

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA



L. inw.

2544

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000297314



x  
2699





Y. 58

---

87



Der  
vollwandige Zweigelenkbogen

Entwurf, bauliche Ausbildung und  
Berechnung des Zweigelenkbogens,  
seiner Fahrbahn und Widerlager

von

K. BRABANDT

Kgl. Eisenbahnbau- und Betriebsinspektor.

Mit 83 Textabbildungen.

*F. Nr. 28835*



BERLIN 1910.

VERLAG VON WILHELM ERNST & SOHN.

*2699<sup>x</sup>*

Alle Rechte vorbehalten.

Nachdruck, auch auszugsweise, verboten.

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA  
KRAKÓW

II 2544

Akc. Nr. 1548/49



## VORWORT.

---

Die folgenden Ausführungen sollen keine Theorie der Blechbogenbauten im allgemeinen und derjenigen mit zwei Gelenken im besonderen bringen, die ja in Müller-Breslaus epochemachendem Werk über „die stabförmigen elastischen Bogen, Berlin 1880“ erschöpfend behandelt worden ist. Sie sollen vielmehr möglichst alle Gesichtspunkte streifen, die beim ersten Entwurf, bei der baulichen Ausbildung und Ausführung und bei der Berechnung vollwandiger Zweigelenkbogenbauten unter besonderer Berücksichtigung tiefer Straßenunterführungen zu beachten sind. Die Ableitung der Formel zur Berechnung des Horizontalschubs ist unter Hinweis auf das genauere Verfahren Müller-Breslaus und unter Voraussetzung der Grundgesetze nur so weit angegeben, um dem Leser die dabei gemachten Vereinfachungen vor Augen zu führen und ihn dadurch instand zu setzen, den Wert und den Genauigkeitsgrad der Festigkeitsberechnung schärfer beurteilen zu können. Gerade für den allgemeinen Entwurf und die konstruktive Durchbildung solcher Bauten, die bei der Umgestaltung der Bahnanlagen in größeren Städten oft eine wichtige Rolle spielen, fehlte nach Ansicht des Verfassers bisher eine derartige Abhandlung in zusammenhängender Form. Die Berechnung erstreckt sich auf die des Blechbogens, seiner Endversteifung und Widerlager. Eine Zusammenstellung der für den Entwurf und die Berechnung erforderlichen Werte soll ein bequemes Muster abgeben, um die Berechnung in eine übersichtliche Spaltenform zu bringen. Straßenbrücken sind nicht in den Kreis der Betrachtungen gezogen worden. Da der Verfasser auch bei diesem 2. Teil bestrebt gewesen ist, alle Fragen zu berühren, die an den mit der Berechnung betrauten Ingenieur heran-

treten können, und ihm den Weg zu zeigen, wie der wirtschaftlichste Querschnitt der stützenden Teile gefunden werden kann, da auch manche der besprochenen Abschnitte und vorgebrachten Gedanken auf andere Eisenbauarten sinngemäße Anwendung finden, so hat der Verfasser geglaubt, mit der Veröffentlichung dieser Arbeit nicht nur dem entwerfenden und ausführenden Ingenieur, sondern auch dem Studierenden einen Dienst zu erweisen.

Siegen, im Mai 1910.

**Brabandt.**

# Inhaltsverzeichnis.

## 1. Teil.

### Allgemeiner Entwurf und bauliche Ausbildung.

|   | Seite |
|---|-------|
| § 1. Wahl der Hauptträger . . . . .                           | 1     |
| § 2. Richtung der Hauptträger . . . . .                       | 2     |
| § 3. Abstand der Hauptträger voneinander . . . . .            | 3     |
| § 4. Spannweite und Form des Bogens . . . . .                 | 4     |
| § 5. Feldweite . . . . .                                      | 5     |
| § 6. Pfeilverhältnis der Bogen . . . . .                      | 7     |
| § 7. Querverband . . . . .                                    | 7     |
| § 8. Bogenquerschnitt . . . . .                               | 9     |
| § 9. Bogenscheitel und Bauhöhe . . . . .                      | 10    |
| § 10. Dehnevorrichtung . . . . .                              | 14    |
| § 11. Fahrbahnträger, Bogenstützen und ihr Anschluß . . . . . | 17    |
| § 12. Bogenlager . . . . .                                    | 19    |
| § 13. Oberlicht . . . . .                                     | 23    |
| § 14. Dichtung und Entwässerung der Fahrbahn . . . . .        | 24    |
| § 15. Fußsteig . . . . .                                      | 26    |
| § 16. Widerlager . . . . .                                    | 29    |

## 2. Teil.

### Berechnung des Bogens und seiner Widerlager.

#### I. Abschnitt:

#### Berechnung des Bogens.

|   |    |
|---|----|
| § 17. Bestimmung des Horizontalschubs . . . . .   | 31 |
| § 18. Berechnung der inneren Spannkkräfte . . . . .   | 34 |
| § 19. Spannkkräfte infolge Eigengewichts . . . . .  | 35 |
| § 20. Spannkkräfte infolge senkrechter Verkehrslast aus Einflußflächen . . . . .            | 35 |
| § 21. Spannkkräfte infolge senkrechter Verkehrslast nach Müller-Breslau Verfahren . . . . . | 39 |
| § 22. Spannkkräfte infolge Wärmeänderung . . . . .  | 43 |
| § 23. Spannkkräfte infolge wagerechter äußerer Kräfte . . . . .                             | 44 |
| § 24. Berechnung eines Bogens aus der eines anderen von verschiedener Stützweite . . . . .  | 44 |
| § 25. Bestimmung und Anordnung des Bogenquerschnitts . . . . .                              | 46 |
| § 26. Berechnung der Endversteifung . . . . .   | 48 |

II. Abschnitt:

**Berechnung des Widerlagers.**

|   | Seite |
|---|-------|
| § 27. Bestimmung des größten Stützdrucks . . . . .                            | 49    |
| § 28. Bestimmung der größten Kantenpressung in einer Widerlagerfuge . . . . . | 50    |
| § 29. Günstigste Anordnung des Widerlagers . . . . .                          | 54    |
| § 30. Bestimmung des Auflagerquaders . . . . .                                | 55    |
| § 31. Bestimmung des Bausohlquerschnitts . . . . .                            | 57    |
| § 32. Gestaltung des übrigen verlorenen Widerlagers . . . . .                 | 59    |

III. Abschnitt:

**Zusammenstellung der Zahlenwerte.**

|   |    |
|---|----|
| § 33. Allgemeine Entwurfswerte . . . . .  | 62 |
| § 34. Berechnung der Bogen . . . . .      | 62 |
| § 35. Berechnung der Widerlager . . . . . | 65 |

---

## 1. Teil.

# Allgemeiner Entwurf und bauliche Ausbildung.

### § 1. Wahl der Hauptträger.

Bei der Vermeidung oder Beseitigung von Straßenkreuzungen in Schienenhöhe entscheidet man sich, wenn die örtlichen Verhältnisse dies irgend gestatten, zu einer Unterführung des Weges, weil die erforderliche Lichthöhe für Straßenfuhrwerk (meist 4 m bis 4,4 m) geringer als für Eisenbahnwagen ist, weil das Lichtmaß in der Regel nur in einem gewissen Teil der Straßenbreite in voller Höhe vorhanden sein muß, und weil die Überführung eines Weges den freien Ausblick über die Strecke beeinträchtigt. Im Bahnhofsgelände ist das Schotterbett stets ungehindert über das Bauwerk hinwegzuführen, da die Möglichkeit beliebiger Gleisverschiebungen und der Anlage neuer Weichenstraßen gewahrt bleiben muß. Da hierbei aber außer dem Fortfall brennbarer Holzteile und der Sicherung gegen Durchtropfen von Regen oder gar Durchfallen von Maschinen- oder Abortschmutz noch erreicht wird, daß das Geräusch der fahrenden Züge und damit auch die Gefahr des Scheuwerdens der Pferde stark herabgemindert, und eine von der Gleislage unabhängige Anordnung der Haupt- und Fahrbahnträger ermöglicht wird, so sollte diese Bauweise für Straßenunterführungen eine Regel ohne Ausnahme bilden; sie wird in den folgenden Ausführungen allein berücksichtigt werden.

Wenn die verfügbare Bauhöhe einen Steinbau erlaubt, wird man wegen seiner bekannten Vorzüge stets einen solchen wählen. Nur bei beschränkter Bauhöhe dürfen, von Eisenbeton abgesehen, eiserne Überbauten in Frage kommen, und zwar für Straßenbreiten von etwa 15 m an lediglich zwei Hauptträgerarten: Blechträger auf Zwischenstützen und Blechbogen. Fachwerkbogen haben sich für derartige geringe Spannweiten als weniger geeignet herausgestellt, da ein erheblicher Teil des Hauptträgers, entgegen der Annahme der Festigkeitsberechnung, vollwandig ausgeführt werden muß, und da die zweckmäßige Ausbildung der schwachen Gurtungen auf Schwierigkeiten stößt.<sup>1)</sup> Auch sind Fachwerkbogen bei Aufstellungsfehlern, ungleichen Wärmeausdehnungen u. dgl. ziemlich empfindlich. Wird seitens der Landespolizeibehörde die Lichthöhe nur für einen schmalen mittleren Teil der Straße vorgeschrieben (gewöhnlich 4,4 m Höhe für 3 bis 4 m mittlerer Breite), und sind die Gründungsverhältnisse keine ungünstigen, so wird die Wahl der Hauptträgerart trotz der etwas größeren Gesamtkosten oft auf Blechbogen fallen, da unter der erwähnten Voraussetzung die erforderliche Bauhöhe geringer ist als bei Blechträgern auf Zwischenstützen, die den Straßenverkehr störenden und Licht entziehenden Säulen fortfallen, und Bogenträger schöner aussehen. Sie erhalten meist nur Kämpfergelenke. Die einfach statische Unbestimmtheit ist bei

<sup>1)</sup> Vgl. den preussischen Ministerialerlaß vom 12. Februar 1902.

der Berechnung kaum eine Erschwernis, während ein Gelenk auch im Scheitel<sup>1)</sup> der fehlerfreien Ausbildung gewisse Schwierigkeiten bereitet, den Überbau verteuert und stärkere Durchbiegungen hervorruft.

### § 2. Richtung der Hauptträger.

Wenn der Kreuzungswinkel der Gleisachsen mit der Straßenachse annähernd ein rechter ist, dann erhalten die Hauptträger natürlich ebenfalls eine zur Straßenachse rechtwinklige Lage. Bei spitzwinkliger Kreuzung kann diese Lage der Hauptträger entweder beibehalten werden, oder sie liegen in der Gleisrichtung, oder die mittleren Hauptträger liegen rechtwinklig zur Straßenachse und nur die äußeren folgen der Gleisrichtung. Die Anordnung mit schräger Lage aller Hauptträger wird man wählen, wenn es sich nur um wenig Gleise und um eine mehr spitzwinklige Kreuzung handelt oder, bei einer größeren Zahl zu überführender Gleise, wenn diese außerhalb des eigentlichen Bahnhofgebiets liegen, also Gleisverschiebungen ausgeschlossen erscheinen, und die Hauptträger nur auf den gerade vorhandenen Anteil an der Verkehrslast berechnet werden müssen. Zur Vermeidung schiefer Anschlüsse werden die Hauptträger oft zu rechtwinklig einander gegenüberliegenden Paaren gleicher Länge zusammengefaßt, wodurch die Widerlager oben sägeartig ausgebildet werden (vgl. Abb. 2).

Hauptträger mit nur rechtwinkliger Lage wird man verwenden, wenn der Kreuzungswinkel der Gleise sich mehr dem rechten nähert, und die örtlichen Verhältnisse dies gestatten. Man hat an den Stirnenden des Bauwerks zwei Dreiecksflächen mehr als für die Gleislage erforderlich zu überbrücken, erzielt aber den niedrigsten Einheitspreis für die Tonne Eisen.

Die dritte mögliche Anordnung mit senkrechter Trägerlage nur in der Mitte des Bauwerks erfordert schiefe Anschlüsse an den beiderseitigen Endträgern mit einer größeren Zahl verschiedener Querträger und Buckelplattenformen unter erheblicher Vermehrung der Entwurfsarbeit und der Werkzeichnungen, also unter Erhöhung des Einheitspreises für die Tonne Eisen. Da aber hierbei nur die erforderliche Oberbaufläche überbrückt wird, und da gerade in Städten die örtlichen Verhältnisse, wie das Vorhandensein von Parallelstraßen neben dem Bahnkörper, in der Regel verlangen, daß der Überbau sich der Gleislage anschmiegt, wird diese Anordnung bei tiefen Bauwerken mit mehr spitzem Kreuzungswinkel besonders oft vorkommen. Natürlich wird man dann aber unter allen Umständen, auch wenn die Kreuzungswinkel der beiden Endgleise etwas voneinander ab-

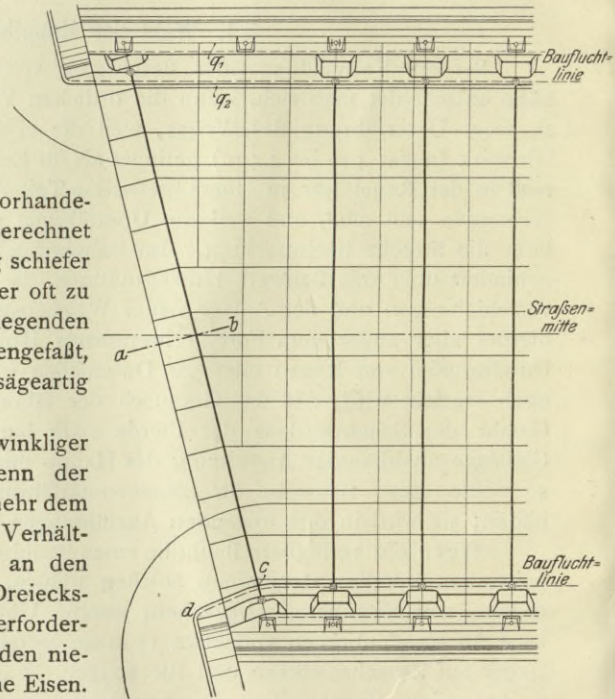


Abb. 1.

<sup>1)</sup> Über deren bauliche Durchbildung siehe Schaper, Eiserne Brücken. Berlin 1908. Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn.

weichen, danach trachten, die beiden Stirnen genau gleichmäßig auszubilden, um die erwähnten Nachteile in möglichst niedrigen Grenzen zu halten. Von dieser Anordnung ist in Abb. 1 ein Beispiel dargestellt. Dagegen empfiehlt es sich wohl niemals bei solchen rein eisernen Überbauten von der rechtwinkligen Lage der Hauptträger durch Einschaltung eines oder gar zweier weniger geneigter allmählich in die ganz schräge Lage des Stirträgers überzugehen. Selbst bei sehr spitzem Kreuzungswinkel steht ja nichts im Wege, die auf der einen Seite sich ergebenden langen Querträger als Blech- oder Fachwerkträger, die stark belasteten beiden begrenzenden Bogen als Kastenträger auszubilden. Auch bei besonderer Auflagerung des Endquerträgers auf das Mauerwerk stört dieser längste Querträger dicht neben der Kammermauer, der zur ungestörten Durchführung des oberen Abdeckesimses unter den Querträgerquadern (siehe auch Abb. 5) zweckmäßig ungefähr die gleiche Höhe wie die übrigen Endquerträger in der Mitte des Bauwerks erhalten muß, diese Anordnung nicht, da er sich ja nach Abb. 1 beliebig oft unterstützen läßt.

### § 3. Abstand der Hauptträger voneinander.

Bei Überführung einzelner Gleise erfordert die Rücksicht auf die Sicherheit gegen Kanten infolge wagerechter äußerer Kräfte einen gewissen Mindestabstand der zwei Blechbogen voneinander. Andererseits wird man danach streben, die Bogenträger nahe aneinander zu rücken, damit die Querträger möglichst kleine Querschnitte erhalten. Dies führt zu einem Abstand von etwa 2,2 bis 2,6 m, so daß sich Fußsteigkonsolen von 0,9 bis 1,2 m für den Geländerabstand von  $\geq 4,4$  m ergeben. Bei Überführung mehrerer Gleise ist der Abstand der wirtschaftlichste, bei dem das Gesamteisengewicht am kleinsten wird. Außerhalb des Bahnhofgebiets, wo die geplante Gleislage als unveränderlich angesehen werden kann, erhält man, wenn die Bogen in Richtung der Gleise liegen, die billigste Bauart bei Unterstützung jedes Gleises durch ein Bogenträgerpaar mit ähnlichem Abstand wie oben.

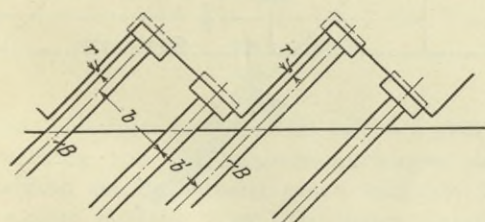


Abb. 2.

Denn dann ist jeder Bogen nur auf halben Achsdruck zu berechnen. Bei spitzwinkliger Kreuzung und rechtwinkliger Anordnung jedes Bogenpaares darf der Abstand  $b'$  aber nicht wie in Abb. 2 zu klein werden. Sonst kann der Bogen  $B$  zu nahe an das Widerlager kommen, so daß er auf eine größere Länge schwer zugänglich bleibt. In jedem

Falle empfiehlt sich dann, unter Verwendung entsprechender Baustoffe das Widerlager in seinem oberen Teil hoch zu beanspruchen, damit die Widerlagerbreite klein, der Raum  $r$  zwischen Bogen und Mauerwerk also größer wird.

Verlangt die Bedeutung der Straße und die Zahl der Gleise die Einschaltung eines Oberlichts, so ist bei der Feststellung des Abstandes der Bogen zu berücksichtigen, daß die beiden benachbarten, zu verschiedenen Paaren oder Gruppen gehörigen Bogen wegen der halben Schwellenlänge von 1,35 m einen Abstand von mindestens etwa 1,45 m von der nächsten Gleismitte erhalten müssen.

Innerhalb des eigentlichen Bahnhofgebiets darf dagegen wegen der Möglichkeit von Gleisverschiebungen die geplante Gleislage für die Lage, den Abstand und die Berechnung der Hauptträger nicht maßgebend sein. Am vorteilhaftesten erscheint die Wahl eines durchweg gleichen Abstandes, bis auf etwa vorhandene

Stirnträger mit anderem Kreuzungswinkel, da dann alle Haupt-, Quer- und Längsträger die gleichen Querschnitte erhalten.

Wenn die Tiefe des Bauwerks über etwa 10 bis 12 m hinausgeht, muß man dafür sorgen, daß der Überbau auch in dieser Richtung den Wärmeschwankungen leicht folgen kann. Die Bauart, die für die Auszugmöglichkeit gewählt wird, ist mitbestimmend auf die Einteilung der Hauptträger. Näheres über diesen Punkt ist im Abschnitt Dehnvorrichtung (§ 10) angeben.

Auf die Wahl einer geraden Zahl Hauptträger, um sie zum regelmäßigen Anbringen eines Querverbandes bequem zu Paaren zusammenfassen zu können, braucht, wie später nachgewiesen wird, kein besonderes Gewicht gelegt zu werden. Mit Rücksicht auf gute Abmessungen für die Buckelplatten kommt man auf einen empfehlenswerten Hauptträgerabstand von 3 bis 4 m. Bei der Anordnung mit schiefen Endträgern neben rechtwinkligen Mittelträgern ist endlich darauf zu achten, daß an der Seite, wo diese Träger zusammenlaufen, der Abstand mindestens so groß sein muß, daß sich gesonderte Auflagerquader für jeden Hauptträger unterbringen lassen (Abb. 1).

#### § 4. Spannweite und Form des Bogens.

Der allgemeinste Fall ist für die Bestimmung der Spannweite der schrägliegenden Bogenträger, die nach Abb. 2 paarweise einander rechtwinklig gegenüberliegen. Die Bogenspannweite  $l$

darf nur so klein werden, daß die untere Fläche  $a$  des Auflagerquaders von der Vorderkante des Gesimses, das als Abschluß der unteren Verblendmauer genau in Straßenflucht in solchem Fall vorgesehen zu werden pflegt, noch genügend weit ( $c$  in Abb. 3, etwa  $\geq 25$  cm) entfernt ist. Bezeichnet  $l'$  die Lichtweite der Straße,  $\alpha$  den Kreuzungswinkel von Brücken- und Straßenachse,  $b$  den Abstand der Bogenträger voneinander und  $t$  die wagerechte Entfernung des Kämpfergelenkpunkts von der Vorderkante der unteren Lagerfläche, so ist nach Abb. 3

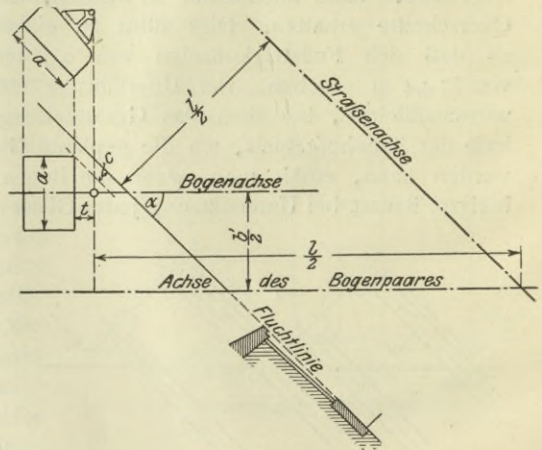


Abb. 3.

$$l \geq \frac{l'}{\sin \alpha} + 2 \left( \frac{b}{2 \operatorname{tg} \alpha} + \frac{c}{\sin \alpha} + \frac{a}{2 \operatorname{tg} \alpha} \begin{matrix} (+) \\ (-) \end{matrix} \right)$$

$$l \geq \frac{l' + 2c}{\sin \alpha} + \frac{b + a}{\operatorname{tg} \alpha} \begin{matrix} (+) \\ (-) \end{matrix} 2t.$$

Die Werte  $a$  und  $t$ , die ja für diesen Zweck nur annähernd richtig zu sein brauchen, lassen sich leicht durch eine überschlägliche Vorausberechnung und Zeichnung des Widerlagers finden. Die so sich ergebende theoretische Stützweite ist dann nach oben auf volle Meter abzurunden, wovon man nur bei den schiefen Stirnträgern neben rechtwinkligen Mittelbogen absehen wird. Bei einer Lichtweite von vollen Metern und rechtwinkliger Hauptträgerlage kommt man bequem aus, wenn man die Stützweite gleich der Lichtweite wählt.



Die Achse des Blechbogens pflegt man nach einer Kreislinie, seltener nach einer Parabel zu formen. Selbstverständlich erfordert das gute Aussehen, daß auch das Stehblech und die Gurtungen zwischen den einzelnen Stützen der Bogenachse folgen oder wenigstens, wenn die Stehblechhöhe nach dem Scheitel zu sich etwas verringert, stetig gekrümmt sind.

### § 5. Feldweite.

Die Felderteilung hängt wesentlich von der Art und Weise ab, wie der Übergang vom eisernen Überbau zum Widerlager, und wie dieses selbst ausgebildet wird. Die Bauart ihrerseits wird dadurch beeinflußt, wie die wagerechten Kräfte der Fahrbahntafel zum Widerlager geleitet werden. Wenn sie durch die dem Kämpfergelenk zunächst befindliche Stütze im Verband mit der des benachbarten Bogens auf die Bogenwiderlager übertragen werden, ist es erwünscht, daß diese Stütze sich dem Gelenk so nahe wie möglich befindet, besonders bei Anordnungen nach Abb. 1, wo der Gelenkpunkt des schiefen Stirnträgers so wie so schon gegen diejenigen der rechtwinkligen Mittelträger infolge der schrägen Quaderlage

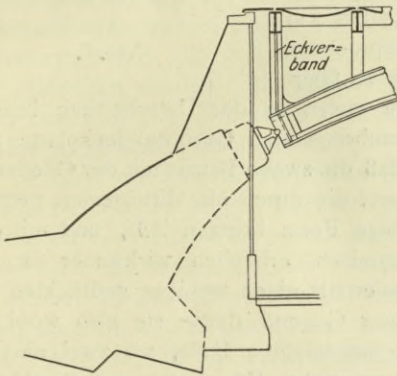


Abb. 4.

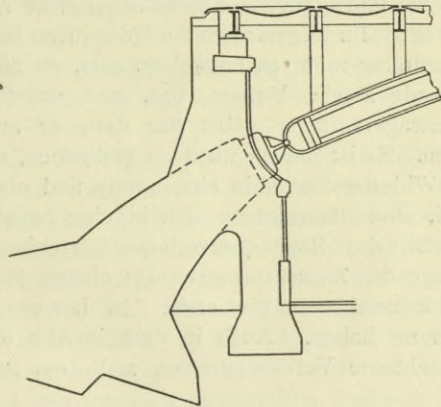


Abb. 5.

ins Widerlager hineingerückt ist. Am günstigsten liegt der Pfosten dann zur Vermeidung von Biegungsbeanspruchungen des Bogens durch ein Moment rechtwinklig zur Bogenebene genau senkrecht über der Gelenkmitte, was jedoch eine weniger einfache Form des oberen Lagerbocks (vgl. § 12, Bogenlager) verlangt. Um in diesem Falle ein überflüssiges kurzes Endfeld zu vermeiden, empfiehlt sich eine Bauart nach Abb. 4, bei der das Mauerwerk so nahe an den Endpfosten herangerückt ist, wie es die Möglichkeit einer bequemen Erneuerung des Anstrichs und etwaiger Nietverbindungen am letzten Querträger gestattet, also bis auf etwa 30 bis 40 cm an seine untere Flanschkannte heran, je nach der Trägerhöhe. Ragt der untere Lagerbock des Blechbogens hierbei in das Mauerwerk hinein, was bei schräger Lage meist eintreten wird, so sind entsprechende Nischen vorzusehen.

Wenn die wagerechten Kräfte der Fahrbahntafel unmittelbar unter ihr aufgenommen werden sollen, fällt der Gesichtspunkt, daß die Schwerlinie der Endstütze möglichst die Gelenkmitte schneiden soll, fort. Da der Endquerträger bei dieser Art Kräfteübertragung auf das Mauerwerk aufgelagert werden muß, dessen oberer Teil in beliebigem Abstand vom Kämpfergelenk angeordnet werden kann, ist der Felderteilung ein ziemlich großer Spielraum gesetzt. Nach Abb. 1 u. 5

erfordern die Endquerträger neben den Kammermauern, wenn man nicht die Lager oder vielleicht gar einen Teil des Bogens selbst in unbequemen Nischen unterbringen will, einen kleinsten wagerechten Abstand von 65 bis 70 cm von Mitte Gelenk. Um die letzte Stütze an die Gurtung des Blechbogens selbst anschließen zu können, muß diese, je nach der Art des Bogens und seines oberen Lagerbocks, mindestens 25 bis 30 cm von Gelenkmitte entfernt sein, wenn man nicht etwa den Lagerbock künstlich (vgl. § 12) in den Bogen hineinbauen will. Bei einer Bauart mit besonderen Auflagerquadern für die Endquerträger wird man in der Beziehung niemals Schwierigkeiten haben. Bezeichnet  $n$  die Gesamtzahl der Felder und  $\lambda$  die Feldweite, so müssen demnach folgende Gleichungen erfüllt sein:

$$n \cdot \lambda \geq l + 2 \cdot 0,7 \quad \text{und}$$

$$(n - 2) \lambda \leq l - 2 \cdot 0,25.$$

Von diesen Gesichtspunkten wird man bei der Bestimmung der Feldweite auszugehen haben und dann danach trachten, daß sich für die Buckelplatten gleiche und gängige Abmessungen von 1,5 bis 2 m ergeben. Im allgemeinen wird die zuerst besprochene Anordnung mehr zu empfehlen sein, da die zu überbauende Fläche kleiner wird, und da die vielen in der Unterhaltung lästigen Querträgerauflager nebst der darunter anzubringenden Gesimsabdeckplatte fortfallen. Es ist jedoch nicht zu verkennen, daß die zweite Bauart mit der Gliederung der Widerlagsmauer in eine untere und obere, die durch ein Mittelgesims getrennt sind, und deren obere sich in eine beliebige Form bringen läßt, und mit dem Fortfall des Bogenquerverbandes architektonisch erheblich wirksamer ist und infolge des Zurückspringens des oberen Mauerteils einen weniger gedrückten Eindruck macht als die erste. In bevorzugter Gegend dürfte sie also wohl den Vorrang haben. Auch in dem in Abb. 6 dargestellten Falle, wo zwei einander benachbarte Verkehrsstraßen, z. B. ein Strom nebst Uferstraße, mit Blechbogen

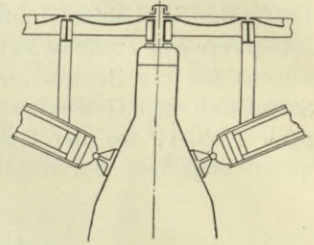


Abb. 6.

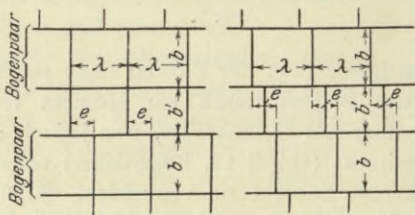


Abb. 7.

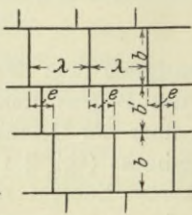


Abb. 8.

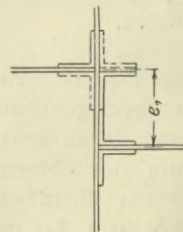


Abb. 9.

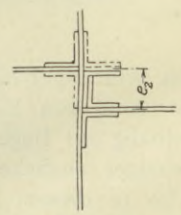


Abb. 10.

zu überbrücken sind, ist sie zweckmäßiger, da dann über dem Mittelpfeiler der unvorteilhafte Wechsel in der Unterstüzung des Oberbaues durch Eisen, dann Stein, hierauf wieder Eisen vermieden wird.

Bei einer Bogenanordnung nach Abb. 2 ist, falls diese Wahl mit den sonstigen Anforderungen vereinbar ist, für die Feldweite die Größe  $\lambda = \frac{b + b'}{\text{tg } \alpha} \frac{1}{n'}$  zweckmäßig, worin  $n'$ , je nach dem Kreuzungswinkel  $\alpha$ , gleich 1, 2, 3, überhaupt gleich einer ganzen Zahl zu setzen ist. Denn dann liegen die entsprechenden Querträger der aufeinanderfolgenden Bogenpaare in denselben Geraden, also über den

Stützpunkten der Längsträger. Unter Umständen mag dieser Punkt sogar auf die Bestimmung der Größen  $b$  und  $b'$  von Einfluß sein. Ist die Wahl dieser Feldweite nicht möglich, dann rücken die Querträger von einem Bogenpaar zum anderen sprungweise um das Maß  $e$  vor, das sich aus  $e = \frac{b + b'}{\text{tg } \alpha} + n' \lambda$  berechnet. Die Querträger zwischen zwei Bogenpaaren liegen dann entweder in der Verlängerung der Querträger des einen Paares oder innerhalb des Sprunges  $e$  (Abb. 7 u. 8). Letztere Lösung ergibt überall gleich schwere Längsträger, erfordert aber etwas mehr Anschlußwinkel. In jedem Falle aber ist bei der Felderteilung zu beachten, daß der Abstand eines Querträgers vom anderen nach Abb. 9 u. 10 entweder gleich  $e_1$  oder gleich  $e_2$  oder größer ausfällt, da sich sonst schwierigere Anschlüsse ergeben.

### § 6. Pfeilverhältnis der Bogen.

Die zulässige Pfeilhöhe hängt außer von der Art der Scheitelausbildung von den Lichthöhen ab, die seitens der Landespolizeibehörde an den Stellen gefordert werden, wo der Damm an den Bürgersteig und der Bürgersteig an die Abschlußmauer des Widerlagers in der Straßenfluchtlinie grenzt. Die Rücksicht auf geringe Abmessungen für die Bogen und ihre Widerlager führt zur Wahl möglichst großer Pfeilverhältnisse, die sich bei den hier vorliegenden Fällen etwa zwischen  $\frac{1}{8}$  bis  $\frac{1}{10}$  bewegen werden. Ein großer Pfeil ist besonders wichtig für die Widerlager, bei denen mit abnehmendem Pfeil nicht nur der wagerechte Schub, sondern auch seine Angriffshöhe wachsen.

Liegt die Aufgabe vor, für mehrere Unterführungen eine größere Reihe wenn auch verschieden langer Bogenträger zu berechnen, so erweist sich, wenn die örtlichen Verhältnisse es irgend gestatten, die Wahl ein und desselben Pfeilverhältnisses für alle Bogen als sehr zweckmäßig für eine schnelle Berechnung, was der Verfasser im Zentralblatt der Bauverwaltung 1904, Seite 561 eingehend begründet und auch im 2. Teil des Buches besprochen hat. Nur für die schiefen Stirnträger nach Abb. 1 muß das Pfeilverhältnis sich ändern, da der Bogenstich wegen der verfügbaren Bauhöhe am Kämpfer, auch wegen gleich hoher Lage der Auflagerquader ebenso groß sein muß, wie bei den kürzeren rechtwinklig liegenden Mittelträgern. Übrigens würden hier wegen der wechselnden Anteile der Bogenpunkte am Achsdruck der Verkehrslast die geschilderten Berechnungsvorteile nicht zur Geltung kommen.

### § 7. Querverband.

Im Grunde genommen sind für die Aufnahme wagerechter Kräfte zwei gesonderte Windverbände notwendig: einer in der Ebene der Fahrbahn, der andere in der Bogenleibung, oder statt seiner eine entsprechende Anzahl Querverbände an den Stützen, die die Windkräfte auf den Bogen nach dem oberen wagerechten Verband hinleiten. Bei Durchführung des Kiesbettes kann dieser obere Verband ohne weiteres fortfallen, da er durch die aus Trägern und Buckelblechen gebildete Fahrbahntafel mehr als ausreichend ersetzt wird. Höchstens könnte er nötig werden bei einer zentrischen Lagerung der Querträger oberhalb der Blechbogen. Da bei so viel verfügbarer Bauhöhe diese aber zur Wahl eines Steingewölbes ausgereicht hätte, oder da sie, wenn doch aus gewissen Gründen eiserne Bogen angeordnet werden, benutzt werden würde, um durch Heben des Bogenscheitels das Pfeilverhältnis zu verbessern, so darf diese Bauart ohne weiteres ausscheiden.

Aber auch der untere Bogenverband oder die stellvertretenden Querversteifungen sind höchstens erforderlich bei den nahe den Kämpfern gelegenen

längeren Stützen größerer Spannweiten, wo die Blechbogen wirklich vom Winde getroffen werden, also bei geringer Bauwerkstiefe, sonst nur bei den äußeren Hauptträgern. Bei den kleinen Angriffsflächen des Windes wird man besondere Querstrebrungen in der Regel durch genügend tiefen und steifen Anschluß der Querträger an die Stützen ersetzen können. Die Aufgabe besteht also gewöhnlich nur darin, die durch die Fahrbahntafel übertragenen wagerechten Kräfte zu den Widerlagern zu leiten. Die bei vielen ausgeführten Bauwerken vorhandenen, über diesen Rahmen hinausgehenden Versteifungen dürften entbehrlich sein.

Die wagerechten Kräfte der Fahrbahn bestehen, wenn die Hauptträger mit den Gleisen gleichlaufen, aus dem Winddruck, den Seitenstößen und, bei gekrümmten Gleisen, den Fliehkräften der Verkehrslast rechtwinklig zur Bogenrichtung und aus der Bremskraft in der Bogenrichtung selbst. Bei einer Lage der Blechbogen nach Abb. 1 steuert jede dieser vier äußeren Kräfte ihren vom Kreuzungswinkel abhängigen Anteil hinzu. Beide in und rechtwinklig zu der Bogenrichtung wirkenden wagerechten Gesamtkräfte können zu den etwa vorgesehenen Lagern der Endquerträger oder denen der Hauptträger geleitet werden.

