zahnradvorgelege gedreht werden konnten, besteht aber zur Zeit meist in Seilen oder Ketten, welche über eine Trommel geführt und mittelst einer Kurbel aufgewunden, oder in Zahnradern, welche durch Kurbeln oder Spillräder gedreht werden. Die Bewegung der Klappbrücken mit beweglicher Achse, welche in einer gleichzeitigen Verschiebung und Drehung besteht, wird theils durch Zahnstangen, in welche gezahnte Sektoren eingreifen, s. Taf. I, Fig. 58, theils durch drehbare Tragstangen und gekrümmte Führungsschienen bewirkt, längs deren die mit Leitrollen versehene Brückenklappe niedergleitet. Die Bewegung der Klappbrücken wird durch Menschenkraft, Wasser- oder Luftdruck oder je nach Umständen durch mehrere dieser Mittel zugleich hervorgebracht.

B. Specielle Anordnung. Die Träger der Klappbrücken, welche früher, und bei ganz kleinen Spannweiten noch jetzt, aus Holz bestanden und bestehen, s. Taf. I, Fig. 52, werden in der Gegenwart meist aus Eisen, und zwar bei kleineren Spannweiten als Blechbalken, s. u. a. Taf. I, Fig. 59—62 und Taf. IV, bei grösseren Spannweiten als Fachwerkträger, s. Taf. I, Fig. 66 u. 71, construirt. Im geöffneten Zustande ruhen die Klappbrücken auf ihren Drehachsen, im geschlossenen Zustande meist auf zwei Reihen fester gusseiserner Lagerplatten, wovon die eine in der Nähe der Drehachse, die andere unter dem Ende der Vorderklappe sich befindet. Bei einflügeligen Klappbrücken, welche vermöge ihres eigenen Gewichtes nicht fest genug aufliegen, presst man das Ende der Hinterklappe u. a. durch starke, mittelst eines Hebelmechanismus gehobene Daumen, s. Taf. I, Fig. 59 u. 61, an das feste Auflager der Brücke. Bei zweiflügeligen Klappbrücken werden die Vorderenden durch Riegel verbunden, während zugleich die Hinterenden durch den festen Ueberbau der angrenzenden Oeffnungen niedergehalten werden. Bisweilen erhalten beide zur Vermeidung von Schwankungen noch besondere Verbindungen durch Keile, s. Taf. I, Fig. 63 u. 65, durch excentrische Scheiben, s. Taf. I, Fig. 48—50, oder durch eiserne, um horizontale Achsen drehbare Klinken u., s. Taf. I, Fig. 46, welche durch geeignete Mechanismen von oben in Bewegung gesetzt werden. Das zur Herstellung des Gleichgewichtes beim Oeffnen und Schliessen der Klappbrücken erforderliche Gegengewicht besteht aus gusseisernen Blöcken oder mit Steinen gefüllten Blechkasten, welche an das Ende der Hinterklappe angeschraubt werden, s. Taf. I, Fig. 48, 56 u. 72. Zu einer genauen Ausgleichung des Gewichtes der Vorder- und Hinterarme hat man ausser den grösseren noch kleinere Gegengewichte angebracht, welche durch geeignete Mechanismen nach Bedürfniss vor- und zurückbewegt werden können, s. Taf. I, Fig. 72. Wo die mit den Gegengewichten beschwerten Hinterarme beim Oeffnen der Brücke in's Wasser eintauchen, wobei sie an Gewicht verlieren, empfiehlt es sich, die Gegengewichte um diesen Gewichtsverlust grösser anzunehmen und so an den Hinterarmen anzubringen, dass sie beständig unter Wasser bleiben, s. Taf. I, Fig. 48. Nach Brown's Vorschlag soll das Gegengewicht in einer

Heinzerling, Bewegliche Brücken.

ummauerten Vertiefung untergebracht und mit den Hinterarmen durch Ketten in Verbindung gesetzt werden, um an mechanischer Arbeit zu sparen.

Die einfachste Bewegungsvorrichtung besteht in einer einerseits am Ende der Hinterklappe befestigten, über eine unten angebrachte Rolle geführten und andererseits an einer Winde befestigten Kette, mittelst deren die letztere auf- oder abgewunden wird, s. Taf. I, Fig. 52. Bequemer und wirksamer ist die Anwendung von Kettentrommeln, s. Taf. I, Fig. 45, 46 und Taf. IV, Fig. 12, 13, welche mit einem verticalen, durch einen Stockschlüssel drehbaren Zahnrade fest verbunden sind, während eine Führungsrolle in einem mit der Kellermauer oder einem eisernen Balken verbundenen Lager drehbar befestigt ist. Bisweilen ist die durch Stockschlüssel nebst konischem Horizontalrad drehbare Kettentrommel zur Erzielung einer gleichmässigeren Hubkraft, ähnlich wie bei den Kettenrädern der Derché'schen Zugbrücken (s. 3. dieses Abschnittes) konisch-spiralförmig construirt, s. Taf. I, Fig. 59, und der Führungsrolle gegenüber angeordnet. In neuerer Zeit wendet man mehrfach gezahnte Sektoren an, welche direct an der Drehachse, s. Fig. 53, oder an der Hinterklappe befestigt sind und durch Zahnradvorgelege, Fig. 57, oder Schrauben ohne Ende, Fig. 63, gedreht werden. Im letzteren Falle, wo die Achse der Brücke mit der Achse des Sektors nicht zusammenfällt, muss die letztere mit einer besonderen Kurbel fest verbunden werden, welche durch eine an ihrem Ende drehbar befestigte Pleuelstange die Hinterklappe von oben niederdrückt, s. Taf. I, Fig. 63.

Bei der hydraulischen Bewegungsvorrichtung wirkt der Kolben eines oscillirenden Presscylinders am einfachsten an einer am Ende der Drehachse der Klappbrücke angebrachten Kurbel, wobei das Wasser durch zwei Zuleitungsrohre vor und hinter den Kolben geleitet und hierdurch die Vor- und Rückwärtsbewegung des Kolbens bezw. das Oeffnen und Schliessen der Brücke bewirkt werden kann. Statt des Wassers wird bei Frostwetter auch comprimirt Luft angewandt.

Eine Vorrichtung, welche durch Menschenkraft, durch hydraulischen Druck oder durch Luftdruck in Bewegung gesetzt werden kann, ist in Fig. 57 dargestellt. Das mit der Drehachse der Brücke fest verbundene Zahnrad wird entweder durch die mittelst der Kurbel t gedrehten fünf Zahnräder oder durch die mit dem Kolben eines Presscylinders k, welcher mit Druckwasser oder comprimirt Luft gespeist werden kann, verbundene gezahnte Stange z in Drehung versetzt. Die comprimirt Luft wird in dem Cylinder v bereit gehalten und durch die von Hand bewegten Luftpumpen ii erzeugt.

Um die Klappe nicht nur im geschlossenen und geöffneten Zustande, sondern auch in allen Zwischenlagen feststellen zu können, lässt sich an der verticalen Schlüsselwelle e, Fig. 59 u. 62, eine horizontale, mit Löchern versehene Scheibe f anbringen, in welche ein durch eine Oeffnung der festen Kellerdeckenträger lothrecht verschieblicher Bolzen, Fig. 62, gesteckt werden kann, welcher die Drehung jener Scheibe und der damit fest verbundenen Welle verhindert.

5. Die Krahnbrücken (Taf. I, Fig. 75—84).

A. Allgemeine Anordnung. Die Krahnbrücken bestehen aus je zwei unmittelbar unter den Fahrschienen angeordneten Hauptträgern, welche sich um ihre lothrechten Endachsen (Wendesäulen) drehen, während der parallele Abstand der Hauptträger durch drehbar befestigte Querstangen gewahrt bleibt. Bei Spannweiten bis zu etwa 5 m werden dieselben einflügelig, bei Spannweiten bis zu etwa 10 m zweiflügelig angewandt. Im geöffneten Zustande ruhen die Hauptträger auf einem Lager und werden durch die mit Halseisen versehenen Wendesäulen gehalten, wobei sie sich mehr oder minder durchbiegen. Vor dem Schliessen einflügeliger Brücken hebt man daher mittelst excentrischer Scheiben oder besser mittelst schlanker Keile die durchgebogenen Trägerenden so viel, dass die Fahrschienen wieder in einer Höhe liegen und dass die Wendesäulen in den etwas oval

gehaltenen Halseisenlöchern frei werden, worauf man sie durch Klauen oder Riegel seitlich feststellt. Zur Sicherung des Mauerwerks gegen die durch den Verkehr auf beide Lager ausgeübten Stösse bringt man entweder zwischen jenen Lagern und dem Mauerwerk starke eichene Mauer-schwellen an oder man entlastet die Wendesäulen im geschlossenen Zustande ganz, indem man die Hauptträger über erstere hinaus etwas verlängert, s. Taf. I, Fig. 84, und mit einem zweiten Hebemechanismus versieht. Das Aus- und Einschwenken der Brücke wird theils durch Zahn-räder, welche in gekrümmte Zahnstangen eingreifen, s. Fig. 76, oder durch Bockwinden bewirkt, welche durch Ketten und Schubstangen mit der Brücke in Verbindung stehen, s. Fig. 78.

B. Specielle Anordnung. Die Träger der Krahnbrücken werden als Blechträger entweder mit geradem Obergurt und gebrochenem Untergurt, s. Fig. 75 und 77, oder mit parallelen Gurten und ausgesteiften Winkelbändern, s. Fig. 84, construirt und nehmen die Fahrschienen direct oder durch Vermittelung von elastischen (hölzernen) Zwischenlagen auf. Die Bohlen von Banketten werden entweder auf seitlich angeletete Consolen, s. Fig. 76, oder auf verbreiterte Platten des Obergurtes gelegt. Die drehbaren Querstangen werden, besonders bei höheren Trägern, oben und unten angebracht und drehen sich dann um Bolzen, welche oben in entsprechenden Ausschnitten der Stehbleche, unten unter den Gurten befestigt sind, s. Fig. 75 u. 76. Die Wendesäulen bestehen entweder aus starken, mit Nuthen versehenen Rundeisen, in welche die Stehbleche der Träger eingefügt, während beide durch mehrere Schellbänder nochmals verbunden sind, s. Fig. 75 u. 79, oder bequemer aus je vier Winkeleisen, zwischen welche die Stehbleche der Träger genietet werden. Die Wendesäulen stehen entweder in vertieften Pfannen, s. Fig. 75, oder erhalten, einer leichteren Reinhaltung wegen, selbst Vertiefungen, in welche besondere, mit Unterlagplatten versehene Spurzapfen eingreifen, s. Fig. 79. Die zweitheiligen, meist in ausgedrehte Nuthen oder Wendesäulen eingelassenen Halsbänder sind entweder direct, s. Fig. 76, oder indirect mit dem Mauerwerk verankert, s. Fig. 80, wobei entweder gemeinsame, Fig. 76, oder getrennte Ankerplatten, s. Fig. 80, verwendet werden. Um die Stellung der Wendesäulen justiren zu können, hat man die Halsbänder bisweilen mit Schraubengewinden und starken Muttern, s. Fig. 79 u. 80, versehen.

Besteht die Bewegungsvorrichtung der Krahnbrücken aus einem mit den Trägern verbundenen Zahnkranzsegment mit einem auf dem Landpfeiler feststehenden, mit Gehäuse umgebenen Zahnradvorgelege, so wird dasselbe am einfachsten durch eine Kurbel mit aufrechter Drehachse, s. Fig. 75 u. 76, in Drehung versetzt; besteht sie aus einer Bockwinde, so wird beim Oeffnen der Brücke eine Zugkette, beim Schliessen derselben eine Schubstange in Bewegung gesetzt.

Die zur Hebung der Trägerenden in Holland meist angewandten excentrischen Scheiben werden auf eine gemeinsame Achse aufgekeilt, um beide Trägerenden gleichzeitig zu heben; sie nutzen sich jedoch rasch ab und heben dann die Fahrschienen nicht mehr auf die genügende Höhe. Der deshalb bei anderen Brücken angewandte Keilmeechanismus, s. Fig. 81—83, besteht aus zwei mit Querarmen versehenen Keilen, welche durch eine Spindel *s* mit rechtem und linkem Gewinde gleichzeitig einander genähert und voneinander entfernt werden, wenn die Trägerenden gehoben, bezw. gesenkt werden sollen.

Die zur seitlichen Feststellung der beiden wiedereingeschwenkten Träger dienenden Klauen werden gleichzeitig gehoben und fassen das Stehblech der Träger, wobei sie sich ebenfalls allmählig abnutzen und dann Spielräume lassen, wesshalb die mit umlegbaren Hebelgewichten in Verbindung stehenden Riegelvorrichtungen, s. Fig. 81, den Vorzug verdienen.

6. Die Drehbrücken (Taf. II, Fig. 1—93).

A. Allgemeine Anordnung. In Flüssen und Strömen mit genügender Normalbreite und lebhaftem Schiffsverkehr

werden die Drehbrücken in der Regel auf einem Zwischenpfeiler (Drehpfeiler) so gelagert, dass die beiden zu gleicher Zeit frei werdenden Durchfahrtsöffnungen sowie die Brückenarme einander gleich werden.

Die Träger dieser Brücken werden zur Zeit meist continuirlich, seltener discontinuirlisch angeordnet, da sie im letzteren Falle einer besonderen Unterstützung entweder ihrer freien Enden durch Tragstangen oder Trage-seile, s. Textfig. 58, oder ihrer über dem Drehpfeiler durchschnittenen Untergurte durch eine dort aufgestellte Trommel, s. Textfig. 59, bedürfen.

Die gleicharmigen Drehbrücken haben den doppelten Vortheil, dass sie keiner Gegengewichte bedürfen, also relativ leicht werden, wenn sich das Gewicht ihrer beiden Arme von selbst ausgleicht, und dass sie sich durchdrehen lassen, also keiner Rückwärtsdrehung bedürfen, aber den Nachtheil, dass ihre relativ starken Drehpfeiler das Durchflussprofil und die Wasserstrasse erheblich verengen. In Canälen und kleineren Flüssen, wo Zwischenpfeiler nicht statthaft sind, werden die Drehbrücken auf die Landpfeiler gelagert und erhalten ungleiche Arme, deren längere eine Oeffnung überspannen und deren kürzere durch Gegengewichte mit den ersteren ins Gleichgewicht gesetzt werden. Eisenbahn- und kleinere Strassendrehbrücken erhalten stets nur einen Flügel. Wird bei ungleicharmigen Strassendrehbrücken mit grossen Oeffnungen das Moment der längeren Arme zu gross, so ordnet man gewöhnlich zwei gleichlange Flügel an, deren vordere Enden man beim Schliessen der Brücke durch Riegel möglichst kräftig zu verbinden sucht. Wo diese Riegel nicht ausreichen, um den wünschenswerthen Zusammenhang beider Arme herzustellen, werden die hinteren Arme durch übergreifende Mauervorsprünge oder durch lösbare Maueranker niedergehalten.

Die Drehzapfen der Drehbrücken werden in den meisten Fällen in deren Achsen, wo sich deren Last symmetrisch auf beide Seiten der letzteren vertheilt, in einzelnen Fällen, wo man bei gleicher Flügellänge an Durchfahrtsweite gewinnen will, seitlich zu deren Achsen, s. Taf. II, Fig. 37, angeordnet, wobei die auf den Laufrädern ruhende Last entsprechend wächst. Wo, wie bei zweigeleisigen Bahnen, zwei eingeleisige Drehbrücken nebeneinander anzulegen sind, werden deren Drehzapfen entweder beide auf einen Landpfeiler, s. Taf. II, Fig. 48, in welchem Falle beide Brücken nach derselben Richtung aufgedreht werden und im geöffneten Zustande sich parallel neben einander legen, oder getrennt auf beide Landpfeiler, s. Taf. II, Fig. 44, gelagert, in welchem Falle beide Brücken nach entgegengesetzten Seiten aufgedreht werden.

Die Träger zweigeleisiger Drehbrücken werden wie bei den festen Brücken zu je vier, s. Fig. 55, oder zu je zwei, s. Fig. 77, seltener zu je drei, s. Fig. 7, angenommen, weil im letzteren Falle die Anspruchnahme der Träger bei Befahrung nur eines Geleises eine zu ungleiche wird. Bei grossen Spannweiten, also hohen Tragwänden und geringen Constructionshöhen, werden die Geleise zwischen, im Gegentheile auf die Hauptträger gelegt. Aehnlich verfährt man bei Anordnung der Hauptträger für Strassenbrücken, wovon man bei obenliegender Fahrbahn bisweilen über vier angewandt findet, während die Fusswege ebenfalls auf den Hauptträgern oder auf Consolen ruhen, welche an die Stirnträger angeletet sind. Bei combinirten, für Eisenbahn- und Strassenverkehr zugleich bestimmten Brücken werden die Fahrbahnen beider entweder nebeneinander, wobei die Fusswege in der Regel auf Consolen gelegt werden, s. Fig. 36, oder übereinander gelegt, wie bei der 38,4 m langen Foyle-Brücke zu Londonderry und bei der 112,2 m langen Brücke über den Mississippi in der Linie von Rock-Island nach Davenport.

Die Drehbrücken ruhen zum Theil auf Rollkränzen, während Zapfen nur zu ihrer Führung dienen, oder auf Rollkränzen und Drehzapfen zugleich (Rollkranzbrücken). Diese in Amerika, England und Frankreich vielfach angewandte Anordnung gestattet zwar bei exacter Ausführung anfangs eine ebenso sichere Unterstützung als nicht allzu schwierige Bewegung, arbeitet aber bei ungleichen

Senkungen der Rollbahn und verschiedener Abnutzung der Laufrollen nicht mehr gleichmässig. Man stützt deshalb in neuerer Zeit die Drehbrücken durch Drehzapfen allein (Stützzapfenbrücken), s. Fig. 27—29, oder durch Drehzapfen, welchen man, um die Brücke gegen Kippen zu sichern, einige Laufrollen hinzufügt, s. Fig. 73. Bei kleineren Brücken giebt man wegen der geringeren Reibungswiderstände Stützzapfen ohne Rollkranz, bei grösseren Brücken wegen der grösseren seitlichen Stabilität Rollkränzen mit Drehzapfen im Allgemeinen den Vorzug. Um die Drehbrücken vor ihrer Drehung von den Lagern frei zu machen, werden die Drehzapfen entweder lothrecht beweglich, wobei ihre Hebung durch mechanische Vorrichtungen (Hebel oder Schrauben) oder durch Wasserdruck erfolgt, oder fest angeordnet, in welchem Falle die Trägerenden durch Bewegung ihrer Unterstützungen so viel gesenkt werden, dass sie freischweben.

Unter den zum Aus- und Einschwenken der Drehbrücken dienenden Vorrichtungen werden Zahnradvorgelege mit Zahnkranz am meisten angewandt, welche bei kleineren Brücken durch Menschenkraft, bei grösseren Brücken durch Dampf oder durch hydraulischen Druck bewegt werden. Das Heben und Senken der Trägerenden wird theils durch excentrische Scheiben, Kurbelzapfen ohne oder mit Frictionsrollen, Keile, Kniehebel oder Schraubenwinden bewirkt und die Träger enden da, wo diese Vorrichtungen, z. B. excentrische Scheiben oder Kurbelzapfen, einer vorzeitigen Abnutzung unterliegen würden, auf besondere Pendel oder Böcke, welche man vor und nach dem Einschwenken bzw. aus- oder einrückt, gelagert werden. Mit diesen Mechanismen werden Feststellvorrichtungen und, wo die Sicherheit des Betriebes dies erfordert, geeignete drehbare Signalscheiben verbunden.

B. Specielle Anordnung.

a) Träger.

Die Träger der neuen Drehbrücken werden meist aus Schmiedeeisen und dann bei kleineren Spannweiten als Blechträger, bei grösseren Spannweiten meist als Fachwerkträger, vereinzelt auch als Gitterträger, s. Fig. 34, construirt.

a) Die Träger der gleicharmigen Drehbrücken erhalten in beiden Fällen entweder gerade parallele Gurten (Rechtecks- oder Trapezträger), Fig. 27 u 1, oder Gurte, wovon der eine gerade, der andere gebogen oder ge-

brochen ist (Bogen- oder polygonale Balkenträger). Befindet sich der gebogene oder gebrochene Gurt unten, Fig. 3, 10 u. 11, so lässt sich, zumal nach den Aufschlagpfeilern hin, bei geschlossener Brücke an Durchfahrthöhe gewinnen und bei den Drehpfeilern an Höhe sparen. Wo man diese Rücksichten nicht zu nehmen hat, wird der gebogene oder gebrochene Gurt auch oben und der gerade, wagrechte Gurt unten angebracht, s. Fig. 4, 6 u. 2. Hiervon abweichende Formen kommen u. a. bei den Drehbrücken mit armirten, discontinuirlichen Trägern vor, s. Fig. 5. Obwohl die Träger gleicharmiger Drehbrücken zur Zeit meist continuirlich sind, so hat man doch in letzterer Zeit wegen des grossen Einflusses, den die geringste Veränderung der Höhenlage ihrer Stützpunkte auf die Grösse der zugehörigen Stützendrücke und der davon abhängigen Angriffsmomente und Verticalscheerkräfte hat, wieder Drehbrücken mit discontinuirlichen Trägern angewandt oder vorgeschlagen, bei welchen nur der Obergurt zusammenhängt, während der untere Gurt durchschnitten ist. Ein Beispiel hiervon giebt die von der Keystone Bridge Co. vor Kurzem in der New-York und Long-Branch Eisenbahn erbaute, 143,9 m lange, mit hohen Linvilleträgern versehene Raritan-Baybrücke, deren Obergurte über der Mitte des Drehpfeilers ein Gelenk besitzen, während deren Untergurte im ausgeschwenkten Zustande sich fest gegeneinander pressen. Bei der von Pröll & Scharowsky vorgeschlagenen Drehbrückenconstruction, s. Textfig. 59 u. Taf. II, Fig. 69, 70, sollen die Obergurte durchgehen, die an den Enden der getrennten Untergurte angebrachten wagrechten Laufrollen im geöffneten Zustande sich gegen eine über dem Drehpfeiler projectirte Trommel stemmen. Die Berechnung dieser und anderer discontinuirlicher Träger besteht nun darin, dass im geschlossenen Zustande derselben, auch bei einer veränderten Höhenlage der Stützpunkte, der Stützendruck von jedem der vier Gurtenden eines Trägers stets $\frac{1}{4}$ des Eigengewichtes, überhaupt jeder gleichförmig und stetig vertheilten Belastung beträgt. Ein Nachtheil derselben liegt in der geringeren seitlichen Stabilität und in der indirecten Uebertragung des Druckes von Untergurt zu Untergurt im ausgeschwenkten Zustande.

Einen Ueberblick über deren Formen und Maassverhältnisse in m giebt folgende

Zusammenstellung gleicharmiger Drehbrücken.

Nr.	Bezeichnung der Brücke	Trägergattung	Länge l	Armlängen	Lichtweiten	Höhe h	$\frac{h}{l}$ *)	Bemerkungen
1. Mit Blechträgern.								
A. Zweigeleisige Eisenbahnbrücken.								
1.	Ousebrücke bei Goole	Stumpfer Parabelträger mit geradem Untergurt	76	—	2 × 30,5	5,03—1,2	$\frac{1}{7,3}$	Mit Rollkranz
2.	Ousebrücke, North-Eastern-Bahn		53,68	—	2 × 18,9	4,3—1,0	$\frac{1}{6}$	Desgl.
3.	Hauptcanal, Geestemünde		—	—	2 × 18,3	2,2—1,2	—	Desgl.
4.	Oosterdocksluis, Amsterdam	Stumpfer Parabelträger mit geradem Obergurt	49,74	24,1	2 × 21	3,0—1,5	$\frac{1}{8}$	Ohne Rollkranz
5.	Nordseecanal, Zaandam		49,74	24,1	2 × 21	3,0—1,5	$\frac{1}{8}$	Desgl.
6.	Oderbrücke, Berlin-Stettin	Mit geradem Obergurt und gebrochenem Untergurt	45,20	22,61 u. 22,14	2 × 16,3	2,3—1,6	$\frac{1}{10}$	System Schwedler
7.	Elbebrücke, Hohnstorf		38,60	18,8	2 × 14	1,75—1,32	$\frac{1}{10,7}$	Desgl.
8.	Parnitzbrücke, Stettin		35,7	17,9 u. 17,43	2 × 12,6	1,67—1,24	$\frac{1}{10,7}$	Desgl.
9.	Kahnfahrtbrücke, Berlin-Stettin		35,7	17,9 u. 17,43	2 × 12,6	1,6—1,2	$\frac{1}{10,7}$	Desgl.
B. Strassenbrücken.								
10.	Kattenburgplein, Amsterdam	Stumpfer Parabelträger mit geradem Obergurt	60,0	29,5	2 × 24	2,13—1	$\frac{1}{14}$	Ohne Rollkranz
2. Mit Fachwerk- oder Gitterträgern.								
A. Zweigeleisige Eisenbahnbrücken.								
11.	Mississippi, Keokuk	Stumpfer Parabelträger mit geradem Untergurt	114,7	2 × 57,3	2 × 48,8	8,24—10,68	$\frac{1}{6,95}$	—
12.	Charlottebrücke, Nordamerika	Trapezträger	93,2	—	2 × 40	10,7—6,9	$\frac{1}{5,2}$	—

*) $\frac{h}{l}$ bedeutet das Verhältniss der grössten Höhe zur grössten Armlänge der Träger.

Nr.	Bezeichnung der Brücke	Trägergattung	Länge l	Armlängen	Lichtweiten	Höhe h	$\frac{h}{l}$ *)	Bemerkungen
13.	Passaicbrücke, Newark, N.-J.	Parallelträger	67,2	—	2 × 28,4	6,71	$\frac{1}{5}$	3 Träger mit Bahn unten
14.	Wijnstraat, Rotterdam	Stumpfer Parabelträger mit oberem geradem Gurt	52,75	2 × 26,37	—	2,6—1,04	$\frac{1}{10,1}$	
15.	Königshafen, Rotterdam		53,80	2 × 26,9	2 × 21	2,6—1,04	$\frac{1}{10,3}$	
16.	Maas, Dordrecht	Stumpfer Parabelträger mit geradem Untergurt	53,64	2 × 26,82	2 × 21	2,6—1,04	$\frac{1}{10,3}$	
17.	Grosse Weser, Bremen		47,7	2 × 23,84	2 × 18,24	3,5—0,76	$\frac{1}{7,4}$	
18.	Maas, Dordrecht	Desgl. mit geradem Obergurt	34,78	2 × 17,39	2 × 12	2,0—0,8	$\frac{1}{8,7}$	
B. Eingleisige Eisenbahnbrücken.								
19.	Normalien d. Keystone Bridge Co.	Stumpfer Parabelträger mit geradem Untergurt	93	2 × 46,5	2 × 41,5	10,4—7,1	$\frac{1}{4,47}$	—
20.	Hollandsch Diep, Moerdijk	Desgl. mit geradem Obergurt	40,65	2 × 20,33	2 × 16	2,75—1,4	$\frac{1}{7,4}$	—
C. Strassenbrücken.								
21.	Point Street, Providence	Stumpfer Parabelträger mit geradem Untergurt	76,7	2 × 38,3	2 × 33	7,62—2,75	$\frac{1}{5,3}$	—
22.	Peguonoc, Bridgeport		64,1	2 × 32	—	10,4—7,1	$\frac{1}{4,47}$	—
23.	New Castle upon Tyne	Parabelträger	62,8	2 × 31,4	—	7,6	$\frac{1}{4,13}$	—
24.	Chicago	Stumpfer Parabelträger mit geradem Untergurt	60	2 × 30	2 × 23	8,5—3	$\frac{1}{3,53}$	—
25.	Walcheren, West Souburg		48,25	2 × 24,12	2 × 20	3—1,7	$\frac{1}{8,04}$	—
D. Eisenbahn-Strassenbrücken.								
26.	Mississippi, Atchinson	Trapezträger	112,8	2 × 56,4	2 × 49	11,6—9	$\frac{1}{5,72}$	—
27.	Mississippi, Quincy	Desgl.	111,3	2 × 55,6	2 × 49	10,7—8	$\frac{1}{5,2}$	—

Aus derselben ergibt sich, dass gleicharmige Blechbrückenträger bis zu Längen von 76 m, bei Lichtweiten von je 30 m und mit Pfeilverhältnissen von $\frac{1}{14}$ bis $\frac{1}{6}$; gleicharmige Fachwerk- und Gitterträger bis zu Längen von rund 115 m bei Lichtweiten von rund je 50 m und mit Pfeilverhältnissen von $\frac{1}{10,3}$ bis $\frac{1}{3,53}$ zur Ausführung gekommen sind. Wo die verfügbare Constructionshöhe nicht geringere Pfeilverhältnisse vorschreibt, empfehlen ökonomische Rücksichten solche von etwa $\frac{1}{8}$ für Blechträger und von etwa $\frac{1}{6}$ für Fachwerk- und Gitterträger.

β) Die Träger der ungleicharmigen Drehbrücken erhalten, wenn sie einflügelig sind, entweder gerade parallele Gurten, s. Fig. 27, 30 u. 38, oder Gurte, wovon der eine gerade, der andere gebogen oder gerade gebrochen ist, s. Fig. 25 u. 34; wenn sie zweiflügelig sind, meist Gurte, wovon der obere gerade, der andere convex oder concav gebogen, s. Fig. 49, oder gerade gebrochen ist, s. Fig. 50 u. 52. Dieselben werden zur Zeit stets continuirlich und bei geringeren Spannweiten aus Blech, s. Fig. 25, 27, 49 u. 50, bei grösseren Spannweiten aus Fachwerk, s. Fig. 30, 34 u. 52, construiert. Eine Uebersicht über deren Formen und Maassverhältnisse in m giebt nachstehende

Zusammenstellung ungleicharmiger Drehbrücken.

Nr.	Bezeichnung der Brücke	Trägergattung	Länge l	Armlängen	Lichtweiten	Höhe h	$\frac{h}{l}$ *)	Bemerkungen
1. Mit Blechträgern.								
A. Eingleisige Eisenbahnbrücken.								
1.	Ysselbrücke, Zütphen	Träger mit gebrochenem Untergurt	39	—	15,7 u. 16,8	2,5—1,25	$\frac{1}{12}$	—
2.	Canal de la Radelle, Aigue Mortes	Parallelträger	22,7	12,06 u. 9,04	1 × 8	0,87	$\frac{1}{13,8}$	—
3.	Peenebrücke, Anclam	Desgl.	19,46	13,91 u. 5,3	1 × 11,31	1,26	$\frac{1}{11,1}$	—
4.	Huntebrücke, Elsfleth	Desgl.	18	14,4 u. 4,0	1 × 12,3	1,20	$\frac{1}{11,7}$	—
B. Strassenbrücken.								
5.	Hull South Brücke	Stumpfer Parabelträger mit geradem Untergurt	51,54	37,2 u. 14,3	1 × 30,5	{ 3,35—1,37 } { 3,35—2,64 }	$\frac{1}{11,1}$	Mit Rollkranz
6.	Sculcoatesbrücke, Kingstone upon Hulle	—	34,44	—	1 × 17,1	—	—	—
7.	Nieuwe Vaart, Amsterdam	Stumpfer Parabelträger mit geradem Obergurt	27,4	16,6 u. 10,8	12,1 u. 7,5	1,55—0,55	$\frac{1}{10,7}$	Ohne Rollkranz
8.	Nieuwe Heerengracht, Amsterdam	Trapezträger	25,05	15,4 u. 19,7	10,8 u. 4,6	1,04—0,64	$\frac{1}{14,8}$	Desgl. schief
9.	Damrak, Amsterdam	Stumpfer Parabelträger mit geradem Obergurt	20,10	12,1 u. 8,0	6,75 u. 4,75	1,31—0,46	$\frac{1}{9,2}$	Ohne Rollkranz
10.	Canale grande, Triest	Trapezträger	18,12	13,12 u. 5,0	1 u. 9,47	0,58—0,29	$\frac{1}{22,6}$	—
2. Mit Fachwerk- und Gitterträgern.								
A. Zweigeleisige Eisenbahnbrücken.								
11.	Victoriabrücke, Leith	Stumpfer Parabelträger mit geradem Untergurt	65,2	44,8 u. 20,4	1 × 36,6	8,23—2,13	$\frac{1}{5,44}$	—

*) $\frac{h}{l}$ bedeutet das Verhältniss der grössten Höhe zur grössten Armlänge der Träger.

Nr.	Bezeichnung der Brücke	Trägergattung	Länge l	Arm- längen	Licht- weiten	Höhe h	$\frac{h}{l}$ *)	Bemerkungen
B. Strassenbrücken.								
12.	Mottlau, Danzig	Parallelträger	22,6	16,8 u. 5,8	1 × 13,2	1,42	$\frac{1}{11,8}$	Bahn oben
13.	Willemsvaart, Zwolle	Desgl.	23,55	14,15 u. 9,4	1 × 12,05	1,5	$\frac{1}{9,4}$	Bahn unten
14.	Weserschleuse, Hameln	—	18,7	13,1 u. 5,6	1 × 11,6	1,31—0,73	$\frac{1}{10}$	—
C. Eisenbahn-Strassenbrücken.								
15.	Bassin national, Marseille	{ Stumpfer Parabelträger mit geradem Untergurt	62	38,4 u. 23,6	1 × 28	3,75—1,5	$\frac{1}{10,2}$	3 Träger
16.	Bassin Joliette, Marseille	Parallelträger	42,9	27,14 u. 14,56	1 × 21,3	2,62	$\frac{1}{10,4}$	Bahn unten

Aus derselben folgt, dass ungleicharmige Blechbrückenträger bis zu Längen von über 50 m mit grössten Armlängen von nahe 40 m bei Lichtweiten bis zu 30 m und mit Pfeilverhältnissen von nahe $\frac{1}{23}$ bis nahe $\frac{1}{9}$, ungleicharmige Fachwerk- und Gitterträger bis zu Längen von über 65 m mit grössten Armlängen von nahe 45 m bei Lichtweiten bis über 36 m und mit Pfeilverhältnissen von rund $\frac{1}{5}$ bis $\frac{1}{12}$ zur Ausführung gekommen sind. Aus ökonomischen Gründen dürften daher hier, wenn die verfügbaren Constructionshöhen nicht geringere Pfeilverhältnisse vorschreiben, solche von circa $\frac{1}{10}$ für Blechträger und von circa $\frac{1}{7}$ für Fachwerkträger zu empfehlen sein.

Die Querschnittsformen der Blechträger sowie der Gurten und Stäbe der Fachwerkträger sind denjenigen der festen Brücken ähnlich. Die Blechträger erhalten einen mehr oder minder starken T-förmigen Querschnitt, s. u. a. Taf. 5, mit hinreichend ausgesteiften Stehblechen, während die Gurten der gegliederten Träger von geringerer und grösserer Spannweite meist einen bezw. T- oder L-förmigen Querschnitt, s. u. a. Taf. 6, die Zugstäbe derselben meist einen mehr oder minder flachen rechteckigen, die Druckstäbe derselben meist einen L-, T- oder +förmigen bei geringeren, einen massiven oder gegliederten I-förmigen Querschnitt bei grösseren Längen erhalten.

b) Querverbände.

Die Drehbrücken bedürfen gleich den festen Brücken verticaler Querverbände zur Erhaltung der lothrechten Stellung der Träger und horizontale Querverbände zur Erhaltung der Grundrissform dieser Brücken.

a) Die verticalen Querverbände werden entweder schon durch Querträger, s. Taf. 5, durch rechteckige Rahmen mit gekreuzten Diagonalen, welche zwischen die Hauptträger eingeschaltet werden, s. Fig. 21 u. 28, wenn die Brückenbahn oben liegt, oder durch Fachwerke, s. Taf. VI, gebildet, wenn die Brückenbahn unten liegt und genügende Trägerhöhe vorhanden ist. Der Abstand der verticalen Querverbände richtet sich nach der Höhe, Stärke und Anordnung der Hauptträger und beträgt zwischen 15 und 3 m. Eine besondere Stärke erfordern sie an den Drehvorrichtungen und Trägerenden.

β) Die horizontalen Querverbände haben den Stössen sowohl des Windes und des Verkehrs als auch des Aus- und Einschwenkens zu widerstehen und sind deshalb verhältnissmässig stärker zu construieren, als diejenigen der festen Brücken. An Trägern von geringerer Höhe bringt man einen, meist der Brückenbahn möglichst nahen, an Trägern von grösserer Höhe mit oben liegender Brückenbahn einen doppelten, meist zwischen die Gurten eingeschalteten, bei solchen mit unten liegender Brückenbahn nur dann einen doppelten, zwischen die Gurten eingeschalteten Windverband an, wenn die Träger über den für den Verkehr frei zu haltenden Raum hinausragen, s. Taf. VI,

*) $\frac{h}{l}$ bedeutet das Verhältniss der grössten Höhe zur grössten Armlänge des Trägers.

Fig. 2, 11 u. 12. Die Transversalen dieser Windverbände erhalten bei kleinen Brücken L-förmigen, bei grösseren Brücken massiven oder zusammengesetzt L-förmigen, s. Taf. VI, Fig. 14, und I-förmigen; die Diagonalen runden, s. Taf. VI, Fig. 15, oder rechteckigen Querschnitt, s. Taf. V, Fig. 2.

c) Zwischenlager.

a) Die Zwischenlager der Rollkranz-Drehbrücken.

Der untere, zur unmittelbaren Aufnahme der Laufrollen dienende Laufkranz wird, um der Abnutzung beim Betriebe möglichst zu widerstehen, am besten aus Hartguss oder Stahl angefertigt, erhält eine der Form der Laufrollen entsprechende, wagrechte, s. Fig. 76 u. 77, oder geneigte Oberfläche, s. Fig. 40 u. 55, und wird durch Steinschrauben mit dem aus Quadern bestehenden oberen Theile des Drehpfeilers fest verbunden. Bei grösseren Brücken werden die Laufkränze aus mehreren, mit Radialarmen versehenen Theilen zusammengesetzt und mit verschiedenen massiven, s. Fig. 40, oder hohlen Querprofilen, s. Fig. 54, versehen, welche bei genügender Tragfähigkeit ein nicht allzu grosses Gewicht veranlassen. Nicht schwer belastete Laufkränze können aus Eisenbahnschienen gebaut werden. Um ungleiche Senkungen des Laufkranzes zu vermeiden, muss derselbe sorgfältig zusammengesetzt, genau und fest gelagert, eventuell — wie bei einer Strassendrehbrücke in Rotterdam — mit Justirungsvorrichtungen versehen werden.

Auch die Laufrollen werden meist aus Hartguss hergestellt und bei grösseren Drehbrücken selbst mit Stahlbandagen, wie an der Ousebrücke bei Goole, versehen. Sie erhalten theils cylindrische, s. Fig. 76 u. 77, theils konische Gestalt, s. Fig. 40 u. 54, und vollen oder hohlen Querschnitt, s. Fig. 40. Je nach der Grösse der Brücke erhalten dieselben Durchmesser von 20 bis 50 cm bei Breiten von 10 bis 25 cm und radial gestellte Achsen, welche mit einem inneren, guss- oder schmiedeisernen und mit einem äusseren, möglichst steifen, am besten aus Profileisen bestehenden Ring drehbar oder — besser — fest verbunden sind. Im letzteren Falle drehen sich die Laufrollen um ihre Achsen, während das Rollengestell an Festigkeit gewinnt. Die Laufrollen aller Stützbrücken, deren Hauptlast von einem Drehzapfen getragen wird, werden leichter und zwar meist nach Art der Eisenbahnräder ausgeführt. Anordnungen dieser Art zeigen die Figuren 4 u. 5 der Tafel V sowie die Figuren 21, 22 und 23 der Tafel VI.

Der obere, auf den Laufrollen ruhende, zur Aufnahme der Drehbrückenträger dienende Laufkranz wird theils aus Gusseisen oder besser, wegen der auf diesen Theil des Lagers am nachtheiligsten wirkenden Nässe, aus Schmiedeeisen oder Stahl hergestellt. Ein gusseiserner oberer Laufkranz besteht aus einem äusseren Ring mit rechteckigem oder trapezförmigem Querschnitt, s. Fig. 40 u. 55, bei kleineren, oder I-förmigem Querschnitt, s. Fig. 7, bei grösseren Brücken, welcher durch eine entsprechende Zahl von Radialarmen mit einem starken, meist mit einer Oeffnung für den Drehzapfen versehenen Mittelstück, s. Fig. 40, verbunden ist. Längere Radialarme verbindet man etwa in ihrer Mitte durch besondere concentrische Ringe, s. Fig. 7. Die Laufkränze selbst werden mit den Hauptträgern zu einem festen Ganzen verbunden, s. Fig. 53.

Obere Laufkränze aus Schmiedeisen erhalten meist I-förmigen, entweder massiven, s. Taf. VI, Fig. 3, oder zusammengesetzten Querschnitt mit starken Untergurten, wobei man das kreisförmig gebogene Stehblech aus einzelnen, unter sich verlaschten Stücken bestehen lässt. Bei grösseren Drehbrücken wendet man auch U-förmige Querschnitte an, woran man zugleich die Rollenlager befestigen kann, s. Taf. VI, Fig. 22. Mit diesen Laufringen werden die Hauptträger der Drehbrücken zu einem festen Rahmen verbunden, s. Fig. 56 sowie Textfig. 67 u. 68.

Der nur zur Führung dienende Drehzapfen der Rollkranzbrücken, welcher also einen Verticaldruck nicht zu erleiden hat, erhält weder Spurpfanne noch Druckhaupt, derselbe wird vielmehr nur in den unteren Laufkranz eingelassen, s. Fig. 54, und dort in einzelnen Fällen durch wagrechte Splinte, s. Fig. 55, so festgestellt, dass er sich nicht mitdrehen kann. Wo der Drehpfeiler aus einzelnen äusseren Röhren mit einer Centralröhre besteht, kann die letztere, wenn sie mit einem geeigneten Haupte versehen wird, zugleich den Drehzapfen aufnehmen, s. Fig. 7.

β) Die Zwischenlager der Stützzapfenbrücken.

Wo die Drehzapfen die Führung und zugleich die Stützung der Drehbrücke zu übernehmen haben, wird die letztere unterstützt, aufgehängt oder auf den Drehzapfen festgekeilt.

Die vom Zwischenlager unterstützten Drehbrücken drehen sich entweder mittelst Pfannen auf den unten befestigten, etwas hervorstehenden Stützzapfen, s. Fig. 74, oder gewöhnlich mittelst Stützzapfen auf den unten befestigten Pfannen, s. Fig. 58 u. 81, was durch entsprechende Schmiervorrichtungen möglichst erleichtert wird, und können in beiden Fällen durch Schrauben, s. Fig. 74 u. 81, oder Keile, s. Fig. 58, lothrecht etwas gehoben und gesenkt, bisweilen auch durch Schrauben oder Keile genau centrirt werden, s. Fig. 58. Der obere Theil dieser Stütz- und Drehvorrichtung wird meist mit einem mehr oder minder hohen gusseisernen Gehäuse umgeben, welches zwischen zwei gusseisernen, s. Fig. 74, oder zwei schmiedeiserne, s. Fig. 58, 59 u. 81, Querverbände der Hauptträger fest eingeschraubt wird, während der untere Theil derselben durch gusseisernen, mit Versteifungsrippen versehene und mit dem Pfeilermauerwerk verankerte Lagerplatten unterstützt und festgehalten wird, s. Fig. 58, 74 u. 81. Um eine sichere Führung grosser Brücken beim Drehen zu erreichen, hat man dieselben auf sehr hohe, in ausgesparten Lagerkammern des Mauerwerkes gelagerte Zapfen gestützt, welche durch einen Kranz wagrechter Frictionsrollen in lothrechter Stellung erhalten werden, s. Fig. 92. Unter die Zwischenlager, welche die Träger der Drehbrücken direct unterstützen, gehören noch die in Fig. 25 u. 26, 30, 31 bis 36 u. 85 dargestellten Vorrichtungen, welche eine Hebung und Senkung durch bezw. ein Vorgelege, durch hydraulischen Druck und durch ungleicharmige Hebel zulassen.

Die am Zwischenlager aufgehängten Drehbrücken erhalten gewöhnlich einen starken, mit dem Mauerwerk verankerten, meist gusseisernen Stuhl, den Königsstuhl, der den schmiedeisernen oder stählernen Zapfen aufnimmt, der das meist gusseisernen, mit einer verstärkten Spurpfanne versehene Druckhaupt trägt, woran die zur Aufhängung der Brücke erforderlichen Hängbolzen befestigt sind, s. Fig. 50 u. 51, 27 bis 29 und Fig. 40. Der Königsstuhl wird auch in Form eines umgekehrten, mit breitem Rande versehenen, gusseisernen Trichters angewandt, welcher mittelst eines stählernen Kopfes das durch eine verstärkte Spurpfanne verstärkte Druckhaupt, s. Fig. 27—29, oder ein aus zwei Theilen bestehendes Druckhaupt trägt, zwischen welche nach einem, dem Amerikaner Seller patentirten Verfahren eine oder zwei Frictionsrollenkränze eingeschaltet werden, s. Fig. 80. Bei diesen Antifrictionsdrehlagern laufen stumpfkegelförmige Stahlwalzen zwischen stählernen, mit erhöhten Rändern versehenen Ringen, welche das Schmiermaterial zurückhalten.

Die auf den Drehzapfen festgekeilten Drehbrücken

erhalten ein aus zwei Theilen bestehendes Zwischenlager, wovon der untere Theil einen starken, mit dem Mauerwerk verankerten, oben mit stählerner Spurpfanne versehenen Stuhl, der obere Theil einen glockenförmigen Theil bildet, worin der Drehbolzen steckt und durch einen durchgehenden, mittelst Gewinde beweglichen Keil gehoben und gesenkt werden kann, s. Fig. 45.

Die Stützzapfen werden fest angeordnet, wenn die Trägerenden mittelst besonderer Vorrichtungen vor dem Ausschwenken genügend gesenkt und nach dem Einschwenken hinreichend gehoben werden können. Hierbei wird die geringste mechanische Arbeit erfordert. Trotz des vermehrten Kraftaufwandes fehlt es jedoch nicht an Drehbrücken mit lothrecht beweglichen Stützzapfen, mittelst deren die ganze Brücke vor dem Ausschwenken von ihren Endlagern abgehoben und nach dem Einschwenken wieder auf dieselben niedergelassen werden kann. Diese Verticalbewegungen werden theils auf rein mechanischem Wege, theils durch hydraulischen Druck hervorgebracht. Im ersteren Falle steckt entweder der unten mit Schraubengewinde versehene Drehzapfen in einer Mutter von entsprechender Grösse, welche durch ein Vorgelege in Drehung versetzt werden kann, s. Fig. 25 u. 26, wobei sich erst der Drehzapfen hebt und dann die Brücke um 90° dreht, oder der Drehzapfen wird durch ungleicharmige Hebel gehoben, deren kürzere Arme unter einen durch denselben gesteckten Splint greifen, während die längeren Arme durch auf ihnen rollende Gewichte allmählig niedergedrückt werden, s. Fig. 85. Die Hebung von Drehbrücken durch Wasserdruck erfolgt durch Einführung des Druckwassers unter den in einem starken Cylinder enthaltenen Stützzapfen, welcher hierbei durch eine mit Frictionsrollen versehene Führung in lothrechter Stellung erhalten wird. Die Drehbewegung wird hierbei meist ebenfalls durch hydraulischen Druck, jedoch mittelst besonderer Cylinder und Kolben hervorgebracht.

d) Die Endlager.

Sind die zur Lagerung der beim Ausschwenken durchgebogenen Trägerenden dienenden Mittel nur zu deren Unterstützung im durchgebogenen Zustande bestimmt, so bestehen dieselben theils in festen, normal zur Brückenachse drehbaren Rollen, auf welche man die Brücken beim Einschwenken auflaufen lässt, theils in schlanken, nach dem Einschwenken mechanisch untergeschobenen Keilen oder in aufwärtsgedrehten excentrischen Scheiben, s. Fig. 88. Um bei unsymmetrischer Belastung ein Abheben der unbelasteten Trägerarme von ihren Endlagern und die dann beim Aufahren auf dieselben entstehenden Stösse zu vermeiden, verriegelt man die Trägerenden im durchgebogenen Zustande, indem man mittelst Seilscheibe, Zahnstange und Getriebe Riegel in das Mauerwerk oder in gelochte, mit dem Mauerwerk verankerte Gussplatten der Endpfeiler schiebt, s. Fig. 86. Um die im durchgebogenen Zustande der Trägerarme herrschenden nachtheiligen Spannungen zu beseitigen, sucht man in neuerer Zeit die durch das Eigengewicht hervorgerufene elastische Durchbiegung nach dem Einschwenken der Brücke durch eine Hebung der Trägerenden theilweise oder ganz aufzuheben. Hierbei werden die zur Hebung bestimmten Mechanismen entweder auch zur Lagerung der Trägerenden benutzt oder zum Schutz vor Abnutzung mit besonderen, nach Hebung der Trägerenden, unter dieselben eingeschalteten, aus Böcken, Pendeln, Keilen oder Rollen bestehenden Stützen versehen.

a) Endlager mit excentrischen Scheiben oder Kurbelzapfen. Excentrische Scheiben oder Kurbelzapfen, welche zur Hebung und Stützung zugleich dienen, finden sich nur bei kleinen Drehbrücken und haben den Nachtheil, dass sie sich infolge der gleitenden Reibung rasch abnutzen und dann, bei ungenügender Hebung der Trägerenden, beim Befahren der Brücke nachtheilige Stösse veranlassen. Bei Anwendung von Frictionsrollen, s. Fig. 46, wird die Abnutzung und infolge der alsdann eintretenden rollenden Reibung auch die Heбungsarbeit geringer. Bei grösseren Drehbrücken, deren Trägerenden durch excentrische Scheiben oder Kurbelzapfen mit Frictionsrollen mit-

telst geeigneter Vorgelege gehoben und sodann durch drehbare Pendel, s. Taf. V, Fig. 19 u. 20, oder durch verschiebliche Rollen, s. Taf. II, Fig. 20, unterstützt werden, entsteht der Vortheil, dass die Abnutzung gering ist und die Stützung eine stets gleiche Höhenlage der Trägerenden ermöglicht. Vor Ausschaltung der Stützen behufs Ausschwenkung der Brücke müssen die Trägerenden etwas gehoben werden, um die Stützen frei zu machen und, nachdem dies geschehen ist, die Trägerenden senken zu können. Die zur Hebung und Senkung der Trägerenden und zur Einschaltung der Pendel und Rollen erforderlichen Mechanismen zeigen bezw. die Fig. 19 u. 20, Taf. V, und die Fig. 17 bis 20, Taf. II.

