

Fig. 5.

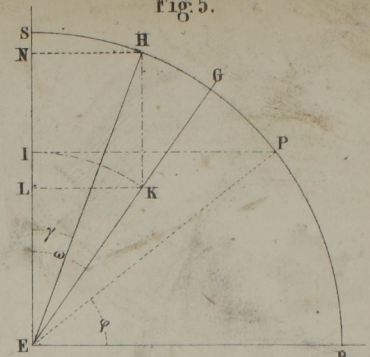


Fig. 6.

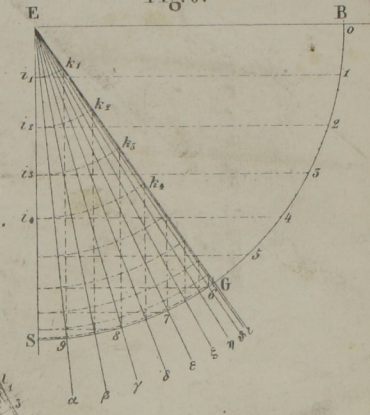


Fig. 1.

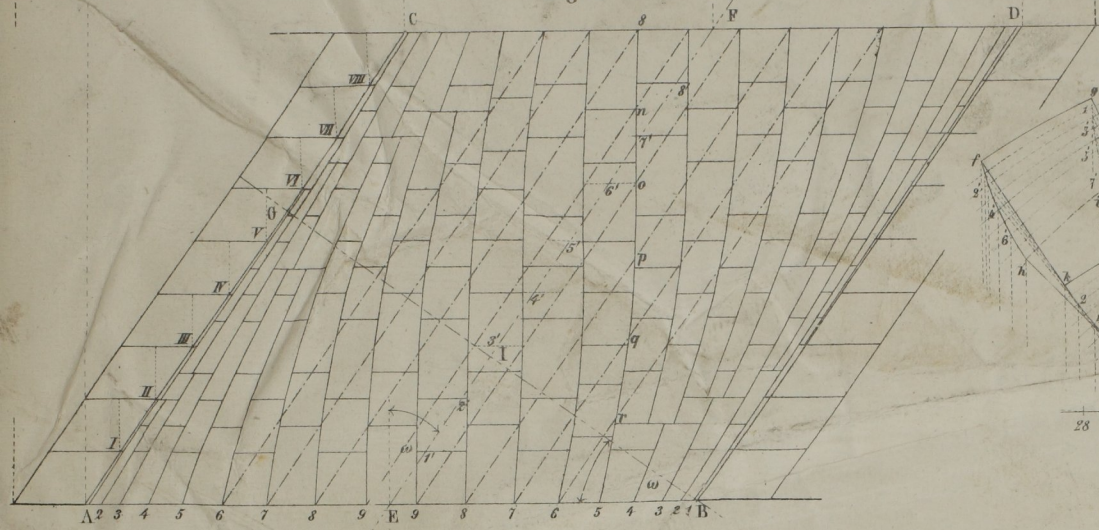


Fig. 7.

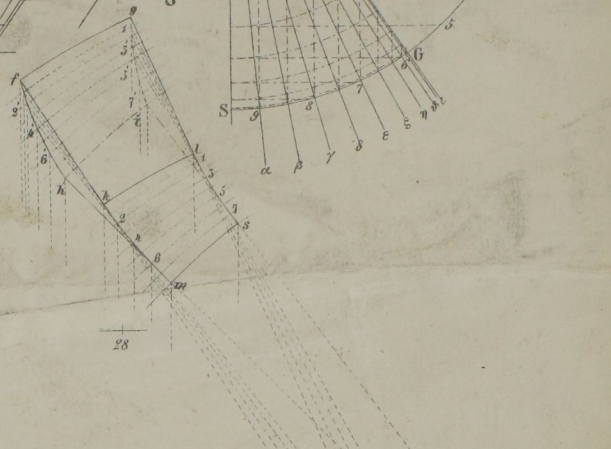


Fig. 3.



Fig. 8.

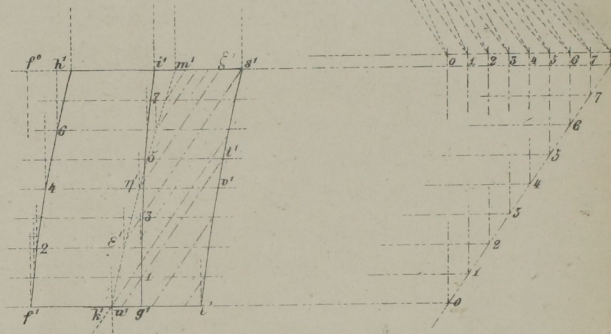


Fig. 4.