Zur Aufnahme der in der Bogenrichtung liegenden Kraft braucht überhaupt keine besondere Vorkehrung getroffen zu werden. Durch die feste Verbindung der Fahrbahn mit dem Bogenscheitel, ohne welche, wie oben ausgeführt, die Wahl eines eisernen Überbaues mit Blechbogen keine Berechtigung hätte, wird hier diese Kraft als wagerechter Schub in den Blechbogen und von da weiter zu den

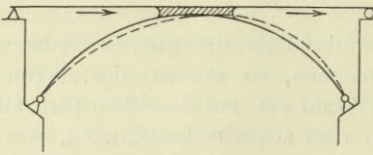


Abb. 11.

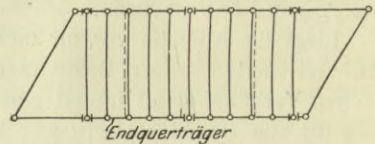


Abb. 12.

Kämpfern geleitet. Bei der Bogenberechnung ist dann diese Zusatzbeanspruchung zu berücksichtigen. Bequemer ist es, die wagerechte Längskraft der Fahrbahn von den etwa vorgesehenen Lagern eines Endquerträgers durch entsprechende Festlegung aufnehmen zu lassen; der andere muß ja den Längenänderungen der Fahrbahntafel folgen können. Doch dürfte dies wegen der theoretisch unregelmäßigen Gestalt, in die der Bogen infolge der Wärmeschwankungen, z. B. bei Ausdehnung nach Abb. 11, sich zu verschieben sucht, nicht anzuraten sein.

Die Übertragung der wagerechten Kräfte rechtwinklig zur Bogenrichtung hängt davon ab, ob besondere Auflagerquader für die Endquerträger vorgesehen sind. Ist dies der Fall, so ist unstreitig die glatteste Lösung, die Kräfte zu den Auflagerquadern der beiden Endquerträger hinzuleiten. Abgesehen davon, daß der Eckquerverband dann ganz fortfallen kann, spricht hierfür noch, daß bei Übertragung auf die Bogenwiderlager das Stützenpaar nach Abb. 5 oft nicht in der Schwerpunktsachse des Kämpfergelenks liegt, wodurch das Gelenk nebst Bogenstück noch durch ein entsprechendes Biegemoment beansprucht wird. Dies ist, wie bereits früher erwähnt, besonders stark bei den Stirnbogenträgern nach Abb. 1 der Fall. Der Wärmeausdehnung wegen darf aber natürlich immer nur ein Querträgerlager auf jeder Seite in der Tiefenrichtung des Bauwerkes festgelegt sein. Wenn die Breite des Bauwerks die Einschaltung von Dehnvorrichtungen erforderlich macht, wird am besten nach Abb. 12 (vgl. auch Abb. 1) immer das mittelste Querträgerlager zwischen je zwei Dehnvorrichtungen festgelegt. Um den Widerstand der Endquerträgerquader gegen seitliches Nachgeben recht groß zu machen, empfiehlt es

sich, nach Abb. 13 den Auflagerquader nebst dem darunter liegenden Abdeckgesims aus einem Stück zu bilden, was auch ohne diesen Gesichtspunkt aus rein baulichen Gründen das vorteilhafteste ist.

Wenn besondere Auflagerquader für die Endquerträger wie bei Anordnungen nach Abb. 4 fehlen, so müssen die wagerechten Kräfte zu den Bogenwiderlagern geleitet werden. Dann genügt für jede Hauptträgergruppe, deren Fahrbahn ein durch keine Auszugvorrichtung getrenntes Ganze bildet, die Ausbildung eines Eckverbandes zwischen zwei benachbarten Bogen. Dieser liegt zwischen je zwei Dehnstellen wieder am besten in der Mitte.

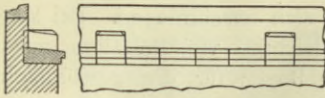


Abb. 13.

Bei der Stirnträgergruppe wird er wohl vorteilhafter an die Stirnträger angegliedert werden, wenn eine Anordnung nach Abb. 1, jedoch ohne Querträgerauflager, vorliegt. Denn bei der Länge des Querträgers  $q_2$  kommt man mit einem Walzträger nicht mehr aus. Man wird daher mit Erfolg einen Fachwerkträger anwenden können, dem man nach Abb. 14 nur

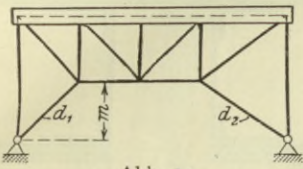


Abb. 14.

noch die beiden Streben  $d_1$  und  $d_2$  zuzufügen hat, um so den gewünschten Eckverband zu erhalten. Es sei noch darauf hingewiesen, daß der Untergurt dieses Fachwerkträgers einen genügend hohen Abstand  $m$  vom Kämpfergelenk haben muß, damit die Spannungen in diesem Querrahmen infolge Wärmeschwankungen nicht zu groß werden. Aus dem gleichen Grunde empfiehlt sich für die übrigen Eckquerverbände keine Anordnung nach Abb. 15a oder b, sondern nach 16a oder b,

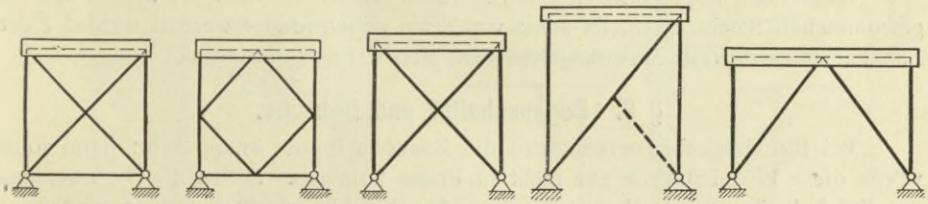


Abb. 15a.

Abb. 15b.

Abb. 16a.

Abb. 16b.

Abb. 17.

also ohne Verbindungsstab zwischen den Kämpfergelenken. Wenn die Endversteifung bei größerem Bogenabstand eine mehr breite Form annimmt, so ist die zweckmäßigste Anordnung des Verbandes die in Abb. 17 dargestellte, die außerdem noch, gemeinsam mit der in Abb. 16b, den Vorzug statischer Bestimmtheit hat.

### § 8. Bogenquerschnitt.

In den gewöhnlich vorkommenden Fällen wird man mit einem einfachen genieteten Träger von I-Querschnitt auskommen, wobei eine Verwendung ungleichschenkliger L-Eisen sehr vorteilhaft ist. Als Stehblechhöhe wird für Eisenbahnbrücken in der Regel  $\frac{1}{40}$  der Spannweite empfohlen, was einer Gesamthöhe des stärksten Querschnitts von etwa 3 vH. der Spannweite entspricht. Niedrigere Träger ergeben unverhältnismäßig starke Profile und größere Durchbiegungen, höhere werden sich oft durch die verfügbare Bauhöhe verbieten. Da diese Stehblechhöhe bei großem Abstand der Hauptträger jedoch schon viele und starke Gurtplatten erfordert, wodurch die Niete eine beträchtliche Länge erhalten, dürfte in geeigneten Fällen eine angemessene Vergrößerung der Höhe zu erwägen sein, die dem guten Aussehen des Bauwerks kaum Abbruch tut. Bei regelmäßiger Bauart des Überbaus weichen die unteren und oberen Kernpunktmente des Blech-

bogens in ihrem Größtwert wenig voneinander ab, so daß in der Regel die Gurtplattenzahl oben und unten einander gleich sein wird. Bei Anordnungen nach Abb. 1, wo die zwei äußeren Bogen an jeder Stirn unregelmäßig belastet werden, verlaufen die Linien der größten oberen und unteren Kernpunktmente derart (vgl. 2. Teil, Abb. 71), daß jede Linie nur einen Höhepunkt auf verschiedenen Seiten des Bogens hat. Hier wird man dem Wechsel der Momentenlinien durch entsprechend unsymmetrische Querschnittsausbildung sich anschmiegen. Bei stark spitzem Kreuzungswinkel können diese zwei Bogen leicht so viel Belastung aufzunehmen haben, daß die Stehblechhöhe der mittleren Bogen für die gewöhnliche Blechträgerform nicht mehr ausreicht. Da es sich nicht empfehlen würde, nur für diese Bogen ein größeres Stehblech anzuwenden, womit ein entsprechendes Senken der Straßen- oder Heben der Schienenoberkante verbunden wäre, ist der Übergang zu einem zweiwandigen Querschnitt nach Abb. 18 anzuraten, dessen beide Stehbleche genügenden Abstand zum Anstrich und zur etwaigen Erneuerung von Nieten haben müssen, und dessen zwei getrennte Untergurteile miteinander gut zu verbinden sind. Die Aussteifung der Stehbleche durch Winkeleisen wird hier am einfachsten, und zwar natürlich vor dem Aufnieten der oberen Gurtung, auf der Innenseite angebracht, da dann die auf der Außenseite erforderliche Unterfütterung fortfällt.

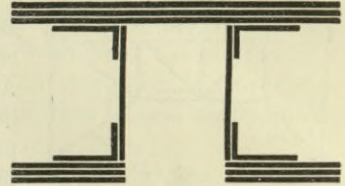


Abb. 18.

In sonstigen Fällen kommt man in der Regel mit einem einwandigen Querschnitt aus.

Wegen der Bogenform ist das Stehblech erheblich öfter zu stoßen als bei gewöhnlichen Blechträgern, da sonst viel Eisen verschwendet werden würde. Über Längen von etwa 6 m hinauszugehen wird sich daher kaum empfehlen.

### § 9. Bogenscheitel und Bauhöhe.

Bei Blechbogenbauwerken wird die Bauhöhe immer knapp sein; denn sonst würde diese Eisenbauweise gar nicht in Frage kommen. Selbst die Lösung, daß der Fahrbahnlängsträger eben noch über dem Blechbogen durchgeführt wird, wird man vermeiden, da sich dann zwischen der Rundung des Bogengurts und dem graden Längsträger eine für den Anstrich unzugängliche Stelle ergeben würde. Wenn die verfügbare Bauhöhe es irgend erlaubt, wird man, unter Umständen auch unter Verringerung der Stehblechhöhe vom Kämpfer nach dem Scheitel zu, die in Abb. 19 und 20 dargestellte Anordnung wählen, bei der oberhalb des Blechbogens noch Platz für zwei Winkeleisenhöhen, also 14 bis 16 cm vorhanden sein muß. Das untere der beiden Winkeleisen ist zweckmäßig ungleichschenkelig. Diese Bauart weist hauptsächlich folgende Vorteile auf:

1. Die beiden Bogengurte gehen ungehindert von Kämpfer zu Kämpfer, was für das schöne Aussehen der Stirnbögen wichtig ist.
2. Das Bogenstehblech wird für sich durch den Scheitel durchgeführt, wobei sich in Bogenmitte ein Gesamtstoß aller Querschnittsteile anbringen läßt. Dieser liegt meist an einer für einen Stehblechstoß vorteilhaften Stelle, weil die zulässigen Angriffsmomente hier einen großen Überschuß über die vorhandenen aufweisen. Der Gesamtstoß erlaubt bei größeren Bogen, die nicht im ganzen zur Baustelle gebracht werden können, die Herstellung des Bogens in der Werkstatt wenigstens nur in zwei Teilen, so daß auf der Baustelle nur noch verhältnismäßig

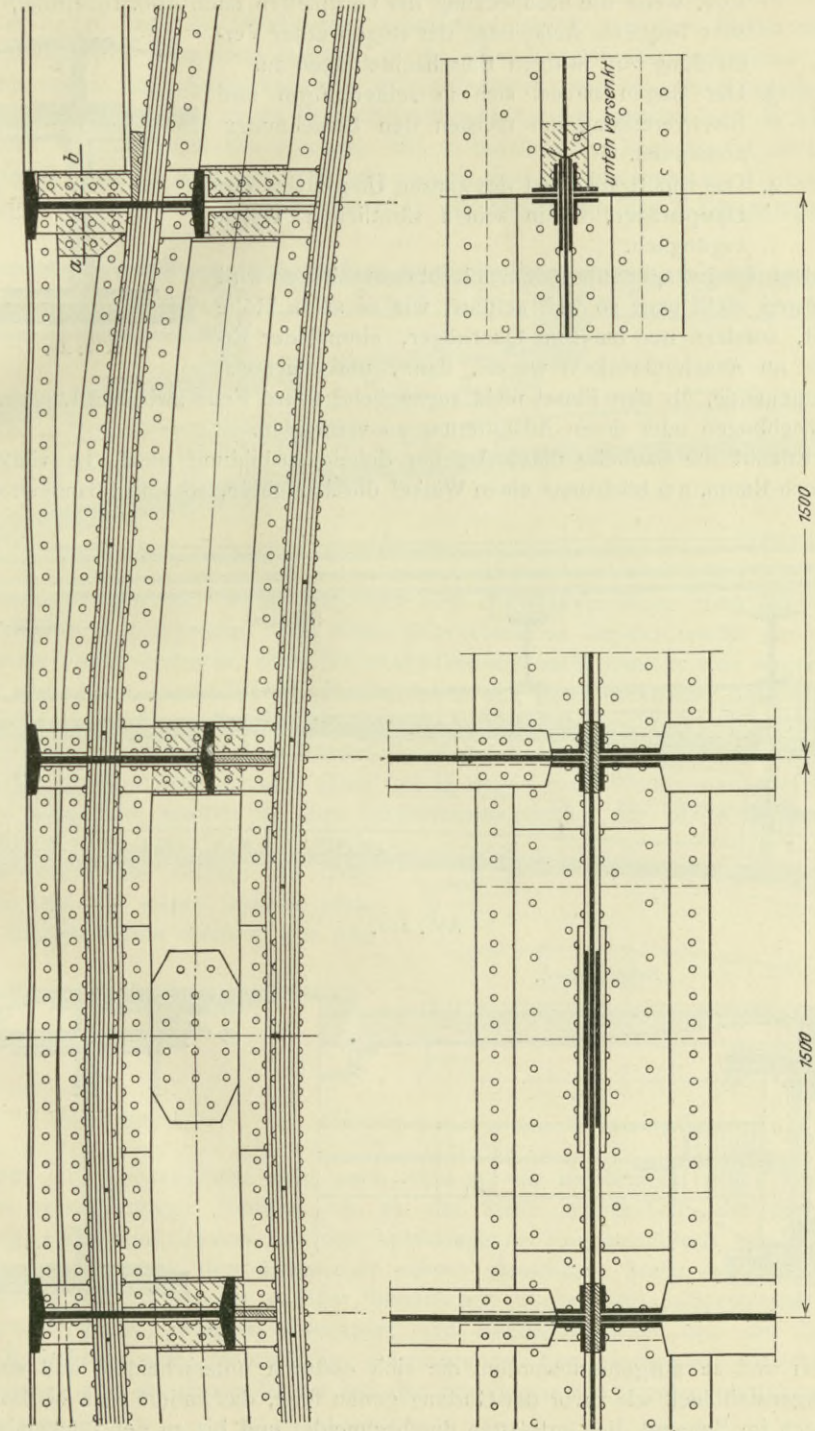


Abb. 19.

wenig Niete geschlagen zu werden brauchen. Endlich läßt dieser Gesamtstoß, wenn die Stoßdeckung der Gurtplatten nach Abb. 19 erfolgt, eine sehr bequeme Aufstellung der Bogen unter Vermeidung von lästigen Einschachtelungen zu.

3. Der Bogen nähert sich in seiner Form und Eisenverteilung am meisten den Berechnungsannahmen.
4. Das wichtigste Glied des ganzen Überbaues, der Hauptträger, ist in seinen sämtlichen Teilen zugänglich.

Der Längsträger über dem Blechbogenscheitel wird am besten nicht ganz so weit geführt, wie es seine Höhe erlaubt, sondern nur bis zum Querträger, einmal der Ersparnis an Anschlußwinkeln wegen, dann, um die sonst sich ergebende, für den Pinsel nicht zugängliche spitze Ecke zwischen Längsträger und Blechbogen oder deren Ausfütterung zu vermeiden.

Erlaubt die Bauhöhe diese Art der Scheitelausbildung nicht, ist vielleicht nur noch Raum, um höchstens einen Winkel durchzuführen, so sind Lösungen nach

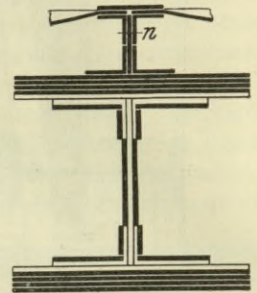


Abb. 20.

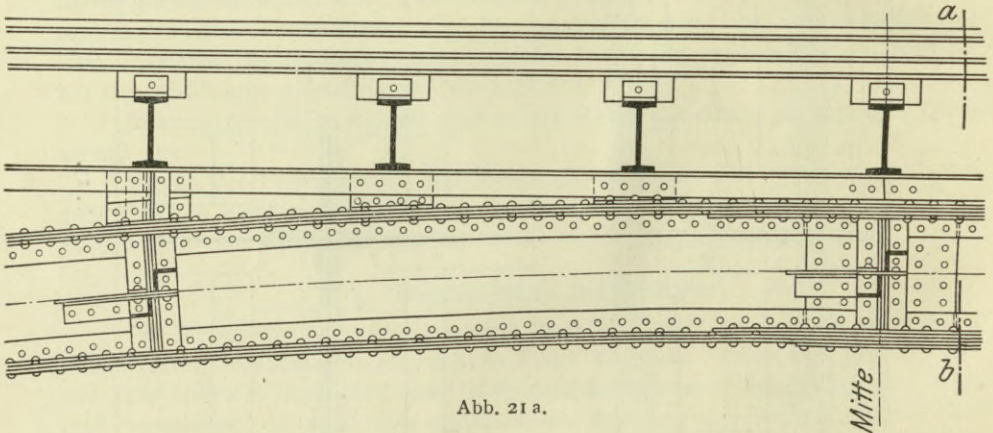


Abb. 21 a.

Schnitt a—b.

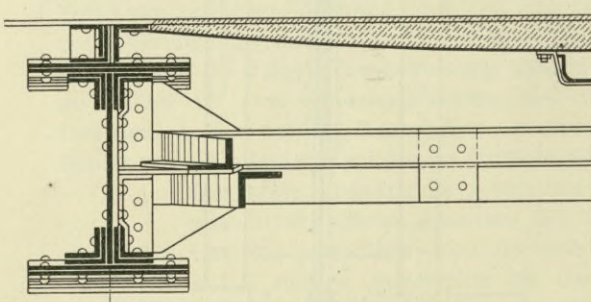


Abb. 21 b.

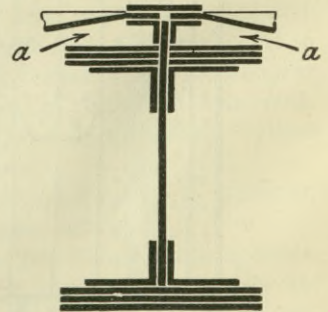


Abb. 22.

Abb. 21 und 22 ausgeführt worden, die sich dadurch unterscheiden, daß einmal das Bogenstehblech wie zuvor der Gurtung genau folgt, das andere Mal das Bogenstehblech im Scheitel die Gurtplatten durchschneidet und bis zu den Buckelplatten heraufgezogen ist, um den Streckgurtwinkel anzuschließen. Im ersten Falle, für



den die Unterführung der Straße am Kupfergraben in Berlin<sup>1)</sup>, nach Abb. 21, ein Muster bildet, muß das Winkeleisen mindestens so oft von dem Bogen mittelst Anschlußwinkeln unterstützt werden, als es seine Tragfähigkeit erfordert. Beide Anordnungen sind deswegen nicht empfehlenswert, weil die Buckelplatten im Scheitel sehr schwer zu nieten sind, und weil sich für den Anstrich bei *a* in Abb. 22 schlecht zugängliche Stellen ergeben. Bei so beschränkter Bauhöhe ist es immer anzuraten, zu der in Abb. 23<sup>2)</sup> veranschaulichten Bauweise überzugehen. Hier ist ähnlich wie vorher das Bogenstehblech an den Stellen, wo der I-Längsträger

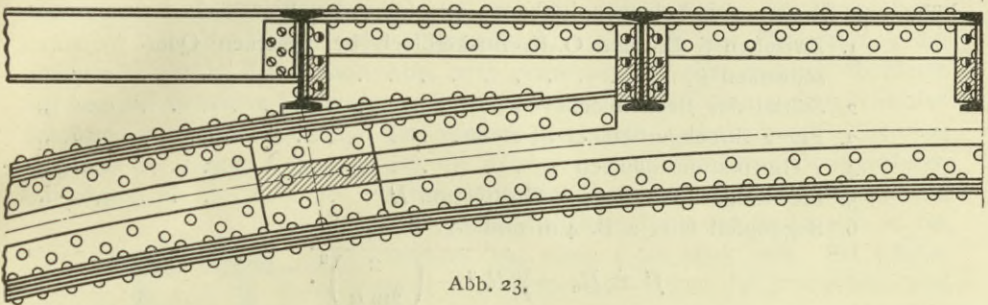


Abb. 23.

aufhört, gestoßen und bis auf eine oder zwei Gurtplattenstärken unter Oberkante Fahrbahnträger hochgeführt. Auf dieser Scheitelstrecke, die sich wieder am besten auf ganze Felder erstreckt, rückt die obere Gurtung nach oben in eine wagerechte Lage und nimmt unmittelbar die Buckelplatten auf, was zweckmäßig nach Abb. 24 geschieht, damit die starken Hauptträgerniete möglichst in der Werkstatt bereits eingezogen werden können. Es ist besser, die zweite als die erste Gurtplatte hervorragen zu lassen, da jene weniger weit allein frei zu tragen hat. Wollte man, wie es bisweilen ausgeführt worden ist, aus Schönheitsrücksichten die obere Gurtung in Bogenform bis zum Scheitel durchgehen lassen, so müßten die Gurtplatten auf die ganze Strecke mühsam durchgeschnitten werden, zur Auf-



Abb. 24.

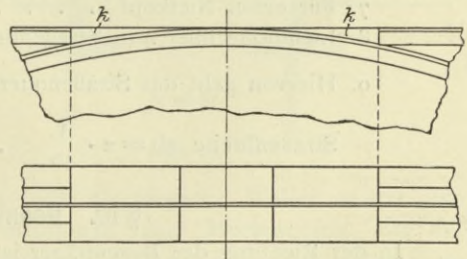


Abb. 25.

lagerung der Buckelplatten wäre nach Abb. 25 ein keilförmiges Stück *k* unter höchst unangenehmer Nietung bis zu der Stelle erforderlich, die die Aufnietung eines Winkeleisens auf das herausragende Bogenstehblech zuläßt, hier würde sich eine für den Anstreicher schwer erreichbare Stelle ergeben, endlich würde die Kante der darüber befindlichen Buckelplatte entsprechend dem Breitenunterschied zwischen Streckgurt und Bogengurtplatten und der Länge des Keilstücks eine rechtwinklig einspringende Form erhalten. Höchstens sollte man sich zu dieser Bauart bei den Stirnbogen von Straßenunterführungen

<sup>1)</sup> Siehe Zeitschrift für Bauwesen 1884, Bl. 10.

<sup>2)</sup> Aus Schaper, Eiserne Brücken, S. 152. Berlin 1908. Verlag von Wilh. Ernst & Sohn.

entschließen, deren bevorzugte Lage es gerechtfertigt erscheinen läßt, diese Übelstände in den Kauf zu nehmen.

Bei sehr beschränkter Bauhöhe läßt sich die Senkung des Obergurts ziemlich weit treiben. Selbstverständlich muß jedoch die Verschiebung der Kernpunkte gegen die Bogenachse, also gegen die Berechnungsannahme berücksichtigt werden.

Die gebogenen oberen Winkel nebst ihren Gurtplatten in Abb. 23 sind so weit über das Scheitelstehblech zu führen, daß der ganze Obergurt am Stehblech stoß voll angeschlossen ist.

Bei der zuerst besprochenen Scheitelausbildung setzt sich die gesamte Bauhöhe von Straßen- bis Schienenoberkante aus folgenden Einzellängen zusammen:

1. Zwischen S. O.- und O.-K.-Buckelblech bei eisernen Querschwellen  $\geq$  . . . . . 0,37 m
2. Stärke des Buckelblechs . . . . . 0,01 „
3. Für 2 Streckgurtwinkel  $\geq 2 \cdot 8$  . . . . . 0,16 „
4. 1 Gurtplattenstoßblech . . . . . 0,015 „
5. Blechträgerhöhe einschl. Gurtplatten  $h' \sim$  . . . . .  $0,03 \cdot l$ .
6. Bogenpfeil über z. B. 4 m mittlerer Straßenbreite

$$f' = R_u - \sqrt{R_u^2 - \left(\frac{2}{\sin \alpha}\right)^2}$$

Hierin ist  $\alpha$  der Kreuzungswinkel,  $R_u$  der Krümmungshalbmesser der untersten Bogengurtplatte. Ist  $R$  derjenige der Bogenachse, so ist z. B. bei einem Pfeil des Blech-

bogens von  $f = \frac{l}{9}$

$$R = \frac{\left(\frac{l}{2}\right)^2 + f^2}{2f} = \frac{85}{72} l \quad \text{und} \quad R_u = R - \frac{h'}{2}$$

7. Für einen Nietkopf . . . . . 0,015 m
8. Lichthöhe über 4 m Straßenbreite gewöhnlich . . . . . 4,40 „
9. Hiervon geht das Straßenquergefälle  $\left(\frac{1}{40}\right)$  über 4 m mittlerer Straßenbreite ab  $= 2 \cdot \frac{1}{40}$  . . . . . 0,05 „

### § 10. Dehnvorrichtung.

In der Richtung der Bogenträger ist, auch wenn die Endquerträger für sich auf das Mauerwerk aufgelagert sind, keine besondere Vorrichtung für die Ausdehnungsmöglichkeit infolge der Wärmeschwankungen erforderlich, wenn diese Lager zweckentsprechend, d. h. auf dem einen Widerlager oder, bei fester Verbindung der Fahrbahn mit dem Bogenscheitel, was bei solchen Bauten eigentlich immer der Fall sein muß, besser auf beiden Widerlagern längsbeweglich angeordnet sind. In letzterem Falle liegt die Fahrbahnmitte in Ruhe, und die nach den Widerlagern zu liegenden Fahrbahnteile können sich bei dem theoretisch gelenkartigen Anschluß der Bogenstützen am Bogen und Längsträger nach beiden Seiten hin gleichmäßig strecken oder kürzen. Nur ist dafür zu sorgen, daß die Tropfnase des Schleppblechs über der Kammermauer (vgl. Abb. 30 u. 51) den nötigen Spielraum für die Längsdehnung erhält. Der Umstand, daß der Blechbogen zwischen seinen Kämpfergelenken keine Längenänderung erfahren kann, wird bei der Querschnittsbestimmung dadurch berücksichtigt, daß die infolge-

dessen eintretenden Zusatzspannungen genau ermittelt werden. Wohl aber werden besondere Anordnungen notwendig in der Richtung quer zur Hauptträgerachse, wenn das Bauwerk, etwa bei einer Überführung von mehr als drei Gleisen an, eine große Tiefe erhält.

Die Bauart der Ausdehnvorrichtung hängt ab von dem Abstand der Hauptträger. Wenn diese nahe beieinander liegen, so läßt sich der schmale Schlitz leicht durch ein darüber gelegtes, freibewegliches  $\square$ -Eisen schließen. Ein Beispiel allerdings für Blechträger, nicht für Bogen gibt die Unterführung der Koppenstraße in Berlin (Abb. 26<sup>1)</sup>). Nachteilig ist hierbei besonders der große Baustoffverbrauch. Bei größerem Abstand der Hauptträger kann die Dehnöffnung durch ein federndes Hänge- oder Tonnenblech, wie es bei der Unterführung der „Straße Nr. 19“ in Berlin nach Abb. 27<sup>1)</sup> geschehen ist, oder dadurch überdeckt werden, daß an beiden Hauptträgern Seitenkonsolen mit Freilassung eines schmalen Schlitzes angebracht werden, der wieder durch ein bewegliches  $\square$ -Eisen zu schließen ist. Gegen Tonnenbleche, die dann aber wohl besser einen weit größeren Durchhang als in Abb. 26 erhalten, sprechen besonders drei Gründe. Einmal

weil es auf beliebige Lage des Raddrucks zu berechnen ist, etwa 1 cm stark sein. Bei solcher muß das Hängeblech wegen der Rostgefahr, und

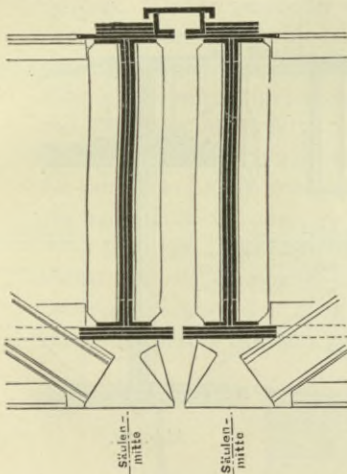


Abb. 26.

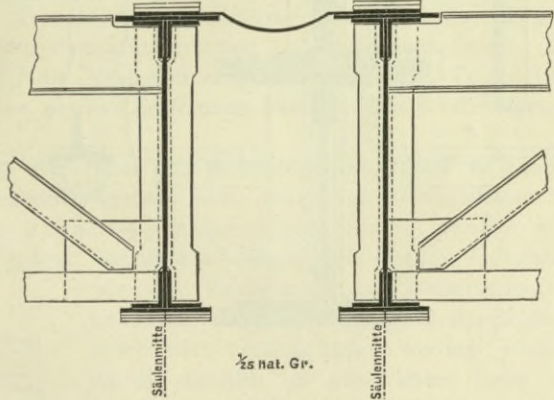


Abb. 27.

Stärke erscheint aber die Biegefähigkeit mehr als fraglich. Weiter ist die gute Entwässerung nicht leicht; denn das Aufbringen einer Mörtelschicht, die der Sohle des Tonnenblechs eine satteldachförmige Neigung nach bestimmten Entwässerungspunkten gibt, würde die Dehnbarkeit des Bleches noch mehr in Frage stellen, auch würde die Schicht bei eintretender Bewegung leicht reißen. Endlich stößt der wasserdichte Abschluß am Widerlager auf gewisse Schwierigkeiten. Allen erwähnten Anordnungen gemeinsam ist der Nachteil, daß sie die sonst regelmäßige Einteilung der Hauptträger unterbrechen.

Diese Mängel werden durch die in den Abb. 28 u. 29 dargestellten Ausdehnvorrichtungen, die der Verfasser in ähnlicher Bauart bei Straßenunterführungen zu Mülheim (Rhein) angewandt hat, vermieden. Der Abstand der Blechbogen voneinander bleibt auch in dem Felde, das die Dehnvorrichtung enthält, der gleiche. Dadurch wird die Gesamtzahl der Hauptträger kleiner und der Überbau leichter, also billiger, die Berechnung und Querschnittsabmessung aller Hauptträger und

<sup>1)</sup> Vgl. „Die Berliner Stadteisenbahn“, Zeitschr. f. Bauw. 1884, S. 351 und Sonderdruck.

ihrer Widerlager bleibt dieselbe, und es wird ein gleichmäßiges, besseres Aussehen des Bauwerks erzielt. Endlich bleibt das System einzeln zu entwässernder Buckelplatten bestehen. Der Auszug wird dadurch ermöglicht, daß die Querträger an dem einen Ende entweder nach Abb. 28 mit nicht zu scharf angezogenen Schrauben  $s$  an den Hauptträger oder seine Pfosten befestigt werden, deren Löcher in den Anschlußwinkeln entsprechend länglich ausgebildet sind, oder daß sie nach Abb. 29 auf auskragende Konsolen mittelst kleiner Lagerböcke aufgesetzt werden. In diesem Falle ist es zweckmäßig, dem aufruhenden Querträger durch seitliche Rippen an einem Lagerteil oder durch einen eingelassenen Dorn, der sich in einem genügend länglichen Loche bewegen kann, eine gute Führung zu geben. Da infolge der Stöße herüberfahrender Züge vielleicht ein Hämmern zu befürchten ist, so erscheint die in Abb. 29 angegebene Führung durch zwei Schrauben vorteilhaft, die in senkrechter Richtung eine Bewegung des Querträgers verhindern, in wagerechter sie aber durch entsprechend längliche Ausbildung der oberen oder unteren Schraubenlöcher erlauben. Die anschließenden, etwas schmaleren Buckelbleche sind neben dem Auszug auf besondere Längsträger

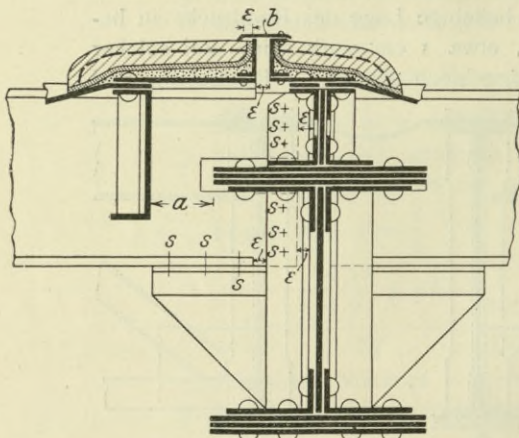


Abb. 28.

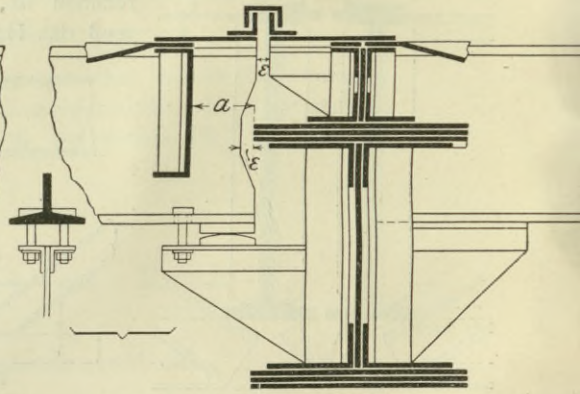


Abb. 29.

gelagert. Die dann noch zwischen diesem Träger und dem Blechbogen bzw. seinem Hauptlängsträger vorhandene Lücke, für deren Abmessung allein die Möglichkeit des Anstrichs aller Eisenteile (vgl.  $a$  in Abb. 28 u. 29) bestimmend ist, wird durch Flachbleche, die der Fahrbahn die erforderliche Bewegung gestatten, abgedeckt. Selbstverständlich ist genau darauf zu achten, daß das Stoßblech und die Flansche der Querträger durch die anstoßenden Knotenbleche und Winkel-eisen in ihrer Bewegungsfreiheit (Spielraum  $\epsilon$ !) nirgends beeinträchtigt werden.

Die Dehnlücke läßt sich verschiedenartig ausbilden. Sie kann durch fingerartiges Übereinandergreifen der Bleche gänzlich verdeckt werden. Da die Bleche jedoch nur eine kurze Strecke frei ausladen, sieht man am einfachsten wohl von dieser Art Deckung vollständig ab.

