

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA

256

L. inw. ....

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000295873

Der Bau

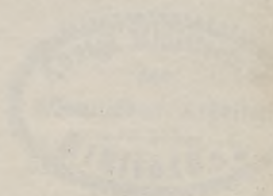
Betonbrücken

mit Gelenken

Kernbau

von

Dr. Ing. v. H. v. H.



Verlag

1917

x

1538



Der Bau

von

# Betonbogenbrücken

mit Gelenken

von

Hermann Dewitz

Diplom-Ingenieur.

Zweite Auflage.

Mit 44 Abbildungen im Text und 3 Tafeln.

3/4  
F. Nr. 27766



Hannover 1908.

Helwingsche Verlagsbuchhandlung.

58

---

Alle Rechte, insbesondere das Übersetzungsrecht,  
vorbehalten.

---

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA  
KRAKÓW

I 256

Akc. Nr. 1567/49

Druck von Th. Schäfer, Hannover.

## Vorwort zur ersten Auflage.

---

Das vorliegende Werk verdankt seine Entstehung der Anregung von verschiedenen Seiten aus dem Kreise meiner Kollegen. Diesen sowohl wie auch mir persönlich machte sich der Mangel eines kleinen Führers und Beraters beim Entwerfen der im letzten Jahrzehnt immer mehr in Aufnahme gekommenen Betonbogenbrücken mit Gelenken recht fühlbar. Es soll daher mein kleines Werk dem studierenden Bauingenieur beim Lösen derartiger Aufgaben, sowie auch jedem anderen in der Praxis tätigen Ingenieur oder Techniker beim Entwerfen derartiger Bauwerke die Grundzüge des Steinbrückenbaues in ihren verschiedenen Beziehungen ins Gedächtnis zurückrufen. Es ist deshalb lediglich Wert auf klare Auseinandersetzung der Formeln wie der gesamten statischen Verhältnisse gelegt. Ferner ist auch die Theorie der Einfluslinien für den Dreigelenkbogen mit ihrer Entstehung eingehend erörtert, und dürfte somit der ganze Inhalt dem sich dafür Interessierenden recht nützlich sein.

Hannover, im Sommer 1905.

**Der Verfasser.**

## Vorwort zur zweiten Auflage.

---

Mit Rücksicht auf die freundliche Aufnahme, welche diesem Buche bei seinem ersten Erscheinen zuteil geworden ist, habe ich bei der zweiten Auflage den Hauptplan der ersten beibehalten, doch habe ich die einfache Behandlung des Stoffes, sowie deren Anschaulichkeit zu verbessern gesucht.

Auf Anregung von Fachleuten und Studierenden hin sind als neue Abschnitte „Die Bogenform“ und „Die Ausführung von Gelenkbrücken in Beton“ hinzugekommen.

Durch diese Inhaltserweiterung wurde eine allgemeinere Fassung des Titels bedingt.

Allen sonstigen in dankenswerter Weise mir erteilten Ratschlägen und Winken habe ich nach Möglichkeit Rechnung zu tragen versucht.

Altona, im Januar 1908.

**Dewitz.**



# Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Erster Abschnitt: Allgemeines.	
1. Massive Bogenbrücken aus Beton . . . . .	9
2. Bogenbrücken mit Gelenken . . . . .	10
3. Form und Stärke der Brückengewölbe. . . . .	10
4. Brückenfahrbahn . . . . .	11
5. Entwässerungsanlagen . . . . .	11
6. Pfeiler und Widerlager . . . . .	12
Zweiter Abschnitt: Betonbogenbrücke mit Gelenken.	
1. Beschreibung und Abmessungen der Brücke . . . . .	13
2. Belastungsannahmen und zulässige Beanspruchungen . . . . .	14
Dritter Abschnitt: Stützlinien und Bogenform.	
1. Eigenschaften und verschiedene Arten der Stützlinie . . . . .	16
2. Konstruktion der Stützlinie . . . . .	17
3. Die Bogenform . . . . .	17
Vierter Abschnitt: Beanspruchungen in den Gewölbefugen.	
1. Ermittlung durch Rechnung. . . . .	19
2. Kernmomente . . . . .	22
3. Zeichnerische Ermittlung der Beanspruchungen . . . . .	23
4. Ermittlung der Beanspruchungen mit Hilfe des Trägheits- halbmessers . . . . .	24
Fünfter Abschnitt: Rechnerische Untersuchung einer Fuge.	
1. Eigengewicht . . . . .	26
2. Volle Belastung . . . . .	28
3. Einseitige Belastung . . . . .	28

Sechster Abschnitt: Einflußlinien.	Seite
1. Horizontalschub:	
a) Aufstellung der allgemeinen Gleichungen. . . . .	32
b) Ermittlung des Horizontalschubes für Eigengewicht und für einseitige Belastung . . . . .	34
2. Querkraft:	
a) Aufstellung der allgemeinen Gleichungen. . . . .	36
b) Rechnung der Auflagerdrücke für Eigengewicht und einseitige Belastung . . . . .	37
c) Rechnung der Querkräfte in den einzelnen Fugen mit Beispiel . . . . .	39
3. Konstruktion der Einflußlinie für die Biegemomente .	40
4. Beweis für die Richtigkeit der Konstruktion . . . . .	44
Siebenter Abschnitt: Ermittlung der Beanspruchungen in den einzelnen Fugen mit Hilfe der Kern- momente.	
1. Aufstellung der allgemeinen Gleichungen . . . . .	46
2. Kernmomente in bezug auf den oberen bzw. unteren Kernrand . . . . .	47
3. Maximal- und Minimalbeanspruchungen in $u$ . . . . .	49
4. Maximal- und Minimalbeanspruchungen in $o$ . . . . .	49
5. Rechnung der Beanspruchungen einer Fuge mittelst der Kernmomente . . . . .	50
Achter Abschnitt: Statische Untersuchung der Mittelpfeiler.	
1. Die wirkenden Kräfte . . . . .	54
2. Rechnung der Beanspruchungen in den Fugen . . . . .	57
Neunter Abschnitt: Statische Untersuchung der Widerlager.	
1. Die wirkenden Kräfte . . . . .	63
2. Erddruck . . . . .	64
3. Rechnung der Erddrücke für die Fugen 1 und 2 . . . . .	67
4. Beanspruchungen der Fugen . . . . .	68
Zehnter Abschnitt: Berechnung der Gelenke.	
1. Aufstellung der allgemeinen Gleichungen . . . . .	70
2. Berechnung des Gelenkes im Scheitel . . . . .	73
3. Berechnung der Gelenke an den Kämpfern . . . . .	75

Elfter Abschnitt: Das Lehrgerüst.	Seite
1. Allgemeines . . . . .	77
2. Berechnung der Druckhöhen . . . . .	79
3. Graphische Ermittlung der Belastungsfläche . . . . .	80
4. Spannkkräfte der einzelnen Teile und ihre Berechnung . . . . .	81
5. Das Lehrgerüst und seine Verbindungen . . . . .	83
Zwölfter Abschnitt: Ausführung von Beton-	
bogenbrücken mit Granitgelenken.	
1. Eigenschaften und Herstellung des Betons . . . . .	85
2. Beschreibung der Ausführung . . . . .	86

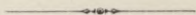
---

## Schlagwortverzeichnis.

---

	Seite
Abmessungen . . . . .	13
Ausführung . . . . .	85, 86
Beanspruchungen . . . . .	14, 19, 23, 24
Belastung, einseitige . . . . .	28
„ volle . . . . .	28
Belastungsannahmen . . . . .	14
Belastungsfläche . . . . .	80
Beton . . . . .	85
Bogenbrücken mit Gelenken . . . . .	10
„ , massive . . . . .	9
Bogenform . . . . .	17
Brückenfahrbahn . . . . .	11
Brückengewölbe . . . . .	10
Druckhöhen . . . . .	78
Eigengewicht . . . . .	26
Einflusslinien . . . . .	32, 36, 40, 44
Einseitige Belastung . . . . .	28
Entwässerungsanlagen . . . . .	11
Erddruck . . . . .	64

	Seite
Gelenke . . . . .	70, 73
Gewölbebeanspruchung . . . . .	19
Gewölbeform . . . . .	10
Gewölbestärke . . . . .	10
Horizontalschub . . . . .	27, 29, 32
Kämpfergelenke . . . . .	75
Kernmomente . . . . .	22, 47, 50
Lehrgerüst . . . . .	77, 80, 82, 83
Massive Bogenbrücken . . . . .	9
Mittelpfeiler . . . . .	12, 54, 57
Nullachse . . . . .	24, 58, 60
Pfeiler . . . . .	12, 54, 57
Querkräfte . . . . .	27, 30, 36
Rechnerische Untersuchung . . . . .	26
Scheitelgelenk . . . . .	73
Stützlinien . . . . .	16, 17
Trägheitsellipse . . . . .	60
Trägheitshalbmesser . . . . .	24
Volle Belastung . . . . .	28
Widerlager . . . . .	12, 63



## Erster Abschnitt.

### Allgemeines.

---

#### 1. Massive Bogenbrücken aus Beton.

Die Vorliebe für massive Brücken hat sich im letzten Jahrzehnt wieder geltend gemacht. Eine verhältnismäßig bedeutende Anzahl solcher Bauwerke mit teilweise sehr großen Spannweiten ist entstanden.

Die Anwendung von Beton als Material zur Herstellung massiver Brücken findet von Jahr zu Jahr mehr Verbreitung. Die Gründe, welche dafür sprechen, sind zunächst in der Vervollkommnung der Herstellung des Portlandzementes zu suchen. Außerdem sind Betonbrücken im allgemeinen billiger und entschieden rascher herzustellen als die mit anderem Material gewölbten Brücken.

Diesen bedeutenden Vorzügen schliesen sich noch die in den letzten Jahren gemachten Errungenschaften des Betonbrückenbaues an. Die chemischen sowie physikalischen Eigenschaften des Betons sind durch zahlreiche Versuche eingehend studiert und genau erkannt. Durch Anwendung von Betonmischmaschinen, sowie durch sehr feines Mahlen des Zementes werden äußerst feste und gleichmäßige Mischungen erzielt.

Ein in dieser Weise ausgeführtes Betongewölbe ohne Gelenke kann, wie durch Versuche nachgewiesen, als vollkommen elastisch angesehen werden, und seine Querschnitts-abmessungen lassen sich daher genügend sicher mit Hilfe der Elastizitätstheorie berechnen.

## 2. Bogenbrücken mit Gelenken.

Durch verschiedene Ursachen, wie elastisches Zusammendrücken des Gewölbemauerwerks entweder infolge Aufnahme und Abgabe von Feuchtigkeit oder durch Wärmeänderungen, ferner Ausweichen der Widerlager usw., sowie besonders bei der Ausrüstung des Bogens kann die Stützlinie unter Umständen bedeutend aus der Fugenmitte heraustreten.

Um dies zu vermeiden, wurden zuerst von Köpcke-Dresden im Jahre 1880 bei den Königlich Sächsischen Staatseisenbahnen Gelenke praktisch eingeführt.

Die Gelenke können aus Stein, Eisen und Blei hergestellt werden. Eisen- und Bleigelenke verursachen gröfsere Kosten als Steingelenke. Ausserdem wird die Unterbrechung eines massiven Bogens durch eiserne Teile dem ästhetischen Empfinden widersprechen.

Diese angeführten Gründe, sowie gute Versuchsergebnisse werden den Erbauer von massiven Bogenbrücken vielfach dazu veranlassen, die Gelenke aus Stein herzustellen. Wegen der hohen Pressungen an den Gelenkpunkten wird vorzugsweise Granit verwendet.

Als Gewähr dafür, dafs die Gelenke auch in Wirklichkeit den Bewegungen des Bogens folgen, werden zwischen den polierten Gelenkflächen in neuerer Zeit dünne Bleieinlagen angeordnet. Diese sollen gewissermassen als dauerndes Schmiermittel dienen.

## 3. Form und Stärke der Brückengewölbe.

Die Form einer gewölbten Bogenbrücke und die Stärke des Brückengewölbes stehen im direkten Zusammenhange miteinander. Beide müssen den Belastungen des Bogens in richtiger Weise entsprechen.

Es wird vielfach die Ansicht vertreten, als Gewölbeform aus ästhetischen Rücksichten einen Halbkreis oder eine halbe Ellipse von vornherein festzulegen. Dies kann wohl mit Recht als ein Vorurteil bezeichnet werden. Selbstverständlich muß das äußere Aussehen eines Bauwerkes stets berücksichtigt werden. Am zweckmäßigsten wird jedoch eine Bogenform gewählt, die den Belastungen und sonstigen Bedingungen der Aufgabe entspricht. Nachher könnte versucht werden, ob sich die Form des Bogens durch Abänderungen tatsächlich vorteilhafter gestaltet.

Die allgemein übliche Bogenform, welche auch bei vorliegender Brücke gewählt wurde, ist der Korbbogen, eine aus mehreren Kreisbögen zusammengesetzte, regelmäßig verlaufende krumme Linie.

Für die Stärke des Gewölbes ist außer der Pressung des Gewölbemauerwerkes noch die Ausweichung der Stützlinie von der Mittellinie des Bogens bei einseitiger Verkehrsbelastung maßgebend.

#### **4. Brückenfahrbahn.**

Bei Eisenbahnbrücken wird auf der Fahrbahn im allgemeinen derselbe Oberbau verlegt, wie auf der freien Strecke. Das Bettungsmaterial besteht dann meistens aus Kies oder Steinschlag und ist wasserdurchlässig. An jeder Seite der Brücke werden schmale Fußwege angeordnet, die zugleich als Einfassung des Schwellenbettes dienen. In nicht zu großen Abständen erhalten die Fußwege noch erkerartige Auskragungen.

#### **5. Entwässerungsanlagen.**

Die Entwässerungsanlagen bei Betonbrücken bewirken entweder einen direkten Abfluß des Wassers von der Brückenfahrbahn, oder sie sollen das durch dieselbe ein-

gedrungene Sickerwasser ableiten. Eine rasche Abführung des Wassers und zwar auf dem einfachsten und sichersten Wege ist zweckmässig.

Die Ableitung des Wassers im Scheitel des Gewölbes hat den Vorzug, dass sie nahe der Oberfläche liegt und bei Verstopfung durch Schmutz oder Eis einfach durchgestossen wird. Jedoch ist hierbei der grosse Übelstand vorhanden, dass bei Benutzung der Brückenöffnung als Durchfahrt der Abfluss des Wassers in der Mitte der Brücke sehr störend und unangenehm ist.

Häufig wird die Pfeilerentwässerung ausgeführt. Die Gefahr des Einfrierens ist bei dieser Anlage nicht so gross, wie bei den anderen Arten der Wasserableitung, aber die Anlage gestaltet sich sehr kostspielig.

Die zweckmässigste Entwässerung ist demnach wohl die durch die Schenkel des Gewölbes und zwar über den Mittelpfeilern in doppelter Ausführung, d. h. daselbst für jeden Gewölbeschenkel eine eigene Entwässerung.

Diese letztbeschriebene Art der Wasserabführung ist auch bei vorliegender Brücke angewendet worden.

## 6. Pfeiler und Widerlager.

Die Mittelpfeiler und Endpfeiler oder Widerlager haben den Druck der Gewölbe aus Eigenlast und Verkehrslast, und ausserdem den Winddruck der Brücke einschliesslich Verkehrsband aufzunehmen. Bei Strombrücken müssen sie auch noch dem Stosse der Eismassen widerstehen. Diese Stützpunkte des Bauwerks müssen daher stark genug bemessen sein und auf ihre Standsicherheit unter Beachtung der zulässigen Pressung im Mauerwerk und des zulässigen Bodendruckes an der Fundamentsohle untersucht werden.

---



## Zweiter Abschnitt.

**Betonbogenbrücke mit Gelenken.****1. Beschreibung und Abmessungen der Brücke.**

Für eine eingleisige Hauptbahn, welche über einen Fluß führt, soll eine Brücke von 100 m Länge und 20 m Höhe, über N.-W. gemessen, aus Stampfbeton hergestellt werden. Die Brücke erhält drei Öffnungen mit je 28 m Lichtweite. Die Gewölbe sind an den Kämpfern und im Scheitel mit Gelenken aus Granit versehen. Aus Abb. 1 ist die Form der Brücke ersichtlich.

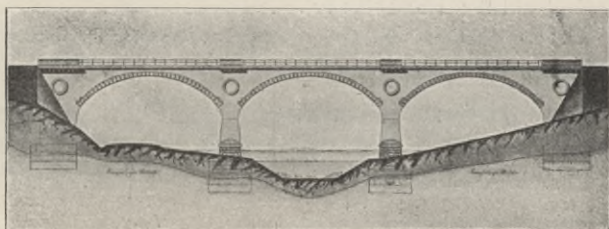


Abb. 1.

Durch die Einfügung der Gelenke entsteht eine erhebliche Vereinfachung in der Berechnung dadurch, daß die statische Unbestimmtheit des Gewölbebogens beseitigt wird, und somit die Elastizitätstheorie keine Anwendung findet.

Die Abmessungen der Brücke sind folgende:

Lichtweite einer Öffnung . . . . .  $l_0 = 28,00 \text{ m}$ .

Stützweite einer Öffnung zwischen den Kämpfergelenken . . . . .	$l = 26,50 \text{ m}.$
Pfeilhöhe des Bogens zwischen den Gelenken gemessen . . . . .	$f = 5,70 \text{ m}.$
Pfeilverhältnis . . . . .	$= \text{rd. } \frac{1}{5}.$
Gewölbestärke im Scheitel . . . . .	$d_0 = 0,70 \text{ m}.$
Gewölbestärke an den Kämpfern . . . . .	$d_1 = 0,80 \text{ m}.$
Stärke der Bruchfugen des Gewölbes . . . . .	$d_2 = 1,00 \text{ m}.$
Nutzbare Breite der Brücke . . . . .	$T = 4,50 \text{ m}.$

## 2. Belastungsannahmen und zulässige Beanspruchungen.

Für die Berechnung der Brücke sind folgende Annahmen zugrunde gelegt:

1 <sup>cbm</sup> Beton . . . . . = 2300 kg.

1 <sup>cbm</sup> Kiesbettung . . . . . = 1600 kg.

Als Lokomotivbelastung werden  $3 \cdot 14 = 42 \text{ t}$  angenommen. Die einzelnen Abmessungen sind aus Abb. 2 ersichtlich.

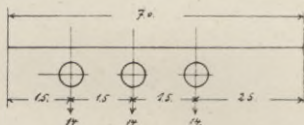


Abb. 2.

Für die zeichnerische Behandlung der Stützlinie ist es am zweckmäßigsten, die verschiedenen Belastungshöhen auf eine einheitliche, und zwar auf die des Betons zu reduzieren. Demnach beträgt die Belastungshöhe der Kiesbettung von 0,80 m Stärke:

$$0,80 \cdot \frac{1600}{2300} = 0,56 \text{ m}.$$

Für die Gewölbeuntersuchung wird die Last einer Lokomotive zweckmäßig als gleichmäßig verteilt ange-

nommen und zwar auf eine Länge von 6,0 m und eine Tiefe von 4,1 m (Abb. 3).

Dabei ist beachtet, daß sich der Druck im Beton unter einem Winkel von etwa 60° bis auf die Oberkante des Gewölbes verteilt. Demnach ergibt sich als gleichmäßig verteilte Belastung:

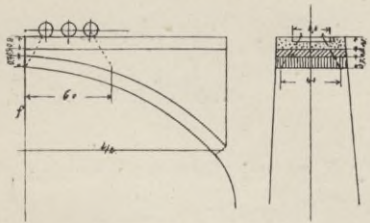


Abb. 3.

$$\frac{3 \cdot 14\,000}{6,0} = 7\,000 \text{ kg}$$

für das lfd. m und die ganze Tiefe von 4,1 m.

Auf 1,0 m Tiefe ist:

$$q_0 = \frac{7\,000}{4,1} = \approx 1\,700 \text{ kg.}$$

Auf Beton reduziert wird die Belastungshöhe:

$$q = \frac{1\,700}{2\,300} = 0,74 \text{ m.}$$

Die Abmessungen der Brücke sind so gewählt, daß die größten Druckbeanspruchungen des Betons in allen Querschnitten der Gewölbe 28 kg/cm<sup>2</sup> und in den Querschnitten der Pfeiler und Widerlager 18 kg/cm<sup>2</sup> nicht überschreiten.

Geringe Zugbeanspruchungen im Gewölbe werden zugelassen.

Der größte Bodendruck beträgt bei gutem, tragfähigem Boden 5 kg/cm<sup>2</sup>.

## Dritter Abschnitt.

**Stützlinien und Bogenform.****1. Eigenschaften und verschiedene Arten der Stützlinie.**

Unter der Stützlinie sei eine materiell gedachte Linie verstanden, welche unter der Einwirkung der äußeren Kräfte (Belastungen) nur auf Druck in ihrer Längsrichtung beansprucht wird, also ohne Biegungsspannungen zu erleiden.

Gerstner, welcher im Jahre 1831 die Theorie der Stützlinie aufstellte, begründete dieselbe auf die Annahme, daß das Gleichgewicht bei einem Gewölbe sich ebenso herstellen läßt, nur in umgekehrter Lage, wie bei einer an beiden Seiten aufgehängten Kette mit der gleichen Belastung.

Wenn hiernach die äußeren Kräfte bei einer Stützlinie eine entgegengesetzte Richtung annehmen, so geht dieselbe in die Kettenlinie über. Die auf Druck beanspruchte Stützlinie entspricht dann der auf Zug beanspruchten Kettenlinie.