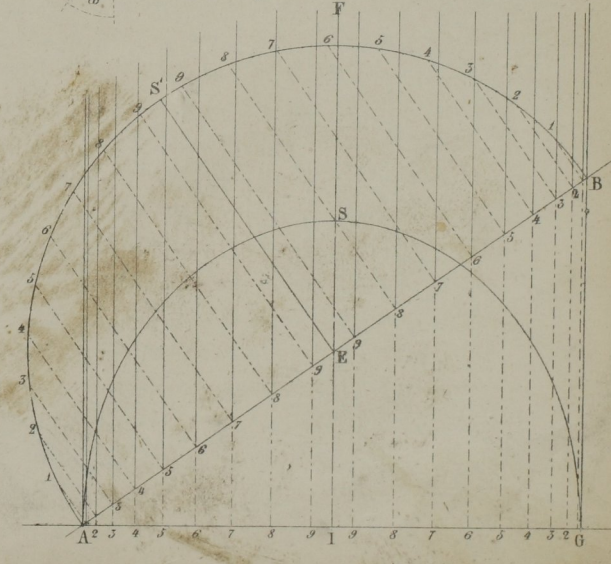




Fig. 10.

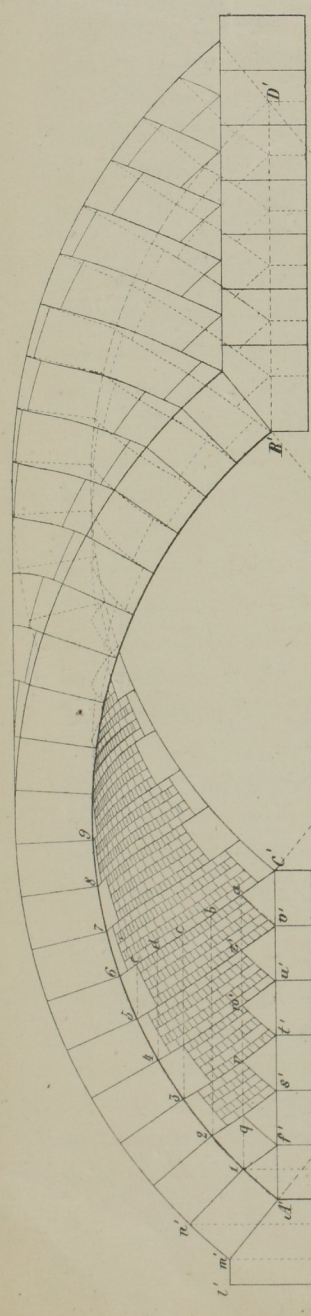


Fig. 15.

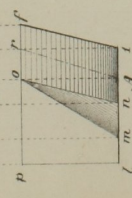


Fig. 11.

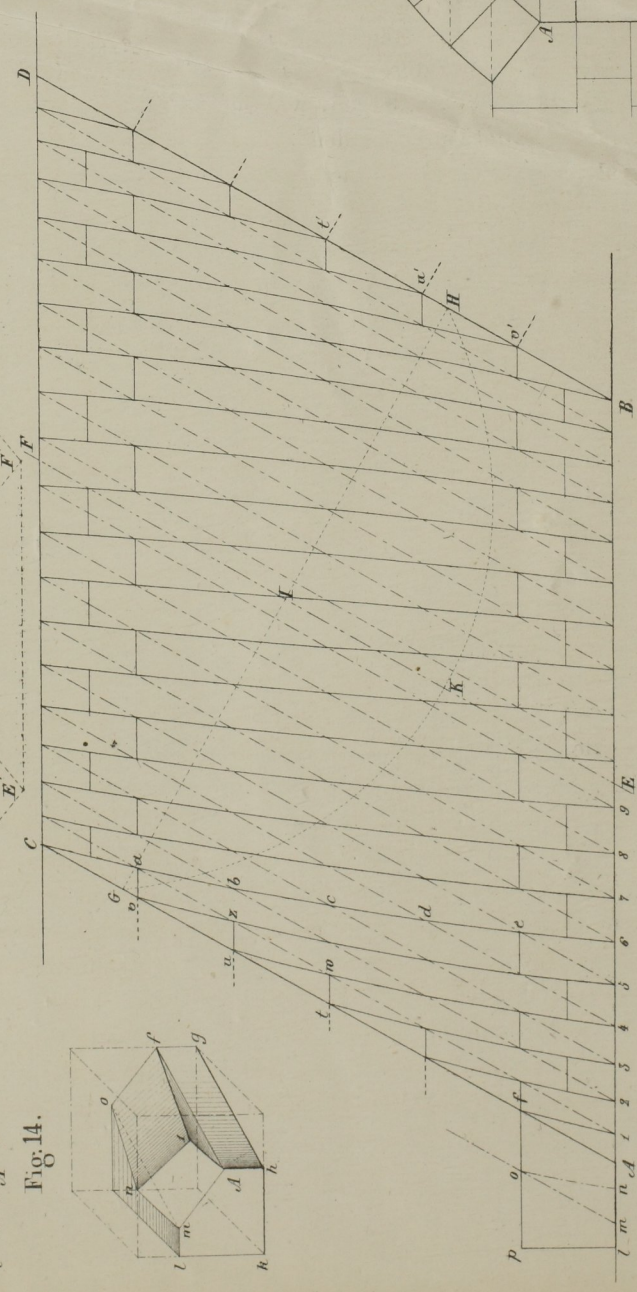


Fig. 14.

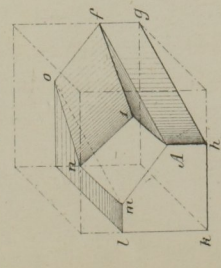


Fig. 12.