Die Stelle, wo die Bleche die Bewegungslücke bilden sollen, wird am besten so gewählt, daß sie möglichst wenig ausladen, bei einer Anordnung nach Abb. 29 also in der Mitte, so daß beide Bleche gleich weit vorkragen. Damit sie nicht von einem Widerlager bis zum anderen ohne Zwischenunterstützung durchgehen, empfiehlt es sich, sowohl den oberen Teil des Querträgers als auch vom Streckgurt bzw. Längsträger aus eine Konsole bis je an das Blechende herantreten zu lassen,

damit die Bleche gut unterstützt werden. Bei zu großen Querträgerabständen können noch Zwischenstützen eingeschaltet werden. Bei Anordnungen nach Abb. 28 wird die Lücke aber besser nach dem Hauptträger zu verschoben, da bei einer Lage mit gleich weit ausladenden Blechen das vom Blechbogen ausgehende, wenigstens unmittelbar am Querträger, nicht oder nur mit Schrauben in Schlitzlöchern von diesem unterstützt werden könnte. Auch bei einer Bogenseitelausbildung nach Abb. 23 ist der hier vorgesehene Abstand des  $\square$ -Eisenträgers vom Blechbogen erforderlich, da sonst auf dem Teil, wo die gebogenen Obergurtung beginnt, kein Platz für den Anstreicher bliebe.

Wenn man sich nicht entschließen sollte, die Nähte der Fahrbahnbleche außer durch Kesselnietung und Dichten der Ritzen mit Asphaltkitt noch besonders zu dichten, so ist das Aufnieten zweier Winkeleisen mit frei darüber liegendem  $\square$ -Eisen, wie es Abb. 29 vorsieht, zweckmäßig. Bei Anwendung des im Abschnitt „Entwässerung“ besprochenen und empfohlenen Dichtungskörpers darf dieser über der Ausdehnvorrichtung natürlich nicht ohne Unterbrechung durchgehen. Auch die in gewissem Maße nachgiebige Asphaltfilzplatte würde, wenn sie allein durchgeführt würde, wohl bald bei stärkeren Bewegungen des eisernen Überbaues zerstört werden. Daher empfiehlt es sich, nach Abb. 28 den Schlitz gegen den Dichtungskörper beiderseits durch ein Winkel- und  $\square$ -Eisen abzugrenzen und die Lücke gegen das Eindringen von Bettungskies und Wasser durch ein am  $\square$ -Eisen fest genietetes Flacheisen mit umgebogenen Tropfkanten zu sichern. Sowohl dieses, als auch das  $\square$ -Eisen in Abb. 29 müssen den erforderlichen Dehnspielraum haben. Das Aufnieten der Abschlußeisen auf die Blechränder hat auch noch den Vorteil, daß die mit einer Längsseite auf eine gewisse Entfernung freitragenden Bleche dadurch gut ausgesteift werden.

Daß die Dehnvorrichtung auch über den Schleppblechen genau in gleicher Weise bis zur Endkante angebracht werden muß, wobei die Abschlußeisen des Dichtungskörpers der Neigung des Schleppbleches folgen müssen, braucht wohl kaum besonders erwähnt zu werden.

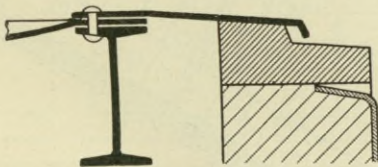


Abb. 30.

Damit das Schleppblech dieselbe Höhenlage wie die Flachbleche der Dehnvorrichtung bekommt, die dann einfach an das Schleppblech hart herangestoßen werden können, ist die in Abb. 30 gezeichnete Lage und Befestigung des Schleppbleches zweckmäßig, wobei eine Nietreihe erspart wird. Dies ist auch insofern erwünscht, als oft der Fehler gemacht wird, die Kammer-

mauer schon vor der Aufstellung des eisernen Überbaues fertig auszuführen. In diesem Falle läßt sich dann das Wiederabreißen des oberen Mauerteiles zwecks Nietung auf die Stoßstellen des Schleppblechs beschränken. An den Endkanten muß das Deckblech *b*, Abb. 28, bzw. das  $\square$ -Eisen in Abb. 29 senkrecht bis zur Höhe der Schleppbleche heruntergeführt werden, damit keine Bettungsteile in den Dehnschlitz gelangen können.

## § II. Fahrbahnträger, Bogenstützen und ihr Anschluß.

Für die Fahrbahnträger werden solange als zugänglich gewalzte Träger gewählt, um an teurer Nietarbeit zu sparen. Sollten bei kleinerer Felderteilung sich  $\square$ -Träger ergeben, die nicht genügend Flanschbreite zur Aufnahme der Buckelblechniete haben, so empfehlen sich  $\square$ -Eisen mit übereinander gelegten Buckelblechrändern, wobei auch noch eine Nietreihe gespart wird. Für die Bogenstützen sind solche

Querschnitte zweckmäßig, die genügende Knickfähigkeit besitzen, dabei aber auch die zugelassene Druckbeanspruchung des Eisens ausnutzen, wie  $\perp$ -Eisen und kreuzweise gegenüber gestellte Winkel.

Wie schon früher im § 7 bemerkt, scheidet die Möglichkeit einer zentrischen Lagerung der Querträger oberhalb der Blechbogen aus. Demnach bleibt nur der starre Seitenanschluß der Querträger an den Bogen bzw. an seine Stützen übrig. Die einfachste Form ergibt sich, wenn Längsträger, Pfosten und Querträger an ihrem Vereinigungspunkt durch vier Winkel miteinander verbunden werden, wie es

Abb. 31 zeigt. Wenn die Stützen aus über Kreuz stehenden Winkeleisen gebildet sind, können diese zugleich als Anschlußwinkel benutzt werden. Hat man auf besondere Quer-

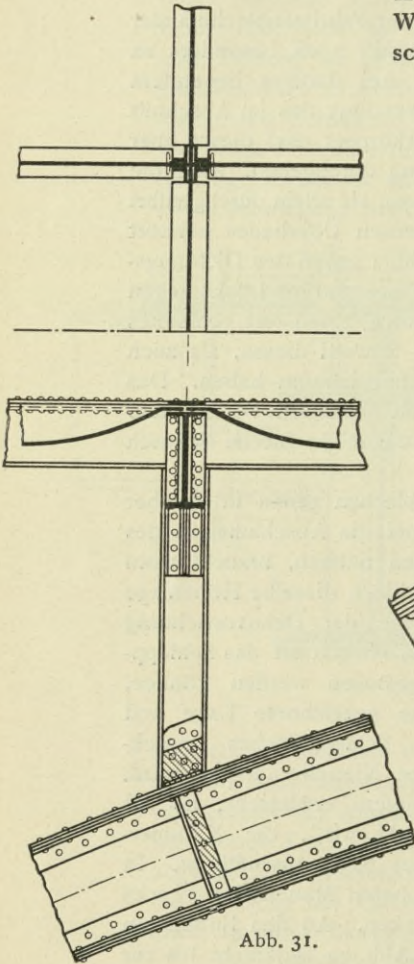


Abb. 31.

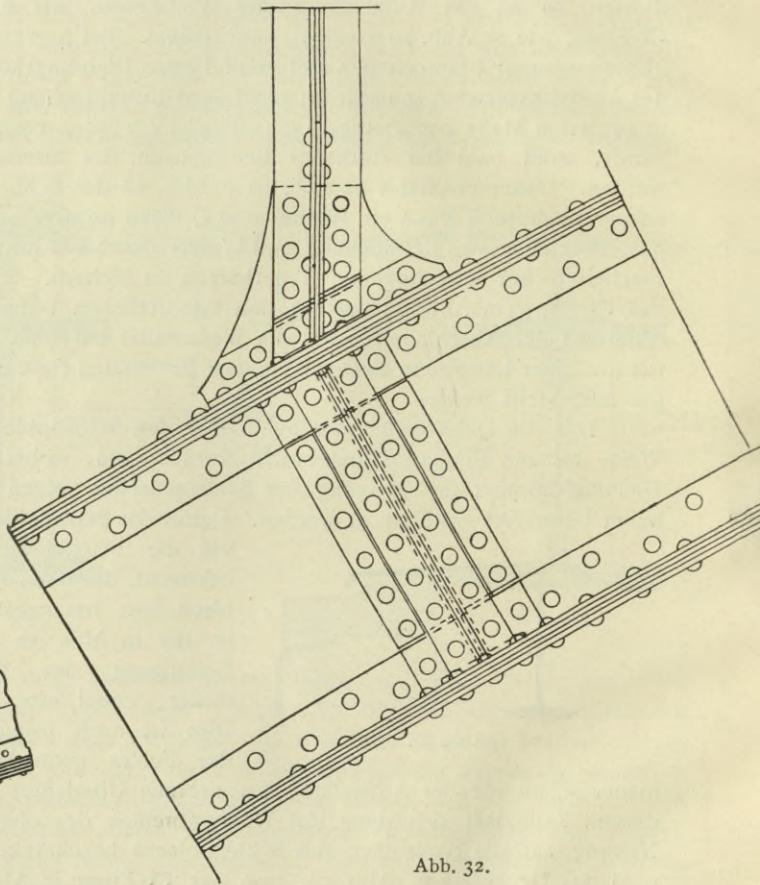


Abb. 32.

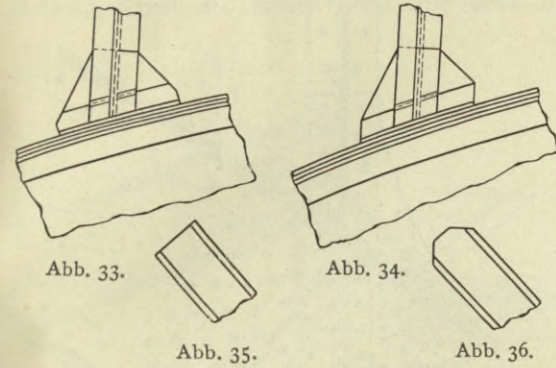
verbände zur Übertragung des Winddrucks auf den Bogen nach der Fahrbahn hin verzichtet, so empfiehlt sich wenigstens bei den Querträgern nahe der Stirn und dem Kämpfer außerdem noch eine genügend tiefgehende Eckaussteifung. Im Scheitel bereitet die Verbindung (vergl. Abb. 19 und 28) ebenfalls keine Schwierigkeiten.

Der Anschluß der Stützen an den Blechbogen nach Abb. 31, wo der Querschnitt  $\perp$ -förmig gedacht ist, entspricht dem theoretischen Standpunkt, nach dem sie gelenkartig verbunden sein sollen, mehr als ein solcher nach Abb. 32.<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Aus Schaper, *Eiserne Brücken*, S. 387. Berlin 1908. Verlag von Wilhelm Ernst u. Sohn.

Natürlich ist die erforderliche Nietzahl, die sich aus der tangentialen Teilkraft des Pfostendrucks berechnet, unterzubringen. Auf äußere Schönheit, wie Ausrundung der Knotenbleche nach Abb. 32, wird man nur bei den beiderseitigen Stirnträgern

Wert zu legen brauchen, da dies nur die Herstellung verteuert, ohne bei den Mittelträgern in die Augen zu fallen. Nebenbei sei bemerkt, daß ein Abschneiden der Winkel nach Abb. 33 sich billiger stellt als nach 34, ähnlich z. B. bei einem Anschluß eines  $\square$ -Eisens günstiger nach Abb. 35 als nach 36, da in den ersteren Fällen nur Scherenschnitte, in den letzteren dagegen teure Sägeschnitte erforderlich werden.



Zur Aussteifung der Bogenblechwand genügt es in der Regel, wenn unter jeder Stütze, im Scheitel unter jedem Querträger ein Winkel- oder  $\perp$ -Eisen senkrecht oder in der Richtung des Halbmessers angebracht wird.

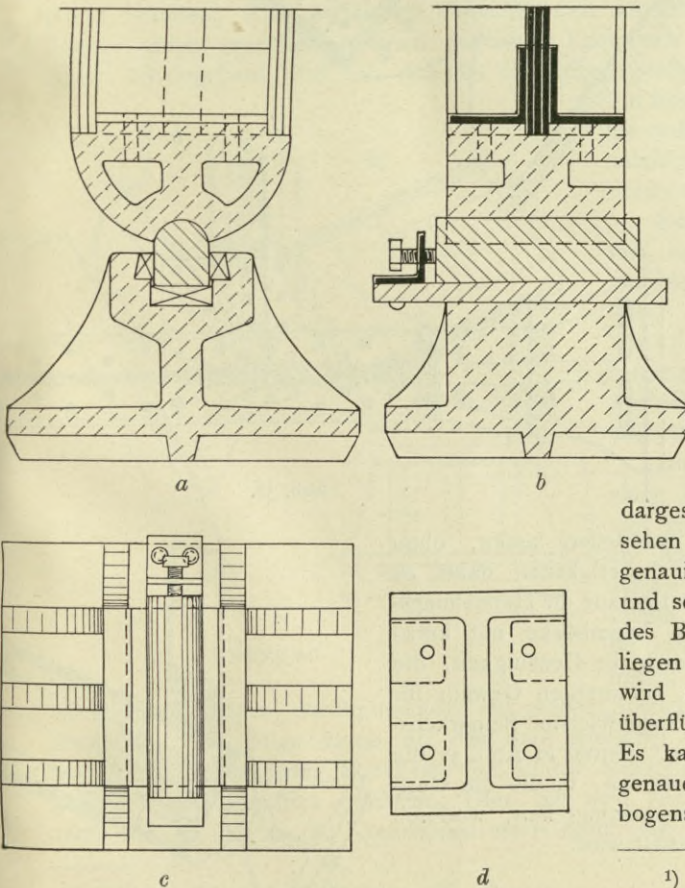


Abb. 37.

## § 12. Bogenlager.

Zum Entwurf des Lagers muß die Größe und Richtung des größten Stützdruckes bekannt sein, deren Bestimmung im 2. Teil dieses Buches besprochen wird. Früher sind bei derartigen Lagerböcken, wie z. B. bei dem in Abb. 37<sup>1)</sup> dargestellten, oft Keile vorgesehen worden, um etwaige Ungenauigkeiten auszugleichen und schon vor dem Ausrüsten des Bogens ein scharfes Anliegen zu erreichen. Hierdurch wird aber die Bockform in überflüssiger Weise verwickelt. Es kann dem Monteur eine genaue Aufstellung des Blechbogens ohne andere Keil-

<sup>1)</sup> Aus Schaper, Eiserne Brücken, S. 372. Berlin 1908.

wirkung als die zwischen Stahlblock und Steinquader nach erfolgtem Anheben des Bogens durch Winden recht wohl zugemutet werden, wenn das Lager als einfaches Zapfenkipp-

lager von der gewöhnlich für Balkenbrücken angewandten Form ausgebildet wird, wie die Abb. 38<sup>1)</sup> und 39 dies zeigen. Nur muß bei der Herstellung des Widerlagers mit besonderer Sorgfalt verfahren werden! Es empfiehlt sich, beim Versetzen des Auflagerquaders eine Lehre bereit zu halten, die dem späteren unteren Stahlblock unter Berücksichtigung der Gußfuge zwischen ihm und dem Quader entspricht und erlaubt, vor dem Vergießen der zwei Quader desselben Bogens ihre richtige Lage durch Ausmessen der theoretischen Gelenkpunkte auf gegenseitigen Abstand und Höhenlage zu prüfen. Der Verfasser hat in dieser Art gelagerte

Bogen in großer Zahl aufstellen lassen, ohne jemals die geringsten Schwierigkeiten dabei zu haben. Im Gegenteil bietet gerade die Herstellungsweise der gewöhnlichen Lagerböcke mit kreisförmigem Kippbolzen durch die Genauigkeit, die das Abdrehen gestattet, am meisten Gewähr für ein scharfes Anliegen der Lagerflächen. Bemerkenswert ist bei dem oberen Lagerteil in Abb. 37 die Einklinkung an beiden Enden, in die die Gurtplatten des Blechbogens hineingreifen, wodurch eine gute Verbindung erzielt wird.

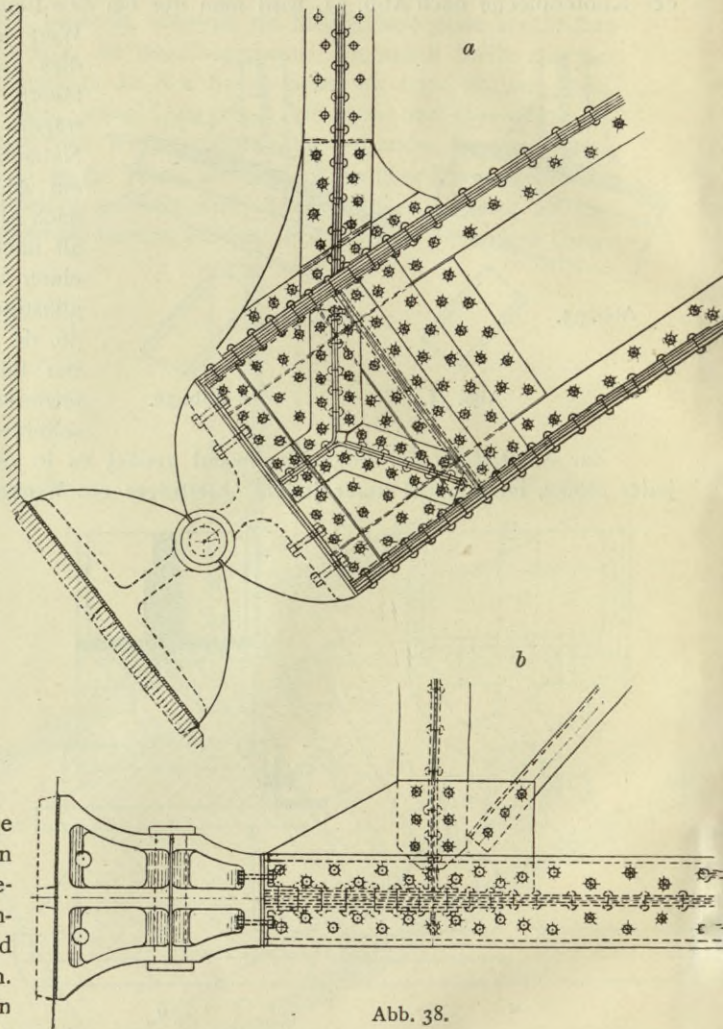


Abb. 38.

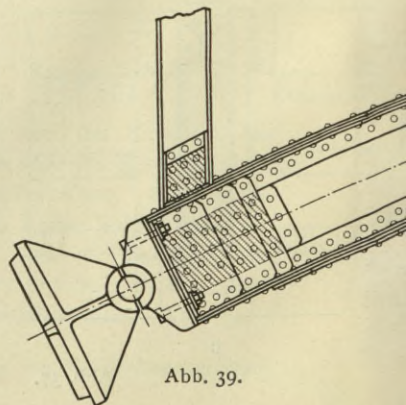


Abb. 39.

<sup>1)</sup> Aus Schaper, Eiserne Brücken, S. 372. Berlin 1908.



Bunde sind an den Kippzapfen nur dann erforderlich, wenn die wagerechten Kräfte aus der Fahrbahn durch Endquerverbände auf die Bogenwiderlager übertragen werden. Die Bunde werden oft unnötig größer gemacht, als es rechnungsmäßig erforderlich ist. Dies bedeutet besonders dann eine Verteuerung der Herstellung, wenn die Bolzen nicht erst etwa mit dem Dampfhammer auf die ungefähre Form mit Bunden gebracht, sondern unmittelbar aus dem Vollen abgedreht werden.

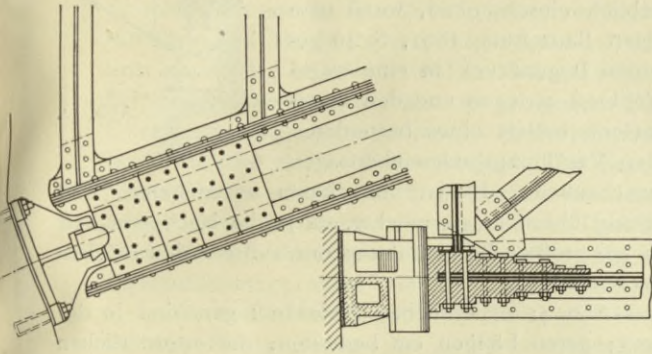


Abb. 40.

Wenn ein Eckquerverband die wagerechten Kräfte der Fahrbahntafel auf die Kämpfergelenke überträgt, was nach den früheren Ausführungen im Verein mit dem Fortfall besonderer Auflagerquader für die Endquerträger in der Regel die vorteilhafteste Lösung darstellt,

so muß sich die erste Bogenstütze nahe, womöglich senkrecht über dem Gelenkpunkt befinden. Auch in diesem Falle läßt sich der Pfosten an die Gurtung des Bogens selbst anschließen, wenn der obere Lagerbock entsprechend tief in den Bogen hineingebaut wird, so daß die Gurtungen genügend weit herübergreifen.

Ein Beispiel hierfür gibt Abb. 40,<sup>1)</sup> die den Kämpfer an der Straßenerunterführung am Kupfergraben in Berlin darstellt.

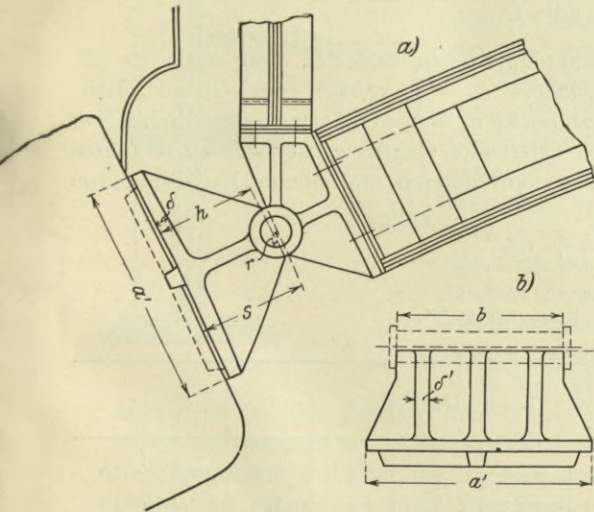


Abb. 41.

Zweckmäßiger mag es jedoch sein, in solchen Fällen die Stütze unmittelbar auf den oberen Lagerbock aufzusetzen und mittels Winkeleisen und Schrauben zu befestigen, wobei das Lager eine Ausbildung etwa nach Abb. 41 erfahren muß.

An dieser Stelle sei auf einen Schönheitsfehler aufmerksam gemacht, den man gerade an Bogenquadern öfter beobachten kann. Wenn die Kreuzrippen des unteren Lagerbocks bis scharf an die Kanten herantreten, wird, um ihn ungehindert

einsetzen zu können, der Steinquader mit großem Spielraum vom Steinmetzen ausgearbeitet. Die Folge davon ist, daß nach erfolgtem Vergießen des Lagerstuhls die in der Mitte jeder Bockkante befindliche Steinoberfläche verletzt und mit Mörtel wieder verkittet erscheint. Dies läßt sich leicht vermeiden, wenn man nach Abb. 39 und 41 die Kreuzrippen etwas hinter die Kanten zurücktreten läßt.

<sup>1)</sup> Aus Zeitschrift für Bauwesen 1884, Blatt 10.

Allen besprochenen Lagerausbildungen ist der Gedanke gemeinsam, daß der Stützdruck durch einen einzigen Lagerbock auf das Widerlager geleitet wird. Die Folge davon ist, daß das Widerlager starke Abmessungen erhält, und daß man bei sehr tief liegendem tragfähigen Baugrund sich nur schwer zu einer Bogenbauart entschließen wird. Allerdings ließen sich die Baukosten erheblich einschränken, wenn man nach einem in der Allgemeinen Bauzeitung 1891, S. 46 gemachten Vorschlag den gesamten Bogendruck in eine wagerechte und eine senkrechte Teilkraft zerlegen und den wagerechten Schub vom Kämpfergelenk mittels eines besonderen Lagerbocks unmittelbar auf den Verfüllungsboden übertragen würde, wie es Abb. 42 veranschaulicht. Es ist aber kaum anzunehmen, daß je ein Bauleiter die Verantwortung übernehmen möchte, da ja die Nachgiebigkeit des Hinterfüllungsbodens auch bei größter Beschränkung der auftretenden Höchstbeanspruchung gänzlich unberechenbar ist.

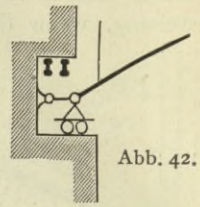


Abb. 42.

Unter Einführung der aus Abb. 41 ersichtlichen Bezeichnungen sind in der nachfolgenden Zusammenstellung, deren Längen cm bedeuten, die erforderlichen Lagergrößen für quadratische Lagerböcke und größte Stützdrücke  $D$  von 125 bis 325 t aus den bekannten Formeln (s. Hütte, II. Teil, S. 341):

$$a' = \sqrt{\frac{D}{\sigma_q}}; \quad r = 0,8 \frac{D}{\sigma_q \cdot b}; \quad 0,22 z \delta' h^2 \sigma_s = \frac{D a'}{8};$$

$$\delta = \frac{h}{3} \left( 1 - \sqrt{\frac{a' - 4 z \delta'}{a' - z \delta'}} \right)$$

berechnet worden,<sup>1)</sup> worin  $z$  die Zahl der Rippen bedeutet, und worin für die zulässigen Beanspruchungen des Quaders  $\sigma_q = 40 \text{ kg/cm}^2$ , des Gelenkbolzens  $\sigma_g = 1,1$  bis  $1,2 \text{ t/cm}^2$  und des Stahlbocks  $\sigma_s = 1 \text{ t/cm}^2$  eingesetzt sind. Der Abstand von Mitte Gelenkbolzen bis Oberkante Quader  $s$ , der bei einer Fugenstärke und einem Spielraum zwischen dem unteren und oberen Lagerbock von je 1 cm

$$s = h + 1,5$$

ist, folgt dabei der Gleichung

$$s^{\text{cm}} = 18 + 0,065 D^t.$$

| $D$ (t) | $a'$ | $b$ | $(r \geq)$ | $r$ | $h$  | $(z \delta')$ | $z$ | $\delta'$ | $\delta$ | $s$  |
|---------|------|-----|------------|-----|------|---------------|-----|-----------|----------|------|
| 125     | 56   | 35  | 2,5        | 5   | 24,5 | 6,6           | 4   | 1,7       | 1,8      | 26   |
| 150     | 61   | 38  | 2,8        | 5   | 26,5 | 7,4           | 4   | 1,9       | 2,1      | 28   |
| 175     | 66   | 41  | 3,0        | 5   | 28   | 8,4           | 4   | 2,1       | 2,3      | 29,5 |
| 200     | 71   | 44  | 3,2        | 6   | 29,5 | 9,3           | 4   | 2,4       | 2,6      | 31   |
| 225     | 75   | 47  | 3,4        | 6   | 31   | 10,0          | 4   | 2,5       | 2,8      | 32,5 |
| 250     | 79   | 50  | 3,5        | 6   | 32,5 | 10,6          | 4   | 2,7       | 2,9      | 34   |
| 275     | 83   | 52  | 3,7        | 7   | 34,5 | 10,9          | 4   | 2,8       | 3,0      | 36   |
| 300     | 87   | 54  | 3,9        | 7   | 36   | 11,4          | 4   | 2,9       | 3,1      | 37,5 |
| 325     | 90   | 56  | 4,1        | 7   | 37,5 | 11,8          | 4   | 3,0       | 3,3      | 39   |

1) Vgl. auch Schaper, Eiserne Brücken, S. 347. Berlin 1908.

### § 13. Oberlicht.

Im eigentlichen Bahnhofsgelände wird die Anordnung von Oberlicht wegen der Möglichkeit späterer Gleisverschiebungen gewöhnlich auf Schwierigkeiten stoßen. Läßt also die Art und Bedeutung der Gleise ihre Einteilung in mehrere Gruppen, zwischen denen ein Oberlicht angelegt werden kann, nicht zu, so wird es, wenn die Tiefe des Bauwerks und der Verkehr auf der Straße die Zuführung von Tageslicht notwendig erfordert, wohl am besten sein, das Bauwerk zunächst ohne Oberlicht zu entwerfen und dann an geeigneten Stellen die Fahrbahnplatte durch eine Oberlichtanordnung zu ersetzen. Erforderlichenfalls läßt sich das Oberlicht dann leicht in eine andere Lage bringen. Um derartige Stellen bei dem Gleisabstand von 4,5 m zu schaffen, muß man schon bei der Bestimmung der Lage der Hauptträger hierauf Rücksicht nehmen. Unter Umständen mag sich auch eine geringe Verbreiterung des Bauwerks als zweckmäßig erweisen, um für den Einbau von Lichtzuführungen einen oder den anderen Gleisabstand vergrößern zu können.

Wenn Veränderungen der Gleislage, wie z. B. bei den Gleisentwicklungen an den Bahnhofsenden so gut wie ausgeschlossen sind, so werden auch die erforderlichen Oberlichter als festliegend angebracht werden können. Wenn die Richtungen der Hauptträger mit denen der Gleise zusammenfallen, laufen die Lichtspalten von einem Widerlager bis zum anderen durch. Bei verschiedenen Richtungen wird es bei dem Gleisabstand von 4 m kaum möglich sein, Buckelplattenfelder durch solche mit Oberlicht zu ersetzen. Wie schon erwähnt, ist dieser Gesichtspunkt bei der Richtungsbestimmung der Hauptträger mit zu berücksichtigen.

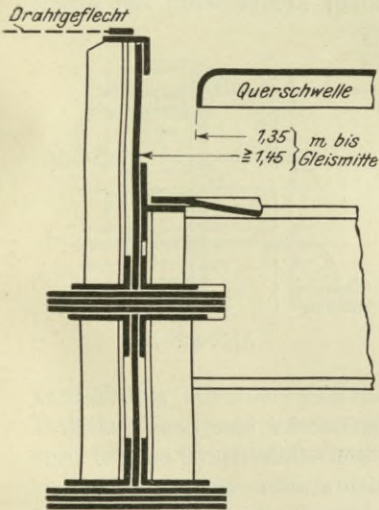


Abb. 43.

Die Lichtspalten zwischen den Hauptträgern einfach offen zu lassen, wird nur angehen, wenn der Gleisabstand das Anbringen von Schutzgeländern gestattet. Bei einem solchen von nur 4 m muß man den Spalt unter Abschluß des Schotterbettes etwa nach Abb. 43 überdecken. Das bisher wohl meist verwandte Glas mit Drahteinlage leidet unter leichter Zerstörbarkeit und unter mangelhafter Lichtdurchlässigkeit, da es erfahrungsmäßig nicht dauernd sauber gehalten wird. Durchlöchertes Eisenblech, das z. B. bei einer Straßenunterführung in Düsseldorf angewandt wurde, gewährt dem Tageslicht auch nicht genügenden Durchtritt, außerdem sammelt sich viel Schmutz an, der bei Regenwetter auf die Straße hinuntergespült wird und zu steten Klagen Anlaß gibt. Besser ist es, die Lichtspalten mit einem in einen leichten Eisenrahmen gespannten Zinkdrahtgeflecht oder mit einem Rost aus hochstehenden, dünnen Flacheisen zu überziehen, wodurch gleichzeitig auch eine bessere Lüftung der Straßenunterführung erzielt wird. Vielleicht empfiehlt sich am meisten über dem Damm die Anwendung solchen Geflechts, über den Bürgersteigen dagegen zum Regenschutz die Einlage von Drahtglas.

Es sei noch kurz auf die Befestigung der Buckelplatte an das Abschlußblech über dem Bogenträger hingewiesen. Diese erfolgt am einfachsten mit Hilfe eines  $\perp$ -Eisens. Ein Winkeleisen allein würde zu ungünstige Spannungen in den Anschlußnieten hervorrufen. Zwei Winkel in Form eines  $\perp$  erschweren die Verbindung aber unnütz.

### § 14. Dichtung und Entwässerung der Fahrbahn.

Bei der Größe der Spannweiten für Blechbogenbauten kommt nur Einzelentwässerung jeder Buckelplatte in untergehängte Rinnen in Frage. Zunächst handelt es sich darum, die Nähte der Fahrbahnbleche zu dichten. Wenn man sich allein auf sogenannte Kesselnietung beschränkt, so ist es dringend zu empfehlen, über sämtliche Fahrbahnbleche, auch bei gewalzten Trägern, etwa 8 mm starke Decklaschen zu nieten, um dadurch die Stöße der Buckelplatten gut abzuschließen. Das bloße Verschmieren der Ritzen mit Asphaltkitt bietet keine gleiche Gewähr, da er durch Erschütterungen herausgerüttelt werden kann. Sicherer erscheint jedoch die Dichtung durch einen nachgiebigen Asphaltfilz, der in eine satteldachförmige Neigung gebracht und gegen Beschädigung genügend geschützt ist. Eine solche Dichtungsweise ist in Abb. 44 dargestellt. Nach sorgfältiger Reinigung der zu schützenden Flächen mit Stahlbürsten werden sie mit heißer Asphaltklebemasse bestrichen. Hierauf wird Asphaltbeton mit hinreichender Querneigung aufgebracht, so daß die Nietköpfe vollkommen verdeckt sind. Für diesen Zweck Zementbeton zu nehmen, ist weniger anzuraten. Denn da es sich im Gegensatz zur Entwässerung über die Widerlager im ganzen nur um wenig Masse handelt, spielt der allerdings erhebliche Preisunterschied keine große Rolle; Zementbeton löst sich

aber, wenn er in so dünnen Lagen aufgebracht wird, leicht ab. Da der Asphaltbeton derartig sein muß, daß er unter dem Einfluß der Sonne nicht breiartig auseinanderfließt, so empfiehlt es sich, rechtzeitig vor Beginn der Arbeiten durch Ver-

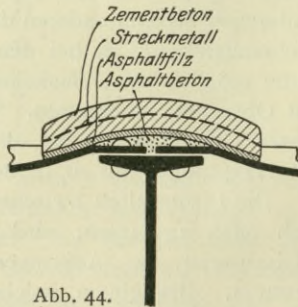


Abb. 44.

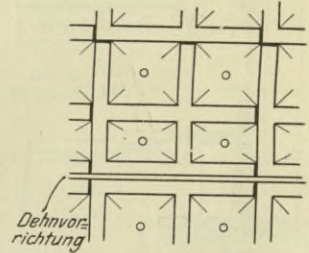


Abb. 45.

suche die zweckmäßigste Mischung von Asphalt und Kies und die günstigste Korngröße des Kieses zu ermitteln. Auf den Asphaltbeton wird eine Lage starker Asphaltfilzplatte mittels Asphaltklebemasse aufgeklebt, die mindestens 8 cm tief in die Buckel der Bleche hineinragt, und deren Stöße sich etwa 10 cm überdecken. Zum Schutz gegen Beschädigungen durch Brechstangen, Stopfhacken oder scharfen Steinschlag wird darüber ein 4 bis 5 cm starker Betonmantel, etwa von der Mischung 1 Zement :  $\frac{1}{2}$  Traß oder Kalk (zum Dichtmachen) : 2 Sand : 3 Feinkies, ausgebreitet, bei dem seiner geringen Stärke wegen die Einlage von Drahtgeflecht oder Streckmetall anzuraten ist. Zum Schluß wird die Betonoberfläche durch Überstreichen von Zementmilch mit der Kelle geglättet. Da beim Erhärten der langen Betonstreifen die Bildung von Rissen schon an sich nicht zu vermeiden ist, diese Gefahr aber durch die ungleiche Ausdehnung vom Beton und dem eisernen Überbau darunter und durch die Erschütterungen noch erhöht wird, so ist es zweckmäßig, durch Einschalten von Dachpappestreifen etwa nach Abb. 45 die Betonstreifen in einzelne Abschnitte zu zerlegen. Statt Betons Blechplatten oder eine Ziegelflachsicht zu verwenden, empfiehlt sich weniger, da diese sich zu leicht verschieben, die Ziegelsteine auch mit ihren scharfen Kanten unter den Stopfschlägen den Asphaltfilz beschädigen können. Noch weniger sind die gar zu vergänglichen Holzroste anzuraten.