Von der oben beschriebenen Stützlinie ist die Drucklinie oder Mittellinie des Druckes zu unterscheiden, d. h. die Verbindungslinie der Durchstoßpunkte (Druckmittelpunkte) der Mittelkraftslinien mit den einzelnen Normalfugen des Gewölbes (Schnitte senkrecht zur Gewölbeachse).

Bei Gewölben aus Stampfbeton, Bruchsteinen oder Ziegelsteinen wird die einfachere Konstruktion der Stützlinie der Drucklinie vorgezogen.

Die drei Arten von Stützlinien, für Eigengewicht, für volle Belastung und für einseitige Belastung, werden in den Gewölbebogen eingezeichnet.

## 2. Konstruktion der Stützlinie.

Bei Gelenkbogenbrücken wird für jede Belastung die Stützlinie so konstruiert, daß sie durch die drei Gelenkpunkte an den Kämpfern und im Scheitel geht. Sie ist dann ihrem ganzen Verlaufe nach bestimmt.

Für die Konstruktion der Stützlinie für irgend eine Belastung wird das gesamte Gewölbe in lotrechte Streifen von etwa 1,0 m Breite eingeteilt (Abb. 4). Diese Lamellen werden als Einzellasten wirkend angenommen. Zu dem gezeichneten Krafteck mit vorläufig beliebigem Pol wird die Lage der Mittelkraft einer Gewölbehälfte ermittelt. Durch die gegebene Richtung des Horizontalschubes und der gefundenen Mittelkraft läßt sich durch ein Krafteck Richtung und Größe des Kämpferdruckes finden.



Abb. 4.

Nachdem mit Hilfe der so ermittelten Kämpferdrucklinien bei dem Krafteck der richtige Pol für die betreffende Belastungsart gefunden ist, läßt sich die Stützlinie (das Seileck) in den Gewölbebogen einzeichnen (Tafel I).

## 3. Die Bogenform.

Das Gewölbe wird derart konstruiert, daß die Stützlinie für Eigenlast mit der Mittellinie des Bogens zusammenfällt, und daß diejenige für einseitige Belastung innerhalb des Kernes bleibt, um Zugbeanspruchungen möglichst zu vermeiden.

Für die Entwurfsbearbeitung ist es angenehm, eine geeignete Versuchsform von vornherein zu finden, wobei dann nur noch geringe Abänderungen erforderlich sind.

Mit der Veränderung der Form des Bogens ändert sich aber auch das Eigengewicht. Die zweckmäßigste Bogenform läßt sich daher im allgemeinen nur auf dem Wege wiederholter Versuche auffinden, wobei Rechnung und zeichnerische Ermittlung zweckmäßig miteinander verbunden werden.

Dieses sogenannte Versuchsverfahren erfordert indessen schon die Zugrundelegung einer Bogenform. Hierfür wird am zweckmäßigsten ein Kreisbogen gewählt, der durch die drei Gelenkpunkte an den Kämpfern und im Scheitel gehen muß. Hierauf wird die Stützlinie für Eigengewicht eingezeichnet, welche zugleich als Mittellinie der neuen Bogenform zunächst angenommen wird. Für diese neue Bogenform wird nun eine neue Stützlinie für das veränderte Eigengewicht eingezeichnet und dieses Versuchsverfahren muß so oft wiederholt werden, bis die Stützlinie für Eigenlast mit der Mittellinie der durch diese Versuche ermittelten Bogenform hinreichend genau übereinstimmt.

Bei Einzeichnung der Stützlinie für volle Belastung muß berücksichtigt werden, daß die Gewölbbestärken im Scheitel und an den Kämpfern ausreichend sind, damit die zulässige Beanspruchung nicht überschritten wird.

Die Stützlinie für einseitige Belastung muß, wie bereits erwähnt, innerhalb des Kernes verbleiben, damit möglichst keine Zugbeanspruchungen auftreten. An der Stelle, wo die größte Abweichung von der Mittellinie des Bogens auftritt, befindet sich die sogenannte Bruchfuge. Diese muß gleichfalls stark genug bemessen sein, damit die größten zulässigen Beanspruchungen unter Berücksichtigung der Exzentrizität innerhalb der zulässigen Grenzen bleiben.

---

Vierter Abschnitt.

## Beanspruchungen in den Gewölbefugen.

### 1. Ermittlung durch Rechnung.

Nachdem die Form und die Stärke des Gewölbes den verschiedenen Stützlinsen in entsprechender Weise angepaßt sind, werden die bezüglichlichen Beanspruchungen in den einzelnen Fugen des nun endgültigen Gewölbes mit den darin eingezeichneten Stützlinsen ermittelt.

Die gefundenen Werte sind aus den sogenannten Spannungsdiagrammen ersichtlich (Tafel I).

Für eine bestimmte Fuge werden die Maximal- und Minimalbeanspruchungen mit  $S_o$  bzw.  $S_u$  bezeichnet. (Abb. 5.)

Die Resultierende  $R$  einer Fuge läßt sich aus dem entsprechenden Krafteck als Parallele zu der bezüglichlichen Seilecklinie nach Größe und Richtung entnehmen. Durch Zerlegung in die Normal- und Tangentialkraft lassen sich die Werte von  $N_x$  bzw.  $T_x$  ermitteln. (Abb. 6.) Aufser der Normalkraft  $N_x$  sind noch der Abstand derselben von der Mittellinie des Gewölbes, mit  $\varepsilon$  bezeichnet, sowie auch der Querschnitt der Fuge maßgebend.

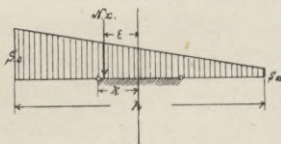


Abb. 5.

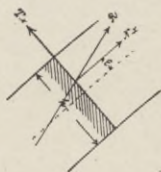


Abb. 6.

Die gleichmäßig verteilte Beanspruchung sei  $S_1$ ; die Zusatzspannung aus dem Biegemoment  $N_x \cdot \varepsilon$  infolge Ausweichens der Stützlinie von der Mittellinie der Fuge soll mit  $S_2$  bezeichnet werden. Diese wird entsprechend an den äußersten Kanten der Fuge zu der gleichmäßig verteilten Beanspruchung hinzuaddiert bzw. von derselben subtrahiert. Die größte Beanspruchung tritt an der Seite der Fuge auf, welche der Normalkraft  $N_x$  am nächsten liegt.

Unter Benutzung von Abb. 5 und Abb. 6 ist:

$$S_1 = \frac{N_x}{F'} \quad 1)$$

$$S_2 = \frac{M_x}{W}. \quad 2)$$

$$M_x = N_x \cdot \varepsilon \quad (\text{Abb. 6})$$

$$W = \frac{d h^2}{6} \quad (\text{Abb. 7}).$$

Hierbei gibt  $h$  die Stärke der Gewölbefuge und  $d$  die Tiefe derselben an. Letztere ist durchgehend zu 1,0<sup>m</sup> angenommen.

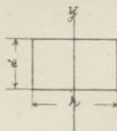


Abb. 7.

Durch Zusammenziehung der Gleichungen 1 und 2 ergibt sich:

$$S_{ou} = S_1 \pm S_2$$

$$S_{ou} = \frac{N_x}{F'} \pm \frac{M_x}{W}. \quad 3)$$

Durch weitere Umformung wird:

$$S_{ou} = \frac{N_x}{F'} \pm \frac{N_x \cdot \varepsilon \cdot 6}{d \cdot h^2}$$

$$S_{ou} = \frac{N_x}{F'} \pm \left( 1 \pm \frac{6 \cdot \varepsilon}{h} \right)$$

$$S_{ou} = \frac{N_x}{F'} \left( \frac{h/6 \pm \varepsilon}{h/6} \right).$$



Da nun  $h/6 = k =$  halbe Kernweite, ist:

$$S_o = \frac{N_x}{F'} \left( \frac{k \pm \varepsilon}{k} \right). \quad (4)$$

Die mit Hülfe von Gleichung 4 ausgerechneten Werte für  $S_o$  bzw.  $S_u$  werden an jeder Seite der Fuge entsprechend aufgetragen und die Endpunkte miteinander verbunden (Abb. 5).

Bei der Spannungsverteilung können drei Fälle unterschieden werden. Die Nullachse, d. h. die Grenze, an der die Beanspruchung  $= 0$  ist, liegt dann entsprechend außerhalb des Querschnittes oder in der Kante desselben oder aber im Querschnitt der Fuge.

Bei ersterer Lage der Nulllinie ist  $S_1 > S_2$ , es treten also nur Druckbeanspruchungen auf, und die Normalkraft  $N_x$  liegt innerhalb der Kernweite (Abb. 8).

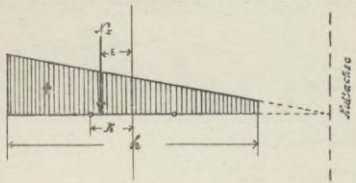


Abb. 8.

Ist  $S_1 = S_2$ , so treten zwar auch nur Druckbeanspruchungen auf, aber auf der einen Seite des Querschnittes ist die Beanspruchung  $= 0$ .  $N_x$  fällt in die entgegengesetzte Kerngrenze, und die Nullachse geht durch die Kante des Querschnittes (Abb. 9).

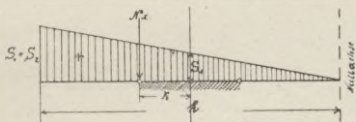


Abb. 9.

Bei dem dritten Fall ist  $S_2 > S_1$ .  $N_x$  liegt dann außerhalb der Kerngrenze und die Nullachse innerhalb des Querschnittes.

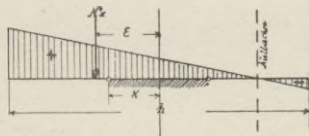


Abb. 10.

Hierbei treten auch Zugbeanspruchungen auf. (Abb. 10.)

## 2. Kernmomente.

Die halbe Kernweite ist mit  $k$  bezeichnet. Aus Gleichung 3 ergibt sich:

$$S_o = \frac{N_x}{F} \pm \frac{N_x \cdot \varepsilon}{F \cdot k};$$

Denn:

$$W = \frac{d h^2}{6} = F \cdot \frac{h}{6} = F \cdot k.$$

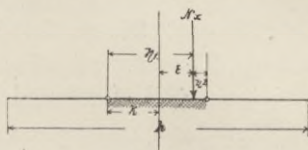


Abb. 11.

Obige Formel noch etwas vereinfacht gibt:

$$S_o = \frac{N_x (k + \varepsilon)}{F \cdot k}. \quad 5)$$

Unter Benutzung der Abb. 11 ist:

$$k + \varepsilon = \eta_1$$

$$k - \varepsilon = \eta_2.$$

Mithin ist die Maximalbeanspruchung:

$$S_o = \frac{N_x \cdot \eta_1}{F \cdot k}. \quad 6)$$

Die Minimalbeanspruchung:

$$S_u = \frac{N_x \cdot \eta_2}{F \cdot k}. \quad 7)$$

$N_x \cdot \eta_1$  ist das Kernmoment für die größte Beanspruchung  $S_o$ .

$N_x \cdot \eta_2$  ist das Kernmoment für die kleinste Beanspruchung  $S_u$ .

Wird in den Gleichungen 6 und 7  $\frac{N_x}{F} = S_1$  gesetzt, so ist:

$$S_o = S_1 \cdot \frac{\eta_1}{k} \quad 8)$$

$$S_u = S_1 \cdot \frac{\eta_2}{k}. \quad 9)$$

Es verhält sich demnach:

$$S_o : S_1 = \eta_1 : k$$

und

$$S_u : S_1 = \eta_2 : k.$$

Oder es verhält sich:

$$S_o : S_u = \eta_1 : \eta_2. \quad (10)$$

### 3. Zeichnerische Ermittlung der Beanspruchungen.

Die Stärke der Fuge soll mit  $h$  bezeichnet werden. Von der Mitte aus wird nach beiden Seiten die halbe Kernweite  $k$  abgetragen, wodurch der Kern des Querschnittes, sowie die beiden Kernpunkte gegeben sind. Nachdem die Lage und Gröfse der Normalkraft  $N_x$  mit ihrem zugehörigen Abstände  $\varepsilon$  aus der Gewölbezeichnung ermittelt in die Spannungsfigur eingezeichnet sind, wird auf der Mittellinie der Fuge der Wert  $S_1 = \frac{N_x}{F}$  abgetragen und der Endpunkt derselben mit den beiden Kernpunkten verbunden. Die eine Verbindungslinie wird bis zum Schnitt mit  $N_x$  verlängert. Somit wird die Normalkraft in zwei Punkten von diesen Verbindungslinien getroffen. Es werden darauf durch diese Schnittpunkte Parallelen zur Grundlinie gezogen und dadurch an den Kanten des Querschnittes entsprechend  $S_o$  und  $S_u$  erhalten. Die beiden Endpunkte dieser Werte werden miteinander verbunden, und die Verbindungslinie muß durch den Endpunkt von  $S_1$  gehen (Abb. 12).

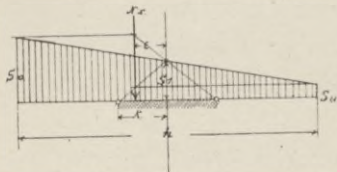


Abb. 12.

Der Beweis für die Richtigkeit der Konstruktion ist bereits durch die Gleichungen 1 bis 10 gegeben.

#### 4. Ermittlung der Beanspruchungen mit Hilfe des Trägheitshalbmessers.

Das Trägheitsmoment eines Massenkörpers (Abb. 13) ist:

$$J = \sum m \cdot r^2$$

$$J = M \cdot r^2. \quad (11)$$

Wird nun  $r = i$  gesetzt, so ist:

$$J = M \cdot i^2. \quad (12)$$

Diese Gleichung auf eine Fläche bezogen gibt:

$$J = F \cdot i^2$$



Abb. 13.

oder:

$$i = \sqrt{\frac{J}{F}}, \quad (13)$$

wobei  $i$  der Trägheitshalbmesser ist.

Unter Berücksichtigung der Nullachse (Abb. 14) ist:

$$\frac{N_x}{F} = \frac{N_x \cdot \varepsilon \cdot m}{J} \quad (14)$$

oder:

$$\frac{J}{F} = m \cdot \varepsilon. \quad (15)$$

Nach Gleichung 13 ist  $\frac{J}{F} = i^2$ , folglich ist auch (Abb. 15):

$$i^2 = m \cdot \varepsilon \quad (16)$$

oder:  $m : i = i : \varepsilon. \quad (16a)$

Hiernach die zeichnerische Ermittlung von  $S_o$  und  $S_u$  (Abb. 16).

Der Trägheitshalbmesser  $i$  aus Gleichung 13 wird auf der Mittellinie der Fuge aufgetragen und der so erhaltene

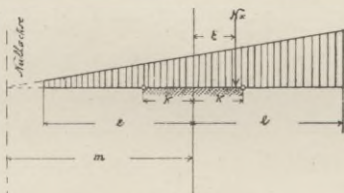


Abb. 14.

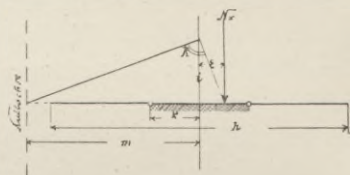


Abb. 15.

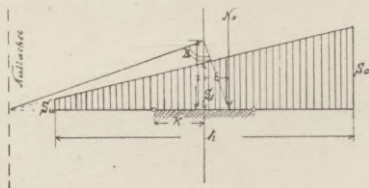


Abb. 16.

Punkt mit dem innerhalb oder auferhalb des Kernes der Fuge liegenden Angriffspunkt von  $N_x$  verbunden. Auf dieser Verbindungslinie wird bei dem Schnittpunkte mit  $i$  ein Lot errichtet, welches die Verlängerung der Fuge schneidet. Durch diesen Schnittpunkt geht die Nulllinie. Aus Gleichung 1 wird der ausgerechnete Wert von  $S_1$  auf der Mittellinie abgetragen und der Endpunkt mit dem Schnittpunkt von Nulllinie und Fugenverlängerung verbunden. Die Verbindungslinie und deren Verlängerung über die Mitte hinaus schneidet an den Enden der Fuge die Strecken  $S_o$  und  $S_u$  ab. Diese Werte sind in demselben Maßstabe abzulesen, in welchem  $S_1$  aufgetragen ist (Abb. 16).

---

## Fünfter Abschnitt.

## Rechnerische Untersuchung einer Fuge.

## 1. Eigengewicht.

Abb. 17 ist in verzerrtem Maßstabe gezeichnet.

Die Ordinaten der Fugenmitte sind:

$$x = 7,25^m$$

$$y = 4,80^m.$$

$G$  sei die Mittelkraft der Gewölbehälfte,  $R$  diejenige aus dem Gewölbe teil vom Auflager bis zur betreffenden Fuge.

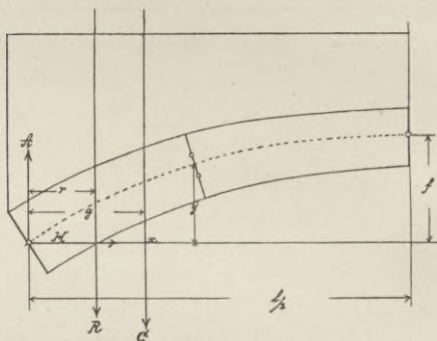


Abb. 17.

Abstand der Mittelkraft  $G$  vom Auflager:

$$g = \frac{\sum_0^{l/2} P \cdot x}{G} = \frac{231,1 \cdot 2,3}{49,2 \cdot 2,3} = 4,7^m.$$

Abstand der Mittelkraft  $R$  vom Auflager:

$$r = \frac{\sum_0^x P \cdot x}{R} = \frac{102,6 \cdot 2,3}{36,5 \cdot 2,3} = 2,81^m.$$

Stützweite . . .  $l = 26,50^m$

Pfeilhöhe . . .  $f = 5,70^m.$

Eigengewicht einer Gewölbehälfte:  $G = 113,0^t$ .

Eigengewicht des Gewölbeteiles bis zur betreffenden Fuge:  $R = 84,0^t$  (Tafel I).

Stärke der Fuge:  $h = 1,0^m$

Tiefe der Fuge:  $d = 1,0^m$ .

a) Auflagerdruck:

$$A = B = 113,0^t.$$

b) Horizontalschub:

$$A \frac{l}{2} - H \cdot f - G \left( \frac{l}{2} - g \right) = 0 \quad 17)$$

$$H = \frac{A \frac{l}{2} - G \frac{l}{2} + G \cdot g}{f}$$

$$H = \frac{G \cdot g}{f} = \frac{113 \cdot 4,7}{5,7}$$

$$H = 93,0^t.$$

c) Querkraft:

$$V_x = A - R$$

$$V_x = 113,0 - 84,0$$

$$V_x = 29,0^t.$$

d) Biegemoment:

Die Stützlinie für Eigengewicht fällt mit der Mittellinie des Gewölbes zusammen. Mithin muß das Moment  $= 0$  werden, und  $S_o$  wird gleich  $S_u$ .

$$M_x = A \cdot x - H \cdot y - R(x - r) \quad 19)$$

$$M_x = 113,0 \cdot 7,25 - 93,0 \cdot 4,8 - 84 \cdot 4,44$$

$$M_x = 0.$$

e) Normalkraft (Abb. 18):

Der Winkel  $\varphi_x$  beträgt  $18^{\circ}30'$ ,

also:  $\sin \varphi_x = \approx 0,32$

$\cos \varphi_x = \approx 0,95$ .

$$N_x = V_x \cdot \sin \varphi_x + H \cdot \cos \varphi_x \quad 20)$$

$$N_x = 29,0 \cdot 0,32 + 93,0 \cdot 0,95$$

$$N_x = 98,0^t.$$

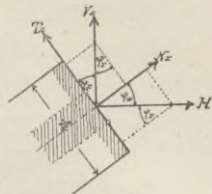


Abb. 18.

f) Beanspruchungen:

$d = 100 \text{ cm}$ ;  $h = 100 \text{ cm}$ , also

$$W = \frac{d h^2}{6} = \frac{1\,000\,000}{6} \text{ cm}^3$$

$$F = d \cdot h = 10\,000 \text{ cm}^2$$

$$S_o = \frac{N_x}{F} \pm \frac{M_x}{W} \quad 21)$$

$$S_o = \frac{98\,000}{10\,000} \pm 0$$

$$S_o = S_u = 9,8 \text{ kg/cm}^2.$$

## 2. Volle Belastung.

Diese Untersuchung ist für eine Fuge innerhalb einer Gewölbehälfte nicht erforderlich, da die größten Beanspruchungen hieraus gegenüber denen aus der einseitigen Belastung gering sind. Die Untersuchung für volle Belastung ist für die Fugen im Scheitel und an den Kämpfern ausschlaggebend.

## 3. Einseitige Belastung.

Abb. 19 ist gleichfalls in verzerrem Mafsstabe gezeichnet.

Die gleichmäßig verteilte Last der Lokomotiven  $q = 1,7^t$  für das lfd.  $\text{m}$  und  $1,0^m$  Tiefe.