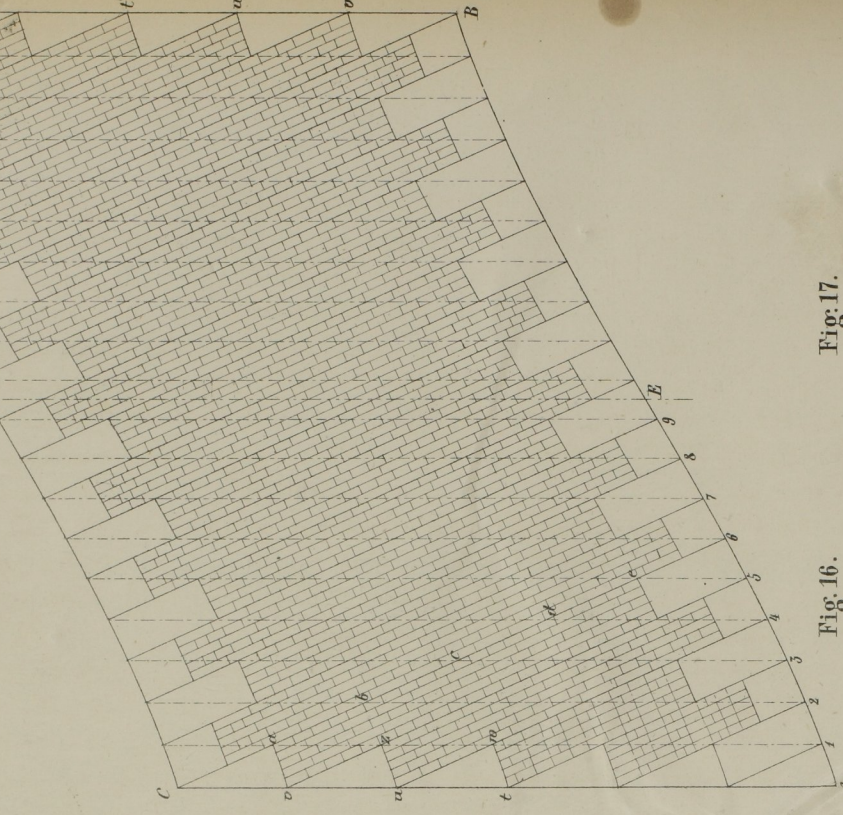


Fig. 16.

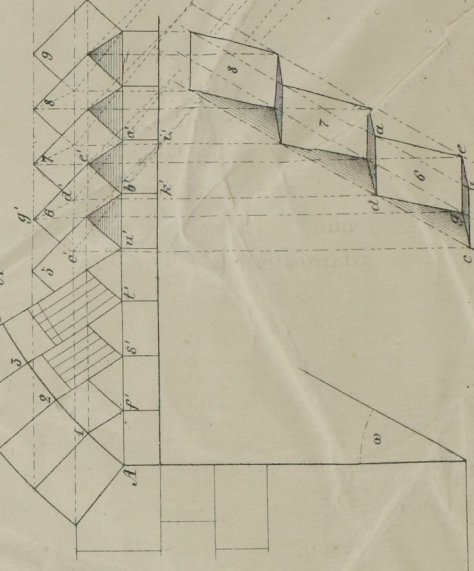


Fig. 17.

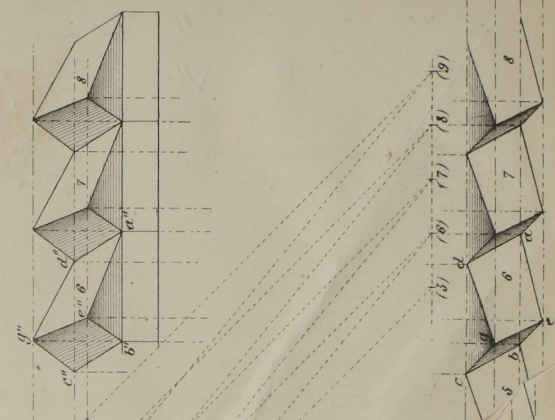


Fig. 15.

Fig. 18.

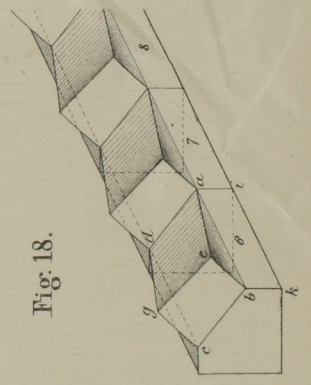
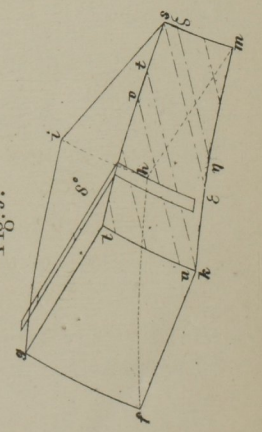


Fig. 9.





gleiche Dicke der einzelnen Steine herbeigeführt würde, unterbricht man die Lagerfugen in der Weise, dass man sie von den in gleiche Theile getheilten Stirnbögen auslaufen und da endigen lässt, wo sie einander so nahe kommen, dass die dazwischen liegenden Steine die zulässige kleinste Dicke erreicht haben.