Außer der erhöhten Sicherheit gegen Undichtwerden gewährt diese Dichtungsart noch andere Vorteile. Da die Fläche über den Fahrbahnträgern ganz überdeckt wird, braucht auf einen möglichst dichten Stoß der Buckelblechränder nicht der geringste Wert gelegt zu werden. Im Gegenteil ist es zweckmäßig, von vornherein eine Lücke von mindestens 1 cm vorzusehen, da dann das kostspielige Abfräsen der Ränder erspart und ein viel leichteres Verlegen der Buckelplatten ermöglicht wird. Auch der Abstand der Niete, für die wegen der schmalen Flansche mancher I-Eisen ein Durchmesser von nur 16 mm am empfehlenswertesten ist, darf auf  $5d$ , vielleicht sogar auf  $6d$  vergrößert werden. Durch beide Maßnahmen wird sich der Einheitspreis für die Tonne Flußeisen verringern. Endlich sind Decklaschen über den Blechrändern nur nötig, wenn die Fahrbahnträger aus zusammengenieteten Querschnitten bestehen, um die sonst eintretende Zugbeanspruchung der wagerechten Nietreihe  $n$  in Abb. 20 zu vermeiden.

Die sämtlichen Fahrbahnbleche werden am besten, nachdem sie vorher durch Beizen gründlich gereinigt worden sind, mit gutem Rohzink ohne Beimischung von Blei oder anderen schädigenden Elementen stark verzinkt. Obgleich die Fahrbahnniete warm eingezogen werden, hat man eine Verletzung des Zinküberzuges an den Nietstellen, etwa derart, daß sich hier besonders leicht Rost bildet, nicht beobachtet. Die Bleche, die in den sichtbar bleibenden Flächen den gewöhnlichen Anstrich der übrigen Eisenteile erhalten, werden oben gewöhnlich noch zur Sicherheit

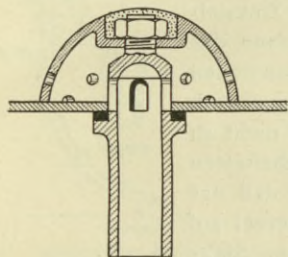


Abb. 46.\*

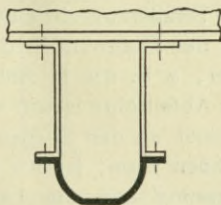


Abb. 47.

mit einem Steinkohlenteer- oder Asphaltanstrich versehen.

Den tiefsten Punkt der Buckelplatten, in dem das zuströmende Wasser durch ein Loch im Blech in die untergehängten Rinnen geleitet wird, pflegte man früher verschiedenartig, mit und ohne schützende Siebhauben und Tropfstützen,

auszubilden. Nachdem Jucho, Dortmund, die in Abb. 46 dargestellte und durch D. R.-P. Nr. 203 508 geschützte Anordnung angegeben hat, bei der Tropfstützen und Siebhaube in einfachster Form durch Anziehen einer einzigen Schraubenmutter miteinander verbunden werden, wird man wohl kaum noch zu den früheren Lösungen zurückgreifen, zumal nachdem die ursprüngliche Bauart dahin abgeändert worden ist, daß die Schraubenmutter in der Siebhaube versenkt liegt und hier gegen Loslösen durch einen Zementvergüß gesichert werden kann.

Die Rinnen werden durch Halteisen, z. B. nach Abb. 47, an die Fahrbahn angehängt, deren Länge entsprechend dem Gefälle allmählich zunimmt. Bei Blechbogen ist die gegebene Lage der Rinnen derart, daß das Wasser zunächst in Längsrinnen, die mit den Bogen gleichlaufen, zu den Widerlagern geleitet und hier in einer Querrinne gesammelt wird, die es den Abfallrohren zuführt. Bei kleineren Spannweiten erlaubt es die verfügbare Höhe zwischen den Unterkanten der Querträger und Blechbogen, das Wasser aus den Buckelplatten am einen Widerlager zum andern zu führen, so daß nur eine Querrinne nebst Abfallrohren erforderlich wird. Man wird eine solche Anordnung so lange vorsehen, als dabei eine Durchbrechung der Querträger vermieden wird; sonst ist von Bogenmitte aus nach beiden Widerlagern zu entwässern. Das Gefälle wird man möglichst groß wählen, mindestens 1 : 50 bis 1 : 100. Für die Rinnen wird starkes Zinkblech und

verzinktes Eisenblech oder Walzeisen verwendet. Wenn auch bei verzinktem Eisen die Gefahr des allmählichen Rostens vorliegt, und wenn auch wegen der erforderlichen Verzinkung kaum größere Längen als 9 bis 10 m zu haben sein werden, so dürfte doch die Anwendung von Walzeisen, wenigstens für die über der Straße selbst liegenden Längsrinnen, mehr zu empfehlen sein, da Zinkblech zu leicht, z. B. durch die Leitern der Anstreicher, beschädigt wird. Für diese, die nur wenig Wasser abzuführen haben, kommt das Belageisen  $\cup$  Nr. 7 $\frac{1}{2}$  in Frage. Dies ist zweckmäßiger als ein  $\perp$ -Eisen, da es einen kleineren benetzten Umfang hat. Für die Querrinne, die viel mehr Wasser aufzunehmen hat, kommt dieser Gesichtspunkt nicht so in Frage; es stehen die beiden nächstfolgenden Belageisen Nr. 9 und 11 und das  $\perp$ -Schiffsprofil Nr. 14/8 mit hohen Flanschen zur Wahl. Da jedoch die Querrinne nahe der Mauer sich in ziemlich geschützter Lage befindet, ist hier eine Rinne aus etwa 2 mm starkem Zinkblech, dessen Ränder zur besseren Reinigung nach außen gebogen sind, mehr anzuraten, zumal bei tiefen Unterführungen, wo sie öfter gestoßen werden müßte. Für die Abfallrohre pflegt man etwa 130 mm weite Rohre zu wählen, die mit Schelleisen an eingelassene Holzdübel entweder vor oder in einer Nische im Mauerwerk befestigt werden, und zwar oberhalb Zinkrohr, im unteren Teil, wo sie Beschädigungen ausgesetzt sind, asphaltiertes Gußeisenrohr. Zweckmäßig ist es, an der Einmündung des Abfallrohrs in die Querrinne ein Zinksieb oder einen verzinkten Eisenrost anzubringen, da man dann das Gußeisenrohr unmittelbar in das Straßentonrohr einmünden lassen kann, und auch die Einbettung des Gußrohrs in das Mauerwerk oder den Beton der Widerlager, z. B. wie in Abb. 48, nicht zu scheuen braucht. Die Lage der Abfallrohre ist am vorteilhaftesten in der Mitte des Bauwerks, nicht an den Stirnen, so daß das Wasser von beiden Seiten zufließen kann; jedoch ist hierbei auf die vorhandene Straßenentwässerung und die Lage der Sinkschächte, in die am besten unmittelbar hinein entwässert wird, Rücksicht zu nehmen. Über die Verteilung und Anbringung der Abfallrohre muß natürlich schon bei der Aufstellung des allgemeinen Entwurfs, nach dem die Maurerarbeiten ausgeführt werden, Bestimmung getroffen sein.

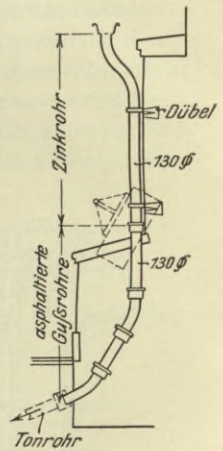


Abb. 48.

## § 15. Fußsteig.

Nur wenn durch besondere Umstände ein sehr breiter Fußsteig an den Stirnenden der Bauwerke anzulegen ist, wird sich die Anordnung besonderer Hauptträger für diesen Zweck empfehlen. Meist wird man daher den Fußsteig auf Konsolen an den Außenseiten der Endbogen lagern. Die regelmäßige Unterbrechung der Stirnebenen durch die vorspringenden Konsolen sieht auch besser aus.

Die Ausbildung der Konsolen wird wesentlich bedingt durch die Möglichkeit einer guten Entwässerung. Deckt man die Fußsteigbahn durch nach unten gewölbte Buckelplatten, Belageisen oder Tonnenbleche ab, so läßt sich eine ausreichende Entwässerung nur durch eine das Schaubild beeinträchtigende Längsrinne in Blechmitte oder, nach Ausfüllung der Bleche mit Zementbeton, durch Überleitung des Wassers zur Fahrbahn erzielen. In beiden Fällen ergibt sich eine überflüssige Belastung des Fußsteiges. Zweckmäßig werden daher nach oben gewölbte Tonnenbleche angewandt, deren Form mit höchstem Punkt am Geländer, wie in Abb. 49, eine leichte Entwässerung gestattet.

Die unteren, das Konsolstehblech einsäumenden Winkeleisen sind manchmal, auch nahe den Kämpfern, bis zu den unteren Gurtplatten des Blechbogens heruntergezogen worden. Dadurch daß die beiden abstehenden Flansche dieser Winkeleisen in voller Breite das Bogenstehblech verdecken und so den ganzen Bogen gewissermaßen in eine Anzahl Abschnitte zerlegen, wird eine eigenartige Wirkung erzielt. In jedem Falle ist jedoch mit Sorgfalt darauf zu achten, daß innerhalb des gekrümmten Teiles der unteren Saumwinkel

Schnitt ab.

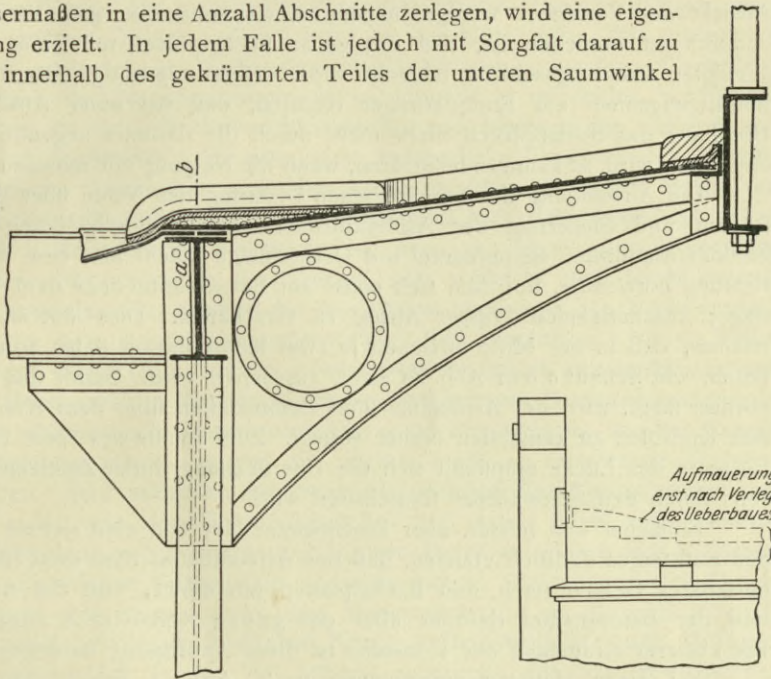


Abb. 49.

Abb. 50.

sämtliche Konsolen einander genau gleich ausgeführt werden, da auch nur kleine Abweichungen dem Auge des Beschauers sofort unangenehm auffallen würden.

Das Geländer wird am bequemsten nach Abb. 49 an einem  $\square$ -Eisen befestigt, das auch mit seiner kräftigen Schattenwirkung das gute Aussehen fördert.

Zwecks guten Einbindens in das Mauerwerk ist hier eine entsprechende Lücke frei zu lassen (siehe Abb. 50), die nach dem Einsetzen des  $\square$ -Eisens geschlossen wird.

Über dem Widerlager vertritt das Konsolblech unmittelbar die Stelle des sonst vorhandenen Schleppbleches. Die Oberfläche der Abdeckplatte muß sich daher genau der Form des Konsolbleches anschmiegen. Wenn diese Form gradlinig geneigt ist, empfiehlt es sich, von der Stelle ab, wo das Schleppblech über dem Endquerträger mit einem Knick in die Schräge übergeht, das Konsolblech nebst dem Gurtwinkel am  $\square$ -Eisen ebenfalls in dieselbe Neigung zu biegen, wobei der Stoß beider Bleche leicht durch eine Decklasche mit unten versenkten Niete gedeckt werden kann.

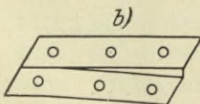
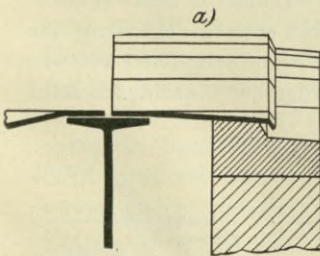


Abb. 51.

Bei gekrümmter Form des Konsolbleches ist dies nicht angängig. Hier bildet sich zwischen beiden Blechen ein senkrecht stehendes Dreieck, zu dessen Deckung eine nach Abb. 51 geformte Decklasche erforderlich ist. Zwischen ihrer Dreieckswand und der Abdeckplatte darf der für die Aus-

dehnung des Überbaues in der Tiefenrichtung erforderliche Spielraum nicht vergessen werden, ebenso an der Stelle, wo das  $\square$ -Eisen am Konsolblechrand an die Mauer stößt, wenn die Art der Lagerfestlegung dies erfordert. Dem Schleppblech gar keine Neigung zu geben, um diese Schwierigkeit zu vermeiden, ist nach Ansicht des Verfassers weniger anzuraten, da sonst eine gute Entwässerung nur dadurch zu erreichen ist, daß das ganze Schleppblech mit einer entsprechend geneigten Dichtungsschicht bedeckt wird. Eine ungünstige Beanspruchung der Befestigungsniete am Endquerträger dadurch, daß bei einer Ausdehnung des Überbaues das Schleppblech nicht mehr durch die darunter liegende Abdeckplatte unterstützt wird, ist kaum zu befürchten, wenn die Neigung nur schwach gewählt wird.

Die Anwendung der beschriebenen Dichtung der Nähte über den Fahrbahnträgern und Sicherung der Asphaltfilzdecke gegen Beschädigung durch einen herübergestampften Betonmantel mit Drahteinlage macht hier eine besondere Vorrichtung notwendig, um dem sich sonst am Betonmantel über dem letzten Längsträger ansammelnden Wasser Abzug zu verschaffen. Dies läßt sich dadurch erreichen, daß in der Mitte zwischen je zwei Konsolen auf 8 bis 10 cm Länge der Beton, wie Schnitt *ab* in Abb. 49 zeigt, ausgespart wird. Damit das Wasser sicher dorthin fließt, wird der Asphaltfilz- und Betonstreifen über dem Konsolblech nach den Konsolen zu allmählich breiter verlegt. Zum Schutz des sonst bloß liegenden Filzes in der Lücke empfiehlt sich die Überdeckung durch Zinkblech, das beiderseits durch den Betonkörper festgehalten wird.

Einfacher und besser, aber kostspieliger läßt sich eine sichere Entwässerung des Fußsteiges dadurch erzielen, daß der Asphaltbeton über dem Hauptträger nur einseitiges Gefälle nach den Buckelplatten hin erhält, und die Asphaltfilzdecke und der Betonmantel darüber über das ganze Konsolblech ausgebreitet wird. Bei kürzerer Kraglänge der Konsolen ist diese Anordnung unbedingt vorzuziehen.

Bei einer Hauptträgeranordnung nach Abb. 1 erhält man die weitaus günstigste architektonische Anordnung, wenn man eine durch die Mitte des Stirnbogens senkrecht zu diesem gelegte Achse *ab* als Bauachse für die Ausbildung der Stirnansicht auffaßt. Um dies zu erreichen, muß man die Widerlagerflucht, die mit dem Parallelfügel einen spitzen Winkel bildet, bei *c* durch Ausrundung aller Kanten nach dem gleichen Mittelpunkt so brechen, daß die Fortsetzung *cd* denselben stumpfen Winkel bildet wie der andere Flügel. Damit ist ohne weiteres auch die Lage der Konsolen senkrecht zum Bogen, nicht etwa in Richtung der anschließenden Querträger, gegeben. Auch dann ist diese Anordnung ohne weiteres möglich, wenn bei den langen Querträgern, um die erforderliche Anschlußnietzahl unterzubringen, das Querträgerblech durch den Längsträger hindurchgeführt werden muß; denn dann braucht es nach Abb. 52 nur entsprechend geknickt zu werden. Wenn bei einem sehr spitzen Kreuzungswinkel das Schlagen der zwei Nietreihen *n* zu sehr erschwert werden sollte, empfiehlt sich eine Anordnung nach Abb. 53, wobei das entstehende dreieckige Loch am einfachsten mit Zementmörtel ausgegossen wird. Bei der Anfertigung der Werkzeichnung für die Eckausbildung der Kammermauer ist natürlich die Streckung der mit dem Konsolblech ansteigenden Abdeckplatten infolge des spitzen Kreuzungswinkels zu berücksichtigen.

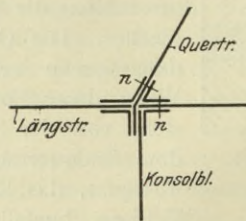


Abb. 52.

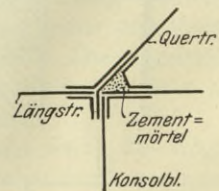


Abb. 53.



## § 16. Widerlager.

Bei jeder Bogenbrücke ergibt sich die beste Übertragung des Bogendruckes und zugleich die größte Baustoffersparnis in der Form sogenannter verlouere Widerlager, bei denen der jedesmalige Gesamtdruck die Querschnittsfugen möglichst unter rechtem Winkel und möglichst in der Mitte trifft. Wie ein solches Widerlager zu entwerfen ist, wird später eingehend gezeigt werden. Wegen des starken Wechsels der Beanspruchungen ist es dringend zu empfehlen, vor Beginn des Baues diese in allen Einzelteilen klarzustellen und hiernach den Zementzusatz zum Mörtel zu bestimmen. Es wäre eine bedauerliche Verschwendung, wollte man beispielsweise unmittelbar unter den Auflagerquadern denselben Mörtel verwenden wie dicht über dem Baugrund. Während hier Kalkmörtel von 1 Teil Kalk zu 3 bis 4 Teilen Sand angebracht ist, dem nur wegen des mangelnden Luftzutritts etwa der 10. bis 15. Teil Zement oder vielleicht statt dessen doppelt so viel Traß zuzusetzen ist, werden die Bruchsteine hart unter den Bogenquadern bis zu etwa 1 m Tiefe in reinem Zementmörtel, 1 Teil Zement zu 2 bis 3,5 Teilen Zement, je nach seiner Güte und der gewünschten Festigkeit, zweckmäßig zu verlegen sein. Dann darf die Beanspruchung so verarbeiteten Bruchsteinmauerwerks auch ziemlich ebenso hoch steigen, etwa bis 25 oder 30 kg/qcm, wie bei Stampfbeton mit gleichem Mörtel, so daß sich kleine, leicht zu versetzende Auflagerquadern ergeben. Sehr anzuraten ist, wenn die örtlichen Verhältnisse darauf hinweisen, wie z. B. nahe den Gewinnungsstellen von gutem Fluß- oder Grubenkies, die Verwendung von Stampfbeton,<sup>1)</sup> dessen Druckfestigkeiten sich in idealer Weise den vorhandenen Spannungen anpassen lassen. Bei sehr hohen Druckbeanspruchungen des Betons unter dem Bogenquader ist es oft nicht möglich, den als Sicherheit geforderten fünffachen Betrag an Betonfestigkeit nach 28 Tagen, dem nach längerer Zeit ja ein viel höherer entspricht, mit dem gewöhnlichen Zement zu erreichen. Denn dieser, der für die übrige Bauausführung nach dem zur Zeit bestehenden Verfahren verdungen wurde, wird im allgemeinen nur gerade den Normenvorschriften genügen, kann also nur von mittelmäßiger Güte sein. Für diese Zwecke ist daher die Verwendung anerkannt feinsten Zements anzuraten.

Zum Vergießen der Fuge zwischen Bogenquader und Mauerwerk wird zweckmäßig etwas besserer Mörtel benutzt, als das unmittelbar darunterliegende Mauerwerk enthält, einmal wegen der mit jedem Vergießen großer Flächen verbundenen Unsicherheit, dann, weil der Mörtel dünnflüssig, also mit zu viel Wasser eingebracht werden muß, endlich weil er nicht, wie der Mörtel im Beton, gestampft werden kann. Zur sichereren Verteilung des Mörtels empfiehlt es sich, lange dünne Eisenspachteln bereitzuhalten. Auch für die Fuge zwischen Bogenquader und Lagerbock wird am besten Zement benutzt, Blei verteuert die Ausführung unnützlich und erreicht nicht die Festigkeit<sup>2)</sup> wie guter Zement. Außerdem hat man z. B. bei Granit, besonders bei Vergießen an kalten Tagen, beobachtet, daß der Auflagerstein durch die Hitze zerbröckelt. Zement ist in der Mischung von 1 Teil Zement zu  $\frac{1}{4}$  bis  $\frac{1}{2}$  Teil Sand zu verwenden. Hier spielt seine Güte eine noch größere Rolle als vorher, damit man die hohe Druckfestigkeit des Werksteins ausnutzen kann. Während mittelmäßiger Zement nur 200 bis 250 kg/qcm nach 28 Tagen erreicht, kommt man mit den besten Sorten auf Werte von 500 bis 600 kg!

Handelt es sich, wie in vorliegenden Fällen, um die Unterführung einer Straße, so ist in deren Fluchtlinie unterhalb des verlorenen Widerlagers eine

<sup>1)</sup> Vgl. die Aufsätze des Verfassers über dieses Gebiet im Zentralblatt der Bauverwaltung 1907, S. 206 u. 537; 1908, S. 65 u. 353 und in Beton u. Eisen 1908, S. 8.

<sup>2)</sup> Die Hütte, 20. Auflage, gibt die Druckfestigkeit gegossenen Bleies zu 150 kg/qcm an.

Abschlußmauer erforderlich. Als reine Verblendmauer, z. B. bei einem vollen Steingewölbe, könnte sie natürlich noch schwächer, als z. B. in Abb. 5 gezeichnet, ausfallen. Hier soll sie jedoch noch die weitere Aufgabe erfüllen, das verlorene Widerlager nebst oberer Abschlußmauer bis zur Aufstellung des eisernen Überbaues abzusteifen. Auch bei bereits wirksamem Bogenschub wird eine solche Unterstützung für die Widerlagsmauern zwischen den Bogen erwünscht sein. Für diesen mittleren Widerlagerteil mag, wenn der Bogenabstand ein besonders großer ist, zu befürchten sein, daß nicht genügend Kämpferdruck hingeleitet wird, um die gesamte Mittelkraft in einem genügenden Abstand von der unteren Kante des verlorenen Widerlagers zu halten (vgl. die spätere Abb. 83). Es wird sich dann empfehlen, die Lücke zwischen Abschluß- und Widerlagsmauer auf eine kurze Länge in der Mitte zwischen je 2 Bogenquadern auszufüllen, wenn man nicht durch eine besondere Untersuchung des Mittelquerschnitts unter hierfür ungünstigen Annahmen den Nachweis erbringt, daß die Tragfähigkeit auch ohne Ausfüllen eines Lückenabschnitts voll gewahrt wird. — Wenn die Lücke nur klein ausfallen sollte, wird man auf die Ausbildung einer solchen natürlich am besten ganz verzichten, wie in Abb. 4 angenommen ist, und nach Herstellung der Abschlußmauer diese unmittelbar als Lehre für das verlorene Widerlager benutzen, wenn für dieses eine erheblich fettere Mörtelmischung gewählt ist.

Die Verblendung geschieht dicht über dem Bürgersteig durch Natursteinsockel, für deren Plattenstärke schon 10 bis 12 cm genügen; hierfür ist Basaltlava sehr empfehlenswert. Oberhalb der Sockelplatten werden gern die als wetterfest bekannten Kahlaer Porzellanplatten benutzt, die der Mauer ein helles, freundliches Aussehen geben. Die

Einschaltung eines Mittelgesimses wird erforderlich, wenn die obere Mauer, wie bei Abb. 5, nicht in derselben Ebene wie die untere liegt. Wenn bei schräg zur Straßenfluchtlinie liegenden Bogenträgern und besonderen Auflagerquadern für die Endquerträger die obere Mauer aus gewissen Gründen

der Felderteilung erheblich gegen die untere zurückspringt, so ist für ihre Formgebung nicht der Quaderschnitt in der Achse maßgebend, sondern es sind die beiden Schnitte *a* und *b* in Abb. 54 zu untersuchen. Bei Schnitt *a* droht die Verblendschicht den Raum der Quaderoberfläche, der für das Unterbringen des Lagerbocks nötig ist, einzuengen; in diesem Falle wäre für das Stahllager eine unschöne Nische in der Verblendoberfläche auszubilden. Bei Schnitt *b* droht der Mauerkörper unter dem Quader nach außen sichtbar zu werden. Wenn die Quaderfuge nicht ganz verdeckt werden kann, so macht sich die Verblendung durch Werksteinplatten notwendig. Eine besondere Verkleidung des neben dem Endquerträger liegenden Mauerteils, wenn dieser auf besondere Quader gelagert ist, kann, weil von der Straße aus nicht sichtbar, unterbleiben. Geschieht dies aber doch, so müssen, um den Raum für den Eisenanstrich nicht einzuengen, möglichst bossenlose Steine zur Verwendung kommen (vgl. Abb. 5). Für die Querträgerquader empfiehlt es sich, eine größere Höhe zu wählen, als mit Rücksicht auf eine gute Druckübertragung erforderlich ist (vgl. § 30), damit der Anstrich der Eisenteile auf der nach der Kammermauer zu gelegenen Seite bequem erneuert werden kann.

Der Arbeitsvorgang ist etwa folgender. Nachdem der im Boden steckende Teil des verlorenen Widerlagers und der unteren Verblend- oder Abschlußmauer hergestellt ist, wird das gemeinsame Lehrgerüst für die oberen Teile dieser beiden Mauern aufgerichtet, die vordere Abschlußmauer unter Aussparung der eigentlichen Verblendteile hergestellt, und das Bogenwiderlager mit Absätzen zum guten An-

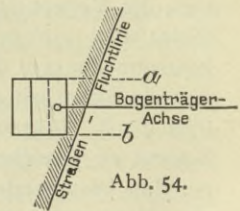


Abb. 54.

schluß der darüber befindlichen Mauer (vgl. Abb. 83) bis zur Quaderfuge aufgewölbt, wobei auch bei Stampfbeton auf eine Fugenrichtung nach dem Halbmesser Wert zu legen ist. Um ein durchaus genaues Versetzen der Bogenquader zu ermöglichen, was besonders bei der Wahl einfacher Zapfenkiplager ohne Keile von Bedeutung ist, müssen die senkrechten und wagerechten Abstände einzelner Quaderpunkte, die die richtige Lage der Quaderoberfläche sicher bestimmen, bezogen auf eine auf der Baustelle bequem herzustellende Achse, vorher scharf eingerechnet sein. Außerdem ist die im Abschnitt „Bogenlager“ besprochene Überprüfung anzuraten. Nach Versetzen der Bogenquader empfiehlt es sich bei Vorhandensein eines Eckquerverbandes nur dann, das übrige Mauerwerk sofort herzustellen, wenn es genügenden Abstand von der ersten Bogenstütze hat; sonst stößt die Vernietung leicht auf Schwierigkeiten. Unter allen Umständen darf aber der oberste Teil der Mauer neben dem Endquerträger (siehe Abb. 50) erst nach Aufstellung des Ueberbaues ausgeführt werden, da sonst die Befestigung des Schleppbleches sehr erschwert oder gar ohne Wiederabreißen des hindernden Mauerteils unmöglich gemacht wird, und ein guter Anschluß der Abdeckplatte an das Schleppblech kaum zu erzielen ist. Dieses darf natürlich nur lose aufliegen; ein Vergießen würde die nötige Bewegungsfreiheit einschränken.

Wenn zur Abdichtung wenigstens der oberen Mauerrückwände statt eines doppelten Teeranstrichs besondere Dichtungsrollen oder -Platten angewandt werden, so muß man, um sie sicher einbinden zu können, nach Abb. 30 unter der Deckplatte im Mauerwerk eine Nut lassen, die erst nach Aufkleben der Dichtungsschicht mit Zementmörtel geschlossen wird. Ein vorheriger Verputz der Rückwände kann bei Beton erspart werden, wenn dem Unternehmer im Verdingheft zur Pflicht gemacht wird, sie mit möglichst glatter Oberfläche herzustellen, die Spuren der Fugen zwischen den Schalbrettern also sofort nach erfolgter Ausschalung abzustoßen.

## 2. Teil.

### Berechnung des Bogens und seiner Widerlager.

#### I. Abschnitt.

#### Berechnung des Bogens.<sup>1)</sup>

#### § 17. Bestimmung des Horizontalschubs.

Als statisch unbestimmbare Größe wird beim Zweigelenkbogen der am Kämpfer  $a$  angreifende Horizontalschub  $H = X_a$  eingeführt. Zu seiner Bestimmung wird das Gesetz von der virtuellen Verrückung auf den Kräftezustand  $X_a = -1$  und auf den wirklichen Verschiebungszustand angewandt

$$1. \delta_a = \int_0^l \sigma_a \cdot dF \cdot \Delta ds.$$

Bei wiederholter Anwendung dieses Gesetzes und bei Einführung von

$$\frac{\Delta ds}{ds} = \frac{\sigma}{E} = \frac{\sigma_o - \sigma_a \cdot X_a}{E}$$

erhält man die Grundgleichung

$$1. \delta_a = P_m \cdot \delta_{ma} - X_a \cdot \delta_{aa} + \delta_{at}.$$

<sup>1)</sup> Die Ausdrucksweise schließt sich meist an die von Müller-Breslau eingeführte an. Vgl. auch sein Werk: Theorie und Beachtung der eisernen Bogenbrücken, Berlin 1880.

Hierin bezeichnet  $\delta_a$  die wirkliche Verschiebung des Kämpfergelenkpunktes  $a$ , die im allgemeinen = 0 ist,  $\delta_{ma}$  und  $\delta_{aa}$  die Verschiebungen der Punkte des Systems, gemessen im Sinne der in den Punkten  $m$  und  $a$  wirksamen Kräfte  $P_m$  bzw.  $X_a$ , hervorgerufen durch den Belastungszustand  $X_a = -1$ , und  $\delta_{at}$  die Längenänderung des Bogens infolge Änderung der Temperatur um  $t^\circ$ , so daß  $\delta_{at}$  bei der Spannweite  $l$  und einem Ausdehnungskoeffizienten  $\varepsilon$  gleich  $\varepsilon \cdot t \cdot l$  ist. Untersucht man für sich den Einfluß einer äußeren Kraft  $P_m = 1$  und den der Wärmeänderung, so erhält man die zwei Bestimmungsgleichungen

$$\text{für äußere Kräfte} \quad \dots \quad H = X_a = \frac{\delta_{ma}}{\delta_{aa}}$$

$$\text{für Temperaturschwankungen} \quad H_t = X_{at} = \frac{\varepsilon \cdot t \cdot l}{\delta_{aa}}$$

An äußeren Kräften kommen nur senkrecht wirkende in Frage; es handelt sich also bei  $\delta_{ma}$  um senkrechte Durchbiegungen.

Man erhält diese, wenn man die Momentenfläche, also nach Abb. 55 die Fläche zwischen Bogenachse und Kämpfersehne, als Momentenfläche eines einfachen Balkens ansieht und die Momente  $M_y$  durch  $EJ'$  teilt, hierin ist  $J' = J \cdot \cos \varphi$ ,  $J$  das Trägheitsmoment des Bogenquerschnitts und  $\varphi$  der Winkel der Bogenstücke mit der Wagerechten. Also

$$\delta_{ma} = \frac{M_y}{E \cdot J'}$$

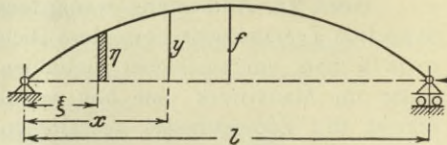


Abb. 55.

Streng genommen müßte auch der Einfluß wenigstens der Längskräfte auf die senkrechten Durchbiegungen berücksichtigt werden, der durch die Ordinaten einer Parabel vom Pfeil  $\frac{H \cdot f}{E \cdot F'}$  dargestellt wird; sie können jedoch vernachlässigt werden.

Da die Auflagerkraft eines so belasteten Balkens  $\frac{f \cdot l}{3}$  beträgt, so ist

$$M_y = \frac{f \cdot l}{3} x - \int_0^x \frac{4f}{l^2} \cdot \xi \cdot (l - \xi) \cdot d\xi \cdot (x - \xi).$$

Hierin ist für Kreisbogen die zweite Vereinfachung eingeführt, indem deren Ordinaten als solche einer Parabel von  $\eta = \frac{4f}{l^2} \xi \cdot (l - \xi)^2$  angesehen werden. Nach Auflösung des Integrals, dessen Konstante Null ist, ergibt sich

$$M_y = \frac{f}{3l^2} \cdot (x \cdot l^3 - 2x^3 \cdot l + x^4).$$

Zur Berechnung von  $\delta_{aa}$  wird das Gesetz von der virtuellen Verrückung auf den Kräfte- und Verschiebungszustand  $X_a = -1$  angewandt

$$1. \quad \delta_{aa} = \int_0^l \sigma_a \cdot dF \cdot A \, ds_a.$$

1) Die Momentenlinie eines gleichmäßig mit  $p$  belasteten einfachen Balkens ist eine Parabel, deren Ordinaten =  $y$ , deren Pfeil =  $f$  sei. Dann verhält sich

$$y : f = \frac{p \cdot x \cdot (l - x)}{2} : \frac{p \cdot l^3}{8}$$

Führt man ein

$$\frac{A ds}{ds} = \frac{\sigma_a}{E} \quad \text{und} \quad \sigma_a = \frac{M_a \cdot \nu}{J} + \frac{N_a}{F},$$

so erhält man

$$\delta_{aa} = \int_0^l \frac{M_a^2 \cdot ds}{E \cdot J} + \int_0^l \frac{N_a^2 \cdot ds}{E \cdot F} = \int_0^l \frac{M_a^2 \cdot dx}{E \cdot J'} + \frac{l}{E \cdot F'}.$$

Hierin ist als dritte Vereinfachung  $N_a = X_a = -1$  gesetzt.

An der Stelle  $x$  ist  $M_a = y = \frac{4f}{l^2} \cdot x \cdot (l - x)$ . Hieraus folgt

$$\int_0^l \frac{M_a^2 \cdot dx}{E \cdot J'} = \frac{16f^2}{l^4 \cdot E \cdot J'} \int_0^l (x^2 \cdot l^2 - 2x^3 \cdot l + x^4) \cdot dx = \frac{8f^2 \cdot l}{15 E \cdot J'}$$

und

$$\delta_{aa} = \frac{8f^2 \cdot l}{15 E \cdot J' \cdot \nu}, \quad \text{worin} \quad \nu = \frac{1}{1 + \frac{15J}{8f^2 \cdot F}}.$$

Setzt man diese Werte in die Gleichungen für  $H$  und  $H_t$  ein, so folgt:

$$H = \frac{5}{8f \cdot l^3} \cdot (x \cdot l^3 - 2x^3 \cdot l + x^4) \nu$$

und

$$H_t = \frac{15 \varepsilon \cdot E \cdot J' \cdot t \cdot \nu}{8f^2}.$$

Rechnet man für einzelne Stellen  $x$  die Größe des Horizontalschubs infolge einer Last 1 im Abstand  $x$  aus, so erhält man ungefähr Ordinaten einer Parabel. Ersetzt man daher den Inhalt der  $H$ =Fläche durch den einer Parabel vom Pfeil  $z$ , so gilt die Gleichung:

$$z \cdot \frac{2l}{3} = \int_0^l H \cdot dx = \frac{5\nu}{8f \cdot l^3} \int_0^l (x \cdot l^3 - 2x^3 \cdot l + x^4) \cdot dx.$$

Hieraus

$$z = \frac{3l}{16f} \cdot \nu.$$

Es ist das große Verdienst Müller-Breslaus, in seiner „Theorie und Berechnung der eisernen Bogenbrücken“ nachgewiesen zu haben, daß, was hier als eine vierte Vereinfachung erscheint, in Wirklichkeit das Gegenteil einer solchen ist. Er hat dort die Parabelform vom gleichen Pfeil als das Ergebnis einer Untersuchung gefunden, die strenger ist als die vorstehende, insofern, als sie noch den Einfluß der Durchbiegungen  $Ay$  des Bogens auf die Momente gleich  $H \cdot Ay$  berücksichtigt. Die Anwendung der vereinfachten Formel zur Bestimmung des Horizontalschubs ist daher unbedingt zu empfehlen.