Das Gewölbe reicht  $0,25\text{ m}$  über beide Auflager hinaus.  
Die Auflast bis zur Mitte ist demnach:

$$q \cdot \left( \frac{l}{2} + 0,25 \right) = 1,7 \cdot 13,5 = 22,95 \text{ t.}$$

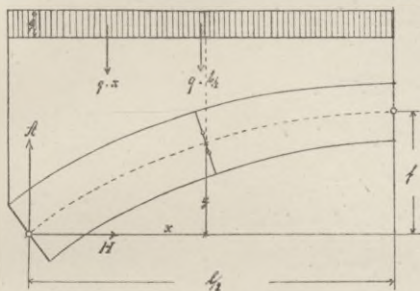


Abb. 19.

Die Auflast bis zur betreffenden Fuge in  $7,25\text{ m}$  Entfernung von  $A$ :

$$q \cdot (x + 0,25) = 12,75 \text{ t.}$$

a) Auflagerdruck:

$$A \cdot l - q \cdot \left( \frac{l}{2} + 0,25 \right) \left[ l - \frac{\frac{l}{2} + 0,25}{2} \right] = 0 \quad (22)$$

$$A = \frac{q \left( \frac{l}{2} + 0,25 \right) \left[ l - \frac{\frac{l}{2} + 0,25}{2} \right]}{l}$$

$$A = \frac{22,95 \cdot 19,75}{26,5} = 17,10 \text{ t.}$$

b) Horizontalschub:

$$A \frac{l}{2} - H \cdot f - q \left( \frac{l}{2} + 0,25 \right) \cdot \frac{\frac{l}{2} + 0,25}{2} = 0 \quad (23)$$

$$H = \frac{A \cdot \frac{l}{2} - q \left( \frac{l}{2} + 0,25 \right) \cdot \frac{l}{2} + 0,25}{f}$$

$$H = \frac{17,1 \cdot 13,25 - 22,95 \cdot 6,75}{5,7}$$

$$H = 12,57 \text{ t.}$$

c) Querkraft:

$$V_x = A - q(x + 0,25) \quad 24)$$

$$V_x = 17,1 - 12,75$$

$$V_x = 4,35 \text{ t.}$$

d) Biegemoment:

Bei der einseitigen Belastung links, also direkt über der zu untersuchenden Fuge, liegt die Stützlinie nahe dem oberen Kernrand. Das Moment wird somit positiv und die größte Beanspruchung ist  $S_o$ .

Für die einseitige Belastung rechts für dieselbe Fuge wird das Moment negativ. Die Stützlinie liegt nahe dem unteren Kernrand, also größte Beanspruchung ist  $S_u$ .

$$M_x = A \cdot x - H \cdot y - q \cdot (x + 0,25) \frac{x + 0,25}{2} \quad 25)$$

$$M_x = 17,1 \cdot 7,25 - 12,57 \cdot 4,8 - 12,75 \cdot 3,75$$

$$M_x = 15,83 \text{ mt.}$$

e) Normalkraft (Abb. 18):

$$N_x = V_x \cdot \sin \varphi_x + H \cdot \cos \varphi_x \quad 26)$$

$$N_x = 4,35 \cdot 0,32 + 12,57 \cdot 0,95$$

$$N_x = 13,33 \text{ t.}$$

f) Beanspruchungen:

$$h = 100 \text{ cm}; \quad d = 100 \text{ cm}.$$

$$W = \frac{d h^2}{6} = \frac{1\,000\,000}{6} \text{ cm}^3$$

$$F = d \cdot h = 10\,000 \text{ cm}^2$$

$$S_o = \frac{N_x}{F} + \frac{M_x}{W} \quad (27)$$

$$S_o = \frac{13\,330}{10\,000} + \frac{1\,583\,000 \cdot 6}{1\,000\,000}$$

$$S_o = 1,3 + 9,5$$

$$S_o = + 10,8 \text{ kg/cm}^2$$

$$S_u = - 8,2 \text{ kg/cm}^2.$$

Werden zu diesen Beanspruchungen diejenigen aus Eigenlast entsprechend addiert, so ergeben sich die Gesamtbeanspruchungen für einseitige Belastung zu:

$$S_o = 10,8 + 9,8$$

$$S_o = 20,6 \text{ kg/cm}^2$$

und

$$S_u = 9,8 - 8,2$$

$$S_u = 1,6 \text{ kg/cm}^2.$$

## Sechster Abschnitt.

**Einflußlinien.****1. Horizontalschub.**

a) Aufstellung der allgemeinen Gleichungen.

Nach Abb. 20 ist:

$$V_A \cdot l = P_1 (l - a).$$

Mithin ist der Auflagerdruck:

$$V_A = \frac{P_1 (l - a)}{l}. \quad 28)$$

Für  $P_1 = 1$  ist

$$V_A = \frac{l - a}{l}. \quad 29)$$

Der Horizontalschub einer beliebigen Fuge im Abstände  $a$  vom Auflager ergibt sich aus der Gleichung:

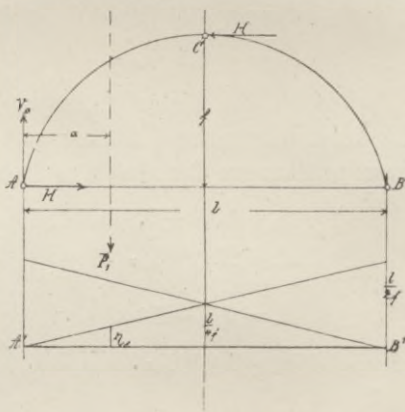


Abb. 20.

$$V_A \cdot \frac{l}{2} - H \cdot f - P_1 \left( \frac{l}{2} - a \right) = 0. \quad 30)$$

Daraus folgt:

$$H = \frac{V_A \cdot \frac{l}{2} - P_1 \left( \frac{l}{2} - a \right)}{f}. \quad 31)$$

Wird in Gl. 31 der Wert für  $V_A$  eingesetzt, so ist für  $P_1 = 1$ :

$$H = \frac{\left(\frac{l-a}{l}\right) \frac{l}{2} - \frac{l-2a}{2}}{f}$$

$$H = \frac{a}{2f}. \quad (32)$$

Hiernach läßt sich die Einflußlinie für den Horizontalschub zeichnen (Abb. 20). Mit  $a=0$  beginnend, endigt sie mit  $a=l$ , mithin ist hier

$$H = \frac{l}{2f}. \quad (33)$$

Für die Mitte des Gewölbes, also für  $a = \frac{l}{2}$ , ist

$$H = \frac{l}{4f}. \quad (34)$$

Mit Hilfe dieser Einflußlinie kann nun der Horizontalschub für jeden beliebigen Punkt des Gewölbes und jede beliebige Einzellast abgelesen werden.

Z. B. für  $P_1, P_2 \dots$  ist:

$$H_1 = P_1 \cdot \eta_1$$

$$H_2 = P_2 \cdot \eta_2 \dots$$

Diese einzelnen Werte addiert geben dann den Horizontalschub:

$$H = P_1 \cdot \eta_1 + P_2 \cdot \eta_2 + \dots$$

oder:

$$H = \sum_0^l P \cdot \eta. \quad (35)$$

Der Horizontalschub für gleichmäßig verteilte Belastung ist nach Abb. 21:

$$H = F \cdot q, \quad (36)$$

wobei  $F$  = Fläche der Einflußlinie und  $q$  = Belastung pro lfd. m ist.

Der Horizontalschub für einseitige Belastung ohne Berücksichtigung des Eigengewichtes ergibt sich genau in derselben Weise (Abb. 21). Für eine beliebige Fuge ist:

$$H = \varphi \cdot q \quad 37)$$

wobei  $\varphi$  die Fläche der Einflußlinie bedeutet.

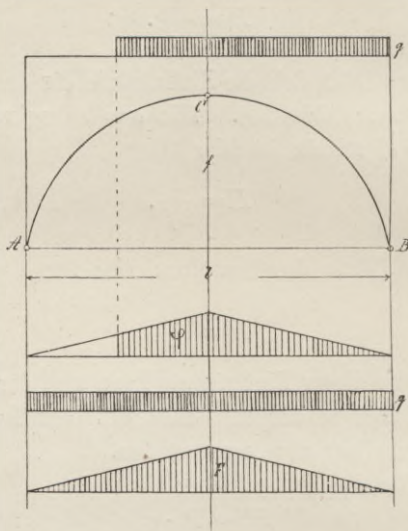


Abb. 21.

- b) Ermittlung des Horizontalschubes für Eigengewicht und einseitige Belastung.

Nach Gleichung 35 ist

$$H = \sum_0^i P \cdot \eta.$$

Aus Tafel I ist ersichtlich, daß das gesamte Gewölbe in 28 Lamellen geteilt, und jede als Einzelkraft wirkend angenommen ist. Danach wird der Horizontalschub

$$H = \sum_1^{28} P \cdot \eta.$$

Es ist:

$$\begin{aligned}
 P_1 \cdot \eta_1 &= 9,48 \cdot 0 = 0 \quad \text{t} \\
 P_2 \cdot \eta_2 &= 16,64 \cdot 0,07 = 1,09 \text{,,} \\
 P_3 \cdot \eta_3 &= 13,45 \cdot 0,15 = 2,02 \text{,,} \\
 P_4 \cdot \eta_4 &= 11,73 \cdot 0,24 = 2,82 \text{,,} \\
 P_5 \cdot \eta_5 &= 10,12 \cdot 0,33 = 3,32 \text{,,} \\
 P_6 \cdot \eta_6 &= 8,86 \cdot 0,42 = 3,72 \text{,,} \\
 P_7 \cdot \eta_7 &= 7,80 \cdot 0,50 = 3,90 \text{,,} \\
 P_8 \cdot \eta_8 &= 6,90 \cdot 0,58 = 4,00 \text{,,} \\
 P_9 \cdot \eta_9 &= 6,09 \cdot 0,67 = 4,08 \text{,,} \\
 P_{10} \cdot \eta_{10} &= 5,47 \cdot 0,76 = 4,14 \text{,,} \\
 P_{11} \cdot \eta_{11} &= 4,92 \cdot 0,84 = 4,14 \text{,,} \\
 P_{12} \cdot \eta_{12} &= 4,48 \cdot 0,93 = 4,16 \text{,,} \\
 P_{13} \cdot \eta_{13} &= 4,21 \cdot 1,02 = 4,26 \text{,,} \\
 P_{14} \cdot \eta_{14} &= 4,03 \cdot 1,10 = 4,44 \text{,,} \\
 \hline
 \Sigma_1^{14} P \cdot \eta &= 46,09 \text{t.}
 \end{aligned}$$

Danach:

$$\begin{aligned}
 H &= 2 \cdot \Sigma_1^{14} P \cdot \eta \\
 H &= 2 \cdot 46,09 \\
 H &= 92,2 \text{t.}
 \end{aligned}$$

Der gesamte Horizontalschub für die einseitige Belastung ist nach Gleichung 35 und 37:

$$H = \Sigma_0^l P \cdot \eta + \varphi \cdot q.$$

Diese beiden Werte addiert, geben:

$$H = 92,2 + \frac{l}{2} \cdot \frac{l}{4f} \cdot 1,7$$

$$H = 92,2 + \frac{13,25 \cdot 1,16}{2} \cdot 1,7$$

$$H = 105,3 \text{t.}$$

## 2. Querkraft.

a) Aufstellung der allgemeinen Gleichungen.

Nach Gleichung 28 ist der Auflagerdruck

$$V_A = \frac{P_1 \cdot (l - a)}{l} \quad (\text{Abb. 22}).$$

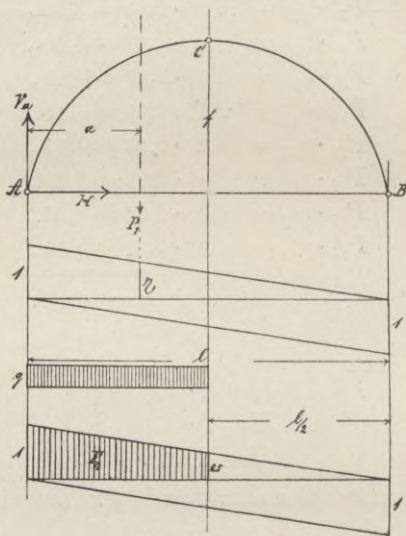


Abb. 22.

Die Ermittlung der Querkraft ist ähnlich wie die des Horizontalschubes. Denn für  $P_1 = 1$  ist:

$$V_A = \frac{l - a}{l} \quad (\text{vergl. Gleichung 29}).$$

Für  $a = 0$  ist:

$$V_A = \frac{l}{l} = 1. \quad (38)$$



Für  $a = l$  ist:

$$V_A = \frac{l-l}{l} = 0. \quad (39)$$

Hiernach läßt sich die Einflußlinie für die Querkraft zeichnen. Bei Betrachtung der Querkraft für die Einzel-lasten  $P_1, P_2$  usw. ist:

$$\begin{aligned} V_1 &= P_1 \cdot \eta_1 \\ V_2 &= P_2 \cdot \eta_2 \dots \end{aligned}$$

Diese Werte addiert geben die Querkraft:

$$V = \sum_0^l P \cdot \eta. \quad (40)$$

Für die einseitige Belastung, ohne Berücksichtigung der Eigenlast ist:

$$V = F_\eta \cdot q, \quad (41)$$

wobei  $F_\eta$  die Fläche der Einflußlinie bedeutet.

b) Rechnung der Auflagerdrücke für Eigengewicht und einseitige Belastung.

Nach Gleichung 40 ist:

$$V = \sum_0^l P \cdot \eta.$$

Oder für die Kräfte 1 bis 28 (Eigenlast):

$$V = \sum_1^{28} P \cdot \eta.$$

Diese Querkraft ist gleich dem Auflagerdruck:

$$\begin{aligned} P_1 \cdot \eta_1 &= 4,12 \cdot 1,00 = 4,12 \text{ cbm} \\ P_2 \cdot \eta_2 &= 6,80 \cdot 0,97 = 6,60 \text{ ,,} \\ P_3 \cdot \eta_3 &= 5,85 \cdot 0,94 = 5,50 \text{ ,,} \\ P_4 \cdot \eta_4 &= 5,10 \cdot 0,91 = 4,64 \text{ ,,} \\ P_5 \cdot \eta_5 &= 4,40 \cdot 0,88 = 3,87 \text{ ,,} \\ P_6 \cdot \eta_6 &= 3,85 \cdot 0,84 = 3,23 \text{ ,,} \\ P_7 \cdot \eta_7 &= 3,39 \cdot 0,80 = 2,71 \text{ ,,} \end{aligned}$$

$$P_8 \cdot \eta_8 = 3,00 \cdot 0,76 = 2,28 \text{ cbm}$$

$$P_9 \cdot \eta_9 = 2,65 \cdot 0,72 = 1,90 \text{ ,,}$$

$$P_{10} \cdot \eta_{10} = 2,38 \cdot 0,68 = 1,62 \text{ ,,}$$

$$P_{11} \cdot \eta_{11} = 2,14 \cdot 0,64 = 1,36 \text{ ,,}$$

$$P_{12} \cdot \eta_{12} = 1,95 \cdot 0,60 = 1,17 \text{ ,,}$$

$$P_{13} \cdot \eta_{13} = 1,85 \cdot 0,56 = 1,02 \text{ ,,}$$

$$P_{14} \cdot \eta_{14} = 1,75 \cdot 0,52 = 0,90 \text{ ,,}$$

$$P_{15} \cdot \eta_{15} = 1,75 \cdot 0,48 = 0,84 \text{ ,,}$$

$$P_{16} \cdot \eta_{16} = 1,85 \cdot 0,45 = 0,82 \text{ ,,}$$

$$P_{17} \cdot \eta_{17} = 1,95 \cdot 0,41 = 0,80 \text{ ,,}$$

$$P_{18} \cdot \eta_{18} = 2,14 \cdot 0,37 = 0,79 \text{ ,,}$$

$$P_{19} \cdot \eta_{19} = 2,38 \cdot 0,33 = 0,78 \text{ ,,}$$

$$P_{20} \cdot \eta_{20} = 2,65 \cdot 0,29 = 0,77 \text{ ,,}$$

$$P_{21} \cdot \eta_{21} = 3,00 \cdot 0,25 = 0,75 \text{ ,,}$$

$$P_{22} \cdot \eta_{22} = 3,39 \cdot 0,21 = 0,71 \text{ ,,}$$

$$P_{23} \cdot \eta_{23} = 3,85 \cdot 0,17 = 0,64 \text{ ,,}$$

$$P_{24} \cdot \eta_{24} = 4,40 \cdot 0,13 = 0,57 \text{ ,,}$$

$$P_{25} \cdot \eta_{25} = 5,10 \cdot 0,09 = 0,46 \text{ ,,}$$

$$P_{26} \cdot \eta_{26} = 5,85 \cdot 0,06 = 0,35 \text{ ,,}$$

$$P_{27} \cdot \eta_{27} = 6,80 \cdot 0,03 = 0,20 \text{ ,,}$$

$$P_{28} \cdot \eta_{28} = 4,12 \cdot 0,00 = 0 \text{ ,,}$$

$$\underline{\underline{\sum_1^{28} P \cdot \eta = 49,40 \text{ cbm}}}$$

Der Auflagerdruck für Eigengewicht ist danach:

$$\begin{aligned} V &= 49,40 \cdot 2,3 \\ &= 113,6 \text{ t.} \end{aligned}$$

Der gesamte Auflagerdruck für einseitige Belastung ergibt sich durch Addition der Gleichungen 40 und 41 zu:

$$\begin{aligned} V &= \sum_1^{28} P \cdot \eta + F_\eta \cdot q \\ V &= 113,6 + \frac{1+0,5}{2} \cdot 13,25 \cdot 1,7 \\ V &= 130,5 \text{ t.} \end{aligned}$$

c) Rechnung der Querkräfte in den einzelnen Fugen mit Beispiel.

Nach der allgemeinen Theorie der Querkräfte unter Benutzung der Einflußlinien ist die Querkraft für eine bestimmte Fuge im Abstände  $x$  von  $A$  bei Berücksichtigung der auf das Gewölbe wirkenden Einzellasten (Abb. 23):

$$V_x = P_3 \cdot \eta_3 + P_4 \cdot \eta_4 + P_5 \cdot \eta_5 - (P_1 \cdot \delta_1 + P_2 \cdot \delta_2).$$

Oder die Gleichung allgemein ausgedrückt:

$$V_x = \sum_x^i P \cdot \eta - \sum_0^x P \cdot \delta. \quad (42)$$

Und für die gleichmäßig verteilte Belastung (Abb. 23):

$$V_x = (F_\eta - F_\delta) \cdot q, \quad (43)$$

wobei  $F_\eta$  und  $F_\delta$  die bezüglichen Flächen der Einflußlinie sind.

Als Beispiel soll die gesamte Querkraft aus Eigenlast und einseitiger Belastung für Fuge II (Tafel I) ermittelt werden.

Für diese Fuge ist nach Gleichung 42:

$$\begin{aligned} V_x &= \sum_9^{28} P \cdot \eta - \sum_1^8 P \cdot \delta \\ &= (16,45 - 3,68) \cdot 2,3 \\ &= 29,4^t \text{ (Eigenlast).} \end{aligned}$$

Nach Gleichung 43 ist:

$$V_x = (F_\eta - F_\delta) \cdot q.$$

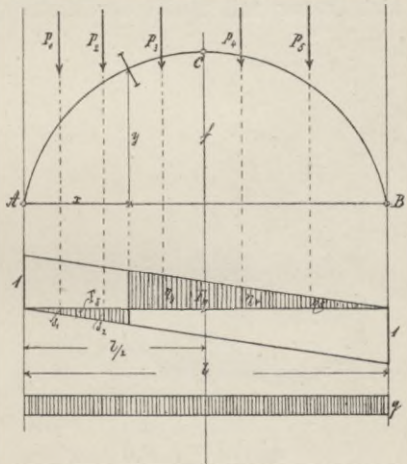


Abb. 23.

Es wird hier die einseitige Belastung bis zur Brückenmitte angenommen, demnach:

$$V_x = \left( \frac{0,74 + 0,50}{2} \cdot 6,00 - \frac{7,25 \cdot 0,26}{2} \right) \cdot 1,7 = 4,7 \text{ t.}$$

Mithin gesamte Querkraft für die einseitige Belastung:

$$V = 29,4 + 4,7$$

$$V = 34,1 \text{ t.}$$

Die mittelst Einflußlinien ermittelten Werte für die Horizontalschübe und die Querkräfte stimmen mit denen im fünften Abschnitt durch Rechnung gefundenen ziemlich genau überein.

### 3. Konstruktion der Einflußlinie für die Biegemomente.

Die Beanspruchungen in den einzelnen Fugen lassen sich ferner mit Hülfe der Einflußlinien für die Biegemomente ermitteln. Die Konstruktion der Einflußlinie für eine bestimmte Fuge ist in Abb. 24 angegeben.

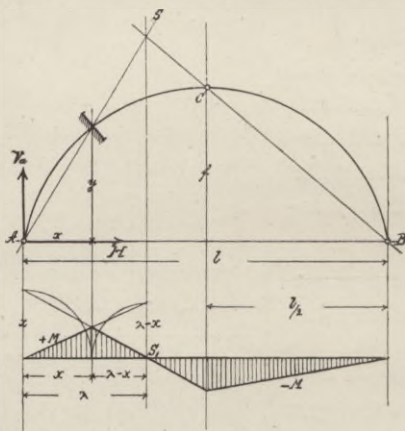


Abb. 24.

momente ermitteln. Die Konstruktion der Einflußlinie für eine bestimmte Fuge ist in Abb. 24 angegeben.