β) Die Endlager mit Keilen. Die gleichzeitig zum Heben und Stützen der Trägerenden dienenden Keile werden entweder normal, s. Fig. 64 u. 65, oder besser parallel, s. Taf. VI, Fig. 24 u. 25, zur Brückenachse angeordnet und bestehen in Keilpaaren mit parallelen Aussenflächen, wovon die unteren mittelst gezahnter Stangen und geeigneter Vorgelege vor- und zurückgezogen werden können. Hierbei sind die unteren Keile entweder zusammenhängend und heben oder senken die Trägerenden bei einer und derselben Bewegungsrichtung, s. Fig. 64 u. 65, oder getrennt und heben oder senken die Trägerenden bei entgegengesetzter Bewegungsrichtung, s. A, Fig. 27, Taf. II, und Fig. 81—83, Taf. I, da die Stützvorrichtung der Drehbrücke über die Hunte bei Elsfleth mit derjenigen der Krahnbrücke über den Georgsfehneanal übereinstimmt. Im ersteren Falle wirken die bei Verschiebung der Keile auftretenden horizontalen Seitenkräfte verschiebend auf die Träger, während sie sich im letzteren Falle gegenseitig aufheben.

γ) Die Endlager mit Kniehebeln. Kniehebel werden theils zum Heben, Senken und Stützen der Trägerenden zugleich, s. Fig. 42, 78 u. 79, theils nur zum Heben und Senken, s. Fig. 8, verwendet, während zum Stützen besondere Klötze eingeschaltet werden, s. C, Fig. 9. Die Bewegung der Kniehebel erfolgt entweder durch mechanische Vorrichtungen, s. Fig. 42, 78 u. 79, oder durch hydraulischen Druck, s. Fig. 8, in welchen Fällen die Kniehebel durch einen und denselben Mechanismus gleichzeitig gehoben und gesenkt werden. Hierbei sind die Kniehebel entweder unter dem Trägerende und über dem Auflager, s. Fig. 42, oder nur unter dem Trägerende, s. Fig. 8, 78 u. 79, drehbar befestigt, in welchem letzteren Falle die unteren Hebelarme zur Verminderung der Reibung mit Frictionsrollen versehen werden, s. Fig. 78 u. 79.

δ) Die Endlager mit Schraubenwinden. Die zum Heben und Senken der Endlager dienenden Schraubenspindeln werden durch Hülsen geführt, welche entweder auf dem Pfeiler, s. Fig. 75, oder unter den Trägerenden, s. Fig. 30 u. 87, befestigt und theils von den Endauflagern der Träger, theils von dem Drehpfeiler aus durch Vorgelege mit langen, mehrfach gelagerten Wellen a, Fig. 38, Taf. 2, in auf- oder abgehende Bewegung versetzt werden. Die horizontalen, zur Bewegung dienenden Wellen erhalten eine Schraube ohne Ende, welche in ein an der Spindelmutter befestigtes Schraubenrad eingreift, durch deren Vor- oder Rückwärtsdrehung die Spindel gehoben oder gesenkt wird, s. Fig. 39, 75 u. 87.

e) Die Drehungsmechanismen.

Bei gleicharmigen Brücken werden sie auf den Strompfeilern, bei ungleicharmigen Brücken auf den Landpfeilern und im letzteren Falle bei doppelten Brücken so angeordnet, dass die Drehung beider entweder in derselben Richtung auf einem, s. Taf. II, Fig. 48, oder in verschiedenen Richtungen auf beiden Landpfeilern erfolgt, s. Taf. II, Fig. 44.

α) Die durch Bedienungsmannschaft bewegten Zahnradmechanismen, welche bei Rollkranz- und Stützzapfenbrücken Anwendung finden, bestehen meist in kleinen, um lothrechte Achsen drehbaren, gezahnten Triebrädern, welche in meist gusseiserne, nahe an dem Umfange der Drehpfeiler mit dem Mauerwerk verankerte Zahnkränze eingreifen, s. Taf. II, Fig. 40, 47 u. 54, und mittelst Stock-

schlüssel, s. Taf. V, Fig. 5, Kurbel und Rädervorgelege, s. Taf. II, Fig. 40, oder Tummelbaum in Drehung versetzt werden, ausnahmsweise in Getrieben, welche in ein seitlich gezahntes Laufrad, s. Taf. II, Fig. 37, eingreifen. Im ersteren Falle wird entweder Zahn- und Laufkranz vereinigt, s. Taf. II, Fig. 54, 76 u. 77, und dann der Zahnkranz wegen des grösseren Hebelarmes der drehenden Kraft vortheilhafter aussen als innen angebracht oder beide sind, um den Zahnkranz von etwaigen Deformationen des Laufkranzes unabhängig zu machen, getrennt, s. Taf. II, Fig. 40, und dann der Zahnkranz am zweckmässigsten nach aussen verlegt, um die Hebelsarme, woran die drehende Kraft und der Reibungswiderstand wirkt, möglichst bezw. zu vergrössern oder zu verkleinern. Grössere Brücken dieser Gattung erfordern zwei und mehr der erwähnten Bewegungsmechanismen, s. Taf. II, Fig. 16, welche gleichzeitig und möglichst gleichmässig zu bedienen sind.

β) Die hydraulischen Drehungsmechanismen werden meist bei grösseren Drehbrücken angewandt und bestehen bei einarmigen Drehbrücken meist in Seil- oder Kettenrädern, um welche Seile oder Ketten geschlungen sind, die durch je einen, s. Taf. II, Fig. 41, oder durch je zwei, s. Taf. II, Fig. 35, hydraulische Cylinder in links oder rechts drehende Bewegung versetzt werden. Das Druckwasser wird entweder, bei günstiger Lage des Rohrnetzes und hinreichendem Druck, einer vorhandenen Wasserleitung entnommen, durch besondere Dampfmaschinen erzeugt, welche man an der Brücke aufstellt, oder durch geeignete, mit Dampfmaschinen in Verbindung stehende Accumulatoren, s. Taf. 2, Fig. 7, geliefert. Bei zweiarmigen Drehbrücken setzen die hydraulischen Cylinder entweder einen ähnlichen oder einen Zahnradmechanismus in Bewegung, welcher in einen Rollkranz eingreift, s. Taf. II, Fig. 7. Die Vortheile der hydraulischen Drehvorrichtungen bestehen in der grossen Regelmässigkeit der erzeugten Bewegung und in der Möglichkeit, sie jederzeit nach Belieben zu reguliren, die Nachteile in dem verhältnissmässig geringen Nutzeffect und während des Winters in der Gefahr des Einfrierens des Wassers, welcher man durch Erwärmung des Maschinenraumes oder durch Ersatz des Wassers durch Glycerin vorzubeugen sucht.

γ) Die durch Dampfkraft bewegten Drehmechanismen, welche besonders in Amerika zum Oeffnen und Schliessen grosser Drehbrücken verwendet werden, bestehen in Dampfmaschinen von der nöthigen Stärke, welche sammt den erforderlichen Kesseln entweder unter, s. Taf. VI, Fig. 21, über oder neben, s. Taf. II, Fig. 76, den Hauptträgern der Brücke angebracht werden und meist ein Zahnradvorgelege sammt einem in einen Zahnkranz eingreifenden Triebrad in Bewegung setzen. Obwohl die Dampfmaschinen einen grösseren Nutzeffect als die hydraulischen Maschinen liefern, so arbeiten sie doch wegen der Expansionsfähigkeit des Dampfes weniger stetig als die letzteren.

f) Die Feststellvorrichtungen.

Die zur Feststellung der Drehbrücken im geschlossenen Zustande dienenden Vorrichtungen bestehen theils in gusseisernen, mit Nasen versehenen Unterlagplatten, gegen welche die Enden der Untergurten anstossen, theils in schmiedeisernen, an einem Ende drehbar befestigten Haken, welche hinter jenen Nasen einfallen und das Zurückgehen der Brücke hindern, s. Taf. II, Fig. 83. Solche Einklinkungen, welche sich bei bedeutenden Stössen rasch abnutzen und dann nicht fest schliessen, kommen deshalb höchstens an kleinen Drehbrücken vor und werden besser durch Riegel ersetzt, welche entweder von dem Landpfeiler aus nach dessen Einschwenken in den drehbaren Ueberbau eingeschoben und vor dessen Ausschwenken aus demselben herausgezogen, s. Taf. II, Fig. 84, oder meist von der Mitte des beweglichen Ueberbaues aus in entsprechende Vertiefungen der Landpfeiler eingeschoben bezw. aus demselben herausgezogen werden, s. Taf. II, Fig. 86. Die zum Vor- und Zurückschieben der Riegel dienenden Mechanismen bestehen theils in umlegbaren Gewichten, theils in von Hand bewegten, mit Gegengewichten verbun-

denen Stellhebeln, theils in kleineren Zahnradern, welche mittelst Drahttransmissionen, s. Taf. II, Fig. 86, oder mittelst Transmissionswellen, s. Taf. II, Fig. 13, gedreht werden und hierbei in entsprechende Verzahnungen der Riegel eingreifen. Die American bridge Co. wendet Riegel an, welche beim Einschleiben durch Plattenfedern in entsprechende Vertiefungen des Widerlagers geschnellt und vor dem Ausschwenken durch besondere Zugstangen zurückgezogen werden. Ausser den horizontalen hat man auch verticale Riegel, ja bei einzelnen Brücken grösserer Sicherheit halber beide zugleich angebracht, s. Taf. II, Fig. 17 u. 21. Die verticalen Riegel werden vor dem Ausschwenken entweder mittelst Drahtseilen oder Zugstangen u, s. Taf. II, Fig. 17, durch Winkelhebel x gehoben und gleiten beim Einschwenken längs einer gebogenen Schiene A, Fig. 21, bis sie vermöge ihres eigenen Gewichtes in eine entsprechende Oeffnung der letzteren herabfallen, oder sie werden durch einen Schraubenmechanismus auf- und abwärts geführt, wobei der Riegel entweder in eine auf dem Pfeiler befestigte Hülse oder eine Riegelhülse a in den ebendasselbst befestigten Riegel m eingreift, s. Taf. II, Fig. 78. Um einen genauen Anschluss der beweglichen und festen Theile der Geleise einer Eisenbahndrehbrücke zu erzielen, hebt man auch die ersteren vor dem Ausschwenken etwas aus ihren, mit den letzteren gemeinschaftlichen, Lagern und lässt sie nach dem Einschwenken wieder auf diese Lager herab, s. Taf. II, Fig. 78.

Um bei der nach dem Einschwenken erforderlichen seitlichen Begrenzung der Bewegung Stösse zu vermeiden, hat man in einzelnen Fällen entweder die Trägerenden aussen mit Puffern versehen, welche gegen gusseiserne, mit den Pfeilern fest verbolzte Nasen stossen, s. Taf. II, Fig. 82, oder man hat solche Puffer an den Pfeilern selbst angebracht. Der elastische Widerstand wird entweder bei kleineren Brücken durch Federn oder bei grösseren durch hydraulischen Druck hervorgebracht. Die Federpuffer erfordern beim Einschwenken der Brücke die möglichste Einhaltung derjenigen Geschwindigkeit, für welche ihre Federn bemessen sind, während die hydraulischen Puffer so eingerichtet werden können, dass sie sich der jeweiligen Geschwindigkeit der sich schliessenden Drehbrücke nicht nur anpassen, sondern auch einen allmähig wachsenden Widerstand entwickeln. So ist bei dem in Fig. 93 dargestellten hydraulischen Puffer der neuen Drehbrücke in Marseille der gusseiserne Receptor f bei l cylindrisch und im Inneren zwischen h und c mit allmähig erweiterten Nuthen versehen, steht durch das bei d einmündende Rohr mit den zum Drehungsmechanismus gehörigen hydraulischen Cylindern in Verbindung und wird so vor und hinter dem Kolben d mit Druckwasser gefüllt. Die an eine auf dem Schlitten b gleitende Frictionsrolle a' stossende, mittelst der Kolbenstange k den Kolben bewegende Brücke findet zunächst geringen Widerstand, welcher sich während der Kolbenbewegung infolge des sich verengernden Receptorquerschnittes allmähig steigert und, sobald der Kolben an dem erwähnten cylindrischen Theile i, welcher nun nur durch das Rohr g mit dem hinter dem Kolben befindlichen Theile f des Receptors in Verbindung steht, angelangt ist, am grössten wird.

g) Die Signalvorrichtungen.

Die zur Sicherung des Betriebes dienenden Signalvorrichtungen werden entweder für sich angebracht und dann so eingerichtet, dass sie so lange das Zeichen „halt“ geben, als die Brücke noch nicht fest eingestellt ist, dass aber dieses Zeichen in besonderen Fällen auch bei fest eingestellter Brücke gegeben werden kann, oder sie werden mit der Vorrichtung zum Heben und Senken, s. Taf. II, Fig. 46, 12 u. 13, oder mit der zum Feststellen, s. Taf. II, Fig. 91, und Taf. V, Fig. 16 u. 20, in Verbindung gebracht. Die Verbindung der Signale mit den Heb- und Senkmechanismen besteht entweder in einem Hebelwerk, wobei ein am einen Arm mit regulirbarem Gegengewicht versehener Doppelhebel mit dem anderen, gabelförmig gestalteten Arm einen Excenter hebt und gleichzeitig die Signalstange dreht,

s. Taf. II, Fig. 46, oder in einem Zahnradmechanismus, wo dieselbe Welle, welche bei ihrer Drehung das Trägerende hebt und senkt, mittelst eines aufgekeilten, verticalen, konischen Zahnrades in einen an der Signalstange befestigten, horizontalen, konisch gezahnten Quadranten eingreift und so gleichzeitig das Signal dreht, s. Taf. II, Fig. 12 u. 13. Da beide Mechanismen zu beiden Functionen einiger Zeit bedürfen, so erfolgt der Signalwechsel allmähig und kann bei halber Stellung zu Irrthum Veranlassung geben. Sicherer erscheint daher eine Verbindung der Signalvorrichtung mit dem Fixirungsmechanismus, welche den Signalwechsel erst nach erfolgter Feststellung der Brücke und dann plötzlich bewirkt. Zu diesem Zweck dreht entweder der Riegel, nachdem er bereits in die entsprechende Oeffnung des Pfeilers vorgeschoben ist, eine Welle a, s. Taf. II, Fig. 91, welche die Signalstange in Drehung versetzt, s. Taf. V, Fig. 16 u. 20, oder eine Welle C, s. Taf. II, Fig. 17, 19 u. 20, durch deren Drehung die Unterstüzung der Trägerenden bereits erfolgt ist, setzt durch Vermittelung einer Zugstange v und eines kleinen Doppelhebels u, Fig. 17, zwei Kegelräder r und s in Eingriff, worauf die Drehung der Signalstange mittelst der Kurbeln B B, Fig. 19, erfolgt. Auch durch Senkung von Verticalriegeln z hat man Zahn- oder, s. Taf. II, Fig. 17, Kronräder in Eingriff gesetzt und dann erst durch Vermittelung von Ketten ohne Ende d, Fig. 17, die Drehung der Signalstange bewirkt. Damit das Signal sicher bemerkt wird, bringt man dasselbe bei portalartigen Brückenenden auch wohl oben und unten an und setzt dann beide Signale durch eine aus Kegelrädern bestehende Uebertragung gleichzeitig in Bewegung, s. Taf. II, Fig. 24.

7. Die Schiffbrücken (Taf. I, Fig. 85—110).

A. *Allgemeine Anordnung.* Die Schiffbrücken, welche eine auf Pontons (Brückenschiffen) ruhende, mehr oder minder elastische, mit dem Steigen und Fallen des Wassers sich hebende und senkende Brückenbahn besitzen, haben entweder einen Strassenverkehr, wie die Schiffbrücken in Mainz, Koblenz und Cöln, oder einen Eisenbahnverkehr in Verbindung mit Strassenverkehr, wie die Eisenbahnschiffbrücken u. a. in Maxau und Speyer, aufzunehmen und werden im Winter ganz, in eisfreier Zeit zur Herstellung der Schifffahrtsverbindung jochweise abgefahren. Die einfachsten Schiffbrücken sind die auf einem Ponton ruhenden, welche, wie die in den Canälen Irlands, deren Wasserstand nur unbedeutend schwankt, gebräuchlichen Pontonbrücken, beim Schliessen der Länge nach in den Canal, beim Oeffnen in eine der Länge und Breite des Pontons entsprechende Nische eingefahren werden, s. Taf. I, Fig. 91 u. 92. Die aus einer Balkenlage mit Bohlenbelag bestehende Brückenbahn ist soviel breiter als der Canal selbst, dass sie während des Landverkehrs auf den Canalwänden ruht, und ist beiderseits mit Brüstungen versehen. Grössere, über Wasserläufe mit mehr oder minder wechselnden Wasserständen führende Schiffbrücken bestehen aus der eigentlichen, auf theils feststehenden, theils ausfahrbaren Pontons ruhenden Brückenbahn und aus den an beiden Ufern erforderlichen, dem jeweiligen Wasserstand entsprechend mehr oder minder steigenden oder fallenden, zur Ab- und Zufuhr bestimmten Brückenrampen, welche theils auf dem Land (Landbrücke), theils auf dem am Ufer befindlichen Joch (Landjoch) ruhen, s. Taf. I, Fig. 85, 86, 99 u. 100. Die Brückenglieder mit feststehenden Pontons werden durch Verankerung der letzteren mittelst Ketten und geeigneter Anker festgehalten. Die Durchlassglieder sind ebenfalls, aber so verankert, dass die Kette mittelst einer Winde ab- und aufgewunden werden kann, um die ersteren mit Hilfe des Steuerruders bzw. aus- und einfahren zu können. Um die Brückenrampen heben und senken zu können, werden in den Schiffen der Landjoch je zwei mit verticalen Schrauben versehene Böcke, wesshalb jene auch Bockschiffe genannt werden, aufgestellt, woran die Brückenbahn regulirbar befestigt ist. In Fig. 85 stellen dd die zur Unterstüzung der Rampe ab dienenden Bockschiffe dar. Aehnliche Böcke

werden bei längeren Landrampen, wie sie besonders bei Eisenbahnverkehr erforderlich sind, zur entsprechenden Hebung oder Senkung derselben angewandt, s. Fig. 99 u. 100, worin CDD die Bockschiffe bezeichnen. Die Brückenschiffe werden entweder aus Holz oder aus Eisen hergestellt und im ersteren Falle mit später zu kalbfaternden und zu theerenden Bohlen oder mit Zinkblech, im letzteren Falle mit Eisenblechen, bekleidet.

B. Specielle Anordnung.

a) Construction der Schiffe.

Die Pontons der Schiffbrücken erhalten zur Erhöhung ihrer Tragfähigkeit und gleichzeitigen Verminderung ihrer Eintauchung paralleltrapezförmigen Querschnitt mit schwach geneigten Seitenwänden, s. Taf. I, Fig. 89, 94 u. 103, und zur Verminderung des Aufstaus bogenförmig zugeschärfte Enden mit etwas geneigten Schneiden, s. Fig. 98 u. 100 bis 102. Die Höhe der Pontons wird gewöhnlich zu 1,25 bis 1,5 m, deren Breite dem Zwei- bis Dreifachen ihrer Höhe und deren Länge dem Fünf- bis Fünfeinhalbfachen ihrer Breite gleich angenommen, wobei die Tauchung je nach der Belastung 0,25 bis 0,75 m beträgt.

Der Körper hölzerner Brückenschiffe besteht aus deren Gerippe, welches im Querschnitt aus den eintheiligen oder zusammengesetzten knieförmigen Spanten *r*, Fig. 87 u. 88, und den mit ihren oberen Enden verbundenen Quersteifen *u*, Fig. 88, im Längenschnitt aus dem Vor- und Hintersteven, s. Fig. 100 u. 102, und aus deren Haut, welche aus einer äusseren kalbfaternten und getheerten Bekleidung aus Längsbohlen unten und an den Seiten gebildet wird. Bei eisernen Brückenschiffen werden die Spanten, Quersteifen und Steven aus gebogenen bzw. geraden Winkel- oder T-Eisen, die Schiffshaut aus Eisenplatten hergestellt, welche von aussen so an die Spanten und Steven genietet sind, dass sie eine glatte Fläche bilden. In beiden Fällen werden diejenigen Spanten, an deren über die Seitenwände hervorragenden Enden die Ankerketten befestigt werden, stärker gewählt und bei hölzernen Schiffen durch die erwähnten Quersteifen nebst eisernen Querbolzen verbunden.

β) Construction der Brückenbahn.

Die Bahn von Strassenschiffbrücken besteht meist aus 0,75 bis 1 m von einander entfernten Streckbalken, worauf ein aus Querbohlen bestehender, mit Saumschwellen eingefasster, einfacher oder doppelter Bohlenbelag ruht, s. Fig. 101, während bei Eisenbahnschiffbrücken die Fahrschienen direct von einfachen oder doppelten, durch Querbalken verbundenen Langschwellen unterstützt werden, s. Fig. 102. In beiden Fällen ruht die Brückenbahn nicht nur auf den Seitenwänden, sondern durch Vermittelung verstreuter Pfosten und Fussgestelle auch auf dem Schiffsboden, s. Fig. 88, 89, 101 u. 102. Die Bahnen benachbarter Glieder werden so vereinigt, dass sie möglichst fest zusammenhängen, aber gleichwohl den Schwankungen der Pontons nachgeben und leicht getrennt werden können. Zu diesem Zwecke lässt man auf beiden Seiten kurze Balkenstücke *b b*, s. Fig. 105 u. 106, die sogen. Röddelbalken von einer Bahn zur anderen übergreifen, welche man mittelst eiserner Bänder, der sogen. Röddelbänder, und Keile *c*, s. Fig. 105, oder Bügel und Druckschrauben *f*, s. Fig. 106, gegen die Bedielung und die Streckbäume presst. Die Längsverbinding wird im letzteren Falle durch eine Spannkette mit Druckhebel hergestellt. Zur Sicherung gegen ein Auseinandergehen der Brückenglieder werden auf jeder Seite der Bahn Verbindungsschienen angebracht, welche mit den Streckbalken einerseits durch Schraubenbolzen fest, andererseits durch Ohrstifte so verbunden sind, dass sie leicht gelöst werden können. Die zur Verbindung der Rampen mit den Landjochen, sowie der Durchlassglieder mit den übrigen Brückengliedern dienenden Röddelbalken werden mit Charnieren versehen, welche bei Eisenbahnschiffbrücken zur Milderung der Stösse auf Federn ruhen, s. Fig. 108. Die Kuppelungsvorrichtungen an den Durchlässen bestehen bei Strassenbahnen meist aus einarmigen, um *x* drehbaren Druckhebeln *y*, s. Fig. 109,

Heinzerling, Bewegliche Brücken.

welche sich zwischen die U-förmigen Bänder *w* legen und hier mittelst Keilen an die Röddelbalken gepresst werden; bei Eisenbahnen meist aus Charnierbändern *u*, welche die Längsverbinding herstellen und mittelst der Vorsteckstifte *t*, s. Fig. 107, festgehalten werden, sowie aus Riegeln *r*, welche in je zwei Bügel eingreifen und mittelst des zweiarmigen, um *o* drehbaren Hebels *p q* vorgeschoben und zurückgezogen werden können.

γ) Construction der Durchlässe.

Die Durchlässe bestehen, je nach der erforderlichen Durchlassweite, in 1 bis 3 Brückenschiffen mit dem entsprechenden Theile der Brückenbahn von analoger Construction. Die zum Aus- und Einfahren erforderliche Winde muss in der Querachse des Durchlasses stehen, wird also bei 1 und 3 Schiffen, s. Fig. 100, unmittelbar auf dem Verdeck, bei zwei Schiffen auf einem flussabwärts angebrachten, auf Querbalken ruhenden Podium, s. Fig. 100, aufgestellt. Um die aus mehreren Schiffen bestehenden Durchlässe wirksamer lenken zu können, werden deren Steuer *aa*, s. Fig. 100, durch Querstangen *b* drehbar verbunden. Wo das Aus- und Einfahren nicht durch Menschenkraft, sondern durch Dampf oder comprimirt Luft zu bewirken ist, bringt man Dampfkessel und Dampf- oder Luftmaschine auf dem Einbau der Pontons an, welcher der Feuersicherheit halber auch bei hölzernen Schiffen aus Eisen hergestellt wird. Anstatt der gewöhnlichen Durchlässe hat die in Fig. 93—98 dargestellte Aalborger Schiffbrücke eine Schiffdrehbrücke *p*, s. Fig. 93, mit einer in der Brückenachse gemessenen Spannweite von 21 m erhalten, deren aus eisernen Brückenträgern und hölzernen Querträgern bestehender Ueberbau sich um einen schmiedeisernen, auf dem letzten Schiffe des benachbarten Joches angebrachten Zapfen *o*, s. Fig. 94 u. 95, dreht und daselbst mittelst zweier gusseiserner Rollen *r* von 31,4 cm Durchmesser und 10,4 cm Breite längs eines auf dem Schiffsdeck angebrachten Laufkranzes hin- und herrollt. Das vordere Ende der Drehbrücke ruht mittelst eines besonderen Drehzapfens auf einem besonderen Schiffe, s. Fig. 98, welches beim Oeffnen der Brücke eine entsprechende Schwenkung zu machen hat. Fig. 94, 96 u. 97 zeigen diese Anordnung mit den Anschlüssen an die benachbarten festen Joche.

δ) Verankerung.

Die Brückenschiffe werden in Strömen, wo auf Sturmwinde nicht Rücksicht zu nehmen ist, nur stromaufwärts, andernfalls auch stromabwärts verankert. Hierbei erfordern meist je zwei oder je drei Schiffe einen Anker. Die Anker erhalten meist zwei Arme und eine der zu erwartenden grössten Anspruchnahme entsprechende Stärke, die Ankerketten meist längere, durch kurze Kettenglieder verbundene Glieder. Zur Verbindung der Schiffe unter sich dienen Kreuzspannketten aus gewöhnlichen Kettengliedern, s. Fig. 100, welche mit Spannvorrichtungen versehen werden. Bei den Schiffbrücken auf Gewässern mit wechselnder Stromrichtung, wie im Fluthgebiet, müssen die Brückenschiffe und Durchlässe nach den beiden verschiedenen Richtungen der Strömung hin verankert sein, auch müssen die Durchlässe so eingerichtet werden, dass sie nach diesen beiden Richtungen hin aus- und eingefahren werden können.

ε) Construction der Schiffbrückenrampen.

Die Rampen von Strassen- und Eisenbahn-Schiffbrücken werden für grösste Gefälle von bzw. 5 bis 6 und 2 bis 3,5% angelegt und im ersteren Falle meist aus starken hölzernen Querschwellen mit Streckbäumen und Bohlenbelag nebst Saumschwellen, im letzteren Falle, der grösseren Belastung entsprechend, aus eisernen Querträgern mit hölzernen Langschwellen und Bohlenbelag zwischen und neben den Fahrschienen, s. Fig. 104, construiert. In beiden Fällen ruhen solche Bahnen auf Bockgerüsten, welche, um das Gefälle dieser Rampen dem jeweiligen Wasserstande anpassen zu können, mit Heb- und Senkvorrichtungen versehen und so eingerichtet sein müssen, dass sie dem

erforderlichen Gefälle und der grössten vorkommenden Belastung entsprechen. Die Rampen werden in den meisten Fällen mit am Ufer und auf dem ersten Schiff, s. Fig. 85, seltener mit nur auf dem ersten Schiff befindlicher Drehachse angeordnet, s. Fig. 94. Fig. 104 stellt die zum Heben oder Senken einer Eisenbahnschiffbrückenrampe dienende Schraube *s* dar, welche unten in einem festen Lager steht und sich oben in einer festen Führung dreht, während sie

mittels der Kurbel *k* sowie des Zahnrades und der gezahnten Mutter bei *t* in links oder rechts drehende Bewegung versetzt wird und hierdurch die mit den Querträgern des Schienengeleises verbundene Mutter bzw. senkt oder hebt. Die Strassenbahnträger, welche auf starken eisernen Bolzen ruhen, die man durch passende, in den Joehständern angebrachte Oeffnungen steckt, werden mit Hilfe einiger Zugwinden gehoben und gesenkt.

IV. Beschreibung und statisch-numerische Berechnung.

Taf. I. Uebersicht über die Roll-, Hub-, Zug-, Klapp- und Schiffbrücken.

1. Die Rollbrücken. Fig. 1—16.

Fig. 1—3. Der Barmouth-Viaduct der Cambrian-Eisenbahn. Die beiden Hauptträger *abc* der Ueberrollbrücke ruhen auf den Achsen der etwas rechts von dem Brückenschwerpunkte angebrachten Laufräder *e*, s. Fig. 3, damit die Brücke nach dem Vorrollen selbstthätig sich schliesst. Vor dem Zurückrollen wird das spitze Ende *c* der Hauptträger, s. Fig. 1, niedergedrückt, wodurch ein Zahnrad mit der gezahnten Unterkante derselben in Eingriff kommt. Nun kann die Brücke mittelst eines Vorgeleges *g*, s. Fig. 1 u. 2, hin- und zurückgerollt werden, wobei die Rolle *c* durch eine Leitschiene geführt und zugleich niedergehalten wird.

Fig. 4—6. Der Kent-Viaduct der Ulverstone-Lancaster-Bahn. Die beiden Hauptträger der in einem längeren, auf gusseisernen Säulen ruhenden Viaducte befindlichen Unterrollbrücke *ab*, s. Fig. 4, ruhen im geschlossenen Zustand auf den Pfeilern *a*, auf den Rollen *e* und auf den Excentern *f*, und können mittelst des Zahnrades *d*, s. Fig. 4 u. 6, welches in eine unter der Brückenbahn angebrachte Zahnstange eingreift, nach Senkung des Excenters *f* bis in die Lage *ab* zurückgerollt werden, wobei sie sich nach und nach auf die Rollen *e*, *h* und *g* legen und endlich gegen die Pfeileransätze *b'* stemmen.

Fig. 7 u. 8. Häge's Project einer Rollbrücke mit aufgehängener Fahrbrücke. Die über zwei Oeffnungen von gleicher Weite reichenden, festgelagerten Hauptträger *f*, s. Fig. 8, sollen die Geleise *e*, s. Fig. 7, aufnehmen, worauf die Rollbrücke im geschlossenen Zustande ruht und, um die Durchfahrtsöffnung für Schiffe frei zu machen, in der angegebenen Richtung verschoben werden kann.

Fig. 9 u. 10. Guthrie's Rollbrücke mit Stützstreben. Die nach der Landseite hin nicht verlängerten Hauptträger werden in ihren Schwerpunkten *d* durch gusseiserne Streben unterstützt, welche bei *b* mittelst Gelenken in ihren Schwerpunkten aufgehängt und bei *c*, s. Fig. 9, mit Frictionsrollen versehen sind. Die Führungsschiene *ce* ist so geformt, dass beim Zurückschieben der Hauptträger nur die Rollen- und Zapfenreibung zu überwinden bleibt. Vgl. deren statische Berechnung, II, 3.

Fig. 11. Doppelte Rollbrücke. Ihre Brückenbahn ruht im geschlossenen Zustande auf festen Rollen und auf drei durch Gelenke *d* drehbar mit ihr verbundenen Pfosten *f*. Vor dem Zurückrollen werden letztere aufgewunden und die um die Angeln *a* drehbaren — vorher nach Anhebung durch die Schrauben *c* von untergeschobenen Querschwellen *a* unterstützten — Pritschen nach Herausnahme dieser Querschwellen mittelst Zurückdrehen der Schrauben herabgelassen.

Fig. 12. Die schiefe Rollbrücke wird auf den schrägen, versenkten Geleisen *ab cd ef* mittelst der Rollen *a c c' e e'* statt nach der Achsenrichtung der Brücke seitlich verschoben.

Fig. 13. Fusssteg in den Surrey-Docks. Die

Brückenbahn dieser Ueberrollbrücke endigt in Stufen *t* und wird mittelst der Kurbel *c* und des in einen Zahnkranz des Laufrades *q* eingreifenden Zahnrades *f* vor- und zurückgerollt.

Fig. 14 u. 15. Hydraulische Rollbrücke im Hafen von Sunderland. Vor dem Oeffnen wird die Brücke durch den in dem verticalen hydraulischen Cylinder *e* befindlichen Kolben um 61 cm gehoben, wodurch die Rollen *c* und *a* bzw. in die Höhe *g* und *f* gelangen, während das mit den Haken *k* versehene Brückenende sich um die Walzen *i* dreht. Das Vor- und Zurückrollen der Brücke wird durch zwei auf dem Pfeiler wagrecht gelagerte hydraulische Cylinder bewirkt, welche ebenso wie ihre Kolben je drei Kettenrollen *o* tragen, über welche eine einzige zusammenhängende Kette läuft, deren Enden *pq* an der Brücke befestigt sind. Während ein Kolben vorwärts geschoben wird, geht der andere rückwärts.

Fig. 16. Rollbrücke über den Severn in der Tewkesbury-Malvern-Eisenbahn. Der zum Zurückrollen der Brücke *aabb* auf den Rollen *r* erforderliche Raum wird durch Umlegen eines hinreichend langen Stückes Landgeleis bewirkt, dessen Träger *cc* an den mit Zahnkranz versehenen Scheiben *ii* mit den Achsen *dd* befestigt sind und mittelst der durch den Zahnradmechanismus *k* bewegten Schrauben ohne Ende um einen Winkel von 90° gedreht werden können.

2. Die Hubbrücken. Fig. 17—23.

Fig. 17—19. Hubbrücke über den Rhein-Marne-Canal bei den Salinen de Rosières. Im geschlossenen Zustande ruht die 14,4 m lange, bewegliche, aus Blechträgern und Consolen *D* (s. Fig. 19) construirte Hubbrücke auf den Mauern des 12 m breiten Canalbettes. Beim Oeffnen wird die durch Gegengewichte *g* ausbalancirte Hubbrücke mittelst der auf einer festen Fussgängerbrücke *hh* gelagerten Rollen *bede*, über welche die Ketten *bb'* und *ee'* bis zu der Windtrommel *a*, die Ketten *cc'* und *dd'* bis zu der Windtrommel *a'*, s. Fig. 18, geführt sind, mittelst der Aufzugsvorrichtungen *v* und *v'* gleichmässig bis zur Lage *D'E'* gehoben, währenddessen die beiden, auf den 4,7 m hohen schmiedeisernen Ständern ruhenden Bankett-Träger *h* durch Vermittelung zweier Treppen einen ununterbrochenen Fussverkehr herstellen.

Fig. 20 u. 21. Hubbrücke über den Erie-Canal in Utica. Im geschlossenen Zustande wird die aus hölzernen Längs- und Querbalken mit Bohlenbelag bestehende, bewegliche Brückenbahn durch die auf den Mauern des 18 m breiten Canales und durch die an dem Untergurt *s* der festliegenden Hauptträger hängenden Tragstangen *ii* unterstützt. An die oberen Enden dieser Tragstangen schliessen sich Drahtseile an, welche erst durch die hohlen Verticalen *k* der Hauptträger und dann über Rollen führen, wo sie durch Gegengewichte *q*, s. Fig. 21, ausbalancirt sind. Beim Aufziehen der 10000 kg schweren Brückenbahn werden die beiderseitigen, jenen Rollen gemeinsamen Wellen *ee* durch die zunächst der Brückenmitte ange-

brachte Querwelle d und die mit ihr verbundenen Kegelräder gleichzeitig in Drehung versetzt. Zur Erleichterung der Oeffnung und Schliessung der Brücke stehen mit jener Querwelle zwei — in hohlen Ständern an den Rollen a aufgehängte — Treibgewichte durch zwei über die Rollen abc geführte Drahtseile in Verbindung. Die Treibgewichte werden mittelst des horizontalen Trittrades, dessen Achse unten auf einem Kugelzapfen ruht und oben ein Kegelrad trägt, das durch einen Ausrücker behufs Hebung oder Senkung der Brückenbahn mit dem einen oder anderen Kegelrade der Welle d in Verbindung gesetzt werden kann, bezw. auf- oder abgewunden. Um Stösse zu vermeiden, erreichen die dem doppelten Werthe der Reibungswiderstände entsprechenden Treibgewichte ihre tiefste Lage bei halber Hebung oder Senkung der Brückenbahn, während die letzte Hälfte beider unter Einwirkung der erlangten Beschleunigung und der allmählig zunehmenden Reibung zurückgelegt wird. Das Auf- und Niederbewegen der Brücke und der Treibgewichte — letzteres durch einen Mann — erfordert bezw. etwa 10 und 60 Sekunden.

Fig. 22 u. 23. Die Brückenbahn der Friedrichsbrücke in Dresden, welche zur Ueberführung einer Strasse über eine Eisenbahn dient, ist in c und d durch Charniere mit den dreieckigen Armen gezahnter Sektoren verbunden, welche unten in die auf feststehenden Rollen wagrecht verschiebbliche Zahnstange ick eingreifen und mittelst des die letztere bewegenden Vorgeleges n um die Achsen e und e' gedreht werden können, wobei sich die Brückenbahn ab in die Lage a'b' hebt. Da bei dieser Hebung, wobei die Gegengewichte g nach g' gelangen, diesen ein Theil ihrer Wirkung verloren geht, so dient das um die Achse s drehbare Gewicht r zum Ersatze dieses Verlustes.

3. Die Zugbrücken. Fig. 24—44.

Fig. 24 u. 25. Strassenzugbrücke über den Canal St. Martin. Die Drehachsen der zwei, den 7,75 m weiten Canal überspannenden Flügel, welche aus je fünf Streckbäumen r und je zwei Querriegeln — durch Eisenbänder verbunden — bestehen und durch je drei, von Hängstangen o gehaltene, bei m drehbare Streben unterstützt werden, sind 9 m von einander und je 5,5 m von den ihnen zugehörigen Drehachsen der Ziehbäume entfernt. Die Querriegel nn sind an den Enden mit eisernen Bändern versehen, durch welche justirbare Bolzen zur Befestigung der Zugketten gesteckt, während letztere mittelst eiserner Umschliessungsbänder an die vorderen Enden der Ziehbäume befestigt sind. Die Ziehbäume, deren eiserne Drehzapfen von unten in sie eingelassen sind, ruhen auf den durch die Pfosten f und Querriegel e gebildeten Portalen, insbesondere auf den an jene Pfosten angeschraubten gusseisernen Lagern und sind hinten durch Querbalken p und Diagonalbalken q mittelst schmiedeiserner Bänder verbunden, wodurch zugleich das Gewicht beider Arme ausgeglichen wird. Um Klemmungen beim Handhaben der Zugketten zu vermeiden, haben die Flügel ungleiche Länge erhalten, während die Lager der Flügelachsen so an die Ständer befestigt sind, dass das eine mit deren Vorder-, das andere mit deren Hinterfläche abschneidet. Damit das Gelände beim Aufziehen nicht hindert, ist dasselbe derart mit Gelenken versehen, dass es sich hierbei an den Flügel legt.

Fig. 26 u. 27. Zugbrücke über den Nyhavn's Canal in Kopenhagen. Die beiden je 4,71 m langen, im geschlossenen Zustande mit 1:40 geneigten Flügel nehmen eine 4,4 m breite Fahrbahn und zwei je 1,1 m breite Bankette auf und bestehen aus flachen, mit den Querbalken fe verzapften Streben, an welche die zur Unterstützung der Querschwellen ss erforderlichen, durch besondere Streben bei i unterstützten Bohlen befestigt sind. An den beiderseits vorstehenden Enden der mittleren Querschwelle sind die Stahlbolzen l befestigt, um welche sich die mit den vorderen Enden k der eisernen, im Querschnitt kastenförmigen Ziehbäume drehbar verbundenen Zugstangen drehen. Die beiden Ziehbäume, deren hintere Enden mit Bleikugeln gefüllte Kästen tragen, drehen sich um die auf starken Pfosten gelagerten Zapfen d, wäh-

rend die rückwärts verlängerten Stirnbalken der Flügel sich um die Bolzen o drehen. Die Bewegung der Brücke wird durch die an das Gegengewicht befestigte, über mehrere Rollen geführte und auf die durch ein Windevorgelege bewegte Scheibe b sich aufwickelnde Kette bewirkt. Zur Sicherung gegen Seiten- und Verticalschwankungen dienen bezw. die Flacheisen n und die am Geländer befestigte Schraube a, welche nach dem Schliessen der Brücke in eine entsprechende Vertiefung des Gegengewichtes geschraubt wird und zugleich, indem sie dieses etwas hebt, die vorderen Enden der Flügel aneinanderpresst. Jeder Flügel kann durch einen Mann in 50 Sekunden geöffnet und geschlossen werden.

Fig. 28—30. Belidor's Zugbrücke mit sinusförmiger Leitcurve, s. S. 23 u. 40.

Fig. 31—33. Derché's Zugbrücke mit spiralförmiger Leitcurve, s. S. 24 u. 40.

Fig. 34. Bergère's Zugbrücke mit fahrbaren Doppelhebeln in den Aussenwerken von Mons, s. S. 22 u. 40.

Fig. 35. Lacoste's Zugbrücke mit sich absetzenden Gewichten, s. S. 24 u. 40.

Fig. 36. Nöggerath's Zugbrücke mit Cardioiden- oder Kreispendeln. Da die Belidor'sche Leitcurve, sowie deren Endlager, beim Zusammenfallen des Punktes D mit C'' (s. Textfig. 50) und des Punktes F mit dem Schnittpunkte einer Wagrechten durch C'' und einer Lothrechten durch E eine Cardioide wird, so will Nöggerath¹⁾ — behufs einfacherer Herstellung der Leitcurve — die Zugkette S'C mit dem durch das Gegengewicht g beschwerten Cardioidenpendel ni oder annäherungsweise mit einem Kreispendel von dem halben Ausschlagwinkel in Verbindung setzen.

Fig. 37. Bergère's Zugbrücke, deren Flügel ab mittelst der Stange ac und dem in c befestigten Gegengewichte g geöffnet und geschlossen wird, während deren Gesamtschwerpunkt auf einer horizontalen Leitschiene ef mittelst der Rolle d geführt wird.

Fig. 38. Dobbenheim's Zugbrücke mit zwei um o und a drehbaren, bezw. mit den justirbaren Gegengewichten g₁ und g₂, beschwerten Stangen, welche durch eine Kette i verbunden sind und durch letztere auf die über die Welle c geführte, an dem Flügel befestigte Zugkette wirken.

Fig. 39 u. 40. Delille's Zugbrücke mit festen Stangen und auf der Leitcurve ee'' geführten Gegengewichten, s. S. 40.

Fig. 41—44. Poncelet's Zugbrücke mit Gegengewichtsketten, s. S. 24, D, a, und S. 40, e.

4. Die Klappbrücken. Fig. 45—74.

Fig. 45 u. 46. Klappbrücke in Amsterdam. Die sieben Hauptbalken r sind in c auf die Deckbalken w des wasserdichten Kellers drehbar gelagert und tragen an ihrem hinteren Ende das gusseiserne Gegengewicht a. Die Bewegung erfolgt mittelst eines durch Stockschlüssel drehbaren, wagrechten Zahnrades mit 20 cm Durchmesser und des lothrechten Zahnrades a mit 50 cm Durchmesser sammt 35 cm langer, 17 cm starker Kettentrommel o, an welche die über die tief gelagerte Kettenscheibe t von 40 cm Durchmesser geführte, mit dem einen Ende an das Gegengewicht befestigte, 6 kg für den Meter schwere Patentkette angehakt ist.

Fig. 47. Browne's Klappbrücke dreht sich um die Zwischenachse c, wenn mittelst der Kurbel f die Kettenscheibe d in Drehung versetzt und damit die Kette auf- und abgewunden wird, welche das in eine Grube versenkt gedachte Gegengewicht g trägt und an dem Hinterarme der Brückenträger derart befestigt ist, dass das Moment des Kettenzuges demjenigen des Klappengewichtes stets gewachsen ist, während bei senkrechter Stellung der Klappe die Momente beider Null werden.

Fig. 48—50. Klappbrücke in der Langebro zu Kopenhagen. Diese auf hölzernen Jochen ruhende, mit eisernem Oberbau versehene Klappbrücke dreht sich um

¹⁾ Vgl. dessen Aufsatz im Civilingenieur, Jahrg. 1861.

e und ist durch das stets im Wasser hängende Gegengewicht ausbalanciert. Bei geschlossener Brücke legt sich der Hinterarm an den Holm a. Die Drehung jeder Klappe erfolgt durch ein auf der Drehachse sitzendes Zahnrad, welches durch ein fünfsichtiges Vorgelege mit $1/90$ Gesamtübersetzung in Bewegung gesetzt wird.

Fig. 51. Ardagh's Klappbrücke, s. S. 26, b.

Fig. 52. Hölzerne Klappbrücke für kleine Spannweiten, deren Hinterarm a durch eine über eine Rolle r geführte Zugkette mit einer Winde o verbunden ist, durch welche das Öffnen und Schliessen der Klappe bewirkt werden kann.

Fig. 53—57. Klappbrücke in der Knippelsbro am Christianshafen zu Kopenhagen. Die Drehachsen r, s. Fig. 55, dieser Brücke ruhen auf den aus je zwei gemauerten Rundpfeilern p bestehenden Zwischenpfeilern und werden durch die auf sie gekeilten Zahnräder ee mittelst Handbetrieb, Wasser- oder Luftdruck in Drehung versetzt. Die Bewegung von Hand erfolgt durch die Kurbel t, Fig. 57, mittelst der Zahnräder 1 bis 5, wovon das letzte in das mit der Drehachse r festverbundene Zahnrad e eingreift. Bei 432facher Uebersetzung können zwei Arbeiter in 98 Sekunden die Klappe öffnen und schliessen. Die Bewegung durch Wasserdruck, welcher in der Kopenhagener Wasserleitung erzeugt wird, erfolgt durch Einlassen von Wasser in den Cylinder k von 31 cm Durchmesser, welches den Kolben und die damit verbundene, in das Zahnrad e eingreifende Zahnstange z in Bewegung setzt. Bei einem Druck auf den qcm von 4,2 kg und einem Kolbenhub von 118 cm erfolgt das Öffnen und Schliessen der Klappe in etwa 60 Sekunden. Bei Frostwetter wird durch sechs Luftpumpencylinder ii, Fig. 57, der 254 cm lange, 61 cm weite Reservecylinder mit comprimierter Luft gefüllt und diese dem Cylinder k zugeführt, worauf die Bewegung ebenso wie vorher erfolgt. Das Öffnen und Schliessen der Klappe erfordert in diesem Falle 60 bis 70 Sekunden. Beim Öffnen der Klappe senkt sich deren Hinterarm in einen in's Hochwasser tauchenden, wasserdichten Kasten s, beim Schliessen der Klappe legt sich das am Hinterarm befestigte Gegengewicht fest an die Unterfläche des dritten Querträgers der festen Brücke an, s. Fig. 56.

Fig. 58. Klappbrücke mit gezahnten Sektoren. Der um einen Brückenträger a befestigte Sector b greift in die Zahnstange c und versetzt, wenn er gedreht wird, die Klappe in eine drehende und gleichzeitig fortschreitende Bewegung, wobei sich der Hinterarm in einen Keller hinabsenkt.

Fig. 59—62. Klappbrücke über den Festungsgraben in Cöln. Die Drehachse n, Fig. 59, wird durch die beiden äusseren, festen Blechträger, s. Fig. 60, welche den 3,6 m weiten Brückenbalken überspannen, unterstützt. Im geschlossenen Zustande ruhen die Vorderenden der beweglichen Träger auf den gusseisernen Unterlagsplatten r, während die Hinterenden durch Nasen l, s. Fig. 60 u. 61, angehoben und festgehalten sind, welche durch den in Fig. 59 und 61 dargestellten Hebelmechanismus aus- und eingeschaltet werden können. Die Drehung erfolgt mittelst der verticalen, durch einen Stockschlüssel drehbaren Welle e und des in Fig. 59 angedeuteten Mechanismus mit spiralförmiger Kettentrommel h, worauf die am Hinterende der Klappe befestigte kurzgliedrige Kette aufgewunden wird. Um die Klappe in jeder Lage feststellen zu können, ist an der Welle e eine mit Löchern versehene Scheibe f, s. Fig. 59 u. 62, befestigt, in welche der mit den festen Kellerdeckenträgern verbundene Stift s, s. Fig. 62, gesteckt werden kann. Um die Achse o, Fig. 59, dreht sich eine herabhängende Blechplatte, die sog. Schürze, welche bei geöffneter Klappe die Brückenbahn abschliesst.