Der Koeffizient  $\nu$  nähert sich bei mehr gewölbten Bogen bis zu einem Pfeil von etwa  $\frac{l}{8}$  so sehr der Zahl 1, daß eine Berücksichtigung überflüssig erscheint.

Aber auch für flachere Bogen darf wenigstens eine Vereinfachung vorgenommen werden, indem man für  $\frac{15J}{4F'} = h_o^2$  setzt, worin  $h_o$  die Stehblechhöhe bezeichnet.

Dann ist

$$v = \frac{1}{1 + \frac{h_o^2}{2f'^2}}$$

Beim Aufzeichnen der wirklichen  $H$ -Linie sind nur die Ordinaten unter den Bogenstützen als Parabelordinaten, zeichnerisch am bequemsten aus dem in Abb. 56 veranschaulichten Verfahren, zu ermitteln. Die Einflußlinie zwischen diesen wird durch gerade Verbindungslinien dargestellt.

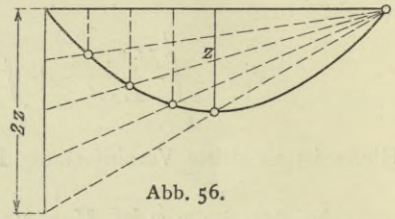


Abb. 56.

### § 18. Berechnung der inneren Spankräfte.

Die Bestimmung der Bogenträgerbeanspruchungen in den einzelnen Querschnitten erfolgt am einfachsten mit Hilfe der Momente in den Bogenkernpunkten. Sind die in diesen Punkten angreifenden Größtwerte der oberen und unteren Kernpunktmomente  $\max M^o$  und  $\max M^u$  bekannt, dann sind die gesuchten Höchstbeanspruchungen der unteren und oberen äußersten Faserschichten  $\sigma^u$  und  $\sigma^o$  bei den zugehörigen Widerstandsmomenten  $W^u$  und  $W^o$ :

$$\sigma^u = + \frac{\max M^o}{W^u} \quad \text{und} \quad \sigma^o = - \frac{\max M^u}{W^o}$$

Die Kernpunktmomente setzen sich zusammen aus denen infolge Eigengewicht  $= g \cdot M_g$ , hierin  $g$  das Gewicht für das lfd. m Bogen und  $M_g$  das Moment infolge des Gewichts 1, aus denen infolge senkrechter Verkehrslast  $= C' \cdot M_p$ , hierin  $C'$  der Anteil des Bogens am Achsdruck und  $M_p$  das Moment infolge vollen Achsdrucks, aus denen infolge Wärmeschwankungen  $= M_t$  und denen infolge wage-rechter Verkehrslasten in der Bogenrichtung  $= M_b$ , so daß

$$\max M^o = g \cdot M_g^o \pm C' \cdot M_p^{\mp o} \pm M_t^o \pm M_b^o$$

und

$$\max M^u = g \cdot M_g^u \pm C' \cdot M_p^{\mp u} \pm M_t^u \pm M_b^u$$

Zur Berechnung der Kernpunktabstände  $x$  von Bogen- oder, bei unregelmäßigem Querschnitt, von Schwerpunktachse (vergl. Abb. 57) dienen die Gleichungen

$$x^o = \frac{W^u}{F} \quad \text{und} \quad x^u = \frac{W^o}{F},$$

worin  $F$  den Flächeninhalt des Querschnitts bezeichnet, und worin

$$W^o = \frac{J}{e^o} \quad \text{und} \quad W^u = \frac{J}{e^u} \quad \text{ist.}$$

Wie schon früher erwähnt, weichen bei regelmäßiger Bogenanordnung die Größtwerte der unteren und oberen Kernpunktmomente nicht allzusehr von einander ab, so daß die Gurtplattenzahl auf beiden Seiten gleich gewählt werden kann, und die Bogenachse mit der Schwerpunktachse zusammenfällt. Für diesen

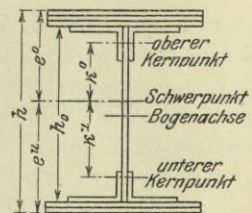


Abb. 57.

Fall liegen die Kernpunkte, wie Müller-Breslau zuerst angegeben hat, ziemlich genau im Abstand von  $\frac{5}{12}$  der Stehblechhöhe von der Bogenachse, also

$$x^o = x^u = \frac{5}{12} h_o,$$

eine Annahme, die nach genauer Ermittlung der Bogenquerschnitte kaum noch der Berichtigung bedarf. Für die beiderseitigen zwei Außenbogen nach Abb. 1 ergeben sich jedoch so bedeutende Unterschiede in den Momenten (vergl. Abb. 71), daß hier unregelmäßige Querschnitte gewählt werden müssen, und eine rohe Vor-ausberechnung der Größtmomente nicht zu umgehen sein wird.

Zur Bestimmung der Nietteilung sind die Querkräfte zu ermitteln, deren Größtwerte sich ähnlich wie die Momente zusammensetzen aus

$$\max Q = g \cdot Q_g \pm C' \cdot Q_p^\mp \pm Q_l \pm Q_b.$$

### § 19. Spannkkräfte infolge Eigengewichts.

Bei der Ermittlung des Eigengewichts bedarf man eigentlich keiner Formel, da man nach Berechnung der Fahrbahn und Stützen ihr Gewicht genau kennt und nur noch das des Bogens schätzungsweise hinzuzufügen hat. Ungefähr beträgt das Gesamtgewicht derartiger Ueberbauten in kg für 1 qm Grundfläche

$$\gamma = 1000 + 12 l, \text{ hierin } l \text{ in m,}$$

woraus  $g = \gamma \cdot b$  als Gewicht für das lfd. m Bogen sich leicht ermitteln läßt. In dieser Gleichung kommen etwa 750 kg auf 1 qm Oberbau, der Rest stellt das reine Eisengewicht dar.

Die Werte  $M_g^o$  und  $M_g^u$  werden am schnellsten rechnerisch gewonnen aus

$$M_g^{o(u)} = M_{og} - H_g \cdot y^{o(u)}.$$

Hierin ist  $M_o = \frac{x \cdot (l - x)}{2}$  das einfache Balkenmoment und  $H_g = \frac{2}{3} z \cdot l$ .

Bei unregelmäßig belasteten Bogen, wie bei den zwei äußeren auf jeder Stirnseite in Abb. 1, empfiehlt es sich, die Einzellasten in jedem Stützpunkt auszurechnen, aus der  $H$ -Fläche durch Abgreifen der Ordinaten den Horizontalschub zu ermitteln und danach die Größe  $g \cdot M_g^{o(u)}$  zu berechnen.

Die Querkraft des einfachen Balkens  $Q_o$  übt auf das zwischen je 2 Stützen geradlinig gedachte Bogenstück, das den Winkel  $\varphi$  mit der Wagerechten bildet, die Querkraft  $Q_o \cos \varphi$  aus. Der in entgegengesetzter Richtung wirkende Anteil des Horizontalschubs auf die Querkraft beträgt  $H \sin \varphi$ . Also

$$Q = Q_o \cdot \cos \varphi - H \cdot \sin \varphi.$$

Bei regelmäßiger Bogenanordnung weichen die Werte  $Q_g$  jedoch so wenig von Null ab, daß sie vernachlässigt werden dürfen.

### § 20. Spannkkräfte infolge senkrechter Verkehrslast aus Einflußflächen.

Bei der Feststellung des Anteils  $C$ , den der zu berechnende Bogen vom Achsdruck aufzunehmen hat, empfiehlt es sich, wenigstens innerhalb des Bahnhofsgebiets, nicht von der augenblicklichen, sondern etwa nach Abb. 58 von der denkbar ungünstigsten Gleisanlage auszugehen.

Dadurch, daß die rechtwinklig zum Bogenträger gerichteten wagerechten äußeren Kräfte nicht in der Ebene des Windverbandes, also der Fahrbahntafel angreifen, erhält der eine Bogen nebst seinen Stützen gegenüber dem anderen, der entsprechend entlastet wird, eine senkrechte Zusatzbelastung. Da nach den preußischen

Vorschriften sowohl der Winddruck  $W$ , als auch die Fliehkraft  $F$  1,5 m über Schienenoberkante, also rd. 2 m oberhalb des Windverbandes angreifend zu denken sind, beträgt die mögliche Mehrbelastung des auf der Außenseite der Gleiskrümmung liegenden Bogenträgers in senkrechter

Richtung  $\frac{2}{b} \cdot (W + F)$ , des auf der Innenseite

liegenden, natürlich nur bei stehendem Zug,  $\frac{2W}{b}$ .

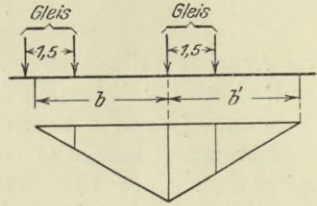


Abb. 58.

Zwar verlangen die preußischen Vorschriften eine Berücksichtigung dieser Zusatzbelastung wenigstens infolge Winddrucks nur, „sobald sie den Wert von 10 vH. der Belastung durch Eigengewicht und Verkehr überschreitet“. Jedoch dürfte sich diese Vergrößerung des Anteils am Achsdruck wohl immer, etwa nach folgendem Annäherungsverfahren, empfehlen. Man bestimmt sich die Zusatzkraft  $\frac{2}{b} (W + F)$  für einen Zugteil, vielleicht für eine Lokomotive nebst Tender, dessen Gewicht =  $\Sigma P$  ist. Dann erhöht sich der Belastungsanteil  $C$  eines Blechbogens auf

$$C' = \frac{C \cdot \Sigma P + \frac{2}{b} (W + F)}{C \cdot \Sigma P}$$

Über die Berechnung von  $F$  vergl. § 26.

Die Bedingungsgleichungen zum Zeichnen der Einflußflächen lauten, wenn man vorteilhafterweise immer von derselben  $H$ -Fläche ausgehen will,

$$M = y \cdot \left( \frac{M_o}{y} - H \right) \quad \text{und}$$

$$Q = \sin \varphi \cdot (Q_o \cdot \cotg \varphi - H).$$

Bei den Momentenflächen ist also von der durch  $y$  geteilten  $M_o$ -Fläche die  $H$ -Fläche abzuziehen. Nach Abb. 59 werden also unter den Kämpfergelenken nicht die Werte  $x$  bzw.  $l - x$ , sondern  $\frac{x}{y}$  bzw.  $\frac{l-x}{y}$  aufgetragen. Das Vervielfältigungsglied ist  $\mu = y$ . Bei den Querkraftflächen ist nach Abb. 60 statt 1 unter den Gelenkpunkten der Betrag  $\cotg \varphi$  aufzutragen, um aus der so zu gewinnenden  $Q_o \cotg \varphi$ -Fläche und der  $H$ -Fläche die  $Q$ -Fläche zu erhalten. Das Vervielfältigungsglied ist  $\mu = \sin \varphi$ .

Bei den Momentenflächen bietet sich eine sehr einfache Prüfungsmöglichkeit durch die sogenannte Kämpferdrucklinie, d. i. der geometrische Ort der Schnittpunkte der Kämpferdrücke an beiden Gelenken infolge einer wandernden Einzelast. Denkt man sich irgendwo, z. B. im Abstand  $i$ , eine Einzellast 1 wirksam und den wagerechten Auflagerdruck gleich  $i$ , den senkrechten gleich  $\eta$  aufgetragen, so verhält sich

$$\frac{\eta}{i} = \frac{A}{H} = \frac{l-i}{l \cdot H}$$

Da

$$H = \frac{4z}{l^2} \cdot i(l-i) \quad \text{und} \quad z = \frac{3l}{16f} \cdot \nu \quad \text{ist,}$$

ergibt sich

$$\eta = \frac{4f}{3\nu},$$

die Kämpferdrucklinie also als eine Gerade.



Bei dem gewählten Beispiel einer Last 1 im Abstand  $i$  geht der Kämpferdruck durch den Kernpunkt  $y_0^u$ ; das Moment ist dann gleich Null, oder im Abstand  $i$  muß die Einflußfläche aus + in - übergehen, der Punkt  $E$  ist eine Lastscheide.

Bei der Aufstellung des Lastzuges zur Gewinnung der positiven Größtwerte, wo die Flächen eine Spitze aufweisen, kann dieser nur dann entstehen, wenn eine

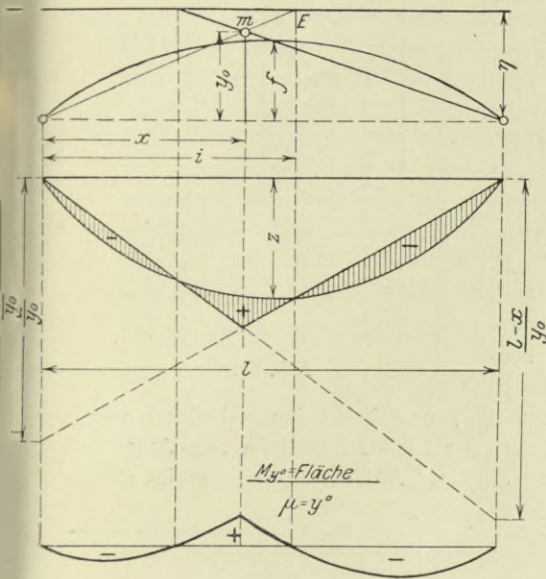


Abb. 59.

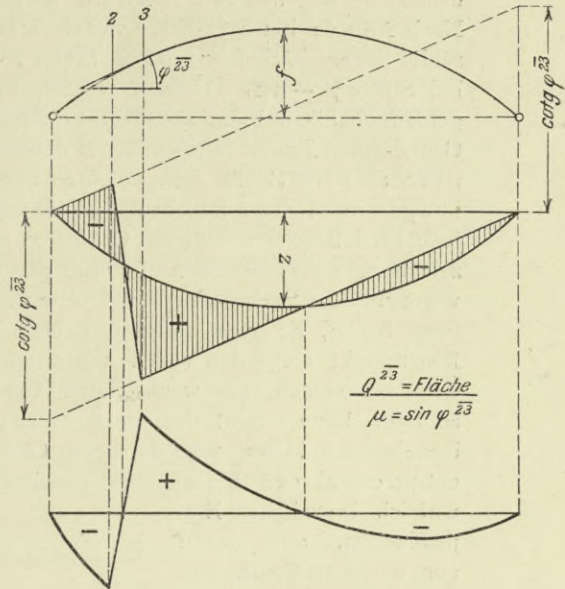


Abb. 60.

Last unmittelbar über der Spitze sich befindet. Ob dabei die gewählte Stellung die ungünstigste ist, oder der Lastzug um einen Radstand nach rechts oder links geschoben werden muß, wird am schnellsten durch Abgreifen ausgeprobt. Bei den negativen Flächen, die einen Parabelabschnitt darstellen, muß hierbei die Mittelkraft ungefähr in der Mitte der Fläche liegen. Wäre die Einflußlinie keine aus einzelnen Geraden zusammengesetzte, sondern eine reine Parabel, so müßte die Mittelkraft genau in der Mitte liegen, wenn der Größtwert hervorgerufen werden soll, was aus folgender Überlegung hervorgeht.

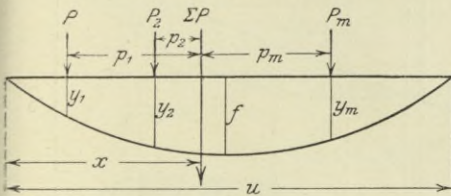


Abb. 61.

Nach Abb. 61 ist, da

$$y_m = \frac{4f}{u^2} \cdot (x - p_m) \cdot [u - (x - p_m)],$$

$$\Sigma P \cdot y = \frac{4f}{u^2} \cdot \Sigma P_m \cdot [x \cdot u - x^2 + 2x \cdot p_m - (p_m^2 + p_m u)].$$

Wenn dieser Wert am größten werden soll, so muß die erste Ableitung nach  $x$  gleich Null werden. Da das statische Moment  $\Sigma P_m \cdot p_m$ , also bezogen auf die Mittelkraft, Null ist, so folgt

$$0 = \frac{4f}{u^2} \cdot \Sigma P_m \cdot (u - 2x).$$

$$\text{Hieraus } x = \frac{u}{2}.$$

Das Verfahren mit Einflußflächen ist besonders dann zweckmäßig, wenn es sich um unregelmäßig belastete Bogen, wie bei den zwei Endbogen I und II<sup>1)</sup> in Abb. 62, handelt. Zunächst sind unter der Annahme, daß 1 den Anteil bezeichnet, wenn der volle Achsdruck eines Gleises auf den Bogen fiel, die verschiedenen Anteile zu berechnen, die sämtliche Raddrücke auf die einzelnen Bogenstützen hervorrufen können. Nach Abb. 62 beträgt dieser vielleicht für den schief liegenden Steinbogen I bei Stütze 1 — 0,2, bei Stütze 7 — 1,1. Hierauf werden in eine gemeinschaftliche Figur sämtliche erforderlichen Grund-Einflußlinien eingetragen, deren Ordinaten also die Größe der gesuchten Spannung infolge einer Kraft 1 angeben. Würde man nun jede Einflußfläche mit diesen Ordinaten herauszeichnen, so wäre die Auffindung der Größtwerte infolge Verkehrslast eine sehr umständliche Sache, da man fortgesetzt über jedem Bogenpunkt nicht den vollen Achsdruck, sondern nur seinen stets wechselnden Anteil einzuführen hätte. Statt dessen ist es zweckmäßig, umgekehrt den Achsdruck voll bestehen zu lassen und dafür die Ordinaten der Einflußflächen für den Anteil 1 entsprechend den berechneten Anteilen zu ändern. Auf diese Weise erhält man wirklich brauchbare Einflußflächen, aus denen man leicht die Größtwerte durch Verschieben des vollen Lastzuges entnehmen kann. Die Änderung der Ordinaten erfolgt am schnellsten auf zeichnerischem Wege

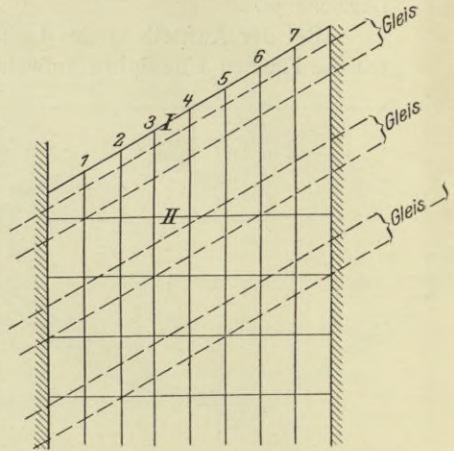


Abb. 62.

auf zeichnerischem Wege

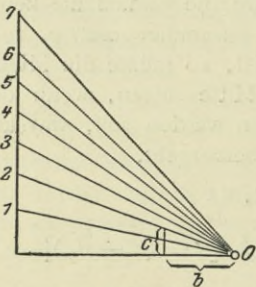


Abb. 63.

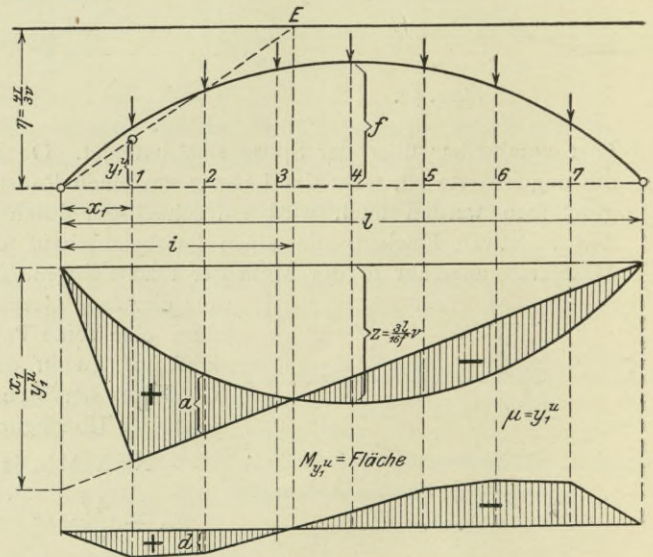


Abb. 64.

nach Abb. 63 und 64, die die Berechnung des unteren Kernpunktmoments im Punkt 1 zeigen. Von einem Punkt 0 sind Strahlen derart gezogen, daß, wenn

1) Auch bei den Mittelbogen ist hier der Anteil am Achsdruck eigentlich nicht über jeder Stütze gleich groß. Da man aber mit beliebigen Gleisverschiebungen, den Einlagen von Weichenstraßen usw. zu rechnen hat, empfiehlt es sich, das Gleis in gleicher Richtung mit den Bogen liegend anzunehmen und hiernach den größtmöglichen Lastanteil zu bestimmen.

man z. B. die Ordinate  $a$  der Einflußlinie unter Punkt 2 aus der Grundfigur abgreift und von 0 aus gleich  $b$  absetzt, man senkrecht darüber bis zum zugehörigen Strahl, hier bis zum Strahl 2, in  $c$  die entsprechend dem Lastanteil geänderte Ordinate  $d$  der wirklichen Einflußfläche für  $M_{y_1}$  abgreift.

### § 21. Spannkkräfte infolge senkrechter Verkehrslast nach Müller-Breslau Verfahren.

Für Bogen mit stets gleichbleibendem Anteil an dem Druck der Verkehrslasten hat Müller-Breslau in seiner „Theorie und Berechnung der eisernen Bogenbrücken“ und für den heute gültigen preußischen Lastzug auf S. 113 des Jahrgangs 1903 vom Zentralblatt der Bauverwaltung ein Verfahren angegeben, um ohne Zeichnung von Einflußflächen nur unter Benutzung einiger Zahlenreihen die Größtwerte der inneren Spannungen ermitteln zu können. Dieses erlaubt, die negativen Größtwerte der Momente und diejenigen der dicht am Kämpfer gelegenen Querkräfte, deren allein maßgebende Einflußfläche durch einen Parabelabschnitt gebildet wird, einfach als Produkt einer für die zugehörige Abschnittlänge  $u$  zu entnehmenden gedachten Last  $P_i$  mal dem Pfeil  $z'$  des Abschnitts hinzuschreiben. Setzt man in die Gleichung für  $\Sigma P y$  im § 20 für  $x$  ein  $\frac{u}{2}$ , so ist

$$\Sigma P y = \frac{4z}{u^2} \cdot \Sigma P \cdot \left( \frac{u^2}{2} - \frac{u^2}{4} - p_m^2 \right).$$

Also

$$\Sigma P y = z' \cdot P_i = z' \cdot \left( \Sigma P - \frac{\Sigma P p_m^2}{\left(\frac{u}{2}\right)^2} \right).$$

Müller-Breslau bezeichnet nach Abb. 65

$$\sum_1^n P = \mathfrak{P}_n; \quad \sum_1^n P \cdot c = \mathfrak{C}_n; \quad \sum_1^n P \cdot c^2 = \mathfrak{S}_n; \quad \sum_1^n P \cdot p^2 = \mathfrak{T}_n; \quad c_n' = \frac{\mathfrak{C}_n}{\mathfrak{P}_n},$$

wobei die Werte  $\mathfrak{T}_n$  auch berechnet werden können aus der Gleichung

$$\mathfrak{T}_n = \mathfrak{S}_n - \frac{\mathfrak{C}_n^2}{\mathfrak{P}_n}.$$

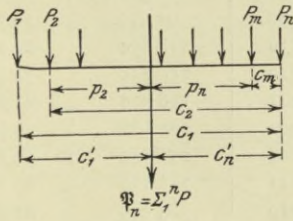


Abb. 65.

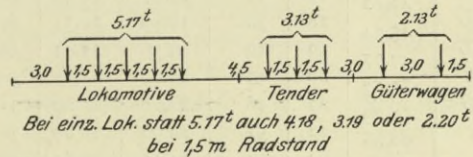


Abb. 66.

Um möglichst ungünstige Werte

$$P_i = \mathfrak{P}_n - \frac{\mathfrak{T}_n}{\left(\frac{u}{2}\right)^2}$$

zu erhalten, hat Müller-Breslau den in Abb. 66 dargestellten preußischen Lastzug in vier verschiedenen Folgen von Lokomotiven  $L$ , Tender  $T$  und Güterwagen  $G$  aufgestellt gedacht und hieraus die Größen  $\mathfrak{P}_n$  bis  $\mathfrak{T}_n$  und  $P_i$  ermittelt.

Im Zentralblatt der Bauverwaltung 1903, S. 422 hat der Verfasser nachgewiesen, daß man, um den größten Wert  $P_i$  zu erhalten, bei der gegebenen

Länge  $u$  des Parabelabschnitts nicht einfach mit dem Wert von  $c_n'$  rechnen darf, der der nächst niedrige unter  $\frac{u}{2}$  ist. Vielmehr muß man so lange mit einem  $c_n'$  und den zugehörigen  $\mathfrak{F}_n$  und  $\mathfrak{I}_n$  rechnen, wie die halbe Länge des Parabelabschnitts unter einem Wert für  $\frac{u}{2}$  bleibt, der sich aus folgender Gleichung ergibt:

$$\frac{u}{2} = \sqrt{\frac{\Delta \mathfrak{I}_n}{\Delta \mathfrak{F}_n}},$$

worin  $\Delta \mathfrak{I}_n$  und  $\Delta \mathfrak{F}_n$  die Unterschiede zwischen den aufeinander folgenden Werten  $\mathfrak{I}_n$  und  $\mathfrak{F}_n$  ausdrücken. In ähnlicher Weise kann man die Grenzwerte der Einflußlängen  $u$  angeben, bei denen der Übergang aus einer Lastgruppe in die andere stattfindet. Wenn das Zufügen dieser Spalte  $u$  auch auf die von Müller-Breslau berechneten Größen  $P_i$  keinen Einfluß hat, so ist sie doch überall da von großem Wert, wo nicht der Größtwert  $P_i$  selbst, sondern die Stellung des Lastenzuges, die diesen hervorruft, zu ermitteln ist, wie beispielsweise bei der später zu besprechenden Widerlagerberechnung.

| Lastzug | $u$<br>m | $n$ | $c_1$<br>m | $c_1'$<br>m | $c_n'$<br>m | $\mathfrak{F}_n$<br>t | $\mathfrak{E}_n$<br>tm | $\mathfrak{I}_n$<br>tm <sup>2</sup> | $\mathfrak{I}_n$<br>tm <sup>2</sup> |
|---------|----------|-----|------------|-------------|-------------|-----------------------|------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| $L$     | 2,12     | 1   | 0,0        | 0,00        | 0,00        | 20                    | 0                      | 0                                   | 0                                   |
| $T$     | 3,71     | 2   | 1,5        | 0,75        | 0,75        | 40                    | 30                     | 45                                  | 22,5                                |
| $L$     | 5,59     | 3   | 3,0        | 1,50        | 1,50        | 57                    | 85,5                   | 213,75                              | 85,5                                |
| $T$     | 7,44     | 4   | 4,5        | 2,25        | 2,25        | 72                    | 162                    | 567                                 | 202,5                               |
| $L$     | 13,97    | 5   | 6,0        | 3,00        | 3,00        | 85                    | 255                    | 1 147,5                             | 382,5                               |
| $T$     | 15,04    | 6   | 10,5       | 3,99        | 6,51        | 98                    | 637,5                  | 5 163,75                            | 1 017                               |
| $G$     | 16,21    | 7   | 12,0       | 4,93        | 7,07        | 111                   | 784,5                  | 7 236,75                            | 1 752                               |
|         | 19,29    | 8   | 13,5       | 5,83        | 7,67        | 124                   | 951                    | 9 900                               | 2 606                               |
| $L$     | 26,02    | 10  | 18,0       | 9,00        | 9,00        | 170                   | 1 530                  | 20 655                              | 6 885                               |
| $L$     | 27,13    | 11  | 22,5       | 9,96        | 12,54       | 183                   | 2 295                  | 37 867,5                            | 9 086                               |
| $T$     | 28,30    | 12  | 24,0       | 10,89       | 13,11       | 196                   | 2 569,5                | 45 164,25                           | 11 479                              |
| $G$     | 32,19    | 13  | 25,5       | 11,80       | 13,70       | 209                   | 2 863,5                | 53 313,75                           | 14 081                              |
|         | 33,90    | 15  | 31,5       | 15,59       | 15,91       | 235                   | 3 739,5                | 80 322,75                           | 20 817                              |
|         | 38,02    | 16  | 33         | 16,50       | 16,50       | 248                   | 4 092                  | 92 070                              | 24 552                              |
| $T$     | 42,02    | 17  | 36         | 17,47       | 18,53       | 261                   | 4 836                  | 118 854                             | 29 249                              |
| $L$     | 45,94    | 18  | 39         | 18,49       | 20,51       | 274                   | 5 619                  | 150 219                             | 34 988                              |
| $L$     | 49,77    | 19  | 42         | 19,56       | 22,44       | 287                   | 6 441                  | 186 399                             | 41 847                              |
| $T$     | 53,53    | 20  | 45         | 20,66       | 24,34       | 300                   | 7 302                  | 227 628                             | 49 897                              |
| $G$     | 57,23    | 21  | 48         | 21,80       | 26,20       | 313                   | 8 202                  | 274 140                             | 59 211                              |
|         | 60,88    | 22  | 51         | 22,96       | 28,04       | 326                   | 9 141                  | 326 169                             | 69 856                              |
|         | 64,47    | 23  | 54         | 24,15       | 29,85       | 339                   | 10 119                 | 383 949                             | 81 901                              |
|         | 67,81    | 24  | 57         | 25,37       | 31,63       | 352                   | 11 136                 | 447 714                             | 95 411                              |
|         | 71,32    | 25  | 60         | 26,71       | 33,29       | 365                   | 12 150                 | 514 800                             | 110 355                             |
|         | 74,80    | 26  | 63         | 27,96       | 35,04       | 378                   | 13 245                 | 590 985                             | 126 885                             |
|         | 78,26    | 27  | 66         | 29,23       | 36,77       | 391                   | 14 379                 | 673 857                             | 145 070                             |
| $T$     | 81,69    | 28  | 69         | 30,50       | 38,50       | 404                   | 15 552                 | 763 650                             | 164 975                             |
| $L$     | 85,09    | 29  | 72         | 31,80       | 40,20       | 417                   | 16 764                 | 860 598                             | 186 661                             |
| $T$     | 88,46    | 30  | 75         | 33,10       | 41,90       | 430                   | 18 015                 | 964 935                             | 210 190                             |
| $L$     | 91,82    | 31  | 78         | 34,22       | 43,78       | 443                   | 19 305                 | 1 076 895                           | 235 624                             |
| $G$     | 95,15    | 32  | 81         | 35,75       | 45,25       | 456                   | 20 634                 | 1 196 712                           | 263 024                             |
|         | 98,47    | 33  | 84         | 37,09       | 46,91       | 469                   | 22 002                 | 1 324 620                           | 292 449                             |
|         | 101,77   | 34  | 87         | 38,43       | 48,57       | 482                   | 23 409                 | 1 460 853                           | 323 962                             |
|         |          | 35  | 90         | 39,79       | 50,21       | 495                   | 24 855                 | 1 605 645                           | 357 623                             |

| $u$<br>m | $P_i$<br>t | $\frac{\Delta P_i}{\Delta u}$ | $u$<br>m | $P_i$<br>t | $\frac{\Delta P_i}{\Delta u}$ | $u$<br>m | $P_i$<br>t | $\frac{\Delta P_i}{\Delta u}$ | $u$<br>m | $P_i$<br>t | $\frac{\Delta P_i}{\Delta u}$ |
|----------|------------|-------------------------------|----------|------------|-------------------------------|----------|------------|-------------------------------|----------|------------|-------------------------------|
| 5        | 43,3       | 6,2                           | 20       | 101        |                               | 40       | 188        |                               | 70       | 275        |                               |
| 6        | 49,5       | 6,0                           | 21       | 108        | 7                             | 42       | 195        | 3,5                           | 72       | 280        | 2,5                           |
| 7        | 55,5       | 5,6                           | 22       | 113        | 5                             | 44       | 202        | 3,5                           | 74       | 285        | 2,5                           |
| 8        | 61,1       | 5,0                           | 23       | 118        | 5                             | 46       | 208        | 3                             | 76       | 291        | 3                             |
| 9        | 66,1       | 3,6                           | 24       | 122        | 4                             | 48       | 214        | 3                             | 78       | 296        | 2,5                           |
| 10       | 69,7       | 2,7                           | 25       | 126        | 4                             | 50       | 220        | 3                             | 80       | 301        | 2,5                           |
| 11       | 72,4       | 2,0                           | 26       | 129        | 3                             | 52       | 226        | 3                             | 82       | 306        | 2,5                           |
| 12       | 74,4       | 1,5                           | 27       | 133        | 4                             | 54       | 232        | 3                             | 84       | 311        | 2,5                           |
| 13       | 75,9       | 1,3                           | 28       | 137        | 6                             | 56       | 238        | 2,5                           | 86       | 316        | 3                             |
| 14       | 77,2       | 2,7                           | 29       | 143        | 3                             | 58       | 243        | 2,5                           | 88       | 322        | 2,5                           |
| 15       | 79,9       | 3,7                           | 30       | 146        | 4                             | 60       | 248        | 3                             | 90       | 327        | 2,5                           |
| 16       | 83,6       | 4,3                           | 32       | 154        | 4,5                           | 62       | 254        | 2,5                           | 92       | 332        | 2,5                           |
| 17       | 87,9       | 3,9                           | 34       | 163        | 4,5                           | 64       | 259        | 3                             | 94       | 337        | 2,5                           |
| 18       | 91,8       | 3,3                           | 36       | 172        | 4,0                           | 66       | 265        | 3                             | 96       | 342        | 2,5                           |
| 19       | 95,1       | 6                             | 38       | 180        | 4,0                           | 68       | 270        | 2,5                           | 98       | 347        | 2,5                           |
| 20       | 101        |                               | 40       | 188        |                               | 70       | 275        |                               | 100      | 352        |                               |

Der Vollständigkeit halber sind die Zahlen auch für solche Längen aufgenommen, für die Blechbogenbauten nicht mehr in Frage kommen.

Zum leichteren Abgreifen des Pfeils  $z'$  vom Parabelabschnitt hat Müller-Breslau noch das in Abb. 67 dargestellte Verfahren angegeben, wonach dieser Pfeil auch in der Ordinate über  $E$  einer Parabel  $AB$  abgegriffen werden kann.  $z'$  kann auch rechnerisch aus der Gleichung (siehe Abb. 67) bestimmt werden:

$$z' = \frac{4z}{l^2} \cdot \frac{u}{2} \cdot \left( l - \frac{u}{2} \right) - \frac{1}{2} \frac{4z}{l^2} \cdot u \cdot (l - u) = z \cdot \frac{u^2}{l^2}$$

Die Lage der Lastscheide  $E$  wird in bekannter Weise bei Momenten durch den Schnittpunkt der Verbindungslinie von  $m$  nach dem Kämpfer mit der Kämpferdrucklinie gefunden; bei Querkräften sind die Größen  $\cotg \varphi$  aufzutragen. Für die in der Nähe von Bogenmitte gelegenen negativen Kernpunktmomente ergeben sich nach Abb 59 zwei getrennte Parabelabschnitte als Einflußfläche für  $\bar{M}$ . Für solche

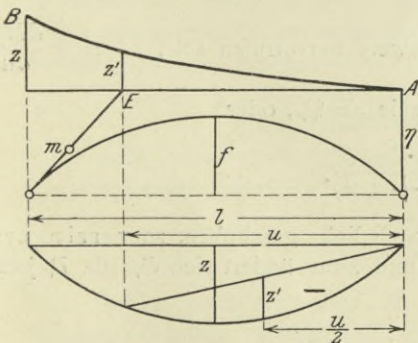


Abb. 67.