Für den Beweis der Richtigkeit der Momentenflächen kann ein Träger auf zwei Stützen angenommen werden, z. B. für die positive Momentenfläche mit der Spannweite  $\lambda$  und der Last  $P$  im Abstände  $a$  (Abb. 25).

Dann ist:

$$A \cdot \lambda = P \cdot (\lambda - a).$$

Für  $P = 1$ :

$$A = \frac{\lambda - a}{\lambda}. \quad (44)$$

Ferner ist:

$$M_x = A \cdot x - P(x - a),$$

und für  $P = 1$ :

$$M_x = a \frac{\lambda - x}{\lambda}. \quad (45)$$

Ist nun  $a = \lambda$ ,  
dann  $M_x = \lambda - x$ .

Abb. 26 gibt einen Überblick über die Entstehung der Einflußlinie für die Biegemomente. Die Konstruktion soll durch folgende Rechnung eingehend betrachtet werden.

Nach Abb. 26 ist:

$$z + z_1 = l$$

$$z_1 : \frac{l}{2} = h_1 : h$$

$$z_1 = h_1 \frac{l}{2 \cdot h}$$

$$y : h_1 = x : z$$

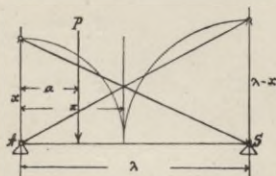


Abb. 25.

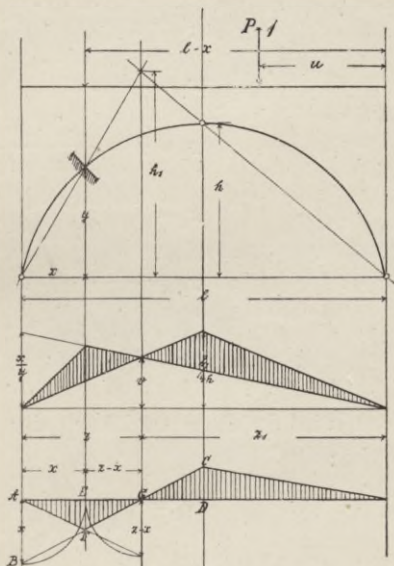


Abb. 26.

$$z = h_1 \cdot \frac{x}{y}$$

$$h_1 = z \cdot \frac{y}{x}$$

$$z_1 = z \cdot \frac{l}{2h} \cdot \frac{y}{x}$$

$$z = l - z_1$$

$$z = l - \frac{z \cdot l \cdot y}{2hx}$$

$$z + \frac{z \cdot l y}{2 \cdot h \cdot x} = l$$

$$z \left( 1 + \frac{l \cdot y}{2 \cdot h \cdot x} \right) = l$$

$$z = \frac{2 \cdot h \cdot x \cdot l}{2 \cdot h \cdot x + l \cdot y} \quad 46)$$

$$z_1 = l - z$$

$$z_1 = l - \frac{2 \cdot h \cdot x \cdot l}{2hx + ly}$$

$$z_1 = \frac{2hlx + l^2y - 2hxl}{2hx + ly}$$

$$z_1 = \frac{l^2y}{2hx + ly} \quad 47)$$

$$h_1 = \frac{z_1 \cdot 2 \cdot h}{l}$$

Wird in diese Gleichung der Wert von  $z_1$  eingesetzt, so ist:

$$h_1 = \frac{2lhy}{2hx + ly} \quad 48)$$

$$z_1 - \frac{l}{2} = \frac{l^2y}{2hx + ly} - \frac{l}{2}$$

$$z_1 - \frac{l}{2} = \frac{2l^2 y - 2hlx - l^2 y}{2(2hx + ly)}$$

$$z_1 - \frac{l}{2} = -\frac{l(2hx - ly)}{2(2hx + ly)}. \quad (49)$$

$$z - x = \frac{2hlx}{2hx + ly} - x$$

$$z - x = \frac{2hlx - 2hx^2 - lxy}{2hx + ly}$$

$$z - x = x \cdot \frac{2h(l-x) - ly}{2hx + ly}. \quad (50)$$

Es ist:  $A \cdot l - P \cdot u = 0$ .

Für  $P=1$  ist der Auflagerdruck:

$$A = \frac{u}{l}. \quad (51)$$

Die Summe der Momente  $= 0$ .

Für die Ermittlung des Horizontalschubes ist mithin:

$$A \frac{l}{2} - H \cdot h = 0,$$

oder:

$$H = \frac{A \cdot l}{2h} = \frac{u}{2h}. \quad (52)$$

Das Moment für die in Abb. 26 gezeichnete Fuge ist:

$$M_x = A \cdot x - H \cdot y. \quad (53)$$

Die Werte von  $A$  und  $H$  eingesetzt geben:

$$M_x = \frac{u}{l} \cdot x - \frac{u}{2h} \cdot y.$$

Ist  $u = \frac{l}{2}$ , so ergibt sich das Moment in der Mitte des Gewölbes zu:

$$M_x = \frac{x}{2} - \frac{l \cdot y}{4h},$$

oder:

$$M_x = \frac{2hx - ly}{4h}. \quad (54)$$

Für  $u = l - x$  ist:

$$H = \frac{x}{2h} \quad \text{und} \quad A = \frac{l-x}{l}$$

mithin:

$$M_x = \frac{x(l-x)}{l} - \frac{xy}{2h}$$

$$M_x = \frac{2hx(l-x) - lxy}{2hl}$$

$$M_x = x \cdot \frac{2h(l-x) - ly}{2hl}. \quad (55)$$

Die Konstruktion der Einflußlinie ist aus Abb. 26 deutlich zu ersehen; es erübrigt sich daher eine Beschreibung derselben. Genau zu beachten ist jedoch der Maßstab, in welchem die Auftragung der einzelnen Werte erfolgt, damit nachher in der Ablesung keine Fehler entstehen.

#### 4. Beweis für die Richtigkeit der Konstruktion.

Vor:  $AB = x$

$BGC$  eine Gerade.

Beh:  $CD = M_x = \frac{2hx - ly}{4h}$  (für  $u = \frac{l}{2}$ )

$EF = M_x = x \cdot \frac{2h(l-x) - ly}{2hl}$  (für  $u = l - x$ ).

Beweis:  $\triangle CDG \sim \triangle BAG$

$CD : AB = GD : AG$

$CD = \frac{AB \cdot GD}{AG}$

$CD = \frac{\left(z_1 - \frac{l}{2}\right) \cdot x}{z}$ .



Werden in diese Gleichung nun die Werte für  $\left(z_1 - \frac{l}{2}\right)$  und für  $z$  eingesetzt (siehe Gleichung 46 und 49), so ist:

$$CD = -\frac{l(2hx - ly)x}{2(2hx + ly)} \cdot \frac{(2hx + ly)}{2hlx}$$

$$CD = -\frac{2hx - ly}{4h} = -M_x \left(\text{für } u = \frac{l}{2}\right). \quad 56)$$

(Übereinstimmend mit Gleichung 54.)

$$\triangle GEF \sim \triangle GAB$$

$$EF : AB = GE : GA$$

$$EF = \frac{AB \cdot GE}{GA}$$

$$EF = \frac{x(z - x)}{z}$$

Werden in diese Gleichung die Werte für  $(z - x)$  und  $z$  eingesetzt (siehe Gleichung 46 und 50), so ist:

$$EF = x \frac{x[2h(l - x) - ly]}{2hx + ly} \cdot \frac{2hx + ly}{2hlx}$$

$$EF = x \frac{2h(l - x) - ly}{2hl} = +M_x \text{ für } u = (l - x). \quad 57)$$

(Übereinstimmend mit Gleichung 55.)

Es soll ferner nachgewiesen werden, daß

$$GS = z - x \text{ ist.}$$

$$GS = z \cdot \frac{EF}{x}$$

$$GS = \frac{2hlx \cdot x[2h(l - x) - ly]}{(2hx + ly) 2hlx}$$

$$GS = x \frac{2h(l - x) - ly}{2hx + ly}$$

Dieses ist aber wieder der Wert von Gleichung 50, also

$$GS = z - x.$$

## Siebenter Abschnitt.

**Ermittlung der Beanspruchungen in den einzelnen Fugen mit Hilfe der Kernmomente.****1. Aufstellung der allgemeinen Gleichungen.**

Wie schon im Anfange des vorigen Abschnittes erwähnt, lassen sich die Beanspruchungen mit Hilfe der Einfluslinien für die Biegemomente ermitteln. Für die Ermittlung der ungünstigsten, d. h. der größten bzw. kleinsten Beanspruchungen  $S_o$  und  $S_u$  einer Fuge werden unter Berücksichtigung der als gleichmäßig verteilt angenommenen Verkehrslast die Lastscheiden in bezug auf den oberen bzw. unteren Kernpunkt festgelegt. Somit lassen sich für jede Fuge des Gewölbes die beiden ungünstigsten Laststellungen konstruieren, und gleichfalls können die Einfluslinien hierfür zur Ermittlung der Beanspruchungen gezeichnet werden (Abb. 27).

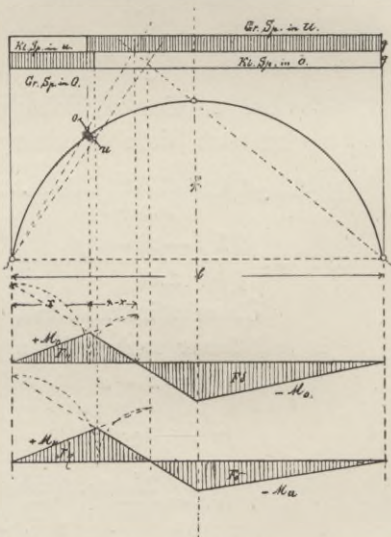


Abb. 27.

$$\text{Spannung} = \frac{\text{Kernmoment}}{\text{Widerstandsmoment}}.$$

Das Moment:

$$M_x = \Sigma P \cdot \eta - \Sigma P \cdot \delta.$$

Aus der Einflußlinie in bezug auf den oberen Kernrand (siehe die obere Einflußlinie in Abb. 27) ergibt sich die Beanspruchung in  $u$ , also:

$$S_u = \frac{M_o}{W} = \frac{\Sigma P \cdot \eta - \Sigma P \cdot \delta}{W}. \quad (58)$$

In derselben Weise ist:

$$S_o = \frac{M_u}{W} = \frac{\Sigma P \cdot \eta - \Sigma P \cdot \delta}{W}. \quad (59)$$

## 2. Kernmomente in bezug auf den oberen bzw. unteren Kernrand.

$M$  = Biegemoment

$W$  = Widerstandsmoment

$S$  = Beanspruchung

$$S \cdot W = M$$

$$S = \frac{M}{W}.$$

Da nun

$$M = \Sigma P \cdot \eta - \Sigma P \cdot \delta,$$

so ist:

$$S = \frac{\Sigma P \cdot \eta - \Sigma P \cdot \delta}{W} \quad (\text{Eigengewicht}).$$

Bei der Ermittlung der Beanspruchungen für Eigengewicht wird bei  $S_u$  das Moment stets negativ, bei  $S_o$  das Moment immer positiv sein.

Unter Berücksichtigung der Verkehrslast ist aus Abb. 28 bis 31 zu ersehen, daß die Beanspruchungen in  $u$ , also  $S_u^l$  bzw.  $S_u^r$  mittelst der Kernmomente in bezug auf den oberen Kernrand ermittelt werden und analog die Beanspruchungen in  $o$ , also  $S_o^l$  bzw.  $S_o^r$  mittelst der Kernmomente in bezug auf den unteren Kernrand.

Folgende vier Fälle können demnach unterschieden werden:

1. Zugspannungen in  $u$ , also  $-S_u^l$ , positives Kernmoment  $+M_o$  (Abb. 28).
2. Druckspannungen in  $u$ , also  $+S_u^r$ , negatives Kernmoment  $-M_o$  (Abb. 29).
3. Druckspannungen in  $o$ , also  $+S_o^l$ , positives Kernmoment  $+M_u$  (Abb. 30).
4. Zugspannungen in  $o$ , also  $-S_o^r$ , negatives Kernmoment  $-M_u$  (Abb. 31).

Die so ermittelten Werte für  $S_u$  und  $S_o$  werden zu der Beanspruchung aus dem Eigengewicht algebraisch addiert. Somit ergeben sich für die betreffende ungünstigste Laststellung die entsprechenden Werte für  $S_{max}$  und  $S_{min}$ .

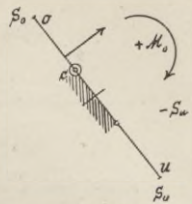


Abb. 28.

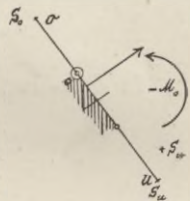


Abb. 29.

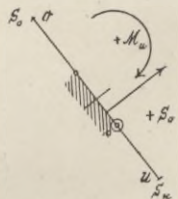


Abb. 30.

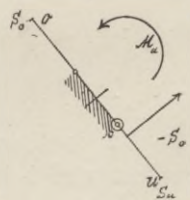


Abb. 31.

### 3. Maximal- und Minimalbeanspruchungen in $u$ .

$S_u^l$  = Beanspruchung für die Belastungsstrecke links der Lastscheide.

$S_u^r$  = Beanspruchung für die Belastungsstrecke rechts der Lastscheide.

$S_u^e$  = Beanspruchung für Eigengewicht.

Das Eigengewicht wird immer Druckbeanspruchungen  $+S_u^e$  ergeben, da das Moment negativ ist. Aus der Belastungsstrecke links der Lastscheide entstehen negative Beanspruchungen in  $u$ , aus derjenigen rechts der Lastscheide positive Beanspruchungen in  $u$ .

$$S_{u_{max}} = S_u^e + S_u^r$$

$$S_{u_{max}} = \frac{\Sigma P \cdot \eta - \Sigma P \cdot \delta}{W} + \frac{F_\delta \cdot q}{W} \quad (60)$$

$$S_{u_{min}} = S_u^e + (-S_u^l)$$

$$S_{u_{min}} = \frac{\Sigma P \cdot \eta - \Sigma P \cdot \delta}{W} - \frac{F_\eta \cdot q}{W} \quad (61)$$

### 4. Maximal- und Minimalbeanspruchungen in $o$ .

Es handelt sich also um die Ermittlung von  $S_{o_{max}}$  und  $S_{o_{min}}$  und zwar genau in derselben Weise wie oben.

$S_o^e$  = Beanspruchung für Eigengewicht.

$S_o^l$  = Beanspruchung für die Belastungsstrecke links der Lastscheide.

$S_o^r$  = Beanspruchung für die Belastungsstrecke rechts der Lastscheide.

$$S_{o\max} = S_o^e + S_o^l$$

$$S_{o\max} = \frac{\Sigma P \cdot \eta - \Sigma P \cdot \delta}{W} + \frac{F_\eta \cdot q}{W} \quad (62)$$

$$S_{o\min} = S_o^e + (-S_o^r)$$

$$S_{o\min} = \frac{\Sigma P \cdot \eta - \Sigma P \cdot \delta}{W} - \frac{F_\delta \cdot q}{W}. \quad (63)$$

### 5. Rechnung der Beanspruchungen einer Fuge mittelst der Kernmomente.

Ermittlung der Beanspruchungen in  $u$ , also des oberen Kernmomentes. (Eigengewicht.) (Tafel I.)

	$P \cdot \eta$	$\eta$	$P$	$\delta$	$P \cdot \delta$
1.	0	0	4,12 <sup>cbm</sup>	0	0
2.	1,48	0,22	6,80	„ 0,14	0,95
3.	2,91	0,51	5,85	„ 0,28	1,74
4.	3,87	0,78	5,10	„ 0,45	2,49
5.	4,62	1,08	4,40	„ 0,62	2,73
6.	5,14	1,36	3,85	„ 0,75	2,89
7.	5,52	1,65	3,39	„ 0,92	3,14
8.	5,80	1,97	3,00	„ 1,08	3,26
9.	4,52	1,72	2,65	„ 1,24	3,30
10.	2,42	1,02	2,38	„ 1,40	3,34
11.	0,68	0,32	2,14	„ 1,59	3,38
12.			1,95	„ 1,72	3,42
13.			1,85	„ 1,90	3,52
14.			1,75	„ 2,04	3,58
15.			1,75	„ 1,77	3,14
16.			1,85	„ 1,08	2,10
17.			1,95	„ 0,41	0,81
<hr/>					
	= + 36,96			= - 43,79	

Nach Gleichung 58 ist:

$$S_u^e = \frac{\Sigma P \cdot \eta - \Sigma P \cdot \delta}{W} = \frac{M_o}{W}$$

$$M_o = + 36,96 - 43,79$$

$$M_o = - 6,83 \cdot 2,3$$

$$M_o = - 15,7 \text{ mt}$$

$$h = 1,0 \text{ m} \quad W = \frac{d \cdot h^2}{6} = \frac{1}{6}$$

$$S_u^e = \frac{M_o}{W} = \frac{15,7 \cdot 6}{10} = + 9,4 \text{ atm.}$$

Durch Addition der Beanspruchungen aus der ungünstigsten Laststellung ergibt sich  $S_{u_{max}}$  und  $S_{u_{min}}$ .

+  $F_\eta \cdot q$  gibt Zugspannungen in  $u$  (Abb. 28).

-  $F_\delta \cdot q$  gibt Druckspannungen in  $u$  (Abb. 29).

$$+ M_o = + F_\eta \cdot q = \frac{10,2 \cdot 2,01}{2} \cdot 1,7 = + 17,4 \text{ mt}$$

$$- M_o = - F_\delta \cdot q = \frac{16,3 \cdot 2,10}{2} \cdot 1,7 = - 29,0 \text{ mt.}$$

Negative Beanspruchung in  $u$ :

$$S_u^l = \frac{+ M_o}{W} = \frac{17,4 \cdot 6}{10} = - 10,4 \text{ atm.}$$

Positive Beanspruchung in  $u$ :

$$S_u^r = \frac{- M_o}{W} = \frac{29,0 \cdot 6}{10} = + 17,4 \text{ atm.}$$

Mithin Gesamtbeanspruchungen:

$$S_{u_{max}} = + 9,4 + 17,4 = + 26,8 \text{ atm (nach Gleichung 60)}$$

$$S_{u_{min}} = + 9,4 - 10,4 = - 1,00 \text{ atm (nach Gleichung 61).}$$

Bei der Ermittlung der Beanspruchungen durch Einfluslinien unter Berücksichtigung der ungünstigsten

Laststellung für eine bestimmte Fuge ergeben sich grössere Werte als bei der rechnerischen und graphischen Untersuchung mit der Annahme der einseitigen Belastung bis zur Mitte des Gewölbes. Die geringe auftretende Zugbeanspruchung ist zulässig.

Ermittlung der Beanspruchungen in  $o$ , also des unteren Kernmomentes. (Eigengewicht.) (Tafel I.)

$$M_u = \Sigma P \cdot \eta - \Sigma P \cdot \delta.$$

	$P \cdot \eta$	$\eta$	$P$	$\delta$	$P \cdot \delta$
1.	0	0	4,12 <sup>cbm</sup>	0	0
2.	1,49	0,22	6,80	„ 0,10	0,68
3.	3,16	0,54	5,85	„ 0,22	1,28
4.	4,33	0,85	5,10	„ 0,36	1,84
5.	5,10	1,16	4,40	„ 0,48	2,11
6.	5,66	1,47	3,85	„ 0,62	2,38
7.	6,04	1,78	3,39	„ 0,75	2,54
8.	6,34	2,11	3,00	„ 0,87	2,61
9.	5,35	2,02	2,65	„ 1,02	2,72
10.	3,14	1,32	2,38	„ 1,13	2,69
11.	1,39	0,65	2,14	„ 1,25	2,68
12.			1,95	„ 1,38	2,69
13.			1,85	„ 1,52	2,78
14.			1,75	„ 1,63	2,85
15.			1,75	„ 1,33	2,33
16.			1,85	„ 0,68	1,24
17.			1,95	„ 0,04	0,08
= + 42,00					= - 33,50

Nach Gleichung 59 ist:

$$S_o^e = \frac{\Sigma P \cdot \eta - \Sigma P \cdot \delta}{W} = \frac{M_u}{W}$$



$$M_u = +42,00 - 33,50$$

$$M_u = +8,5 \cdot 2,3$$

$$M_u = +19,55 \text{ mt}$$

$$h = 1,0 \text{ m} \quad W = \frac{dh^2}{6} = \frac{1}{6}$$

$$S_o^e = \frac{M_u}{W} = \frac{19,55 \cdot 6}{10} = +11,8 \text{ atm.}$$

Durch Addition der Spannungen aus der ungünstigsten Laststellung ergibt sich  $S_{o_{max}}$  und  $S_{o_{min}}$ .

+  $F_\gamma \cdot q$  gibt Druckspannungen in  $o$  (Abb. 30).

-  $F_\delta \cdot q$  gibt Zugspannungen in  $o$  (Abb. 31).

$$+ M_u = + F_\gamma \cdot q = \frac{10,90 \cdot 2,35}{2} \cdot 1,7 = +21,8 \text{ mt}$$

$$- M_u = - F_\delta \cdot q = \frac{15,60 \cdot 1,65}{2} \cdot 1,7 = -21,9 \text{ mt.}$$

Positive Beanspruchung in  $o$ :

$$S_o^l = \frac{+M_u}{W} = \frac{21,8 \cdot 6}{10} = +13,1 \text{ atm.}$$

Negative Beanspruchung in  $o$ :

$$S_o^r = \frac{-M_u}{W} = \frac{21,9 \cdot 6}{10} = -13,1 \text{ atm.}$$

$$S_{o_{max}} = +11,8 + 13,1 = +24,9 \text{ atm (nach Gleichung 62)}$$

$$S_{o_{min}} = +11,8 - 13,1 = -1,3 \text{ atm (nach Gleichung 63).}$$

## Achter Abschnitt.

**Statische Untersuchung der Mittelpfeiler.****1. Die wirkenden Kräfte.**

Die Untersuchung wird für den ungünstigsten Fall durchgeführt. Das eine Gewölbe wird als belastet angenommen durch die gleichmäßig verteilte Verkehrslast, während das andere Gewölbe unbelastet wirkt (Abb. 32).