Man überzeugt sich leicht, dass der Steinschnitt eines derartigen Tonnengewölbes durch die Horizontal- und Verticalprojection vollständig bestimmt ist; da man aber zur Bezielung einer zweckmässigen Theilung des Gewölbes in entsprechend grosse Steine allgemein die Abwicklung der Leibungsfläche mit Vortheil in der Art benützt, dass man in derselben die Stoss- und Lagerfugen zunächst feststellt und sodann erst auf ihre Projectionen in der horizontalen und verticalen Tafel zurückgeht, so zeigen wir das hiebei einzuschlagende Verfahren an dem auf Blatt C durch Fig. 1—6 dargestellten Beispiel.

In Fig. 1 und 2 seien die Umrisse eines halbkreisförmigen schiefen Gewölbes in der Horizontal- und Verticalprojection und die Theilung des Stirnwölbogens AB in eine ungerade, nach der Grösse der zur Verfügung stehenden Steine zu wählenden Anzahl Theile 01, 12, 23 u. s. w. festgesetzt und sodann die in Fig. 3 gezeichnete Abwicklung der Leibungsfläche mit Hilfe des durch Fig. 4 angedeuteten Verfahrens dargestellt. Die Stossfugen, welche im Raume der Stirnwölblinie parallel sind, werden in der Abwicklung ebenso der abgewickelten Wölblinie parallel und sind, da letztere durch  $A^0B$  gegeben, sofort zu zeichnen. Um die Lagerfugen direct in der Abwicklung angeben zu können, benützt man am besten eine Lehre, welche die Form  $A^0EIK A^0$  oder  $A^0E'H'K'A'$  (Fig. 3) hat und auf den Kämpferlinien AC und BD in entgegengesetzten aber parallelen Lagen verschoben wird, bis die Curve EI oder  $E'H'$  an die Stelle des Stirnbogens gelangt, von welcher die gesuchte Lagerfuge ausgeht. So erhält man z. B. die achte Lagerfuge, wenn die Lehre in der einen Hälfte die Lage  $A^0E'H'K'$  und in der anderen die Lage  $A^0E'I'K''$  hat; und es wird die Scheitelfuge  $LE^0M$  gefunden, wenn die Lehre das eine Mal nach  $E^0I^0$  und das andere Mal nach  $E^0P$  gerichtet ist.

Zur Anfertigung der genannten Lehre hat man den abgewickelten halben Stirnbogen  $A^0E$  und die Coordinaten der Curve EI nöthig. Die letzteren ergeben sich aus der Gleichung

$$\log x = \log \left( \frac{r L 10}{\sin \omega} \right) + \log \left( \log \cotg \frac{1}{2} \varphi \right),$$

in welcher

- x die vom abgewickelten Stirnbogen aus gezählten und mit  $A^0K$  parallelen Abscissen,
- $\varphi$  die Länge des Stirnbogens in Graden von der Kämpferlinie bis zu der Stelle, wofür man die Abscisse sucht,
- $\omega$  den Schrägungswinkel, welchen die Stirnebene mit der senkrechten Querschnittsfläche des Gewölbes bildet (Fig. 1),

r den Halbmesser des unentwickelten Stirnbogens, und L den natürlichen Logarithmus bezeichnet.

Man kann sich aber auch, wiewohl weniger genau, die Curve EI durch Zeichnung verschaffen. Es wird nämlich, wie aus der Natur der V.-Pr. der Lagerfugen folgt, von letzteren jedes Cylinderelement unter einem und demselben Winkel, den man Fugenwinkel nennen kann, geschnitten. Bezeichnet  $\gamma$  diesen Winkel für einen Punkt des halbkreisförmigen Stirnbogens, welcher um den Winkel  $\varphi$  von der wagrechten Kämpferlinie absteht, und hat  $\omega$  seine frühere Bedeutung, so findet nach einer einfachen geometrischen Betrachtung zwischen den Grössen  $\gamma$ ,  $\varphi$ ,  $\omega$  die Beziehung statt:  $\sin \gamma = \sin \omega \sin \varphi$ , und dieser Ausdruck lässt sich leicht durch Zeichnung darstellen.

Gesetzt, man wolle für den Punkt P des Stirnbogens SGB (Fig. 5), welcher um den Winkel  $\varphi$  von der Kämpferlinie absteht, den Fugenwinkel  $\gamma$  finden, so trage man in dem Viertelkreis ESB an die Schenkellinie ES den Winkel  $\omega = SEG$  an, ziehe PI parallel zu EB, mache  $EK = EI$ , ziehe  $KH \parallel ES$  und verbinde H mit E, so ist  $HES = \gamma$ . Denn es ist  $EI = EK = r \cdot \sin \varphi$  und  $LK = NH = r \cdot \sin \varphi \sin \omega$ ; ferner  $\sin HES = NH : EH = \sin \varphi \sin \omega$  und auch  $\sin \gamma = \sin \varphi \sin \omega$ , folglich  $HES = \gamma$ , w. z. b. w. Da nun P jeden Punkt des Stirnbogens vorstellen kann, so gibt folglich dieses Verfahren den Fugenwinkel für jede beliebige Stelle, wie auch Fig. 6 für die Theilpunkte 1, 2, 3, . . . 9 des Bogens SGB, denen die Winkel  $SE\alpha, \beta, \gamma, \dots, \iota$  angehören, zeigt.