Fälle empfiehlt Müller-Breslau auf S. 654 des Zentralbl. d. Bauverw. 1904 und 1905, S. 288, entweder jeden Abschnitt als für sich belastet zu behandeln und die zwei Größen  $P_i \cdot z'$  zusammenzuzählen, auch wenn sich hierbei andere Abstände der zwei Lastgruppen als nach der Belastungsvorschrift ergeben, oder, bei strenger Befolgung dieser Vorschrift, das Moment rechnerisch aus den Größen  $\mathfrak{B}$  und  $\mathfrak{Z}$  der Zahlentafel zu bestimmen. Will man an dem gegebenen Lastzuge genau festhalten, so möchte doch wohl das Herauszeichnen der Einflußflächen schneller zum Ziele führen.

Auch zur rechnerischen Ermittlung der positiven Kernpunktmomente mit Hilfe der ersten Zahlentafel hat Müller-Breslau den folgenden Weg gezeigt. Allerdings ist es bei diesen fraglich, ob der zeichnerische Weg nicht ebenso schnell die

gesuchten Werte liefert, besonders aber schneller entscheiden läßt, ob die gewählte Laststellung die maßgebende ist. Nach Abb. 68 ist

$$M_y = A^r \cdot (l - x) - H \cdot y - \mathfrak{E}_r,$$

worin  $\mathfrak{E}_r$  das aus der Zahlenreihe bekannte statische Moment der Lasten  $P_1$  bis  $P_r$  in bezug auf  $P_r$  bedeutet. Da nach den Gleichungen für  $\Sigma P y$  in § 20 und 21

$$H = \frac{3\nu}{4fl} \cdot [\mathfrak{F}_n \cdot a^l \cdot (l - a^l) - \mathfrak{I}_n]$$

und

$$A^r = \mathfrak{F}_n \cdot \frac{a^l}{l}$$

ist, so folgt

$$M_y = \frac{y}{\eta \cdot l} \cdot \left[ \mathfrak{F}_n \cdot a^l \cdot \underbrace{\left( \frac{(l-x) \cdot \eta}{y} - l + a^l \right)}_{=\xi} + \mathfrak{I}_n \right] - \mathfrak{E}_r.$$

Oft ist nicht ohne weiteres ersichtlich, ob die eingeführte Stellung des Lastzuges wirklich den Größtwert ergibt, oder ob der Lastzug nicht vielleicht um einen oder mehr Radstände nach rechts oder links verschoben werden muß. Um dies zu beurteilen, denke man ihn sich zunächst um  $da$  nach rechts  $\Rightarrow \rightarrow$  gerückt. Da

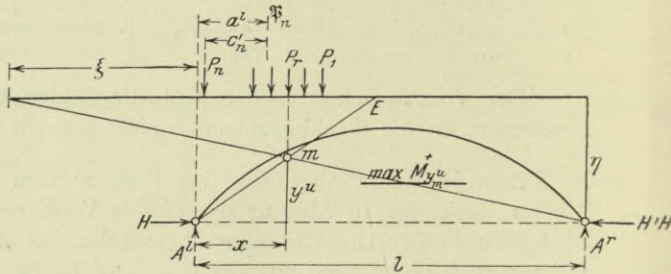


Abb. 68.

$$d [a^l \cdot (\xi + a^l)] = da \cdot (\xi + 2 a^l)$$

ist, und  $\mathfrak{I}_n$  von der Verschiebung nicht beeinflusst wird, da weiter die beiden übrigen Glieder von  $M_y$  durch Verschiebung nach rechts wachsen, und zwar  $\mathfrak{E}_r$  um  $\mathfrak{F}_r \cdot da$ , so wird

$$\frac{d M_y}{da} = \frac{y}{\eta \cdot l} \cdot \mathfrak{F}_n \cdot (\xi + 2 a^l) - \mathfrak{F}_r.$$

Wenn die gewählte Laststellung den Größtwert hervorrufen soll, so muß  $\frac{d M_y}{da}$  negativ sein, also  $\frac{y}{\eta l} \cdot \mathfrak{F}_n \cdot (\xi + 2 a^l)$  kleiner sein als  $\mathfrak{F}_r$ , oder

$$\Rightarrow \rightarrow \frac{\mathfrak{F}_n}{\mathfrak{F}_r} < \frac{\eta \cdot l}{y \cdot (\xi + 2 a^l)}.$$

Denkt man sich den Lastzug um  $da$  nach links geschoben, so verringern sich die beiden Glieder mit  $\mathfrak{F}_n$  und  $\mathfrak{E}_r$ , und zwar ändert sich  $\mathfrak{E}_r$ , da  $P_r$  jetzt links von  $m$  liegt, um  $\mathfrak{F}_{r-1} \cdot da$ . Es wird

$$\frac{d M_y}{da} = - \frac{y}{\eta \cdot l} \cdot \mathfrak{F}_n \cdot (\xi + 2 a^l) + \mathfrak{F}_{r-1}.$$

Wenn dieser Ausdruck negativ werden soll, muß sein

$$\leftarrow \leftarrow \frac{\mathfrak{F}_n}{\mathfrak{F}_{r-1}} > \frac{\eta \cdot l}{y \cdot (\xi + 2 a^l)}.$$

Die Anwendung der Zahlenreihen setzt natürlich stets voraus, daß der eingeführte Lastzug sich mit dem für dieselbe Achsenzahl in der Tafel vorhandenen deckt!

Auch die Größtwerte der Querkräfte (+  $Q_p$ ) und derjenigen (—  $Q_p$ ), deren Einflußflächen keinen Parabelabschnitt darstellen, lassen sich leicht rechnerisch aus den Tafeln ermitteln, indem man für  $Q_0$  in der Gleichung

$$Q = Q_0 \cdot \cos \varphi - H \cdot \sin \varphi$$

bei (+  $Q$ ) in Abb. 69  $A_0^l = \mathfrak{P}_n \cdot \frac{a^r}{l}$ , bei (—  $Q$ ) in Abb. 70  $A_0^r = \mathfrak{P}_n \cdot \frac{a^l}{l}$  setzt und  $H$ , wie früher angegeben, bestimmt aus

$$H = \frac{1}{\eta \cdot l} \cdot (\mathfrak{P}_n \cdot a^l \cdot a^r - \mathfrak{T}_n).$$

Die ungünstigste Laststellung ist bei diesen Werten auf den ersten Blick erkenntlich, so daß eine besondere Untersuchung überflüssig ist. Nur für solche

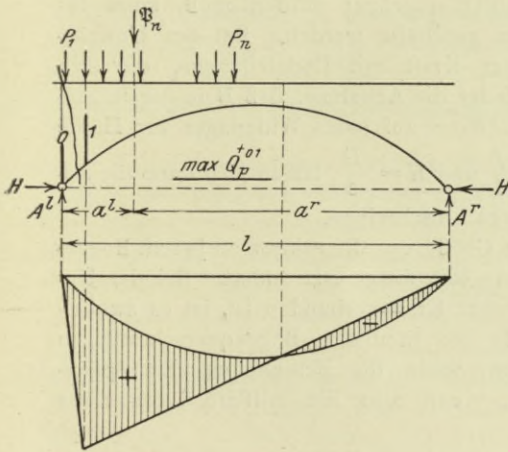


Abb. 69.

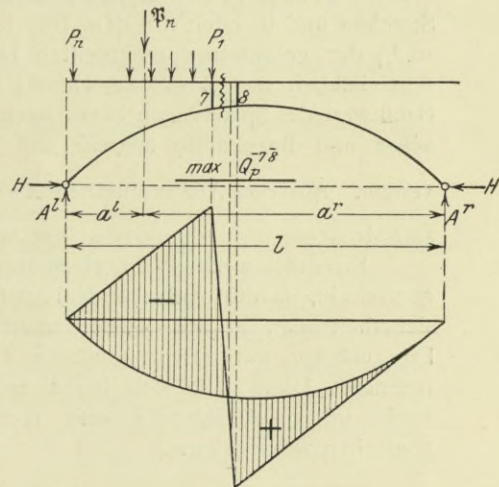


Abb. 70.

negativen Größtwerte, deren Einflußflächen, wie in Abb. 60, sich aus zwei voneinander getrennten Teilen zusammensetzen, ist die Laststellung genauer zu prüfen, weshalb hier das zeichnerische Verfahren wohl mehr zu empfehlen ist.

## § 22. Spannkkräfte infolge Wärmeänderung.

Infolge der festen Lagerung der Blechbogen rufen die Wärmeänderungen einen Horizontalschub  $H_t$  hervor, der nach § 17

$$H_t = \frac{15}{8} \frac{\varepsilon \cdot E \cdot J \cdot \cos \varphi \cdot t \cdot \nu}{f^2}$$

war. Für  $J \cdot \cos \varphi$  ist einfach das größte Trägheitsmoment  $J$  der verschiedenen Bogenquerschnitte einzusetzen. Sollte in Bogenmitte, wo  $\varphi = 0$ , also  $\cos \varphi = 1$  ist, ein etwas schwächerer Querschnitt vorhanden sein, so daß an der Stelle des stärksten Querschnitts der Wert  $J \cdot \cos \varphi$  etwas geringer würde als  $J_{\max}$ , so bedeutet die Einführung von  $J_{\max}$  eben eine kleine Erhöhung der Sicherheit. Für  $\varepsilon$  wird gewöhnlich 0,000 012, für  $E = 2\,000\,000$  kg/cm<sup>2</sup>, für  $\varepsilon \cdot E$  also 24 kg/cm<sup>2</sup> gesetzt. Bei einer mittleren Aufstellungstemperatur und den vorgeschriebenen

Wärmegrenzen von  $-25^{\circ}$  und  $+45^{\circ}$  ist  $t = 30$  bis  $40^{\circ}$  zu setzen. Hiernach ist für  $\nu = 1$

$$H_t = \frac{15 \cdot 24 \cdot 35}{1000 \cdot 8} \cdot \frac{J}{f^2} = 1,6 \cdot \frac{J}{f^2}.$$

Hierin  $H_t$  in t,  $J$  und  $f$  in  $\text{cm}^4$  bzw. cm. Die Kernpunktmente sind dann

$$M_t^{o(u)} = \pm y^{o(u)} \cdot H_t \text{ und die Querkräfte } Q_t = \pm H_t \cdot \sin \varphi.$$

### § 23. Spannkkräfte infolge wagerechter äußerer Kräfte.

Die innerhalb der Fahrbahntafel in der Bogenrichtung wirksamen wagerechten Kräfte rufen im Bogen Spannungen hervor, wenn sie nicht unmittelbar von besonderen Lagern der Endquerträger auf die Widerlager übertragen werden. Bei gleicher Richtung der Bogen mit den Gleisen kommt nur die Bremskraft  $B$  in Frage; bei verschiedener tragen diese, der Winddruck, Seitenstöße der Maschine und die etwaige Fliehkraft ihre Anteile bei. Die Bremskraft, mit der in geeigneten Strecken und in oder vor dem Bahnhofgebiet gerechnet werden muß, kann bis zu  $\frac{1}{7}$  der gebremsten senkrechten Lasten geschätzt werden. Bei der Unwahrscheinlichkeit des Zusammenwirkens dieser Kraft mit Laststellungen, die den Größtwert der Spannungen hervorrufen, genügt die Annahme, daß  $B$  in der Bogenachse und Bogenmitte angreift und sich dann auf jedes Widerlager zur Hälfte verteilt. Aus den Auflagerkräften  $A = B \frac{f}{l}$  und  $H = \frac{B}{2}$  lassen sich dann die Zusatz-Momente und -Querkräfte ohne weiteres hinschreiben.

Eigentlich wechselt die einzuführende Größe der Bremskraft an jedem Bogenquerschnitt, da die maßgebende Laststellung sich fortgesetzt ändert. Bei der Unsicherheit aber, die mit der Bestimmung dieser Kraft verbunden ist, ist es zweifellos zulässig, mit einer mittleren Größe für sämtliche Bogenquerschnitte zu rechnen. Diese läßt sich leicht angeben, wenn die Berechnung der Spannkkräfte infolge Achsdrucks fertig vorliegt, wenn also die mittlere Laststellung übersehen werden kann.

### § 24. Berechnung eines Bogens aus der eines andern von verschiedener Stützweite.

Manchmal liegt die Aufgabe vor, eine größere Zahl Zweigelenkblechbogen von verschiedener Länge zu entwerfen und zu berechnen, bei denen die örtlichen Verhältnisse die Anwendung des gleichen Pfeilverhältnisses gestatten. Oder es handelt sich um die Nachprüfung einer größeren Zahl vorhandener derartiger Bogen. In solchen Fällen leistet das folgende Verfahren gute Dienste, das der Verfasser im Zentralblatt der Bauverwaltung 1904, S. 561 angegeben hat.

Die inneren Spannkkräfte des Bogens hängen, abgesehen von der Spannweite  $l$ , ab

1. von der Pfeilhöhe  $f$ ,
2. von den Kernpunktabständen  $x^o$  und  $x^u$ ,
3. von der Stehblechhöhe  $h_0$ , die den Koeffizienten  $\nu$  beeinflusst.

Liegt nun eine Reihe von Zweigelenkblechbogen verschiedener Stützweite zur Berechnung vor, deren Verhältnisse  $\frac{f}{l}$ ,  $\frac{x}{l}$  und  $\frac{h_0}{l}$  aber einander gleich sind, und zeichnet man einen Bogen beliebiger Spannweite, der jedoch diesen Verhältnissen genau entspricht, so kann diese Figur einen jeden der vorkommenden Bogen darstellen, wenn man nur einen entsprechenden Längenmaßstab einführt.



Denkt man sich diese Bogen in der Mitte mit der Kraft 1 belastet, so ist der wagerechte Schub überall der gleiche, also unabhängig von der Spannweite. Zum Zeichnen der Einflußflächen für die Momente und Querkräfte sind unter den Kämpfergelenken nur  $\frac{x}{y}$  bzw.  $\cotg \varphi$ , also Verhältniswerte aufzutragen. Hieraus folgt, daß sich für sämtliche verschiedenen Stützweiten die gleichen Einflußflächenbilder ergeben. Nur die Vervielfältigungszahlen der Momentenwerte  $y^o$  und  $y^u$  sind für jede einzelne Bogenspannweite besonders zu bestimmen. Da sich aber diese Ordinaten bei verschiedenen Bogen zueinander wie die Stützlängen verhalten, so braucht die bei Kreisbogen etwas umständliche Berechnung<sup>1)</sup> nur einmal durchgeführt zu werden. Bei Aufbringen des Lastzuges ist natürlich jedesmal der zugehörige Längenmaßstab zu beachten: ist die Spannweite des Bogens gleich  $a$  in cm, die des wirklichen gleich  $l$  in m, so ist der Lastabstand von 1,5 m gleich  $1,5 \frac{a}{l}$  cm einzuführen. Hierbei ist eine beliebige mittlere Feldweite zugrunde zu legen. Denn da es sich nur darum handelt, die Kurven der größten Momente, nicht ihre Ordinaten an einigen bestimmten Punkten zu gewinnen, erscheint es durchaus zulässig, die Form nicht aus den Kernpunktmomenten unter den Bogenständen, sondern aus beliebigen Zwischenwerten, also gewissermaßen für eine gedachte Querträgerlage zu bestimmen, wobei die Spitzen der Einflußflächen nicht beschnitten werden.

Sehr einfach lassen sich die Momente infolge gleichmäßig verteilter Last 1 für die verschiedenen Stützweiten angeben, wenn sie für irgend eine bekannt sind. Die Inhalte gleicher Einflußflächen verhalten sich zueinander wie die Stützlängen. Also verhalten sich die Momente, das sind die mit den Kernpunktordinaten vervielfachten Inhalte der Einflußflächen, wie die Quadrate der Stützlängen.

Dieses Gesetz läßt sich auch auf die Momente infolge Verkehrslast übertragen. Durch den immer wieder anderen Längenmaßstab, der gestattet, einen Bogen großer Spannweite in der Einflußfläche mit mehr Achsen zu besetzen, als einer von kleiner, entstehen zwar Abweichungen von diesem quadratischen Verhältnis, die für die einzelnen Kernpunkte des Bogens nicht gleich sind. Immerhin sind die Unterschiede aber so geringfügiger Natur, daß es durchaus zugänglich erscheint, statt der genaueren Ermittlung die Kernpunktmomente infolge Verkehrslast für eine Stützlänge  $l_1$  aus denen einer anderen  $l_2$  mit gleichen Verhältnissen aus der Gleichung zu bestimmen:

$$\frac{M_p^{o(u)} \text{ für } l_1}{M_p^{o(u)} \text{ für } l_2} = c^{o(u)} \cdot \frac{l_1^2}{l_2^2},$$

worin  $c$  eine mittlere Abweichung von dem quadratischen Verhältnis darstellt. Zur Ermittlung von  $c^o$  und  $c^u$  bestimmt man zweckmäßig die zwei Momente  $M_p^o$  und  $M_p^u$  des neu zu berechnenden Bogens an verhältnismäßig derselben Stelle, wo die Momente des fertig berechnet vorliegenden Bogens ihren größten Wert erreichen, was erfahrungsgemäß etwa bei  $\frac{l}{4}$  bzw.  $\frac{3l}{4}$  der Fall ist. Alle übrigen Momentenwerte lassen sich dann aus einer Rechenschieberstellung ablesen. An der angeführten Stelle hat der Verfasser an der Hand eines Zahlenbeispiels nachgewiesen, daß man dabei ganz brauchbare Ergebnisse erhält.

<sup>1)</sup> Bezeichnen  $R$  und  $R^{o(u)}$  die Halbmesser von der Bogenachse und den Kernlinien, so ist

$$y^{o(u)} = \sqrt{R^{o(u)2} - \left(\frac{l}{2} - x\right)^2} - (R - f).$$

Liegt also irgend ein anderer Bogenfall mit verschiedener Spannweite, aber gleichen Verhältnissen  $\frac{f}{l}$  und  $\frac{h_0}{l}$  fertig berechnet vor — denn der Kernabstand  $x$  ist immer ein ziemlich gleiches Vielfaches von  $h_0$  —, so braucht man nach diesem Verfahren nur

zur Ermittlung von  $M_t$  bezw.  $M_b$  die Kernpunktordinaten nach dem Verhältnis der Spannweiten,

zur Ermittlung von  $M_g$  die Momente für 1 t/lfd. m nach dem Verhältnis der Quadrate der Spannweiten,

zur Ermittlung von  $M_p$  endlich nach Bestimmung von  $c^o$  und  $c^u$  aus zwei neu zu berechnenden Momenten die übrigen Momente infolge vollen Achsdrucks  $C' = 1$  nach dem mit  $c^o$  bezw.  $c^u$  vervielfachten Verhältnis der Quadrate der Spannweiten

zu erweitern. Nach Berechnung von  $H_t$  und  $H_b$ ,  $g$  und dem größtmöglichen Belastungsanteil  $C'$  lassen sich die zwei Kurven der größten Momente schnell zeichnen.

Aber auch wenn die Kernabstände  $x$  in ihrem Verhältnis zu  $l$  bei den verschiedenen Stützweiten erheblich voneinander abweichen, sogar wenn die Pfeilverhältnisse nicht genau miteinander übereinstimmen, liefert dieses Verfahren Annäherungswerte, die für die Zeichnung der Momentenkurven durchaus genügen. In ähnlicher Weise lassen sich auch die Querkräfte infolge Verkehrslast — die infolge Eigengewichts sind ziemlich gleich Null — von denen anderer Spannweiten aus dem mit einer näher zu bestimmenden Zahl vervielfachten einfachen Verhältnis der Stützlängen hinreichend genau herleiten.

## § 25. Bestimmung und Anordnung des Bogenquerschnitts.

Wenn die Kurven der größten Momente und die größten Querkräfte bekannt sind, läßt sich der erforderliche stärkste Querschnitt des Blechbogens, die Verteilung der Gurtplatten und die Nietteilung schnell angeben. Bei der Berechnung des Widerstandsmoments  $W$  wird in bezug auf Nietabzug verschieden verfahren. Der Verfasser empfiehlt, solchen nur auf der einen Seite vom Stehblech zu berücksichtigen. Es wird also gewissermaßen angenommen, daß der Trägerquerschnitt nur bei einer Gurtung durch Nieten geschwächt ist. Da immer die eine Bogenhälfte gedrückt, die andere gezogen wird, deckt sich dies Verfahren mit der oft vertretenen Annahme, daß man die Nietschwächung nur bei gezogenen Querschnitten beachten muß. Es ist anzuraten, mit nicht zu starken Gurtplatten zu arbeiten, damit man sich nach Möglichkeit den Spannungsverhältnissen anschmiegen kann. Trägt man die für die verschiedenen Gurtplattenzahlen zulässigen Angriffsmomente in die Kurven der größten vorhandenen Momente ein, so ergibt sich das Bild für die Verteilung der Gurtplatten. Bei regelmäßiger Bogenanordnung weichen die unteren von den oberen größten Kernpunktmomenten nicht allzu erheblich voneinander ab, so daß die beiden Gurtungen in der Regel einander gleich werden. Bei Bogen wie I und II in Abb. 68 ergeben sich aber so bedeutende Unterschiede, daß man die Gurtplattenzahlen entsprechend wechseln muß. In Abb. 71 ist die Gurtplattenverteilung für einen solchen Bogen dargestellt. Da hier die Lage der Kernpunkte eine sehr veränderliche ist, muß der endgültigen Berechnung eine überschlägliche vorausgehen, die die ungefähre Form der größten Momentenkurven angibt und damit eine angenäherte Vorausbestimmung der endgültigen Querschnitte, also auch der Ordinaten der Kernpunkte  $y^o$  und  $y^u$  ermöglicht. Bei solchen Bogen deckt sich die Bogenachse nicht mit der Schwerpunktsachse

was eine Voraussetzung für die allgemeine Berechnung bildete. Wenn auch infolgedessen mit der Möglichkeit gerechnet werden muß, daß sich die wirklichen inneren Spannkkräfte noch etwas erhöhen können, so ist andererseits die Annahme, daß alle zur Erzeugung der berechneten  $\max M$  nötigen Vorbedingungen gleichzeitig auftreten, so unwahrscheinlich, daß dieser Gesichtspunkt ohne weiteres unberücksichtigt bleiben darf.

Der Anschluß der Gurtplatten erfolgt nicht plötzlich. Es ist aber auch nicht notwendig, daß an den aus dem Verteilungsbilde ersichtlichen Stellen des Querschnittwechsels die ganze neu hinzutretende Gurtplatte bereits angeschlossen ist. Es genügt schon, wenn die erste befestigende Nietreihe jenseit der Anschlußstelle liegt. Oft werden hier die Niete besonders dicht gesetzt; dies ist wohl kaum nötig. Eine Unterbrechung der regelmäßigen Nietteilung, um die Platten so

schnell wie möglich anzuschließen, erschwert nur unnötigerweise die Herstellung des Bogens.

Um leicht die Stelle herauszufinden, wo das Stahblech zweckmäßig zu stoßen ist, empfiehlt es sich, nach Berechnung der zulässigen Angriffsmomente ohne Stahblech diese in das Verteilungsbild einzutragen. Gewöhnlich wird man solche Stellen wählen können, wo auf die Stoßdeckung kein eigentliches Angriffsmoment entfällt, wo also theoretisch die Gurtungen allein zur Aufnahme der Spannkkräfte genügen. Dennoch ist es erforder-

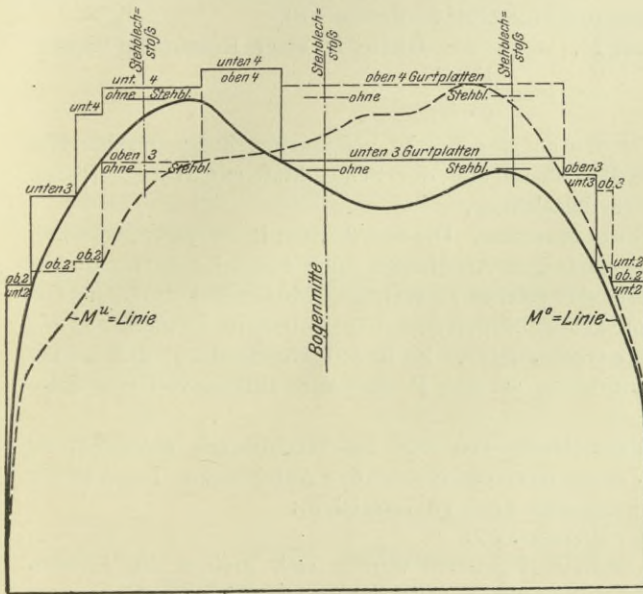


Abb. 71.

lich, das Trägheitsmoment der deckenden Stoßbleche mindestens dem des Stahbleches gleich zu machen und sie durch eine hinreichende Nietzahl anzuschließen, damit die inneren Spannungen, die eben noch über den ganzen Querschnitt, also auch über das Stahblech verteilt waren, nicht plötzlich gezwungen wären, vom Stahblech in die Gurtungen zu wandern.<sup>1)</sup> Im übrigen soll die Ausbildung der Stöße nicht weiter besprochen werden, da hier genau dasselbe wie bei den gewöhnlichen Balkenbrücken gilt.

Die Nietteilung wird zur besseren Übersicht gern in das Verteilungsbild der Gurtplatten eingetragen, indem in jedem Felde die zu wählende Nietteilung  $e \leq 6$  bis  $7 \varnothing$  der erforderlichen  $e$  gegenübergestellt wird. Sie berechnet sich aus den größten Querkräften  $Q$  in bekannter Weise aus der Gleichung

$$e = \frac{N}{Q} \cdot \frac{J}{\sigma}$$

1) Vergl. Schaper, Eiserne Brücken, S. 73. Berlin 1908.

Hierin bezeichnen

$N$  die Tragfähigkeit eines hier zweischnittigen Niets vom Durchmesser  $\varrho$ , bei der Stehblechstärke  $\delta$  also  $= 2 \sigma \cdot \varrho \cdot \delta$ ,

$J$  das Trägheitsmoment des ganzen Querschnitts einschließlich Stehblech,

$\mathfrak{C}$  das statische Moment einer Gurtung (ohne Stehblech) in bezug auf die Schwerachse des ganzen Trägerquerschnitts.

### § 26. Berechnung der Endversteifung.

Die Endversteifung, die angeordnet werden muß, wenn die Spannungen in der Fahrbahntafel nicht unmittelbar zu besonderen Bogen der Endquerträger geleitet werden können, kann durch folgende äußeren Kräfte in Anspruch genommen werden:

1. durch den Winddruck  $W$  auf den Überbau und die bewegliche Last, dessen Größe durch die Belastungsvorschriften geregelt ist,
2. durch die Fliehkraft  $F$ , wenn die Gleise in einer Krümmung liegen,

$$F = \frac{P \cdot v^2}{g \cdot R},$$

worin  $P$  das Gewicht des auf der Brücke befindlichen Zuges,  $v$  seine Geschwindigkeit,  $g$  die Beschleunigung der Schwerkraft  $= 9,81$  und  $R$  den Krümmungshalbmesser bezeichnen,

3. durch Seitenstöße  $S$  der Maschine. Die preußischen Belastungsvorschriften enthalten zwar keine derartigen Annahmen, doch empfiehlt es sich zur Erhöhung der Sicherheit, mit solchen zu rechnen. Müller-Breslau rät, für die ersten drei Lokomotivachsen wagerechte Seitenstöße im Betrage von  $\frac{1}{10}$  der senkrechten Lasten einzuführen. Es ist selbstverständlich, daß zur Bestimmung der Angriffskräfte  $W$  und  $F$  die ganze Brücke voll vom Zuge besetzt sein muß.

Wenn die Gleisrichtung von der des Blechbogens abweicht, so steuert jede dieser Lasten ihren entsprechenden Anteil hinzu. Dann ist die Gesamtlast unter Umständen noch zu vergrößern:

4. durch den Anteil der Bremskraft  $B$ .

Die Kräfte, deren Gesamtheit  $M$  genannt werden soll, greifen die Endversteifung in der Ebene der Fahrbahntafel an. Die höhere Lage des Angriffspunktes der einzelnen Kräfte ruft nur eine senkrechte Mehrbelastung des einen Bogens und seiner Stützen hervor, was bereits in § 23 besprochen wurde. Da die Buckelbleche die inneren Spannungen auf den ganzen Endquerträger übertragen, kommt man den wirklichen Verhältnissen wohl nahe genug, wenn man an jeder Bogenstütze sich die halbe Gesamtkraft, also  $\frac{M}{2}$ , angreifend denkt. Bei einem Fachwerk-Endquerträger wie z. B. nach Abb. 14 wird sich die gesamte Kraft auf sämtliche Knotenpunkte verteilen.

Bei statisch bestimmten Anordnungen nach Abb. 72 und 73, bei denen nur die stark ausgezogenen Stäbe beansprucht werden, sind deren Spannungen durch Zerlegung der Kraft  $M$  nach den beiden Stabrichtungen unmittelbar gegeben. Endansteifungen nach Abb. 74 stellen ein Zweigelenk-Fachwerkgebilde dar, sind also eigentlich einfach statisch unbestimmt und mit Hilfe des Gesetzes von den virtuellen Verrückungen aus den Gleichungen zu berechnen:

$$1. \quad \delta_a = \sum S_a \cdot \Delta s \quad \text{und}$$

$$\Delta s = \frac{s}{E \cdot F} \cdot (S_o - S_a \cdot X_a).$$

Bei regelmäßiger Belastungsweise wie hier kann man aber ohne weiteres annehmen, daß der statisch unbestimmte wagerechte Schub  $= \frac{M}{2}$  sein wird. Da der senkrechte Auflagerdruck  $= M \frac{h}{b}$  bekannt ist, sind alle Stabkräfte gegeben.

Bei der Bestimmung der Knicksicherheit für die Streben in Abb. 73 und 74 darf die Länge von Knotenpunkt zu Knotenpunkt, also die halbe Länge der Streben vom Kämpfergelenk bis zum Querträger nur für dasjenige Trägheitsmoment in die

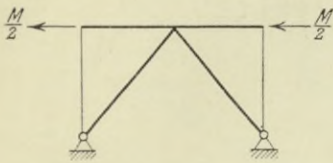


Abb. 72.

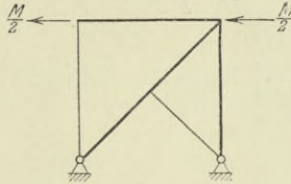


Abb. 73.

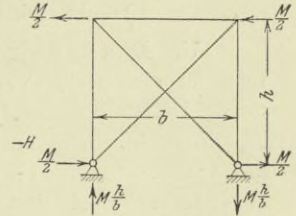


Abb. 74.

Eulersche Knickformel eingesetzt werden, das beim Ausknicken in der Ebene der Querversteifung maßgebend ist. Gegen die Möglichkeit, daß die Streben rechtwinklig zu dieser Ebene ausknicken, muß am besten mit der vollen Länge gerechnet werden.

Die Gesamtspannung der Endstütze  $V$  setzt sich zusammen aus derjenigen infolge Eigengewichts  $g$ , senkrechter Verkehrslast  $p$  und wagerechter Gesamtlast  $M$ . Bei der Bestimmung von  $V_p$  ist die Erhöhung des Lastanteils zu berücksichtigen, weil die wagerechten Einzellasten  $W$ ,  $F$  und  $S$  in einem gewissen Abstand über der Ebene der Fahrbahntafel angreifen.

Also

$$V = V_g + V_p + V_m.$$

## II. Abschnitt.

### Berechnung des Widerlagers.<sup>1)</sup>

#### § 27. Bestimmung des größten Stützdrucks.

Zur Berechnung des Lagerbocks und der höchsten Kantenpressung auf den Auflagerquader pflegt man meist nur von dem größten Stützdruck  $D_{\max}$  auszugehen und die Richtung der Quaderoberfläche rechtwinklig zu diesem anzunehmen. Dieser deckt sich zwar im allgemeinen nicht mit demjenigen, der die höchste Quaderbeanspruchung und somit auch die größte Belastungsfläche für den in der Mitte eingespannt gedachten unteren Lagerbock hervorruft; jedoch genügt diese Berechnungsweise. Höchstens mag man den Grenzwert der Kantenpressung nach dem in § 30 für die Quaderunterfläche beschriebenen schärferen Verfahren nachprüfen. Die zweckmäßigste Richtung der Quaderoberfläche läßt sich jedoch aus derjenigen rechtwinklig zum größten Stützdruck nur unsicher bestimmen, da die die verschiedenen möglichen Stützdrücke umhüllende Kurve keinen scharf ausgeprägten Größtwert erkennen läßt. Hierfür empfiehlt sich, das Verfahren in § 30 anzuwenden oder wenigstens die Lage des gemeinsamen Mittelpunkts für die Fugenrichtungen des verlorenen Widerlagers zu berücksichtigen (vergl. die spätere Abb. 83).

<sup>1)</sup> Vergl. die Aufsätze des Verfassers über dieses Gebiet in der Zeitschrift für Architektur und Ingenieurwesen 1904, Heft I und im Zentralblatt der Bauverwaltung 1908, S. 353. Außer dem Müller-Breslau, Die stabförmigen elastischen Bogen.

Der denkbar größte Stützdruck  $D_{\max}$  setzt sich im allgemeinsten Falle nach Abb. 75 aus folgenden Einzelkräften zusammen:

1. infolge Eigengewichts  $g \cdot A_g$  und  $g \cdot H_g$  (§ 19),
2. infolge senkrechter Verkehrslast  $C' \cdot A_p$  und  $C' \cdot H_p$  (§ 20),
3. infolge Wärmeänderung  $H_t$  (§ 22),
4. infolge wagerechter äußerer Kräfte

a) in der Bogenrichtung  $\frac{B}{2}$  und  $B \cdot \frac{f}{l}$  (§ 23),

b) rechtwinklig dazu  $M \cdot \frac{h}{b}$  (§ 26).

Um  $D_{\max}$  zu finden, muß man für eine Reihe verschiedener Laststellungen  $A_p$  und  $H_p$  ermitteln. Dies geschieht am schnellsten mit Hilfe der sogenannten  $z \cdot A$ - und  $z \cdot H$ -Linie, die im nächsten Paragraphen besprochen werden. Schließt man die Endpunkte

der auf den zugehörigen Abständen  $C' \cdot H_p$  aufgetragenen Ordinaten  $C' \cdot A_p$  durch eine umhüllende Kurve ein, so läßt sich  $D_{\max}$  leicht abgreifen.

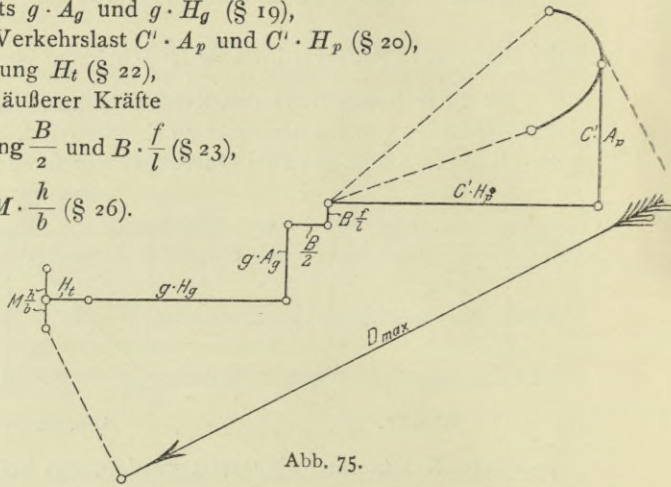


Abb. 75.