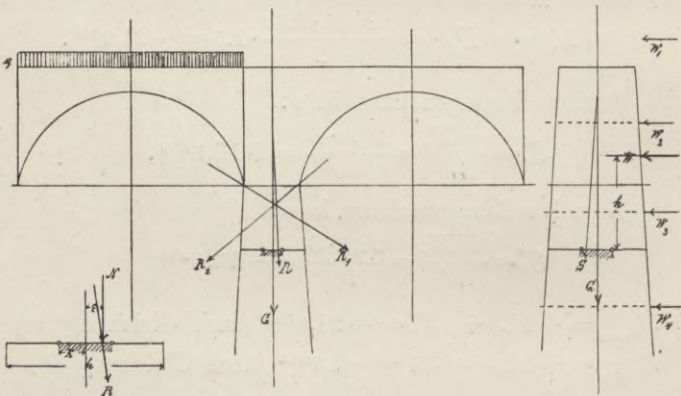


Abb. 32.

Für eine zu untersuchende Fuge des Pfeilers ergeben sich dann die Resultierenden  $R_1$  und  $R_2$  als Kämpferdrücke der beiden an den Pfeiler angrenzenden Gewölbehälften. Durch Zusammensetzung dieser beiden Kräfte mit dem Eigengewicht  $G$  des Mittelpfeilers bis zur be-

treffenden Fuge wird die Gesamterresultierende  $R$  der Fuge gefunden (Abb. 32).

Außerdem ist noch der Winddruck zu berücksichtigen. Dieser ist mit  $150 \text{ kg/qm}$  angenommen. Fernerhin soll der Winddruck für einen Eisenbahnzug gleich einem  $3,0 \text{ m}$  hohen Verkehrsbande eingesetzt werden (s.  $W_1$  in Abb. 32).

Der Abstand des Gesamtwinddruckes  $W$  von der zu untersuchenden Fuge ergibt sich aus:

$$W \cdot h = W_1 \cdot h'_1 + W_2 \cdot h'_2 + \dots$$

$$W \cdot h = \Sigma W \cdot h'$$

$$h = \frac{\Sigma W \cdot h'}{W}. \quad (64)$$

Abb. 33 zeigt die Zusammensetzung der einzelnen Kräfte, welche auf den Pfeiler wirken. Diese sind der Winddruck  $W$ , die Mittelkraft  $H$  der Horizontalschübe und  $G$  als Eigengewicht des Pfeilers bis zur betreffenden Fuge und der Gewichte der angrenzenden Gewölbehälften.

$W$  und  $H$  zusammengesetzt geben die Mittelkraft  $S$ . Durch Zusammensetzung dieser Mittelkraft  $S$  mit  $G$  wird die endgültige Mittelkraft sämtlicher auf den Pfeiler wirkenden Einzelkräfte gefunden, und somit auch der Druckmittelpunkt für die Fuge.

Für die Ermittlung der größten bzw. kleinsten Beanspruchungen in einer Fuge des Pfeilers werden auch hier ähnlich wie bei den Gewölbefugen die verschiedenen Laststellungen ermittelt. Um die ungünstigsten Laststellungen für eine Pfeilerfuge zu erhalten, wird jeder Kernpunkt mit den Kämpfergelenkpunkten der beiden Ge-

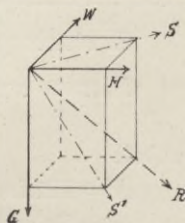


Abb. 33.

wölbe verbunden, welche dann mit den entsprechenden Kämpferdrucklinien die Lastscheiden bilden.

Auf den Pfeiler wirkt ferner noch eine Strecke Verkehrslast direkt. Um ganz korrekt vorzugehen, müßte für jede Fuge die entsprechende Laststellung ermittelt werden. Da jedoch der Unterschied nicht groß ist, soll hiervon abgesehen werden und die Durchführung für drei Fugen mit nur einer Laststellung erfolgen (Tafel II).

Für die Untersuchung auf erwähnter Tafel ist die Laststellung für Fuge 1 zugrunde gelegt. Ferner ist dort aus der Darstellung der Kraftecke mit den zugehörigen Seilecken die Ermittlung der Resultierenden aus Eigengewicht, Kämpferdruck und Wind ersichtlich (Abb. 33). Die Kämpferdrücke  $K_n^m$  und  $K_3$  aus der Betriebslast, welche in Tafel II graphisch zusammengesetzt sind, lassen sich auch mit Hilfe der Einflußlinien ermitteln. (Vergl. Tafel I.)

Ermittlung des Kämpferdruckes von  $p$  und  $s$ .

Hieraus ergibt sich der Horizontalschub:

$$H_1 = F \cdot q \cdot T, \quad (65)$$

wobei:

$F$  = Fläche der Einflußlinie für den Horizontalschub

$q$  = Belastungshöhe =  $0,74^m$

$T$  = Breite der Brücke =  $4,5^m$ .

$$H_1 = F \cdot 0,74 \cdot 4,5$$

$$H_1 = \left( \frac{13,25 \cdot 1,16}{2} + \frac{(1,16 + 0,24) \cdot 10,8}{2} \right) \cdot 0,74 \cdot 4,5$$

$$H_1 = 50,5^{cbm}.$$

Der Auflagerdruck:

$$A_1 = F \cdot q \cdot T \quad (66)$$

$F$  = Fläche der Einflußlinie für die Querkraft,  $q$  und  $T$  wie vor.

$$A_1 = \left( \frac{1,0 + 0,07}{2} \cdot (13,25 + 10,8) \right) \cdot 0,74 \cdot 4,5$$

$$A_1 = 43 \text{ cbm.}$$

Diese beiden Kräfte zusammengesetzt geben den Kämpferdruck  $K_1$  (s. Tafel II).

In derselben Weise wird  $K_2$  ermittelt.

$$H_2 = F \cdot q \cdot T \quad (65 \text{ a})$$

$$H_2 = \frac{4,1 \cdot 0,45}{2} \cdot 0,74 \cdot 4,5$$

$$H_2 = 3,05 \text{ cbm}$$

und:

$$A_2 = F \cdot q \cdot T \quad (66 \text{ a})$$

$$A_2 = \frac{1,0 + 0,8}{2} \cdot 4,1 \cdot 0,74 \cdot 4,5$$

$$A_2 = 12,25 \text{ cbm.}$$

Diese beiden Kräfte zusammengesetzt geben den Kämpferdruck  $K_2$  (s. Tafel II).

Nach Ermittlung der einzelnen Kämpferdrücke erfolgt die Massenberechnung der Eigengewichte des Pfeilers und des Fundamentes.

## 2. Rechnung der Beanspruchungen in den Fugen.

Für Fuge I und II soll  $\sigma \leq 18 \text{ kg/cm}^2$ ,

für Fuge III soll  $\sigma \leq 5 \text{ kg/cm}^2$ . (Tafel II.)

Wie schon im vierten Abschnitt erwähnt, ist zur Auf-  
findung der Nullachse die Auftragung von  $i = \sqrt{\frac{J}{F}}$  er-  
forderlich (Gleichung 13).

Werden nun für die  $X$ - und  $Y$ -Achse die Nulllinien  
I und II in zwei aneinanderstossenden Seiten des Quer-

schnittes angenommen, so können mittelst erwähnter Konstruktion für die Ermittlung des Kernes (Winkel an der Spitze =  $R$ ) die entsprechenden Kernpunkte gefunden werden.

(Abb. 34.)

$$i_x = \sqrt{\frac{J_x}{F}} \quad (67)$$

$$i_y = \sqrt{\frac{J_y}{F}} \quad (68)$$

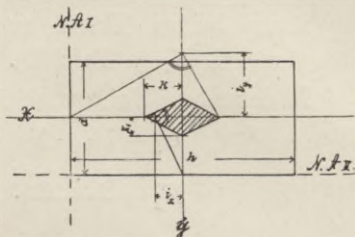


Abb. 34.

Es ist ferner nach Gleichung 4 bzw. 5:

$$W_{y_{max}} = F \cdot k \quad (69)$$

$$W_{x_{max}} = F \cdot k_1 \quad (70)$$

Diese Konstruktion des Kernes für einen Querschnitt ist wie bekannt bei allen Figuren ähnlich, wenn noch als Regel betrachtet wird, daß zu jeder Seite eines Querschnittes ein Kernpunkt, und zu jeder Kante eine Seite des Kernes gehört. Liegt der Druckmittelpunkt wie bei den Pfeilerquerschnitten außerhalb der X- oder Y-Achse, so ergibt sich folgende Ermittlung (Abb. 35):

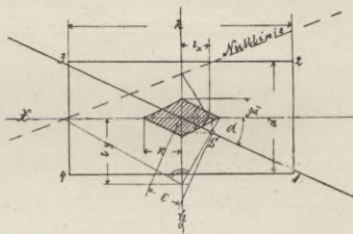


Abb. 35.

$$M_s = N \cdot \varepsilon \quad (71)$$

und somit:

$$M_x = \dot{M}_s \cdot \cos \alpha \quad (72)$$

$$M_y = M_s \cdot \sin \alpha \quad (73)$$

Die Beanspruchungen in Punkt 1, 2, 3 und 4 sind:

$$\sigma_1 = + \frac{M_x}{W_y} + \frac{M_y}{W_x} + \frac{N}{F} \quad 74)$$

$$\sigma_2 = + \frac{M_x}{W_y} - \frac{M_y}{W_x} + \frac{N}{F} \quad 75)$$

$$\sigma_3 = - \frac{M_x}{W_y} - \frac{M_y}{W_x} + \frac{N}{F} \quad 76)$$

$$\sigma_4 = - \frac{M_x}{W_y} + \frac{M_y}{W_x} + \frac{N}{F}, \quad 77)$$

wöbei

$$W_y = \frac{J_y}{e} = \frac{d h^2}{2} = F \cdot \frac{h}{6}$$

$$W_x = \frac{J_x}{e_1} = \frac{h d^2}{6} = F \cdot \frac{d}{6}.$$

Aus diesem ist ersichtlich, dafs in 1 die grösste und in 3 die kleinste Druckbeanspruchung auftritt. Die Ermittlung der Beanspruchungen in Fuge 1 ist auf Tafel II dargestellt.

Fuge 1:

$$N = 768 \text{ cbm} \cdot 2,3 = 1766 \text{ t}$$

$$F = 5,0 \cdot 3,8 = 19 \text{ qm}.$$

Dann ist:

$$S_1 = \frac{N}{F} = \frac{1766000}{190000} = 9,4 \text{ kg/cm}^2.$$

Wird dieser Wert in der Mitte der Linie, welche senkrecht zur Nullachse steht, aufgetragen und der so gefundene Punkt mit dem der Nulllinie verbunden, so ergibt sich die Spannungsverteilung des Querschnittes. Oft lassen sich die beiden Punkte der Nulllinie nicht mehr auf das Zeichenblatt bringen, oder wenigstens einer derselben nicht.

In dem Falle wird folgende Konstruktion mittelst der Trägheitsellipse angewendet (Abb. 36 und Fuge II und III auf Tafel II).

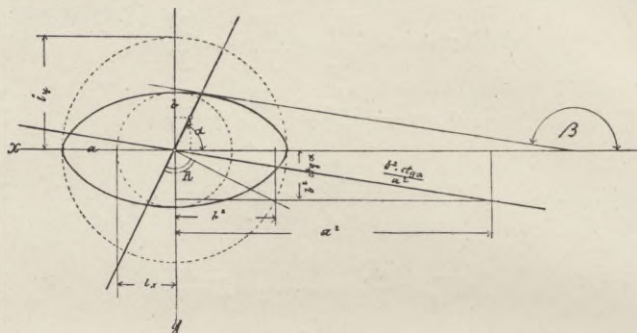


Abb. 36.

In bezug auf die Hauptachsen ergibt sich für die Ellipse die Mittelpunktsgleichung, wenn mit  $a$  und  $b$  die beiden Halbachsen bezeichnet werden, zu:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1. \quad (78)$$

Daraus ist:

$$\operatorname{tg} \beta = -\frac{1}{\operatorname{tg} \alpha} \cdot \frac{b^2}{a^2} \quad (\text{Abb. 36}). \quad (79)$$

Hieraus folgt die Konstruktion, mit welcher Fuge 2 untersucht wird. Die Darstellung der Spannungen ist aus Tafel II ersichtlich.

Fuge 2:

$$J_x = \frac{h \cdot d^3}{12} + 2 \frac{r^4 \pi}{8} = 39 + 21 = 60 \text{ m}^4$$

$$J_y = \frac{d \cdot h^3}{12} + 2 J_2,$$



wobei  $J_2$  das Trägheitsmoment eines Halbkreises ist, bezogen die auf  $Y$ -Achse.

$J_s$  = Trägheitsmoment des Halbkreises in bezug auf den Schwerpunkt.

$F$  = Fläche des Halbkreises.

$$J_s = J_1 - F \cdot e_1^2$$

$$J_s = J_2 - F \cdot e_2^2$$

$$J_2 = J_1 + F \cdot e_2^2 - F \cdot e_1^2 = J_1 + F(e_2^2 - e_1^2),$$

wobei:

$$e_1 = 0,95 \text{ m}$$

$$e_1^2 = 0,90 \text{ m}^2$$

$$e_2 = 3,45 \text{ m}$$

$$e_2^2 = 11,9 \text{ m}^2.$$

$$J_1 = \frac{r^4 \pi}{8} = 10,1 \text{ m}^4$$

$$F = \frac{r^2 \pi}{2} = \frac{2,25^2 \cdot 3,14}{2}$$

$$F = 7,9 \text{ m}^2$$

$$J_2 = 10,1 + 7,9(11,9 - 0,9) = 97,0 \text{ m}^4.$$

Es ist demnach:

$$J_y = \frac{d \cdot h^3}{12} + 2 J_2$$

$$J_y = 47 + 2 \cdot 97,6 = 240 \text{ m}^4.$$

Der Flächeninhalt des ganzen Querschnittes:

$$F_1 = b \cdot h + r^2 \pi$$

$$F_1 = 5,0 \cdot 4,5 + 2,25^2 \cdot 3,14$$

$$F_1 = 38,4 \text{ m}^2.$$

Dann ist:

$$i_x = \sqrt{\frac{J_x}{F_1}} = \sqrt{\frac{60}{38,4}} = 1,25 \text{ m}$$

$$i_y = \sqrt{\frac{J_y}{F_1}} = \sqrt{\frac{240}{38,4}} = 2,50 \text{ m.}$$

Der Kern dieses Querschnittes ist eine Parabel.

Nach Gleichung 4 bzw. 5 ist:

$$k \cdot F = W = \frac{J}{e}$$

$$k_1 = \frac{J_x}{e_x \cdot F_1} = \frac{60}{2,25 \cdot 38,4} = 0,67 \text{ m}$$

$$k_2 = \frac{J_y}{e_y \cdot F_1} = \frac{240}{4,75 \cdot 38,4} = 1,22 \text{ m.}$$

Hiernach läßt sich der Kern des Querschnittes konstruieren nach der Gleichung:

$$y^2 = 2px \quad 80)$$

wobei  $y = 0,67 \text{ m}$  und  $x = 1,22 \text{ m}$  ist.

Es ist:  $N = 2190 \text{ t}$ ;  $F_1 = 38,4 \text{ m}^2$

$$S_1 = \frac{N}{F_1} = \frac{2190000}{384000} = 5,7 \text{ kg/cm}^2.$$

Die Auftragung erfolgt wie bei Fuge I (Tafel II).

Fuge 3:

Der Querschnitt dieser Fuge ist wiederum ein Rechteck also:

$$S_1 = \frac{N}{F}$$

wobei  $N = 2800 \text{ t}$ ;  $F = 8,0 \cdot 11,0 = 88 \text{ m}^2$ ,

mithin:  $S_1 = \frac{2800000}{880000} = 3,2 \text{ kg/cm}^2.$

Wird dieser Wert in der Mitte der Linie senkrecht zur Nullachse aufgetragen und der so erhaltene Punkt mit dem der Nulllinie verbunden, so ergibt sich die Verteilung der Spannungen des Querschnittes wie in Fuge 1. Die Nullachse ist wie bei Fuge 2 mittelst der Trägheitsellipse gefunden.

## Neunter Abschnitt.

**Statische Untersuchung der Widerlager.****1. Die wirkenden Kräfte.**

Für die Widerlager wird ebenso wie bei den Pfeilern zunächst ein Querschnitt angenommen und, wenn dieser nicht ausreicht, so lange geändert, bis die Beanspruchungen nicht mehr überschritten werden. Bei der statischen Untersuchung der Widerlager kommen in Frage:

1. das Eigengewicht des Gewölbes,
2. die ungünstigste Verkehrslast,
3. die Belastungen, welche auf das Widerlager direkt wirken,
4. das Eigengewicht des Widerlagers und der senkrecht wirkenden Erdlasten,
5. der Erddruck.

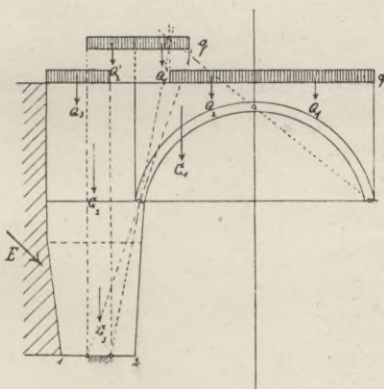


Abb. 37.

Die Belastungen des Gewölbes und Widerlagers für die ungünstigste Kantenpressung in 1 bzw. 2 sind auf Abb. 37 und Tafel III dargestellt. Hier sind für die Mauerwerksfuge, sowie für die Fundamentsohle die ungünstigsten Laststellungen ermittelt und daraus die jeweiligen Beanspruchungen gefunden.

## 2. Erddruck.

Die Größe des Erddruckes ist abhängig:

1. von dem Reibungswinkel  $\varphi$  (Erde auf Erde),
2. von dem Reibungswinkel  $\varphi_1$  (Erde auf Mauerwerk),
3. von der Kohäsion (allerdings selten),
4. von dem Gewicht der Erde.

Für den Erddruck sind die Grenzen des Reibungswinkels:

$$\varphi = 30^\circ \div 45^\circ.$$

Und zwar werden die Kantenpressungen in 1 gerechnet:

für  $\varphi = 45^\circ$  (ohne Verkehrslast)

Die Kantenpressungen in 2:

für  $\varphi = 30^\circ$  (mit Verkehrslast)

$$1 \text{ cbm Erde} = 1800 \text{ kg.}$$

Wird  $\varphi_1 = \varphi$  gesetzt, und ist die Geländefläche eine Ebene, wodurch sich die Konstruktion der Gleitfläche vereinfacht, so ergibt sich folgende Ermittlung des Erddruckes (Abb. 38 Rebhansscher Satz).

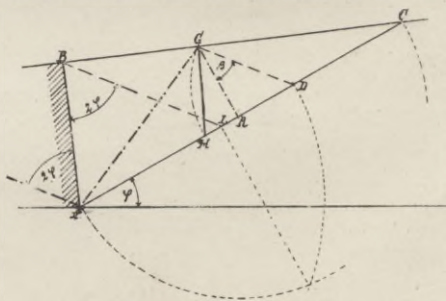


Abb. 38.

Hier ist  $GD = DH$

$\triangle DGH =$  Erddruck  $E$  in  $\text{cbm}$  auf  $1,0^{\text{m}}$  Tiefe.

$$E:P = DG:AD$$

und da

$$DG = DH \text{ ist}$$

$$E:P = DH:DA.$$

Ferner

$$\triangle DGH:\triangle DGA = DH:DA$$

$$\triangle DGA = P$$

und

$$DH:DA = E:P, \text{ folglich}$$

$$\triangle DGH = E.$$

81)

Für die Untersuchung des Widerlagers sind zwecks Vereinfachung der Rechnung folgende Annahmen gemacht:

1. Wagerechte Abgleichung,
2.  $AB$  ist senkrecht,
3.  $\varphi_1 = 0$  (Reibungswinkel von Erde auf Mauerwerk).

Dann ist

$$E = \frac{h^2}{2} tg^2 \left( 45 - \frac{\varphi}{2} \right) \text{ in } \text{cbm} \text{ für } 1,0^{\text{m}} \text{ Tiefe.}$$

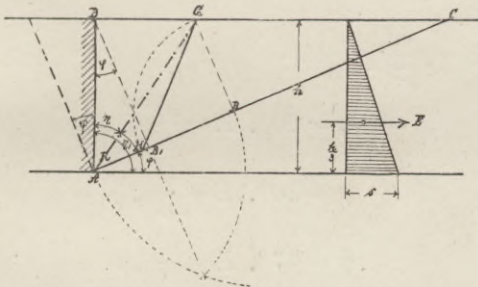


Abb. 39.