Fig. 63—65. Augustabrücke in Berlin. Die Klappe dieser Brücke wird um die Drehachse a von A nach A' und von B nach B' bewegt, indem die mittelst Stockschlüssel von der Strasse aus zu bewegende endlose Schraube g den gezahnten Sector f und dessen Welle c, sowie die an der letzteren befestigten Kurbeln i dreht, welche mittelst

der Pleuelstangen de die Hinterklappe um einen Winkel von 18° niederdrücken. Nach dem Schliessen der Klappe wird mittelst des Stockschlüssels w, s. Fig. 63 u. 65, das konische Rad v und u, s. Fig. 65, gedreht, welches letztere mittelst seiner in eine Spindel auslaufenden Welle die Mutter o und den mit ihr verbundenen Riegel r vor- oder zurückschiebt und dadurch das hintere Klappenende bezw. feststellt oder frei macht.

Fig. 66—74. Project der Klappbrücke über den Binnenhafen zu Feijenoord in Rotterdam. Die 10,5 m breite Brückenbahn ist, um auch bei vorkommenden Reparaturen die Brücke benutzen zu können, in zwei Hälften getheilt, wovon jede aus zwei äusseren und zwei inneren Trägern A, A und B, B, s. Fig. 67, besteht, deren verschiedene Querschnitte in den Fig. 68—70 dargestellt sind. Die Seitenansicht der äusseren und inneren Träger ergibt sich aus den Fig. 71 und 72, woraus folgt, dass nur die inneren Träger über die Drehachse x hinaus verlängert und am Hinterende mit einem zur Aufnahme von Gegengewichten bestimmten Blechkasten g sowie mit einem zur Regulirung des Klappenschwerpunktes bestimmten, kleinen, längs einer Schraubenspindel verschieblichen Gegengewicht b versehen sind. Zur Drehung der Klappen dienen die beiden, in Fig. 73 u. 74 bezw. in Aufriss und Grundriss dargestellten, hydraulischen Bewegungsmechanismen. Diese drehen die an den beiden Enden e der Drehachse befestigten, 1,2 m langen Kurbeln mittelst 1,7 m langer, 3 cm starker Presscylinder, 26,2 cm starker Kolben mit 1,543 m Hub nebst 5 bis 7 cm starker, durch beide Cylinderdeckel gehenden Kolbenstangen und je zweier starken, einerseits an dem Kreuzkopf k, andererseits an den Kurbelwarzen drehbar befestigten Kuppelstangen ee um einen Winkel von 80° hin und her. Durch das Rohr w, s. Fig. 73, wird nämlich das Wasser von den Druckpumpen p nach dem doppelt gebohrten — mittelst der mit Kettenscheibe versehenen Welle s regulirbaren — Hahne o geführt, von wo es durch die mit dem Presscylinder der zweiten Brückenklappe in Verbindung stehenden Röhren n, m entweder vor oder hinter den Kolben gelangt. Das gebrauchte Wasser steigt durch die Röhre h in das möglichst hoch stehende Reservoir f, von wo es wieder zu den Pumpen zurückfliesst, deren Kolben 11,8 cm Durchmesser besitzen und die mittelst Verticalwelle k und Vorrichtung q zwischen 12 und 30 cm regulirbare Hubhöhe annehmen können. Diese Vorrichtung wird sammt den Pumpenkolben durch zwei excentrische, an der Verticalwelle l befestigte Scheiben r in Bewegung gesetzt, während die Welle l entweder mittelst Druckbäumen durch Menschenkraft oder mittelst Riemscheibe durch einen Gasmotor gedreht werden sollte. Bei 30 Atmosphären Druck und Windstille sollten zwei Mann an jeder Klappe dieselbe in 80 Sekunden öffnen oder schliessen können.

5. Die Krahnbrücken. Fig. 75—84.

Fig. 75 u. 76. Canalbrücke bei Zwolle. Die ungleich langen, um s drehbaren Hauptträger von 4220 und 4068 kg Gewicht sind als Blechträger mit ausgesteiftem Stehblech construiert und durch die drehbaren Querstangen d oben und e unten, welche erstere in passende Schlitze des Verticalbleches eingreifen und welche letztere unter den Untergurten befestigt sind, drehbar verbunden. Die Wendesäule s ruht in einer vertieften, gusseisernen Pfanne und wird mit Schellbändern von dem Träger umfasst, während ein ihr oberes Ende umfassender Halsring b durch gabelförmige Anker a fest mit dem Mauerwerk verbunden ist. Die Ausschwenkung, wobei sich die Hauptträger nebeneinanderlegen, erfolgt durch den in Fig. 76 dargestellten, gezahnten Quadranten, in welchen das mittelst einer Winde drehbare Zahnrad m eingreift. Das Anheben der vorderen Trägerenden zur Verbindung der Schienenenden und zur Entlastung der Halseisen erfolgt durch die excentrischen Scheiben r, während die seitliche Fixirung durch die an der Welle i sitzenden, das Verticalblech fassenden Klauen erfolgt.

Fig. 77—83. Krahnbrücke über den Georgs-

fehncanal. Die beiden, die Fahrschienen direct aufnehmenden Blechträger mit ausgesteiftem Stehblech ruhen im ausgeschwenkten Zustand auf den unten mit Spurzapfen versehenen Wendesäulen, welche auf dem Spurzapfen b, s. Fig. 79, stehen und oben mittelst der Anker h und Ankerplatten i so festgehalten werden, dass ihre Stellung durch die Schraubenspindel mit den Muttern o, s. Fig. 79, und k, s. Fig. 80, regulirt werden kann. Das Aus- und Einschwenken erfolgt mittelst einer durch die Bockwinde f bewegten Zugkette und Zugstange, wobei der Parallelismus der Träger durch die an den Enden v, s. Fig. 81, drehbar befestigten Querstangen erhalten wird. Nach dem Einschwenken wird die Anhebung der vorderen Trägerenden durch die Keile r, s. Fig. 83, welche durch die mit Rechts- und Linksgewinden versehene Spindel gleichzeitig in entgegengesetzter Richtung verschoben werden, bewirkt, während die Feststellung durch die mittelst der verstellbaren Gewichtshebel w vorgeschobenen Riegel a'a', s. Fig. 81, erfolgt. Zur Bewältigung des bei ausgeschwenkter Brücke entstehenden Momentes durch die Mauermaße des ganzen Pfeilers dienen die durchgehenden Queranker l. Die Kosten dieser 6 m im Lichten weiten Krahnbrücke nebst der verschliessenden, 10 m weiten, festen Blechbrücke betragen bei verhältnissmässig hohen Gründungskosten 27 000 Mark.

Fig. 84. Krahnbrücke über die Vecht. Die beiden Hauptträger sind als Blechträger mit parallelen Gurten construiert, welche durch die Winkelbänder d und e mit den auf Spurzapfen ruhenden Krahnsäulen ab verbunden und rückwärts um soviel verlängert sind, dass im geschlossenen Zustande die Trägerenden soviel angehoben werden können, dass Halseisen und Schlusszapfen der Krahnsäulen völlig entlastet sind.

6. Die Schiffbrücken. Fig. 85—110.

Fig. 85 u. 86. Schiffsrampe auf Bockschiffen dd oder auf Bockgerüsten kk. Die das Ufer a mit der auf den Brückenschiffen ee ruhenden Brückenbahn b'e verbindende Rampe a'b' wird, dem wechselnden Wasserstand entsprechend, an den bei grösserer Wassertiefe in den Schiffen aufgestellten, bei geringerer Wassertiefe in das Flussbett eingerammten Gerüsten höher oder niedriger gestellt, wobei die Länge und Stärke der Rampe die Zahl dieser Gerüste bedingt.

Fig. 87—90. Construction hölzerner Brückenschiffe und Schiffbrückenbahnen. Grundriss und Querschnitt der Brückenschiffe ergibt sich aus Fig. 87 und 88, 89, woraus zugleich hervorgeht, dass das Gerippe des Schiffes aus ein- oder zweitheiligen Kniehölzern r und s, die Schiffshaut aus einem theils einfachen, theils doppelten Bohlenbelag, die Querverbindung aus überkämmten Querschwellen u, z, s. Fig. 88 u. 89, besteht. Die in Fig. 88 u. 89 dargestellte Brückenbahn wird durch Pfosten m mit oder ohne Streben n unterstützt, welche erstere behufs besserer Druckvertheilung auf Bohlenstücken oder Fusschwellen ruhen und Kopfschwellen tragen, welche meist in Längsbalken x der Brückenbahn eingelassen sind und — ebenso wie die Bolzen t — die Brückenbahn mit den Querschwellen z verbinden, wodurch sie den vorgesehenen Abstand der Schiffe sichern. Die zur Verbindung der Balkenstösse dienenden Röddelbalken werden durch die Bügel t mittelst Keilen an die Balkenenden gepresst. Die an dem Stosse der Brückenrampe und Brückenbahn erforderlichen Röddelbalken erhalten oben ein Gelenk l, s. Fig. 90, und werden mit den Balkenenden der Rampe durch Bolzen, mit denen der Brückenbahn durch Bügel und Keile verbunden.

Fig. 91 u. 92. Irische Pontonbrücke, s. S. 2, 3 und 48.

Fig. 93—98. Lijmfiordbrücke bei Aalborg. Die Brückenbahn dieser im Ebbe- und Fluthgebiet liegenden Schiffbrücke, deren hölzerne, mit Zinkblech bekleideten und mit Verdeck versehenen Pontons wegen der entgegengesetzten Strömung beiderseits verankert sind, kann durch einen nach beiden Seiten hin ausfahrbaren, auf drei Pontons d ruhenden

Durchlass sowie durch eine nach beiden Seiten ausschwenkbare Schiffsdrehbrücke op unterbrochen werden. Die je drei Pontons eines Joches sind mit der darauf ruhenden Brückenbahn behufs leichter Auswechslung schadhafter Schiffe durch Bolzen s, s. Fig. 94 u. 96, verbunden, welche durch die je zwei, an beiden angebrachten Oesen gesteckt sind. Die 21 m in der Brückenachse lange Schiffsdrehbrücke besitzt eiserne Hauptträger und dreht sich um den Zapfen o, s. Fig. 94 u. 95, wobei sie seitlich durch zwei gusseiserne Rollen r von 31,4 cm Durchmesser und 10,4 cm Breite unterstützt wird, welche auf einem, über dem Schiffsdeck angebrachten, schmiedeisernen Laufkranz von 13 cm Breite und 2,6 cm Dicke laufen. Das vordere Ende der Drehbrücke ruht auf einem senkrecht zu ihrer Achse angeordneten, mit der zum Ausschwenken nach beiden Seiten erforderlichen Winde versehenen Schiff, s. Fig. 96 u. 98, welches bei geschlossener Brücke durch die Bolzen s, s. Fig. 96, mit der Brückenbahn des nächstfolgenden Schiffes verbunden wird. Diese feste Verbindung, welche man der anfangs — behufs Einstellung des beweglichen Brückenschiffes in den Stromstrich — beabsichtigten Lagerung der Brückenbahn auf einem zweiten Drehzapfen z, s. Fig. 96 u. 98, vorzog, hat sich trotz des hierdurch vermehrten Seitendruckes des Wassers vollkommen bewährt.

Fig. 99—110. Strassen- und Eisenbahn-Schiffbrücke bei Maxau. Sie besteht aus zwei je 64,4 m langen Eisenbahn- und zwei je 35,1 m langen Strassenrampen, sowie aus der 234 m langen Schiffbrücke, welche, wie Fig. 99 zeigt, aus zwei Bockjochen von je 20,5 m, aus sechs Durchlassjochen von je 21, 12,5 und 21 m und aus vier Mitteljochen mit je 21 m Länge gebildet wird. Die zehn grösseren dieser Joche ruhen auf je drei, die beiden kleineren auf je zwei Pontons, welche in der im Grundriss, s. Fig. 100, angegebenen Weise verankert sind. Während die Bockschiffe stromauf- und abwärts durch die Ankerketten k festgelegt sind, besitzen die Durchlassjoche, deren Pontons durch regulirbare Kreuzspannketten fest und deren Steuerruder a durch Querstangen b drehbar verbunden sind, nur eine in deren Hauptachse befindliche Ankerkette h, woran sie mittelst der Ankerwinden w und der Steuerruder a bzw. ausgefahren, seitwärts gelenkt und eingefahren werden können. Die 11 Strom-, 2 Wind-, 12 Noth- und 4 Reserve-Anker sind zweiarmig, besitzen eine Länge von 1,84 m und eine von 60 cm oben bis 80 cm unten zunehmende Stärke des Schaftes bei 165 kg Gewicht, während die Ankerketten aus ovalen Gliedern bestehen und bei den Durchlassjochen entsprechend stärker als bei den feststehenden Jochen sind. Die Rampenbahnen sind in Entfernungen von je 5,86 m durch feste Landjoche unterstützt, wovon 11 auf die beim niedrigsten Wasserstande mit 3,5% fallende Eisenbahnrampe, 6 auf die beim niedrigsten Wasserstande mit 5% fallende Strassenrampe kommen. Die Brückenbahn besteht aus der 3,5 m breiten Eisenbahnfahrbahn in der Mitte und aus den je 4,2 m breiten Strassenfahrbahnen an den Seiten, während die 1,4 m im Lichten tiefen Pontons bei den Bockjochen 22,5 m Länge und 4,6 m Breite, bei den Durchlass- und Mitteljochen 20 m Länge und 3,7 m Breite besitzen. Die Construction der Pontons ist aus den Querschnitten, s. Fig. 103 u. 110, und aus den Längenschnitten, s. Fig. 101 u. 102, die Anordnung der Eisenbahn- und Strassenfahrbahn aus Fig. 104 zu ersehen, wobei die zur Unterstützung der Fahrschienen dienenden Langschwellen aus je zwei quadratischen Schwellen von 24 cm Seite, die Stirn- und Zwischenträger der Strassenbrücke bzw. aus doppelten, 24 cm breiten Balken von 24 und 22 cm, an welche zugleich die Brüstungen von aussen angebolzt sind, und einfachen Balken von 20 cm Breite bei 22 cm Höhe mit 8 cm starker Bedielung bestehen. Die Längenverbindungen, welche die nöthige Steifigkeit besitzen und besonders bei den Durchlassjochen ein rasches Oeffnen und Schliessen gestatten, sind in den Fig. 105—109 enthalten, von welchen Fig. 17 u. 18 die Kuppelung des Schienengeleises und der Strassenbahnen an den feststehenden Jochen, die Fig. 107 u. 109 die Kuppelungsvorrichtungen des Schienengeleises und der

Strassenbahnen an den Durchlässen darstellen. Bei der Eisenbahn werden die mit gleichlangen Schienenstücken verbundenen Röddebalken b, s. Fig. 105, zwischen die Langschwelen a eingeschaltet und dort mittelst der lothrechten Charnierbänder und Keile c fest an ihre Unterlage gepresst, während die Schienenstücke durch Laschen mit den anstossenden Fahrschienen verbunden werden. An den Durchlässen erfolgt die Verbindung der Langschwelen durch wagrechte Charnierbänder u mit Vorsteckstiften t, s. Fig. 107, sowie durch Riegel r, welche mittelst des zweiarmigen Hebels in die an den Endquerschwelen befestigten Bügel geschoben werden. Bei der Strassenbahn werden die Pontons durch Spannkette mittelst eines Hebels zusammengezogen und gehalten und die Röddebalken b, s. Fig. 106, zwischen die Saumschwelen eingeschaltet und durch lothrechte Bänder i mittelst der Druckschrauben f an ihre Unterlage gepresst. An den Durchlässen werden die gestossenen Saumschwelen durch den um x drehbaren, zwischen die Verticalbacken w eingelegten Hebel x, s. Fig. 109, in gleiche Höhenlage gebracht und letzterer mittelst an Kettchen befestigter Splinte niedergehalten. Die Verbindung der Eisenbahnlangschwelen zwischen Rampen- und Schiffbrücken-Bahn wird durch Charniere v, s. Fig. 108 bewirkt, wobei der Druck auf die an den verticalen Schraubenspindeln hängenden Unterzüge n durch Federn übertragen wird, welche die Stösse der Räder beim Uebergang von der festen auf die elastische Brückenbahn mildern. Die Regulirung der Rampenbahn nach dem jeweiligen Wasserstande erfolgt bei der Strasse durch einige Zugwinden, worauf man die Strassenquerträger q durch starke eiserne, in die entsprechenden Löcher der Jochständer gesenkte Bolzen unterstützt; bei der Eisenbahn durch die feststehende Schraubenspinde s, welche durch die Kurbel k in Drehung versetzt wird, nebst der lothrecht verschieblichen Mutter f, woran der Querträger der Eisenbahngeleise hängt.

Taf. II. Drehbrücken.

1. Gleicharmige Drehbrücken. Fig. 1—24.

Fig. 1—6, 10, 11. Verschiedene Formen der Träger gleicharmiger Drehbrücken.

Fig. 6—9. Drehbrücke über den Ouse bei Goole in England. Diese durch drei, in Fig. 6 dargestellte, Blechhauptträger unterstützte, 670 t schwere Drehbrücke ruht nur auf dem in Fig. 7 dargestellten Rollkranz, dessen Lauf-ring durch acht Röhren h unterstützt ist, und wird durch einen Drehzapfen geführt, welcher auf einer Centralröhre k angebracht ist. In den — auf den durch Stahlbandagen verstärkten Rollen ruhenden — Zahnkranz c von 9,76 m Durchmesser greift das durch eine hydraulische Maschine mit drei Cylindern von 11,4 cm Durchmesser, 46,2 cm Hub und 50 Atmosphären Druck mittelst des in dem Centralpfeiler angebrachten — durch eine 12pferdige Dampfmaschine hebbaren — Accumulators um 360° bewegbare Zahnradvorgelege. Um das Gefrieren des Druckwassers zu vermeiden, wird der Maschinenraum im Winter durch Gasflammen geheizt, während die hydraulische und Dampfmaschine doppelt vorhanden ist, um bei vorkommenden Reparaturen den Betrieb nicht unterbrechen zu müssen. Die Hebung und Senkung der Brückenenden bezw. vor dem Aus- und nach dem Einschwenken wird durch die ebenfalls hydraulisch betriebenen Kniehebel b, s. Fig. 8, bewirkt, deren untere Ansätze f zugleich die Brücke centriren, worauf die Stützung der Brückenenden durch die gusseisernen Klötze d, s. Fig. 8, mittelst der in Fig. 9 dargestellten Vorrichtung bewirkt wird. Die Feststellung erfolgt durch die Riegel a, s. Fig. 9, welche mittelst eines Hebelwerkes zurückgezogen und durch eine Spiralfeder vorwärts geschneilt werden.

Fig. 10, 83 u. 91. Drehbrücke über die Parnitz in der Berlin-Stettiner Bahn, s. die Beschreibung zu der Taf. V unter IV.

Fig. 11—15. Drehbrücke über den Nordsee-Canal in Zaandam. Die Trägerform dieser zweigeleisigen, auf einem Stützzapfen ohne Rollkranz ruhenden Dreh-

brücke ergibt sich aus Fig. 11, während die zur Hebung und Senkung der Trägerenden bezw. nach dem Einschwenken und vor dem Ausschwenken dienenden Kniehebel o in Fig. 13 u. 14 und die zur Feststellung dienenden Riegel d in Fig. 12 u. 13 dargestellt sind. Die in eine Schraubenspinde i endigende Transmissionswelle l, s. Fig. 12 u. 13, setzt mittelst der Mutter p und der beiden Zugstangen hh, s. Fig. 13 u. 14, der Kurbel g und Welle a, s. Fig. 13 u. 14, sowohl den Kniehebel o und den mit ihm durch Charnier verbundenen, lothrecht geführten Fuss, als auch mittelst eines gezahnten Quadranten und des Zahnrades m, s. Fig. 13, den Riegel d und mittelst des Zahnrades und Zahnquadranten c, s. Fig. 12, auch die Signalstange b in Bewegung. Fig. 15 zeigt die unter die Trägerenden geschraubten Lager der Welle a mit den Führungen jenes Fusses in der Ansicht und in einem Horizontalschnitte nach $\alpha\beta$.

Fig. 16—24 u. 84. Drehbrücke über den Königshafen in Rotterdam. Zwischen den aus je zwei Fachwerkträgern mit Quer- und Längsträgern bestehenden festen Theilen dieser zweigeleisigen Brücke, deren Grundriss in Fig. 16 und deren Querschnitt in Fig. 24 dargestellt ist, befindet sich der aus vier — unter den Fahrschienen angeordneten, durch starke Querverbände ausgesteiften — Trägern bestehende bewegliche Theil der Brücke, dessen Grundriss in Fig. 16 und Querschnitt in Fig. 21 dargestellt ist. Aus Fig. 16 ergibt sich zugleich die Lagerung und Bewegungsvorrichtung der Drehbrücke, während die Laufrollen, auf deren Achsen die Träger durch Vermittelung von elastischen Trägern ruhen, in Fig. 23 in Seitenansicht und Querschnitt detaillirt sind. Die Trägerenden werden vor und nach dem Ausschwenken mittelst der in Fig. 17 u. 18 dargestellten, mit Frictionsrollen versehenen Excenter und der mit ihrer Achse verbundenen, gezahnten Quadranten w, s. Fig. 17, bezw. gesenkt und gehoben und hierauf von dem — mittelst des um C drehbaren Doppelhebels vorgeschobenen — Rollenlager, s. Fig. 19 u. 20, unterstützt. Die Feststellung der Brücke erfolgt sowohl durch den Horizontalriegel F, s. Fig. 20, welcher durch die beiden ineinander greifenden Doppelhebel vor- und zurückgeschoben werden kann, als auch durch den Verticalriegel z, s. Fig. 17, welcher mittelst eines durch die Zugstange y bewegten Kniehebels x gehoben wird, während des Einschwenkens auf einer etwas gebogenen Schiene A, s. Fig. 21, gleitet und nach dem Einschwenken durch eine in derselben angebrachte Oeffnung fällt. Nach Verschieben des erwähnten Rollenlagers senkt sich mittelst der Theile v, u, t, s. Fig. 17, das Zahnrad r, kommt mit dem in Drehung befindlichen Zahnrad s in Eingriff und dreht nun die verticalen Signalstangen r, s. Fig. 17, nebst den Signalscheiben n. Letztere sind an jedem Ende der Brücke — eine oben und eine unten — angebracht, s. Fig. 24, und stehen durch drei Wellen und die zugehörigen Kegelräder in Verbindung. Die Kette d, s. Fig. 17, überträgt die Bewegung nach den beiden am anderen Trägerende befindlichen Signalscheiben, nachdem der Verticalriegel z eingeschnappt ist und dadurch die lothrechten und wagrechten Triebstöcke zweier Horizontalräder in Eingriff gesetzt hat.

2. Ungleicharmige Drehbrücken. Fig. 25—54.

a) Einfügelige Drehbrücken. Fig. 25—48.

Fig. 25 und 26. Drehbrücke über den Canale grande in Triest. Die Fahrbahn dieser Brücke wird nach Fig. 26 durch zwei innere und zwei äussere Träger unterstützt, an welche letztere die zur Unterstützung der Bankette dienenden Consolen genietet sind. Die Form der Träger sowie die Anordnung des Gegengewichtes a an dem kürzeren Arm giebt Fig. 25. Die Hebung und Drehung des mit Schraubengängen versehenen, 40 cm starken Drehzapfens der 48 700 kg schweren Brücke wird durch das Vorgelege k und durch die Mutter i bewirkt. Eine Hebung der Brücke erfolgt so lange, als die Reibungswiderstände an den Trägerenden diejenigen in den Schraubengängen des Zapfens übertreffen. Sobald die letzteren die grösseren sind, erfolgt eine Drehung der Brücke um 90°, welche durch eine Nase begrenzt wird. Durch weitere Drehung

des Vorgeleges werden die Träger noch so viel gehoben, dass ihre Enden beim Zurückdrehen nicht schleifen und dann die Trägerenden durch fortgesetztes Rückwärtsdrehen des Vorgeleges völlig gesenkt, wodurch zugleich der Drehzapfen entlastet wird.

Fig. 27—29. Drehbrücke über die Hunte bei Elsfléth. Form, Lagerung und Ausbalancirung dieser eingeleisigen Blechbrücke giebt Fig. 27, während Fig. 28 u. 29 die specielle Construction des Drehzapfens zeigen. Auf letzteren ist die mit schmiedeisernen Querträgern versehene Brücke mittelst Bolzen aufgehängt, während sie beim Drehen durch einen Kranz horizontaler Rollen an dem hohlkegelförmigen, 6 cm starken, gusseisernen Fusse des Drehzapfens geführt wird. Die Bewegung erfolgt durch das in Fig. 28 angegebene, in den Zahnkranz g eingreifende Zahnrad h.

Fig. 30. Drehbrücke am Bassin Joliette in Marseille. Diese zweigeleisige, für mastlose Schiffe zum Aufklappen, für bemastete Schiffe zum Drehen eingerichtete, 300 000 kg schwere Brücke wird im ersten Falle mittelst eines 2 m langen, 85 cm starken Zapfens um 95 cm gehoben, während ihr hinteres Ende auf seinem Lager bleibt, wodurch eine Neigung der Träger von 68 ‰ entsteht. Im zweiten Falle wird sie durch den Zapfen um 20 cm gehoben, während sich der Hinterarm mit einem Drucke von je 5000 kg auf zwei, übrigens entlastete Rollen auflegt. Ein Wärter besorgt das Zu- und Ableiten des den Accumulatoren der Docks entnommenen Wassers von 52 Atmosphären Druck zum Drehzapfen sowie zu den Pressen, welche mittelst Ketten und eines an der Brücke befestigten Kettenrades die Brücke drehen.

Fig. 31—36. Drehbrücke am Bassin national in Marseille. Diese für Eisenbahn- und Strassenverkehr bestimmte Brücke besitzt drei Gitterträger mit 2 m breiten, an der Strassenseite auf Consolen ausgekragten Banketten. Diese Gitterträger sind durch einen dreitheiligen, kastenförmigen Querträger C, s. Fig. 34 u. 31, unterstützt, welcher mittelst des gusseisernen Schuhs E, s. Fig. 31, auf dem 58 cm starken Zapfen h ruht, der sich mittelst einer gabelförmigen, mit Frictionsrollen versehenen Führung in schmiedeisernem Cylinder bewegt und die Brücke um 15 cm heben kann. Hierbei erfährt der Zapfen einen Druck von 685 000 kg, jede der drei Laufrollen hik, s. Fig. 35, und c, Fig. 34, welche bei geschlossener Brücke durch Heben der Trägerenden mittelst der kleinen hydraulischen Pressen g, s. Fig. 35, und a, Fig. 34, entlastet werden, einen solchen von 5000 kg. Um den Zapfendurchmesser kleiner annehmen zu können, ist der in der Hafen-Pumpanlage verfügbare Wasserdruck von 52 Atmosphären durch einen eingeschalteten Apparat auf 270 Atmosphären gesteigert. Die Drehung der Brücke wird durch die mit den Zuleitungen a, b versehenen hydraulischen Pressen C, s. Fig. 35, bewirkt, welche mittelst der Ketten B die unter der Brücke befestigte Kettenscheibe t in Bewegung setzen.

Fig. 37. Drehbrücke über den Schafgraben bei Charlottenburg. Der Drehzapfen dieser durch Querverbindungen ausgesteiften und am Hinterarm ausbalancirten Brücke ist seitlich bei a angeordnet, von wo aus auch die Bogen für den Laufring b, für die hinteren Trägerenden und für die Anschlussmauer beschrieben sind. Die vorderen Trägerenden sind normal abgeschnitten. Beim Ausschwenken übernehmen die Laufrollen c und a einen Theil der Brückenlast. Die Drehung erfolgt mittelst der verticalen Welle bei d, das Senken und Heben der Trägerenden vor dem Aus- und nach dem Einschwenken mittelst der horizontalen Welle e.

Fig. 38—40. Drehbrücke über den Canal de Radelle bei Aigues-Mortes. Diese eingeleisige Drehbrücke ruht im geöffneten Zustand auf dem in das Mauerwerk versenkten, schmiedeisernen Drehzapfen k, s. Fig. 40, dem aus je 40 cm breiten, konischen Rollen mit entsprechend geformtem oberen und unteren Laufring — welche durch Radialarme mit gusseisernen Drehzapfenhülsen verbunden sind — und den am Hinterarm angebrachten Rollen G. Die Drehung wird mittelst der Kurbel z, s. Fig. 40, und einer

Zahnradübersetzung w bewirkt, welche das in den Zahnkranz eingreifende Zahnrad s in Bewegung setzt. Das Heben und Senken der Trägerenden wird durch eine von der Mitte der Brücke aus, s. Fig. 38, bediente Schraubewelle a, s. Fig. 39, bewirkt, welche eine Mutter dreht und hierdurch die in derselben steckende Schraubenspindel auf- und abwärts bewegt.

Fig. 41 u. 42. Drehbrücke über den Canal d'Ourcq zu Villette. Der hydraulische Drehmechanismus dieser auf dem Stützzapfen ruhenden Brücke besteht, wie Fig. 41 zeigt, in einem unten an der Brücke befestigten Kettenrade b, um welches sich eine Kette a schlingt, die mittelst eines hydraulischen Cylinders d und der Rollen e und g hin- und hergezogen werden kann. Die Hebung und Senkung der hinteren Trägerenden erfolgt durch die mittelst der Querstange l verbundenen Kniehebel k, s. Fig. 44, welche in Fig. 42 mit Einschluss ihres Bewegungsmechanismus detaillirt dargestellt sind.

Fig. 43—46. Drehbrücken über den Spoycanal bei Cleve. Die Fahrschienen dieser beiden eingeleisigen Drehbrücken, welche sich nach entgegengesetzten Richtungen öffnen, ruhen direct auf den Trägern, welche durch einen horizontalen Fachwerkverband und je zwei äussere Kniebänder, s. Fig. 43, ausgesteift sind und durch die auf verschiedenen Landpfeilern gelagerten Drehzapfen ac, s. Fig. 44, sowie durch die beiden, unter dem langen Brückenarme angebrachten Räder e unterstützt werden. Die Brücken sind nach Fig. 45 auf den Zapfen a aufgekeilt und können mittelst des in ein Gewinde endigenden, mit Doppelmutter versehenen Stahlkeiles CD etwas gehoben oder gesenkt werden. Die Drehbewegung wird durch das in den vom Laufkranz getrennten Zahnkranz eingreifende Zahnrad f, s. Fig. 43, die Hebung der Trägerenden und die mit ihr verbundene Hebung der Trägerenden durch das in Fig. 46 dargestellte Excenter- und Hebelwerk bewirkt.

Fig. 47 u. 48. Drehbrücken über die Peene bei Anclam. Die beiden eingeleisigen, 5,33 m von Mitte zu Mitte abstehenden, durch Kuppelstangen verbundenen Brücken be und df, s. Fig. 48, drehen sich um die auf demselben Pfeiler befindlichen, bezw. 2,2 und 5,33 m von der Mauerkante entfernten Drehachsen und legen sich im geöffneten Zustande parallel neben einander. Die erstere wird von dem Drehzapfen a und den unter dem kürzeren Arme angebrachten Laufrädern ii getragen, mittelst des — in den mit dem Laufring verbundenen Zahnkranz eingreifenden — Zahnrades x gedreht und nach dem Einschwenken an den hinteren Trägerenden v, v soviel gehoben, dass die Räder entlastet werden, die Brücke dann also nur auf den beiden Enden und auf dem Drehzapfen lagert. Die letztere ruht theils auf dem Drehzapfen e, theils auf den unter dem längeren Arme angebrachten Rädern mit einem Laufring von 4,08 m Halbmesser und wird in derselben Weise gedreht.

b) Zweiflügelige Drehbrücken. Fig. 49—54.

Fig. 49. Drehbrücke in den Surrey-Docks. Die beiden Flügel dieser durch Stufen zugänglichen Fussgängerbrücke sind durch Gegengewichte an den kürzeren Armen ausbalancirt, während die längeren Arme an ihren Enden noch durch schmiedeiserne, über gusseiserne Böcke a geführte Zugstangen gaf aufgehängt sind. Die Fussplatten der etwas konischen Drehzapfen bc sind, um deren lothrechte Stellung zu sichern, stark mit dem Mauerwerk verankert.

Fig. 50, 51 u. 51a. Drehbrücke Dubbedam bei Dordrecht. Die in Fig. 50 u. 51a in Ansicht und Grundriss dargestellte Brücke, welche auf dem in Fig. 51 in $\frac{1}{50}$ dargestellten Zapfen s und den in Fig. 51a dargestellten Laufrollen L ruht, wird mittelst eines wagrechten, in einen Zahnkranz eingreifenden Zahnrades gedreht, wird im geschlossenen Zustande am hinteren Ende durch Fallklinken festgestellt und durch einen Mauervorsprung G, s. Fig. 50, niedergehalten, am vorderen Ende von vier, durch Zahnradchen a zu bewegende, unten mit Zähnen versehene Riegel mit den anderen Flügelenden verbunden.

Fig. 52—54. Penfeldbrücke bei Brest. Die bei-

den Flügel besitzen ein Gewicht von je 600 000 kg und — bei einer Gesamtlänge von je 86,77 m — 58,52 m lange Vorder- und 28,25 m lange Hinterarme, während ihre Höhe über den Land- und Drehpfeilern 7,72 m und in der Brückenmitte 1,4 m beträgt. Die 7,2 m breite Fahrbahn ist mit Holz belegt und setzt sich an beiden Ufern auf überwölbten Auffahrten fort, während die beiden, 106,6 m von Mitte zu Mitte entfernten Drehpfeiler Durchmesser von 10,6 m aufweisen. Die Drehung der Flügel erfolgt auf je 50 Rollen a, s. Fig. 54, über Rollkränzen von 9 m Durchmesser mittelst doppelter Vorgelege d durch je 2 Mann in 15 Minuten, die Feststellung nach dem Einschwenken in der Mitte durch starke Riegel, an den Widerlagern durch schraubenstockartige Backen, welche sich an einen eisernen Vorsprung pressen. Behufs Vornahme von Reparaturen sind vier hydraulische Pressen mit je 200 000 kg Tragkraft angebracht, welche die Flügel binnen 10 Minuten um einige Centimeter heben können. Die Gesamtkosten dieser Brücke haben rund 2 119 000 frcs. betragen, wovon rund 1 180 000 frcs. auf den eisernen Unterbau und rund 700 000 frcs. auf die gemauerten Pfeiler entfallen.

3. Details von Drehbrücken. Fig. 55—93.

Fig. 55—57. Drehbrücke über die Havel bei Potsdam. Diese schiefe Drehbrücke mit einem Schnittwinkel der Achsen von 60° besitzt vier Hauptträger nebst Querträgern mit voller Wandung, auf welchen letzteren die Fahrschienen mittelst Stühlen direct gelagert sind. Sie ruht auf dem durch Radialarme d mit der Drehzapfenhülse verbundenen Rollkranz und Laufring a, s. Fig. 55 und 56, und wird um den in einem gusseisernen Schuh ruhenden — durch eine gusseiserne, zwischen die beiden mittleren Hauptträger geschraubte Hülse, s. Fig. 55 u. 57, gesteckten — Zapfen z gedreht. Ueber dem Rollkranz befindet sich der obere — an einem hohen, aus gut verlaschten Platten bestehenden, mit den Hauptträgern verbundenen Blechring befestigte — Laufring. Um eine Abweichung der Rollen, welche sich um ihre eigenen, etwas verstärkten Achsen drehen, zu verhindern, sind die erwähnten Radialarme d noch durch den kreisförmigen Gitterbalken e verbunden.

Fig. 58—63. Kahnfahrtbrücke der Berlin-Stettiner Bahn. Diese zweigeleisige Drehbrücke ist nach dem auch bei der Parnitz-Brücke, s. Taf. V und zugehörige Beschreibung, angewandten Schwedler'schen System construirt, in Fig. 58 u. 59 der Drehzapfen sammt Lagerung, Keilregulierung und Verbindung mit den Brückenträgern im Querschnitt und Grundriss, in Fig. 60 u. 61 eins der beiden Laufräder in Querschnitt und Ansicht, in Fig. 63 das Stützrad sammt der Drehungsvorrichtung, in Fig. 62 die Vorrichtung zum Heben der Trägerenden dargestellt, bei welchem letzteren zur Verminderung des Kraftaufwandes — abweichend von der gewöhnlichen Anordnung — ein doppeltes Rädervorgelege angewandt ist.

Fig. 64—66. Kattenburgplein-Brücke in Amsterdam. Die Vorrichtung zum Heben und Senken der Trägerenden dieser Strassendrehbrücke ist in Fig. 64, 65 u. 66 bezw. im Querschnitt, Grundriss und Längsschnitt wiedergegeben und zwar stellen c c die unter den Hauptträgern befestigten gusseisernen Polster, a a die zur Führung dieser letzteren sowie die zur Unterstützung der durchgehenden Stahlkeile b dienenden gusseisernen Lager dar, während die Anordnung und Wirkungsweise des Vorgeleges aus den Figuren 64 u. 65 hervorgeht.

Fig. 67 u. 68. Drehbrücke der Nauern'schen Vaart. Die Hebung der in Fig. 67 dargestellten excentrischen Scheiben wird mittelst der Kette a durch die Kettenräder c und b, s. Fig. 68, von dem Drehzapfenlager der Brücke aus in der aus den Figuren ersichtlichen Weise bewirkt.

Fig. 69 u. 70. Projectirte Drehbrücke von Pröll und Scharowsky. Um die Hebung und Senkung der Brücke zu erleichtern, soll hier der dieselbe unterstützende Rollenkranz g sammt seinem oberen und unteren Laufring h und i durch die auf dem gusseisernen Gehäuse l ge-

lagerten Doppelhebel k, deren kürzere Arme unter den unteren Laufring greifen, und deren längere Arme die Gegengewichte G tragen, theilweise ausbalancirt werden. Die Hebung der Brücke wird durch die Druckschraube b bewirkt, welche man mittelst eines Stockschlüssels auf die mit dem Pfeiler verankerte gusseiserne Stütze wirken lässt, während beim Rückwärtsdrehen der Schraube eine Senkung der Brücke eintritt. Die Drehung der Brücke soll mittelst der Verticalwelle a und eines Stockschlüssels durch das Rädervorgelege o bewirkt werden, welches in den an dem bereits erwähnten Gehäuse aussen befestigten Zahnkranz eingreift. Die Hauptträger sind discontinuirlich und zwar so projectirt, dass nur die oberen Gurten zusammenhängen, während die unteren durchschnitten und mit einem Kranz von Rollen mit verticalen Achsen verbunden sind, womit sie sich gegen den Sockel des gusseisernen Gehäuses anlehnen.

Fig. 71. Zapfenlager, dessen Zapfen der sicheren Drehung wegen unten angeordnet und oben durch Frictionsrollen geführt ist.

Fig. 72. Zapfenlager der Drehbrücke in Dublin mit Drehung auf einem oben durch Frictionsrollen geführten Zapfen.

Fig. 73. Rollenlager der Drehbrücke über den Passaic bei Newark, s. IV. Beschreibung zu Taf. VI.

Fig. 74. Zapfenlager der Hafenbahn-Drehbrücke in Stralsund. Der Zapfen nimmt das aus zwei in einander geschraubten Theilen b, c bestehende, mit den gusseisernen Querträgern a der Brücke verbundene Druckhaupt auf, während durch Drehung von c die Höhenlage der Brücke regulirt werden kann.

Fig. 75. Schraubenwinde zur Hebung und Senkung der Trägerenden. Die Verticalbewegung der Spindel b wird durch das mit einem — auf dem in die Lagerhülse e eingelegten Stahlring ruhenden — Halszapfen versehene Schraubenrad c bewirkt, in welches die Schraubenwelle b eingreift.

Fig. 76—79. Vorrichtungen der Phönixville-bridge-works. Fig. 76 u. 77 stellen die Lagerung bzw. einer ein- und einer zweigeleisigen Brücke mit dem zugehörigen — aus einem mit Vorgelege versehenen, in einen Zahnkranz eingreifenden Zahnrad bestehenden — Drehmechanismus dar. Die auf den Rollkränzen ruhende Trommel b von etwa 9 m Durchmesser und 2 m Höhe nimmt im ersten Falle die Hauptträger mittelst Querträgern, im zweiten Falle direct auf. In beiden Fällen wird die Trommel durch radiale Zug- oder Druckstangen c mit der Drehzapfenconstruction verbunden, wodurch der Drehzapfen einen Theil der Brückenlast aufzunehmen hat. Bei der in Fig. 78 u. 79 dargestellten Vorrichtung zum Heben und Senken der Brückenenden dreht eine unter der ganzen Brücke durchlaufende Welle die mit Schraubenspindeln verbundenen Kegeiräder O, s. Fig. 78, wodurch die mit den Stangen ab durch Gelenke verbundene Mutter a auf- oder absteigt, hierbei die unten mit Frictionsrollen o, s. Fig. 78 u. 79, versehenen Kniehebel e bzw. knickt oder streckt und die beiden Fahrschienenstücke S bzw. hebt oder soviel senkt, dass sie in den mit den anschliessenden Fahrschienen gemeinschaftlichen Stühlen ruhen.

Fig. 80. Antifrictionsdrehlager der Keystone-bridge-Company nach Seller's Patent. Auf dem hohlkegelförmigen Zapfen d ruht ein mit den Querträgern b verbundenes, zweitheiliges Druckhaupt, zwischen dessen beide Theile a und c Stahlplatten und stählerne Frictionsrollenkranze so eingelegt sind, dass das von oben aufgebene Schmiermittel nicht ausfliessen kann.

Fig. 81 u. 82. Drehbrücke über die Parnitz in der Breslau-Schweidnitz-Freiburger Bahn. Bei dem in Fig. 81 dargestellten Lager ruht die stählerne Pfanne für den Drehzapfen in dem zweitheiligen, gusseisernen Lagerbock auf einer Gusstahlschraube e von 12 cm Durchmesser, welche mittelst Schraubenrad c und Schraubenwelle d gehoben und gesenkt werden kann. Hierbei erfährt der qcm des Spindelkerns 14 400 kg Druck, während der qcm Schraubengang der aus Rothguss bestehenden Mutter mit 248 kg auf Abscheerung beansprucht wird.

Die zur Vermeidung der Stösse beim Einschwenken bestimmten Puffer a, s. Fig. 82, sind an den Hauptträgern angebracht und stossen gegen gusseiserne Böcke c, welche mit dem Mauerwerk durch je zwei Steinanker und je zwei Steinschrauben fest verbunden sind.

Fig. 83. Einklinkung der Parnitzbrücke in der Berlin-Stettiner Bahn, s. die Beschreibung zu Taf. V.

Fig. 84. Stützlager der Drehbrücke über den Königshafen in Rotterdam. Sie sollen das Kippen beim Aus- und Einschwenken verhindern, bestehen in festgelagerten Rollen und sind unter den Mitten der Hauptträger angebracht.

Fig. 85. Drehzapfen nach dem Projecte von van Hasselt. Der Drehzapfen c ruht mittelst des kurzen Querstückes o auf den kurzen Armen zweier ungleicharmigen Hebel a. Die längeren, nach bestimmten Curven gekrümmten Arme derselben werden durch Gegengewichte belastet, welche durch Kuppelstangen mit Zahnstangen verbunden sind und durch passende, von der Brückenbahn aus zu bewegende Zahnräder verschoben werden sollen.

Fig. 86. Feststellvorrichtung der Point-Street-Brücke in Providence. Die 10,2 cm starken Riegel sind einerseits konisch zugespitzt und endigen andererseits in gezahnte Stangen c, welche in gezahnte Räder d eingreifen, auf deren Achse Seilscheiben sitzen, die mittelst Drahtseilen e von der Brückenmitte aus gedreht werden.

Fig. 87. Hebevorrichtung der American bridge Company. Der in der Röhre b geführte Zapfen c endigt oben in eine Schraubenspindel, welche mit dem Schrauberrade d verbunden ist und vermittelt der in das letztere eingreifenden — von der Brückenmitte aus durch eine Transmissionswelle drehbaren — Schraubewelle gehoben oder gesenkt wird.

Fig. 88. Excenter zur Hebung der Trägerenden kleiner Drehbrücken, welche auf den Lagern c ruhen und mittelst der Welle a gedreht werden.

Fig. 89 u. 90. Drehbrücke bei Dordrecht. Die Hebung der Trägerenden mittelst excentrischer, mit Frictionsrollen versehener Scheiben wird nach Fig. 90 mittelst eines gezahnten Quadranten d, in welchen eine Welle a mit Schraube ohne Ende b eingreift, nach Fig. 89 durch ein Zahnrädervorgelege bewirkt, wobei zugleich die Laufrolle entlastet wird.

Fig. 91. Feststellvorrichtung der Parnitzbrücke in der Berlin-Stettiner Bahn, s. die Beschreibung zu Taf. V.

Fig. 92. Drehzapfen nach dem Projecte von Lüders. Der hohle konische, unten verstärkte Zapfen b ist tief in besonderer Lagerkammer, zu welcher man mittelst Leiter d gelangen kann, gelagert und oben vermittelt eines verstärkten kreisförmigen Ringes zwischen Frictionsrollen c geführt.

Fig. 93. Hydraulischer Puffer, s. S. 48.

Taf. III. Rollbrücke der rechtsrheinischen Bahn am Pfaffendorfer Thor bei Coblenz. 1)

1. *Constructive Anordnung.* Die Figuren 1 u. 2 geben eine Uebersicht dieser Brückenanlage im Auf- und Grundriss, woraus folgt, dass die beiden Geleise der rechtsrheinischen Bahn mit der normalen Achsenentfernung von 3,557 m und einem Gefälle von 1:100 die 3,14 m breite Strasse unter einem Winkel von $80^{\circ} 11' 55''$ schneiden. Die von der Festungsbehörde vorgeschriebene leichte Beweglichkeit und rasche Beseitigung sowie die verfügbare Constructionshöhe der Ueberbrückung, welche von Oberkante der Geleisschienen bis Unterkante der Träger 50 cm nicht überschreiten durfte, und die beschränkte örtliche Lage führten zur Anlage der ungleich langen Rollbrücken A und B, welche auf je 1,726 m von Mitte zu Mitte entfernten Schienen laufen und — nach normaler seitlicher Verschiebung der beiden, auf 3,609 m von Mitte zu Mitte entfernten Schienen

laufenden, gleichlangen Rollwagen C und D — nach E zurückgerollt werden können. Die Figuren 3—5 stellen die längere Rollbrücke nebst einem Rollwagen in Ansicht und Grundriss, die Figuren 6—10 und 11—14 Horizontal- und Vertical-Schnitte durch bzw. den Rollwagen und die lange Rollbrücke, die Figuren 15—36 verschiedene Details derselben sowie der Rollbahn dar. Hierbei ist zu bemerken, dass die zueinander gehörigen Rollbrücken und Rollwagen im betriebsfähigen Zustande durch Riegel sowie durch die Geleisschienen untereinander und mit dem anschliessenden Geleise verbunden, deren Wege durch schmiedeiserne, an die Schienen der Rollbahnen geschraubte Radanläufe begrenzt sind. Ihre Querträger, worauf wegen der geringen Constructionshöhe die Fahrchienen mittelst Unterlagplatten direct befestigt sind, haben — der Tragfähigkeit jener entsprechend — nicht über 0,94 m Entfernung, während die Hauptträger der Rollbrücken und Rollwagen bzw. 2,04 und 2,668 m im Mittel von einander entfernt sind und die Achsenstände derselben bzw. 3,766 und 1,726 m betragen. Das erwähnte Gefälle des Geleises wird bei den Rollwagen durch verschiedene Höhe der erwähnten Unterlagplatten, bei den Rollbrücken durch Achsenlager von verschiedener Höhe hergestellt. Unter den freien Enden der Längsträger beider Rollbrücken sind keilförmige Gleitstücke befestigt, welche beim Einfahren der Brücken auf Rollen mit eingedrehten Umfängen auflaufen, wodurch diese Enden die richtige Höhen- und Seitenlage erhalten. Die Bewegung beider Theile wird durch zwei Arbeiter mittelst eines Schlüssels, welcher auf die oberen Zapfen einer verticalen Welle gesteckt wird, und eines Tummelbaums bewirkt, wobei sich diese Bewegung durch ein Vorgelege konischer Räder auf die Radachsen überträgt. An den Rollbrücken ist noch eine Zwischenwelle mit Stirnrädern angebracht, um die verticale Welle mehr deren Mitte zu nähern und so den Arbeitern auf der Brückenbahn den für ihre Bewegung erforderlichen Raum zu schaffen.