## § 28. Bestimmung der größten Kantenpressung in einer Widerlagerfuge.

Bevor der Weg besprochen wird, wie ein zweckmäßiges Widerlager entworfen werden kann, soll die größte Kantenpressung in einer beliebigen Fuge untersucht werden. Auf die Fuge können folgende Kräfte wirken:

1.  $G$  = Eigengewicht des Widerlagers über der Fuge,
2.  $G_p$  = Gewicht einer Auflast senkrecht über der Fuge,
3.  $E$  = Erddruck,
4.  $E_p$  = Erhöhung des Erddrucks infolge Auflast,
5.  $A = g \cdot A_g + C' \cdot A_p \pm B \frac{f}{l} \pm M \frac{h}{b}$  = senkrechter Kämpferdruck,
6.  $H = g \cdot H_g + C' \cdot H_p \pm H_t \pm \frac{B}{2}$  = wagerechter Kämpferdruck in der Bogenrichtung,
7.  $\pm \frac{M}{2}$  = wagerechter Kämpferdruck rechtwinklig zum Bogen.

Von diesen Kräften sind  $G$ ,  $E$ ,  $g \cdot A_g$  und  $g \cdot H_g$  stets und immer in gleicher Weise wirksam. Die Bremskraft  $B$  und die Mittelkraft der übrigen wagerechten Kräfte  $M$  rechtwinklig zur Bogenebene werden erst dann genau zu bestimmen sein, wenn die Stellung des Lastzuges bekannt ist.  $B$  darf nur eingeführt werden, wenn bei der Auffahrtrichtung des Lastzuges Bremsen die Kantenpressung erhöht. Mit  $M$  ist aber zu rechnen, da der wagerechte, nach der Tiefe zu wirkende Kämpferdruck  $\frac{M}{2}$  auf der einen Seite des Widerlagers die Beanspruchung stets vergrößert,  $M \frac{h}{b}$ , der senkrechte Kämpferdruck, dagegen  $+$  oder  $-$  gesetzt werden kann. In vollem Maße ist dies natürlich nur dann der Fall, wenn  $M$  keine Fliehkraft enthält, die ja nur nach einer Richtung wirken kann. Der Bogenschub infolge Wärmeänderung  $H_t$  ist bei Bestimmung des größten Drucks der Außenkante in positivem, bei der Innenkante in negativem Sinne einzuführen. Es bleibt also noch die Auf-

gabe zu lösen, die Stellung des Lastzuges zur Ermittlung der Kräfte  $A_p$  und  $H_p$  zu finden und darüber zu entscheiden, ob mit den Kräften  $G_p$ ,  $E_p$  und  $B$  zu rechnen ist oder nicht.

Ist in Abb. 76 *ai* die zu untersuchende Fuge, so stellen die Verbindungslinien ihrer Drittpunkte mit dem Kämpfergelenk diejenigen Richtungen von

Bogendrücken dar, die in der Außen- bzw. Innenkante die Pressung Null ergeben. Oder: in den Schnittpunkten dieser Linien mit der Kämpferdruckkurve  $E^a$  und  $E^i$  in den Abständen  $i^a$  und  $i^i$  vom Gelenk liegen die Belastungsscheiden für Druck- oder Zugspannungen in den Kanten. Da die Kantenpressungen sich aus dem auf das abgelegene Drittel bezogenen Moment der äußeren Kräfte, geteilt durch das Widerstandsmoment des Querschnitts, berechnen, so muß die Einflußfläche für die Pressung einer Kante unter der zugehörigen Belastungsscheide  $E$  einen Nullpunkt haben. Da die Einflußfläche für den senkrechten Kämpferdruck ein Dreieck mit der größten Ordinate unter dem Gelenk, für den wagerechten beim Zweigelenkbogen eine Parabel mit der größten Ordinate unter Bogenmitte ist, so genügt es, um die unbekannte Lage der die größte Kantenpressung hervorruhenden Verkehrslasten zu finden, wenn man unter dem Bogen eine ganz beliebige Parabel mit dem größten Pfeil in der Mitte zeichnet, die Punkte  $E^a$  bzw.  $E^i$  herunterlotet und die Schnittpunkte mit der Parabel mit dem Parabelpunkt unter

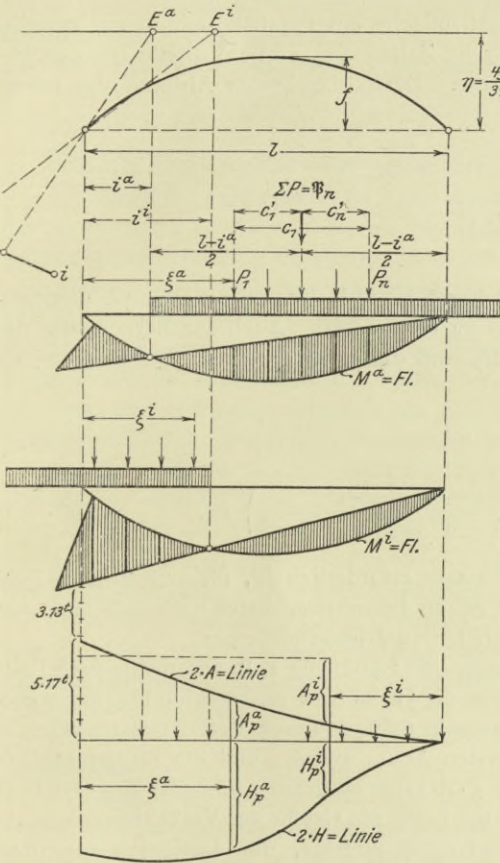


Abb. 76.

dem anderen Gelenk verbindet. Berücksichtigt man dann noch die Lage der zwei Querträger am linken Gelenk, so ergeben sich die gesuchten Einflußflächen. Der Einfluß der übrigen Querträger, auch der des rechten Endquerträgers, ist als unwesentlich vernachlässigt.

Zur Gewinnung der größten Pressung in der Außenkante  $a$  dürfen sich nur Verkehrslasten auf der rechten Seite der Einflußfläche befinden, da jede Last links von  $E^a$  Zug in  $a$  hervorruft. Da aber auch der Erddruck für die Pressung in  $a$  entlastend wirkt, dürfen die Kräfte  $E_p$  und  $G_p$  nicht in Rechnung gestellt werden; der Belastungszug muß von rechts nach links auf das Bauwerk aufgeföhren gedacht werden.

Dagegen wirkt die Bremskraft  $B$  bei solcher Fahrt dann ungünstig auf die Pressung der Außenkante, wenn das Kernpunktmoment aus dem wagerechten

Kämpferdruck  $\left(+\frac{B}{2}\right)$  mal dem senkrechten Abstand vom inneren Drittel der Fuge größer ist als das im entgegengesetzten Sinne drehende, gebildet aus dem senkrechten Kämpferdruck  $\left(+B\frac{f}{l}\right)$  mal dem wagerechten Abstand vom Drittelpunkt. Ob mit  $B$  zu rechnen ist, hängt also von der Lage der Fuge ab.

Da der maßgebende Teil der Einflußfläche ein Parabelabschnitt ist, gewährt die in § 21 aufgeführte Müller-Breslausche Zahlentafel große Vorteile bei der Bestimmung der ungünstigsten Laststellung. Bezeichnet  $\xi^a$  den Abstand der ersten Last  $P_1$  vom linken Gelenk, so ist

$$\xi^a = l - c_1' - \frac{l - i^a}{2},$$

hieraus

$$\xi^a = \frac{l + i^a}{2} - c_1'.$$

Die Länge  $c_1'$  liest man für den zugehörigen Wert  $l - i^a$ , dort  $u$  genannt, unmittelbar ab, ebenso den Lastzug, mit dem zu rechnen ist. Auch zur Berechnung der zugehörigen Kämpferdrücke  $A_p$  und  $H_p$  sind diese Zahlenreihen sehr bequem, da nach § 21

$$A_p = \mathfrak{P}_n \frac{l - i^a}{2l}$$

und

$$H_p = \frac{1}{l \cdot \eta} \left( \mathfrak{P}_n \cdot \frac{l - i^a}{2} \cdot \frac{l + i^a}{2} - \mathfrak{T}_n \right) \text{ ist.}$$

Da es beim Entwerfen der Widerlager erforderlich ist, für eine größere Zahl von Laststellungen die Werte  $A_p$  und  $H_p$  zu berechnen, kann man sich auch mit Vorteil der sogenannten  $2 \cdot A$  und  $2 \cdot H$ -Linien<sup>1)</sup> bedienen.

Diese Kurven entstehen, wenn man den Lastenzug z. B. von rechts nach links vorschiebt, für alle möglichen Stellungen die Größe des senkrechten und des wagerechten Drucks am linken Kämpfergelenk infolge dieser Verkehrslast auf einer wagerechten Linie immer unter der ersten Achse aufträgt und die Endpunkte der Ordinaten miteinander verbindet. Die  $2 \cdot A$ -Linie kann auch schneller so gezeichnet werden, daß man auf dieser wagerechten Linie die Größe der Verkehrslasten senkrecht übereinander unter dem linken Gelenk aufträgt, den Lastenzug von links nach rechts vorschiebt, so daß die erste Achse über dem rechten Gelenk steht, den Punkt der Wagerechten unter dem rechten Gelenk als Pol eines Kräftepolygons zu den Verkehrslasten ansieht und ein zugehöriges Seilpolygon zeichnet, dessen erste zwei Seiten mit der Wagerechten und dem zweiten Polstrahl zusammenfallen (Abb. 76).

Natürlich muß der Lastzug der  $2 \cdot A$ - und  $2 \cdot H$ -Linie mit dem übereinstimmen, der in oben aufgeführter Zahlenübersicht zu der Länge des Parabelstücks  $(l - i^a)$  gehört. Dies läßt sich aber ungefähr von vornherein übersehen. Zum Beispiel wird man bei Stützweiten bis zu etwa 25 m den ersten Lastzug  $LTLTG$  zu benutzen haben. Nur bei solchen Stützweiten, bei denen für die maßgebenden Parabelstrecken ein Übergang aus einem Lastzug in den andern stattfindet, ist die Reihenfolge der Lasten fraglich. Liegen passende  $2 \cdot A$ - und  $2 \cdot H$ -Linien vor, so greift man im Abstand  $\xi^a$  vom linken Gelenk die Größen  $A_p^a$  und  $H_p^a$ , die den größten Druck in der Außenkante bewirken, unmittelbar ab.

1) Vergl. Müller-Breslau, Graphische Statik der Baukonstruktionen.



Bei der Untersuchung der Innenkante  $i$  rufen nur die Lasten links von  $E^i$  Druck in  $i$  hervor. Da auch der Erddruck belastend auf diese Kante einwirkt, ist im allgemeinen der Lastenzug von links nach rechts höchstens bis zum Punkt  $E^i$  vorzuschieben. Die maßgebende Stellung ist auch hier meist ohne Zeichnung der Einflußfläche sofort gegeben, da eine Last sich unmittelbar über der größten Ordinate, das ist über dem letzten links gelegenen Bogenquerträger, befinden muß. Der Abstand der ersten Achse vom linken Gelenk muß, wenn insgesamt  $n$  Felder von der Weite  $\lambda$  vorhanden sind, sein:

$$\xi_i = \frac{l - (n - 2)\lambda}{2} + n' \cdot 1,5.$$

Hierin bezeichnet  $n'$  eine ganze Zahl, die abhängt von der Größe von  $i^i$ .

Solange die Feldweite  $\lambda \leq 1,5$  ist, lassen sich die Werte  $A_p^i$  und  $H_p^i$  leicht aus der  $2 \cdot A$ - und  $2 \cdot H$ -Linie abgreifen, vorausgesetzt, daß der bei ihrer Zeichnung zugrunde gelegte Lastzug dies gestattet.

Denkt man sich den Lastenzug um denselben Betrag von rechts aus vorgeschoben, setzt man also den Wert  $\xi^i$  vom rechten Gelenk aus ab, so findet man in den Ordinaten der  $2 \cdot A$ - und  $2 \cdot H$ -Linie den senkrechten und wagerechten Bogendruck am linken Gelenk. Hierbei hat der wagerechte Schub dieselbe Größe wie bei der wirklichen Laststellung, läßt sich also unmittelbar abgreifen. Der senkrechte Druck dagegen ist zusammen mit dem am rechten Gelenk gleich der Summe der äußeren Kräfte. Kommen also, wie hier gezeichnet, vier Lasten auf den Bogen zu stehen, so braucht man, gleich hohe Kämpfer vorausgesetzt, nur von dem Ende der vierten Last über dem Gelenk wagerecht herüberzuziehen, um in dem Unterschied zwischen diesen vier Lasten und der Ordinate der  $2 \cdot A$ -Linie die gesuchte Größe  $A_p^i$  zu finden (Abb. 76).

Da der Erddruck auf die Innenkante einen Druck ausübt, sind die Kräfte  $E_p$  und  $G_p$ , um den Größtwert der Kantenpressung zu erhalten, in die Berechnung einzuführen, womit sich auch die Auffahrtrichtung des Zuges deckt. Ebenso wirkt die Bremskraft  $B$  belastend als Kämpferdruck  $\left(-\frac{B}{2}\right)$  (wagerecht) und  $\left(-B \frac{f}{l}\right)$  (senkrecht).

Wenn der Punkt  $E^i$  sehr weit vom linken Gelenk entfernt nahe an das rechte fällt oder gar außerhalb des Bogens liegt, was beispielsweise bei der Untersuchung des Druckes in der Unterkante des Auflagerquaders in der Regel einzutreten pflegt, dann wird der rechte Teil der Einflußfläche verschwindend klein oder gleich Null. Auch der Erddruck spielt meist keine oder nur eine geringe Rolle, so daß  $E_p$  nicht in Frage kommt. In diesem Falle kann man sich vorstellen, daß der Lastenzug von rechts nach links bis zum letzten Bogenquerträger, d. i. bis zur größten Ordinate der Einflußfläche, vorgeschoben ist. Man greift dann bei der  $2 \cdot A$ - und  $2 \cdot H$ -Linie die maßgebenden Werte  $A_p^i$  und  $H_p^i$  unmittelbar unter diesem Querträger ab.

Nur in einem Falle wird die  $2 \cdot A$ - und  $2 \cdot H$ -Linie nicht zum Entnehmen der Größen  $A_p^i$  und  $H_p^i$  benutzt werden können, wenn einerseits die Lastscheide  $E^i$  eine solche Lage innerhalb des Bogens hat, daß der rechte, parabelförmige Teil der Einflußfläche nicht mit Achsen belastet werden darf, andererseits die Länge  $i^i$  so groß ist, daß sie außer den zwei Maschinen noch eine Reihe von Güterwagen aufnehmen kann. Damit die schweren Lasten der Maschinen sich über den größten Ordinaten der Einflußfläche befinden, ist ein der Länge  $i^i$  entsprechender kurzer Lastzug von rechts nach links vorzuschieben. Die Vermehrung der Kräfte  $G$  und  $E$  um  $G_p$  und  $E_p$  kommt dann in Fortfall. Wann diese Last-

stellung in die Rechnung einzuführen ist, darüber kann nur eine vergleichende Untersuchung Aufschluß geben.

Die Kräfte  $E_p$  und  $G_p$  werden für den vorliegenden Zweck genügend genau dadurch berücksichtigt, daß man sich für  $p$  einen Belastungsgleichwert ermittelt. Nimmt man etwa an, daß das Gewicht einer Maschine nebst Tender von  $(5 \cdot 17 + 3 \cdot 13)$  t sich über die ganze Länge von  $12 \cdot 1,5$  m und einen mittleren Gleisabstand von 4 m gleichmäßig verteilt, so ergibt sich ein Belastungsgleichwert  $p = 1,7$  t/m<sup>2</sup>.

Nach Vereinigung der auf die Fuge wirkenden Kräfte zu einer Mittelkraft läßt sich die größte Kantenpressung, von Schubkräften abgesehen, sofort angeben, wenn man die Mittelkraft, vervielfacht mit dem größeren ihrer beiden Abstände von den Drittelpunkten, durch das Widerstandsmoment des Querschnitts teilt. Um die größte Pressung in der Außenkante  $a$  hervorzurufen, sind also in der Regel als wirksame Kräfte  $E$ ,  $G$ ,  $A^a$  und  $H^a$ , letztere beide vereinigt zu  $D^a$ , einzuführen, worin

$$A^a = g \cdot A_g + C' \cdot A_p \left( + B^a \cdot \frac{f}{l} \right) - M^a \cdot \frac{h}{b} \text{ und}$$

$$H^a = g \cdot H_g + C' \cdot H_p + H_t \left( + \frac{B^a}{2} \right) \text{ sind.}$$

Die Innenkante  $i$  dagegen ist mit  $E$ ,  $E_p$ ,  $G$ ,  $G_p$ ,  $A^i$  und  $H^i$ , letztere beide vereinigt zu  $D^i$ , belastet zu denken, worin

$$A^i = g \cdot A_g + C' \cdot A_p - B^i \cdot \frac{f}{l} - M^i \cdot \frac{h}{b} \text{ und}$$

$$H^i = g \cdot H_g + C' \cdot H_p - H_t - \frac{B^i}{2} \text{ sind.}$$

Zu dieser Beanspruchung tritt dann noch diejenige, die durch die wagerechte, rechtwinklig

zum Bogen wirkende Kraft  $\frac{M}{2}$  hervorgerufen wird. Wenn das Kämpfergelenk, also ihr Angriffspunkt genau in einer Linie läge, die mit der Fuge einen rechten Winkel bildet und durch ihre Mitte geht, so wäre die Pressung der Kanten  $a$  und  $i$  nach Abb. 77

$$\sigma = \pm \frac{M}{2} \cdot h' \cdot \frac{6}{\vartheta \cdot t^2}.$$

Das Drehmoment  $\frac{M}{2} \varrho$ , desgl. die Schubkraft  $\frac{M}{2}$  können vernachlässigt werden.

### § 29. Günstigste Anordnung des Widerlagers.

Wie bereits im § 16 angedeutet wurde, erhält man die zweckmäßigste Bauart für die Widerlager in der Form sogenannter verloreener, bei denen der jedesmalige Gesamtdruck die Querschnittfugen möglichst unter rechtem Winkel und möglichst in der Mitte trifft und gerade die zulässige Kantenpressung hervorruft. Bei dem fortgesetzten Wechsel aber, dem die angreifenden äußeren Kräfte ausgesetzt sind, ist diese Forderung nur in beschränktem Maße erfüllbar. Da sich der Grenzwert der Fugenbeanspruchungen nur in der im vorigen Paragraphen geschilderten Weise bestimmen läßt, wird es zweckmäßig sein, bei der Formbestimmung der Fugen von vornherein von den beiden für die größte Pressung der Außen- und Innen-

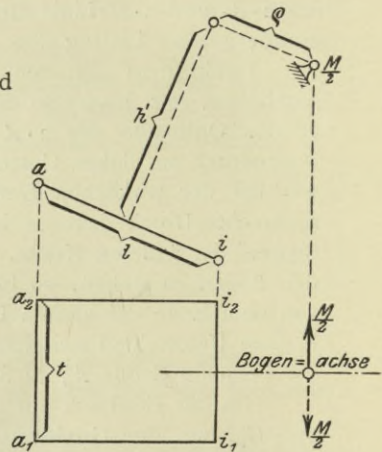


Abb. 77.

kante maßgebenden Belastungsfällen auszugehen, dagegen auf die Bestimmung des größten Fugendruckes zu verzichten. Hierbei wird die zweite Bedingung, daß der Gesamtdruck die Fuge möglichst in der Mitte trifft, gleichbedeutend sein mit der Forderung, daß die denkbar größte Pressung der Innenkante gerade gleich der der Außenkante wird; wenn dann ein Zug die Brücke befährt, wandert die Mittelkraft ungefähr aus einer Grenzlage durch die Fugenmitte zur andern. Der Forderung endlich, daß der Gesamtdruck möglichst rechtwinklig zur Fugenrichtung steht, entspricht die Bedingung, daß der Winkel, den die Mittelkraft für den Grenzbelastungsfall der einen Kante mit der Fuge bildet, gleich dem des Gesamtdruckes für die andere Kante wird, oder besser, da diese zwei Mittelkräfte nicht einander gleich groß zu sein brauchen, daß die den Querschnitt abschiebenden Kräfte für die beiden Grenzfälle einander gleich werden. Danach müssen die nach Lage, Größe und Richtung unbekanntem Fugen folgenden drei Bedingungen gerecht werden:

1. der Neigungswinkel der Fuge gegen die Wagerechte soll derart sein, daß in den beiden Belastungsgrenzfällen für die Kantenpressungen die Schubkräfte einander gleich werden;
2. die größte Pressung an der Außenkante soll genau gleich der an der Innenkante werden;
3. die Beanspruchung soll die zulässige Grenze gerade erreichen.

In welcher Weise sich leicht das Widerlager entwerfen läßt, das diesen Bedingungen genügt, soll in folgendem näher ausgeführt werden.

### § 30. Bestimmung des Auflagerquaders.

Die Ausbildung des Lagerbocks, also damit der Abstand  $s$  des Gelenks von der Oberfläche des Quaders, ist bekannt, vgl. § 12 und die dort angegebene Formel für  $s$ :

$$s^{cm} = 18 + 0,065 D_{max}^t,$$

worin  $D_{max}$  den größten Kämpferdruck bezeichnet.

Die Höhe des Quadersteins läßt sich von vornherein als ein Vielfaches der Seitenlänge  $a$  bei quadratischem Grundriß angeben. Ist die Seitenlänge der Unterfläche des Lagerbocks gleich  $a'$ , die zulässige Beanspruchung des Mauerwerks  $\sigma_m$ , die des Quaders  $\sigma_q$ , und bezeichnet man die unbekannte Höhe vorläufig mit  $x$ , so ist bei gleichmäßiger Verteilung des größten Stützdruckes  $D_{max}$  nach

Abb. 78 das den Quader beanspruchende Biegemoment  $= \frac{D_{max}}{8} (a - a')$ , also

$$x^2 = \frac{6 D_{max} (a - a')}{8 a \sigma_q}.$$

Man kann setzen

$$a^2 = \frac{D_{max}}{0,8 \sigma_m} \quad \text{und} \quad a'^2 = \frac{D_{max}}{0,9 \sigma_q},$$

wobei die Zahlen 0,8 und 0,9 berücksichtigen, daß zur Bestimmung von  $a$  und  $a'$   $D_{max}$ , nicht aber die für die beiden Kantenpressungen maßgebenden Werte  $D$  zugrunde gelegt sind.

Dann erhält man

$$x^2 = 0,6 a^2 \frac{\sigma_m}{\sigma_q} \left( 1 - \sqrt{\frac{0,8 \sigma_m}{0,9 \sigma_q}} \right),$$

z. B. genügt für  $\sigma_m = 10$  und  $\sigma_q = 40 \text{ kg/cm}^2$  ein Wert von  $x = 0,282 a$ . Mit Rücksicht auf eine gute Druckübertragung und die Querschnittsschwächung durch Einbauen der Rippen wird sich eine etwas größere Stärke, etwa  $\frac{2}{5} a$  empfehlen.

Aus der Gleichung  $a^2 = \frac{D_{\max}}{0,8 \cdot \sigma_m}$  läßt sich ungefähr die Größe von  $a$ , aus der Richtung rechtwinklig zu  $D_{\max}$  angenähert die Neigung des Auflagersteins ermitteln, so daß man ungefähr die Lage der Lastscheide  $E^o$  und die Größe der Kämpferdrücke  $A_p^o$  und  $H_p^o$  für die obere Kante der Lagerfläche angeben kann. Wie schon früher angedeutet, liegt  $E^u$  so weit vom Gelenk entfernt, daß die Werte  $A_p^u$  und  $H_p^u$  für die untere Kante in der Regel unmittelbar unter dem letzten Bogenquerträger aus der  $z \cdot A$ - und  $z \cdot H$ -Linie abgegriffen werden können.

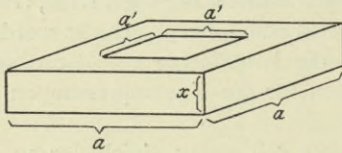


Abb. 78.

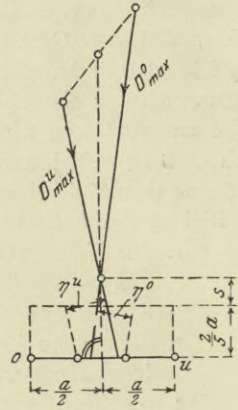
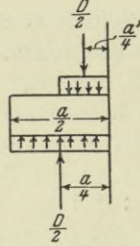


Abb. 79.

Trägt man nach Abb. 79 in  $D_{\max}^o$  und  $D_{\max}^u$  die beiden Bogendrucke vom Gelenk aus auf, verbindet die Endpunkte dieser Kräfte miteinander und zieht vom Gelenk nach dem Mittelpunkt dieser Verbindungslinie, so gibt die Rechtwinklige hierzu die gesuchte Richtung des Auflagerquaders. Denn jetzt sind die Schubkräfte für beide Grenzlaststellungen einander gleich. Die Größe des Auflagersteins kann rechnerisch genau aus der Bedingung bestimmt werden, daß die beiden Kantenpressungen gleich groß werden und die zulässige Beanspruchung gerade erreichen. Diese Forderung ergibt aber eine unbequeme Gleichung für  $a$ ; außerdem bildet die durch die Gelenkmittle gelegte Rechtwinklige zur Lagerrichtung nicht Symmetrieachse für den Quader. Für diese Fuge erscheint es daher am zweckmäßigsten, nur an einer Kante an die zulässige Spannungsgrenze heranzugehen und die Größe des Quaders durch Probieren zu bestimmen. Hiernach lassen sich dann die endgültigen Werte  $A_p^o$  und  $H_p^o$  ermitteln und, wenn  $\eta^o$  und  $\eta^u$  die rechtwinkligen Abstände der Kräfte  $D_{\max}^o$  und  $D_{\max}^u$  von den von der betreffenden Kante abgelegenen Kernpunkten sind, die Beanspruchungen aus den Gleichungen berechnen:

$$\sigma^o = \frac{D_{\max}^o \cdot \eta^o \cdot 6}{a^3} \quad \text{und} \quad \sigma^u = \frac{D_{\max}^u \cdot \eta^u \cdot 6}{a^3}.$$

Dazu treten noch die Pressungen infolge  $\frac{M}{2}$ :

$$\sigma^o = \sigma^u = \frac{3M \left( \frac{2}{5} a + s \right)}{a^3}.$$

Hierbei ist das Gewicht des Quaders selbst vernachlässigt; außerdem ist nach Abb. 80 angenommen, daß der Quader nur verschwindend wenig übermauert ist. Bei wachsender Übermauerung ist natürlich das hinzutretende Eigengewicht nebst zugehörigem Anteil am Erddruck entsprechend zu berücksichtigen.

### § 31. Bestimmung des Bausohlquerschnitts.

Die Lage des guten Baugrundes, also der Abstand der Außenkante des Sohlquerschnitts von S.-O., im folgenden mit  $k$  bezeichnet, darf als gegeben angenommen werden. Setzt man bei gutem Baugelände voraus, daß der Boden bis auf eine Tiefe von 0,7 bis 0,8 m durch Frost angegriffen ist, so ist  $k$  gleich dem Unterschied zwischen S.-O. und Gelände + 0,75 m.

Der in der Höhe  $k$  wirkende Erddruck  $E$  wird, ein guter Hinterfüllungsstoff vorausgesetzt, genügend genau in der Weise berücksichtigt, daß die lotrecht bis zur Außenkante über dem Widerlager befindlichen Bodenmassen als zum Mauergewicht gehörig betrachtet werden und außerdem ein in Höhe  $\frac{k}{3}$  über der Außen-

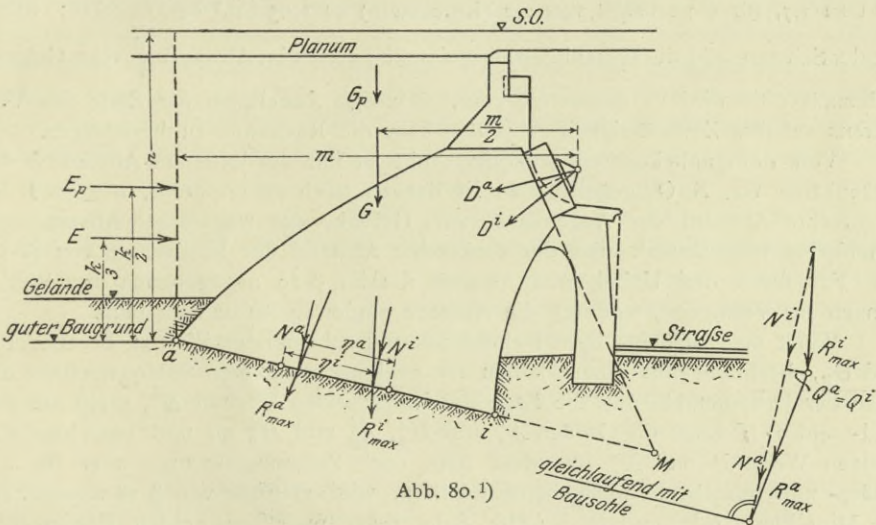


Abb. 80.1)

kante angreifender Erddruck von  $E = \frac{k^2}{8} t \gamma_e$  1) in wagerechter Richtung in Rechnung gestellt wird;  $\gamma_e$  ist das Gewicht eines  $m^3$  Boden,  $t$  die als wirksam angenommene Tiefe des Widerlagers, die sich in der Regel mit dem Bogenabstand deckt. Eine größere Genauigkeit erscheint bei der Unsicherheit der Erddrucktheorien, zumal für derartig schräge Neigungen der hinteren Mauerwände wie hier, nicht zweckmäßig.

Wenn der Erddruck durch eine Auflast  $p$  um  $E_p$  vergrößert wird, so greift  $E_p$  in  $\frac{k}{2}$  an und ist

$$E_p = \frac{k t}{4} p. \quad 2)$$

Wenn man sicher gehen will, empfiehlt sich für  $E$  bzw.  $E_p$  die Annahme verschieden großer Drücke für die Untersuchung der Außen- und Innenkante derart, daß dadurch die Pressung in beiden Fällen sich etwas erhöht.

Für die Ermittlung des Bausohlquerschnitts ist es wünschenswert, auch für die Lage und Größe der Kräfte  $G$  und  $G_p$ , des Gesamteigengewichts des Wider-

1) Abb. 80 setzt mit der weit vorspringenden Verblendmauer eine Anordnung der Blechbogen nach Abb. 2 voraus.

2) Taschenbuch der Hütte, 20. Auflage. Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin.

lagers einschließlich der Bodenmassen und des Gewichts der Auflast mit der Wirklichkeit möglichst übereinstimmende Annahmen zu machen, die eine bequeme und schnelle Rechnungsweise ermöglichen. Wie später ausgeführt, ist es zweckmäßig, bei der Querschnittsbestimmung von dem wagerechten Abstand  $m$  der Außenkante von Gelenkmitte auszugehen, von der aus die gewissen Bedingungen entsprechende Lage der Innenkante zu ermitteln ist. Es ist daher empfehlenswert, das Gewicht  $G$  aus dem mit einem näher zu bestimmenden mittleren Einheitsgewicht  $\gamma_m$  vervielfachten Körper  $m \cdot k \cdot t$  zu berechnen, so daß

$$G = m \cdot k \cdot t \cdot \gamma_m \quad \text{und} \quad G_p^2 = m \cdot t \cdot p \quad \text{ist.}$$

Bei einer Reihe von Beispielen wurde gefunden, daß bei einem Bodengewicht von  $\gamma_e = 1,6 \text{ t/m}^3$  sich der Wert  $\gamma_m$  für das Gewicht eines  $\text{m}^3$  Mauerwerk von  $1,8 \text{ t}$  zu  $1,7$ , für ein solches von  $2,2$  (Bruchstein) zu  $2,05 \text{ t/m}^3$  herausstellte; dabei lag der Schwerpunkt des Gesamtgewichts ziemlich genau im Abstand  $\frac{m}{2}$  vom Gelenk.

Jedenfalls aber wird es notwendig sein, derartige Annahmen am Ende des Verfahrens auf ihre Zuverlässigkeit zu prüfen bzw. die Rechnung zu berichtigen.

Von dem unbekanntem Sohlquerschnitt ist nur der lotrechte Abstand  $k$  der Außenkante von S.-O. gegeben; es ist danach noch zu ermitteln, wie groß der wagerechte Abstand der Außenkante vom Gelenk, der wagerechte Abstand der Innenkante vom Gelenk und der senkrechte Abstand der Innenkante von S.-O. ist. Für diese drei Unbekannten stehen die im § 29 angegebenen drei Bedingungen zur Verfügung, wodurch die Aufgabe eindeutig lösbar sein muß.

Wählt man zunächst irgend einen passend scheinenden Wert  $m$ , berechnet  $G$  und  $G_p$ , bestimmt aus einem hierzu für geeignet erachteten Sohlquerschnitt die Lage der Drittelpunkte und die Lage der Lastscheiden  $E^a$  und  $E^i$ , greift aus der  $2 \cdot A$ - und  $2 \cdot H$ -Linie die Größen  $A_p^a$  und  $H_p^a$ ,  $A_p^i$  und  $H_p^i$  ab und berechnet die übrigen Werte  $B$  und  $M$ , so erhält man nach Zusammensetzung aller für die Außen- und Innenkante maßgebenden Kräfte, wie am Ende von § 28 angegeben, die Mittelkräfte  $R_{\text{max}}^a$  und  $R_{\text{max}}^i$  (Abb. 80). Setzt man die beiden Kräfte  $R_{\text{max}}^a$  und  $R_{\text{max}}^i$  aneinander und zieht vom Punkt  $a$  zu der gemeinsamen Mittelkraft eine Rechtwinklige, so weist diese Linie die gewünschte Richtung des Sohlquerschnitts auf, denn sie genügt der ersten der drei Bestimmungsbedingungen: die Schubkräfte bei den beiden Grenzbelastungsfällen sind einander gleich.

Um die zweite Bedingung, Gleichheit der Außen- und Innenkantenpressung, zu erfüllen, muß man dem Widerlager eine solche Sohlenbreite  $\varnothing$  geben, daß die für die beiden Kanten maßgebenden Kernpunktmomente einander gleich werden.

Aus Abb. 80 können die Werte, die in Abb. 81 mit  $N^a$ ,  $N^i$ ,  $x$  und  $y$  bezeichnet sind, abgegriffen werden. Für das gesuchte Maß  $\varnothing$  besteht also die Gleichung:

$$N^a \left[ y + \left( \frac{2\varnothing}{3} - x - y \right) \right] = N^i \left[ y + \left( x - \frac{\varnothing}{3} \right) \right].$$

Hieraus

$$\varnothing = \frac{3 [N^i (x + y) + N^a x]}{2 N^a + N^i}.$$

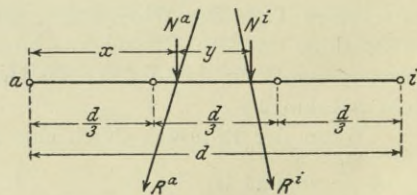


Abb 81.