Nach diesem Ergebniss sind in Fig. 3 die Fugenwinkel an die zugehörigen Cylinderelemente 1, 2, 3 . . . 9 angetragen, und es wird somit nach dem Begriffe dieser Winkel z. B. das Element 5 von allen Lagerfugen in einer Richtung geschnitten, welche dem Schenkel  $5\epsilon$  parallel ist, das Element 7 nach Richtungen parallel zu  $7\eta$ , u. s. w. Hat man nun die Fugenwinkel für sehr viele Cylinderelemente bestimmt, so kann man ihre Schenkel so an einander reihen, wie die Linie  $Eabc \dots I$  zeigt, in welcher  $Ea \parallel 9\iota$ ,  $ab \parallel 8\vartheta$ ,  $bc \parallel 7\eta$  ist u. s. w. Diese gebrochene Linie wird die abgewickelte Lagerfuge um so genauer darstellen, je weniger die Elemente von einander entfernt sind. Es bedarf wohl kaum der Erinnerung, dass der Fugenwinkel im Scheitel des Gewölbes dem Schrägungswinkel, jener an der Kämpferlinie aber in dem vorliegenden Falle der Null gleich ist, und dass somit bei einem halbcylindrischen Gewölbe sehr bedeutende Unterschiede in der Grösse dieser Winkel stattfinden können. Sind die Stoss- und Lagerfugen in der Abwicklung unter Berücksichtigung der an das Gewölbe gestellten Anforderungen und damit die Leibungsflächen der einzelnen Gewölbsteine bestimmt, so hat es durchaus keine Schwierigkeit, auf die Horizontal- und Verticalprojectionen derselben überzugehen.

Was die Eintragung der Stossfugen in beiden Tafeln anlangt, so glauben wir einfach auf die hieher gehörigen Figuren verweisen zu dürfen. Die Projectionen der Lager-



fugen in der Nähe des Gewölbscheitels wird man von der Abwicklung aus in der horizontalen Tafel dadurch erhalten, dass man z. B. für Fuge 5 p 8 die Schnittpuncte o, p, q, r der Cylindererzeugenden 9, 8, 7, 6 mit den Lagerfugen durch Abnehmen der Längen 9 o, 8 p, 7 q, 6 r, welche unverkürzt in der horizontalen Tafel erscheinen, in dieser Tafel aufsucht und durch Verbindung dieser Schnittpuncte die Projection der Fuge bestimmt, sodann aber die V.-Pr. der Fuge dadurch findet, dass man in der verticalen Tafel entweder zunächst die Projection der betreffenden horizontalen Cylindererzeugenden oder einer genügend grossen Anzahl von Theilkreisen aufsucht und sodann in bekannter Weise die zweiten Risse der die Lagerfuge in der zweiten Tafel bestimmenden Punkte zeichnet.

In der Nähe des Kämpfers wird man von der Abwicklung aus zuerst die Verticalprojectionen einer genügenden Anzahl von Punkten, durch welche die Projection der Lagerfugen gezeichnet werden kann, dadurch zu erhalten suchen, dass man auf den vorher eingetragenen Theilkreisen I, II, III u. s. w. die Bogenlängen abträgt, welche den Abstand der einzelnen Punkte von der Kämpferlinie angeben. Um z. B. den Punct z (Fig. 3) in der verticalen Tafel aufzufinden, verzeichnet man aus dem Mittelpuncte 2'' den Theilkreis II und trägt auf diesen die Länge II z auf, um in z' einen Punct der Verticalprojection der Lagerfuge 3 z zu erhalten. Aus der verticalen Tafel erhält man aber die Horizontalprojection der Lagerfuge wieder in der einen oder der anderen der oben angedeuteten Weisen, die beim Uebergange von der horizontalen in die verticale Tafel verwendbar sind. Hat man die ersten und zweiten Risse der Lager- und Stossfugen auf der Leibung angetragen, so lassen sich bei cylindrischer Abgrenzung der Rückenfläche die Stossfugen auf derselben und ebenso ihre Risse sofort auffinden. Um die Lagerfugen auf der Rückenfläche und beziehungsweise ihre Risse zu erhalten, hat man das Verfahren einzuschlagen, welches wir an einem in grösserem Maassstabe herausgetragenen Steine zeigen.

In den Figuren 7 und 8, welche die Projectionen irgend eines Steines fgms vergrössert darstellen, sind die beiden Lagerflächen mit fkmh und glsi bezeichnet. Man findet sie, wenn man die Leibungsfläche zwischen den Stossfugen kl und ms durch mehrere den Stirnflächen parallele Ebenen 1, 2, 3, 4 . . . 7 schneidet und in diesen Ebenen die Erzeugenden 11', 22', 33' . . . 77', welche der bereits oben ausgesprochenen Bedingung für die Erzeugung der Lagerfläche zu entsprechen haben, so weit zieht, bis sie der durch eben diese Ebenen nach den Bögen 1', 2', 3' . . . 7' schon geschnittenen Rückenfläche des Steins in den Punkten 1', 2', 3' . . . 7' begegnen. Durch Verbindung der auf einander folgenden Schnittpuncte erhält man die äusseren Kanten f2'4'6'h und g1'3'5'7'i der unteren und oberen Lagerfläche, deren Horizontalprojectionen f'246h' und g'1357i' sind.