2. *Statische Berechnung.* Ausser dem Eigengewichte der einzelnen Theile wirken die gleichen Raddrücke einer sechsrädrigen Tender-Locomotive von 42000 kg Gewicht, mit 8 m Länge zwischen den Pufferenden und einem Radstande von je 3 m.

a) Die Rollwagen. Die Querträger, s. Fig. 3, 4 und 7, 9, haben bei einer Länge $l = 266,8$ cm und einer Entfernung $a = 150,6$ cm der Fahrchienen Raddrücke von je 7000 kg, ein Eigengewicht von 244 kg, ein Schienen- und Bohllengewicht von $59 + 47$ kg, also eine ständige Last von zus. 350 kg zu übertragen. Man erhält also aus Gleichung 17, worin $P = Q = 7000$ kg, $a = b = \frac{l}{2}$, $p = q = \frac{l - a}{2} = \frac{266,8 - 150,6}{2} = 58,1$ cm, und aus Gleichung 22, worin $g_1 = 350$ kg und $l = 266,8$ cm ist, das gesammte Angriffsmoment

$$^a M_{\max} = 7000 \cdot 58,1 + 350 \cdot \frac{266,8}{8} = 418\,368 \text{ kgcm.}$$

Für den aus vier Winkeleisen von je $7,8 \cdot 7,8 \cdot 1$ cm und einem Stehblech von $35,3 \cdot 1$ cm zusammengesetzten Querschnitt erhält man mit Bezug auf Gleichung 121, worin $B = 16,6$, $H = 35,3$, $b = 13,6$, $h = 33,3$, $b_1 = 2,0$, $h_1 = 19,7$ cm zu nehmen ist, und nach Abzug der Nietlöcher von je 2 cm Durchmesser aus Gleichung 117, worin $a_s = a_p = \frac{H}{2} = 17,65$ cm und $s = p$ beträgt,

$$^w M_{\min} = \frac{1}{17,65 \cdot 12} \left[16,6 \cdot 35,3^3 - 13,6 \cdot 33,3^3 - 2 \cdot 19,7^3 - 3 \left(28,7^3 - 24,7^3 \right) \right] s = 883 s,$$

mithin, wenn nach Gleichung 3 beide Werthe einander gleichgesetzt werden, die grösste Spannung des qem

$$s = \frac{418\,368}{883} = 474 \text{ kg.}$$

Die aus nur je zwei Winkeleisen von $7,8 \cdot 7,8 \cdot 1,3$ cm und einem Stehblech von $35,3 \cdot 1,3$ cm bestehenden vier Endquerträger, s. Fig. 3, 4 und 6, 8, haben, ausser dem Gewichte der Locomotive von 42000 kg, das ständige Ge-

1) Bearbeitet nach der von A. Bendel, Ingenieur in Cöln, aufgestellten Berechnung und Construction.

wicht des Wagengestells von 2834 kg, der Riegelvorrichtung von 346 kg, der Bewegungsvorrichtung von 420 kg, der zwei Fahrschienen sammt 11 Belagbohlen von 512 kg, mithin ein Gesamtgewicht von 46112 kg aufzunehmen. Für einen Endquerträger ergibt sich mithin die Belastung von $\frac{46112}{4} = 11528$ kg, also bei einer Entfernung $l = 266,8$ cm der Belastungspunkte und $a = 188,3$ cm der Radachsen, nach Gleichung 17, worin $P = Q = 11528$ kg, $a = b = \frac{l}{2}$ und $p = q = \frac{l-a}{2} = \frac{266,8-188,3}{2} = 78,5$ cm zu setzen ist, das grösste Angriffsmoment

$${}^a M_{\max} = 11528 \cdot 78,5 = 452477 \text{ kgcm.}$$

Mit Bezug auf die angegebenen Abmessungen des Querschnittes sowie auf die Gleichungen 121 und 117 erhält man wieder mit Berücksichtigung der Nietlöcher das Widerstandsmoment eines halben Doppelträgers

$${}^w M_{\min} = \frac{1}{17,65 \cdot 12} \left[9,1 \cdot \overline{35,3^3} - 6,5 \cdot \overline{32,7^3} - 1,3 \cdot \overline{19,7^3} - 2,6 \left(\overline{28,7^3} - \overline{24,7^3} \right) \right] s = 665 s,$$

mithin, wenn beide Werthe einander gleich gesetzt werden, die grösste Spannung des qcm

$$s = \frac{452477}{2 \cdot 665} = 340 \text{ kg.}$$

Die beiden Langträger, s. Fig. 3 u. 4, haben eine Stützweite von 361 cm, ein Eigengewicht von je 2056 kg und erfahren die grösste Anspruchnahme, wenn die mittlere Achse der Locomotive in deren Mitte steht. In diesem Falle beträgt das gesammte Angriffsmoment

$${}^a M_{\max} = 2056 \cdot \frac{361}{8} + 1,5 \cdot 7000 \cdot \frac{361}{2} - 7000 \cdot 150 = 938027 \text{ kgcm.}$$

Für den aus vier Winkeleisen von je $78 \cdot 78 \cdot 1,3$ und einem Stehblech von $47,1 \cdot 1,3$ cm zusammengesetzten Querschnitt ergibt sich, mit Berücksichtigung zweier Nietlöcher von 2 cm Durchmesser, wie oben das Widerstandsmoment

$${}^w M_{\min} = \frac{1}{23,55 \cdot 12} \left[16,9 \cdot \overline{47,1^3} - 13 \cdot \overline{44,5^3} - 2,6 \cdot \overline{31,5^3} - 3,9 \left(\overline{40,5^3} - \overline{36,5^3} \right) \right] s = 1662 s,$$

mithin die grösste Spannung des qcm

$$s = \frac{938027}{1662} = 565 \text{ kg.}$$

Die Bewegungsvorrichtung hat die Trägerconstruction von 4112 kg, vier Räder sammt Achsen und Lagern etc. von 878 kg und zwei Arbeiter von je 75 kg Gewicht, also zusammen $Q = 5140$ kg fortzubewegen. Da nach Fig. 6—9 der Halbmesser des Zapfens $e = \frac{7,8}{2} = 3,9$ cm und der des Rades $r = \frac{54,9}{2} = \text{rd. } 27,5$ cm misst, so beträgt, wenn der Coefficient μ der Zapfen- und φ der rollenden Reibung zu bezw. 0,08 und 0,02 angenommen wird, aus Gleichung 160, wenn man darin $\chi = 1$ setzt und S vernachlässigt, die bewegende Kraft

$${}^a H = \frac{(\mu e + \varphi) Q}{r} = \frac{0,08 \cdot 3,9 + 0,02}{27,5} \cdot 5140 = 62 \text{ kg.}$$

Bei dem gewählten Umsetzungsverhältniss des Zahnradvorgeleges beträgt die Kraft an dem 70 cm langen Tummelbaum $\frac{8,2}{70} \cdot \frac{27,5}{20} \cdot 62 = \text{rd. } 10$ kg und, mit Hinzufügung von 20% für Ueberwindung der Reibung in den Zähnen und Zapfen, 12 kg, wofür ein Arbeiter genügt.

b) Die lange Rollbrücke. Die Querträger haben nach Fig. 11 u. 12 bei einer Stützweite von $l = 204$ cm und einer Entfernung $a = 150,6$ der Lastpunkte ein Eigengewicht von 138 kg, ein Schienen- und Bohlgewicht von $66 + 34 = 100$ kg, also eine ständige Belastung von 238 kg und den Druck zweier Locomotivräder von je 7000 kg aufzunehmen. Man erhält mithin aus Gleichung 17, worin $P = Q = 7000$ kg, $a = b = \frac{l}{2}$, $p = q = \frac{l-a}{2} = \frac{204-150,6}{2} = 53,4$ cm beträgt, und aus Gleich. 22, worin man $gl = 238$ zu setzen hat, das gesammte Angriffsmoment

$${}^a M_{\max} = 7000 \cdot 53,4 + 338 \cdot \frac{204}{8} = 192970 \text{ kgcm.}$$

Für den aus vier Winkeleisen von je $6,5 \cdot 6,5 \cdot 0,8$ cm und einem Stehblech von $31,4 \cdot 1$ cm zusammengesetzten Querschnitt erhält man mit Bezug auf Gleichung 121, worin $B = 14$, $H = 31,4$, $b = 11,4$, $h = 29,8$, $b_1 = 1,6$ und $h_1 = 18,4$ cm zu setzen ist, nach Abzug der Nietlöcher von je 1,6 cm Durchmesser, das Widerstandsmoment

$${}^w M_{\min} = \frac{1}{15,7 \cdot 12} \left[14 \cdot \overline{31,4^3} - 11,4 \cdot \overline{29,8^3} - 1,6 \cdot \overline{18,4^3} - 2,6 \left(\overline{26,0^3} - \overline{22,8^3} \right) \right] s = 567 s,$$

mithin, wenn beide Werthe einander gleichgesetzt werden, die grösste Spannung des qcm

$$s = \frac{192970}{567} = 340 \text{ kg.}$$

Die Langträger, s. Fig. 3 u. 4, haben das Gewicht des Wagengestells von 4410 kg, der Bewegungsvorrichtung von 262 kg, der 2 Fahrschienen mit Befestigungsmitteln von 618 kg und der 7 Belagbohlen von 317 kg, also ein ständiges Gewicht von 5607 kg im Ganzen und von $g = \frac{5607}{2 \cdot 8,01} = 350$ kg für den Längenmeter,

ferner im ungünstigsten Belastungsfalle das Gewicht zweier Locomotiven aufzunehmen und sind — bei geschlossener Brücke — als durchlaufende Träger auf drei gleichhohen Stützen mit den Stützweiten $l_1 = 377$ cm und $l_2 = 424$ cm zu berechnen.

Führt man die Werthe von g , l_1 und l_2 in die Gleichungen 51a, 52a und 53a ein, so ergeben sich $A = 471,7$ kg, $B = 1757$ kg und $C = 574,8$ kg, mithin in den Entfernungen 1,77 und 1,74 m bezw. von der linken und von der rechten Endstütze und über der Mittelstütze die Angriffsmomente der ständigen Belastung

$${}^a M_{s_1} = 471,7 + 177 - \frac{1}{2} \cdot 3,5 \cdot \overline{177^2} = 28665 \text{ kgm,}$$

$${}^a M_{s_2} = 574,8 \cdot 174 - \frac{1}{2} \cdot 3,5 \cdot \overline{174^2} = 47032 \text{ kgm,}$$

$${}^a M_{s_b} = 471,7 \cdot 377 - \frac{1}{2} \cdot 3,5 \cdot \overline{377^2} = -70895 \text{ kgm.}$$

Nimmt man an, dass die beiden Locomotiven von links nach rechts allmähig fortschreiten, so ergeben sich mit Hilfe der Elasticitätstheorie und einer graphischen Darstellung der Momentencurven für dieselben Stellen die Angriffsmomente der Verkehrsbelastung

$${}^a M_{s_1} = 705000, {}^a M_{s_2} = 831000, {}^a M_{s_b} = -689400 \text{ kgcm,}$$

mithin die Gesamtangriffsmomente

$${}^a M_1 = 705000 + 28665 = 733665 \text{ kgcm,}$$

$${}^a M_2 = 831000 + 47032 = 878032 \text{ " ,}$$

$${}^a M_b = -689400 - 70895 = -760295 \text{ kgcm.}$$

Bei geöffneter Brücke ruhen die unbelasteten Träger auf zwei Stützen und beträgt nach Gleichung 11, worin $e = 3,5$ kg und $l = 424$ cm zu setzen ist, das durch das Eigengewicht des rechts über die mittlere Achse überhängenden Brückentheiles erzeugte Angriffsmoment

$${}^a M = 3,5 \cdot \frac{\overline{424^2}}{2} = 314608 \text{ kgcm,}$$

während das links von der mittleren Achse wirkende Gewicht dasselbe Angriffsmoment hervorbringen muss. Da das Gewicht der halben Hinterachse nebst Rad 385 kg beträgt, so muss

$$3,5 \cdot \frac{\overline{377^2}}{2} + 385 \cdot 377 - A \cdot 377 = 314608 \text{ kgcm}$$

sein, woraus sich also ein abwärts wirkender Druck $A = 210$ kg der linken Achse auf deren Unterlage, mithin die Unmöglichkeit eines Kippens der Rollbrücke, ergibt.

Für den aus zwei Horizontalplatten und vier Winkeleisen von je $7,8 \cdot 7,8 \cdot 1,3$ cm, welche mit jenen durch 2 cm starke Nietbolzen vernietet sind, und ein Stehblech von $47,1 \cdot 1,3$ cm zusammengesetzten Querschnitt erhält man das Widerstandsmoment

$${}^w M_{\min} = \frac{1}{23,55 \cdot 12} \left(14,3 \cdot \overline{47,1^3} - 1,4 \cdot \overline{44,5^3} - 9 \cdot \overline{41,9^3} - 2,6 \cdot \overline{28,9^3} \right) s = 2286 s,$$

mithin, wenn beide Werthe einander gleichgesetzt werden, die grösste Spannung des qcm

$$s = \frac{878032}{2286} = 385 \text{ kg.}$$

Die Bewegungsvorrichtung hat das Gewicht der Trägerconstruction von 5607 kg, der 4 Räder mit Achsen und Lagern von 1588 kg sowie zwei Arbeiter von je 75 kg, also von zusammen 7345 kg fortzubewegen. Da nach Fig. 11 u. 12 der Halbmesser des Zapfens $e = \frac{11,76}{2} = 5,88$ cm und der des Rades $r = \frac{62,8}{2} = 31,4$ cm misst, so beträgt, wenn die Reibungscoefficienten ebenso gross angenommen werden, wie früher die bewegende Kraft

$$^a H = \frac{0,08 \cdot 5,88 + 0,02}{31,4} \cdot 7345 = 115 \text{ kg.}$$

Für den Zustand des Gleichgewichtes beträgt die von dem 70 cm langen Tummelbaum bei den angenommenen Verhältnissen des Zahnrad-Vorgeleges und mit Hinzurechnung von 20% für Ueberwindung der Reibung in den Zähnen und Zapfen auszuübende Kraft $1,2 \cdot \frac{9,2}{70} \cdot \frac{31,4}{26,8} \cdot 115 = 22$ kg, wofür — mit Einschluss der nöthigen Hebung der Trägerenden auf die Führungsrollen beim Einfahren der Rollbrücke — zwei Arbeiter erfahrungsgemäss genügen.

c) Die kurze Rollbrücke. Die statische Berechnung der kurzen ist derjenigen der langen Rollbrücke analog zu führen. Dieselbe veranlasste, dass wegen des kürzeren Hinterschenkels die Hinterachse noch ein Gegengewicht von 634 kg erhielt, um die Brücke am Kippen zu verhindern.

Die Anspruchnahmen s der Quer- und Langträger des Rollwagens und der Rollbrücke wurden desshalb verhältnissmässig niedrig bemessen, weil eine gleichmässige Belastung nicht immer anzunehmen, auch den Schwingungen und Stössen der Locomotive Rechnung zu tragen war.

Tafel IV. Klappbrücke der rechtsrheinischen Bahn am Forchheimer Thor bei Coblenz. ¹⁾

1. *Constructive Anordnung.* Diese in Fig. 1 im General-Längenschnitt dargestellte, in einer Curve liegende Klappbrücke hat eine Oeffnung von 3,139 m oberer lichter Weite zu überspannen. Sie besteht aus zwei je 8,041 m langen, 1,648 m im Mittel von einander entfernten Blechträgern, deren Drehachse 2,806 m vom Ende des kurzen, also 5,235 m vom Ende des langen Armes absteht. Letztere ist auf zwei festen Trägern von je 4,603 m Länge gelagert, welche ausserhalb der beweglichen Träger in einem mittleren Abstände von 2,066 m über den oben 3,452 m weiten Brücken Keller reichen und auf gusseisernen Lagerplatten ruhen, welche mit den Kellermauern fest verankert sind. Die Hauptträger des beweglichen Brückentheils sind zwischen ihren kurzen, je 0,333 m hohen Armen durch drei Blechbalken von je 0,293 m und durch einen Blechbalken von 0,61 m Höhe, welche zugleich das Gegengewicht unterstützen; zwischen ihren langen, je 0,418 m hohen Armen durch vier Blechbalken von je 0,371 m Höhe verbunden, welche letztere zur Unterstützung der Bankette als Consolen, s. Fig. 9, nach aussen auf je 1,085 m fortgesetzt und an den Enden durch je 4,289 m lange Blechbalken vereinigt sind. Die Anordnung des Horizontalverbandes, welcher bei dem kurzen Brückenarm unter, beim langen Brückenarm über den erwähnten Querbalken angebracht ist und aus Flacheisen besteht, welche an besondere Anschlussbleche genietet sind, ist in Fig. 3 u. 4 ausführlich dargestellt. Die beiden festen Träger nehmen vier starke, unter die Bankette fortreichende Querschwellen auf, worüber die Fahrschienen und die Längsbalken, s. Fig. 10, gestreckt sind. Auf die langen Arme der beweglichen Träger sind sechs schwächere Querschwellen mit Winkellappen befestigt, welche nebst dem erwähnten, hinter der Drehachse befind-

lichen hohen Querbalken, die Fahrschienen unterstützen. Die zur Herstellung des Gleichgewichtes dienenden gusseisernen Gegengewichte sind in der aus Fig. 2 und 4 ersichtlichen Weise mit den zwischen die kurzen Arme eingeschalteten Querbalken verschraubt. Die unter den langen Armen drehbar befestigte Blechschürze, welche bei geschlossener Brücke senkrecht herabhängt, nimmt bei öffneter Brücke die in Fig. 1 angedeutete Lage an und sperrt so den Zugang zur festen Brücke völlig ab. Die Drehachse, welche in den mit den festen Trägern verschraubten Lagern, s. Fig. 5, ruht und möglichst hoch gelegt ist, damit die Klappe von selbst zufällt und der Bewegungswiderstand möglichst gleichmässig auftritt, ist innerhalb der — in Fig. 2 u. 4 bezw. in Aufriss und Grundriss dargestellten — auf die beweglichen Träger geschraubten gusseisernen Oesen fest gekellt, kann sich also nur in ihren Lagern drehen. In einer Entfernung von 47 cm von der Mittellinie der Drehachse sind die beiden Fahrschienen des kleineren Brückenarmes, wovon diejenige des äusseren Schienenstranges überhöht ist, nach einem dieser Entfernung entsprechenden Radius durchschnitten, während die Schienenenden des längeren Armes lothrecht gestossen und durch Laschen, welche vor dem Oeffnen der Klappe gelöst werden, mit den Enden der festliegenden Schienenstränge verbunden sind. Das Oeffnen und Schliessen der Brücke wird durch den in Fig. 10—13 dargestellten Mechanismus mittelst eines Stockschlüssels bewirkt, wodurch man die beiden durch eingreifende Zahnräder verbundenen verticalen Wellen und hierdurch das mit einer Kettentrommel in Verbindung stehende Rädervorgelege in Bewegung setzt. Die an die Kettentrommel gehakte, kurzgliedrige Kette ist über ein Kettenrad nach dem Ende des kürzeren Klappenarmes geführt, woran sie auf die in Fig. 15 dargestellte Weise befestigt ist. Die Achsen der Zahnräder, der Kettentrommel und der Kettenscheibe sind auf drei in Fig. 12, 13 und 14 dargestellte Blechbalken gelagert, welche auf besonderen, in das Mauerwerk eingelassenen Quadern ruhen. Um den ganzen Bewegungsmechanismus in jeder beliebigen Lage der Klappe feststellen zu können, ist auf das mittelst des erwähnten Stockschlüssels zuerst bewegte Zahnrad eine mit 16 Löchern versehene Scheibe, s. Fig. 19, geschraubt, in welche der in Fig. 16 und 17 dargestellte verticale Stift herabgelassen werden kann. Fig. 18 giebt den Grundriss der gusseisernen Platte, welche die drei Oeffnungen für jenen Stift sowie für die beiden erwähnten verticalen Wellen enthält und unter die festen Träger geschraubt ist. Beim Schliessen der Brücke wird der Stockschlüssel in entgegengesetzter Richtung gedreht, wodurch der kürzere Brückenarm gehoben, der längere so lange gesenkt wird, bis die beiden Haupt- und die beiden Bankettträger auf ihren mit dem Mauerwerk verankerten, gusseisernen Lagerplatten ruhen. Um ein Abheben dieser Träger zu verhindern und dieselben fest auf ihre Unterlagplatten zu pressen, dient der in Fig. 2—4 dargestellte Mechanismus, bei welchem mittelst eines in der Geleisachse angebrachten Stockschlüssels eine verticale Schraubenspinde in Drehung versetzt wird, welche eine sie umgebende Mutter und den mit ihr verbundenen Arm eines Winkelhebels hebt oder senkt. Im ersteren Falle wird die Hinterklappe frei, im letzteren Falle greifen die anderen, durch eine wagrechte Querstange verbundenen Arme jenes Winkelhebels unter die an den Enden der kürzeren Trägerarme angenieteten Nasen und pressen dieselben gegen die Unterflächen der festen Träger. Um beim Oeffnen der Brücke eine Beschädigung des Mauerwerkes durch die Hinterklappe zu verhindern, ist vor dasselbe ein wagrechtes Prellholz gelegt, welches auf zwei kurzen verticalen Pfosten ruht, die mit den oben erwähnten Trägern verschraubt sind.

2. *Statische Berechnung.* Um das erforderliche Gegengewicht zu bestimmen, sind die positiven und negativen Momente der beweglichen Construction in horizontaler (geschlossener) und verticaler (geöffneter) Stellung sowie die hierbei entwickelten Reibungswiderstände zu ermitteln, welche durch den Bewegungsmechanismus zu überwinden sind. Hiernach ergibt sich folgende

¹⁾ Bearbeitet nach der von A. Ben del, Ingenieur in Cöln, aufgestellten Berechnung und Construction.

Berechnung des Gegengewichts.

Gegenstand	Gewicht in kg	Gegenstand	Gewicht in kg
<i>I. Zusammenstellung der Gewichte der beweglichen Construction.</i>			
a) Ein Langträger.		g) Eine äussere lange Querverbindung. Gesamtgew.	
1. Der hohe Theil.		h) Eine äussere kurze Querverbindung. Gesamtgew.	
1 vert. Platte 10 mm dick, 392 mm breit, 4,655 m lang	137,5	i) Der obere Horizontalverband.	
1 " " 10 " " 392 " " 1,308 " "	38	1. Das Kreuz über der Drehachse.	
1 horiz. Platte 13 " " 170 " " 5,963 " "	101,5	2 Platten 10 mm dick, 262 mm breit, 2.262 mm lang = 0,137 qm	
1 " " 13 " " 170 " " 5,963 " "	101,5	2 " 10 " " 262 " " 2.235 " " = 0,123 "	
2 ∠ Stäbe (78 mm + 78 mm) . 10 mm = 2.5,963 m lang	133	2 " 10 " " 196 " " 2.157 " " = 0,061 "	
2 " (78 " + 78 ") . 10 " = 2.5,963 m "	133	1 " 10 " " 196 " " 1.235 " " = 0,046 "	
670 Nietköpfe (20 mm)	25	zusammen 0,367 qm	
Summa a) 1	669,5	27,5	
2. Der niedrige Theil.		2 Futterstücke (78 mm . 13 mm) = 2.196 mm lang	
1 vert. Platte 10 mm dick, 314 mm breit, 2,092 m lang	49,5	3	
1 horiz. Platte 13 " " 170 " " 2,092 " "	36	2 Flachstäbe (78 mm . 13 mm) u. 2.2,079 m lang	
1 " " 13 " " 170 " " 1,935 " "	33,5	Nietköpfe dazu	
2 ∠ Stäbe (78 mm + 78 mm) . 10 mm u. 2.2,092 m lang	47		
2 " (78 " + 78 ") . 10 " u. 2.1,935 " "	43,5	Summa i) 1	
250 Nietköpfe (20 mm)	10	65,5	
Summa a) 2	219,5	2. Das zweite Kreuz.	
3. Stossplatten und Laschen.		2 Platten 10 mm dick, 262 mm breit, 2.196 mm lang = 0,102 qm	
2 Deckplatten	14,5	2 " 10 " " 262 " " 2.235 " " = 0,148 "	
4 Decklaschen	10	2 " 10 " " 262 " " 2.157 " " = 0,061 "	
Summa a) 3	24,5	zusammen 0,311 qm	
4. Eine Schwellenbefestigung.		2 Flachstäbe (78 mm . 13 mm) und 2.1,896 m lang und Nietköpfe von zusammen 2 kg	
2 ∠ Stäbe 78 . 78 . 10 mm stark und 170 mm lang	3,5	Summa i) 2	
b) Ein Seitenträger. Gesamtgewicht	130	55,5	
c) Eine innere hohe Querverbindung.		3. Der übrige Theil des oberen Horizontalverbandes.	
1 ∠ Stab 78 . 78 . 10 mm stark und 1,818 m lang	20	273 - (65,5 + 55,5)	
Der übrige Theil	149	152	
Summa c	169	k) Der untere Horizontalverband. Gesamtgewicht	
d) Eine innere niedrige Querverbindung.		l) Die Schürze.	
Gesamtgewicht	63	Schmiedeeisen 302,5	
e) Ein normaler Querträger. Gesamtgewicht	127	Schmiedetheile 65,5	
f) Ein Endquerträger. Gesamtgewicht	83	368	
		m) Die Fahrschienen. 2.6,12 m lang	
		n) Eine Schwelle. 0,235 . 0,235 . 4,001 m . 815 kg	
		o) Der innere Bohlenbelag. 8 . 0,131 . 0,039 . 6,120 m . 815 kg	
		p) Der äussere Bohlenbelag.	
		2 . 7 . 0,131 . 0,039 . 5,492 m . 815 kg	
		319	

Pos.	Gegenstand	Schwerpunkt- abstand in m	Gewicht in kg	Momente in mkg	Pos.	Gegenstand	Schwerpunkt- abstand in m	Gewicht in kg	Momente in mkg
------	------------	---------------------------------	------------------	-------------------	------	------------	---------------------------------	------------------	-------------------

II. Dreh-Momente.

A. In horizontaler Stellung.					2. Negative Momente.				
1. Positive Momente.					1. Positive Momente.				
a 1	2 Langträgerstücke 2.669,5 kg	2,249	1339	3011,41	a 2	2 Langträgerstücke 2.219,5 kg	1,778	439	780,54
a 3	Stossplatten und Laschen	0,575	24,5	13,95	c	1 innere hohe Querverbindung	0,366	169	61,85
b	2 Seitenträger 2.130 kg	3,086	260	802,36	e	1 normaler Querträger	1,098	127	139,45
d	1 innere niedrige Querverbindung	1,190	63	74,97	f	1 Endquerträger	2,563	83	212,73
1	" " " "	2,445	63	154,04	k	Der untere Horizontalverband	1,465	77,5	113,54
1	" " " "	3,727	63	234,80	Summa A. 2			1022,5	1540,65
1	" " " "	4,982	63	313,86	B. In verticaler Stellung.				
g, h	2 äussere Querverbindungen 36 + 36,5 kg	1,190	72,5	86,28	1. Positive Momente.				
2	" " " "	2,445	72,5	177,26	a 1	2 Langträgerstücke 2.669,5 kg	0,314	1339	420,45
2	" " " "	3,727	72,5	270,21	a 2	2 Langträgerstücke 2.219,5 kg	0,353	439	154,97
2	" " " "	4,982	72,5	361,20	a 3	Stossplatten und Laschen	0,314	24,5	7,69
i 1	1 Kreuz des Horizontalverbandes	0,445	65,5	29,15	b	2 Seitenträger 2.130 kg	0,225	260	58,50
2	" " " "	1,857	55,5	103,06	c	1 ∠ Stab 70 . 78 . 10 mm stark u. 1,818 m lang	0,092	20	1,84
3	Der übrige Theil d. ob. Horizontalverbandes	3,086	155	478,33	d	1 innere hohe Querverbindung	0,209	149	31,14
l	Die Schürze	1,569	368	577,39	d	4 innere niedrige Querverbindungen	0,314	252	79,13
m	Die Fahrschienen	2,615	439	1147,99	e, f	2 normale und 1 Endquerträger 254 + 83 kg	0,353	337	118,96
n	1 Schwelle m. Befestigungswinkel 180 + 3,5 kg	0,628	183,5	108,53	g, h	8 äussere Querverbindungen 8 . 36 + 36,5 kg	0,275	290	79,75
1	" " " "	1,569	183,5	288,13	i	Der obere Horizontalverband	0,131	276	36,16
1	" " " "	2,406	183,5	441,33	k	Der untere Horizontalverband	0,497	77,5	38,52
1	" " " "	3,243	183,5	595,13	l	Die Schürze	1,203	368	442,70
1	" " " "	4,080	183,5	748,13	Summa B. 1			3832	1469,81
1	" " " "	4,917	183,5	901,13	2. Negative Momente.				
zusammen		16,843		3090,72	m	Die Fahrschienen	0,183	439	80,34
o	Der innere Bohlenbelag	2,615	203	530,85	n	6 Schwellen mit Befestigung 6 . 183,5 kg		1101	
p	Der äussere Bohlenbelag	2,929	319	934,35	o, p	Der Bohlenbelag 203 + 319 kg	0,139	522	72,56
Summa A. 1			4871,5	12392,18	Summa B. 2			2062	152,90
					Gesamtgewicht der bewegl. Construction . 5894				

Zusammenstellung II.

A. Momente in horizont. Stellung.				B. Momente in verticaler Stellung.			
1. Positive Momente		Summa A. 1		1. Positive Momente		Summa B. 1	
2. Negative Momente		Summa A. 2		2. Negative Momente		Summa B. 2	
Ueberschüssiges positives Moment				Ueberschüssiges positives Moment			
Gesamtgewicht der bewegl. Construction		5894		Gesamtgewicht der bewegl. Construction		5894	

III. Momente des Gegengewichts.

A. In horizontaler Stellung.				B. In verticaler Stellung.			
1. Positive Momente = 0.				1. Positive Momente.			
2. Negative Momente = 0.				18 Platten nebst Futterstücken zwisch. d. Q.			
18 Platten nebst Futterstücken zwisch. d. Q.		1,831 2981 5458,21		18 Platten auf den Querträgern		0,065 2574 167,31	
9 Platten auf den Querträgern		1,177 1225,5 1442,41		Summa		5555 1064,59	
9 " " " "		2,040 1348,5 2750,94		2. Negative Momente = 0.			
Summa		5555 9651,56					
A. In horizontaler Stellung.				B. In verticaler Stellung.			
Positives Moment der Eisenconstruction				Positives Moment der Eisenconstruction			
Negatives Moment des Gegengewichts				Positives Moment des Gegengewichts			
Ueberschüssiges positives Moment				Ueberschüssiges positives Moment			

Werden, um diese Momente zu vermindern, noch sechs Platten von 575 mm Länge, 183 mm Breite und 78 mm Dicke, also von $6 \cdot 57,5 \cdot 18,3 \cdot 7,8 = 49245,30$ ccm Inhalt, also 356 kg Gewicht auf die beiden Langträger befestigt, so kommen die Momente:

$$356 \cdot 2,04 = -726,24 \text{ und } 356 \cdot 0,065 = +23,14,$$

hinzu, mithin entstehen bezw. die Gesamt-Momente:
 $1199,97 - 726,24 = 473,73$ mkg und $2381,5 + 23,14 = 2404,64$ mkg.

Diese beiden Momente sind durch den Aufziehmechanismus zu überwinden. Bei einem Uebersetzungsverhältniss von $\frac{7}{12}$ erhält man, da der Angriffspunkt der Kette 2,615 m vom Drehpunkt absteht, bezw. die Kraft:

$$\frac{473,73}{2,615 \cdot \frac{7}{12}} = \text{ca. } 310 \text{ kg und } \frac{2404,64}{2,615} = 922,5 \text{ kg.}$$

Da nach dem Früheren das Gewicht der Eiseneconstruction 5894 kg, des Gegengewichtes $5555 + 356 = 5911$ kg, das Gewicht beider also 11805 kg beträgt, so erhält man für den Hebelarm von 2,615 m, woran die Kette wirkt, und für den Durchmesser von 0,052 m der Drehachse, wenn der Reibungscoefficient zu 0,2 angenommen wird, einen Reibungswiderstand von bezw. $0,2 \cdot 11805 \cdot 0,052 \cdot \frac{12}{7} = 80$ kg und $0,2 \cdot 11805 \cdot \frac{0,052}{2,615} = 47,5$ kg. Hieraus ergibt sich für das Uebersetzungsverhältniss von $\frac{30 \cdot 4}{15} = \frac{1}{8}$ und von $\frac{5}{30 \cdot 4} = \frac{1}{24}$ die erforderliche Kraft am Anfange der Bewegung $(310 + 80) \cdot \frac{1}{8} = 49$ kg, am Ende der Bewegung $(922,5 + 47,5) \cdot \frac{1}{24} = 40$ kg, welche ein doppeltes Vorgelege erforderlich macht.

Taf. V. Drehbrücke in der Berlin-Stettiner Bahn über die Parnitz bei Stettin.¹⁾

1. *Allgemeine Anordnung.* Die zweigeleisige Brücke über die Parnitz enthält zwei mittelst Schwedler'scher Träger überbrückte Seitenöffnungen von 33,9 m und eine doppelarmige Drehbrücke über zwei Mittelöffnungen von je 12,55 m lichter Weite. Der Mittelpfeiler der letzteren, worauf sich die Drehvorrichtung befindet, hat die Form eines abgestumpften Kegels mit 8,16 m unterem und 7,85 m oberem Durchmesser erhalten. Das in Cementmörtel hergestellte Mauerwerk ist auf einem schmiedeisernen Kranze von 1,25 m Höhe aufgeführt und besitzt mit Ausnahme des unteren, durch Auskragung nach innen verstärkten Theiles eine Wandstärke von 0,94 m. Der Kern wurde bis auf 1,41 m Höhe mit Beton gefüllt, der übrige Theil von Ziegelmauerwerk in Cementmörtel hergestellt. Die Auflagepfeiler der Drehbrücke, welche zugleich die Stropfpfeiler der festen Brücke bilden, bestehen aus je zwei in ähnlicher Weise ausgeführten, gleichmässig gesenkten Brunnen, welche einen oberen und unteren Durchmesser von bezw. 3,76 und 5,65 m Durchmesser besitzen, 8,08 m von Mitte zu Mitte entfernt und über Mittelwasser durch ein flaches, fest verankertes Gewölbe derart mit einander verbunden sind, dass die obere Aufmauerung einen Pfeiler von 11,85 m Länge und 3,77 m Breite mit abgerundeten Vorköpfen bildet.

Der eiserne, bewegliche Ueberbau besteht aus zwei 5,649 m von Mitte zu Mitte entfernten Blechträgern von 35,308 m Länge, welche, um eine möglichst hohe Durchfahrtsöffnung für kleinere Schiffe — auch bei geschlossener Brücke — zu erlangen, die in Fig. 1 dargestellte Form mit einer Höhe von 1,674 m in deren Mitte und mit nur 1,18 m zwischen den Pfeilern erhalten haben. Diese Hauptträger sind in Abständen von je 2,874 m durch 1,046 m hohe Querträger verbunden, zwischen welche vier, je 1,726 m von einander entfernte, 0,418 m hohe Längsträger eingeschaltet sind, welche den aus Querschwellen, Fahrschienen

¹⁾ Bearbeitet nach dem von der Kgl. Eisenbahndirection in Berlin zur Verfügung gestellten amtlichen Materiale.

und Bohlenbelag bestehenden Oberbau aufnehmen. Zur Unterstützung des in der Mitte der Hauptträger angebrachten Drehzapfens sind zwei 0,942 m von Mitte zu Mitte entfernte Querträger eingeschaltet, welche zwischen zwei 0,314 m von einander entfernten Längsträgern das mit diesen verschraubte, gusseiserne Gehäuse des Drehzapfens tragen, während die aus Querschwellen und Längsbohlen bestehenden Bankette durch dreieckige, an die Aussenseiten der Hauptträger genietete Consolen unterstützt und aussen mit schmiedeisernen Geländern eingefasst sind. Im geschlossenen Zustande ruht die Brücke auf drei Stützen ABC, s. Texttafel A, Fig. 11, welche von der Achse des Drehpfeilers, also von der Mitte der Hauptträger D links 17,889 m, rechts 0,942 m und 17,889 m entfernt sind. Soll die Brücke geöffnet werden, so wird das Auflager A, also auch der darauf ruhende Brückenarm, mittelst einer Windevorrichtung so lange gesenkt, bis die Brücke sich zuerst auf den in der Achse des Drehpfeilers befindlichen Drehzapfen D aufsetzt, hierauf von der Mittelstütze B abhebt, sodann mittelst einer Rolle E auf eine mit Zahnkranz versehene Laufschiene auflegt und zuletzt nur auf dem Drehzapfen D und der Stützrolle E ruht. Um hierbei ein Schwanken oder Seitwärtskippen der Brücke zu vermeiden, sind in einer normal zur Brückenachse durch die Mitte des Drehzapfens gelegten Linie zu beiden Seiten der Brückenachse zwei Stützrollen angebracht, s. Taf. V, Fig. 1 u. 2, welche bei Auflagerung der Brücke auf den Drehzapfen sich zugleich auf ihre Laufschiene aufsetzen. In dieser freischwebenden Lage wird die Drehung der Brücke durch einen an verticaler Achse wirkenden Göpel mittelst Zahnradvorgelege bewirkt, wobei ein Zahnrad in den bereits erwähnten Zahnkranz eingreift. Nach dem Einschwenken werden die Trägerenden mittelst derselben Windevorrichtung gesenkt und auf besondere, drehbare Pendel abgestützt, s. Taf. V, Fig. 17—20, wonach die Feststellung der Brücke am längeren Arm durch die in Fig. 20 dargestellten Riegel, am kürzeren Arm durch die in Fig. 21—23 dargestellte Einklinkung erfolgt. Sobald diese Feststellung bewirkt ist, giebt die mit jener Einklinkung in Verbindung gebrachte Signalvorrichtung das Zeichen für die wiederhergestellte Betriebsfähigkeit der Brücke.

2. *Statische Berechnung.* Dieselbe zerfällt in die Berechnung des aus den Haupt-, Quer- und Schwellenträgern bestehenden Ueberbaues und der zur Aus- und Einschwenkung der Brücke nöthigen mechanischen Vorrichtungen.

A. Die Hauptträger. Sie besitzen eine Gesamtlänge $l = 35,308$ m, wovon die Länge $l_1 = 18,36$ m auf den längeren und $l_2 = 16,948$ m auf den kürzeren Arm entfällt, während für den m Brücke ihre Eigengewichtsbelastung zu 1194,8 kg, ihre Verkehrsbelastung für den Fall, dass

die ganze Brücke vollbelastet ist, zu 6133,4 kg, deren längerer Arm vollbelastet und deren kürzerer Arm entlastet ist, zu 6213,1 kg, deren längerer Arm entlastet und deren kürzerer Arm vollbelastet ist, zu 6611,4 kg angenommen ist.¹⁾

a) Ermittlung der Angriffsmomente und Verticalscheerkräfte.

Erster Belastungsfall. Die ganze Brücke ist vollbelastet.

In diesem Fall ist $g_1 = g_2 = 6133,4$ kg, mithin ergeben sich, wenn die Werthe für l_1 , l_2 und l eingeführt werden, aus Gleichung 51 und 52 die Drücke der Endstützen

$$A = 6133,4 \frac{18,36^2 (3 \cdot 18,36 + 4 \cdot 16,948) - 16,948^3}{8 \cdot 18,36 \cdot 35,308} = 43220 \text{ kg}$$

und

¹⁾ Der Ermittlung dieser drei gleichförmig vertheilten äquivalenten Verkehrsbelastungen wurden Personenzug-Locomotiven von 30000 kg Gesamtlast (wovon 18000 kg auf die Triebachse in der Mitte und je 6000 kg auf die Laufachsen der beiden Seiten entfallen) und von 2,82 m Radstand zu Grunde gelegt.

$$C = 6133,4 \frac{16,948^2 (3 \cdot 16,948 + 4 \cdot 18,36) - 18,36^3}{8 \cdot 16,948 \cdot 35,308} = 37807 \text{ kg}$$

und nach Einführung dieser Stützdrücke in Gleichung 53 der Druck der Mittelstütze

$$B = 6133,4 \cdot 35,308 - (43220 + 37807) = 135526 \text{ kg.}$$

An dem linken Arme wird nach Gleichung 43, 44 und 45 für

$$x = 0, {}^aM = 0 \text{ und } {}^aV_{\max} = 43220 \text{ kg,}$$

$$x = \frac{43220}{6133,4} = 7,05 \text{ m, } {}^aM_{\max} = \frac{43220^2}{2 \cdot 6133,4} = 152344 \text{ kgm}$$

$$\text{und } {}^aV_{\min} = 0,$$

$$x = 18,36 \text{ m, } {}^aM = 43220 \cdot 18,36 - \frac{6133,4 \cdot 18,36^2}{2} = -240087 \text{ kgm}$$

$$\text{und } {}^aV = 43220 - 6133,4 \cdot 18,36 = -69384 \text{ kg.}$$

An dem rechten Arme wird nach Gleichung 48, 49 und 50 für

$$x = 0, {}^aM = 0 \text{ und } {}^aV_{\max} = 37807 \text{ kg, für}$$

$$x = \frac{37807}{6133,4} = 6,164 \text{ m,}$$

$${}^aM_{\max} = \frac{37807^2}{2 \cdot 6133,4} \text{ und } {}^aV_{\min} = 0, \text{ für}$$

$$x = 16,948 \text{ m,}$$

$${}^aM = 37807 \cdot 16,948 - 6133,4 \cdot \frac{16,948^2}{2} = -240087$$

$$\text{und } {}^aV = 37807 - 6133,4 \cdot 16,948 = -66143 \text{ kg.}$$

Zweiter Belastungsfall. Der längere Arm ist vollbelastet, der kürzere Arm entlastet.

In diesem Fall ist $g_1 = 6213,1 \text{ kg}$, $g_2 = 1194,8 \text{ kg}$; also erhält man, wenn diese und die Zahlenwerthe für l_1 , l_2 und l eingeführt werden, aus Gleichung 51 und 52 die Drücke der Endstützen

$$A = \frac{6213,1 \cdot 18,36^2 (3 \cdot 18,36 + 4 \cdot 16,948) - 1194,8 \cdot 16,948^3}{8 \cdot 18,36 \cdot 35,308} = 48501 \text{ kg und}$$

$$C = \frac{1194,8 \cdot 16,948^2 (3 \cdot 16,948 + 4 \cdot 18,36) - 6213,1 \cdot 18,36^3}{8 \cdot 16,948 \cdot 35,308} = 877 \text{ kg,}$$

ferner, nach Einführung dieser Stützdrücke in Gleich. 53, den Gegendruck der Mittelstütze

$$B = 6213,1 \cdot 18,36 + 1194,8 \cdot 16,948 - (48501 + 877) = 84945 \text{ kg.}$$

An dem linken Arme wird nach Gleichung 43, 44 und 45 für

$$x = 0, {}^aM = 0 \text{ und } {}^aV_{\max} = 48401 \text{ kg,}$$

$$x = \frac{48501}{6213,1} = 7,806 \text{ m; } {}^aM_{\max} = \frac{48501^2}{2 \cdot 6213,1} = 189304 \text{ kgm}$$

$$\text{und } {}^aV = 0,$$

$$x = 18,36 \text{ m,}$$

$${}^aM = 48501 \cdot 18,36 - 6213,1 \cdot \frac{18,36^2}{2} = 156732 \text{ kgm}$$

$$\text{und } {}^aV = 48501 - 6213,1 \cdot 18,36 = 65574 \text{ kg.}$$

An dem rechten Arme erhält man nach Gleichung 48, 49 und 50 für

$$x = 0, {}^aM = 0 \text{ und } {}^aV = 877 \text{ kg,}$$

$$x = \frac{877}{1194,8} = 0,734 \text{ m, } {}^aM_{\max} = \frac{877^2}{2 \cdot 1194,8} = 322 \text{ kgm}$$

$$\text{und } {}^aV = 0,$$

$$x = 16,984 \text{ m,}$$

$${}^aM = 877 \cdot 16,984 - 1194,8 \cdot \frac{16,984^2}{2} = 156732 \text{ kgm}$$

$$\text{und } {}^aV = 877 - 1194,8 \cdot 16,984 = 19371 \text{ kg.}$$

Dritter Belastungsfall. Der längere Arm ist entlastet, der kürzere Arm vollbelastet.

In diesem Fall ist $g_1 = 1194,8 \text{ kg}$, $g_2 = 6611,4 \text{ kg}$, daher ergeben sich, wenn diese und die Zahlenwerthe l_1 , l_2 und l eingeführt werden, aus Gleichung 51 und 52 die Drücke der Endstützen

$$A = \frac{1194,8 \cdot 18,36^2 (3 \cdot 18,36 + 4 \cdot 16,948) - 6611,4 \cdot 16,948^3}{8 \cdot 18,36 \cdot 35,308} = 3337 \text{ kg und}$$

$$C = \frac{6611,4 \cdot 16,948^2 (3 \cdot 16,948 + 4 \cdot 18,36) - 1194,8 \cdot 18,36^3}{8 \cdot 16,948 \cdot 35,308} = 47758 \text{ kg,}$$

ferner, nach Einführung dieser Stützdrücke in Gleich. 53, der Gegendruck der Mittelstütze

$$B = 1194,8 \cdot 18,36 + 6611,4 \cdot 16,948 - (3337 + 47758) = 82893 \text{ kg.}$$

An dem linken Arme wird nach Gleichung 43, 44 und 45 für

$$x = 0, {}^aM = 0 \text{ und } {}^aV_{\max} = 3337 \text{ kg,}$$

$$x = \frac{3337}{1194,8} = 2,79 \text{ m; } {}^aM_{\max} = \frac{3337^2}{2 \cdot 1194,8} = 4660 \text{ kgm}$$

$$\text{und } {}^aV = 0,$$

$$x = 18,36 \text{ m, } {}^aM = 3337 \cdot 18,36 - 1194,8 \cdot \frac{18,36^2}{2} \text{ und}$$

$${}^aV = 3337 - 1194,8 \cdot 18,36 = 18600 \text{ kg.}$$

An dem rechten Arme ergibt sich nach Gleichung 48, 49 und 50 für

$$x = 0, {}^aM = 0 \text{ und } {}^aV = 47758 \text{ kg,}$$

$$x = \frac{47758}{6611,4} = 7,224 \text{ m, } {}^aM_{\max} = \frac{47758^2}{2 \cdot 6611,4} = 164925 \text{ kgm}$$

$$\text{und } {}^aV = 0,$$

$$x = 16,948 \text{ m,}$$

$${}^aM = 47758 \cdot 16,948 - 6611,4 \cdot \frac{16,948^2}{2} = 139968 \text{ kgm}$$

$$\text{und } {}^aV = 47758 - 6611,4 \cdot 16,948 = 64292 \text{ kg.}$$

Vierter Belastungsfall. Die auf Drehzapfen und Stützrad schwebende Brücke ist durch Eigengewicht und Gegengewicht belastet.

Die gesammte Länge der mit $1194,8 \text{ kg}$ auf den m belasteten Brücke beträgt $2 \cdot 17,8895 = 35,779 \text{ m}$. Soll das in der Entfernung $3,452 \text{ m}$ vom Drehzapfen entfernte Stützrad E einen Druck von 5000 kg aufnehmen, so muss das in der Entfernung $17,418 \text{ m}$ vom Drehzapfen angebrachte Gegengewicht $G = 5000 \cdot \frac{3,452}{17,418} = 1000 \text{ kg}$ betragen, wovon auf jeden der beiden Träger die Hälfte entfällt. Der Druck auf den Drehzapfen für jeden Träger beträgt hiernach

$$D = 35779 \cdot 11948 + 500 - 2500 = 40750 \text{ kg.}$$

Die Angriffsmomente und Verticalkräfte ergeben sich bezw. aus Gleichung 13 und 15.

Linker Arm des Trägers. Für $x = 0$ ist ${}^aM = 0$ und ${}^aV = 0$.

In dem Abstand $x = 0,471 \text{ m}$, wo das Gegengewicht von 500 kg angreift, erhält man ${}^aM = 1194,8 \cdot \frac{0,471^2}{2} =$

$$132 \text{ kgm, ferner entweder links } {}^aV_l = 1194,8 \cdot 0,471 = 563 \text{ kg, oder rechts } {}^aV_r = 1194,8 \cdot 0,471 + 500 = 1063 \text{ kg.}$$

In dem Abstand $x = 17,889 - 3,452 = 14,437 \text{ m}$ vom Ende, worin der Gegendruck von 2500 kg des Stützrades wirkt, erhält man, da der Abstand des Gegengewichtes vom Stützrad $14,437 - 0,471 = 13,966 \text{ m}$ beträgt, ${}^aM =$

$$1194,8 \cdot \frac{14,437^2}{2} + 500 \cdot 13,966 = 131503 \text{ kgm, ferner ent-$$

$$\text{weder links } {}^aV_l = 1194,8 \cdot 14,437 + 500 = 47750 \text{ kg, oder rechts } {}^aV_r = 1194,8 \cdot 14,437 + 500 - 2500 = 15250 \text{ kg.}$$

Für die in der Mitte der Brücke befindliche Achse des Dreh-

$$\text{zapfens ergibt sich } {}^aM = 1194,8 \cdot \frac{17,889^2}{2} + 500 \cdot 17,418 - 2500 \cdot 3,452 = 191272 \text{ kgm und } {}^aV = 1194,8 \cdot 17,889 + 500 - 2500 = 19375 \text{ kg.}^1)$$

1) Da die Achse des Stützrades, wie Fig. 5, Taf. V zeigt, zwischen zwei Querträgern in den Abständen von $94,2$ und $15,7 \text{ cm}$ befestigt ist, so vertheilt sich genau genommen dessen Gegendruck auf die beiden Querträger in dem Verhältnisse von $2500 \cdot \frac{94,2}{109,9} =$

2143 und $2500 \cdot \frac{15,7}{109,9} = 3571 \text{ kg}$ bezw. auf den näheren und ent-

Fig 1 u. 2. Beide Arme sind voll belastet.