Bestimmt man aus diesem Wert für  $\varrho$  die Lage des Punkts  $i$ , so ist die zweite Bedingungsgleichung erfüllt: es müssen die Kantenpressungen, berechnet aus

$$\sigma^a = \frac{N^a \cdot \eta^a \cdot \delta}{t \cdot \varrho^2} \quad \text{und} \quad \sigma^i = \frac{N^i \cdot \eta^i \cdot \delta}{t \cdot \varrho^2},$$

einander gleich werden. Sie werden aber im allgemeinen, wenn man noch die hinzutretende Beanspruchung infolge  $\frac{M}{2}$  berücksichtigt, von dem für  $\sigma$  zugelassenen Wert abweichen, also der dritten Bedingungsgleichung nicht entsprechen.

Wiederholt man das ganze Verfahren mit einem anderen Maß  $m$ , so ergibt sich eine andere Richtung und Größe des Sohlquerschnitts und ein anderer Wert für die Kantenpressung. Man wird natürlich zum zweiten Male  $m$  so wählen, daß, wenn man zuerst eine Überschreitung der zulässigen Baugrundbeanspruchung erhalten hat, bei der zweiten Wahl sich voraussichtlich eine Unterschreitung herausstellen wird, und umgekehrt, wenn man nicht gar diese Beanspruchung gerade erreicht. Trägt man nach Abb. 82 die Größe der erhaltenen Beanspruchung jedesmal in den auf einer Wagerechten liegenden Punkten  $a$  maßstäblich auf, so liegen die Endpunkte dieser Spannungsordinaten auf einer Kurve, die nach beiden Seiten

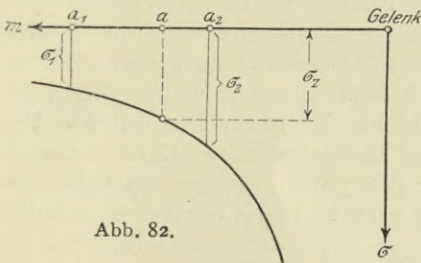


Abb. 82.

ins Unendliche verläuft. Der für  $\sigma$  zulässige Wert gibt dann die Stelle für  $a$  an, bei der die Wiederholung des Verfahrens genau denjenigen Sohlquerschnitt ergibt, der allen drei Bestimmungsbedingungen Genüge leistet.

Bei der Durchführung dieser ganzen Arbeit wird es nicht immer erforderlich sein, bei jeder neuen Wahl von  $m$  auch die Kämpferdrücke von neuem zu be-

rechnen, da die Drittelpunkte für die verschiedenen Werte  $m$  nicht allzuweit voneinander entfernt fallen, die Lastscheiden  $E^a$  bzw.  $E^i$  also ziemlich nahe liegen. Erst am Schluß, wenn die Lage des Sohlquerschnitts feststeht, ist es notwendig, die endgültige Berechnung mit den genauen Werten für  $A_p$ ,  $H_p$ ,  $B$  und  $M$  durchzuführen. Man kann daher aus den Kräften  $E$ ,  $A^a$  und  $H^a$ , sowie aus  $E$ ,  $E_p$ ,  $A^i$  und  $H^i$  von vornherein die Mittelkräfte bilden und durch Vereinigung mit den verschiedenen Werten  $G$  bzw.  $G + G_p$  sehr schnell die zu jedem Maß  $m$  gehörige Beanspruchung  $\sigma$  finden.

### § 32. Gestaltung des übrigen verlorenen Widerlagers.

Wenn Richtung, Lage und Größe der oben und unten das verlorene Widerlager begrenzenden Querschnitte bekannt sind, ist in der Regel die weitere Bestimmung von Zwischenfugen nicht mehr erforderlich. Man kann mit Hilfe der Mittelkräfte für beide Querschnitte  $D_{\max}^o$  und  $R_{\max}^a$  bzw.  $D_{\max}^u$  und  $R_{\max}^i$  ziemlich genau aus freier Hand die Stützkurven für die zwei Belastungsgrenzfälle einzeichnen und danach das Widerlagergewölbe formen. Zur Bestimmung der Fugenrichtung genügt es, den oberen und unteren Querschnitt zu verlängern und den Schnittpunkt  $M$  beider (Abb. 80) als Mittelpunkt für alle übrigen Fugenrichtungen aufzufassen.

Für geringe Spannweiten reicht wohl diese Formgebung des verlorenen Widerlagers hin. Für größere, besonders aber in solchen Fällen, wo der Höhenunterschied zwischen Kämpfergelenk und gutem Baugrund ein erheblicher ist, empfiehlt

es sich jedoch, den Spannungsverhältnissen im Innern des Widerlagers eine erhöhte Aufmerksamkeit zu schenken. Untersucht man nämlich die Kantenpressungen an verschiedenen Stellen, so findet man bei einer Widerlagerform nach Abb. 80, daß die Beanspruchung in der unteren Quaderfuge nach dem Baugrund zu sehr bald abnimmt und in mittlerer Höhe sich ungefähr mit der Baugrundpressung deckt. Dies rührt, abgesehen von der schnell wirksam werdenden Tiefe des ganzen Widerlagers, die im allgemeinen dem Bogenträgerabstand entspricht, davon her, daß die Querschnittstärke vom Auflagerquader zum Baugrund bei dieser Widerlagerform ungefähr gleichmäßig zunimmt. Wenn man sich nun auch durch die Güte des Mörtels und Mauerwerks oder durch die Wahl der Betonmischung den vorhandenen Beanspruchungen etwas anschniegen kann, so bedeutet dies doch eine gewisse Unwirtschaftlichkeit, die bei größeren Verhältnissen schwer ins Gewicht fallen kann.

Im Zentralblatt der Bauverwaltung 1908, S. 65 hat der Verfasser nachgewiesen, daß bei Betonbauten, die von wandernden Mittelkräften beansprucht werden, der wirtschaftlichste Querschnitt nicht etwa in solchen mit möglichst hoher, sondern in solchen mit einer mittleren Beanspruchung gefunden wird, und daß dies umso mehr der Fall ist, je größer der Abstand der Grenzmittelkräfte von einander ist, je kleiner die zu übertragenden Lasten rechtwinklig zur Fuge im Verhältnis zu den Schubkräften in ihr werden, und je niedriger die Gesamtkosten für die Herstellung des Betons sich stellen. Der günstigste Querschnitt ist nach Aufstellung einer Preisgleichung für einen oder mehrere dünne Streifen durch vergleichende Rechnung zu bestimmen. Die Preisgleichung hat die besonderen örtlichen Verhältnisse, die herrschenden Zementpreise und ihre verschiedene Güte zu berücksichtigen und stellt die Kosten  $M$  für 1 cbm Beton von gegebener zulässiger Beanspruchung  $\sigma$ , also von einer Druckfestigkeit nach 28 Tagen von mindestens dem fünffachen Betrage dar in der Form

$$M = \frac{\sigma}{25} + c,$$

wo  $M$  in Mark und  $\sigma$  in  $t$  für 1 qm einzusetzen ist, und wo  $c$  die besonderen Verhältnisse usw. als entsprechender Zuschlag auszudrücken hat. Die Querschnitte sind möglichst so zu wählen, daß die als die günstigste ermittelte Kantenpressung auf größere Längen dieselbe bleibt.

Wenn dies im besonderen für Betonbauten nachgewiesen wurde, so gilt es mehr oder weniger doch auch für alle Bruch- oder Ziegelsteinbauten, da ja im wesentlichen die Art der Mörtelmischung die zulässige Beanspruchung bestimmt. Da der Einfluß auf Betonwiderlager jedoch ein besonders auffälliger ist, soll die Ausbildung eines solchen an Hand der Abb. 83 besprochen werden.

Bei der Quaderfuge empfiehlt es sich ohne Frage, den Beton sehr hoch zu beanspruchen, damit die Quader möglichst klein werden. Denn wenn auch der Preis des Betons unter dem Auflagerstein wächst, so ist einmal nur der unmittelbar darunter befindliche Beton, etwa nur in einer Stärke von 60 bis 80 cm aus der erforderlichen, besonders fetten Mischung zu bilden, da die Pressung bei Zunahme des Querschnitts und bei wirksam werdender Druckverteilungstiefe sehr rasch abnimmt. Außerdem aber ist der Baustoff des Quaders ja ganz erheblich teurer als der des Betons, wobei der Einheitspreis mit zunehmender Größe wegen der wachsenden Schwierigkeit des Beschaffens und Versetzens bei großen Abmessungen noch ständig steigt. Zulässige Beanspruchungen von etwa 30 bis 40 kg sollten daher hier die Regel bilden.



Rechnet man damit, daß von dem Quader aus die Druckverteilung nach beiden Seiten der Bauwerkstiefe hin unter  $45^\circ$  sicher erfolgt, so wird bei dem angenommenen Bogenträgerabstand von 3 m die Gesamttiefe von 3 m rd. 1 m unter der Quaderfuge voll wirksam. Etwa von dieser Fuge ab (Kräfte 2 und 3) wird es zweckmäßig sein, an der näher zu bestimmenden wirtschaftlichen Kantenpressung auf eine größere Strecke des Widerlagergewölbes festzuhalten, und zwar bis zu der Fuge (Kräfte 4 und 5) herunter, von der aus noch die sichere Übertragung der Grenzmittelkräfte auf den Baugrund in möglichst gleichmäßiger Weise vor sich gehen kann. Untersucht man einen dünnen Querschnittstreifen der Fuge 4/5, so kommt man bei Zugrundelegung der Preisgleichung vielleicht auf eine Kantenpressung von 140 bis 150 t/qm als der theoretisch vorteilhaftesten, statt deren eine solche von 130 eingeführt wird. Untersucht man statt Fuge 4/5 eine solche, die näher nach dem Kämpfergelenk zu liegt, so steigt die wirtschaftlichste Höchstbeanspruchung allmählich; aber der Preisunterschied für einen dünnen Streifen in dieser Fuge zwischen der theoretisch vorteilhaftesten und der eingeführten Pressung von 130 t/qm ist gering, so daß es durchaus wirtschaftlich ist, diese Beanspruchung hier etwa bis 1 m unter der Quaderfuge beizubehalten.

Nachdem die theoretische Form der Bausohlfuge (Kräfte 10 und 11) für die als zulässig erachtete Pressung des Baugrundes bestimmt ist, läßt sich die wirtschaftlichste Gestalt des gesamten Widerlagers leicht eintragen. Da die Linie des guten Baugrundes im allgemeinen nicht mit der Neigung der Bausohle übereinstimmen

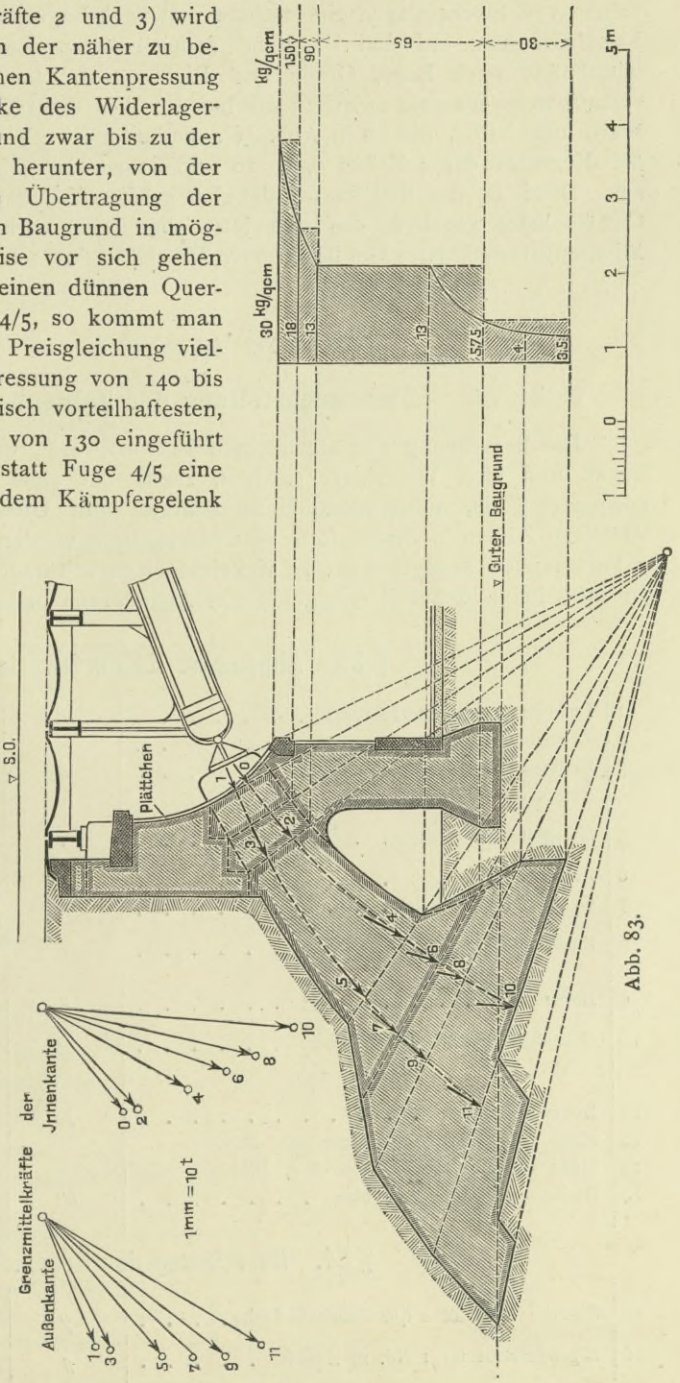


Abb. 83.

wird, so wird man sich etwa nach Abb. 83 an diese Linie durch geeignete Absätze anschließen. Für die Stärke der untersten Betonschicht (bis zur Fuge der Kräfte 8 und 9) und für die Lage der Fuge mit den Kräften 4 und 5 ist die Ausbildung der Innenkante maßgebend derart, daß man möglichst ohne Zuhilfenahme von Eiseneinlagen eine sichere und nach Lage der Mittelkraft gleichmäßige Lastübertragung auf den Baugrund erzielen kann. Zur Bestimmung der Grenzmittelkräfte nach Lage, Größe und Richtung in den übrigen Fugen genügt es vollauf, wenn man sie zwischen die bei den drei untersuchten Fugen gefundenen Werte einschaltet, wie es in Abb. 83 angedeutet ist. Vielleicht reicht auch schon die Kenntnis der 4 Kräfte 0, 1, 10 und 11 zur Einschaltung der Zwischenwerte aus. Damit ist das Bild für die denkbar größten Kantenpressungen für das ganze Gewölbelager gegeben, das sich jetzt ohne weiteres in die Abschnitte gleichen Mischungsverhältnisses von bestimmter Druckfestigkeit nach 28 Tagen einteilen läßt.

### III. Abschnitt.

#### Zusammenstellung der Zahlenwerte.

Die Berechnung der allgemeinen Entwurfswerte, besonders aber der Blechbogen und ihrer Widerlager gewinnt, zumal bei einer größeren Zahl zu untersuchender Fälle, außerordentlich an Klarheit und Übersichtlichkeit, wenn alle wichtigen Zahlen in Spaltenform zusammengestellt werden. Die in den folgenden 3 Paragraphen angegebene wird vielleicht einen erwünschten Anhalt geben, wenn sie auch beim Einzelfall entsprechender Abänderung bedarf.

#### § 33. Allgemeine Entwurfswerte.

|    |   |           |  |
|----|---|-----------|--|
| 1  | Lichtweite der Unterführung . . . . .     | $l'$      |  |
| 2  | Kreuzungswinkel der Bogenträger . . . . . | $\alpha$  |  |
| 3  | Bogenabstand desselben Paares . . . . .   | $b$       |  |
| 4  | Bogenabstand vom Nachbarpaar . . . . .    | $b'$      |  |
| 5  | Gewählte Stützweite . . . . .             | $l$       | $(\geq \frac{l'+2c}{\sin \alpha} + \frac{b+a}{\operatorname{tg} \alpha} (+) 2t)$ |
| 6  | Feldweite . . . . .                       | $\lambda$ | } $n\lambda \geq l + 1,4$<br>} $(n-2) \cdot \lambda \leq l - 0,5$                |
| 7  | Gesamtfelderzahl . . . . .                | $n$       |  |
| 8  | Zurückspringen der Querträger . . . . .   | $e$       | $(\mp (b+b') \cdot \operatorname{ctg} \alpha \pm n'\lambda) (\frac{1}{2})$       |
| 9  | Bogenpfeil . . . . .                      | $f$       | $\frac{l}{8}$ bis $\frac{l}{10}$   |
| 10 | Geschätzte größte Trägerhöhe . . . . .    | $h'$      | $\sim 0,03 l$<br>$= \frac{(\frac{l}{2})^2 + f^2}{2f}$                            |
| 11 | Bogenhalbmesser . . . . .                 | $R$       |  |
| 12 | Höhe von Schienenoberkante über N.N.      |           |  |
| 13 | Höhe von Straßenoberkante über N.N.       |           |  |
| 14 | Breite der Fußsteigkonsolen . . . . .     | $b''$     |  |

#### § 34. Berechnung der Bogen.

|    |  |          |                               |
|----|--|----------|-------------------------------|
| 15 | Eigengewicht für 1 qm Fahrbahnfläche . . . . . | $\gamma$ | $(1000 + 12 l)$ kg            |
| 16 | Eigengewicht für 1 lfd. m Bogen . . . . .      | $g$      | $\gamma \cdot \frac{b+b'}{2}$ |

|    |   |                      |   |
|----|---|----------------------|---|
| 17 | Größter Anteil am Achsdruck . . . . .                 | $C$                  |   |
| 18 | Maßgebende Stellung dafür.                            |                      |   |
| 19 | Lasten zur Berechnung vom Winddruck . . . . .         | $\Sigma P$           |   |
| 20 | Winddruck . . . . .                                   | $W$                  |   |
| 21 | Fliehkraft . . . . .                                  | $F$                  | $\frac{\Sigma P \cdot v^2}{9,8 \cdot R}$                          |
| 22 | Erhöhter Anteil am Achsdruck . . . . .                | $C'$                 | $\frac{C \cdot \Sigma P + \frac{2}{b} (W + F)}{C \cdot \Sigma P}$ |
| 23 | Horizontalschub infolge Wärmeänderung . . . . .       | $H_t$                | $1,6 \frac{J}{f^2}$   |
| 24 | Bremskraft . . . . .                                  | $B$                  | $\frac{1}{7} \Sigma P$  |
| 25 | Senkrechter Kämpferdruck infolge Bremskraft . . . . . | $B \frac{f}{l}$      |   |
| 26 | Geschätzte Bogenstehblechhöhe . . . . .               | $h_0$                | $\frac{l}{4^0}$   |
| 27 | Kernpunktabstand . . . . .                            | $x$                  | $\frac{5}{12} h_0$  |
| 28 | Halbmesser der oberen Kernpunkte . . . . .            | $R^o$                | $R + x$   |
| 29 | Halbmesser der unteren Kernpunkte . . . . .           | $R^u$                | $R - x$   |
| 30 | Koeffizient . . . . .                                 | $\nu$                | $\frac{1}{1 + \frac{h_0^2}{2f^2}}$                                |
| 31 | Pfeil der Parabel für den Horizontalschub . . . . .   | $z$                  | $\frac{3l}{16f} \cdot \nu$  |
| 32 | Abstand der Kämpferdrucklinie vom Kämpfer . . . . .   | $\eta$               | $\frac{4f}{3\nu}$   |
| 33 | Horizontalschub infolge Eigengewicht I . . . . .      | $H_g$                | $\frac{2}{3} z \cdot l$   |
| 34 | Zulässige Bogenbeanspruchung . . . . .                | $\sigma^z$           |   |
| 35 | des Bogenquerschnitts                                 | Stehblech . . . . .  | $h_0 \cdot \delta$  |
| 36 |   | Winkelleisen.        |   |
| 37 |   | 1. Gurtplatte.       |   |
| 38 |   | 2. Gurtplatte.       |   |
| 39 |   | 3. Gurtplatte.       |   |
| 40 |   | Gesamthöhe . . . . . | $h_3$   |
| 41 | Nietdurchmesser . . . . .                             | $\varnothing$        |   |
| 42 | Zulässige Nietkraft . . . . .                         | $\sigma_n^z$         |   |
| 43 | Zulässige Nietbeanspruchung . . . . .                 | $N$                  | $2 \sigma_n^z \cdot \delta \cdot \delta$                          |

|    |                                     |                              |   |                 |                                |
|----|-------------------------------------|------------------------------|---|-----------------|--------------------------------|
| 44 | Ebenso für die anderen Querschnitte | I Gurtplatte auf jeder Seite | Trägerhöhe . . . . .  | $h_1$           |                                |
| 45 |                                     |                              | Trägheitsmoment . . . . .   | $J_1$           |                                |
| 46 |                                     |                              | Widerstandsmoment . . . . .   | $W_1$           |                                |
| 47 |                                     |                              | Querschnitt . . . . .   | $F_1$           | $\frac{W_1}{F_1}$              |
| 48 |                                     |                              | Kernabstand . . . . .   | $x_1$           |                                |
| 49 |                                     |                              | Trägheitsmoment ohne Stehblech . . . . .                            | $(J_1)$         |                                |
| 50 |                                     |                              | Statisches Moment einer Gurtung                                     | $\mathcal{E}_1$ |                                |
| 51 |                                     |                              | Zulässiges Angriffsmoment beim vollen Querschnitt . . . . .         | $M_1^z$         | $W_1 \cdot \sigma^z$           |
| 52 |                                     |                              | Zulässiges Angriffsmoment beim Querschnitt ohne Stehblech . . . . . | $(M_1^z)$       | $\frac{(J_1)}{h_1} 2 \sigma^z$ |

|    |   |   |  |  |
|----|---|---|--|--|
| 53 | Wagerechter Abstand der Bogenstützen . . . . .                    | $x$   | 1)   |  |
| 54 | Ordinate des oberen Kreuzpunktes . . . . .                        | $y^o$   | $\sqrt{R^2 - \left(\frac{l}{2} - x\right)^2} - (R - f)$ beim Kreisbogen<br>$\frac{x \cdot (l - x)}{2}$ |  |
| 55 | Kernpunktmoment infolge Gewichts I                                | vom einfachen Balken . . . . .                      | $M_{0g}$   |  |
| 56 |   | vom Bogen . . . . .                                 | $M_g$  |  |
| 57 | Negatives Moment  | Parabelabschnitt . . . . .                          | $u$  |  |
| 58 |   | Pfeil des Parabelabschnitts . . . . .               | $z'$   |  |
| 59 |   | Ideelle Last in Abschnittsmittle . . . . .          | $P_i$  |  |
| 60 | Kernpunktmoment infolge vollen Achsdrucks . . . . .               | $\bar{M}_p^o$                                       | $P_i \cdot z$  |  |
| 61 | Positives Moment  | Abstand der Lastscheide $E$ . . . . .               | $\xi$  |  |
| 62 |   | Laststellung.                                       |  |  |
| 63 |   | Summe aller äußeren Lasten . . . . .                | $\mathfrak{P}_n$   |  |
| 64 |   | Kämpferabstand von $\mathfrak{P}_n$ . . . . .       | $a'$   |  |
| 65 |   | Trägheitsmoment der Lasten . . . . .                | $\mathfrak{I}_n$   |  |
| 66 |   | Statisches Moment der Lasten bis $P_r$              | $\mathfrak{S}_r$   |  |
| 67 |   | Kernpunktmoment infolge vollen Achsdrucks . . . . . | $\bar{M}_p^o$  | $\frac{y^o}{\eta \cdot l} [\mathfrak{P}_n \cdot a' \cdot (\xi + a') + \mathfrak{I}_n]$ $- \mathfrak{S}_r$  |
| 68 |   | $\frac{\eta \cdot l}{y^o (\xi + 2 a')}$             |  |  |
| 69 |   | Verschiebung nach rechts $\Rightarrow$              | $\frac{\mathfrak{P}_n}{\mathfrak{P}_r}$  | $< \frac{\eta \cdot l}{y^o \cdot (\xi + 2 a')}$  |
| 70 |   | Verschiebung nach links $\Leftarrow$                | $\frac{\mathfrak{P}_n}{\mathfrak{P}_{r-1}}$  | $> \frac{\eta \cdot l}{y^o \cdot (\xi + 2 a')}$  |
| 71 | Oberes Kernpunktmoment infolge                                    | Eigengewichts . . . . .                             | $g \cdot M_g^o$  |  |
| 72 |   | Verkehrslast positiv . . . . .                      | $C' \cdot \bar{M}_p^o$   |  |
| 73 |   | Verkehrslast negativ . . . . .                      | $C' \cdot \bar{M}_p^o$   |  |
| 74 |   | Wärmeänderung . . . . .                             | $\pm M_t^o$  |  |
| 75 |   | Bremskraft . . . . .                                | $\pm M_b^o$  |  |
| 76 |   | größter positiver Belastung . . . . .               | $\max \bar{M}^o$   | $B \frac{f}{l} \cdot x - \frac{B}{2} \cdot y^o$ $\left\{ \begin{array}{l} g \cdot M_g^o \pm C' \cdot \bar{M}_p^o \pm M_t^o \\ \pm M_b^o \end{array} \right.$ |
| 77 | größter negativer Belastung . . . . .                             | $\max \bar{M}^o$                                    |  |  |
| 78 | Widerstandsmoment . . . . .                                       | $W^u$   |  |  |
| 79 | Größte Beanspruchung der äußersten unteren Faser . . . . .        | $\bar{\sigma}^u$                                    | $\frac{\max \bar{M}^o}{W^u}$   |  |
| 80 |   | $\sigma^u$  | $\frac{\max \bar{M}^o}{W^u}$   |  |
| 81 | Nummer des Feldes . . . . .                                       |   | 2)   |  |
| 82 | Winkelfunktionen der Neigung des Feldes zur Wagerechten . . . . . | $\sin \varphi$                                      | $\frac{x_m - x_{m-1}}{y_m - y_{m-1}}$  |  |
| 83 |   | $\cotg \varphi$                                     |  |  |
| 84 | Querkraft infolge Gewichts I                                      | vom einfachen Balken . . . . .                      | $Q_{0g}$   |  |
| 85 |   | vom Bogen . . . . .                                 | $Q_g$  |  |

1) Je 1 Spalte für jede Bogenstütze von lfd. Nr. 53 bis 80, desgl. für die unteren Kernpunkte.  
 2) Je 1 Spalte für jedes Feld von lfd. Nr. 81 bis 105.

|     |   |   |   |  |
|-----|---|---|---|--|
| 86  | Negative<br>Quer-<br>kraft <sup>1)</sup>        | Laststellung.                                 |   |  |
| 87  |   | Pfeil des Parabelabschnitts . . . . .         | $z'$  |  |
| 88  |   | Ideelle Last in Abschnittsmitte . . . . .     | $P_i$   |  |
| 89  |   | Querkraft infolge vollen Achsdrucks           | $Q_p$   | $P_i \cdot z'$   |
| 90  | (Negative)<br>und<br>positive<br>Quer-<br>kraft | Laststellung.                                 |   |  |
| 91  |   | Summe aller äußeren Lasten . . . . .          | $\mathfrak{P}_n$                                    |  |
| 92  |   | Kämpferabstand von $\mathfrak{P}_n$ . . . . . | $a^{l(r)}$  |  |
| 93  |   | Trägheitsmoment der Lasten . . . . .          | $\mathfrak{I}_n$                                    |  |
| 94  |   | Senkrechter Kämpferdruck . . . . .            | $A_o^{l(r)}$  | $\mathfrak{P}_n \cdot \frac{ar^{(l)}}{l}$  |
| 95  |   | Horizontalschub . . . . .                     | $H$   | $\frac{1}{\eta l} (\mathfrak{P}_n \cdot a^{l(r)} \cdot ar - \mathfrak{I}_n)$                                 |
| 96  | Querkraft infolge vollen Achsdrucks             | $\begin{matrix} (-) \\ Q_p \end{matrix}$      | $(A_o^{l(r)} \cdot \cotg \varphi - H) \sin \varphi$ |  |
| 97  | Quer-<br>kraft<br>infolge                       | Eigengewichts . . . . .                       | $g \cdot Q_g$                                       |  |
| 98  |   | Verkehrslast positiv . . . . .                | $C' \cdot \overline{Q_p}$                           |  |
| 99  |   | Verkehrslast negativ . . . . .                | $C' \cdot \overline{Q_p}$                           |  |
| 100 |   | Wärmeänderung . . . . .                       | $\pm Q_t$   | $\frac{H_t \cdot \sin \varphi}{\left( B \frac{f}{l} \cotg \varphi - \frac{B}{2} \right) \sin \varphi}$       |
| 101 |   | Bremskraft . . . . .                          | $\pm Q_b$   |  |
| 102 |   | größter positiver Belastung . . . . .         | $\max \overline{Q}$                                 | $\left. \begin{matrix} + \\ - \end{matrix} \right\} g \cdot Q_g \pm C' \cdot \overline{Q_p} \pm Q_t \pm Q_b$ |
| 103 | größter negativer Belastung . . . . .           | $\max \overline{Q}$                           |   |  |
| 104 | $\frac{J}{\mathfrak{E}}$                        |   |   |  |
| 105 | Größter zulässiger Nietabstand . . . . .        | $e$   | $\frac{N}{Q} \cdot \frac{J}{\mathfrak{E}}$          |  |

### § 35. Berechnung der Widerlager.<sup>2)</sup>

|     |   |   |               |  |
|-----|---|---|---------------|--|
| 106 | Senkrechter   | Abstand der Außenkante $a$ vom<br>Kämpfergelenk . . . . . | $k$           |  |
| 107 | Wagerechter   |   | $m$           |  |
| 108 | Tiefe des Widerlagers . . . . .                                 |   | $t$           | $\sim b$                               |
| 109 | Breite . . . . .  | des Sohlquerschnitts . . . . .                            | $\delta$      | $\frac{t \cdot \delta^2}{6}$           |
| 110 | Widerstandsmoment . . . . .                                     |   | $W$           |  |
| 111 | Neigungswinkel . . . . .  |   | $\varphi$     |  |
| 112 | Kürzester Abstand des Kämpfergelenks von der<br>Sohle . . . . . |   | $h'$          |  |
| 113 | Mittleres Einheitswiderlagergewicht . . . . .                   |   | $\gamma_m$    |  |
| 114 | Gewicht des Widerlagers . . . . .                               |   | $G$           | $m \cdot k \cdot t \cdot \gamma_m$     |
| 115 | Gewicht der Auflast für 1 qm. . . . .                           |   | $p$           |  |
| 116 | Gewicht der Widerlagerauflast . . . . .                         |   | $G_p$         | $m \cdot t \cdot p$                    |
| 117 | Einheitsgewicht des Bodens . . . . .                            |   | $\gamma_e$    |  |
| 118 | Erddruck . . . . .  |   | $E$           | $\frac{k^2 \cdot t \cdot \gamma_e}{8}$ |
| 119 | Erddruck infolge Auflast . . . . .                              |   | $E_p$         | $\frac{k \cdot t \cdot p}{4}$          |
| 120 | Senkrechter   | Kämpferdruck infolge Eigen-<br>gewichts . . . . .         | $g \cdot A_g$ | $g \cdot \frac{l}{2}$                  |
| 121 | Wagerechter   |   | $g \cdot H_g$ | $g \cdot \frac{2}{3} z \cdot l$        |
| 122 | Bogenschub infolge Wärmeänderung . . . . .                      |   | $H_t$         |  |
| 123 | Zulässige Baugrundbeanspruchung . . . . .                       |   | $\sigma_b$    |  |

1) Nur zutreffend für die ersten Felder, für die folgenden lfd. Nr. 90 bis 96.

2) Als Beispiel ist die Berechnung der Baugrundbeanspruchung gewählt

|     |   |  |                              |   |   |
|-----|---|--|------------------------------|---|---|
| 124 | Außenkante $a$                                | Abstand der Lastscheide $E^a$ vom Gelenk                             | $i^a$                        |   |   |
| 125 |   | Länge des Parabelabschnitts . . . . .                                | $l - i^a$                    |   |   |
| 126 |   | Abstand der ersten Achse von Mitte Parabelabschnitt . . . . .        | $e_1'$                       |   |   |
| 127 |   | Abstand der ersten Achse von dem Kämpfergelenk . . . . .             | $\xi^a$                      | $\frac{l + i^a}{2} - e_1'$  |   |
| 128 |   | Senkrechter Kämpferdruck infolge Achsdrucks . . . . .                | $A_p^a$                      |   |   |
| 129 |   | Wagerechter Kämpferdruck infolge Achsdrucks . . . . .                | $H_p^a$                      |   |   |
| 130 |   | Bremskraft . . . . .   | $B^a$                        | $\frac{1}{7} \Sigma P^a$  |   |
| 131 |   | Senkrechter Kämpferdruck infolge Bremskraft . . . . .                | $B^a \frac{f}{l}$            |   |   |
| 132 |   | Mittelkraft der wagerechten Kräfte, rechtwinklig zum Bogen . . . . . | $M^a$                        | $W^a + F^a + S$   |   |
| 133 |   | Senkrechter Kämpferdruck infolge dieser Mittelkraft . . . . .        | $M^a \frac{h}{b}$            |   |   |
| 134 |   | Senkrechter  | Gesamtkämpferdruck . . . . . | $A^a$   | $g \cdot A_g + C' \cdot A_p^a \left( + B^a \cdot \frac{f}{l} \right) - M^a \frac{h}{b}$ |
| 135 |   | Wagerechter  |                              |   |   |
| 136 | Gesamtmittelkraft, rechtwinklig zur Sohle .   | $N_{\max}^a$   |                              |   |   |
| 137 | Abstand des inneren Drittels von $N_{\max}^a$ | $\eta^a$   |                              |   |   |
| 138 | Höchstbeanspruchung der Außenkante .          | $\sigma^a$   |                              | $\frac{N_{\max}^a \cdot \eta^a}{W} + \frac{3 M \cdot h'}{\delta \cdot t^2}$ |   |

|     |   |  |   |   |  |
|-----|---|--|---|---|--|
| 139 | Innenkante $i$                                | Abstand der Lastscheide $E^i$ vom Gelenk                             | $i^i$                                     |   |  |
| 140 |   | Zahl der Verkehrslasten . . . . .                                    | $\xi^i$                                   | $\frac{l - (n - 2) \lambda}{2} + n' \cdot 1,5$                        |  |
| 141 |   | Abstand der ersten Achse vom Gelenk .                                | $A_p^i$                                   |   |  |
| 142 |   | Senkrechter  | Kämpferdruck infolge Achsdrucks . . . . . | $H_p^i$   | $\frac{1}{7} \Sigma P$   |
| 143 |   | Wagerechter  |   |   |  |
| 144 |   | Bremskraft . . . . .   | $B^i$                                     |   |  |
| 145 |   | Senkrechter Kämpferdruck infolge Bremskraft . . . . .                | $B^i \frac{f}{l}$                         |   |  |
| 146 |   | Mittelkraft der wagerechten Kräfte, rechtwinklig zum Bogen . . . . . | $M^i$                                     | $W^i + F^i + S$   |  |
| 147 |   | Senkrechter Kämpferdruck infolge dieser Mittelkraft . . . . .        | $M^i \frac{h}{b}$                         |   |  |
| 148 |   | Senkrechter  | Gesamtkämpferdruck . . . . .              | $A^i$   | $g \cdot A_g + C' \cdot A_p^i - B^i \frac{f}{l} - M^i \frac{h}{b}$ |
| 149 |   | Wagerechter  |   |   |  |
| 150 |   | Gesamtmittelkraft, rechtwinklig zur Sohle .                          | $N_{\max}^i$                              |   |  |
| 151 | Abstand des äußeren Drittels von $N_{\max}^i$ | $\eta^i$   |   |   |  |
| 152 | Höchstbeanspruchung der Innenkante . .        | $\sigma^i$   |   | $\frac{N_{\max}^i \cdot \eta^i}{W} + \frac{3 M h'}{\delta \cdot t^2}$ |  |

2-22

S-96





Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000297314