Will man den Gewölbstein fgms, der jeden vorstellen kann, anfertigen, so gehört dazu ein prismatischer Block von der Grundfläche g l s m h f g (Fig. 7) und der Länge f f' (Fig. 8). Auf dieses Steinprisma kann man die beiden Stossflächen fgkl und hims, sowie die Richtung der Cylinderelemente durch den Schrägungswinkel  $\omega$  des Gewölbs genau übertragen. Mit diesen Flächen und dem Winkel  $\omega$  lässt sich unter Benützung der Längen k't', u'v', s'e',  $\zeta'$ u' . . . mehrerer Cylinderelemente, welche sich in der Horizontalprojection nicht verkürzen, die Leibungsfläche des in Fig. 9 (Bl. D) in isometrischer Projection dargestellten Steins vollständig bearbeiten. Hat man diese, so wird eine Schmiege S<sup>o</sup>, welche an ihrem unteren Theile nach der Wölbfläche gekrümmt ist, und deren oberer Theil auf dem Bogen des unteren senkrecht steht, dazu dienen, die beiden Lagerflächen herzustellen, wenn man diese Schmiege stets so an den Stein hält, dass ihre Ebene den Stirnflächen desselben parallel ist. —

Der Umstand, dass die Fugenwinkel von Element zu Element sich ändern, erschwert die Ausführung schiefer Gewölbe so sehr, dass viele Ingenieure sie zu umgehen suchen, oder wenn dieses nicht gelingt, den Steinschnitt in einer Weise anordnen, welche zwar den Bau erleichtert, aber den statischen Anforderungen nicht völlig genügt. Die Abweichung von der Theorie, welche sie sich erlauben, besteht darin, dass sie statt des veränderlichen Fugenwinkels einen unveränderlichen einführen und dafür in der Regel jenen wählen, welcher das arithmetische Mittel aus dem grössten am Scheitel und dem kleinsten am Kämpfer ist. Dadurch werden die Lagerfugen auf der Leibung Schraubenlinien und in der Abwicklung parallele Gerade; sie haben folglich stets gleiche senkrechte Abstände von einander, und es braucht nicht, wie in den bisher betrachteten Fällen, die Form jedes einzelnen Wölbsteins einer Schichte besonders ausgemittelt zu werden.

Wenn man untersucht, welche Wirkungen diese Abänderungen des Steinschnitts auf das Gewölbe äussern, so findet man erstens, dass die Richtung des Drucks auf die Lagerflächen nicht mehr senkrecht, sondern schief ist; zweitens, dass dieser schiefe Druck, indem er sich in eine normale und parallele Seitenkraft zerlegt, eine Verschiebung der Wölbsteine auf ihren Lagern gegen die Stirnflächen zu bewirken sucht; drittens dass entweder diese Verschiebung wirklich eintritt, und dann, wenn nicht den Einsturz des Gewölbs, doch wenigstens dessen Ausbauchung an den Stirnflächen zur Folge hat; oder dass diese Verschiebung, durch Reibungswiderstände gehindert, nicht eintritt und somit unschädlich ist.

Es kommt also, wenn man von dem richtigen Steinschnitt abweichen will, lediglich darauf an, zu wissen, um wie viel der unveränderliche Fugenwinkel von dem wahren verschieden sein darf, ohne dass ein Rutschen der Steine gegen die Stirnfläche stattfindet. Diese Grenze



soll man nach E. Heider zu etwa  $5^\circ$  annehmen, nachdem sich bei verschiedenen Gewölben, wo die Abweichung  $8^\circ$  betrug, bereits Ausbauchungen der Stirnflächen zeigten. Beträgt demnach z. B. der Fugenwinkel eines Gewölbs am Scheitel  $30^\circ$  und am Kämpfer  $20^\circ$ , so kann man ohne Gefahr für das Gewölbe dessen Lagerfugen unter einem Winkel von  $25^\circ$  gegen alle Cylinder-elemente laufen lassen; und würde der Unterschied zwischen dem grössten und kleinsten Fugenwinkel eines Gewölbs nur  $5^\circ$  betragen, so dürfte man unbedenklich den Steinschnitt desselben wie bei einem geraden Gewölbe mit horizontalen Lagerfugen und ebenen Lagerflächen anordnen.

In dem durch die Figuren 10, 11, 12 der Taf. D dargestellten Falle beträgt die Spannweite AB des Stirnbogens  $11,972^m$ , die Pfeilhöhe IK  $2,832^m$  und der Schrägungswinkel  $\omega$   $30^\circ$ .