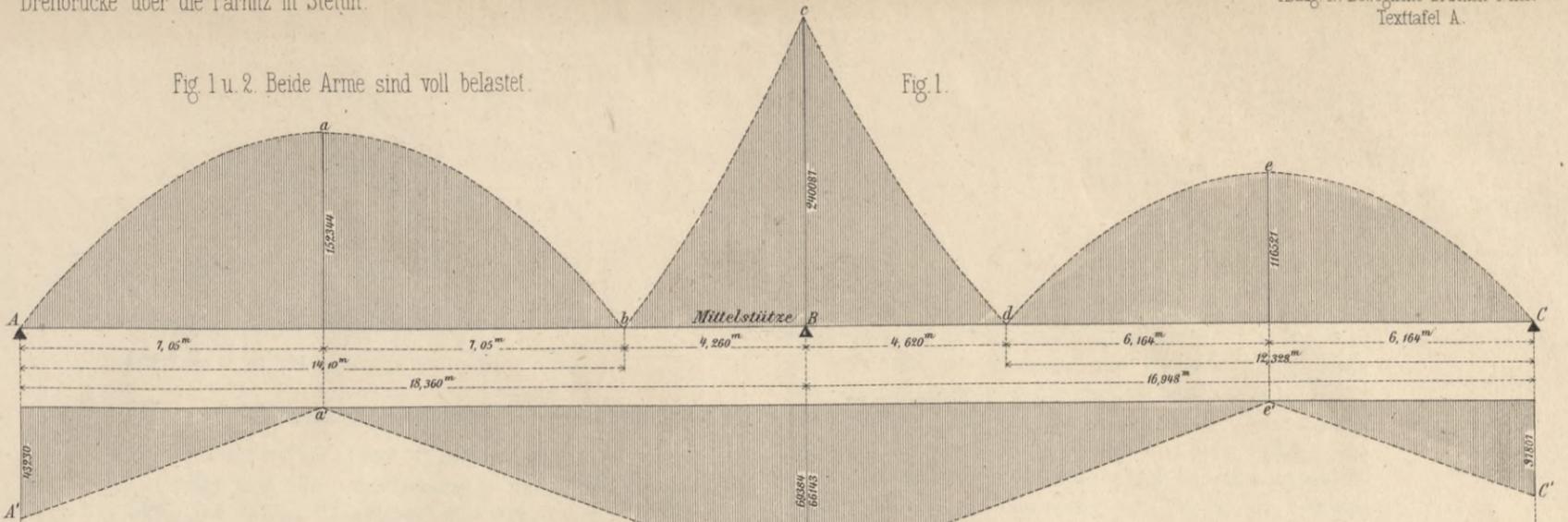


Fig 3 u. 4. Linker (längerer) Arm ist vollbelastet.

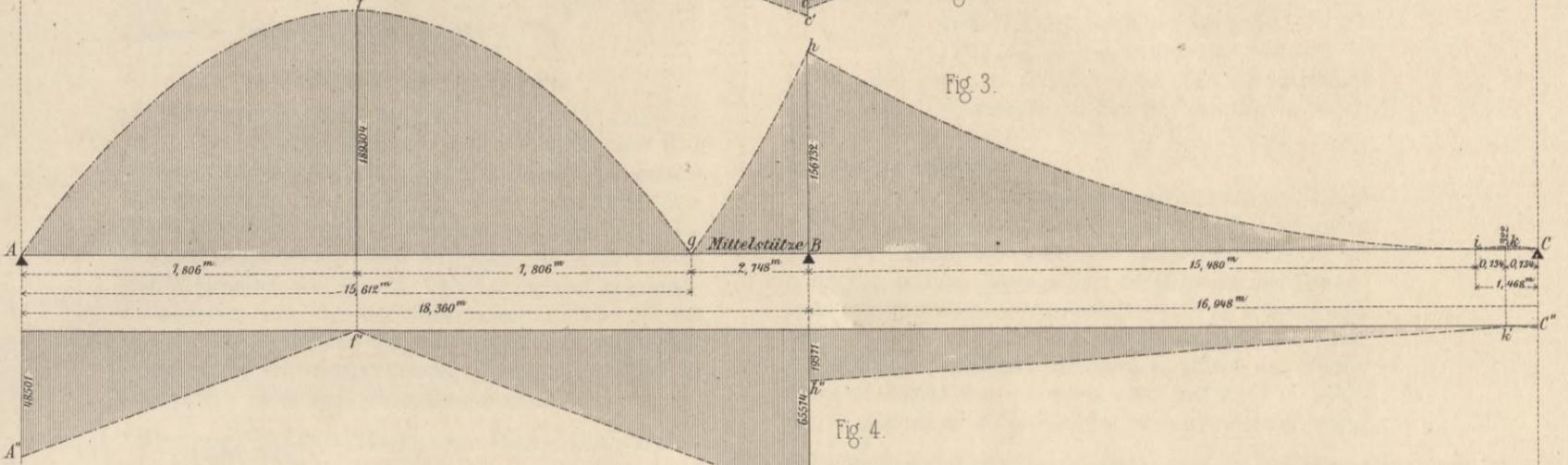


Fig 5 u. 6. Rechter (kürzerer) Arm ist vollbelastet.

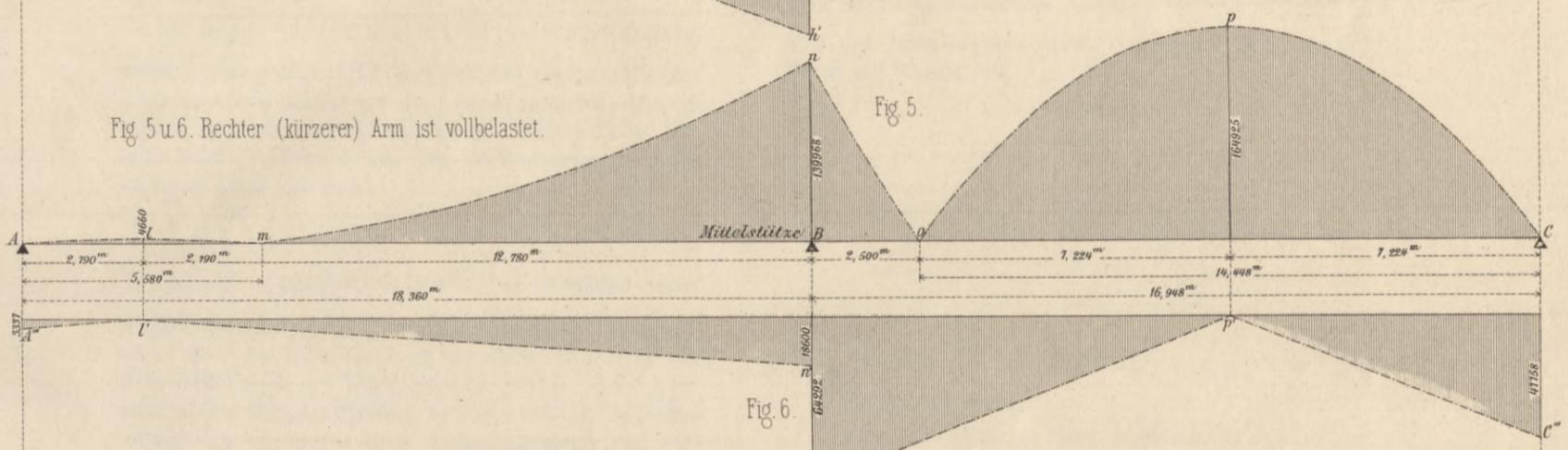


Fig 7 u. 8. Die entlasteten Träger schweben frei auf dem Drehzapfen und Stützrad.

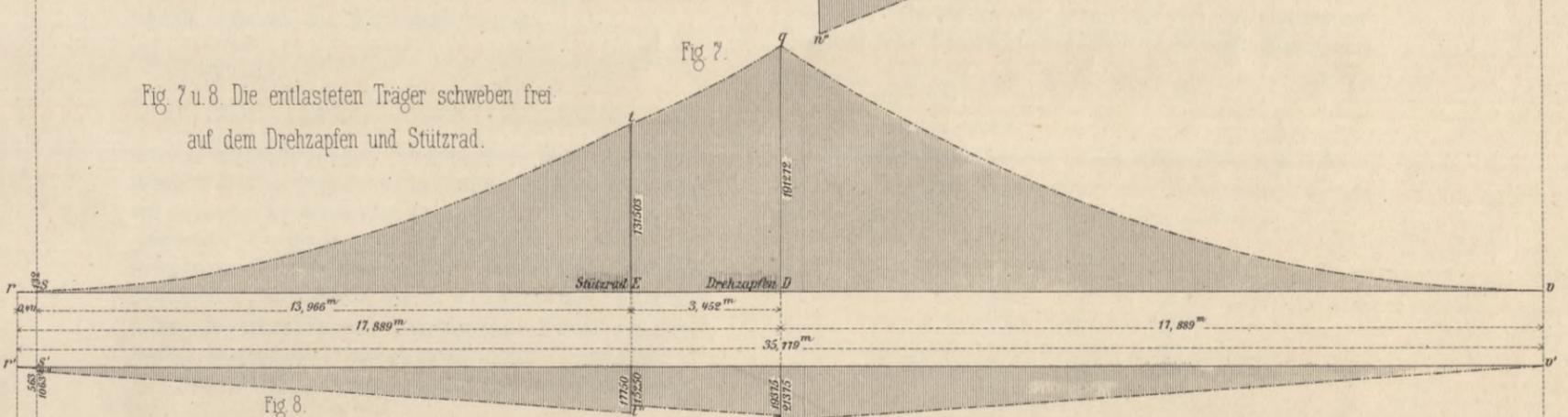
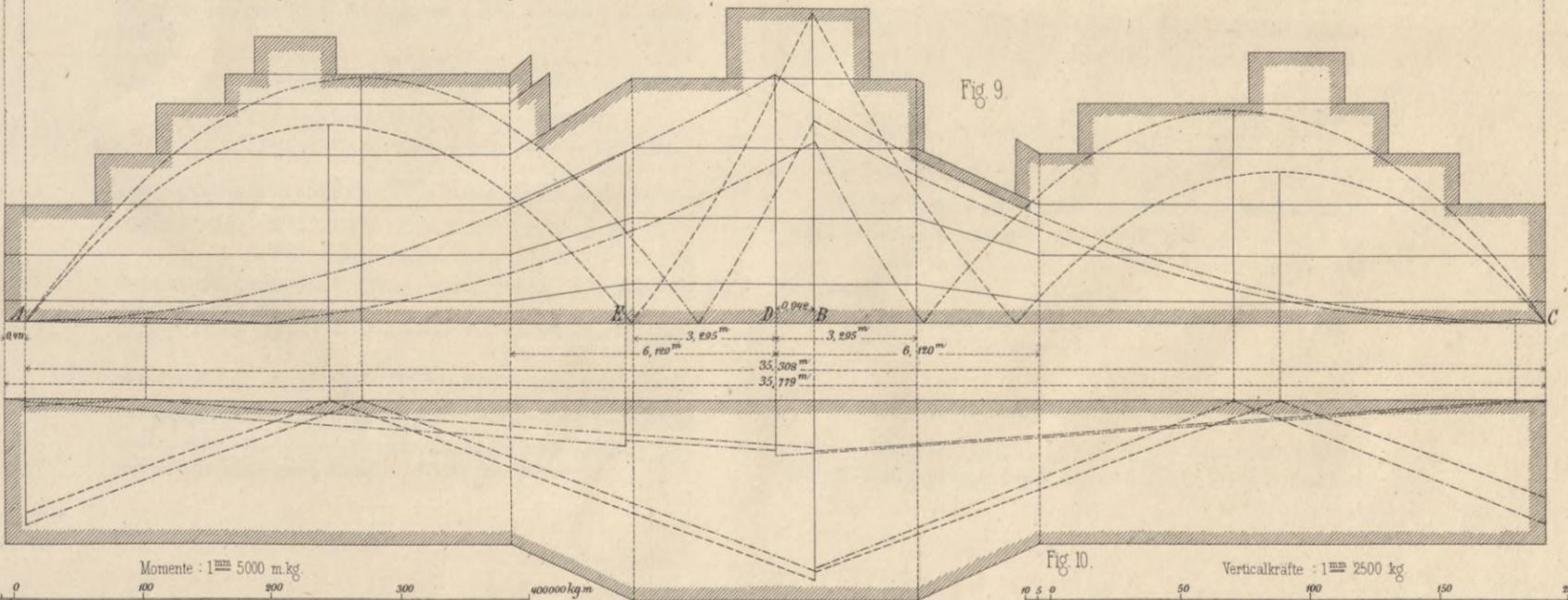


Fig 9 u. 10. Zusammenstellung der Momente und Verticalkräfte nebst Materialvertheilung der Gurten und Tragwände.

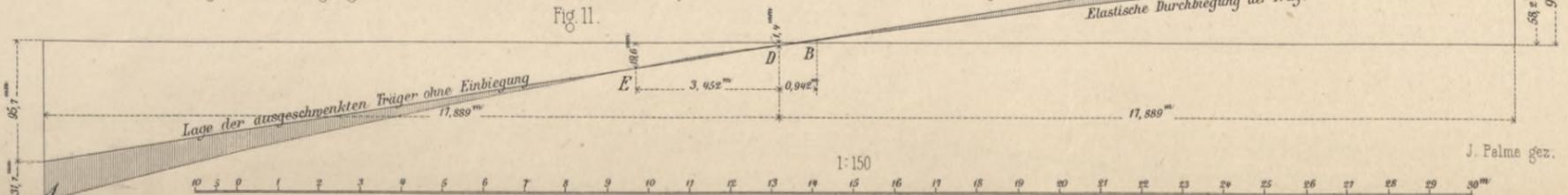


Momente : 1mm 5000 m.kg.

Verticalkräfte : 1mm 2500 kg

II. Graphische Darstellung der Durchbiegungen in $\frac{1}{50}$ der Längen und in $\frac{1}{30}$ der Höhen.

Fig 11. Durchbiegung der entlasteten, frei auf dem Drehzapfen und Stützrad schwebenden Träger.



Rechter Arm des Trägers.

Für $x = 0$ ist $^aM = 0$ und $^aV = 0$.

Für $x = 17889$ m ist $^aM = 1194,8 \cdot \frac{17,889^2}{2} = 191272$ kgm
und $^aV = 1194,8 \cdot 17,889 = 21375$ kg.

Trägt man die Angriffsmomente und Verticalscheerkräfte der beiden Trägerarme für vorstehende vier Belastungsfälle in dem Maassstabe von bezw. $1 \text{ mm} = 5000$ kgm und von $1 \text{ mm} = 2500$ kg auf, so ergibt sich die graphische Darstellung auf Texttafel A, Fig. 1—8.

b) Ermittlung der Querschnitte.

Hieraus folgt, dass das grösste Angriffsmoment $^aM_{\max}$ des längeren Armes 18930400 kgcm und des kürzeren Armes 16492500 kgcm, während das grösste Angriffsmoment der Hauptträger über der Mittelstütze 24008700 kgcm beträgt. Der grösste Querschnitt des längeren Armes ist aus einem Stehblech von $116,4 \cdot 1,3$ cm, vier Winkeleisen von je $10,5 \cdot 10,5 \cdot 1,3$ cm und vier Horizontalplatten von $41,8$ cm Breite und $1,3; 1,3; 1,3$ bei $0,75$ cm Stärke mittelst $2,6$ cm starker Niete zusammengesetzt. Für eine Anspruchnahme des qem von 730 kg ergibt sich daher das Widerstandsmoment

$$^wM = \frac{730}{62,85 \cdot 12} \left[36,6 \cdot \overline{125,7^3} - 14,3 \cdot \overline{116,4^3} - 18,4 \cdot \overline{113,8^3} - 2,6 \cdot \overline{96,5^3} - \left(3,9 (\overline{107,9^3} - \overline{102,7^3}) \right) \right] = 19550990 \text{ cmkg,}$$

welches also genügt. Bei dem grössten Querschnitte des kürzeren Armes fehlen nur die beiden äussersten, $0,75$ cm starken Horizontalplatten, während alle übrigen Theile dieselbe Stärke erhalten haben. Das Widerstandsmoment des kürzeren Armes ist daher

$$^wM = \frac{730}{62,1 \cdot 12} \left[36,6 \cdot \overline{124,2^3} - 14,3 \cdot \overline{116,4^3} - 18,4 \cdot \overline{113,8^3} - 2,6 \cdot \overline{96,5^3} - \left(3,9 (\overline{107,9^3} - \overline{102,7^3}) \right) \right] = 16688970 \text{ cmkg,}$$

welches ebenfalls genügt. Der grösste Querschnitt der Hauptträger über der Mittelstütze ist aus einem $159,5 \cdot 1,3$ cm starken Stehblech, vier Winkeleisen von je $10,5 \cdot 10,5 \cdot 1,3$ cm und je drei Horizontalplatten von je $41,8 \cdot 1,3$ cm Stärke mittelst $2,6$ cm starker Niete zusammengesetzt und entwickelt demnach ein Widerstandsmoment

$$^wM = \frac{730}{83,7 \cdot 12} \left[36,6 \cdot \overline{167,4^3} - 14,3 \cdot \overline{159,5^3} - 18,4 \cdot \overline{156,9^3} - 2,6 \cdot \overline{138,6^3} - \left(3,9 (\overline{151^3} - \overline{145,8^3}) \right) \right] = 24892748 \text{ cmkg,}$$

welches ebenfalls genügt. Werden diese sowie die in ähnlicher Weise zu berechnenden Widerstandsmomente aller von einander abweichenden Querschnitte, bei welchen die wagrechten Gurtplatten an den Enden bis auf eine abnehmen, in dem Maassstabe von $1 \text{ mm} = 5000$ mkg aufgetragen, s. Texttafel A, Fig. 9, so ergibt sich, dass dieselben die entsprechenden Angriffsmomente durchweg übertreffen, die gewählten Gurtquerschnitte also überall genügen.

Aus der graphischen Zusammenstellung in Fig. 10

ferneren Querträger und deren Anschlüsse an die Hauptträger. Da sich jene Querträger bezw. in den Abständen $14,594$ und $13,495$ m von dem Ende des längeren Armes befinden, so erhält man für:

$$x = 13,495 \text{ m, } ^aM = 1194,8 \cdot \frac{13,495^2}{2} + 500 \cdot 13,024 = 115298 \text{ kgm,}$$

$$^aV_1 = 1194,8 \cdot 13,495 + 500 = 16624 \text{ kg,}$$

$$^aV_r = 1194,8 \cdot 13,495 + 500 - 357 = 16267 \text{ kg.}$$

$$x = 14,594 \text{ m, } ^aM = 1194,8 \cdot \frac{14,594^2}{2} + 500 \cdot 14,123 - 357 \cdot 1,099 = 133855,6 \text{ kgm, } ^aV_1 = 1194,8 \cdot 14,594 + 500 - 357 = 17580 \text{ kg,}$$

$$^aV_r = 1194,8 \cdot 14,594 + 500 - 357 - 2143 = 15437 \text{ kg.}$$

Berücksichtigt man nur den Druck des Stützrades, so ergibt sich für dieselben Abstände

$$x = 13,495 \text{ m, } ^aM = 115298 \text{ kgm und } ^aV_1 = ^aV_r = 16624 \text{ kg und}$$

$$x = 14,594 \text{ m, } ^aM = 1194,8 \cdot \frac{14,594^2}{2} + 500 \cdot 14,123 - 2500 \cdot 0,157 = 133855 \text{ kgm und } ^aV_1 = ^aV_r = 1194,8 \cdot 14,594 + 500 - 2500 = 15437 \text{ kg,}$$

woraus folgt, dass die Angriffsmomente und Verticalkräfte im letzteren Falle mindestens denselben Werth annehmen.

folgt, dass die grössten Verticalscheerkräfte V_{\max} an dem Ende des längeren und kürzeren Armes sowie über der Mittelstütze auftreten und bezw. 48501 , 47758 und 69384 kg betragen. Da die durchweg $1,3$ cm starken Stehbleche an diesen Stellen Höhen von bezw. $116,4$, $195,5$ und $116,4$ cm besitzen, so ergeben sich bei einer Anspruchnahme des qem auf Scheerung von 365 kg die Verticalwiderstände über den beiden Endstützen und über der Mittelstütze bezw.

$$^wV = 1164 \cdot 1,3 \cdot 365 = 55232 \text{ kg und}$$

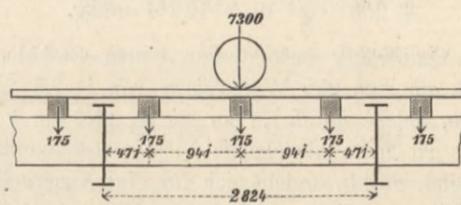
$$^wV = 159,5 \cdot 1,3 \cdot 365 = 75683 \text{ kg,}$$

welche also genügen. Werden diese Verticalwiderstände sammt ihren Uebergängen in Fig. 10 eingetragen, so ergibt sich, dass dieselben auch für alle übrigen Trägerquerschnitte genügen.

B. Die Schwellenträger. Sie besitzen eine Länge von $2,824$ m, wiegen 225 kg und nehmen je drei Schwellen mit dem gegenseitigen Abstände von 94 cm auf, wo sie durch Fahrseiene, Eigengewicht der Schwelle und Bohlenbelag mit bezw. $31,5 + 75,0 + 68,5 = 175$ kg belastet sind. Werden sie von Locomotiven mit Belastungen von 9700 , 14600 und 4950 kg bezw. der Vorder-, Mittel- und Hinterachse bei Radständen von bezw. $1,935$ und $2,458$ m befahren, so erleiden sie die grösste Anspruchnahme auf Biegung, wenn das Mittelrad mit einem Gewichte von $\frac{14600}{2} = 7300$ kg

über der Mittelschwelle steht. In diesem Fall ist, mit Bezug auf Textfig. 83,

Fig. 83.



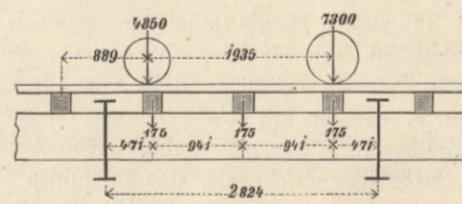
$$^aM_{\max} = 7300 \cdot \frac{282,4}{4} + 175 \cdot 282,4 \left(\frac{3}{4} - \frac{1}{3} \right) + 225 \cdot \frac{282,4}{8} = 543912 \text{ cmkg.}$$

Der $41,8$ cm hohe, aus einem Stehblech von $41,8 \cdot 0,8$ cm und vier Winkeleisen von je $6,2 \cdot 6,2 \cdot 0,8$ cm zusammengesetzte Schwellenträger entwickelt ein Widerstandsmoment

$$^wM = \frac{730}{12 \cdot 20,9} \left[13,2 \cdot \overline{41,8^3} - 10,8 \cdot \overline{40,2^3} - 1,6 \cdot \overline{29,4^3} \right] = 605652 \text{ cmkg.}$$

Um die Nietlöcher für $1,6$ cm starke Niete im Untergurte zu berücksichtigen, haben die Winkeleisen des letzteren eine Stärke von $65 \cdot 65 \cdot 0,8$ cm erhalten.

Fig. 84.



Die grösste Verticalscheerkraft des Schwellenträgers ergibt sich bei dem in Textfig. 84 dargestellten Stande der Locomotive

$$^aV = 7300 \cdot \frac{5}{6} + 4850 \cdot \frac{836}{941,33} \cdot \frac{1}{6} + \frac{3}{2} \cdot 175 + \frac{225}{2} = 7176,2 \text{ kg.}$$

Da die Anzahl der je $1,6$ cm starken zweischnittigen Anschlussniete 5 beträgt, so ergibt sich die relativ geringe Anspruchnahme des qem ihres Querschnittes auf Scheerung

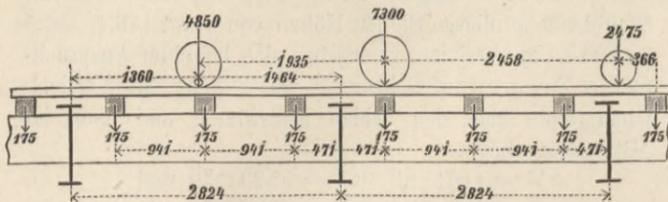
$$v = \frac{2 \cdot ^aV}{5 \cdot 3,14 \cdot 1,6} = 357 \text{ kg.}$$

C. Die Querträger und Banketteconsolen.

a) Die Querträger haben in vier Anschlusspunkten den grössten Auflagerdruck der beiderseits angeschlossenen

Schwellenträger aufzunehmen, welcher mit Bezug auf Text-
Fig. 85 und die in dieselbe eingeschriebenen Maasse und
Gewichte

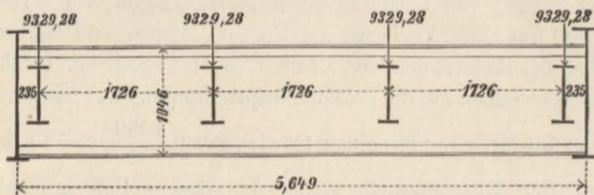
Fig. 85.



$$A = 7300 \cdot \frac{5}{6} + 2475 \cdot \frac{366}{941} \cdot \frac{1}{6} + 4850 \cdot \frac{1360}{2824} + 3 \cdot 175 \\ + 225 = 9329,25 \text{ kg}$$

gefunden wird. Die Querträger wiegen 900 kg, besitzen
eine Länge von 5,649 m, nehmen die Schwellenträger in
Abständen 0,235 und 1,961 m von je einem ihrer Enden
auf und erfahren daher, mit Bezug auf Fig. 86, ein An-
griffsmoment

Fig. 86.



$$^a M_{\max} = 2 \cdot 9329,28 \cdot 1,961 - 9329,28 (1,961 - 23,5) + \\ + 900 \cdot \frac{5,649}{8} = 2112261 \text{ cmkg.}$$

Der Querträger besteht aus einem Stehblech von
104,6 · 0,8 cm und vier Winkeleisen von je 7,8 · 7,8 · 0,87
cm Stärke, welche durch 1,6 cm starke, 95,9 cm lothrecht
von Mitte zu Mitte abstehende Nieten untereinander ver-
bunden sind, mithin ergibt sich für eine Anspruchnahme
des qcm Eisenmaterial von 730 kg das Widerstandsmoment

$$^w M = \frac{730}{12 \cdot 52,3} \left[16,4 \cdot 104,6^3 - 13,86 \cdot 102,86^3 - 1,74 \cdot 89^3 - \right. \\ \left. - 2,54 \left(95,91^3 - 92,7^3 \right) \right] = 2607099 \text{ cmkg,}$$

welches mithin vollkommen genügt. Der am Anschluss an
den Hauptträger auf diesen ausgeübte Verticaldruck beträgt
 $V = 2 \cdot 9329,28 + 450 = 19108,56 \text{ kg}$. Da die Anzahl der
hier angewandten, je 2 cm starken, zweischnittigen Nieten
14 beträgt, so ergibt sich die relativ geringe Anspruch-
nahme des qcm ihres Querschnittes auf Scheerung

$$v = \frac{2 \cdot 19108,56}{14 \cdot 3,14 \cdot 1,95} = 230 \text{ kg.}$$

b) Die Banketteconsolen sind den Querträgern
gegenüber von aussen an die Hauptträger genietet, stehen
also je 282,4 cm von einander ab, besitzen eine Aus-
ladung von 96,8 cm bei einer Höhe von 116,4 cm, s.
Fig. 3, Taf. V, und sind mit 104 kg Böhlen und Schwellen,
mit 121 kg Eisenwerk (Winkeleisen und Geländer) sowie mit
1050 kg Fussgängergewicht, also mit zusammen 1275 kg
belastet angenommen, wovon zwei Dritttheile mit 850 kg
an deren freiem Ende wirken. Hieraus erhält man deren
Angriffsmoment

$$^a M = 850 \cdot 96,8 = 82280 \text{ cmkg,}$$

welches durch ein wagerechtes, gezogenes und durch ein
geneigtes, gedrücktes Winkeleisen von bezw. 96,8 cm und

$\sqrt{96,8^2 + 116,4^2} = 151,3 \text{ cm}$ Länge, je $5,5 \cdot 5,5 \cdot 0,8 \text{ cm}$
Stärke und 8,16 qcm Querschnitt aufzunehmen ist. Hier-
aus ergibt sich die grösste Anspruchnahme des qcm beim
ersteren und letzteren bezw. zu $\frac{82280}{(8,16 - 1,6) 116,4} = 108 \text{ kg}$
und zu $850 \cdot \frac{151,3}{116,4 \cdot 8,16} = 140 \text{ kg}$.

D. Drehzapfen und Drehzapfenträger.

a) Der Drehzapfen. Seine grösste Belastung durch
beide Träger beträgt nach dem Früheren $2 \cdot 40250 =$

80500 kg, während der Gussstahlzapfen einen Durchmesser
von 11,75 cm, also einen Querschnitt von $\frac{1}{4} \cdot 11,75^2 \cdot 3,14$
 $= 108,38 \text{ qcm}$ besitzt. Der Druck auf den qcm Quer-
schnittsfläche beträgt mithin $\frac{80500}{108,38} = 742,7 \text{ kg}$.

b) Die Drehzapfenquerträger. Die beiden, neben
dem Drehzapfen angeordneten, 5,649 m langen Querträger
haben das gesammte Gewicht von $2 \cdot 35,308 \cdot 1194,8 =$
 84372 kg der unbelasteten Brücke aufzunehmen, wovon
auf jeden Anschlusspunkt $\frac{84372}{4} = 21093 \text{ kg}$ entfallen.

Hieraus ergibt sich, mit Bezug auf die Mitte der Quer-
träger, das Angriffsmoment

$$^a M_{\max} = 21093 \cdot 282,45 = 5957718 \text{ cmkg.}$$

Der Querschnitt dieser Querträger besteht aus einem Steh-
blech von $147,8 \cdot 0,8 \text{ cm}$, 4 Winkeleisen von $7,8 \cdot 7,8 \cdot 0,87 \text{ cm}$
und 2 Horizontalplatten von $26,2 \cdot 0,8 \text{ cm}$, liefert mit-
hin für die Anspruchnahme des qcm Eisenmaterial von
730 kg das Widerstandsmoment

$$^w M_{\min} = \frac{730}{12 \cdot 74,7} \left(22,2 \cdot 149,4^3 - 9,8 \cdot 147,8^3 - 9,86 \cdot 146,1^3 \right. \\ \left. - 1,74 \cdot 132,2^3 \right) = 6205093 \text{ cmkg.}$$

c) Die beiden Drehzapfenlangträger haben bei
einer Länge von 942 cm das halbe Gewicht der entlasteten
Brücke von $\frac{84372}{2} = 42186 \text{ kg}$ in ihrer Mitte aufzu-
nehmen, mithin beträgt deren grösstes Angriffsmoment

$$^a M_{\max} = \frac{42186 \cdot 94,2}{4} = 993480 \text{ cmkg.}$$

Der C-förmige Querschnitt jedes Drehzapfenlangträ-
gers ist aus einem Stehblech von $96,8 \cdot 1 \text{ cm}$ und zwei
Winkeleisen von $7,8 \cdot 7,8 \cdot 1 \text{ cm}$ Stärke mittelst 1,6 cm
starker Nietbolzen zusammengesetzt, mithin ergibt sich
bei einer Anspruchnahme des qcm Eisen von 730 kg ein
Widerstandsmoment

$$^w M = \frac{730}{48,4 \cdot 12} \left[8,8 \cdot 96,8^3 - 6,8 \cdot 94,8^3 - 1 \cdot 81,2^3 \right. \\ \left. - 2 \left(91,1^3 - 85,9^3 \right) \right] = 2340709 \text{ cmkg,}$$

welches mithin reichlich genügt.

E. Durchbiegungen der Brücke und Anordnung ihrer davon abhängigen Theile.

Bei Bestimmung der elastischen Linie der geöffneten
sowie einiger Durchbiegungen der geschlossenen Brücke,
welche für die Anordnung der Hebe- und Senkvorrichtung
und für die Höhenlage der Auflager, des Drehzapfens und
sonstiger Theile bei der Montage erforderlich ist, sind
folgende Belastungsfälle maassgebend.

I. Die Brücke ruht auf drei Stützen.

1) Beide Arme sind entlastet.
2) Der längere Arm ist vollbelastet, der kürzere Arm ist
entlastet.

II. Die entlastete Brücke schwebt frei auf dem Dreh-
zapfen und dem Stützrade. Da in die Gleichungen der
elastischen Linien die Trägheitsmomente der Hauptträger
einzuführen sind, so hat man deren numerische Werthe
vorher zu ermitteln.

a) Trägheitsmomente der verschiedenen Querschnitte je eines Hauptträgers.

Die niedrigeren Theile der Hauptträger enthalten nach
Fig. 9, Texttafel A, vier verschiedene Querschnitte und sind
aus Stehblechen von $116,4 \cdot 1,3 \text{ cm}$, je vier Winkeleisen
von $10,5 \cdot 10,5 \cdot 1,3 \text{ cm}$ Stärke und aus je 2, 4, 6 und 8
Querplatten von 41,8 cm Breite zusammengesetzt, worauf
die beiden am meisten von einander entfernten eine Stärke
von 0,75 cm, alle übrigen eine solche von 1,3 cm be-
sitzen. Die höheren Theile der Hauptträger enthalten nach
Fig. 9, Texttafel A, drei verschiedene Querschnitte und sind
aus Stehblechen von $159,5 \cdot 1,3 \text{ cm}$, je vier Winkeleisen
von $10,5 \cdot 10,5 \cdot 1,3$ und aus je 2, 4 und 6 Gurtplatten

von 41,80 · 1,3 cm Stärke zusammengesetzt. Die Niete, welche die Winkeleisen mit den Stehblechen und welche die Horizontalplatten unter sich verbinden, befinden sich in einem und demselben Querschnitte, während die Niete, welche die Winkeleisen mit den Gurtplatten verbinden, gegen erstere versetzt sind. Sämmtliche Nietlöcher haben 2,6 cm Durchmesser. Mit Berücksichtigung der letzteren ergeben sich die aufeinanderfolgenden Trägheitsmomente der erwähnten Querschnitte zu

$$t_1 = 850\,336, t_2 = 1\,233\,931, t_3 = 1\,634\,608, t_4 = 1\,881\,108, t_5 = 1\,729\,638, t_6 = 2\,437\,688 \text{ und } t_7 = 3\,175\,397 \text{ Mcm.}$$

Mit Hilfe der Gleichung

$$t^m = \frac{t_1 \lambda_1 + t_2 \lambda_2 + \dots + t_7 \lambda_7}{\lambda_1 + \lambda_2 + \dots},$$

für das mittlere Trägheitsmoment, worin $\lambda_1, \lambda_2, \dots$ die Längen bezeichnen, für welche die zugehörigen Trägheitsmomente t_1, t_2, \dots, t_7 gelten, ergeben sich vom Ende bis um Drehzapfen und vom Ende bis zur Mittelstütze der mittleren Trägheitsmomente

des längeren Arms $t_a^m = 1879072$ und $t_b^m = 1945450$ Mcm und des kürzeren Arms $t_a^m = 1694275$ und $t_b^m = 1611998$ Mcm.

b) Durchbiegungen der auf den Stützen ruhenden Brückenträger.

a) Beide Arme sind entlastet.

Die Ordinaten der elastischen Linie für den längeren Arm ergeben sich aus Gleichung 56, worin $g = 1194,8$ kg, $l_1 = 18,36$ m, $b = 35,308$ m, $E = 1\,800\,000$ kg und nach dem Vorhergehenden $t = 1945450$ Mcm zu setzen ist, während nach Gleichung 51

$$A = 1194,8 \frac{18,36^2 (3 \cdot 18,36 + 4 \cdot 16,948) - 16,948^3}{8 \cdot 18,36 \cdot 35,308} = 8421 \text{ kg}$$

beträgt. Werden diese Zahlenwerthe in Gleichung 56 eingeführt, so ist

$$y = \frac{1}{6 \cdot 1\,800\,000 \cdot 1\,945\,450} \left[\frac{18,36^2 \cdot x}{4} \left(\frac{1194,8 \cdot 18,36}{4} - 8421 \right) + 8421 \cdot x^3 - \frac{1194,8}{4} \cdot x^4 \right]$$

mithin für den Abstand $x = 17,418$ m des Drehzapfens von der linken Stütze $y = 0,114$ mm und für den Abstand $x = 13,966$ m des Stützrades von derselben $y = 1,07$ mm.

β) Längerer Arm ist vollbelastet, kürzerer Arm ist entlastet.

In diesem Fall ist $g = 6213,1$ kg, $l_1 = 18,36$ m und $E = 1\,800\,000$ kg zu setzen, während nach dem Früheren $t = 1945450$ Mcm und $A = 48501$ kg beträgt. Führt man diese Zahlenwerthe in Gleichung 56 ein, so ist

$$y = \frac{1}{6 \cdot 1\,800\,000 \cdot 1\,945\,450} \left[\frac{18,36^2 \cdot x}{4} \left(\frac{6213,1 \cdot 18,36}{4} - 48501 \right) + 48501 \cdot x^3 - \frac{6213,1}{4} \cdot x^4 \right]$$

mithin für den Abstand $x = 17,418$ m von der linken Stütze $y = 1,92$ mm und für den Abstand $x = 13,966$ m des Stützrades von derselben $y = 10,03$ mm.

c) Durchbiegungen der entlasteten, auf Drehzapfen und Stützrad frei schwebenden Brücke.

a) Durchbiegung des längeren Brückenarmes.

Bezeichnet man mit G das in der Entfernung e des Trägerendes vom Stützrad E wirkende Gegengewicht, mit α den Winkel, welchen eine über dem letzteren an die elastische Linie gelegte Tangente mit dem Horizont einschliesst, mit t das Trägheitsmoment und mit p die gleichförmig vertheilte Eigenlast der Längeneinheit des Trägers, so erhält man mit Hilfe der Elasticitätstheorie ¹⁾ die Ordinate der Durchbiegung des längeren Armes in dem beliebigen Abstand x vom Trägerende A

1) Aus Grundgleichung (a), Seite 11 erhält man nämlich mit Bezug auf Textfig. 87 für $x = 0$ bis $x = e$

$$Et \frac{d^2 y}{dx^2} = Gx + p \frac{x^2}{2} \dots \dots \dots (a)$$

Heinzerling, Bewegliche Brücken.

$$y = \frac{1}{Et} \left[Et \tan \alpha (x - e) - \frac{G}{2} (x - e)e^2 + \frac{G}{6} (x^3 - e^3) - \frac{p}{6} (x - e)e^3 + \frac{p}{24} (x^4 - e^4) \right] \dots \dots (330)$$

und, wenn hierin $x = 0$ gesetzt wird, am Trägerende selbst

$$y = \frac{1}{Et} \left(-Et \tan \alpha \cdot e + G \cdot \frac{e^3}{3} + p \cdot \frac{e^4}{8} \right) \dots \dots (330a)$$

Hierin ist

$$Et \tan \alpha = \frac{D(a - e)^2}{3} - \frac{p}{2} \left[\frac{17a^4 - e^3(20a - 3e)}{12(a - e)} \right], (331)$$

wenn D den Druck des Drehzapfens und a die Entfernung des letzteren vom Trägerende bezeichnet. Werden die früher ermittelten Zahlenwerthe $D = 40\,750$ kg, $p =$ rund $11,95$ kg für den cm, $a = 1789$ cm und $e = 1444$ cm in Gleichung 331 eingeführt, so ergibt sich

$$Et \tan \alpha = \frac{40\,750 (1789 - 1444)^2}{3} - \frac{11,95}{2} \cdot \left[\frac{17 \cdot 1789^4 - 1444^3 (20 \cdot 1789 - 3 \cdot 1444)}{12(1789 - 1444)} - 4 \cdot 1789^2 \cdot 1444 \right]$$

$$= -2591\,513\,584,$$

daher, wenn dieser und der Werth $G = 500$ kg, $E = 1\,800\,000$ kg, $t = 1\,879\,072$ Mcm in Gleichung 330a eingesetzt wird, für $x = 0$ die Ordinate der Durchbiegung am freien Ende des längeren Brückenarmes

$$y = \frac{1}{1\,800\,000 \cdot 1\,879\,072} \left(2591\,513\,584 \cdot 1444 + 500 \cdot \left(\frac{1444^3}{3} + 11,95 \cdot \frac{1444^4}{8} \right) \right) = 3,17 \text{ cm.}$$

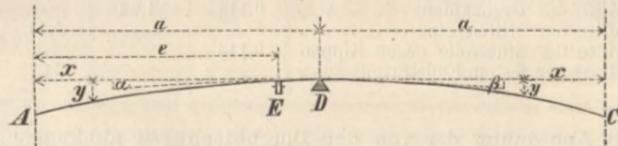
β) Durchbiegung des kürzeren Brückenarmes.

Wird mit a die Entfernung des Trägerendes C , s. Text-Fig. 87, vom Drehzapfen D , mit β der Winkel bezeichnet, welchen eine über dem letzteren an die elastische Linie gelegte Tangente mit dem Horizont einschliesst, so erhält man mit Hilfe der Elasticitätstheorie ¹⁾, wenn t_1 das mitt-

und hieraus durch Integration, da für $x = e$, also über dem Stützrad, $\frac{dy}{dx} = \tan \alpha$ wird,

$$Et \frac{dy}{dx} = Et \tan \alpha + \frac{G}{2} (x^2 - e^2) + \frac{p}{6} (x^3 - e^3) \dots (b)$$

Fig. 87.



ferner durch nochmalige Integration, da für $x = e$, $y = 0$ wird,

$$Et y = Et \tan \alpha (x - e) - \frac{G}{2} (x - e)e^2 + \frac{G}{6} (x^3 - e^3) - \frac{p}{6} (x - e)e^3 + \frac{p}{24} (x^4 - e^4) \dots \dots \dots (c)$$

woraus sich Gleichung (330) ergibt.

Ferner erhält man für $x = e$ bis $x = a$

$$Et \frac{d^2 y}{dx^2} = p \frac{(2a - x)^2}{2} - D(a - x) \dots \dots \dots (d)$$

und hieraus durch Integration, da für $x = e$, also über dem Stützrad, $\frac{dy}{dx} = \tan \alpha$ wird,

$$Et \frac{dy}{dx} = Et \tan \alpha + \frac{p}{2} \left(4a^2 x - 2ax^2 + \frac{x^3}{3} - 4a^2 e + 2ae^2 - \frac{e^3}{3} \right) - D \left(ax - \frac{x^2}{2} - ae + \frac{e^2}{2} \right) \dots \dots \dots (e)$$

Durch nochmalige Integration erhält man

$$Et y = Et \tan \alpha \cdot x - D \left(\frac{ax^2}{2} - \frac{x^3}{6} - x \left(ae - \frac{e^2}{2} \right) \right) +$$

$$\frac{p}{2} \left(2a^2 x^2 - \frac{2ax^3}{3} + \frac{x^4}{12} - x \left(4a^2 e - 2ae^2 + \frac{e^3}{3} \right) \right) + \text{Constante. (f)}$$

Da sowohl für $x = e$, als auch für $x = a$ die Ordinate $y = 0$ wird, so erhält man hieraus zwei Gleichungen und durch deren Subtraction nach gehöriger Vereinfachung die Gleichung (331).

Setzt man in Gleichung (e) $x = a$, so wird über dem Drehzapfen $\frac{dy}{dx} = \tan \beta$, woraus man Gleichung (333) erhält.

1) Aus Grundgleichung (a) Seite 11 ergibt sich nämlich:

$$Et_1 \frac{d^2 y}{dx^2} = p \frac{x^2}{2} \dots \dots \dots (a)$$

lere Trägheitsmoment des kürzeren Trägerarms darstellt und die übrigen Bezeichnungen ihre frühere Bedeutung behalten, die Ordinate der Durchbiegung des kürzeren Armes in dem beliebigen Abstand x vom Trägerende C

$$y = \frac{1}{Et_1} \left[-Et_1 \tan \beta (a-x) - \frac{Pa^3}{6} x + \frac{P}{24} (3a^2 + x^2) \right] \quad (332)$$

und, wenn hierin x = 0 gesetzt wird, am Trägerende selbst

$$y = \frac{1}{Et_1} \left(-Et_1 \tan \beta \cdot a + \frac{Pa^3}{8} \right) \quad (332a)$$

Nun ist

$$Et \tan \beta = Et \tan \alpha + \frac{P}{2} \left(\frac{7a^3 - e^3}{3} - 2ae(2a - e) \right) - \frac{D(a - e)^2}{2} \quad (333),$$

worin α , p, D und e ihre frühere Bedeutung behalten. Werden ihre Zahlenwerthe eingeführt, so ergibt sich

$$Et \tan \beta = -2591513584 + \frac{11,95}{2} \left(\frac{7 \cdot 1789^3 - 1444^3}{3} - 2 \cdot 1789 \cdot 1444 (2 \cdot 1789 - 1444) - 40750 \frac{(1789 - 1444)^2}{2} \right) = 2934902027,$$

also $\tan \beta = \frac{2934902027}{1800000 \cdot 1879072} = 0,00086$

und

$$Et_1 \tan \beta = 1800000 \cdot 1694275 \cdot 0,00086 = 2622737700.$$

Wird dieser Werth und der bekannte Zahlenwerth von Et_1 , p und a in Gleichung (332a) eingesetzt, so erhält man die Ordinate der Durchbiegung am freien Ende des kürzeren Brückenarmes

$$y = \frac{1}{1800000 \cdot 1694275} \left(-2622737700 \cdot 1789 + \frac{11,95}{8} \cdot 1789^4 \right) = 3,47 \text{ cm.}$$

Aus dem Vorhergehenden ergibt sich für nachstehend angeführte Belastungsfälle und Stellen der Träger folgende

Zusammenstellung der berechneten Durchbiegungen y in mm.

Querschnitte, für welche die Durchbiegungen berechnet sind	Die Brücke ruht auf drei Stützen		Die entlastete Brücke schwebt frei auf Stützrad und Drehzapfen
	Beide Arme entlastet	Längerer Arm vollbelastet, kürzerer Arm entlastet	
Mitte der Pendelaufleger	—	—	31,7
Mitte des Stützrades	1,07	10,03	—
Mitte des Drehzapfens	0,114	1,92	—
Mitte der Mittelstütze	—	—	1,44
Mitte der Stützrolle gegen Kippen	0,114	—	—
Mitte der festen Endstützen	—	—	34,7

d) Anordnung der von den Durchbiegungen abhängigen Brückentheile.

a) Gesamthub der Hebe- und Senkvorrichtung.

Damit sich die entlasteten, auf Drehzapfen und Stützrad freischwebenden Träger vor dem Drehen genügend von der Mittelstütze abheben, ist der höchste Punkt des Drehzapfens 1,4 mm unter die durch den höchsten Punkt der Mittelstütze gehende Horizontale gelegt, während sich das Stützrad bei einer Senkung von 19,6 mm unter jene Horizontale auf den Laufkranz aufsetzt. Da die horizontale Entfernung von Drehzapfen und Stützrad 3,452 m beträgt, siehe Texttafel A, Fig. 11, so ergibt sich die Senkung der Enden des längeren Trägerarms unter jene Horizontale

$$Y = (19,6 - 1,4) \frac{17,889}{3,452} + 1,4 = 95,7 \text{ mm,}$$

die Hebung der Enden der kürzeren Trägerarme über jene Horizontale

$$Y = (19,6 - 1,4) \frac{17,889}{3,452} - 1,4 = 92,9 \text{ mm.}$$

Mit Berücksichtigung der berechneten Durchbiegungen be-

und hieraus durch Integration, da für x = a, $\frac{dy}{dx} = \tan \beta$ wird,

$$Et_1 \frac{dy}{dx} = Et_1 \tan \beta + \frac{P}{6} (x^3 - a^3) \quad (b)$$

Durch nochmalige Integration erhält man, da für x = a, y = 0 wird,

$$Et_1 y = -Et_1 \tan \beta (a - x) - \frac{P}{6} a^3 x + \frac{P}{24} (3a^2 + x^2) \quad (c)$$

woraus Gleichung 332 folgt.

trägt daher die Gesamtsenkung der Enden der längeren Trägerarme 95,7 + 31,7 = 127,4 mm und die Hebung der Enden der kürzeren Trägerarme 92,9 - 34,7 = 58,2 mm. Der Spielraum zwischen der Druckrolle der Excenter und der Druckplatte der Hauptträger beträgt 3 mm, die Hebe- und Senkvorrichtung ist daher für den Gesamthub von 130,4 mm konstruiert.

β) Die Anordnung des Stützrades.

Die Gesamtsenkung des Stützrades unter die Horizontale beträgt nach Abzug der elastischen Durchbiegung des entlasteten Trägers 19,60 - 1,07 = 18,53 mm. Da unter voller Belastung des längeren Armes bei geschlossener Brücke die Durchbiegung an der Befestigungsstelle des Stützrades nur 10,03 mm beträgt, so erreicht dasselbe in diesem Falle den Laufkranz nicht. Damit sich aber bei geöffneter Brücke das Stützrad auf den Laufkranz aufsetzt, muss die vollständig montirte, auf drei Stützen ruhende Brücke zwischen der untersten Fläche des Stützrades und der Oberfläche des Laufkranzes einen Spielraum von 18,53 mm erhalten.

γ) Anordnung des Drehzapfens.