Unter diesen Annahmen ist nach Abb. 39:

$$\triangle ABG = \triangle AGD$$

$$\triangle ABG \cong \triangle AGD$$

$$\frac{AD = AB = h}{}$$

Ist nun:

$$\begin{aligned}\eta &= \eta_1 \quad \text{und} \\ \eta + \eta_1 &= 90 - \varphi, \quad \text{so} \\ \eta &= 45 - \frac{\varphi}{2}.\end{aligned}$$

Der Erddruck:

$$E = \Delta D G H = \frac{D G \cdot D H}{2} \text{ in } \text{cbm}.$$

Da nun  $D G = D H$ , ist auch:

$$D G = A D \cdot \text{tg} \cdot \left(45 - \frac{\varphi}{2}\right).$$

$A D = h$ , also:

$$D G = h \cdot \text{tg} \left(45 - \frac{\varphi}{2}\right),$$

folglich:

$$E = \frac{h^2}{2} \text{tg}^2 \cdot \left(45 - \frac{\varphi}{2}\right) \text{ in } \text{cbm} \text{ pro } 1,0^{\text{m}} \text{ Tiefe} \quad 82)$$

oder:

$$E = \gamma \frac{h^2}{2} \text{tg}^2 \cdot \left(45 - \frac{\varphi}{2}\right) \text{ in } \text{t} \text{ pro } 1,0^{\text{m}} \text{ Tiefe.} \quad 83)$$

$$\varphi = 20^{\circ}, \quad E = \frac{h^2 \text{cbm}}{4}$$

$$\varphi = 30^{\circ}, \quad E = \frac{h^2}{6} \text{ ,,}$$

$$\varphi = 37^{\circ}, \quad E = \frac{h^2}{8} \text{ ,,}$$

$$\varphi = 40^{\circ}, \quad E = \frac{h^2}{10} \text{ ,,}$$

$$\varphi = 45^{\circ}, \quad E = \frac{h^2}{12} \text{ ,,}$$

$$\varphi = 0 \text{ (Wasser).}$$

Die statische Untersuchung eines Widerlagers wird ähnlich durchgeführt, wie die der Mittelpfeiler. Allerdings ist hier für jede Fuge gesondert die ungünstigste Laststellung ermittelt (Tafel III).

Nach Ermittlung des Kämpferdruckes, welcher sich aus dem Auflagerdruck und dem Horizontalschub zusammensetzt, erfolgt weiter die Zusammensetzung mit dem Eigengewichte des Widerlagers und mit dem entsprechenden Erddruck, und zwar auf zeichnerischem Wege.

### 3. Rechnung der Erddrücke für Fuge 1 und 2.

Kantenpressung in 1:

$$\varphi = 45^{\circ} \text{ (ohne Verkehrslast).}$$

Kantenpressung in 2:

$$\varphi = 30^{\circ} \text{ (mit Verkehrslast).}$$

$$\operatorname{tg}^2 \left( 45 - \frac{45}{2} \right) = \operatorname{tg}^2 22,5^{\circ} = 0,17$$

$$\operatorname{tg}^2 \left( 45 - \frac{30}{2} \right) = \operatorname{tg}^2 30^{\circ} = 0,33$$

$$\text{Fuge 1: } h_{\min} = 15,45^{\text{m}}$$

$$h_{\max} = 16,45^{\text{m}}.$$

Für die Kantenpressung in 1:

$$E_{\min} = \frac{h^2}{2} \operatorname{tg}^2 \left( 45 - \frac{\varphi}{2} \right)$$

$$E_{\min} = \frac{15,45^2}{2} \cdot 0,17 \text{ in } \text{cbm} \text{ pro } 1,0^{\text{m}} \text{ Tiefe}$$

$$E_{\min} = \frac{15,45^2}{2} \cdot 0,17 \cdot 4,5 \cdot 1,8 \text{ in } \text{t} \text{ für die ganze Tiefe}$$

$$E_{\min} = 165 \text{ t.}$$

Für die Kantenpressung in 2:

$$E_{max} = \frac{h^2}{2} \cdot \operatorname{tg}^2 \cdot \left(45 - \frac{\varphi}{2}\right)^{\text{cbm}}$$

$$E_{max} = \frac{16,45^2}{2} \cdot 0,33 \cdot 4,5 \cdot 1,8 \text{ in } ^t \text{ für die ganze Tiefe}$$

$$E_{max} = 360 ^t.$$

Fuge 2:  $h_{min} = 18,45^m$   
 $h_{max} = 19,45^m.$

Für die Kantenpressung in 1:

$$E_{min} = \frac{18,45^2}{2} \cdot 0,17 \cdot 4,5 \cdot 1,8 \text{ in } ^t \text{ für die ganze Tiefe}$$

$$E_{min} = 235 ^t.$$

Für die Kantenpressung in 2:

$$E_{max} = \frac{19,45^2}{2} \cdot 0,33 \cdot 4,5 \cdot 1,8 \text{ in } ^t \text{ für die ganze Tiefe}$$

$$E_{max} = 505 ^t.$$

Nach der vereinfachten Rechnung des Erddruckes kann der Wert von  $E$  als Inhalt eines rechtwinkligen Dreiecks angesehen werden, dessen Höhe  $= h$  und dessen Grundlinie  $s = h \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2}\right)$  ist. Der Angriffspunkt des Erddruckes liegt im Schwerpunkte (Abb. 39).

Es ist dann:

$$E = \frac{h \cdot s}{2} = \frac{h^2}{2} \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2}\right)^{\text{cbm}}.$$

#### 4. Beanspruchungen der Fugen.

Fuge 1:  $F = h \cdot b = 6 \cdot 4,5 = 27 \text{ m}^2$

$$N_{min} = 1752 ^t$$

$$N_{max} = 1720 ^t$$

$$\varepsilon_{min} = 0,37 ^m$$

$$\varepsilon_{max} = 0,80 ^m$$



$$\sigma_{min} = \frac{N}{F} \left( 1 \pm \frac{6\varepsilon}{h} \right)$$

$$\sigma_{min} = \frac{1752}{27 \cdot 10} \left( 1 \pm \frac{6 \cdot 0,37}{6} \right) = 8,9 \text{ kg/cm}^2 \text{ bzw. } 4,1 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{max} = \frac{1720}{27 \cdot 10} \left( 1 \pm \frac{6 \cdot 0,80}{6} \right) = 11,7 \text{ „ „ } 1,27 \text{ „}$$

$$\text{Fuge 2: } F = b \cdot h = 8,0 \cdot 9,0 = 72 \text{ m}^2$$

$$N_{min} = 2415 \text{ t}$$

$$N_{max} = 2405 \text{ t}$$

$$\varepsilon_{min} = 0,83$$

$$\varepsilon_{max} = 0,40$$

$$\sigma_{min} = \frac{2415}{72 \cdot 10} \left( 1 \pm \frac{6 \cdot 0,83}{9} \right) = 5,0 \text{ kg/cm}^2 \text{ bzw. } 1,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{max} = \frac{2405}{72 \cdot 10} \left( 1 \pm \frac{6 \cdot 0,40}{9} \right) = 4,2 \text{ „ „ } 2,45 \text{ „}$$

Die Darstellung dieser Werte ist aus Tafel III ersichtlich.

---

## Zehnter Abschnitt.

**Berechnung der Gelenke.****1. Aufstellung der allgemeinen Gleichungen.**

Die großen Vorteile für die Einfügung von Gelenken bei Bogenbrücken sind bereits im ersten Abschnitt erwähnt. Durch Ausbildung von Gelenken im Scheitel und an den Kämpfern werden die Störungen im Gewölbe nach allen Richtungen hin, besonders die Bildung von Rissen, beseitigt.

Das Nachgeben des Lehrgerüsts, ein Hauptfaktor für die Störungen im Gewölbebogen, kann zum Teil schon durch Anwendung einer bestimmten Art der Ausführung des Gewölbes unschädlich gemacht werden.

Die Gelenke werden in Eisen, natürlichen Steinen oder künstlichen Steinen ausgeführt.

Bei vorliegendem Bauwerke sollen wegen der großen Pressungen Granitgelenke verwendet werden.

Die Gelenkquader werden auf Biegung und rückwirkende Festigkeit stark beansprucht. Eingehende Versuche über Elastizität und Festigkeit des Materials sind von Professor Föppl-München und Baudirektor von Bach-Stuttgart vorgenommen und haben gute Ergebnisse geliefert.

Die Berechnung von zwei aufeinander abrollenden Gelenken bei Stein- und Betonbrücken erfolgt nach Köpcke unter der Annahme, daß die in der Berührungsfuge auftretende größte Zusammendrückung sich auf die Höhe  $h$

des Gelenksteines erstrecke, nur daß die Pressungsfläche eine ebene Fläche werde.

Erläuterungen:

$P$  = Druck auf das Gelenk in kg.

$R$  = Krümmungshalbmesser der Gelenkfläche in cm.

$E$  = Elastizitätszahl für Granit in  $\text{kg}/\text{cm}^2$ .

$d$  = Gewölbe- bzw. Gelenkstärke in cm.

$h$  = Höhe der Gelenksteine in cm.

$f$  = Abstand von Mitte Gelenk bis Anfang der Krümmung in cm.

$2s$  = Breite der Eindrückung in cm.

$\lambda$  = Zusammendrückung in cm.

$a$  = Abstand zwischen den Kanten der beiden Gelenksteine in cm.

Die Zusammendrückung:

$$\lambda = \sqrt[3]{\frac{9 P^2 \cdot h^2}{32 R \cdot E^2}}. \quad (84)$$

Die Aufstellung der Gleichungen erfolgt für Abb. 40. Die gefundenen Werte werden dann für die bei vorliegendem Bauwerke in Anwendung kommende Form der Gelenke, Abb. 41, übertragen.

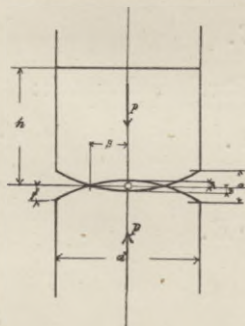


Abb. 40.

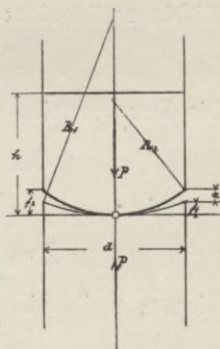


Abb. 41.

Nach Abb. 40 ist:

$$R^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2 = (R - f)^2$$

hieraus:

$$R = \frac{d^2}{8f}. \quad (85)$$

Dann ist:

$$s^2 = \lambda(2R - \lambda) \quad (86)$$

$$s = \sqrt{2R\lambda} \quad (\text{als Näherungswert}). \quad (87)$$

Hieraus ist:

$$R = \frac{s^2}{2\lambda}. \quad (87)$$

Nach der Elastizitätsgleichung kann für die größte Beanspruchung in der Berührungsfläche das Verhältnis aufgestellt werden:

$$\sigma : E = \lambda : h = P : F \cdot E.$$

Daraus:

$$\sigma = \frac{\lambda}{h} \cdot E = \frac{P}{F} \quad (88)$$

und:

$$\lambda = \frac{\sigma \cdot h}{E}. \quad (89)$$

Mithin ergibt sich:

$$P = \frac{\lambda}{h} \cdot F \cdot E. \quad (90)$$

Die Druckverteilung ist eine Parabel, demnach:

$$F = \frac{2}{3} \cdot 2s \cdot l. \quad (91)$$

Dann ist:

$$P = \frac{\lambda}{h} \cdot \frac{2}{3} \cdot 2 \cdot s \cdot E. \quad (92)$$

Hieraus ergibt sich:

$$s = \frac{3}{4} \cdot \frac{P \cdot h}{E \cdot \lambda}. \quad (93)$$

Durch Einsetzung des Wertes für  $\lambda$  aus Gleichung 89 ist:

$$\sigma = \frac{3}{4} \frac{P}{s}. \quad (94)$$

Den Wert für  $s$  aus Gleichung 93 in Gleichung 87 eingesetzt, gibt:

$$\left(\frac{3}{4}\right)^2 \cdot \frac{P^2 h^2}{E^2 \lambda^2} = 2 R \cdot \lambda,$$

oder:

$$\lambda = \sqrt[3]{\frac{9}{32} \cdot \frac{P^2 \cdot h^2}{R \cdot E^2}} \quad (\text{s. Gleichung 84}).$$

Nach Abb. 40 ist  $a = 2f$ .

## 2. Berechnung des Gelenkes im Scheitel.

Stärke der Gelenksteine  $d = 70 \text{ cm}$ .

Höhe der Gelenksteine  $h = 70 \text{ cm}$ .

Die Breite der Zusammendrückung  $2s$  wird nach Erfahrungswerten  $= \frac{d}{5}$  gesetzt, da sonst der Reibungswiderstand zu groß wird, und dadurch Momente auftreten.

$$2s = \frac{d}{5} = \frac{70}{5} = 14 \text{ cm}; \quad s = 7 \text{ cm}.$$

Der Horizontalschub für volle Belastung:

$$H = 118^t \text{ pro } 1,0 \text{ m Tiefe.}$$

Die Kraft für  $1 \text{ cm}$  Tiefe gerechnet gibt:

$$P = 1180 \text{ kg}.$$

Elastizitätszahl für Granit:

$$E = 250\,000 \text{ kg/cm}^2.$$

Die Druckfestigkeit der hier zu verwendenden Granitsteine beträgt:

$$D = 1200 \text{ kg/cm}^2.$$

Bei 9 facher Sicherheit ist die Druckbeanspruchung:

$$\sigma = \frac{1200}{9} \leq 133 \text{ kg/cm}^2.$$

Nach Abb. 40 und unter Benutzung der entwickelten Gleichungen ist:

$$\sigma = \frac{3}{4} \frac{P}{s} \quad (\text{s. Gl. 94}).$$

$$\sigma = \frac{3}{4} \cdot \frac{1180}{7} = 126 \text{ kg/cm}^2$$

$$\lambda = \frac{\sigma h}{E} = \frac{126 \cdot 70}{250000} = 0,035 \text{ cm}.$$

Dann ist nach Gleichung 87:

$$R = \frac{s^2}{2\lambda} = \frac{7 \cdot 7}{2 \cdot 0,035} = 700 \text{ cm}.$$

Aus Gleichung 85 ergibt sich:

$$f = \frac{\left(\frac{d}{2}\right)^2}{2R} = \frac{35^2}{2 \cdot 700} = 0,85 \text{ cm}$$

$$a = 2f = 1,70 \text{ cm}.$$

Nachdem nun  $a$  berechnet ist, läßt sich auch die Berechnung für Abb. 41 ermitteln, also für die bei diesem Bauwerke in Anwendung kommenden Gelenke, die eine Gelenkfläche konvex, die andere konkav gekrümmt. Der kleinere Radius wird angenommen und der gröfsere danach ermittelt.

Es sei der kleinere Radius:

$$R_2 = 200 \text{ cm}.$$

Dann ist:

$$f_2 = \frac{\left(\frac{d}{2}\right)^2}{2 \cdot R_2} = \frac{35^2}{2 \cdot 200} = 3,06 \text{ cm}$$

$$a = f_2 - f_1.$$

Da  $a = 1,7 \text{ cm}$  ist, folgt:

$$f_1 = (f_2 - a)$$

$$f_1 = (3,06 - 1,7) = 1,36 \text{ cm}.$$

Dann ist:

$$R_1 = \frac{\left(\frac{d}{2}\right)^2}{2 \cdot f_1} = \frac{35^2}{2 \cdot 1,36} = 450 \text{ cm}.$$

### 3. Berechnung der Gelenke an den Kämpfern.

$$h = d = 80 \text{ cm} \quad (\text{Abb. 41})$$

$$2s = \frac{d}{5} = 16 \text{ cm}$$

$$s = 8 \text{ cm}.$$

Der größte Kämpferdruck, also der für volle Belastung:

$$K = 180^t \text{ für } 1,0^m \text{ Tiefe.}$$

Die Kraft für  $1 \text{ cm}$  Tiefe gibt:

$$P = 1800 \text{ kg}.$$

Die Druckfestigkeit des hier zu verwendenden Granits:

$$D = 1600 \text{ kg/cm}^2.$$

Bei 9 facher Sicherheit ist die Druckbeanspruchung:

$$\sigma = \frac{1600}{9} \leq 178 \text{ kg/cm}^2.$$

Es ist wie vor:

$$\sigma = \frac{3}{4} \cdot \frac{P}{s}$$

$$\sigma = \frac{3}{4} \cdot \frac{1800}{8} = 169 \text{ kg/cm}^2.$$

Die Zusammendrückung:

$$\lambda = \frac{\sigma \cdot h}{E} = \frac{169 \cdot 80}{250000} = 0,054 \text{ cm}$$

Der Krümmungsradius:

$$R = \frac{s^2}{2\lambda} = \frac{8 \cdot 8}{2 \cdot 0,054} = \text{rd } 595 \text{ cm}$$

$$f = \frac{\left(\frac{d}{2}\right)^2}{2R} = \frac{40^2}{2 \cdot 595} = 1,34 \text{ cm}$$

$$a = 2f = 2 \cdot 1,34 = 2,68 \text{ cm}.$$

Es wird jetzt wiederum bei Anwendung der gerechneten Werte auf vorliegenden Fall (Abb. 41) der eine Radius angenommen und der andere dann ermittelt.

$$R_2 = 150 \text{ cm}.$$

Dann ist:

$$f_2 = \frac{\left(\frac{d}{2}\right)^2}{2R_2} = \frac{40^2}{2 \cdot 150} = 5,66 \text{ cm}$$

$$a = f_2 - f_1 = 2,68 \text{ cm}.$$

folglich ist:

$$f_1 = (f_2 - a) = (5,66 - 2,68) = 2,98 \text{ cm}.$$

Somit ergibt sich:

$$R_1 = \frac{\left(\frac{d}{2}\right)^2}{2f_1} = \frac{40^2}{2 \cdot 2,98} = \text{rd } 265 \text{ cm}.$$


---



## Elfter Abschnitt.

**Das Lehrgerüst.****1. Allgemeines.**

Jedes sachgemäÙs ausgeführte Lehrgerüst muÙ folgende Bestandteile haben:

1. Stützen,
2. Unterzüge,
3. Querträger (Felgen),
4. Schalung,
5. Querverbindungen,
6. Ausrüstungsvorrichtungen.

Diese sechs Hauptteile können alle Bedingungen für ein Lehrgerüst erfüllen. Sie bilden eine Lehre zur Herstellung des Gewölbes, vermitteln die Übertragung der Last des noch nicht geschlossenen Gewölbebogens auf feste Stützpunkte und ermöglichen ein Senken oder Heben während der Ausführung, bzw. die Ausrüstung und Ausschalung des fertigen Gewölbebogens.

Die Entfernung der Lehrbögen beträgt 1 bis 2 m. Eine gute Querverbindung derselben gegeneinander ist erforderlich.

Die Gewölbelast wird durch die Schalhölzer und Felgen auf die Stützen übertragen und gelangt weiter durch die Unterzüge auf die festen Stützpunkte des Pfahlrostes.

Als Schalung dienen Bretter oder Schalhölzer, welche eine Lehre für die innere Leibung des Gewölbes bilden.

Die Ausrüstungsvorrichtungen bestehen am zweckmässigsten aus Schraubenspindeln oder Sandtöpfen in Verbindung mit Doppelkeilen. Hiermit lassen sich alle erforderlichen Bewegungen, wie Anheben, Senken und Ausrüsten der Brückengewölbe ausführen.

Die meisten Lehrgerüste werden nach freitragendem System erbaut, vereinzelt findet auch das schwebende Lehrgerüst Anwendung.

Bei vorliegendem Bauwerk ist ersteres gewählt worden. Für die Schifffahrt mußte eine hinreichend große Öffnung freigelassen werden (Abb. 42).

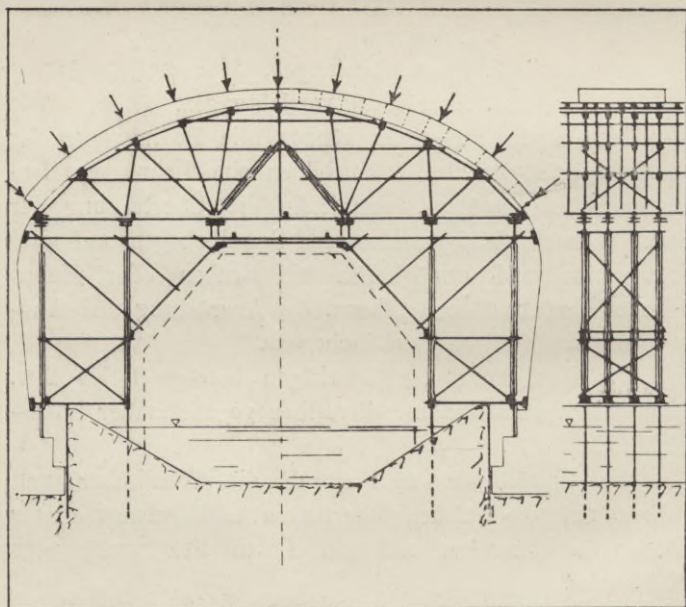


Abb. 42.

Abb. 42.

## 2. Berechnung der Druckhöhen.

Die auf das Lehrgerüst wirkenden äußeren Kräfte sind die aus der Gewölbelast herrührenden Drücke und die dadurch in den festen Stützpunkten des Lehrgerüsts hervorgerufenen Stützenwiderstände.

Es handelt sich hier zunächst um die Kenntnis des Druckes, den das Gewölbe an irgend einer Stelle des Kranzes auf das Lehrgerüst ausübt.