Da für den Scheitel  $\varphi = 90^\circ$ , also  $\sin \varphi = 1$  ist, so wird nach der Gleichung  $\sin \gamma = \sin \varphi \sin \omega$  für die Fuge am Scheitel der Winkel  $\gamma = 30^\circ$ ; und da für die Kämpferfuge  $\varphi = 39^\circ 21'$  ist, so gibt die eben angezogene Gleichung den Fugenwinkel am Kämpfer  $\gamma' = 18^\circ 29'$ . Es ist folglich  $\gamma - \gamma' = 11^\circ 31'$  und daher ein constanter Fugenwinkel von  $30^\circ - \frac{1}{2}(\gamma - \gamma') = 24^\circ 15'$  von dem grössten und kleinsten nur um  $5^\circ 45'$  verschieden, wesshalb man ihn noch als einen constanten Fugenwinkel einführen kann. In der abgewickelten Leibungsfläche (Fig. 12) werden somit alle der Axe EF parallele Cylinder-elemente von den geraden Lagerfugen unter einem Winkel von  $24^\circ 15'$  geschnitten. Will man diese Fugen in die H.- und V.-Pr. übertragen, so kann es auf folgende Weise geschehen.

Jedes der in Fig. 11 horizontal projecirten Elemente theile man eben so, wie es bei den abgewickelten durch die Lagerfugen geschehen ist, verbinde diejenigen Theilpuncte der H.-Pr. mit einander, welche die Abwicklung anzeigt und projecire diese Puncte vertical auf die entsprechenden geraden Cylinder-elemente. Soll z. B. die durch den Punct 6 der Stirnfläche gehende Lagerfuge in die H.- und V.-Pr. übertragen werden, so verbinde man in der H.-Pr. die Puncte 6, e, d, c, b, a, C, wie sie es in der Abwicklung sind, und projecire sie auf die in Fig. 10 durch 1, 2, 3, 4, 5, 6 mit A'C' parallel gezogenen Elemente der Leibungsfläche, so stellen 6 e d c b a C und 6' e' d' c' b' a' C' die gesuchten Projectionen dar.

Wenn die Einführung eines constanten Fugenwinkels für Hausteingewölbe in der Projectirung und Ausführung eine nicht zu unterschätzende Vereinfachung gewährt, so ist eine solche Abweichung von der genau richtigen Anordnung schiefer Gewölbe, wenn dieselben mit Backsteinen hergestellt werden, wegen der Formen, in denen dieses Material angefertigt und verwendet wird, fast unerlässlich.

Ueber den Entwurf und die Ausführung schiefer Gewölbe in Backsteinen sind nur noch wenige Bemerkungen erforderlich.

Derartige Gewölbe werden gewöhnlich an der Stirnfläche mit Hausteinen verkleidet, deren Dicke so bestimmt wird, dass sie ein Vielfaches der Ziegeldicke ist.

Bei der ungleichen Anzahl und Dicke der Mörtelbänder in der Verkleidung und in dem Ziegelmauerwerke ist mit besonderer Sorgfalt dem häufig auftretenden Uebelstande vorzubeugen, dass sich die Stirnverkleidung von dem eigentlichen Gewölbmauerwerke abtrennt.

Die untersten Ziegel legt man auf besonders zugeordnete Hausteine, welche, da sie in den Anfang des Gewölbes mit eingreifen, Anlaufsteine heissen. Diese Steine treten in der H.- und V.-Pr. wie in der Abwicklung der Wölbfläche als Dreiecke über die Kämpferfuge heraus (v u z, v' u' z') und geben dadurch dem Wölbanfange ein zackenförmiges Aussehen.

Wollte man bei der Ausführung eines schiefen Ziegelgewölbes darauf bestehen, dass die Stossflächen in lothrechten, mit den Stirnen parallel laufenden Ebenen liegen, so würden sich die Anlaufsteine wie in Fig. 10, 11, 13 horizontal und vertical projeciren; dann müssten aber auch alle Stossflächen der Ziegel abgearbeitet werden, weil diese auf den gegen den Horizont geneigten Lagerflächen senkrecht stehen und folglich nicht lothrecht sind. Um nun diese Arbeit zu ersparen, macht man die im Gewölbe liegenden Stossflächen der Anlaufsteine senkrecht auf das obere Lager, und die im Widerlager oder Pfeiler liegenden Stossflächen dieser Steine, wenn die Schrägung des Gewölbes stark ist, senkrecht zur Kämpferlinie (v', u', t' ...  $\perp$  BD, Fig. 11); beträgt aber die Schrägung nur wenig, so lässt man diesen unteren Theil der Stossfläche der Stirne parallel laufen (v, u, t' ...  $\parallel$  AB, Fig. 11). Für den letzteren Fall ist in Fig. 15 bis 17 eine Reihe von Anlaufsteinen projecirt und zwar in Fig. 15 horizontal, in Fig. 16 vertical auf die Stirnfläche, in Fig. 17 vertical auf die Widerlagsfläche. Hieraus und aus Fig. 18, welche die perspectivische Ansicht einiger Anlaufsteine gibt, geht deren Gestalt sattsam hervor. Das obere Lager des Anlaufsteins ergibt sich als eine windschiefe Fläche; da man jedoch die darauf zu legenden Ziegel nach einer solchen nicht abarbeiten kann, so macht man diese Lager nahehin eben und bewirkt die vollständige Ausgleichung mit den Ziegelflächen durch das Mörtelband. — In Fig. 14 ist der in Fig. 10 und 13 projecirte Stirn-Anlaufstein isometrisch in ein Parallelepiped eingezeichnet, welches das kleinste ist, aus dem er behauen werden kann.