Da der Drehzapfen 1,4 mm unter jener Horizontalen liegt, so verbleibt bei geschlossener, entlasteter Brücke noch ein Spielraum von 1,4 - 0,114 = 1,286 mm, während bei geschlossener Brücke und voller Belastung ihres Armes dessen Senkung über dem Drehzapfen 1,92 mm beträgt. Die Drehzapfenträger und die mittleren Querverbindungen müssen daher eine Durchbiegung von 1,92 - 1,40 = 0,52 mm zulassen und der Drehzapfen hat beim Befahren der Brücke einen Druck aufzunehmen, welcher jedoch unter demjenigen verbleibt, der ihn bei geöffneter Brücke trifft.

δ) Anordnung der Mittelstütze.

Beim Senken der entlasteten Brücke hebt sich dieselbe — ohne Berücksichtigung ihrer hier verschwindenden Durchbiegung — von der Mittelstütze um $y = (19,6 - 1,4) \frac{0,942}{3,452} - 1,4 = 3,5$ mm ab, welcher Spielraum zum Ausschwenken der Brücke vollkommen genügt.

ε) Anordnung der Trägerenden über den festen Lagern.

Die Träger der ausgeschwenkten Brücke biegen sich an den Enden der kürzeren Arme um 34,7 mm durch, mithin beträgt deren Spielraum über den festen Auflagern 92,9 - 34,7 = 58,2 mm, welcher mithin zum Ausschwenken der Brücke mehr als genügt.

F. Die Drehvorrichtung der Brücke.

Die beim Drehen der Brücke zu überwindenden Widerstände bestehen aus der Reibung des Drehzapfens, des Stützrades, der Laufräder und derjenigen in der Drehvorrichtung selbst.

Das Reibungsmoment M_a des Drehzapfens ergibt sich aus Gleichung 311, worin $\mu = 0,13$, $r = 5,9$ cm,

$$r_1 = 7,8 \text{ cm, also } \sin \alpha = \frac{5,9}{7,8} = 0,7564, \cos \alpha = \frac{\sqrt{7,8^2 - 5,9^2}}{7,8}$$

= 0,6541, $\alpha = 49^\circ 8' 54''$ und der zugehörige Bogen $\alpha = 0,856$ zu setzen ist. Der Druck V auf den Drehzapfen entspricht dem Gewichte der freischwebenden Brücke, mithin ist $V = 2 \cdot 40750 = 81500$ kg. Werden diese Werthe in Gleichung 311 eingeführt, so erhält man

$$M_a = 0,13 \cdot 81500 \cdot 5,9 \frac{0,856 - 0,7564 \cdot 0,6541}{0,7564} = 39663 \text{ cmkg.}$$

Das Reibungsmoment M_s des Stützrades erhält man aus Gleichung 312, worin für Stahl auf Bronze und wenig fettigen Zustand $\mu = 0,16$, $\varphi = 0,05$, $\rho = 5,2$ cm, $r = 39,2$ cm und $R = 345,2$ cm zu setzen ist, während die Belastung Q des Stützrades 5000 kg und das Eigengewicht G des Rades sammt Achsbüchse 300 kg beträgt. Werden diese Werthe in Gleichung 312 eingeführt, so ergibt sich

$$M_s = \left(5000 \frac{0,16 \cdot 5,2 + 0,05}{39,2} + 300 \frac{0,05}{39,2} \right) 345,2 = 36757 \text{ cmkg.}$$

Das Reibungsmoment rM_1 der Laufräder erhält man aus Gleichung 313, worin $\rho = 3,2$ cm und $r = 39,2$ cm zu setzen ist, während μ , φ , G und R die obigen Werthe behalten.

Die vom Winde mit 125 kg a. d. qm getroffene Fläche F beträgt 48,96 qm, daher der gesammte Winddruck $W = 48,96 \cdot 125 = 6120$ kg, dessen Resultante in dem Abstände $w = 69$ cm über dem unteren Stützpunkte des Drehzapfens angreift.¹⁾ Da der Radius des Laufkranzes $R = 345,2$ cm beträgt, so ist der Druck auf ein Laufrad

$$Q_1 = \frac{W \cdot w}{R} = \frac{6120 \cdot 69}{345,2} = 1223,2 \text{ kg.}$$

Werden diese Werthe in Gleichung 313 eingesetzt, so erhält man

$$rM_1 = \left(1223,2 \cdot \frac{0,16 \cdot 3,2 + 0,05}{39,2} + 2 \cdot 300 \frac{0,05}{39,2} \right) 345,2$$

$$= \text{rd. } 6314 \text{ kgcm,}$$

mithin aus Gleichung 314 das gesammte Reibungsmoment $rM = 39663 + 36757 + 6314 = 82734$ cmkg.

Die aus der Zahnreibung zwischen dem Getriebe und dem auf dem Pfeiler ruhenden Zahnkranz sowie aus der Achsenreibung in zwei Lagern entstehende Reibung in der Windevorrichtung kann zu 10% der zur Ueberwindung sämtlicher Reibungsmomente erforderlichen Kraft am Drehbaum, also zu $0,1 \cdot rM$ angenommen werden. Nennt man K die am Drehbaum von $k = 150$ cm nutzbarer Länge wirkende Kraft, $R' = 329,5$ cm und $r' = 1,05$ cm den Theilrisshalbmesser bzw. des Zahnkranzes und des in denselben eingreifenden Getriebes, so ergibt sich $K(1 - 0,1) = \frac{r'}{R'K}$, mithin, nach Einführung der numerischen Werthe, die zum Ein- und Ausschwenken der Brücke erforderliche Kraft

$$K = \frac{10}{9} \cdot 82734 \cdot \frac{329,5\sqrt{150}}{10,5} = 19,4 \text{ kg,}$$

welche der Leistungsfähigkeit eines Mannes entspricht.

G. Die Hebe- und Senkvorrichtung des längeren Brückenarmes.

Das Moment des constanten Gegengewichtes dieser in Textfig. 75 schematisch und in Fig. 18—21, Taf. V, constructiv dargestellten Vorrichtung — welches dem von dem Ende des längeren Brückenarmes der unbelasteten Brücke und dem Gegengewicht ausgeübten Gesamtdrucke $V = 2(8421 + 500) = 17842$ kg für jeden Drehungswinkel derselben das Gleichgewicht halten soll — ergibt sich aus Gleichung 293, worin der Radius der Kettenräder $r = \frac{26,1}{2} = 13,05$ cm und die ganze Hebung des Trägerendes $\delta = 127,4$ cm zu setzen ist,

$$GR = 17842 \cdot \frac{13,05^2}{4 \cdot 12,74} = 59625 \text{ kgcm.}$$

Für den kleinsten Hebelsarm $R = 127$ cm ist also das Gegengewicht $G = \frac{4}{127} \cdot 59625 = 469$ kg. — Aus der auf

Seite 33 entwickelten Gleichung $x = r \cdot \sin \alpha$ lässt sich für eine beliebige lothrechte Hebung x der Winkel α finden, um welchen der Kurbelzapfen zu drehen ist. Für die gesammte Hebung $\delta = 12,74$ beträgt daher $\sin \alpha = \frac{12,74}{13,05} = 0,9762$, woraus der Hebungswinkel $\alpha = 77^\circ 30'$ gefunden wird. Da die zum Freimachen oder zur festen Lagerung des längeren Brückenarmes dienende Aus- bzw. Ein-

1) Mit Bezug auf die auf Tafel V angegebenen Abmessungen erhält man nämlich die aus zwei niedrigeren Rechtecken, zwei Parallelogrammen und aus einem höheren Rechteck bestehende Anichtsfläche eines Hauptträgers

$$F = 2 \cdot 1,24 \cdot 11,8 + 2 \cdot \frac{1,24 + 1,7}{2} \cdot 2,79 + 1,7 \cdot 6,6 = 48,69 \text{ qm,}$$

mithin den Abstand ihrer wagrechten Schwerachse von dessen Oberkante

$$s = \frac{1}{48,69} \left[11,8 \cdot \frac{1,24^2}{2} + 2,79(1,7 + 1,24) \left(\frac{1,7 + 1,24}{2} \right) + 6,6 \cdot \frac{1,7^2}{2} \right]$$

$$= 0,71 \text{ m.}$$

Da der untere Stützpunkt des Drehzapfens 140 cm unter der Oberkante des Hauptträgers liegt, so ergibt sich der obige Abstand $w = 140 - 71 = 69$ cm.

schwenkung der Pendel zwischen diesen und ihrem Auflager noch einen Spielraum erfordert, so muss der grösste Hebungswinkel etwas mehr betragen.

3. *Specielle Anordnung.* Mit Bezug auf die allgemeine Anordnung der Brücke und die Ergebnisse dieser statischen Berechnung haben die einzelnen Theile der Brücke folgende constructive Anordnungen erhalten.

A. Die Hauptträger sind aus Stehblechen, Winkelleisen und Horizontalplatten von den unter 2. A. b angegebenen Abmessungen zusammengesetzt und in der unter E. a angegebenen Weise vernietet. Die Stösse des Stehbleches sind in die Mitte zwischen Querträger gelegt und durch doppelte Laschen von $14,4 \cdot 0,9$ cm Stärke mittelst 1,9 cm starker Niete mit 10,5 cm Theilung in der Nähe der Winkelleisen wegen der stärkeren Scheerspannungen durch 2,3 cm Niete mit 7,8 cm Theilung verbunden. Die Stösse der Winkelleisen sind mittelst Deckwinkeln von 1,35 cm Stärke und fünf 2,6 cm starker einschnittiger Niete auf jeder Seite des Stosses gedeckt. Die Stösse der Horizontalplatten sind theils durch Verlängerung der darüberliegenden, hier endigenden Gurtplatten, oder durch besondere Stossplatten mittelst 2,6 cm starker Niete mit 15,6 cm Theilung gedeckt. Die Aussteifung der Stehbleche ist durch dieselben doppelten Winkelleisen bewirkt, mittelst deren die Querträger und Banketträger an die Hauptträger angeschlossen sind.

B. Die Längsträger, welche bei einer normalen Länge von 2,824 m aus Stehblechen und je vier Winkelleisen von den unter 2. B angegebenen Abmessungen zu unter den Schwellen, um deren Druck von 7475 kg auch zusammengesetzt sind, enthalten keine Stösse, wurden aber auf die untere Gurtung zu übertragen, durch Winkelleisen von $5,2 \cdot 5,2 \cdot 0,6$ cm ausgesteift. Ihr Anschluss an die Querträger wird durch je zwei Winkelleisen von $5,6 \cdot 5,6 \cdot 0,9$ cm Stärke bewirkt, welche einen Verticaldruck von höchstens 7176,2 kg zu übertragen haben. Zur Verbindung der Schwellenträger unter sich sind in deren Mitte ober- und unterhalb durchgehende Winkelleisen von $6,2 \cdot 6,2 \cdot 0,8$ cm Stärke angeordnet, welche im mittelsten Felde durch ein drittes Winkelleisen von $5,6 \cdot 5,6 \cdot 0,9$ cm Stärke verstrebt sind. An den Endquerträgern sind die Schwellenträger nach aussen hin durch Consolen ersetzt, welche sich auf den Untergurt der Querträger stützen und durch ein unter den letzten Schwellenträgern angebrachtes Gegenconsol etwas entlastet werden.

C. Die Querträger, welche bei einer Länge von 5,649 m aus Stehblechen und je vier Winkelleisen von den unter 2. C angegebenen Abmessungen zusammengesetzt werden, erhielten einen Stoss des Verticalblechs in dessen Mitte, welcher durch zwei Laschen von je $11,8 \cdot 1$ cm mittelst Nieten von 1,2 cm Stärke und 5,8 cm Theilung gedeckt ist. Die zu beiden Seiten des Drehzapfens in einem Abstände von 0,942 m angebrachten Querträger haben die unter 2. D angegebenen Abmessungen erhalten und nehmen die 0,314 m von einander entfernten Längsträger, welche den Drehzapfen tragen, mittelst je zweier Winkelleisen von $8 \cdot 8 \cdot 1$ cm Stärke auf.

D. Der Horizontalverband ist nach Fig. 2 angeordnet. Die Diagonalen bestehen aus 1,3 cm starken Flacheisen, welche im ersten, zweiten und dritten, vierten und Mittelfelde eine Breite von bzw. 21, 13, 21 und 7,8 cm erhalten haben, und sind an 1,3 cm starke, zwischen die Gurtplatten der Hauptträger und die Querträger eingeschaltete Platten einseitig angeschlossen. An der Kreuzungsstelle je zweier Diagonalen sind dieselben mittelst 1,3 cm starker Stossplatten unter sich und mit der unteren Gurtung der Schwellenträger vernietet.

E. Der Drehzapfen, s. Fig. 6—12, welcher aus Gussstahl besteht und die unter 2. D angegebenen Abmessungen erhalten hat, wird behufs sicherer Einstellung in die richtige Höhe mittelst eines Noniusrades, s. Fig. 8, in einem gussstählernen Block unten genau geführt, während er darin oben mittelst einer mehrgängigen Schraube von 2,6 cm Steigung festgehalten wird. Unten ruht der

nach einer Kugelfläche von 7,6 cm Radius abgerundete Zapfen in einer gussstählernen Pfanne von entsprechender Höhlung. Aus demselben Mittelpunkt ist an den Führungsblock die untere Kugelfläche angedreht, welche mittelst dreier Führungsbanken von Gussstahl zum Centriren des Zapfengestells und zum Festhalten der Brücke während des Aufdrehens dient, s. Fig. 11. Diese Einrichtung gestattet, die Brücke an einem Ende zu senken, ohne dass hierdurch auf die Führungsflächen ein grösserer Druck ausgeübt wird, als der in dem Zapfen entstehende Reibungswiderstand, weil die Brücke sich nun fortwährend um den Mittelpunkt jener Kugelfläche drehen muss. Um den Gussstahlblock unter dem Zapfen wegnehmen zu können, ohne hierbei die Zapfenträger oder andere feste Brückentheile zu entfernen, lässt sich ein bewegliches Zwischenstück in einer Hülse des Untergestelles soviel herunterschieben, dass der Block mittelst einer Zange herausgenommen werden kann. Um beide Theile in der normalen Stellung zu erhalten, dient der dreitheilige Ring, Fig. 10, welcher in sich selbst und mit dem Untergestell verschraubt ist.

F. Die Drehvorrichtung. Die Drehung, wobei die Brücke auf dem Drehzapfen ruht und durch ein Stützrad und zwei Laufrollen unterstützt wird, welche auf einer Laufschiene mit dem mittleren Radius von 3,452 m sich bewegen, wird durch zwei Mann mittelst eines Göpels und eines Zahnradvorgeleges mit 33facher Uebersetzung bewirkt. Der Zahnkranz, in welchen das unterste Zahnrad eingreift, ist an die erwähnte Laufschiene angegossen. Die Laufrollen sind wie das Stützrad construirt und bestehen aus schmiedeisernen Speichenrädern mit Gussstahlbandage, welche auf eine Gussstahlschwelle fest aufgepresst ist. Die beiden Zapfen dieser Welle ruhen in gusseisernen Achsbüchsen mit Bronzefutter und diese Lager in schmiedeisernen Rahmen, welche oben in eine, an eine Traverse befestigte, prismatische Stütze endigt. Die Höhenlage wird durch einen Schraubenschlüssel von oben regulirt.

G. Die Hebe- und Senkvorrichtung gestattet den durch das Gegengewicht infolge der elastischen Durchbiegung um 13,04 cm gesenkten Brückenarm soviel zu heben, dass er durch Einschwenkung der Pendel fest unterstützt werden kann. Mittelst des in Fig. 17 dargestellten Spillrades und des auf seiner Achse sitzenden Zahnrades werden nämlich die Quadranten gedreht, an deren Achse die Gegengewichte, welche das Gleichgewicht in allen Lagen herstellen, sowie die Kettenräder sitzen, auf welche sich die an den Enden mit Regulierungsschrauben befestigten Ketten aufwinden. Hierbei werden die mit Frictionsrollen versehenen Quadranten um eine Achse gedreht, deren Lager durch eine Einlage nach Bedürfniss gehoben oder gesenkt werden kann, und heben hierdurch die Trägerenden. Eine Senkung der letzteren wird durch die Umkehrung dieser Bewegung hervorgebracht.

H. Die Stützvorrichtung, s. Fig. 19 u. 20, erfolgt mittelst der beiden, an einer gemeinschaftlichen Welle befestigten Pendel, welche in gusseisernen Hängelagern unter den Hauptträgern an dem Anschlusse der letzten Querträger angebracht sind. Durch Aufwärtsdrehung des mit Handgriff versehenen einarmigen Hebels und der mit demselben in Verbindung stehenden Winkelhebel werden die mit Rippen versehenen Pendel eingeschwenkt, wobei sich jene Rippen gegen die horizontale Platte ihres Lagers stemmen und so die Bewegung begrenzen.

J. Die Feststell- und Signal-Vorrichtung, s. Fig. 15, 16 u. 20. Durch Drehung desselben einarmigen Hebels wird ein Riegelpaar so verschoben und hierdurch sowohl die Brücke festgestellt, als auch mittelst eines Winkelhebels eine Welle gedreht, an deren Ende ein zweiter Winkelhebel den Drahtzug in Bewegung setzt, welcher die Arme des in Fig. 16 angedeuteten Signalbaumes in die Höhe zieht und hierdurch das Zeichen für die Betriebsfähigkeit der Brücke giebt.

K. Die Einklinkungsvorrichtung. Die Enden der kürzeren Arme werden durch feste, aus gusseisernen Platten bestehende Lager unterstützt, wovon eine mit der in Fig. 22 dargestellten Erhöhung versehen ist, in welche

die am Ende des kürzeren Armes drehbar befestigte Klinke einfällt.

Taf. VI. Amerikanische Drehbrücken.

Fig. 1—9. Strassendrehbrücke über den Chicago-Fluss in Chicago. Fig. 1 u. 2 stellen Ansicht und Grundriss dieser gleicharmigen Drehbrücke mit zwei je 45,72 m langen, über zwei Oeffnungen von je 19,38 m gespannten und auf einem Drehpfeiler von 9,922 m Durchmesser ruhenden Hauptträgern von 5,3 m mittlerem Abstand, von 5,32 m Höhe in der Mitte und je 2,5 m Höhe an den Enden dar, deren unterer Gurt gerade und wagrecht, deren oberer Gurt parabolisch gekrümmt ist. Die zwölf, im Mittel 1,9 m weiten Felder dieser Träger sind durch gekreuzte, aus Rechteckeisen bestehende, an den Enden mit Oesen, in der Nähe der unteren Enden mit Schraubenschlüsseln versehene Diagonalen ausgesteift, während die Verticalen den in Fig. 5 u. 7 verzahnten I-förmigen und die Gurten den in Fig. 3 dargestellten Π-förmigen Querschnitt erhalten haben. Die Verbindung der Gurtstücke ist durch verticale und horizontale Laschen, die Gurten und Verticalen durch Winkellappen, der Gurten, Verticalen und Diagonalen durch starke Schraubbolzen mit doppelten Muttern in der aus Fig. 4—7 ersichtlichen Weise hergestellt. Die verticalen Querverbände bestehen aus je 4,85 m langen, wagrechten, zwischen die Obergurten eingeschalteten Gitterbalken, s. Fig. 3, welche mit den Verticalen durch schmiedeiserner, ausgesteifte Consolen verbunden sind. Die Felder der beiden horizontalen Querverbände, welche oben die einfache, unten die doppelte Feldweite der Hauptträger besitzen, s. Fig. 12, sind mittelst gekreuzter, durch Schraubenschlüssel regulirbarer Diagonalen ausgesteift. Die Brückenbahn besteht aus starken, auf den Untergurten ruhenden, durchschnittlich je 0,55 entfernten, ebenfalls 5,65 und 8,40 m langen Querschwellen, s. Fig. 2 u. 3, von welchen die letzteren zugleich die ausgekragten Bankette unterstützen, während der auf Längsschwellen ruhende Bohlenbelag, sowie das die Fusswege nach aussen begrenzende Geländer die in Fig. 3 dargestellte Anordnung erhalten hat. Ueber dem Drehpfeiler ruhen die Hauptträger auf eisernen Querbalcken, deren mit Querplatten verbundene Enden durch geneigte — über kurze, auf gusseisernen Lagern ruhende Schienenstücke geführten — Zugstangen verbunden sind. Die hierdurch gebildeten Böcke übertragen einen Theil der Brückenlast auf den Drehzapfen und zwar kann durch Anziehen oder Nachlassen der an den Enden jener Zugstangen angebrachten Muttern die Vertheilung jenes Druckes auf Drehzapfen und Rollkranz regulirt werden. Jene Querbalken, acht an der Zahl, ruhen über dem Drehzapfen direct auf einer schmiedeisernen, im Querschnitt I-förmigen Trommel und zu je zwei in Abständen von je 2 m vom Drehzapfen auf zwei I-förmigen, parallel zur Brückenachse in die Trommel eingesetzten, auf den Drehzapfen gelagerten Trägern und sind durch Hängeisen mit dem gusseisernen Drehzapfen fest verbunden, welcher in einer starken gusseisernen, in das Pfeilermauerwerk eingelassenen Pfanne ruht. Der aus 18, durch schmiedeiserne Ringe und Radialarme verbundenen Rollen von 35 cm Durchmesser bestehende Rollkranz bewegt sich auf einem aus breitbasigen Schienen bestehenden Lauftring von 3,96 m Durchmesser und trägt den oberen, im Querschnitt I-förmigen, mit der zuvor erwähnten Trommel vernieteten Lauftring. Die Drehung der Brücke erfolgt mittelst eines von dem unteren Lauftring getrennten Zahnkranzes, in welchen das in einer verticalen Welle befestigte Zahnrad, s. Fig. 1 u. 2, eingreift. Die Brückenenden ruhen auf den in Fig. 8 u. 9 dargestellten — normal zur Brückenachse in gusseisernen, mit dem Mauerwerk verankerten Lagern sich drehenden — Stützrädern, auf welche sie beim Einschwenken auflaufen.

Fig. 10—25. Eisenbahndrehbrücke über den Passaic bei Newark in New-Yersey.¹⁾ Wie die in

¹⁾ Vgl. The Delaware bridge company's illustrated album. New-York.

Fig. 10 und 11 dargestellte Seiten- und Oberansicht zeigt, besitzt diese gleicharmige Drehbrücke drei, je 67,24 m lange, über zwei Oeffnungen reichende und auf einem Drehpfeiler von 9,8 m Durchmesser ruhende, paralleltrapezförmige Hauptträger von 4,57 m mittlerem Abstand und von 6,7 m Höhe, welche in Abständen von je 3,73 m durch Blechquerträger verbunden sind. Die Spannungen in den Hauptträgern sind unter der Annahme bestimmt, dass das Eigengewicht der Brücke von dem Drehpfeiler aufgenommen wird, während die Trägerarme freischweben oder im durchgebogenen Zustande durch die unter ihre Enden geschobenen Keile unterstützt sind und dass die Verkehrslast von den Hauptträgern als continuirlichen Trägern auf drei Stützen getragen wird. Diese Belastungen zusammengenommen erzeugen bei dem Obergurt in den beiden Mittelfeldern eine Zugspannung, in den beiden nächsten Feldern abwechselnd Zug und Druck, letzteres wenn die halbe Spannweite vollbelastet ist, in den übrigen Feldern bei verschiedenen Stellungen der Verkehrslast eine nahezu gleiche Anspruchnahme auf Zug und Druck. Demgemäss ist der Obergurt da, wo er nur gezogen wird, aus Flacheisen, s. Fig. 10, 14 u. 15, wo er einmal gezogen, einmal gedrückt wird, aus doppelten, durch horizontale Platten verbundenen C-Eisen construirt. Auch die Untergurte bestehen aus Horizontalplatten und doppelten C-Eisen, während die stärkeren und schwächeren Diagonale bezw. aus Flach- und Rundeisen, die gezogenen und gedrückten Verticalen bezw. aus Flacheisen und doppelten, durch Gitterstäbchen verbundenen C-Eisen construirt sind. Gurte, Verticale und Diagonale sind durch Bolzen verbunden, wovon die unteren zugleich die U-förmigen Hängeisen aufnehmen, woran die Querträger in der durch Fig. 18 bis 20 dargestellten Weise aufgehängt sind. Die Anschlüsse der massiven, im Querschnitt I-förmigen Längsträger sammt den darauf ruhenden Querschwellen, Fahrschienen und Saumschwellen, zeigt Fig. 20. Der verticale Querverband besteht, wie die Fig. 13 und 16 zeigen, theils aus Gitterbalken, theils aus schmiedeisernen Kopfbändern. Von den beiden horizontalen Querverbänden besteht der untere aus kräftigen Flacheisendiagonalen, welche nach Fig. 12 über zwei der durch die Querträger und die beiden äusseren Hauptträger gebildeten Felder reichen, der obere aus schwächeren Rundeisendiagonalen, welche nach Fig. 11 in die durch die Querträger und die Hauptträger gebildeten kleineren Felder eingeschaltet sind. Ueber dem Drehpfeiler wird die Brücke theils durch den in dessen Achse befindlichen Drehzapfen, theils durch zwei in der Brückenachse und vier normal zur linken Seite derselben angeordnete konische Stützräder, bezw. durch den unter den letzteren befindlichen, mit dem Pfeiler verschraubten U-förmigen Laufkranz getragen. Während der mittlere Hauptträger sowohl den Drehzapfen, als auch die beiden erstgenannten Stützräder, jeder äussere Hauptträger vier der letztgenannten Stützräder direct belastet, ist ein Theil des Gewichtes der beiden äusseren Hauptträger durch zwei 1,2 m von einander entfernte, 1,6 m hohe, durch Fachwerk verbundene Querträger mittelst zweier Querstücke und 12 Hängbolzen auf den

Drehzapfen übertragen. Beim Drehen der Brücke, währenddessen die beiden Geleise entlastet sind, nimmt der Drehzapfen das Hauptgewicht der Brücke auf, während die Stützräder bei einseitiger Belastung und bei Winddruck belastet werden. Das gusseiserne Druckhaupt des Drehzapfens besteht aus zwei Theilen, zwischen welchen, von Stahlringen eingeschlossen, zur Verminderung der Reibung zwei Kränze konischer Stahlrollen, in Abständen von je 1,25 cm liegen. Der untere Theil des unten halbkugelförmig ausgehöhlten Druckhauptes ruht auf dem in Fig. 22 dargestellten, entsprechend geformten, gusseisernen Auf- und schmiedeisernen Untersatz, welcher das auf dem Drehzapfen ruhende Gewicht auf eine achteckige Lagerplatte überträgt. Die in Fig. 21 bis 23 in Grund- und Aufriss dargestellten Gestelle der Stützräder bestehen aus schmiedeisernen Kästen, unter welche deren Achsenlager geschraubt sind, und sind unter sich durch vier gerade Blechträger, welche unten zugleich einen hölzernen Fussboden aufnehmen, zu einem achteckigen Gesamtgestell verbunden. Das Unterstützen oder Freimachen der sechs Hauptträgerenden wird durch Keile bewirkt, welche zwischen gusseisernen, mit dem Pfeilermauerwerk verbolzte Unterlagplatten und gusseiserne — unter die durch schmiedeisernen Untersätze verstärkte Trägerenden geschraubte — keilförmige Ueberlagplatten passen und mittelst der in Fig. 10 und 23—25 dargestellten, in Zahnstangen endigenden Verbindungsstangen und Mechanismen eingeschoben und herausgezogen werden können. Die von dem Drehpfeiler aus durch Drehung konischer Zahnräder in Drehung versetzten, an den Enden mit Schraubenrädern versehenen Wellen drehen nämlich lothrechte Zahnräder, welche in die gezahnten Enden der erwähnten Führungsstangen eingreifen. Gleichzeitig werden durch die erwähnten Wellen mittelst eines Hebebaumes und eines Doppelhebels, s. Fig. 24, die Fahrschienenenden auf der Drehbrücke vor dem Ausschwenken gehoben und nach dem Einschwenken gesenkt.

Die Drehung, Feststellung und Lösung der Brücke kann nach Bedürfniss mit Dampf oder von Hand bewirkt werden. Wie Fig. 21 u. 23 zeigt, befindet sich auf dem erwähnten Fussboden eine zweicylindrige Dampfmaschine mit zugehörigem Kessel, welche mittelst der in Fig. 21 dargestellten, gekröpften Welle und Zahnräder eine senkrechte Welle dreht, woran zwei Frictionskuppelungen befestigt sind. Wird die obere zum Eingriff gebracht, so werden mittelst des wagrechten Kegelrades die beiden lothrechten Kegelräder und deren Wellen in Drehung versetzt, welche die Keile unter die Trägerenden schieben und die Schienenenden heben oder die umgekehrte Bewegung erzeugen. Wird die untere zum Eingriff gebracht, so wird die Bewegung einem Triebrad mitgetheilt, welches in den inneren des Laufinges befindlichen, mit dem Drehpfeiler verbolzten, gusseisernen Zahnkranz eingreift und so die Drehung der Brücke bewirkt.

Für den Handbetrieb ist eine lothrechte Welle zwischen die Fahrschienen eingeschaltet, welche durch eine Klinke mit einem Kettenrad und durch ein Getriebe mit dem Trieb- rad in Verbindung steht.

V. Gewichts- und Kostenberechnung, Vergebung und Ausführung.

1. Approximative Kostenberechnung.

Zu approximativen Kostenberechnungen des Ueberbaues von beweglichen Brücken, wie sie für Generalkostenanschläge ausreichen, lassen sich nach den jeweiligen Umständen bei

a) Eisenbahnbrücken mit Trägern auf zwei und drei Stützen bezw. die Gleichungen 138 bis 141 und 142, 143,

Heinzerling, Bewegliche Brücken.

b) Strassenbrücken mit Trägern auf zwei und drei Stützen bezw. die Gleichungen 145 bis 151 und 152 benutzen.

Nimmt man die Kosten der Eisentheile einer beweglichen Brücke mit Einschluss ihrer Aufstellung, welche zur Zeit nach dem Stande der Eisenpreise und Arbeitslöhne sowie nach dem Aufwande für Einrichtung, Montirung

Anzahl	Gegenstand	Gewicht in kg	
		einzel	zusammen
	Uebertrag		708,5
2	Mittelachslager = 2 [20,9 cm . 3,3 cm . 18,3 cm + 2 . 10,5 cm . 5,2 cm . 20,9 cm + 4 . 10,5 cm . 2,0 cm . 1,3 cm + 20,9 cm . 23,5 cm . 13,1 cm + $\frac{\pi}{4}$. 7,8 ² . 20,9 cm - $\frac{\pi}{4}$. 14,4 ² . 13,1 cm - 2 . $\frac{\pi}{4}$. 2,6 ² . 26,2 cm - 4 . $\frac{\pi}{4}$. 2,6 ² . 5,2 cm] . . . = 17155,8 ,,	0,00717	123,5
2	Hinterachslager = 2 [20,9 cm . 3,3 cm . 18,3 cm + 2 . 10,5 cm . 5,2 cm . 20,9 cm + 4 . 10,5 cm . 2,0 cm . 1,3 cm + 20,9 cm . 20,9 cm . 13,1 cm + $\frac{\pi}{4}$. 7,8 ² . 18,3 cm - $\frac{\pi}{4}$. 13,1 ² . 13,1 cm - 2 . $\frac{\pi}{4}$. 2,6 ² . 23,5 cm - 4 . $\frac{\pi}{4}$. 2,6 ² . 5,2 cm] . . . = 16265,4 ,,	0,00717	117
4	Schmierbüchsen	1,125	4,5
	Summa D. 1		953,5
F. Rothguss. Die Achsen.			
4	Lagerpfannen = 2 . $\frac{\pi}{4}$ [14,4 ² . 13,1 cm + 17,0 ² . 2,6 cm - 11,8 ² . 15,7 cm] = 2022,2 ,,	0,0086	17,5
4	„ „ = 2 . $\frac{\pi}{4}$ [13,1 ² . 13,1 cm + 15,7 ² . 2,6 cm - 10,5 ² . 15,7 cm] = 1861,3 ccm	0,0086	16
	Summa F		33,5

Zusammenstellung des Gesamtgewichtes der langen Brücke.

Pos.	Gegenstand	A. Schmiedeeisen kg	B. Puddelstahl kg	C. Schmiedetheile kg	D. Bearbeitetes Gusseisen kg	F. Rothguss kg
1	Die Ueberbrückung, 2 Langträger (2.1376), 10 Querträger (10.138), Horizontalverband 277,5	4409,5	—	—	—	—
2	Die Achsen mit den Rädern	—	484	117	953,5	33,5
3	Die Aufläufe	—	39,5	—	—	—
	Summa	4409,5	523,5	117	953,5	33,5

II. Die kurze Brücke.

In ähnlicher Weise ergibt sich die

Zusammenstellung des Gesamtgewichtes der kurzen Brücke.

Pos.	Gegenstand	A. Schmiedeeisen kg	B. Puddelstahl kg	C. Schmiedetheile kg	D. Bearbeitetes Gusseisen kg	E. Rohes Gusseisen kg	F. Rothguss kg
1	Die Ueberbrückung, 2 Langträger (2.1287), 10 Querträger (10.138), Horizontalverband 271, Gegengewicht 23	4248	—	—	—	—	—
2	Die Achsen mit den Rädern	—	484	117	950,5	—	33,5
3	Die Aufläufe	—	39	—	—	—	—
4	Das Gegengewicht	—	—	—	—	633,5	—
	Summa	4248	523	117	950,5	633,5	33,5

III. Ein Rollwagen.

Anzahl	Gegenstand	Gewicht in kg	
		einzel	zusammen
A. Schmiedeeisen.			
1. Ein Langträger.			
1	verticale Platte 13 mm dick, 471 mm breit, 4,054 m lang	= 1,909 qm	100,4
4	∟ Stäbe (78 mm + 78 mm) . 13 mm = 4 . 4,054 m lang	= 16,226 m	14,6
6	„ (78 mm + 78 mm) . 10 mm = 6 . 455 mm lang	= 2,730 „	11,0
4	Futterstäbe (167 mm . 13 mm) = 4 . 314 mm lang	= 1,256 „	16,7
8	„ (92 mm . 13 mm) = 8 . 314 mm lang	= 2,512 „	9,1
1	„ (78 mm . 10 mm) = 1 . 455 mm lang	= 0,455 „	5,4
198	Nietköpfe (20 mm θ)	—	0,037
	Summa A. 1		1025
2. Ein ganzer Querträger.			
1	verticale Platte 10 mm dick, 353 mm breit, 2,628 m lang	= 0,928 qm	75,6
4	∟ Stäbe (78 mm + 78 mm) . 10 mm = 4 . 2,605 m lang	= 10,420 m	11,0
4	„ (78 mm + 78 mm) . 10 mm = 4 . 455 mm lang	= 1,820 „	11,0
4	„ (65 mm + 65 mm) . 8 mm = 4 . 333 mm lang	= 1,332 „	7,8
2	Futterstücke (78 mm . 10 mm) = 2 . 92 mm lang	= 0,184 „	5,4
2	Unterlagsplatten = 2 . 17,6 cm (3,6 cm . 4,9 cm + 10,5 cm . 3,3 cm + 3,6 cm . 3,9 cm)	= 2325 ccm	0,0078
4	Klemmplatten (52 mm . 13 mm) = 4 . 78 mm lang	= 0,312 m	4,8
4	Schraubenbolzen (20 mm θ) mit Muttern und Scheiben	—	0,5
104	Nietköpfe (20 mm θ)	—	0,037
	Summa A. 2		243,5
3. Ein halber Querträger.			
1	verticale Platte 13 mm dick, 353 mm breit, 2,628 m lang	= 0,928 qm	100,4
2	∟ Stäbe (78 mm + 78 mm) . 13 mm = 2 . 2,605 m lang	= 5,210 m	14,6
2	„ (78 mm + 78 mm) . 10 mm = 2 . 455 mm lang	= 0,910 „	11,0
2	„ (65 mm + 65 mm) . 8 mm = 2 . 333 mm lang	= 0,666 „	7,8
2	Unterlagsplatten = 2 . 10,5 cm (3,6 cm . 4,9 cm + 10,5 cm . 3,3 cm + 3,6 cm . 3,9 cm)	= 1379,0 ccm	0,0078
4	Klemmplatten (52 mm . 13 mm) = 4 . 78 mm lang	= 0,312 m	4,7
4	Schraubenbolzen (20 mm θ) mit Muttern und Scheiben	—	0,53
104	Nietköpfe (20 mm θ)	—	0,037
	Summa A. 3		202,5
4. Ein Riegelträger.			
1	verticale Platte 10 mm dick, 353 mm breit, 837 mm lang	= 0,295 qm	75,6
2	∟ Stäbe (78 mm + 78 mm) . 10 mm = 2 . 816 mm lang	= 1,632 m	11,0
2	„ (78 mm + 78 mm) . 10 mm = 2 . 133 mm lang	= 0,666 „	11,0
36	Nietköpfe (20 mm θ)	—	0,037
	Summa A. 4		50

Anzahl	Gegenstand	Gewicht in kg		
		einzel	zusammen	
5. Der Horizontalverband.				
2	Platten 10 mm dick, 262 mm breit, 2.614 = 1,228 m lang	= 0,321 qm	75,6	24
4	" 10 mm dick, 262 mm breit, 4.314 = 1,256 m lang	= 0,328 "	75,6	24,5
8	△ Stäbe (78 mm + 78 mm) . 10 mm = 8.222 mm lang	= 1,776 m	11,0	20
4	Flachstäbe (78 mm . 13 mm) = 4.2,916 m lang	= 11,664 "	7,8	92
2	Klammern (20 mm . 20 mm) = 2.392 mm lang	= 0,784 "	3,2	2,5
32	Nietköpfe (23 mm θ)		0,057	2
96	" (20 mm θ)		0,037	3,5
		Summa A. 5		168,5
B. Puddelstahl. Die Achsen.				
2	kurze Achsen = $2 \cdot \frac{\pi}{4} [10,5^2 \cdot 20,9 \text{ cm} + 7,8^2 \cdot 2 \cdot 11,1 \text{ cm}]$	= 5744,2 ccm	0,0078	44,5
2	lange Achsen = $2 \cdot \frac{\pi}{4} [10,5^2 \cdot 20,9 \text{ cm} + 7,8^2 (11,1 \text{ cm} + 24,2 \text{ cm})]$	= 6807,9 "	0,0078	54,5
		Summa B		99
C. Schmiedeteile.				
1. Die Achsen.				
16	Lagerknaggen = 16 (3,3 cm . 3,3 cm + 7,8 cm . 1,6 cm) . 9,2 cm	= 3442,2 ccm	0,0078	26,5
16	Lagerkeile = 16 . 2,0 cm . 3,3 cm . 13,1 cm	= 1341,1 "	0,0078	10,5
16	kurze Lagerbolzen (23 mm θ) mit Muttern und Scheiben		0,625	10
16	lange Lagerbolzen (20 mm θ) mit Muttern und Scheiben		0,65	10,5
16	Schrauben für die Schmiertöpfe		0,125	2
4	Nabenkeile = 4 . 2,6 cm . 1,3 cm . 20,9 cm	= 286,1 ccm	0,1375	2
8	Nabenringe = $8 \cdot \frac{\pi}{4} (19,6^2 - 15,7^2) \cdot 2,6 \text{ cm}$	= 2274,5 "	0,1375	17,5
		Summa C. 1		79
2. Die Riegelvorrichtung.				
2	Wellen (39 mm θ) mit Scheiben und Stiften = $2 \left[\frac{\pi}{4} \cdot 3,9^2 \cdot 172,6 + \frac{\pi}{4} (7,8^2 - 3,9^2) \cdot 1,0 \text{ cm} + \frac{\pi}{4} \cdot 1,0^2 \cdot 7,8 \text{ cm} \right]$	= 4314,9 ccm	0,0078	32,5
1	Handhebel mit Stellschraube und Keil = $\frac{\pi}{4} (6,5^2 - 3,9^2) \cdot 5,2 \text{ cm} + \frac{\pi}{4} (3,9^2 - 2,0^2) \cdot 1,6 \text{ cm} + 4,9 \text{ cm} \cdot 1,3 \text{ cm} \cdot 11,8 \text{ cm}$ + 91,5 cm . 4,3 cm . 2,3 cm + 33,9 ccm	= 1126,5 "	0,0078	8,5
2	lange Hebel mit Keilen = $2 \left[\frac{\pi}{4} (6,5^2 - 3,9^2) \cdot 5,2 \text{ cm} + \frac{\pi}{4} (3,9^2 - 2,0^2) \cdot 1,6 \text{ cm} + 4,9 \text{ cm} \cdot 1,3 \text{ cm} \cdot 19,6 \text{ cm} \right]$	= 504,3 "	0,0078	4
1	kurzer Hebel mit Keil = $\frac{\pi}{4} (6,5^2 - 3,9^2) \cdot 5,2 \text{ cm} + \frac{\pi}{4} (3,9^2 - 2,0^2) \cdot 1,6 \text{ cm} + 4,9 \text{ cm} \cdot 1,3 \text{ cm} \cdot 11,8 \text{ cm}$	= 202,6 "	0,0078	1,5
2	Riegel mit Bolzen, Scheiben und Stiften = $2 [5,2 \text{ cm} \cdot 3,9 \text{ cm} \cdot 57,5 \text{ cm} + \frac{\pi}{8} \cdot 3,9^2 \cdot 2,0 \text{ cm} - 2,6 \cdot 3,3 \cdot 3,9 \text{ cm} + 32,1 \text{ ccm}]$	= 2381,8 "	0,0078	18
1	Zugstange mit 2 Bolzen, Scheiben und Stiften = $\frac{\pi}{4} \cdot 2,6^2 \cdot 124,2 \text{ cm} + 2 \cdot 3,3^2 \cdot 5,9 \text{ cm} + 4 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 3,9^2 \cdot 0,8 \text{ cm} + 2 \cdot 30,3 \text{ ccm}$	= 892,3 "	0,0078	7
1	Zugstange mit 1 Bolzen, Scheibe und Stift = $\frac{\pi}{4} \cdot 2,6^2 \cdot 109,8 \text{ cm} + 2 \cdot 3,3^2 \cdot 5,9 \text{ cm} + 2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 3,9^2 \cdot 0,8 \text{ cm} + \frac{\pi}{4} (3,9^2 - 2,0^2)$. 3,3 cm + 30,3 ccm	= 793,9 "	0,0078	6
1	Zugstange mit 1 Bolzen, Scheibe und Stift = $\frac{\pi}{4} \cdot 2,6^2 \cdot 26,2 \text{ cm} + 2 \cdot 3,3^2 \cdot 5,9 \text{ cm} + 2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 3,9^2 \cdot 0,8 \text{ cm} + \frac{\pi}{4} (3,9^2 - 2,0^2)$. 3,3 cm + 30,3 ccm	= 345,1 "	0,0078	2,5
1	Hebelführung = 1,3 cm (39,2 cm . 17,0 cm - 31,4 cm . 2,6 cm)	= 763,5 "	0,0078	6
8	Schraubenbolzen (20 mm θ) für die Lager		0,375	3
16	" (20 mm θ) für die Riegeleführungen		0,44	7
5	" (20 mm θ) für den Riegeleingriff		0,40	20
2	Ankerbolzen (20 mm θ) für den Riegeleingriff		0,75	1,5
		Summa C. 2		99,5
D. Bearbeitetes Gusseisen.				
1. Die Achsen.				
4	Räder = $4 \cdot \frac{\pi}{4} [19,6^2 - 10,5^2] \cdot 15,7 \text{ cm} + (45,8^2 - 19,6^2) \cdot 3,9 \text{ cm} + (54,9^2 - 45,8^2)$. 11,8 cm + (60,1^2 - 54,9^2) . 2,6 cm - 2 (19,6^2 - 15,7^2) . 2,6 cm]	= 71367,0 ccm	0,0072	513
8	Achslager = 8 . [19,6 cm . 3,3 cm . 9,2 cm + 2 . 7,8 cm . 3,3 cm . 13,1 cm + 4 . 2,0 cm . 1,3 cm . 7,8 cm + 15,7 cm . 14,4 cm . 8,5 cm + $\frac{\pi}{4} \cdot 5,9^2 \cdot 14,4 \text{ cm} - 2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 2,3^2$. 18,3 cm - 4 . $\frac{\pi}{4} \cdot 2,6^2 \cdot 3,3 \text{ cm} - \frac{\pi}{4} \cdot 9,8^2 \cdot 8,5 \text{ cm}]$	= 21556,7 "	0,0072	155
8	Schmierbüchsen		1,125	9
		Summa D. 1		677
2. Die Riegelvorrichtung.				
4	Wellenlager = $4 \cdot (7,8 \text{ cm} [19,6 \text{ cm} \cdot 2,6 \text{ cm} + 2,0 \text{ cm} \cdot 9,2 \text{ cm} + \frac{\pi}{8} \cdot 9,2^2 - 7,8 \text{ cm} \cdot 0,3 \text{ cm}$ - $\frac{\pi}{4} \cdot 3,9^2] - 2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 2,0^2 \cdot 2,6 \text{ cm})$	= 2682,3 ccm	0,00717	19,5
1	Kugel = $\frac{\pi}{6} \cdot 13,1^3 - 2,6 \text{ cm} \cdot 2,0 \text{ cm} \cdot 13,1 \text{ cm}$	= 1103,3 "	0,00717	8
4	Riegeleführungen = $4 \cdot [3,9 \text{ cm} \cdot 32,7 \text{ cm} \cdot 34,0 \text{ cm} + 3,9 \text{ cm} \cdot 13,1 \text{ cm} \cdot 11,8 \text{ cm} - (14,4 \text{ cm} \cdot 34,0 \text{ cm}$ + $14,4 \text{ cm} \cdot 15,7) \cdot 1,3 \text{ cm} - 5,2 \text{ cm} \cdot 3,9 \text{ cm} \cdot 7,8 \text{ cm} - 4 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 2,0^2 \cdot 2,6 \text{ cm}]$	= 15340,9 "	0,00717	110
4	Aussteifungen = $4 \cdot [(18,3 \text{ cm} \cdot 32,0 \text{ cm} + 2 \cdot 18,3 \text{ cm} \cdot 5,2 \text{ cm} + 2 \cdot 7,8 \text{ cm} \cdot 35,3 \text{ cm}) \cdot 1,6 \text{ cm}$ + $4 \cdot 7,8 \text{ cm} \cdot 7,8 \text{ cm} \cdot 0,3 \text{ cm} - 4 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 2,0^2 \cdot 2,6 \text{ cm}]$	= 8901,6 "	0,00717	64
1	Riegeleingriff am Querträger = $34,0 \text{ cm} \cdot 29,4 \text{ cm} \cdot 2,6 \text{ cm} + 13,1 \text{ cm} \cdot 13,1 \text{ cm} \cdot 3,9 \text{ cm} + 10,5 \text{ cm} \cdot 3,9 \text{ cm}$. 2,0 cm + 5,2 cm . 3,9 cm . 2,0 cm - 5,2 cm . 5,9 cm . 6,5 cm - $5 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 2,0^2 \cdot 2,6 \text{ cm}$	= 3161,5 "	0,00717	22,5
1	Ringeingriff am Mauerwerk = $22,2 \text{ cm} (20,9 \text{ cm} \cdot 2,6 \text{ cm} + 13,1 \text{ cm} \cdot 4,6 \text{ cm} - 5,2 \text{ cm} \cdot 1,0 \text{ cm}) + 7,8 \text{ cm}$ (13,1 cm . 3,6 cm + 2 . 3,9 cm . 4,9 cm) - $2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 2,0^2 \cdot 2,6 \text{ cm}$	= 3086,4 "	0,00717	22
		Summa D. 2		246
F. Rothguss. Die Achsen.				
16	Lagerpfannen = $8 \cdot \frac{\pi}{4} [9,8^2 \cdot 8,5 \text{ cm} + 2 \cdot 11,8^2 \cdot 1,0 \text{ cm} - 7,8^2 \cdot 10,5 \text{ cm}]$	= 2794,9 ccm	0,017	24
		Summa F		24

Zusammenstellung des Gesamtgewichts des Rollwagens.