Nach Abb. 43 wird die senkrechte Kraft  $G$  eines Gewölbesteines zerlegt in die Normale  $N$ , senkrecht zu der Verbindungsfuge, und in die Normale  $Q$ , senkrecht zur unteren Leibung.  $Q$  muß vom Lehrgerüst aufgenommen werden, während  $N$  nur zum Teil darauf wirkt (Abb. 43).

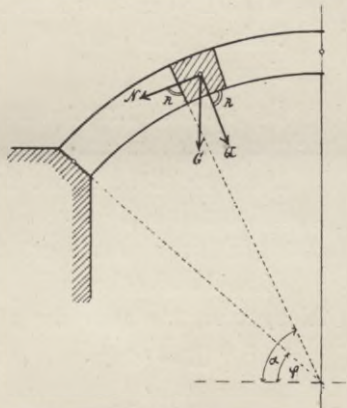


Abb. 43.

$$N = G \cdot \cos \alpha$$

$$Q = G \cdot \sin \alpha.$$

Das Lehrgerüst selbst hat die Kraft  $R$  aufzunehmen.

$$R = G \sin \alpha - f \cdot G \cdot \cos \alpha. \quad 95)$$

Für die Berechnung dieses Druckes kann das Lehrgerüst als starr angesehen und durchweg  $f = \operatorname{tg} \varphi'$  eingesetzt werden.

Reibungsziffer von Stein auf Stein:

$$f = \operatorname{tg} \varphi' = 0,3 \div 0,57.$$

Ist:

$$\varphi' = 26^{\circ} 30', \text{ so}$$

$$f = \operatorname{tg} \varphi' = 0,5.$$

Der senkrechte Druck auf die Flächeneinheit und Schalung für eine Wölbtiefe = 1 ist nach Abb. 44:

$$p = \gamma \cdot d \cdot \sin \alpha \quad 96)$$

wobei:

$\gamma$  = Gewicht von 1 <sup>cbm</sup> Gewölbemauerwerk,

$d$  = Gewölbestärke,

$\alpha$  = Winkel, den die Mittellinie des Steines mit der Wagerechten einschließt.

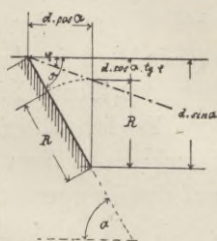


Abb. 44.

Der größte Druck wird in der obersten der eingebrachten Schichten auftreten.

Die Druckhöhe  $R$  ist der an irgend einer Stelle auf die Flächeneinheit der Schalung normal zur inneren Leibungsfläche wirkende größte Druck auf das Lehrgerüst.

Diese Druckhöhe ergibt sich durch Rechnung aus dem Gleichgewichtszustande der obersten Gewölbeschicht:

$$R = (d \sin \alpha - d \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi') \cdot \gamma$$

$$R = \left( d \sin \alpha - \frac{d \cos \alpha \cdot \sin \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi'}{\sin \alpha} \right) \cdot \gamma$$

$$R = \left( d \sin \alpha (1 - \operatorname{ctg} \alpha \operatorname{tg} \varphi') \right) \gamma. \quad 97)$$

Der obere Grenzwert der Druckhöhe wird im Scheitel erreicht für  $\alpha = 0$ , dann ist:

$$R_{\max} = \gamma \cdot d. \quad 98)$$

### 3. Graphische Ermittlung der Belastungsfläche.

Die untere Leibung wird in beliebig viele gleiche Teile zerlegt und von dem in der äußeren Leibungslinie liegenden Punkt der Fuge eine Parallele zu dem Schenkel des

gewählten Winkels  $\varphi'$  gezogen. Diese schneidet die durch den unteren Leibungspunkt der Fuge gelegte Senkrechte, und es ergibt sich so die Druckhöhe  $R$  (Abb. 44). Die ermittelte Druckhöhe wird auf der Fuge abgetragen, und die Verbindung dieser Punkte stellt die Belastungsfläche für das Lehrgerüst dar. Ist  $\alpha = \varphi'$  (ermittelter Reibungswinkel von Stein auf Stein), so ist  $R = 0$ .

#### 4. Spannkräfte der einzelnen Teile und ihre Berechnung.

Die Stützenwiderstände werden, wie schon erwähnt, aus den von der Gewölbelaast herrührenden Drücken ermittelt. Sobald die Grenzwerte der Drücke in jedem Knotenpunkte des Kranzes bekannt sind, läßt sich der Binder ähnlich wie ein Brückenträger berechnen.

Genau genommen sind die meisten Bindertragwerke statisch unbestimmt. Ihre Berechnung könnte daher nur durch Feststellung der Formänderungen in den einzelnen Punkten der Tragwerke durchgeführt werden.

Diese große Mühe für die Durchführung der Berechnung dürfte jedoch von geringem Nutzen sein. Außerdem ist es schwierig, bei Holzgerüsten eine genaue Berechnung der Formänderungen durchzuführen, und fernerhin würden die mit Hilfe der Elastizitätstheorie ermittelten Spannkräfte mit den wirklich vorhandenen doch nicht übereinstimmen, wegen der noch recht unsicheren Angaben über die Elastizitätszahlen.

Für ein Lehrgerüst kommt es nicht darauf an, ob die Querschnitte der einzelnen Teile auch genau den theoretisch ermittelten Spannkraften entsprechen. Es soll nur die

Gewölbelaſt tragen können, und dürfen durch dieſe Laſt irgend welche Verſchiebungen der einzelnen Holzteile nicht ſtattfinden. Die Querschnitte dürfen alſo nicht zu ſchwach ſein, und iſt es beſſer, ſie lieber etwas ſtärker auszuführen als berechnet war.

Die Lehrgerüſte werden zweckmäßiſig erſt konſtruiert und nachher, ſoweit wie es möglich iſt, berechnet.

Es würde ſich dann alſo nur noch um eine Nachprüfung handeln, ob die einzelnen Querschnittsabmeſſungen nicht zu ſchwach angenommen ſind.

Wenn die Knoten des Bindertragwerkes als Gelenkknoten angenommen werden, ſo laſſen ſich die einzelnen Querschnittsabmeſſungen der Schalhölzer und Felgen, ſowie Streben und Stützen nach den einfachſten Regeln der Statik und Feſtigkeitslehre ermitteln.

Das Lehrgerüſt, auf Pfählen ruhend, iſt mit einer Beanspruchung des Holzes von  $80 \text{ kg/cm}^2$  berechnet worden. Das Holz ſenkrecht zur Längsfaſer darf weit weniger beansprucht werden, als dieſes in der Richtung der Faſer zuläſſig iſt.

Die Stützen des Lehrbogens müſſen auf Druck- und Knickfeſtigkeit unteſucht werden.

### 1. Unteſuchung auf Druckfeſtigkeit.

$$P = F \cdot \sigma, \quad (99)$$

wobei:

$P$  = Kraft in  $\text{kg}$ ,

$F$  = Querschnitt des Konſtruktionsteiles in  $\text{cm}^2$ ,

$$\sigma = \begin{cases} 50 \div 75 \text{ kg/cm}^2 & \text{für Weichholz} \\ 70 \div 110 \text{ kg/cm}^2 & \text{für Hartholz.} \end{cases}$$

## 2. Untersuchungen auf Knickfestigkeit.

Nach der Euler'schen Knickformel ist:

$$P \leq S \cdot m \frac{J \cdot E}{l^2}, \quad (100)$$

wobei:

$P$  = Kraft in  $\text{kg}$ ,

$S$  = Sicherheitswert gegen Knicken für Holz =  $\frac{1}{10}$ ,

$m$  = Befestigungsweise der Stabenden =  $\pi^2 = 10$ , da mit irgend welcher Einspannung des Stabendes selten gerechnet werden kann,

$J$  = kleinstes Trägheitsmoment des Querschnittes in  $\text{cm}^4$ ,

$l$  = Knicklänge in  $\text{cm}$ ,

$E$  = Elastizitätsmodul für Holz in  $\text{kg}/\text{cm}^2$ .

$$E = \begin{cases} 100\,000 \text{ kg}/\text{cm}^2 & \text{für Weichholz} \\ 110\,000 \text{ kg}/\text{cm}^2 & \text{für Hartholz.} \end{cases}$$

Aus Gleichung 100 folgt:

$$J \geq \frac{P \cdot l}{\frac{1}{10} \cdot 10 \cdot E}$$

oder die Knicklänge  $l$  in  $\text{m}$  und  $E$  mit 100 000 eingesetzt:

$$J \geq \frac{P \cdot l^2}{10}. \quad (101)$$

## 5. Das Lehrgerüst und seine Verbindungen.

Als Stützpunkte für ein festes Lehrgerüst dienen meistens eingerammte Pfähle. Diese können je nach Bedarf in beliebigen Höhen abgeschnitten werden. Die einzelnen Pfahlreihen oder Gruppen werden zu einem Pfahljoch vereinigt und durch Zangen und Streben mit-

einander verbunden, um seitliche Verschiebungen zu verhüten.

Die Entfernung der Lehbinder beträgt bei vorliegendem Bauwerke  $1,33^m$  von Mitte zu Mitte gemessen.

Vorrichtungen zum Ausrüsten sind, wenn irgend möglich, über dem höchsten Wasserstande anzubringen. Sie werden in die Achsen der Stützpunkte direkt unter den zu senkenden oberen Lehrgerüstteil gestellt, damit in den angrenzenden Hölzern keine Biegungsspannungen entstehen.

Hauptknotenpunkte, d. h. die Stellen, wo mehrere Hölzer aus verschiedenen Richtungen zusammentreffen, sind mit großer Sorgfalt herzustellen. Es muß in allen Knotenpunkten eine regelrechte Übertragung der Drücke stattfinden, und jeder Lehbogen soll in gleicher Weise tragen.

Die Schubfestigkeit des Holzes ist etwa  $\frac{1}{10}$  der Druckfestigkeit. Daher sind Zugverbindungen nach Möglichkeit zu vermeiden. Sie lockern sich leicht und die Verbindungsteile werden dann meist auf Abscherung parallel zu den Holzfasern beansprucht.

Die Knotenpunkte werden durch Schraubenbolzen zusammengehalten. Einlegen von dünnen Bleiplatten oder Zinkblechen in die Stoßfugen ist von großem Vorteil, da hierdurch eine gleichmäßsigere Druckübertragung stattfindet. Daher ist es auch zweckmäßig, in etwa offenstehende Fugen Blechstücke einzutreiben, um spätere Senkungen des Gerüsts dadurch zu verhüten.

Für den Holzbedarf eines Lehrgerüsts kann nach Erfahrungswerten schätzungsweise  $1^{cbm}$  Holz auf  $3^{cbm}$  Gewölbemasse eingesetzt werden.

---



## Zwölfter Abschnitt.

**Ausführung von Betonbogenbrücken mit  
Granitgelenken.****1. Eigenschaften und Herstellung des Betons.**

Dem Stampfbeton, welcher für Brückengewölbe verwendet wird, sollen zweckmässig ausser einem Zusatz von Kiessand zu dem Zement auch noch einige Raumteile Steinschlag oder Kiessteine beigemischt werden. Nach den praktischen Erfahrungen erscheint für den Beton die zweckmässigste Zusammensetzung ein Raumteil Portland-Zement, zwei bis fünf Teile Kiessand und ebensoviel Raumteile Kiessteine bezw. Steinschlag zu sein. Letzterer ist als Zusatz zum Kiessande den Kiessteinen vorzuziehen, jedoch werden hier immer die örtlichen Verhältnisse und die Höhe der Kosten für den Steinschlag maßgebend sein.

Es wird noch teilweise die Ansicht vertreten, dass eine Betonmischung durch gröfseren Zusatz von Steinschlag mager und daher minderwertig werde. Dies ist jedoch keineswegs der Fall. Im Gegenteil erhält die Mischung durch Zusatz von Steinschlag bezw. Kiessteinen, wenn die richtigen Grenzen eingehalten werden, eine gröfsere Festigkeit sowohl gegen Druck- als auch gegen Zugbeanspruchung.

Die Betonmischung für die Gewölbe vorliegender Brücke mit einer zulässigen Druckbeanspruchung von  $28 \text{ kg/cm}^2$  bei 9 facher Sicherheit besteht aus 1 Raumteil Zement mit  $2\frac{1}{2}$  Raumteilen feinem Kiessand (möglichst

scharfkörnig) und 5 Raumteilen hartem Steinschlag (Schotter). Nach 28 Tagen beträgt die Druckfestigkeit dieser Mischung etwa  $250 \text{ kg/cm}^2$ . Die Festigkeit wird durch vorschriftsmäßig hergestellte Probekörper untersucht.

Die zweckmäßigste Zubereitung des Betons geschieht in Betonmischmaschinen. Hierdurch wird eine gröfsere Gleichmässigkeit der Masse und bessere Verteilung des Zementes erzielt als bei der Mischung durch die Hand. Bei den Gewölben, sowie Pfeilern und Widerlagern wird der Beton in Schichten von etwa  $20 \text{ cm}$  Stärke aufgebracht und dann so lange festgestampft, bis sich an der Oberfläche Wasser zeigt; d. h. der Beton mufs schwitzen. Die Betonmischung darf für die Herstellung von derartigen Bauwerken nicht naß und nicht trocken, sondern mufs „gut erdfeucht“ sein.

Für die Herstellung der Gewölbe ist es zweckmäßig, wenn die Schalung vorher geölt wird, damit sie sich bei der Ausrüstung leichter vom Gewölbe löst.

Wenn der Beton wasserdicht werden soll, wird er mit reinem Zementmörtel (1 Zement und 2 Sand) versehen, und zwar in zwei Schichten zusammen etwa  $10 \text{ cm}$  stark aufgebracht. Durch Hinzufügung von etwas Kalkmilch (etwa 0,1 Raumteil) wird diese Mischung geschmeidig.

## 2. Beschreibung der Ausführung.

Die Gründungen der Brücke können, falls kein grofser Wasserandrang vorhanden ist, in offener Schachtzimmerung erfolgen. Der Beton für die Widerlager und Pfeiler ist magerer als der für die Gewölbe und hat bei  $18 \text{ kg/cm}^2$  Druckfestigkeit und 9facher Sicherheit etwa eine Zusammensetzung von 1 Raumteil Zement zu 4 Teilen Sand und 6 Teilen Schotter. Die Druckfestigkeit nach 28 Tagen be-

trägt ungefähr  $160 \text{ kg/cm}^2$ . Der Beton wird dann, wie schon erwähnt, in etwa  $20 \text{ cm}$  dicken wagerechten Lagen aufgebracht und festgestampft. Die Schalungen für die Absätze werden jedesmal sofort nach dem Abbinden des Betons entfernt.

Das Lehrgerüst wird mit Rücksicht auf die bei der Ausrüstung entstehende Scheitelsenkung und auf das Schwinden des Holzes während der Bauausführung zweckmäÙig um 100 bis  $200 \text{ mm}$  erhöht, je nach Spannweite der Brücke. Bei vorliegendem Bauwerke genügt eine Erhöhung des Lehrgerüsts von etwa  $100 \text{ mm}$ .

Die Scheitelsenkung infolge Zusammenpressung des Betons bei der Ausrüstung beträgt etwa nur 10 bis  $20 \text{ mm}$ .

Das Betonieren des Gewölbes wird, auÙer in wagerechten Schichten, auch noch in Zwischenräumen zwischen einfachen Schalungen ausgeführt. Es wird zweckmäÙig in der Nähe des Scheitels begonnen und auf beiden Gewölbehälften in gleichen Abständen vom Scheitel fortgesetzt. Darauf werden die Zwischenräume auÙer denen der Gelenke und Bruchfugen ausbetoniert. Auf diese Weise läÙt sich eine ziemlich gleichmäÙige Belastung des Lehrgerüsts erzielen.

Das SchlieÙen der Gewölbe erfolgt zunächst an den Gelenken und zuletzt an den Bruchfugen.

Nachdem die Gewölbe fertiggestellt sind, werden die Stirnmauern ausgeführt und der magere Beton der Über- bzw. Hintermauerung eingebracht.

Für die Ableitung des Sickerwassers erhält die Übermauerung Neigungen nach den Entwässerungsschächten hin. AuÙerdem wird noch eine wasserdichte Zementschicht aufgebracht, um das Gewölbe gegen Eindringen von Nässe zu schützen.

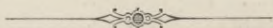
An Stelle der Zementschicht wird in neuerer Zeit eine einfache oder doppelte Ziegelflachschiicht in Zement verlegt, eventuell noch mit einer dünnen Zementschicht darüber. Auch empfiehlt es sich, die wasserdichte Abdeckung mit einer 1 bis 2<sup>cm</sup> starken Asphalttschicht oder mit Asphalttsappe bzw. Asphalttsfilz zu überziehen, da durch die Stöße der Verkehrtslast in dem fetten Zement leicht Risse entstehen.

Nach Fertigstellung dieser Arbeiten erfolgt die Herstellung der Fahrbahn und die der Ansichttsflächen.

Bei den Ansichttsflächen erscheint es zweckmäßtsig, die Aufsenseiten der Bögen mit den Granitgelenken in Übereinstimmung zu bringen und somit den Beton in Nachbildung von Granitmauerwerk auszuführen. Hierdurch werden gleichfalls die häufig auftretenden Flecke bei Betonbauten vermieden.

Die Ausrüstung der Bögen erfolgt mittelst der im elften Abschnitt unter 1. beschriebenen Vorrichtungen. Das Ablassen der Lehrbögen geschieht nach neueren Erfahrungen zweckmäßtsiger von den Mitten der Gewölbeschenkel nach den Gelenken zu, im Gegensatz zu dem bisherigen Verfahren des Absenkens der Lehrgerüste bei Dreigelenkbögen vom Scheitel nach den Kämpfern.

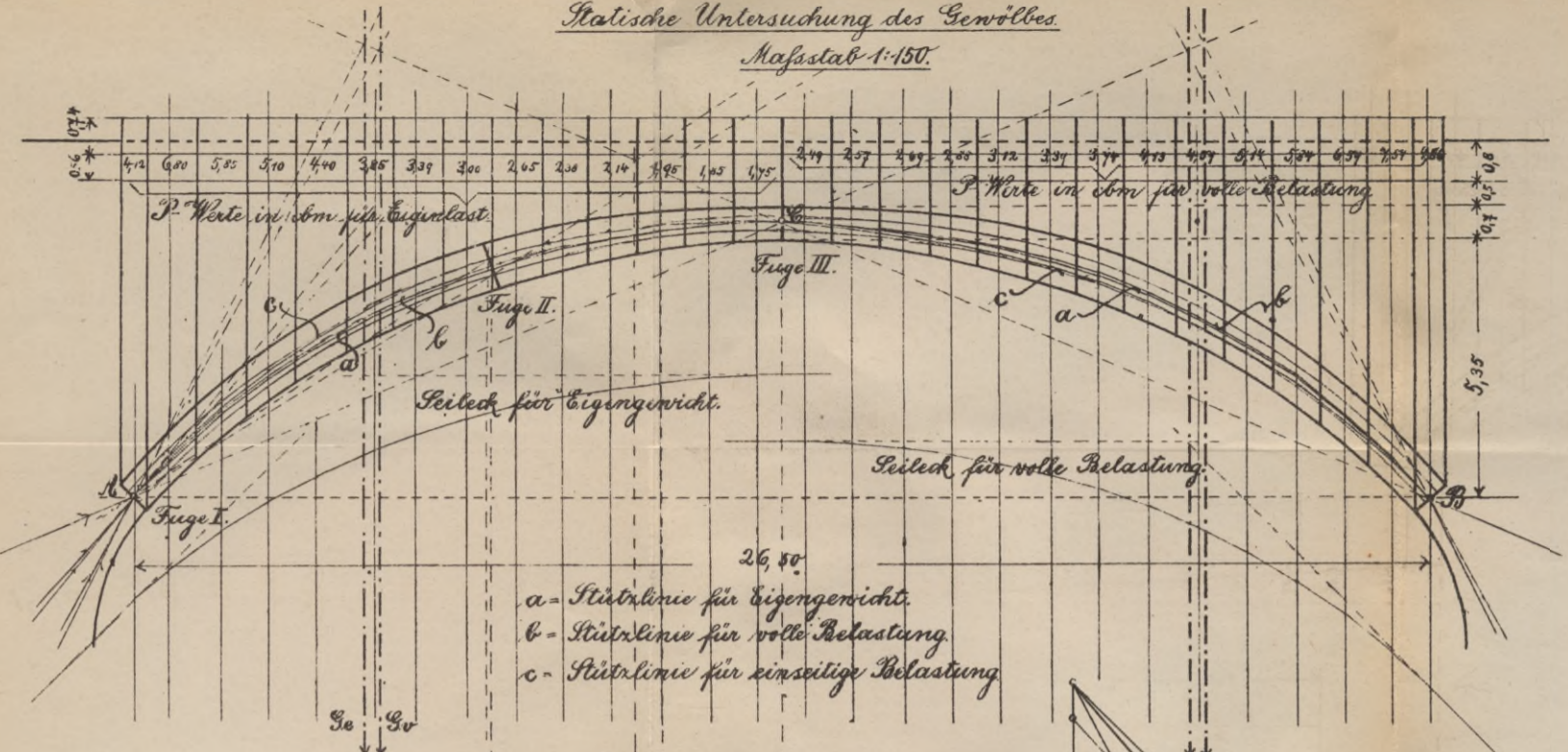
BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA  
KRAKÓW



# Betonbogenbrücke mit Granitgelenken.

Statische Untersuchung des Gewölbes.