Pos.	Gegenstand	A. Schmiedeeisen kg	B. Puddelstahl kg	C. Schmiedetheile kg	D. Bearbeitetes Gusseisen kg	F. Rothguss kg
1	Das Wagengestell, 2 Langträger (2.512,5), 3 ganze Querträger (3.243,5), 4 halbe Querträger 4.202,5, 2 Riegelträger 2.50, Horizontalverband 168,5 . . .	2834	—	—	—	—
2	Die Achsen mit den Rädern	—	99	79	677	24
3	Die Riegelvorrichtung	—	—	99,5	246	—
	Summa	2834	99	178,5	923	24

IV. Die Rollbahn.

Anzahl	Gegenstand	Gewicht in kg	
		einzel	zusammen
A. Schmiedeeisen.			
1. Die Schienen.			
2	Schienen 131 mm hoch = 2.7,009 m	= 14,018 m	
2	„ „ „ = 2.5,022 „	= 10,044 „	
2	„ „ „ = 2.4,995 „	= 9,990 „	
2	„ „ „ = 2.4,368 „	= 8,736 „	
4	„ „ „ = 4.3,593 „	= 14,372 „	
	zusammen	= 57,160 m	35,48
24	Winkellaschen (78 mm . 16 mm) = 24.392 mm	= 9,408 „	9,88
4	gerade Laschen (78 mm . 16 mm) = 4.366 mm	= 1,464 „	9,88
56	Schraubenköpfe und Muttern (23 mm θ)		0,425
	Summa A. 1		2180,5
2. Die Radanläufe.			
4	Platten 39 mm dick = 4 $\left(\frac{262 \text{ mm} \cdot 157 \text{ mm}}{2} - \frac{157 \text{ mm} \cdot 131 \text{ mm}}{2} - \frac{105 \text{ mm} \cdot 78 \text{ mm}}{2} \right)$ = 0,106 qm		301,8
4	„ 39 „ „ = 4 $\left(\frac{262 \text{ mm} \cdot 157 \text{ mm}}{2} - \frac{118 \text{ mm} \cdot 105 \text{ mm}}{2} - \frac{157 \text{ mm} \cdot 78 \text{ mm}}{2} \right)$ = 0,115 „		301,8
8	„ 20 „ „ = 8.262 mm . 196 mm	= 0,411 „	150,9
8	Laschen (78 mm . 16 mm) = 8.262 mm	= 2,096 „	9,78
16	Schraubenköpfe und Muttern (26 mm θ)		0,625
32	Nietköpfe (26 mm θ)		0,0875
	Summa A. 2		162
3. Die Auflager.			
88	Ankerbolzen (33 m θ) mit Muttern und Scheiben		3,065
48	„ (23 m θ) mit Muttern		0,90
120	Schraubenbolzen (23 mm θ) mit Muttern		0,65
168	Klemmplatten = 168 $\left[6,5 \text{ cm} \cdot 7,8 \text{ cm} - \frac{\pi}{4} \cdot 2,3^2 \right] \cdot 1,3 \text{ cm}$	= 10360,8 ccm	0,0078
16	Lagerbolzen (20 mm θ)		0,70
4	Nabenkeile = 4.2,6 cm . 1,3 cm . 19,6 cm	= 268,2 ccm	0,0078
	Summa A. 3		483
B. Puddelstahl. Die Auflager.			
4	Achsen = 4. $\frac{\pi}{4} [10,5^2 \cdot 19,6 \text{ cm} + 2 \cdot 7,8^2 \cdot 11,1 \text{ cm}]$	= 11038,5 ccm	0,0078
	Summa B		86
D. Bearbeitetes Gusseisen. Die Auflager.			
4	Platten A = 4. $\left[(37,9 \text{ cm} \cdot 3,9 \text{ cm} \cdot 54,9 \text{ cm}) + (54,9 \text{ cm} \cdot 27,5 \text{ cm}) \cdot 10,5 \text{ cm} \cdot 1,3 \text{ cm} + 2 \cdot \frac{8,5 \text{ cm} \cdot 4,6 \text{ cm}}{2} \cdot 2,3 \text{ cm} \cdot 60,2 \text{ cm} + 4 \cdot \frac{2,3 \text{ cm}}{2} \cdot 3,9 \text{ cm} \cdot 9,2 \text{ cm} + 4 \cdot \frac{\pi}{8} \cdot 9,2^2 \cdot 2,3 \text{ cm} - 4 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 3,9^2 \cdot 6,2 \text{ cm} - 8 \left(3,9^2 \cdot 1,6 \text{ cm} + \frac{\pi}{4} \cdot 2,3^2 \cdot 4,6 \text{ cm} \right) \right]$	= 43628,5 ccm	0,0072
4	Platten B = 4. $\left[(37,9 \text{ cm} \cdot 3,9 \text{ cm} \cdot 54,9 \text{ cm}) + (54,9 \text{ cm} \cdot 13,7 \text{ cm}) \cdot 10,5 \text{ cm} \cdot 1,3 \text{ cm} + \frac{8,5 \text{ cm} \cdot 4,6 \text{ cm}}{2} \cdot 2,3 \text{ cm} \cdot 115,1 \text{ cm} + 4 \cdot \frac{2,3 \text{ cm}}{2} \cdot 3,9 \text{ cm} \cdot 9,2 \text{ cm} + 4 \cdot \frac{\pi}{8} \cdot 9,2^2 \cdot 2,3 \text{ cm} - 4 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 3,9^2 \cdot 6,2 \text{ cm} - 7 \left(3,9^2 \cdot 1,6 \text{ cm} + \frac{\pi}{4} \cdot 2,3^2 \cdot 4,6 \text{ cm} \right) \right]$	= 42735,5 „	0,0072
10	Platten C = 10. $\left[(37,9 \text{ cm} \cdot 3,9 \text{ cm} \cdot 10,5 \text{ cm} \cdot 1,3 \text{ cm} + 2 \cdot \frac{8,5 \text{ cm} \cdot 4,6 \text{ cm}}{2} \cdot 2,3 \text{ cm}) \cdot 54,9 \text{ cm} + 4 \cdot \frac{2,3 \text{ cm}}{2} \cdot 3,9 \text{ cm} \cdot 9,2 \text{ cm} + 4 \cdot \frac{\pi}{8} \cdot 9,2^2 \cdot 2,3 \text{ cm} - 6 \left(3,9^2 \cdot 1,6 \text{ cm} + \frac{\pi}{4} \cdot 2,3^2 \cdot 4,6 \text{ cm} \right) - 4 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 3,9^2 \cdot 6,2 \text{ cm} \right]$	= 104621,7 „	0,0072
24	Platten D = 24 $\left[(26,2 \text{ cm} \cdot 2,6 \text{ cm} + 2 \cdot 4,6 \text{ cm} \cdot 1,0 \text{ cm}) \cdot 15,7 \text{ cm} - 2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 2,6^2 \cdot 3,6 \text{ cm} \right]$ = 28377,4 „		0,0072
4	Rollenlager E = 4 $\left[43,2 \text{ cm} \cdot 3,9 \text{ cm} \cdot 54,9 \text{ cm} + 26,8 \text{ cm} \cdot 7,8 \text{ cm} \cdot 39,2 \text{ cm} - 21,6 \text{ cm} \cdot 11,8 \text{ cm} \cdot 34,0 \text{ cm} + 4 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 9,2^2 \cdot 2,3 \text{ cm} + 2 \left(15,7 \text{ cm} \cdot 15,7 \text{ cm} \cdot 8,5 \text{ cm} + \frac{\pi}{4} \cdot 5,2^2 \cdot (15,7 \text{ cm} + 11,8 \text{ cm}) \cdot 5,2 \text{ cm} \cdot 2,6 \text{ cm} - 2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 2,0^2 \cdot 19,6 \text{ cm} - \frac{\pi}{4} \cdot 9,8^2 \cdot 8,5 \text{ cm} \right) - 4 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 3,9^2 \cdot 6,2 \text{ cm} \right]$	= 51765,4 „	0,0072
4	Rollen = 4. $\frac{\pi}{4} \cdot [34,0^2 \cdot 28,8^2 - 10,5^2] \cdot 19,6 \text{ cm}$	= 54340,3 „	0,0072
	Summa D		2339,5
F. Rothguss. Die Auflager.			
16	Lagerpfannen = 8. $\frac{\pi}{4} [9,8^2 \cdot 8,5 \text{ cm} + 2 \cdot 11,8^2 \cdot 1,0 \text{ cm} - 7,8^2 \cdot 10,5 \text{ cm}]$	= 2794,8 ccm	0,0086
	Summa F		24
G. Blei. Die Auflager.			
88	Ankerbolzen (33 mm θ) zu vergiessen, 196 mm tief		5,0
48	„ (23 mm θ) „ „ 118 mm „		2,0
	Summa G		536

Zusammenstellung des Gesamtgewichtes der Rollbahn.

Pos.	Gegenstand	A. Schmiedeeisen kg	B. Puddelstahl kg	D. Bearbeitetes Gusseisen kg	F. Rothguss kg	G. Blei kg
1	Die Schienen	2180,5	—	—	—	—
2	Die Radanläufe	162	—	—	—	—
3	Die Auflager	483	86	2339,5	24	536
	Summa	2825,5	86	2339,5	24	536

Zusammenstellung des Gesamtgewichtes der Rollbrücke.

Pos.	Gegenstand	A. Schmiedeeisen kg	B. Puddelstahl kg	C. Schmiedetheile kg	D. Bearbeitetes Gusseisen kg	E. Rohes Gusseisen kg	F. Rothguss kg	G. Blei kg
I.	Die lange Brücke	4409,5	523	117	953,5	—	33,5	536
II.	Die kurze Brücke	4248	523	117	950,5	633,5	33,5	—
III.	Zwei Rollwagen	5668	198	357	1846	—	48	—
IV.	Die Rollbahn	2825,5	86	—	2339,5	—	24	—
	Summa	17151	1330	591	6089,5	633,5	139	536

Als 2. Beispiel einer Gewichtsberechnung der Träger von Klappbrücken lässt sich die unter IV gegebene Berechnung des Gegengewichtes der auf Tafel IV dargestellten Klappbrücke benutzen.

Als 3. Beispiel für die Gewichtsberechnung einer Drehbrücke folgt diejenige der auf Taf. V dargestellten und unter IV beschriebenen und ausführlich statisch berechneten Parnitzbrücke der Berlin-Stettiner Bahn.

Gewichtsberechnung der Drehbrücke über die Parnitz bei Stettin.

Pos.	Gegenstand der Berechnung	Zahl der Einheiten	Gewicht		
			der Einheit kg	im Einzelnen kg	im Ganzen kg
A. Schwellenträger.					
a) Normale Schwellenträger.					
1. Winkeleisen.					
	Obere Gurtung 62.62.8 stark, 2.2,825 m lang	5,650	7,52	42,5	
	Untere Gurtung 65.65.9 stark, 2.2,825 m lang	5,650	9,02	51,0	
	zur Aussteifung an den Schwellen 52.52.7 stark, 3.0,418 m lang	1,254	4,70	6	
	zu Schwellenhaltern 52.52.7 stark, 3.2.0,131 m lang	0,786	4,70	4	
2. Platten.					
	Blechwand 8 mm stark, 0,418 m hoch, 2,825 lang. 0,418.2,825 qm	1,180	63,55	75	
	3. Schwellenbolzen 13 mm stark, 0,288 m lang Stück	3	1/3	1	
	4. Für doppelte Nietköpfe ca. 4% Zuschlag			7	
1	mithin für 4.12 = 48 Stück			186,5	895,2
b) Schwellenträger neben dem Drehzapfen.					
2	Bei denselben Abmessungen wie die der vorhergehenden, jedoch nur 0,942 m lang, für 4 Stück 4.1/3.186,5				248,5
c) Consolen an den Enden der Brücke.					
1. Winkeleisen, 62.62.8 stark, zu					
	4 grossen Consolen 4.2.1,96 m	15,693	m		
	4 kleinen " 4.2.1,569 m	12,554	"		
	8 Gegenconsolen 8.2.0,942 m	15,064	"		
	Summa	43,311	7,492	324,5	
2. Platten, 8 mm stark, zu					
	4 grossen Consolen 4(0,915 m.0,837 m — 1/2.0,68 m.0,68 m)	2,139	qm		
	4 kleinen " 4(0,758 m.0,785 m — 1/2.0,68 m.0,523 m)	1,827	"		
	8 Gegenconsolen 8.1/2.0,445 m.0,418 m	0,744	"		
	Summa 4,710 qm	4,710	6,25	299	
	3. Schwellenbolzen 13 mm stark, 288 lang Stck.	42	1/3	4	
	4. Für Nietköpfe ca. 4%			25	
3	mithin für 12 solche Querträger				652,5
B. Querverbindungen.					
a) Normale Querträger.					
1. Winkeleisen.					
	Beide Gurtungen 78.78.8,7 stark, 4.5,649 m lang	22,597	m		
	zum Anschluss an die Hauptträger 78.78.8,7 stark, 4.1,151 m lang	4,603	"		
	Summa	27,200	10,80	294	
	zum Anschluss der Schwellenträger 55,6.55,6.8 stark, 16.1,039 m lang m	16,633	6,73	112	
2. Platten, 8 mm stark.					
	Die Blechwand 1,046 m hoch, 5,636 m lang qm	5,895	63,52	374,5	
3. Platten, 5 mm stark,					
	zu Laschen 0,118 m breit, 2.0,118.0,889 qm	0,209	38,27	8	
	4. Für Nietköpfe ca. 4%			31,5	
	Summa			820,0	
4	mithin für 12 solche Querträger				9840
	Zu übertragen				19693,0

Pos.	Gegenstand der Berechnung	Zahl der Einheiten	Gewicht		
			der Einheit kg	im Einzelnen kg	im Ganzen kg
	Uebertrag				19693,0
	b) Querträger neben dem Drehzapfen.				
	1. Winkeleisen				
	zu Gurtungen 78.78.8,7 stark, 4.5,649 m lang m	22,597	10,79	244	
	zum Anschluss an die Hauptträger 78.78.10 stark, 4.1,569 m "	6,277	11,15	70	
	" " der Schwellenträger 56.56.8 " 16.1,477 " "	23,633	6,685	158	
	2. Platten.				
	Die Blechwand 10 mm stark, 1,477 m hoch, 5,636 m lang qm	8,324	76,225	634,5	
	zu Laschen, 5 mm stark, 2.0,118 m.1,321 m "	0,312	38,461	12	
	" Gurtungsplatten 8 mm stark, 2.2,511 m.0,262 m "	1,312	63,262	83	
	3. Für Nietköpfe ca. 4%			48	
	Gewicht eines Querträgers				1249,5
5	mithin für 2 solche Querträger				2499
	C. Die ausgekragten Bankette und die Geländer.				
	1. Winkeleisen				
	zu 20 Consolen, 55.55.8 mm stark, je 2,353 m lang 47,060 m				
	" 4 " 55.55.8 " " je 2,667 " " 10,668 "				
	" 48 " 55.55.8 " " je 1,020 " " 48,960 "				
	Summa	106,688	6,692	714	
	Heftwinkeleisen 78.78.8,7 stark, zu 24 Consolen je 0,157 m	3,768	10,748	40,5	
	Winkeleisen an den Geländerstäben 65.65.8. 2.35,465 m m	70,930	7,965	565	
	2. C-Eisen 2.35,465 m lang "	70,930	12,695	900,5	
	3. Quadrateisen 26 mm stark, zu 80 Geländerstäben je 1,177 m lang "	94,160	5,310	500	
	4. Flacheisen, 65.10 mm stark, zur Verbindung der Stäbe in der Mitte 2.35,465 m lang "	70,930	4,983	353,5	
	" zur Verstrebung der Stäbe 26.13 mm stark, zu 80 Stäben je 0,314 m lang "	25,120	2,667	67	
	5. Für Nietköpfe und Befestigungsschrauben ca. 4%			125,5	
	6. Schraubenbolzen für 80 Schwellenstücke 2.80 Stück	160	0,15	24	
6	Gewicht der ausgekragten Bankette und des Geländers				3290
	D. Verbindung der Schwellenträger unter sich.				
	1. Winkeleisen				
	62.62.8 mm stark, horizontal über vier Schwellen gehend, oben und unten				
	2.12.5,335 m lang m	128,040	7,489	959	
	" 78.78.0,87 mm stark an den Enden zur Verbindung der Consolen 2.7,689 m "	15,378	10,794	166	
	" 56.56.8 mm stark zwischen den beiden inneren Querträgern 12.2,118 m "	25,416	6,688	170	
	2. Für Nietköpfe ca. 1 1/2%			19,5	
	Gewicht der ganzen Verbindung				1314,5
7	E. Die Hauptträger.				
	1. Winkeleisen.				
	Obere Gurtung 105.105.13 mm stark, 2.35,857 m lang 71,714 m				
	Untere " 105.105.13 mm stark, 2.35,923 m lang 71,846 "				
	Summa	143,56	20,709	2973	
	Zur Aussteifung an den Auflagern				
	für die Endauflager 78.78.13 stark, 4.1,255 m m	5,020	14,641	73,5	
	" ein Mittelaufleger 105.105.13 mm stark, 4 Stück 4.1,674 m lang "	6,696	20,684	138,5	
	" ein Brückenende 78.78.8,7 mm stark "	1,161	10,78	12,5	
	2. Platten.				
	Die Blechwand 13 mm stark, 2.11,808 m.1,164 m + 2. $\frac{1,595 + 1,164}{2}$.2,825 + 6,591 m.1,595 = qm	45,796	101,537	4650	
	zur Versteifung über dem Mittelaufleger 13 mm stark, (2.0,105 + 2.0,222 m) 1,595 m "	1,043	101,537	106	
	Gurtungsplatten 13 mm stark, 0,418 m breit, 35,856 m.29,659 m + 19,302 m.1,569 m "	72,2	101,537	7340	
	2 Gurtungsplatten 8 mm stark, 0,418 m breit, 2.6,982 m.0,418 m "	5,837	59,448	347	
	2 Stossplatten 10 mm stark, 0,418 m breit, 2.1,569 m.0,418 m "	1,312	76,220	100	
	Laschen für die Blechwand, 8 mm stark, 0,144 m breit, zu				
	8 Stößen 8.2.0,955 m.0,144 m 2,200 qm				
	2 " 2.2.1,170 m.0,144 m 0,674 "				
	2 " 2.2.1,386 m.0,144 m 0,798 "				
	Summa 3,672 qm	3,672	60,729	233	
	3. Stosswinkel				
	für 6 Stöße 6.2.2.0,863 m m	20,712	25,492	528	
	4. Für doppelte Nietköpfe ca. 4%			660	
	Gewicht eines Hauptträgers				17161,5
8	mithin für 2 Hauptträger				34323
	F. Horizontaler Kreuzverband.				
	1. Winkeleisen				
	zum Anschluss der Stäbe in der Mitte der Brücke 78.78.8,7 mm stark, ca. m	6,277	10,78	68	
	2. Platten, 13 mm stark.				
	8 Stäbe 0,209 m breit, 8.3,766 m.0,209 m qm	6,300	101,537	640	
	16 " 0,131 m breit, 16.3,766 m.0,131 m "	7,894	101,537	800	
	8 " 0,078 m breit, 4(1,804 m + 0,705 m).0,078 m "	0,783	101,537	80	
	Für Stossplatten 13 mm stark rot. "	6,907	101,537	700	
	3. Für Nietköpfe ca. 2 1/2%			57	
	Gewicht des horizontalen Kreuzverbandes				2345
9	G. Die Träger neben dem Drehzapfen.				
	1. Winkeleisen, 78.78.10 mm stark.				
	Gurtungen 4.0,942 m 3,768 m				
	zur Aussteifung der Gurtungen 4.0,967 m 3,868 "				
	zum Anschluss an die Querträger 8.1,465 m 11,720 "				
	Summa	19,356	11,159	216	
	2. Platten, 13 mm stark.				
	Blechwand 2.0,942 m.0,967 m qm	1,822	101,537	185	
	3. Für Nietköpfe ca. 4%			16	
	Gewicht der beiden Querträger				417
10	Zu übertragen				63881,5

Pos.	Gegenstand der Berechnung	Zahl der Einheiten	Gewicht		
			der Einheit kg	im Einzelnen kg	im Ganzen kg
	Uebertrag	.	.	.	63881,5
	<i>H. Die Consolen über dem Drehpfeiler zu beiden Seiten der seitlichen Rollen.</i>				
	1. Winkeleisen.				
	Anschluss an die Hauptträger 78.78.8,7 mm stark, 1,595 m + 2.1,674 m lang . . . m	6,538	10,78	70,5	
	zur Einfassung 65.65.8,7 mm stark, 4.1,491 m + 3.0,785 m + 2.0,942 m + 2.1,138 m lang "	14,834	9,06	134,5	
	2. C-Eisen 2.0,942 m + 2.1,099 m lang "	4,082	12,73	52	
	3. Platten 8 mm stark, 2.0,392 m.0,785 m + 2.0,314 m.1,072 m qm	1,289	63,22	81,5	
	Verbindungsstäbe unter den Consolen 13 mm stark, 65 mm breit, 3,609 m lang . . . "	0,23	101,53	23	
	Führungsbacken 13 mm stark, 4(0,078 m + 0,235 m + $\frac{0,078 m + 0,235 m}{2} \cdot 0,314 m$) = . . . "	0,269	215,61	58	
	4. Für Nietköpfe ca. 4% . . . . .	.	.	16,5	
	Gewicht der Consolen an einer Seite	.	.	436,5	
11	mithin an beiden Seiten . . . . .	.	.	.	873
	<i>J. Befestigung der mittleren festen Rolle.</i>				
	1. Winkeleisen.				
	Träger des Lagers 78.78.8,7 mm stark m	2,197	10,92	24	
	Absteifung 65.65.8,7 mm stark "	0,628	8,75	5,5	
	2. Für Niete ca. 4% . . . . .	.	.	1	
12	Gewicht der Befestigung	.	.	.	30,5
	Gewicht des Schmiedeisens für die Brückenconstruction . . . . .	.	.	.	64785
	mithin bei 36,72 m Brückenlänge $\frac{64785}{36,72} = 1764,3$ kg für den m Brücke.	.	.	.	

Zur Drehvorrichtung, zur Feststellung und zur Signalvorrichtung, sowie für die Lagerung der Brücke incl. Laufkranz, Rollen etc. sind nach specieller Berechnung erforderlich

an Schmiedeisen	2975 kg
Gusseisen	6025 "
Gussstahl	475 "
Messing	325 "

3. Vergebung der Arbeiten.

Die Vergebung der zur Herstellung einer Brücke erforderlichen Bauarbeiten erfolgt auf Grund der gefertigten Projecte und Inhalts-, Gewichts- oder Kostenberechnungen gewöhnlich an Bauunternehmer und wird bei grösseren Bauobjecten meist an bestimmte Submissions- und Contractsbedingungen geknüpft. Während die ersteren sich auf die Modalitäten der Vergebung, insbesondere auf die Fassung, den Ablieferungstermin und die Eröffnung der Offerten, sowie auf die Verbindlichkeiten der Submittenten während des Submissionsverfahrens und auf die Vorbehalte beziehen, welche die Bauverwaltung hinsichtlich der Wahl, der Ablehnung und des Zuschlages der eingegangenen Offerten macht, sind die Contractsbedingungen theils allgemeine, welche sich auf die zwischen der Bauverwaltung und dem Bauunternehmer bestehenden Rechtsverhältnisse, theils besondere, welche sich auf das bei der technischen Ausführung zu beobach-

tende Verfahren beziehen. Näheres hierüber, sowie ein Beispiel solcher Submissions- und Contractsbedingungen findet sich u. a. in Abtheilung I, Heft 3, S. 75 ff. dieses Werkes.

4. Ausführung.

Die Ausführung der beweglichen Brücken ist eine theils administrative, theils technische. Die erstere umfasst die Ueberwachung der Bauarbeiten und der hiermit verbundenen Anordnungen im statischen und finanziellen Interesse, die Ausstellung der Anweisungen auf Abschlagszahlungen, die Abnahme des Bauwerkes nach seiner Vollendung und die definitive Abrechnung sammt der Anweisung auf die Schlusszahlung. Insbesondere gehört hierher die Controlle der Metall-Lieferungen nach Gewicht und Qualität, sowie der Arbeiten in der mechanischen Werkstätte, die Ueberwachung der Aufstellungs- und Montierungsarbeiten und die Prüfung der Brücke durch Oeffnen und Schliessen sowie durch Probelastung im geschlossenen Zustande.

Die technische Ausführung erstreckt sich auf die Ueberwachung der Bauarbeiten selbst, insbesondere der Grundarbeiten mit Einschluss der Wasserförderung, der Maurer- und Steinhauerarbeiten, sämtlicher Metallarbeiten und der Zimmerarbeiten, worüber Näheres u. a. in der Abth. I, Heft 3; in Abth. II, Heft 1, 2 und in Abth. III dieses Werkes enthalten ist.

L I T E R A T U R . *)

I. Bewegliche Brücken.

- 1) Duleau, Reisenotizen u. a. über bewegliche Brücken in England und Belgien. Crelle, Journ. f. Baukunde. 1833.
- 2) Tellkamp, Reisenotizen über neuere Brückenbauten in England. Bewegliche Brücken. Ztschr. d. Hann. Arch.- u. Ing.-Vereins. 1857. S. 175 ff.
- 3) Bendel, Der Ueberbau der amerikanischen Brücken und Viaducte. D. Die beweglichen Brückenconstructionen. Nach Notizen von Henz. Ztschr. f. Bauw. 1862. Sp. 383 ff.
- 4) Schwarz, Der Brückenbau. Berlin 1866.
- 5) Becker, Der Brückenbau in seinem ganzen Umfange. 5. Abschnitt. Bewegliche Brücken. Stuttgart 1873. S. 289 ff.
- 6) Rziha, Eisenbahn-Unter- und Oberbau. II. Band. 5. Abschnitt. Bewegliche Brücken. Wien 1877. S. 445 ff.
- 7) Steiner, Ueber Brückenbauten in den Vereinigten Staaten von Nordamerika. Eiserne Brücken. M. Bewegliche Brücken. Wien 1878. S. 171 ff.
- 8) Handbuch der Ingenieurwissenschaften. II. Band. 2. Abthlg. 8. Cap. Leipzig 1882. S. 66 ff.

II. Rollbrücken.

- 9) Ueber Rollbrücken im Allgemeinen vgl. I, 5. S. 297 ff.; I, 6. S. 465 ff. und I, 8. S. 66 ff.
- 10) Rollbrücke über den See-Eingang des neuen Hafens von Sunderland. Vgl. I, 2. Sp. 177.
- 11) Rollbrücken für Eisenbahnen in Amerika über Oeffnungen von 30—36' Weite. Vgl. I, 3. Sp. 383.
- 12) Rollbrücke in der New-Yersey-Bahn über den Passaicfluss. Vgl. I, 6. S. 464.

III. Hubbrücken.

- 13) Ueber Hubbrücken im Allgemeinen vgl. I, 5. S. 303 ff.; I, 6. S. 456 und I, 8. S. 72 ff.
- 14) Röper, Eine neue bewegliche Brücke. Wochenbl. des Berl. Arch.-Ver. 1867, S. 359 und 1868, S. 414.
- 15) Hubbrücke über den Rhein-Marnekanal bei den Salinen de Rosières. Ann. industr. 1. Sem. 1873. S. 622.
- 16) Nouveau système d'un pont mobile à Utica. Annales des ponts et chaussées. März 1876. S. 390.
- 17) Hubbrücke zu Utica. Ztschr. f. Bauw. 1878. S. 38.

IV. Zugbrücken.

- 18) Ueber Zugbrücken im Allgemeinen vgl. I, 5, S. 289 ff.; I, 6, S. 454 und I, 8, S. 74 ff.
- 19) Poncelet, Lehrbuch der Anwendung der Mechanik auf Maschinen. Deutsch von Schnuse. Darmstadt 1845. Bd. II. Abschn. 5.
- 20) Davaine, Ponts levis. Annales des ponts et chaussées. Ser. III. VIII. 2. Sem. S. 263.

V. Klappbrücken.

- 21) Ueber Klappbrücken im Allgemeinen vgl. I, 6, S. 457 und I, 8, S. 83 ff.
- 22) Schwedler, J. W., Ueber Klappbrücken für Eisenbahnen. Ztschr. f. Bauw. 1866. S. 133.
- 23) Klappbrücke über den Festungsgraben in Cöln. Hartwich, Erweiterungsbauten der Rheinischen Eisenbahn 1867.
- 24) Augustabrücke zu Berlin. Ztschr. f. Bauw. 1870. S. 301.
- 25) Die Klappbrücke über den Knippelsbroo im Christianshafen zu Kopenhagen. Engineering. 2. Sem. 1870. Vgl. auch I, 6, S. 295 u. 458.

VI. Krahnbrücken.

- 26) Ueber Krahnbrücken im Allgemeinen vgl. I, 6, S. 461 ff. und I, 8, S. 147 ff.
- 27) Buresch, Die Eisenbahnbrücke über den Georgsvehn-Canal. Ztschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover. 1872. S. 233.
- 28) Krahnbrücke über den neuen Entwässerungscanal bei Zwolle. Vgl. I, 6, S. 462 u. Taf. XI.

*) Nach den Brückengattungen und Zeitfolgen geordnete, zugleich als Quellennachweis dienende Uebersicht der neueren, wichtigeren Werke und Aufsätze über bewegliche Brücken.

VII. Schiffbrücken.

- 29) Ueber Schiffbrücken im Allgemeinen vgl. I, 5, S. 304 ff.; I, 6, S. 500 und I, 8, S. 149 ff.
- 30) Die Eisenbahnschiffbrücke über den Rhein bei Maxau. Vgl. M. Becker, Ausgeführte Constructionen des Ingenieurs. Heft 5. Stuttgart 1865.
- 31) De Schipbrug over den Lijmfiord bij Aalborg in Denemarken. Vgl. Verhandelingen van het kon. Inst. van Ing. 1867/68. S. 78 ff.
- 32) Die Schiffbrücke in der Milwaukee-St. Paul-Eisenbahn über den Mississippi zwischen Prairie du chien (Wisconsin) und North-Mac-Gregor (Jowa). Vgl. Engineer 1873 und Ztschr. d. Hann. Arch.- u. Ing.-Ver. 1875, auch I, 6, S. 501.

VIII. Drehbrücken.

- 33) Ueber Drehbrücken im Allgemeinen vgl. I, 5, S. 298 ff.; I, 6, S. 464 ff. und I, 8, S. 92 ff.
- 34) Drehbrücke bei Mecheln. Förster's Bauztg. 1866. S. 199 ff., auch Bauernfeind, Vorlegeblätter zur Brückenbaukunde. München 1854. Bl. 45.
- 35) Drehbrücke in der Mainbrücke bei Frankfurt. Ztschr. f. Bauw. 1856. Sp. 485 ff.
- 36) Drehbrücke über die Geeste zwischen Geestemünde und Bremerhafen. Ztschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover. 1856, S. 42 und 1859, S. 67.
- 37) Drehbrücke über den Berlin-Spandauer Schiffahrtscanal. Zeitschrift f. Bauw. 1860. S. 193 ff.
- 38) Königsbrücke über den alten Hafen zu Rotterdam. Vgl. Verhandelingen van het kon. Inst. van Ing. 1861/62. S. 26 ff.
- 39) Drehbrücke bei Brest. Ztschr. f. Bauw. 1863. S. 623.
- 40) Drehbrücke in der Weserbrücke zu Bremen. Ztschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover. 1865 und 1869.
- 41) Drehbrücken in der Eisenbahnbrücke über den Pregel bei Königsberg. Ztschr. f. Bauw. 1866. S. 517 ff.
- 42) Drehbrücke über den Spoy-Canal bei Cleve. Hartwich, Erweiterungsbauten d. Rhein. Eisenbahn. Berlin 1867.
- 43) Drehbrücke über den Sicherheitshafen zu Bremen. Ztschr. f. Bauw. 1868.
- 44) Häsel, über Drehbrücken nach Schwedler's System. Ztschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover. 1869.
- 45) Drehbrücken über die Parnitz und Oder. Vgl. Stein, Erweiterungsbauten der Berlin-Stettiner Eisenbahn, ausgef. in den Jahren 1864/69. Berlin 1870.
- 46) Schwedler, J. W., Mittheilungen über einige Drehbrücken ohne Rollkranz (Drehbrücke über die Peene bei Anclam, in der eingeleisigen Hafenbahn in Stralsund, über die Mottlau in Danzig, über die Parnitz bei Stettin, über den Schafgraben bei Charlottenburg). Ztschr. f. Bauw. 1871. S. 193 ff. und Deutsche Bauztg. 1871. S. 286.
- 47) Drehbrücke in der Rheinbrücke bei Hamm oberhalb Düsseldorf. Ztschr. f. Bauw. 1872. S. 239.
- 48) Harrison, Swing bridge over the Ouse, North Eastern railway. Engineering XII, S. 264.
- 49) Drehbrücke über den Mississippi bei Davenport. Scientific American 1872, S. 100, auch Ztschr. f. Bauw. 1862, S. 336.
- 50) Förster, Drehbrücken in Strassen über holländische Canäle. Ztschr. f. Bauhandw. 1873. S. 4 u. 20.
- 51) Drehbrücken der Berlin-Potsdam-Magdeburger Bahn bei Potsdam und Werder. Ztschr. f. Bauw. 1874. Sp. 140.
- 52) Drehbrücke über den Canal de la Radelle bei Aigues Mortes. Ann. ind. 1. Sem. 1874. S. 198.
- 53) Shaler Smith, Draw-spans and their turntables. Engineering. 2. Sem. 1874. S. 407.
- 54) Drehbrücke über den Mississippi bei St. Louis. Ztschr. des österr. Ing.-Ver. 1874. S. 79.
- 55) Drehbrücke in der neuen Maassbrücke zu Rotterdam. Ztschr. f. Bauw. 1875. S. 11.
- 56) Drehbrücke über den Missouri zu Atchison. Engineer. 1875.
- 57) Drehbrücke über den Canal de l'Ourcq à la Villette. Nouv. annales d. l. construction. 1875. S. 14.
- 58) Drehbrücke am Bassin national zu Marseille. Annales des ponts et chaussées. 1. Sem. 1875.
- 59) Gleim, Amerikanische Drehbrücken. Notizbl. d. Arch.- u.

- Ing.-Vereins f. Niederrhein u. Westphalen. 1876, S. 33 und Ztschr. d. Hann. Arch.- u. Ing.-Ver. 1876, S. 395.
- 60) Draaibrug over de Koningshaven te Rotterdam. Tijdschr. van het kon. Inst. van Ing. 1876/77.
- 61) Hydraulische Drehbrücke in New-Castle upon Tyne. Engineering. II. Sem. 1877. S. 242.
- 62) Drehbrücke über die Memel bei Tilsit. Ztschr. f. Bauw. 1878.
- 63) Charlotte und Passaic drawbridge. The Delaware-Bridge-Company's illustrated album of bridges, roofs and viaducts with general description. New-York.
- 64) Drehbrücke mit ausbalancirtem Eigengewicht und nicht continuirlichen Hauptträgern, Patent Dr. Pröll und Scharowsky. Glaser's Annalen f. Gewerbe u. Bauwesen. 1879. Nr. 53.
- 65) Drehbrücke in der Breslau-Schweidnitz-Freiburger Eisenbahn über die Parnitz. Ztschr. d. hann. Arch.- u. Ing.-Ver. 1879. S. 525.
- 66) Oude-Maas-Brücke bei Dordrecht. Vgl. I, 6, S. 485.
- 67) Drehbrücke am Bassin Joliette zu Marseille. Vgl. I, 6, S. 494.
- 68) Drehbrücke der Kahnfahrt-Brücke im Oderthal bei Stettin. Ztschr. f. Bauw. 1879. S. 364.
- 69) Drehbrücke im Zuge der Ruhrort-Duisburger Chaussée zu Ruhrort. Ztschr. f. Bauw. 1879. S. 152.
- 70) Ueber englische Drehbrücken. Centralblatt der Bauverwaltung. 1882. No. 4.
- 71) Käferstein, H., Die Niederbaum-Drehbrücke in Hamburg. Ztschr. d. Ver. deutscher Ingenieure. 1882. S. 297.

IX. Theorie der beweglichen Brücken.

- 72) Poncelet, Lehrbuch der Anwendung der Mechanik. Deutsch von Schmuse. 5. Abschnitt: Zugbrücken. Darmstadt 1845. S. 369 ff.
- 73) Herschel, On the principles of the construction of revolving drawbridges. Transactions of the Americ. soc. of civ. eng. März 1857. S. 395.
- 74) Engesser, Ueber continuirliche Träger mit elastischen Stützen. Jahrbuch des polyt. Vereins. Karlsruhe 1860.
- 75) Ritter, Anwendung der graphischen Theorie des continuirlichen Trägers auf Drehbrücken. Notizbl. d. techn. Ver. zu Riga. 1874. S. 61.
- 76) Du Bois, Continuous girders and draw spans. Journ. of the Franklin Inst. 2. Sem. 1876. S. 17, 105, 348.
- 77) Gaudard, Études sur les conditions de résistance des ponts tournants. Ann. de génie civ. Juni 1877. S. 329.
- 78) Fränkel, W., Handbuch der Ingenieurwissenschaften. Bd. II, im Cap. VIII nebst Anhang. Leipzig 1882.

VERBESSERUNGEN.

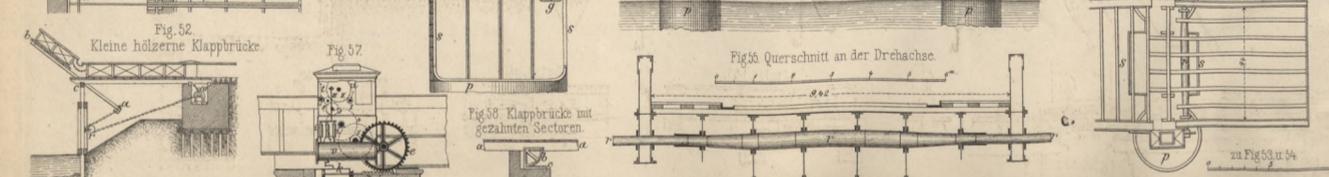
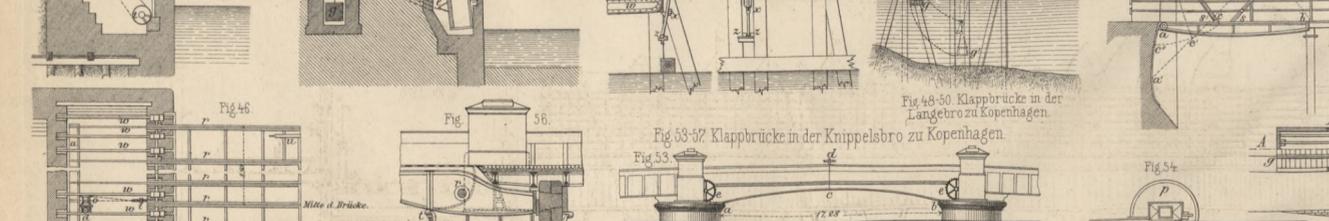
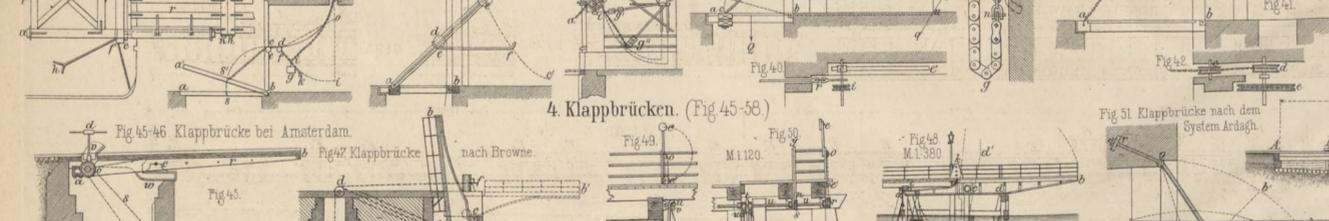
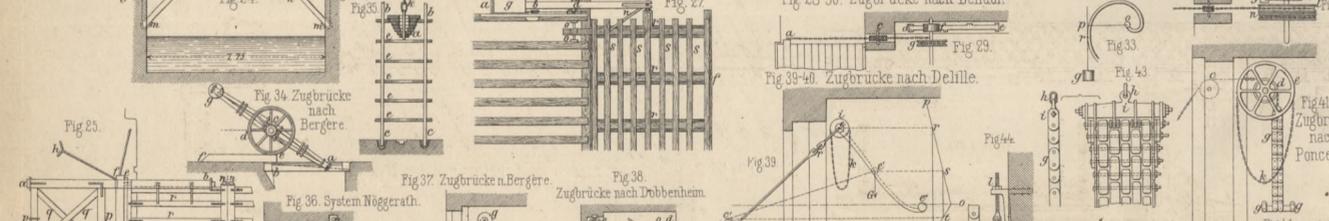
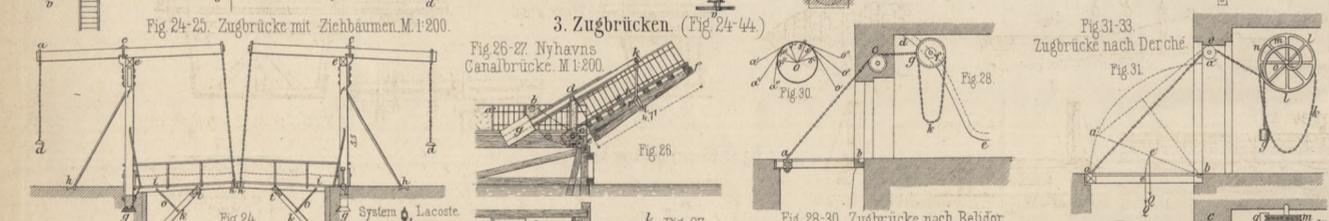
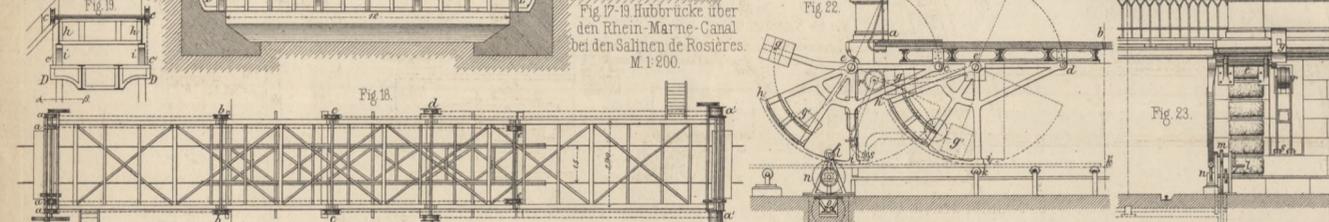
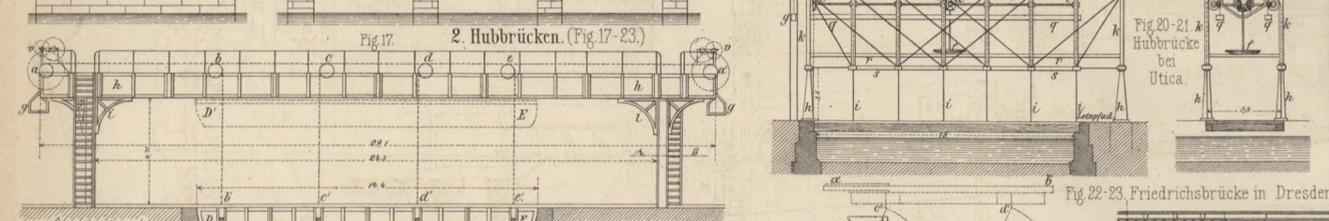
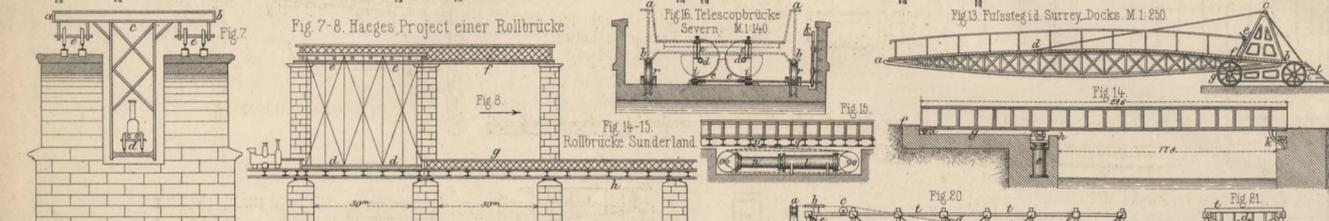
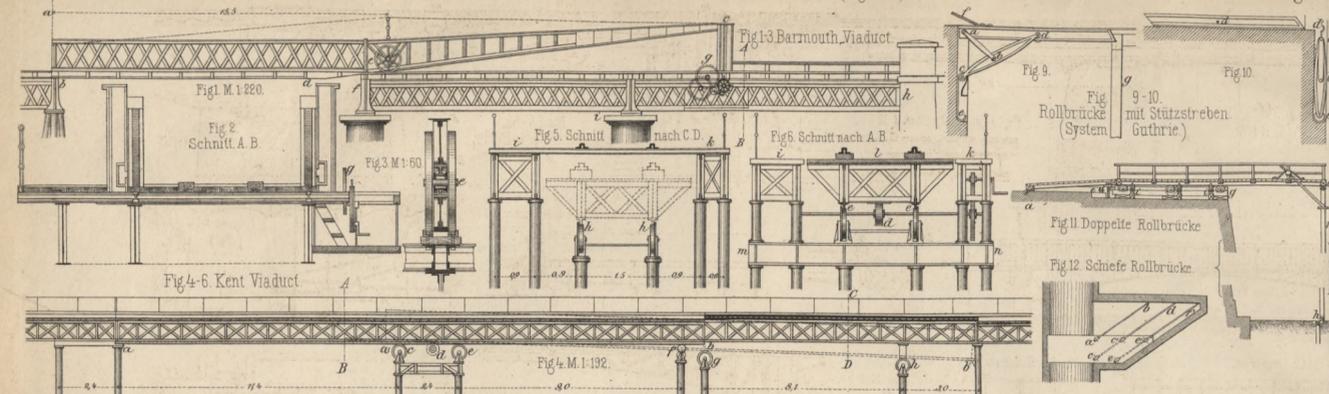
a) Text.

- Seite 1, linke Spalte, Zeile 29 v. o. lies Joch statt Dach.
- „ 7, rechte Sp., Z. 9 v. u. lies a) statt B.
- „ 8, l. Sp., Z. 16 v. u. lies b) statt C.
- „ 10, r. Sp., Z. 14 v. u. lies c) statt C.
- „ 11, r. Sp., Z. 20 v. o. lies 0 statt l_2
- „ 12, l. Sp., Z. 2 v. o. lies im Zähler 41, statt 41₂
- „ 12, l. Sp., Z. 29 v. o. lies C. statt B.
- „ 13, l. Sp., Z. 11 v. o. lies d) statt D.
- „ 17, l. u. r. Sp. oben lies $x = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$ statt $x = 0$, wobei der obere und untere Werth von x bezw. für die Angriffsmomente und Verticalscheerkräfte gilt.

- Seite 21, r. Sp., Z. 28 v. u. lies Gleichung 169 statt Gleichung 2.
- „ 27, r. Sp., Z. 29 v. u. lies $\frac{G+Q}{16}$ statt $\frac{G+P}{16}$.
- „ 35, r. Sp., Z. 20 v. u. lies Laufkranz statt Rollkranz.

b) Tafeln.

- Taf. II. Vor „Bassin Joliette, Marseille“ lies Fig. 30 statt Fig. 30—33 und vor „Drehbrücke am Bassin national in Marseille“ lies Fig. 31—36 statt Fig. 34—36.
- Taf. V, rechts oben lies vor „Vorrichtungen etc.“ Fig. 15—20 statt Fig. 15.
- Taf. VI. Der Maasstab zu Fig. 10, 11 u. 12 ist 1 : 245 statt 1 : 140.

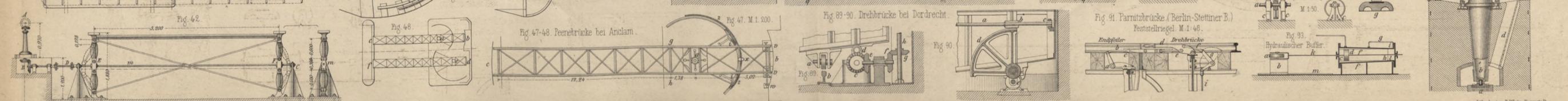
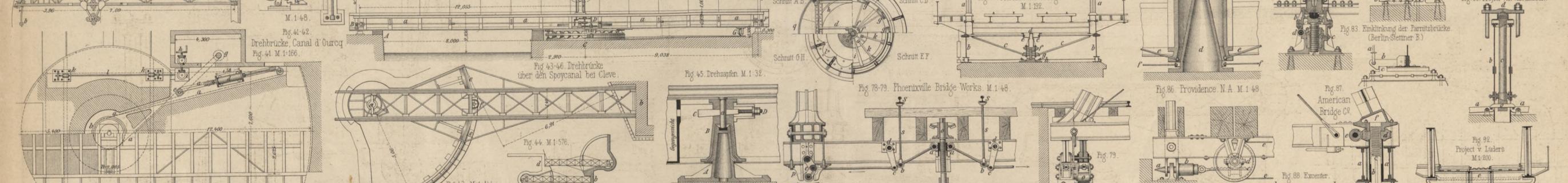
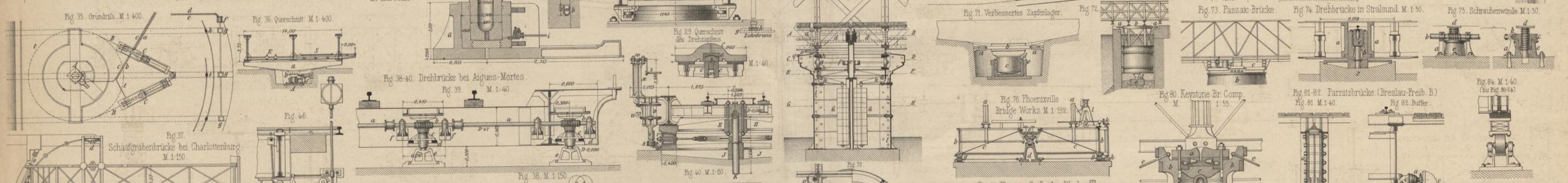
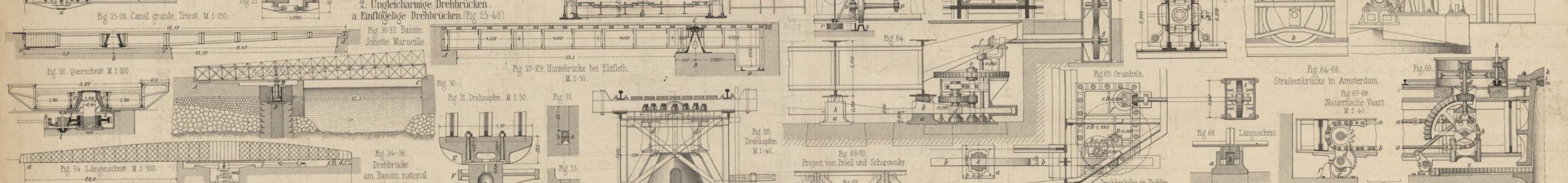
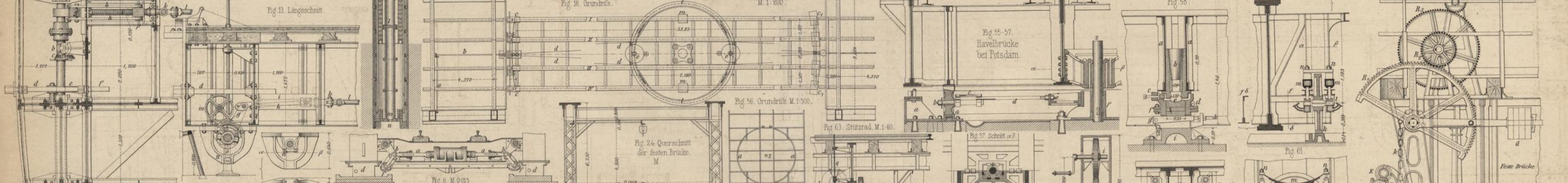
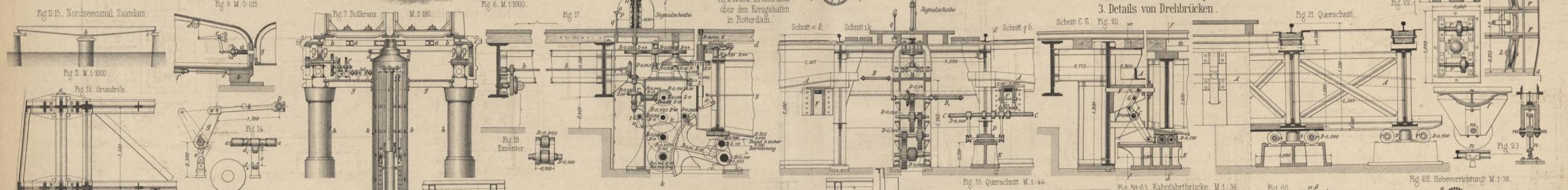
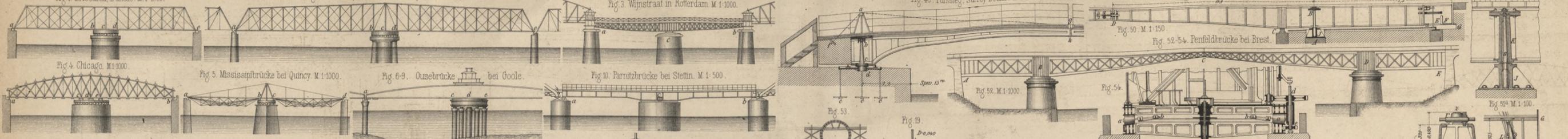


1. Gleicharmige Drehbrücken. (Fig. 1-24.)

Bewegliche Brücken. 7. Drehbrücken.

b. Zweiflügelige Drehbrücken. (Fig. 49-54.)

Fig. 50-51.



Rollwagen

Lange Rollbrücke

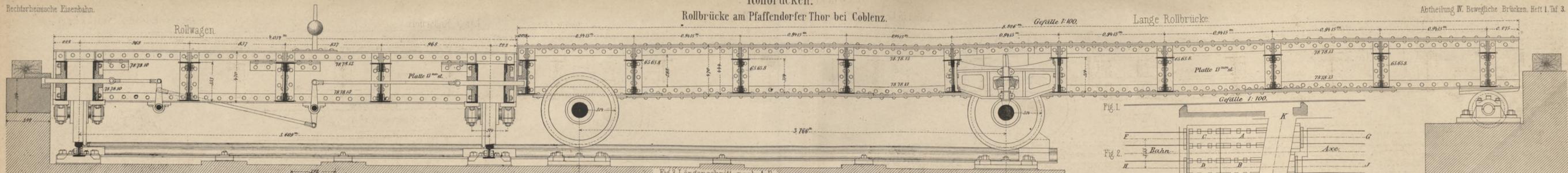


Fig. 3. Längsschnitt nach A B.

Fig. 1.

Fig. 2.

Fig. 1 u. 2. Uebersicht der Rollbrücken Anlage M. 1:330.

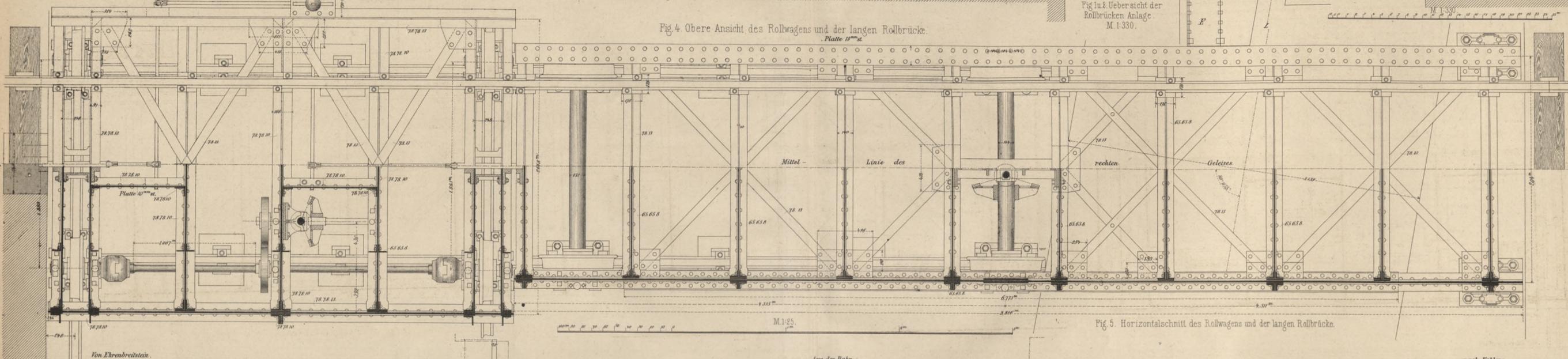


Fig. 4. Obere Ansicht des Rollwagens und der langen Rollbrücke.

Fig. 5. Horizontalschnitt des Rollwagens und der langen Rollbrücke.

Fig. 6-10. Schnitte durch den Rollwagen.

Fig. 6. Verticallschnitt nach a b (Fig. 8)

Fig. 7. Verticallschnitt nach c d (Fig. 9)

Fig. 10. Verticallschnitt nach e f (Fig. 9)

Fig. 11. Verticallschnitt nach g h (Fig. 12)

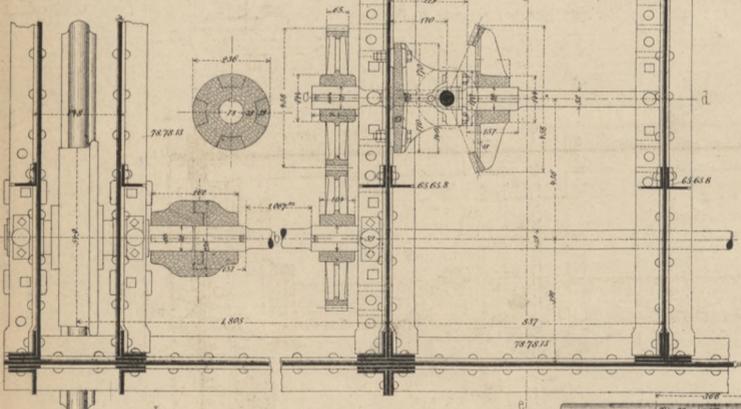
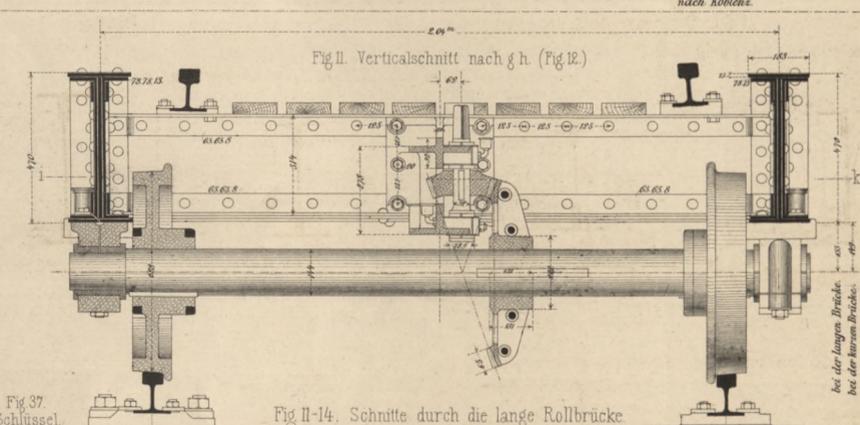
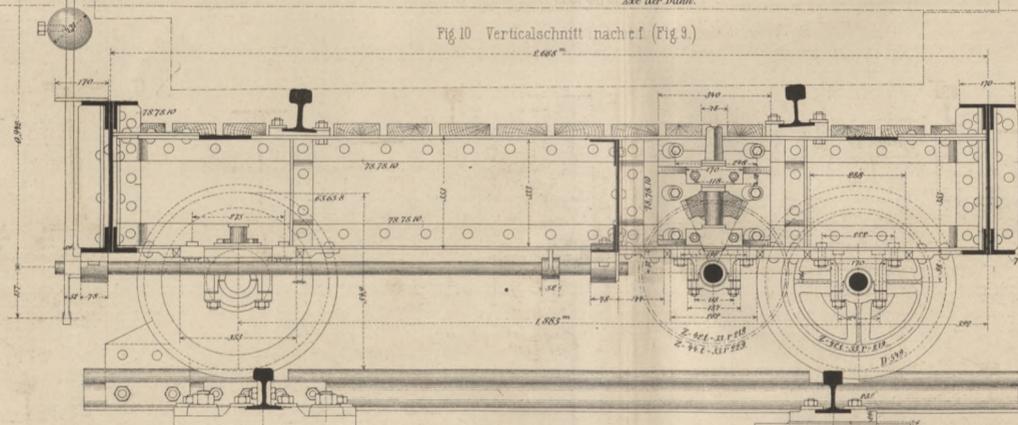
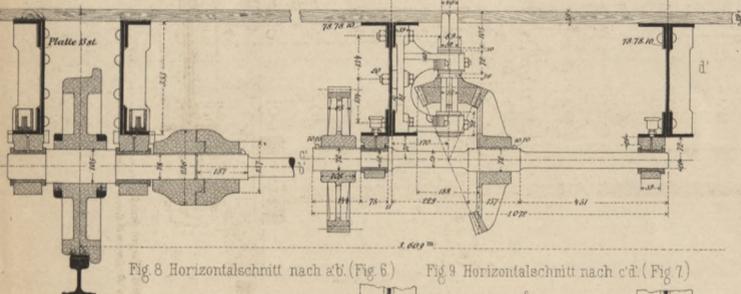


Fig. 18-20. Anlauf und Schienenlager des Rollwagens.

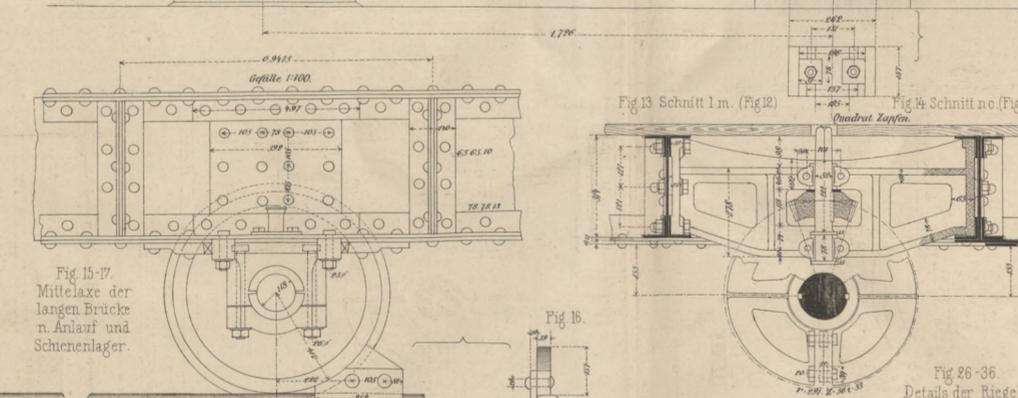


Fig. 15-17. Mittelaxe der langen Brücke n. Anlauf und Schienenlager.

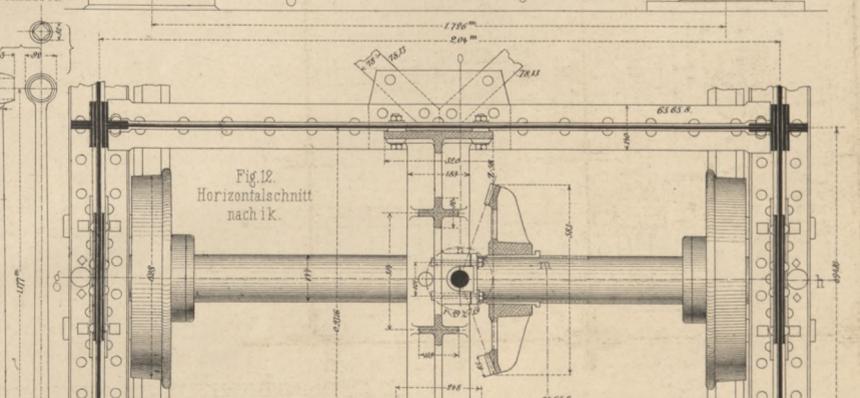


Fig. 12. Horizontalschnitt nach i k.

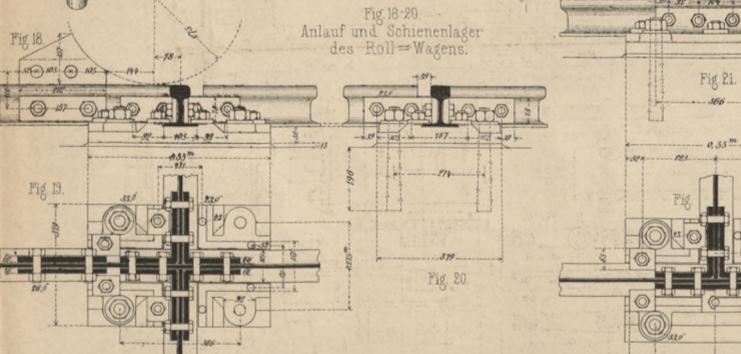


Fig. 21-22. Lager und Querverband der Schienen.

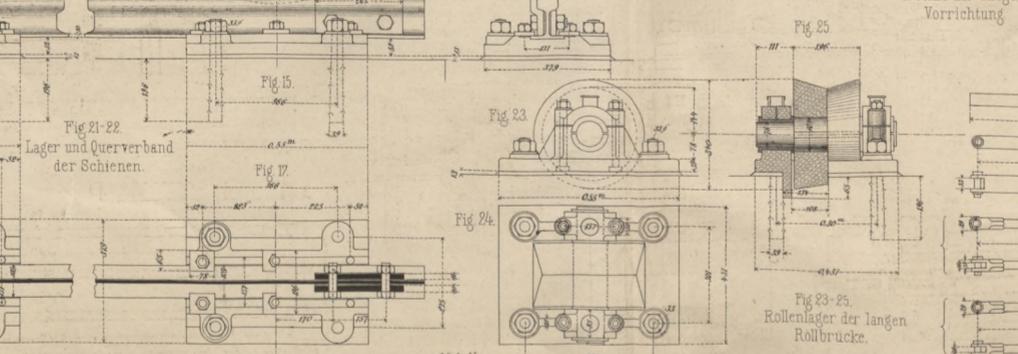


Fig. 23-25. Rollenlager der langen Rollbrücke.

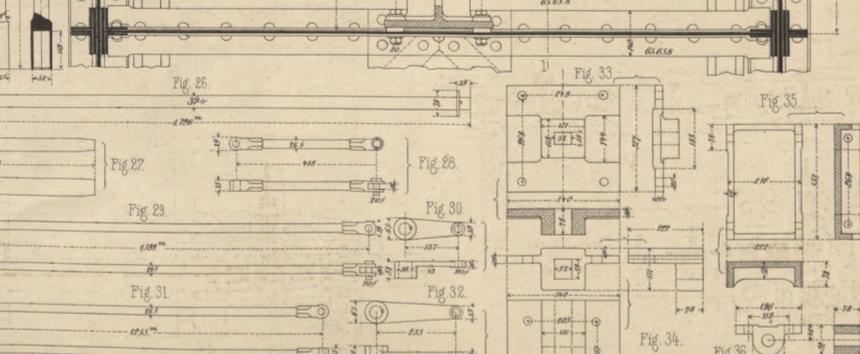


Fig. 26-36. Details der Riegel-Vorrichtung.

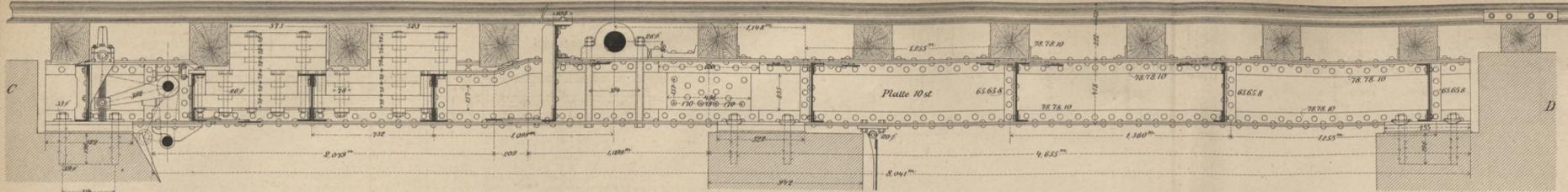


Fig 3 Horizontalschnitt nach C D (Fig 2)

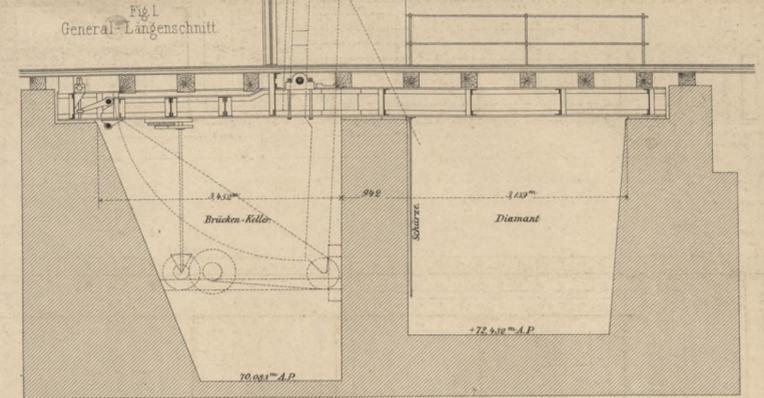
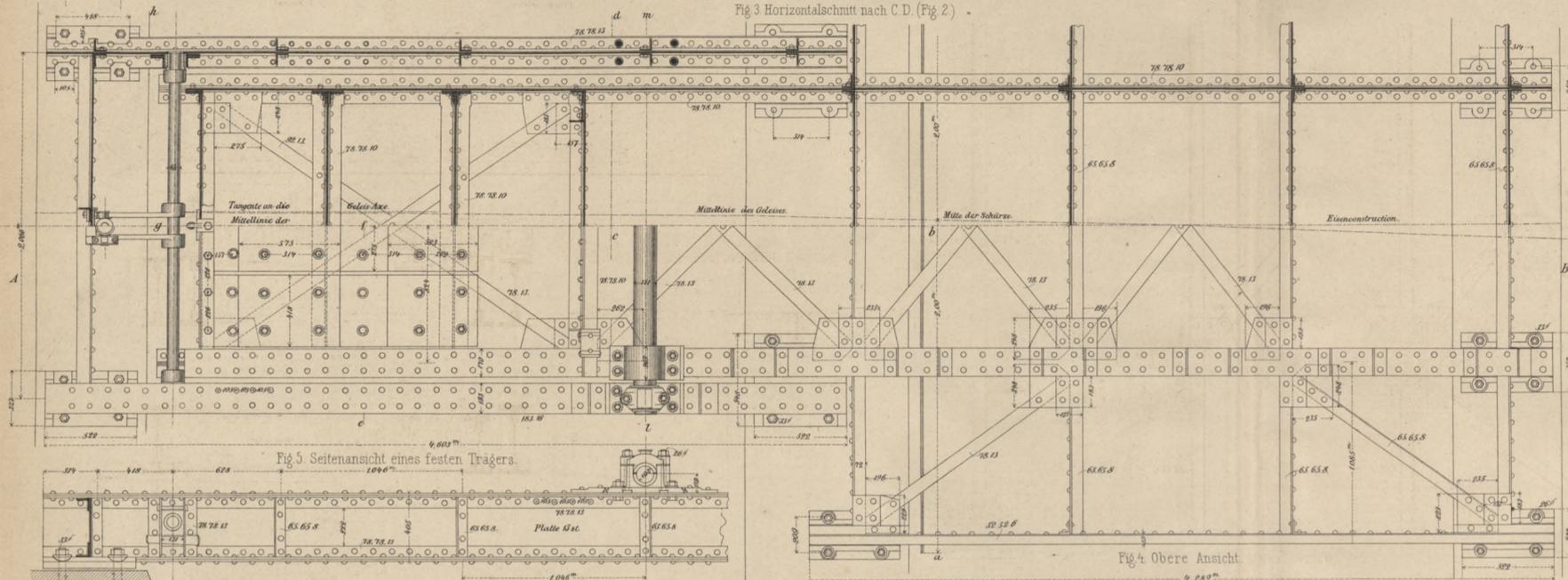


Fig 1
General Längsschnitt

Fig 6 Schnitt durch das Lager des beweglichen Trägers

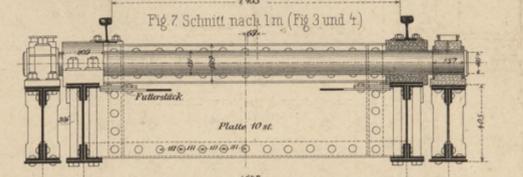
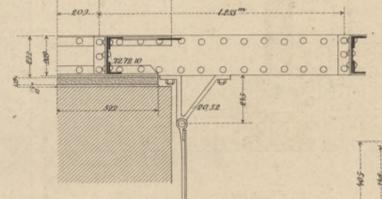


Fig 7 Schnitt nach l m (Fig 3 und 4)

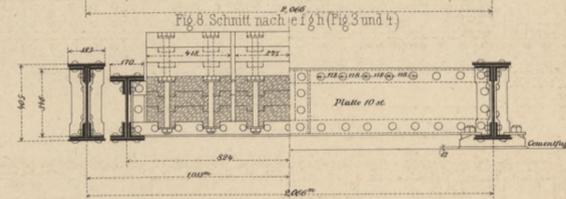


Fig 8 Schnitt nach e f h (Fig 3 und 4)

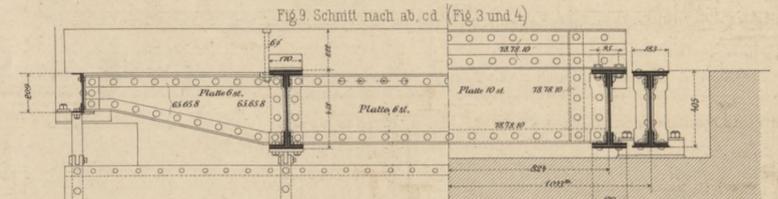


Fig 9 Schnitt nach ab cd (Fig 3 und 4)

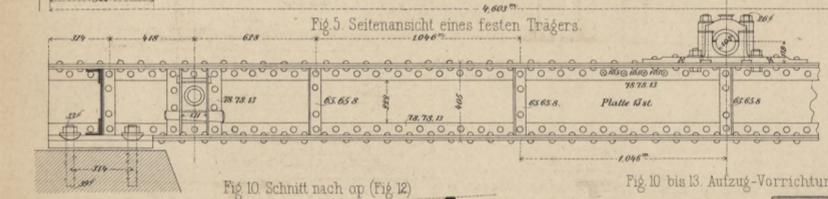


Fig 5 Seitenansicht eines festen Trägers

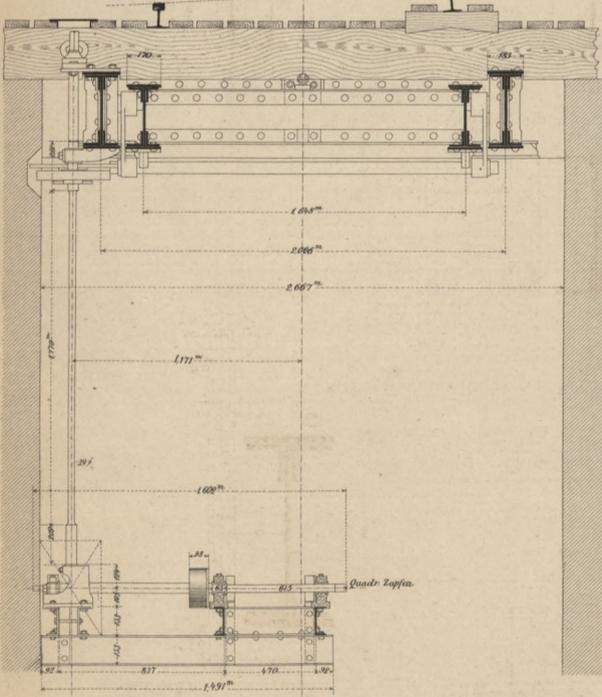


Fig 10 Schnitt nach op (Fig 12)

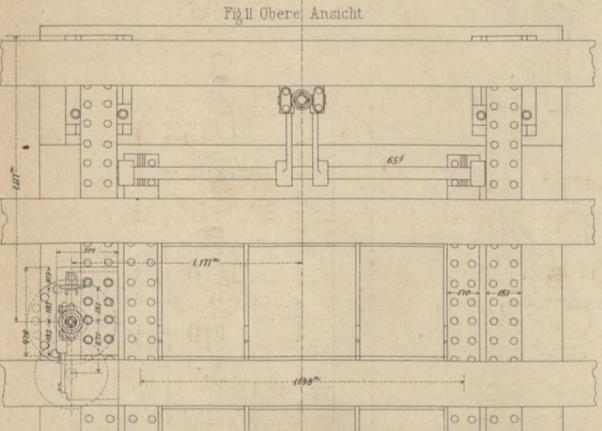


Fig 11 Obere Ansicht

Fig 10 bis 13 Anzug-Vorrichtung

Fig 4 Obere Ansicht

Fig 12 Seitenansicht

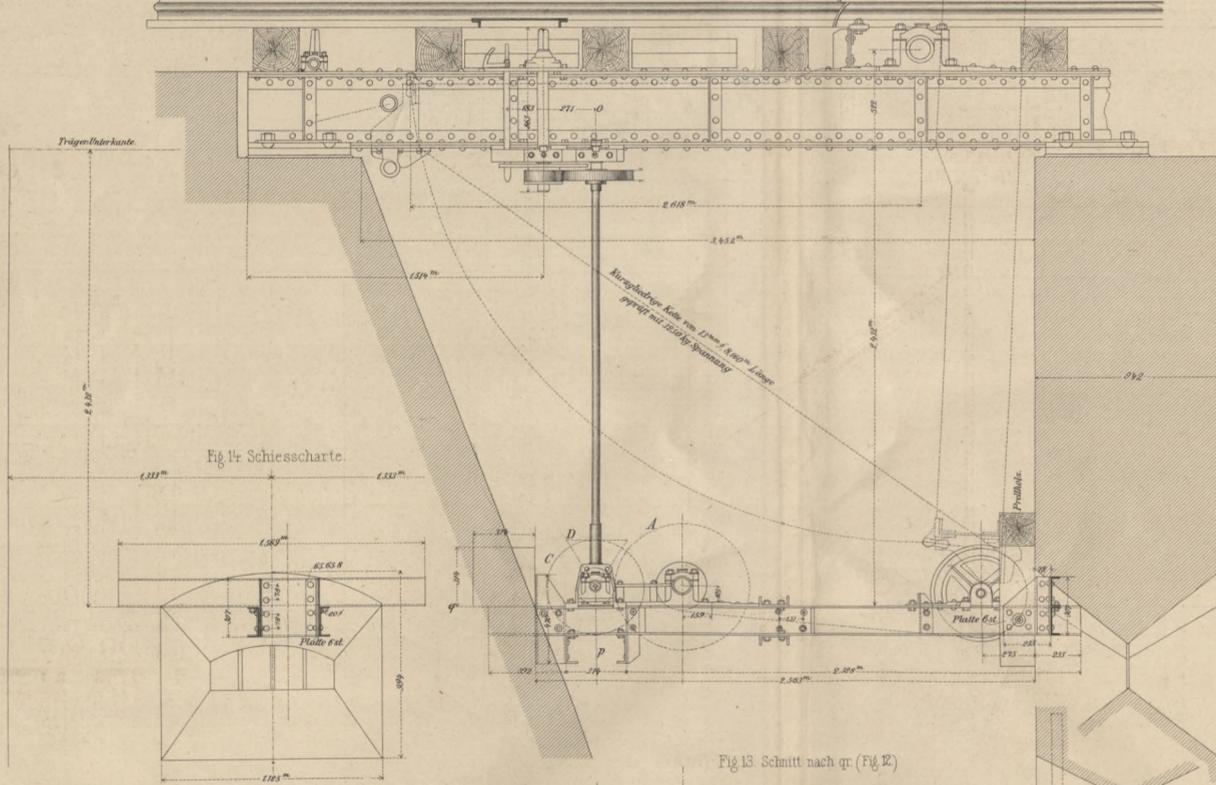


Fig 14 Schiesscharte

Fig 13 Schnitt nach qr (Fig 12)

Sternrad A 39 Thly, 55 Zähne 686 Thlye Dmtr: 78 Zahnbreite.
 B 39 " 12 " 188 " 85 "
 Con. Rad C 33 " 48 " 429 Zahne " 72 "
 D 31 " 30 " 572 " " 72 "
 Sternrad E 26 " 44 " 366 Thlye Dmtr: 59 "
 F 26 " 21 " 175 " " 59 "

Kellertrommel 275 Thlye Dmtr.
 Führungsrolle 471 " "
 Kette kurzgliedrig aus 13 mm dickem Rundeseisen, geprüft mit 3850 kg Spannung.

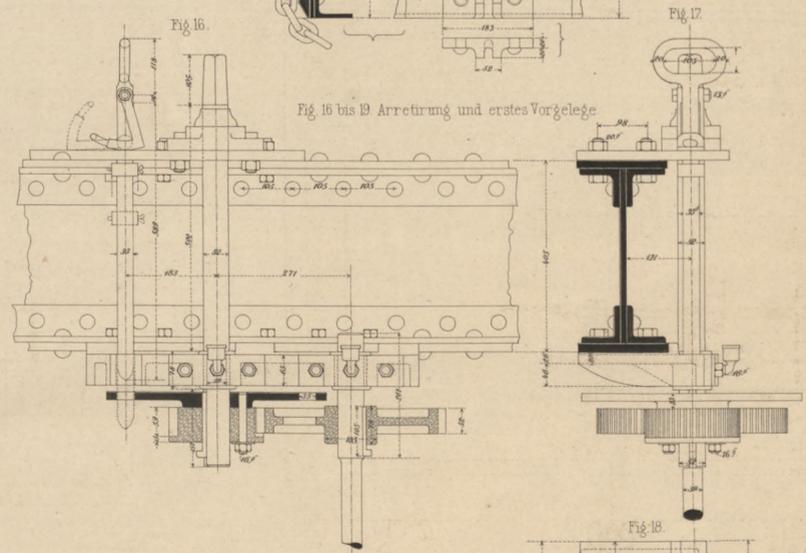


Fig 16 bis 19 Arretirung und erstes Vorgelege

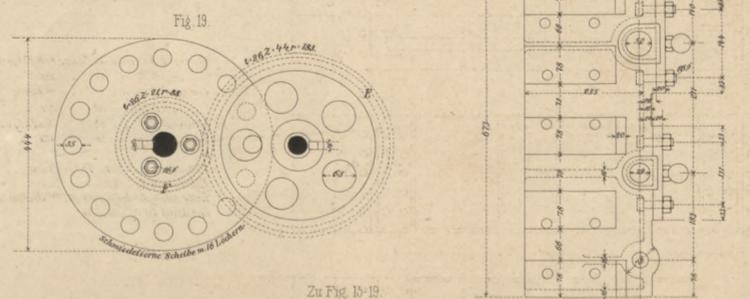


Fig 19

Zu Fig 16-19
M. 1:10



Fig 1-9. Straßens-Drehbrücke über den Chicagofluss in Chicago

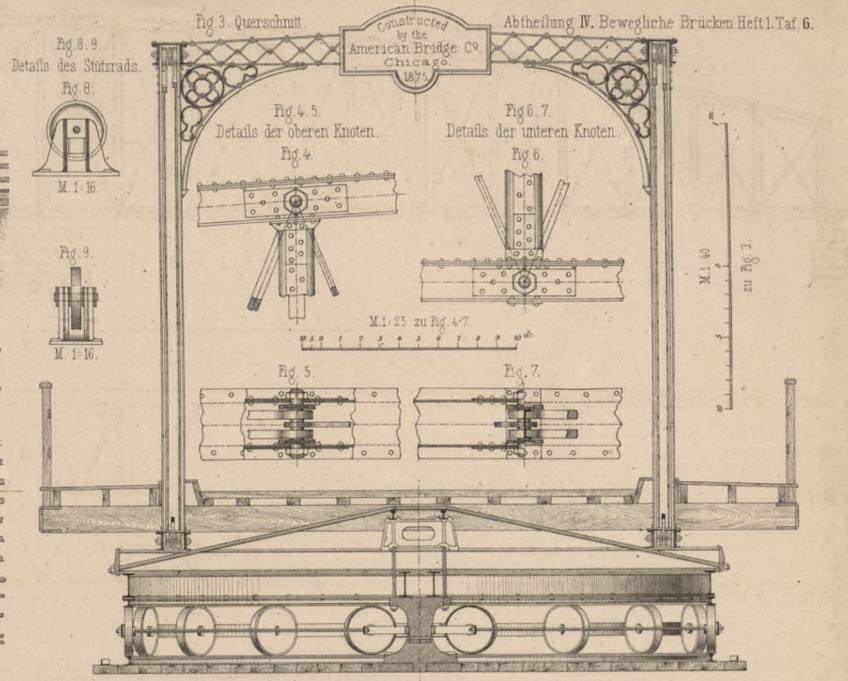
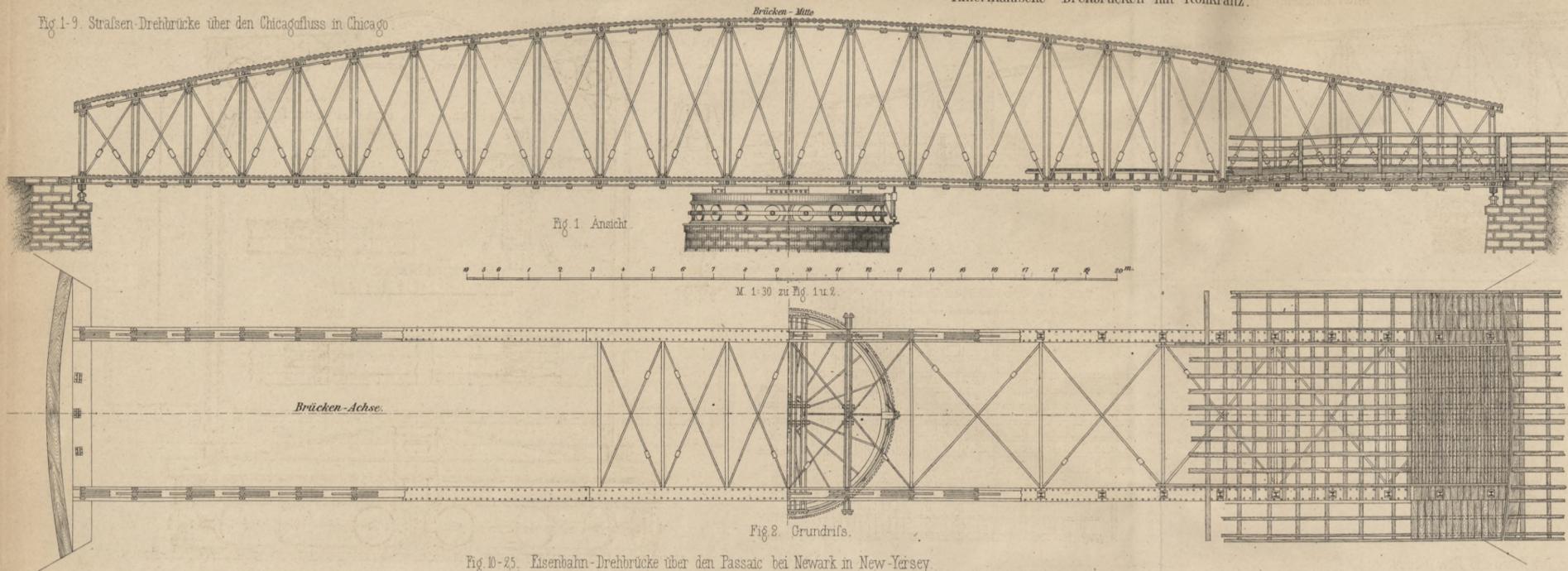
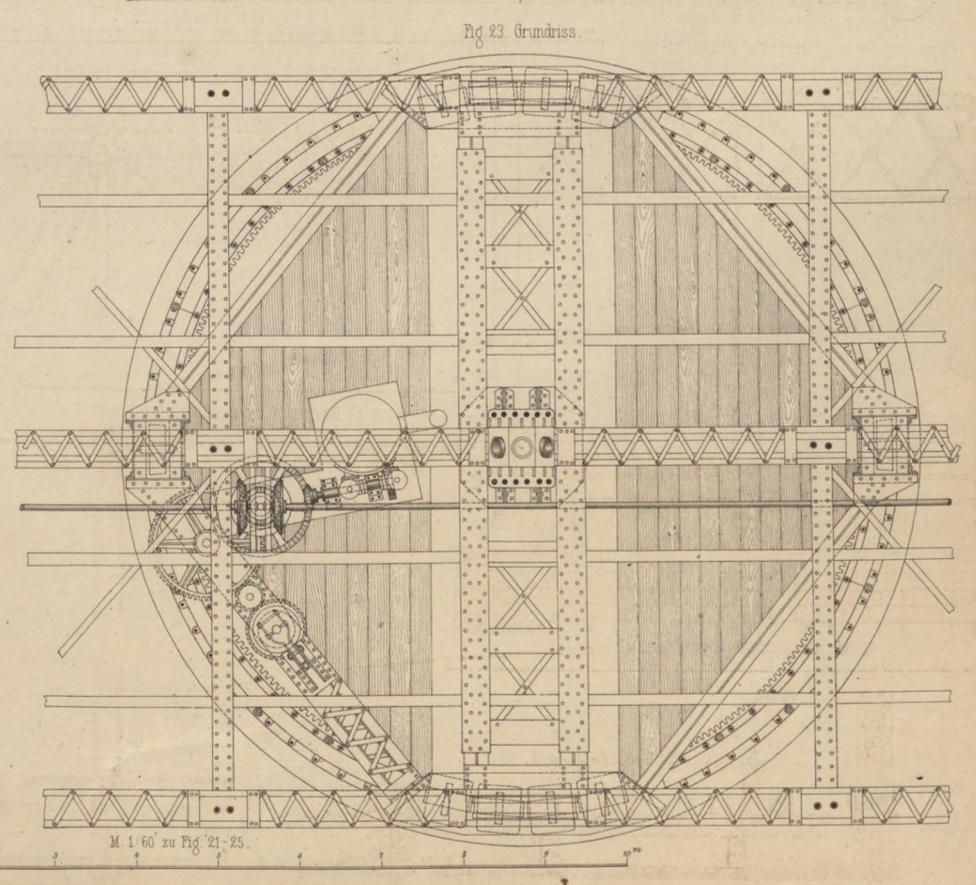
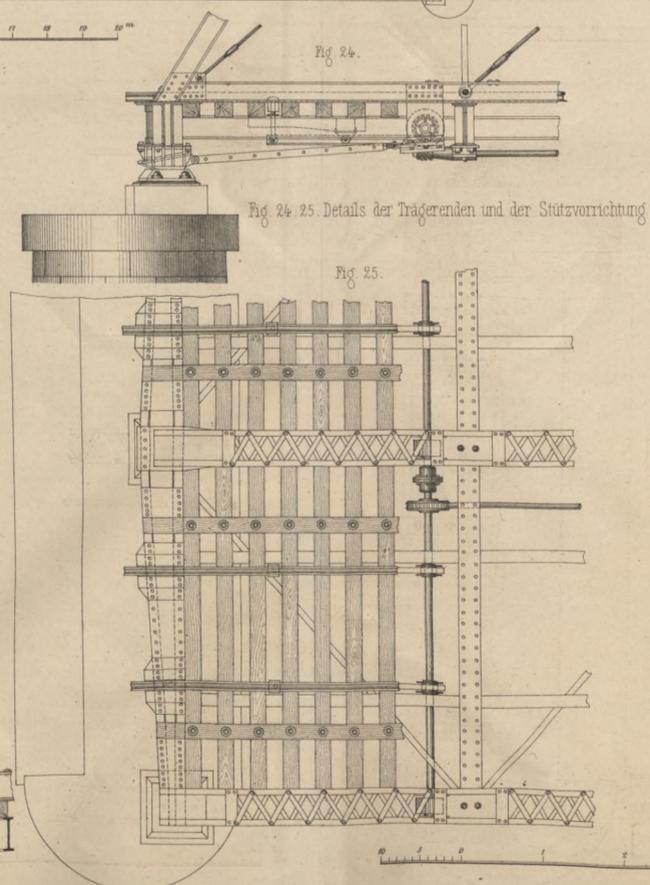
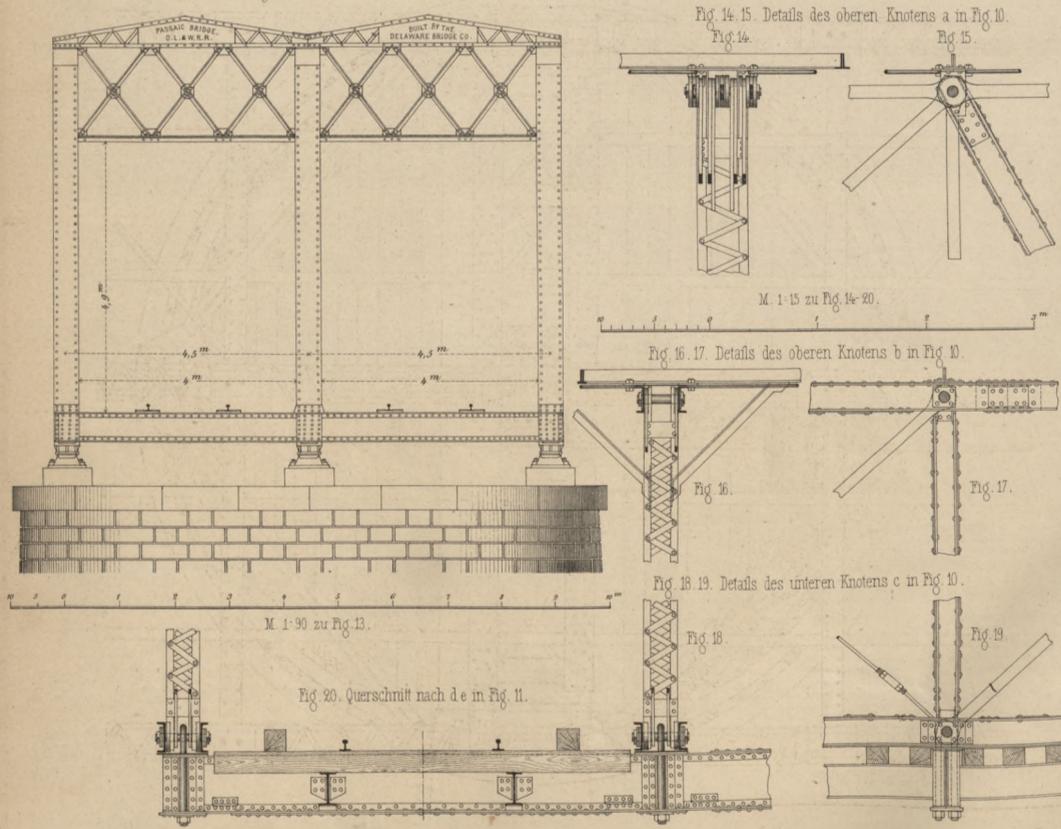
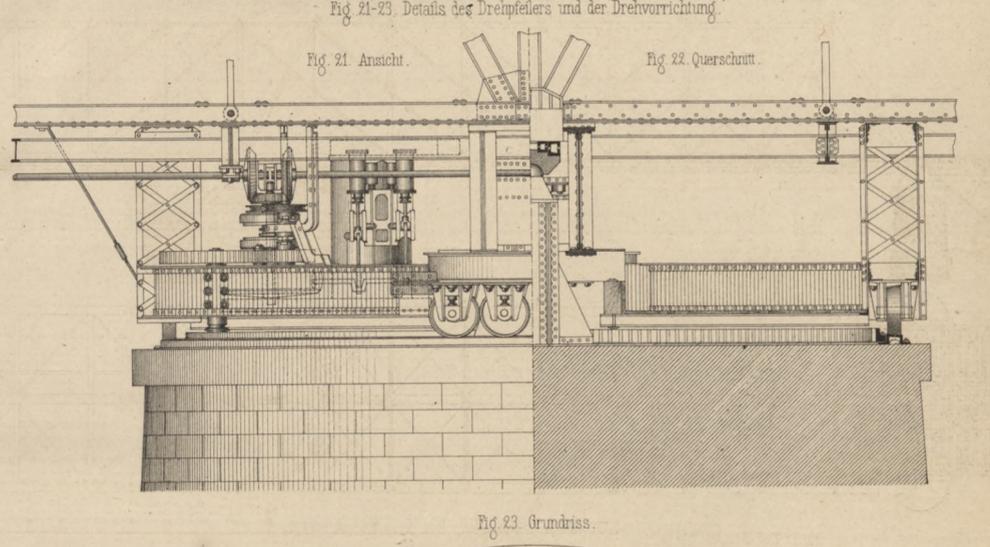
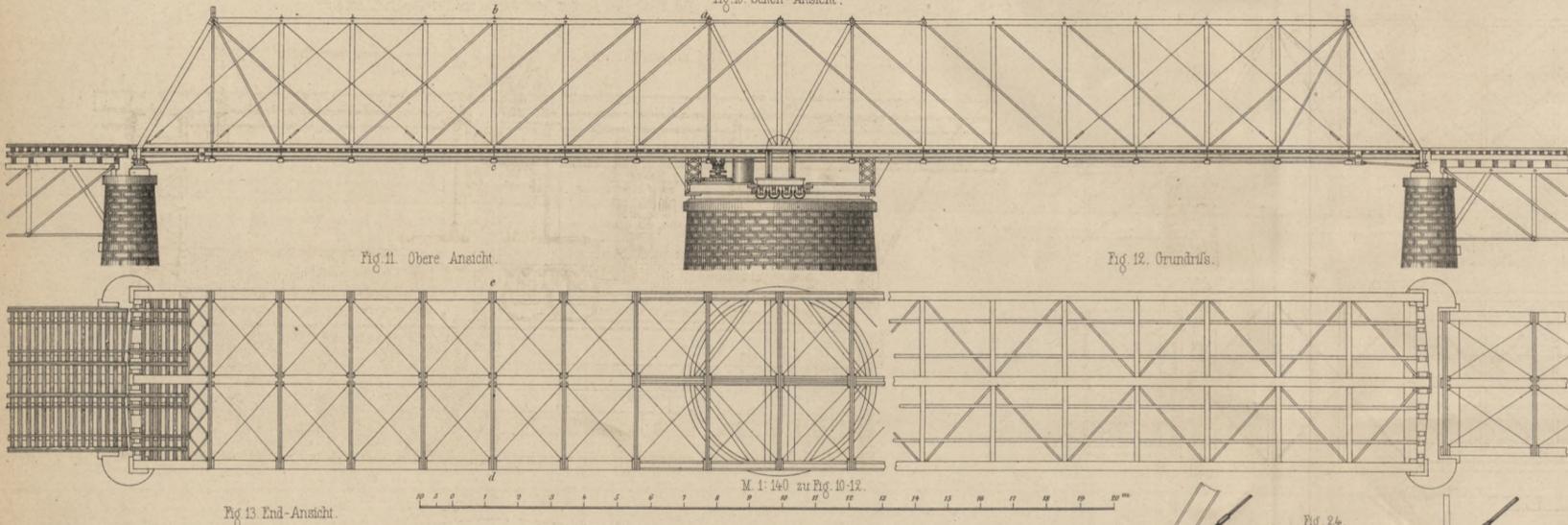


Fig 10-25. Eisenbahn-Drehbrücke über den Passaic bei Newark in New-Yersey





1002 P.

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW
BIBLIOTEKA GŁÓWNA
Biblioteka Politechniki Krakowskiej

IV-301011
Kdn., Czapskich 4 — 678. 1. XII. 52, 10,000

Biblioteka Politechniki Krakowskiej

100000302886