Maßstab 1:150.

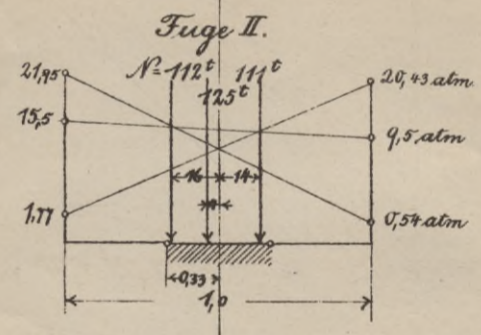
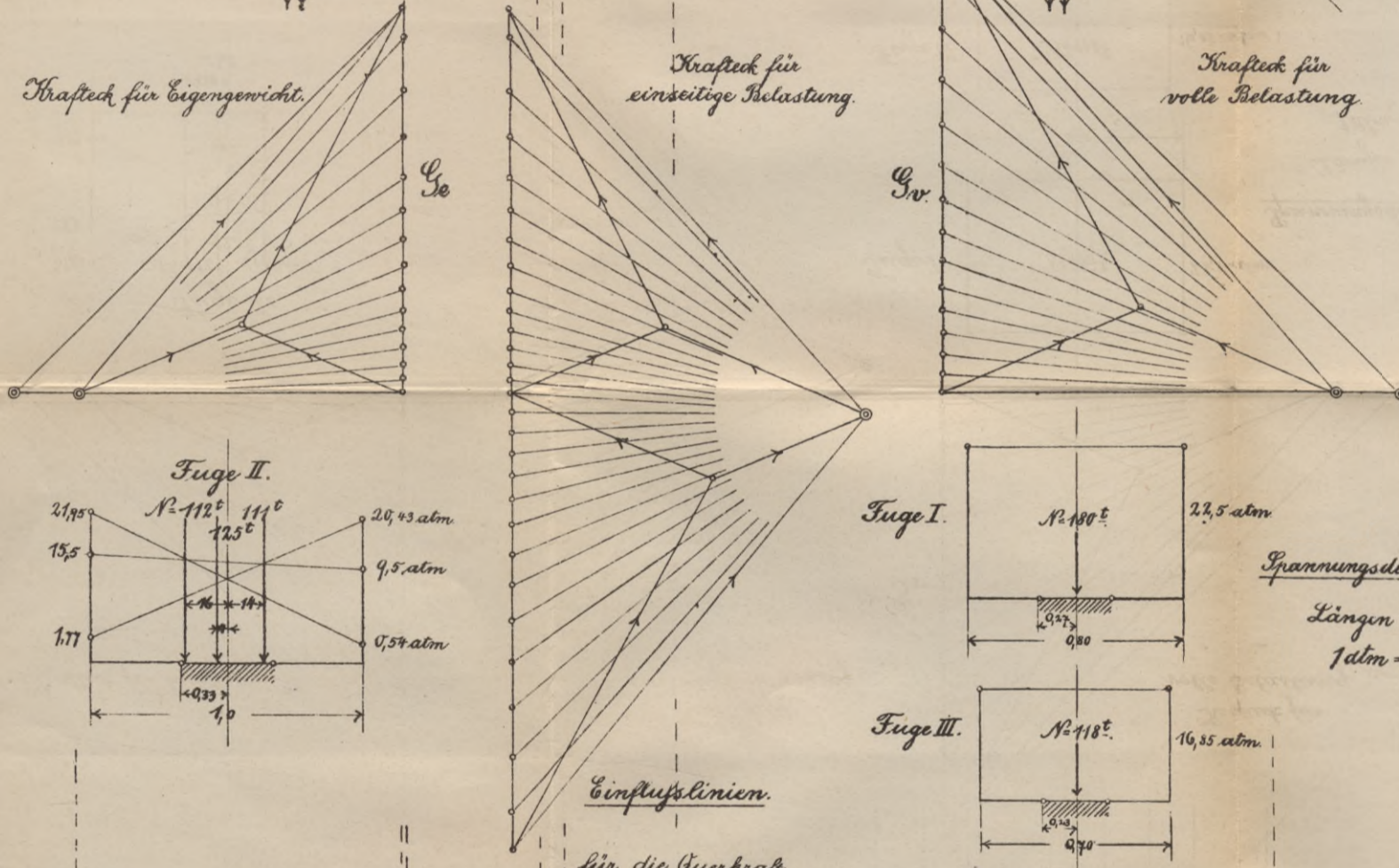


a = Stütlinie für Eigengewicht.  
 b = Stütlinie für volle Belastung  
 c = Stütlinie für einseitige Belastung

Kraftech für Eigengewicht.

Kraftech für einseitige Belastung.

Kraftech für volle Belastung.

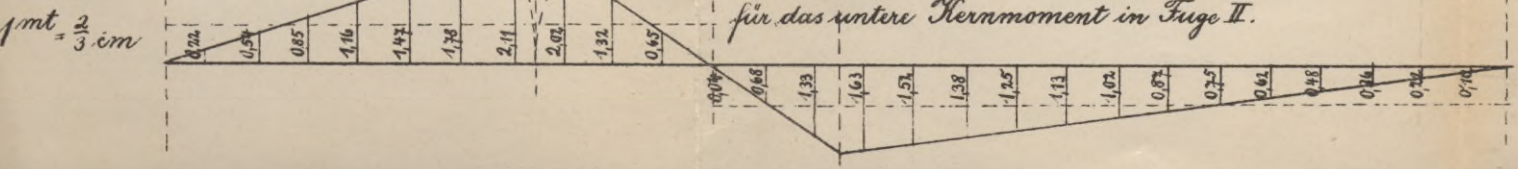
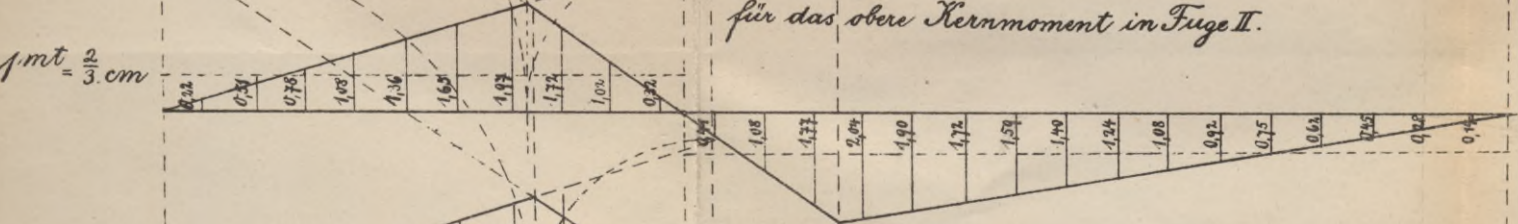
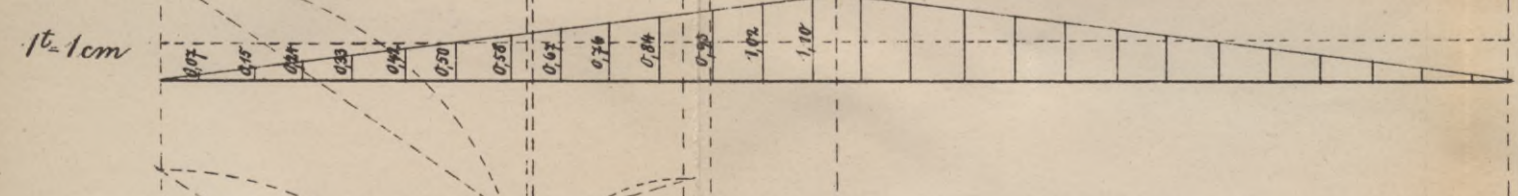
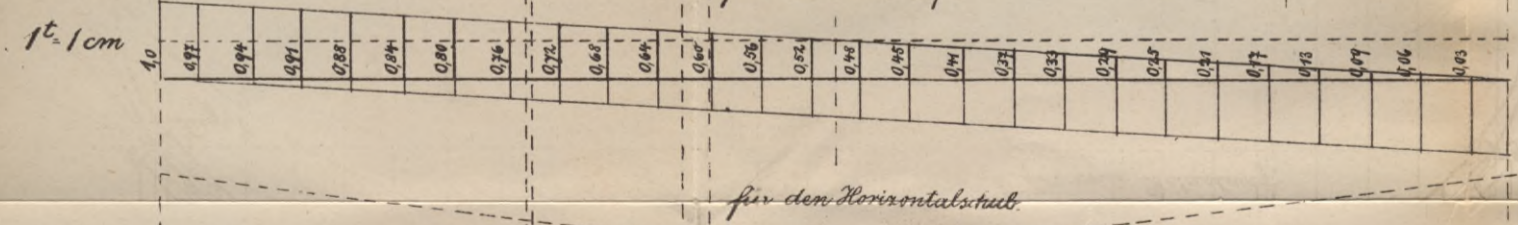


Fuge I. N = 180 t. 22,5 atm.

Fuge III. N = 118 t. 16,85 atm.

Spannungsdiagramme  
 Längen 1:25  
 1 atm = 1 mm

Einflusslinien für die Querkraft.

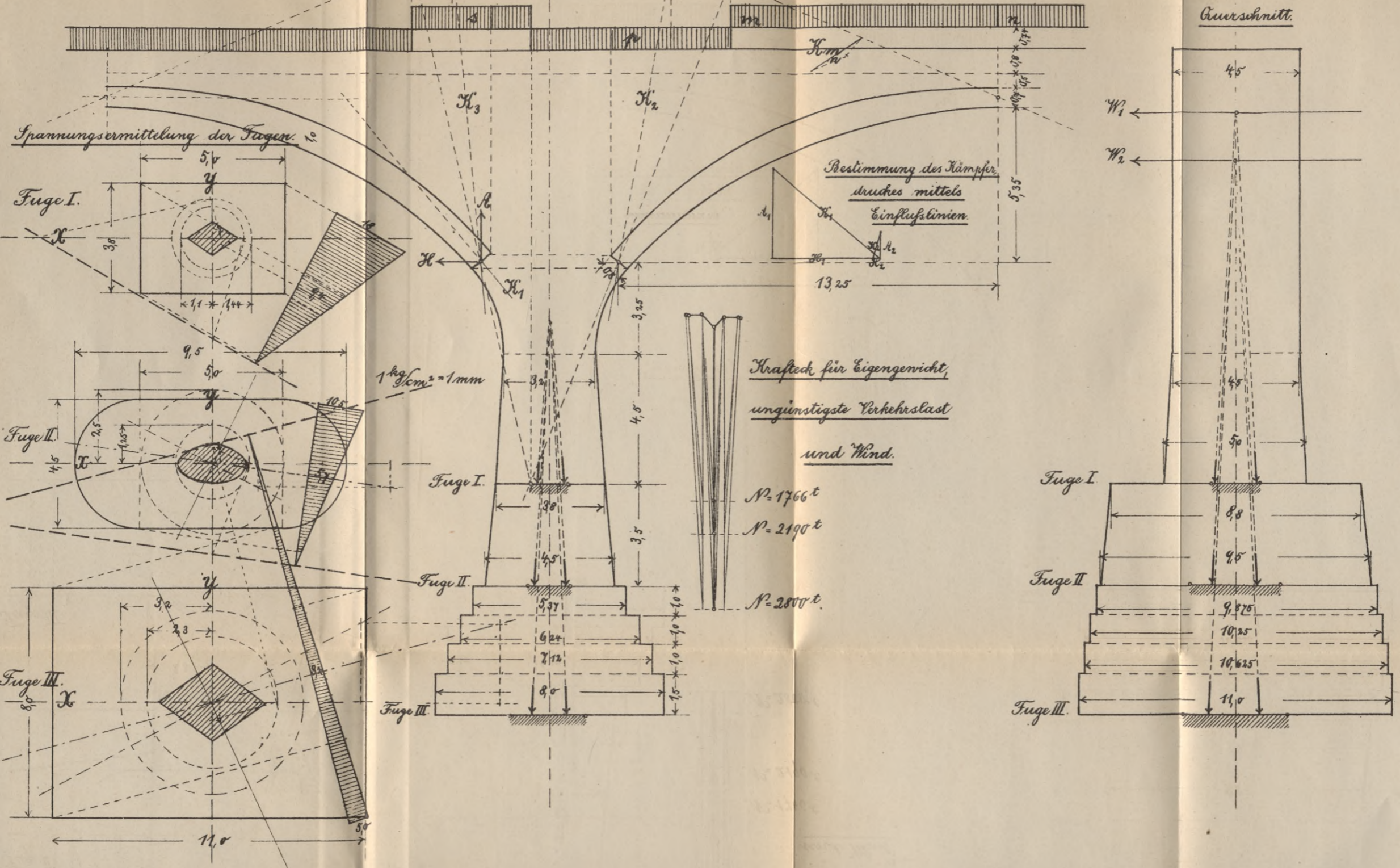


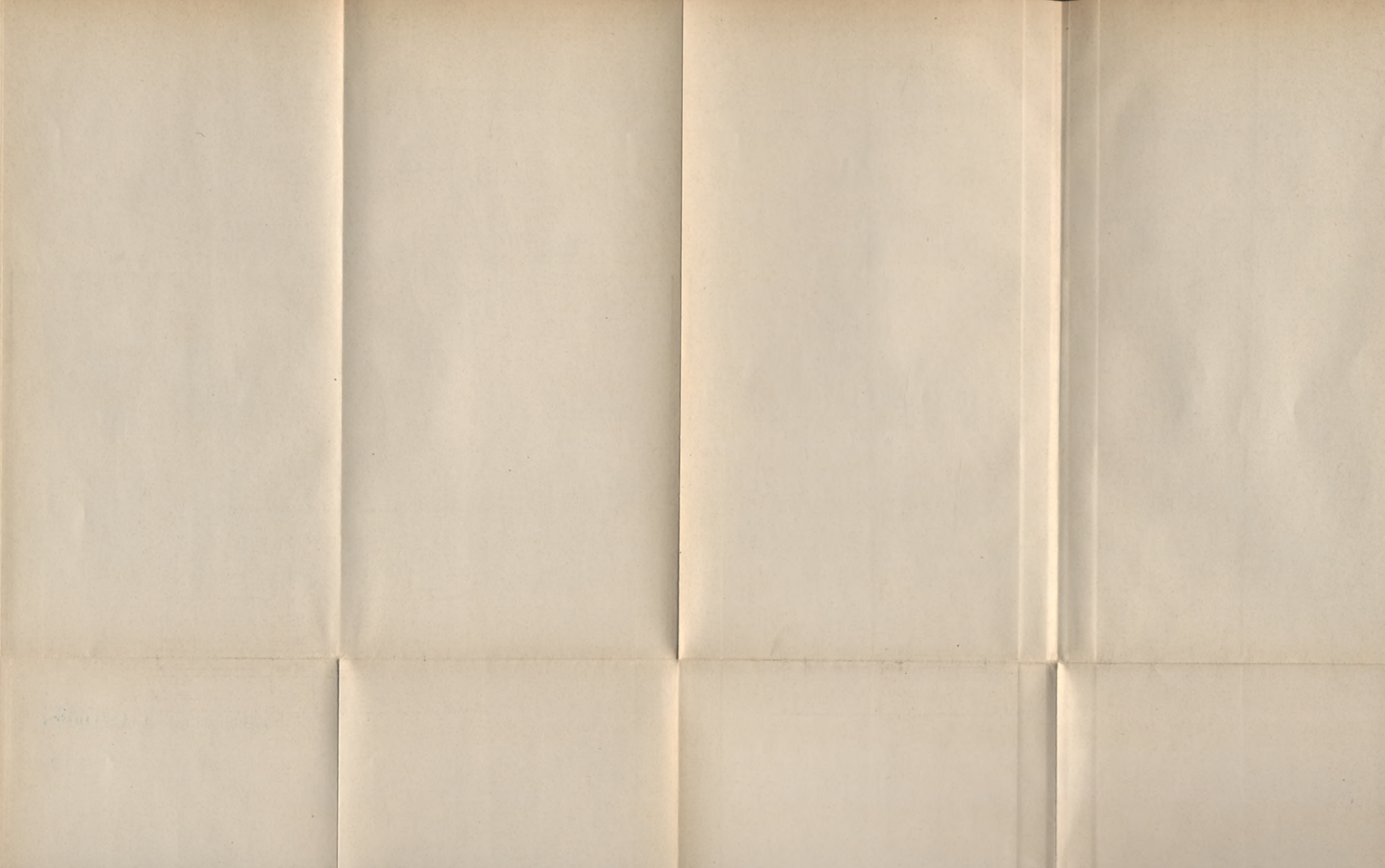


Längenschnitt

Maßstab 1:150.

Querschnitt.







# Betonbogenbrücke mit Granitgelenken.

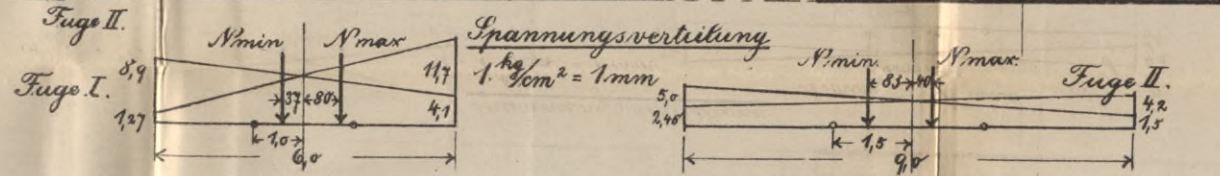
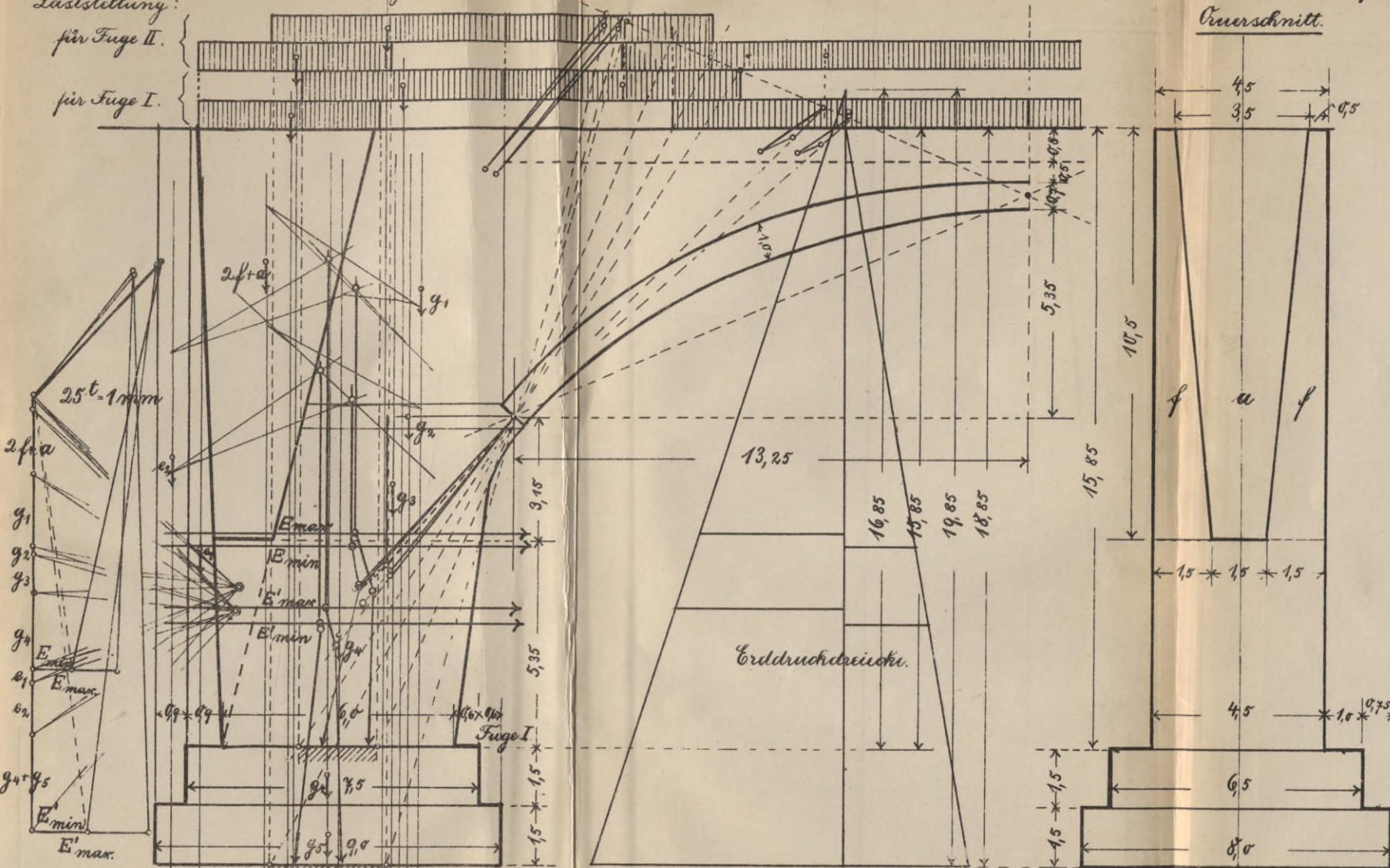
# Statische Untersuchung der Widerlager.

Längenschnitt.

Mafsstab 1:150

Querschnitt.

Laststellung:  
für Fuge II.  
für Fuge I.











Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000295873