Soll bei einem halbkreisförmigen Gewölbe ein einziger unveränderlicher Fugenwinkel eingeführt und der Bedingung genügt werden, dass die Abweichung von dem grössten und kleinsten richtigen Fugenwinkel nicht mehr als  $5^\circ$  beträgt, so darf der Schrägungswinkel nicht grösser als  $10^\circ$  sein. Kann diese Forderung nicht erfüllt, soll aber dennoch das Gewölbe in Ziegeln ausgeführt werden, so theilt man dasselbe in mehrere Zonen und führt für



jede einen unveränderlichen Fugenwinkel ein, welcher der gestellten Bedingung entspricht; der Uebergang von einer Zone zur andern wird durch Hausteinschichten vermittelt.

Ueber den auf Blatt 4 und 5 vorliegenden Entwurf einer schiefen Eisenbahnbrücke mögen noch folgende Bemerkungen Platz greifen. Es wurden hiezu eine kreisförmige Wölblinie von  $14,6^m$  schiefer Spannweite und  $2,92^m$  Pfeilhöhe, ferner parallele Stirnebenen von  $8,468^m$  Abstand und ein Schrägungswinkel von  $30^\circ$  (wonach der Schnittwinkel der Gewölb- und Bahnaxen  $60^\circ$  beträgt) angenommen, und für die Herstellung des Gewölbes besonders bereitete gute Ziegel von entsprechender Länge und Dicke als gegeben vorausgesetzt.

Die Stärke der aus Sandsteinquadern herzustellenden Mittelpfeiler wurde nach der Annahme bestimmt, dass durch die Verhältnisse des Flusses, in welchem die Brücke steht, und durch deren gutes Aussehen eine Dicke von  $1,75^m$  in senkrechter Richtung zum Stromstriche bedingt wird.

Nach den gemachten Angaben berechnet sich der Halbmesser des Stirnbogens  $r = 10,585^m$ , der grösste Fugenwinkel für den Gewölbscheitel  $\gamma = 30^\circ$ , während man für den Gewölbanfang (wegen  $r \cdot \sin \varphi = r - p$ , worin  $p$  die Pfeilhöhe bezeichnet) den kleinsten Fugenwinkel  $\gamma' = 21^\circ 14'$  erhält. Es weicht folglich das arithmetische Mittel aus  $\gamma$  und  $\gamma'$ , welches  $25^\circ 37'$  beträgt, von dem grössten und kleinsten Fugenwinkel nur um  $4^\circ 23'$  ab, wesshalb der eine unveränderliche Fugenwinkel von  $25^\circ 37'$  zu Grund gelegt werden konnte, dessen Verwerthung zunächst in der — wegen mangelnden Raumes in die beiden Blätter nicht aufgenommenen — Abwicklung der Gewölb-Leibung zu erfolgen hat.

## Stabilitätsuntersuchungen der steinernen Brücken.

Die Stabilitätsuntersuchungen bei steinernen Brücken, gleichviel ob sie gerade oder schief sind, werden nach Anleitung der Statik auf analytischem oder auf graphischem Wege angestellt; wir erachten es für zweckmässig, beide Methoden mit einander zu verbinden.

Im Nachstehenden sollen zunächst die Gewölbe und sodann die Widerlager und Pfeiler betrachtet werden.

a) Als Brückengewölbe kommen fast ausschliesslich gerade und schiefe Tonnengewölbe zur Anwendung, wesshalb auch nur diese hier ins Auge gefasst werden sollen. Eine derartige Ueberdeckung des Lichtraumes einer Brücke besteht im Wesentlichen aus dem eigentlichen Gewölbobogen, welcher aus festem, widerstandsfähigem Materiale zusammengesetzt ist, und aus der Auffüllung über dem Rücken des Gewölbes; letztere wird aus lose zusammenhängenden Materialien, nämlich aus Steinabfällen, Kies, Sand, Erde und dergleichen hergestellt. Da auf dieser Auffüllung die Verkehrslasten sich bewegen, so darf die Annahme gemacht werden, dass

concentrirte Kräfte auf den Gewölbrücken im Allgemeinen nicht auftreten.

Diese Annahme gewinnt dadurch noch an Berechtigung, dass die vorzugsweise durch die Räder der Fahrzeuge auf feste Strassenbahnen übertragenen, concentrirten Kräfte in geringen Abständen einander folgen, so dass die Zwischenlage zwischen der festen Bahn und dem Gewölbrücken Einwirkungen von verschiedenen, benachbarten Lasten aufzunehmen und fortzupflanzen hat.

Das Gewicht des eigentlichen Gewölbes, das der Auffüllung und der Strassenbahn zusammen gibt das Eigengewicht der Construction. Bei der regelmässigen Anordnung derartiger Bauwerke und bei der zulässigen Annahme nahezu gleichmässiger Vertheilung der Verkehrslasten auf die Ausdehnung der letzteren genügt es, einen Gewölbstreifen von der Tiefe gleich der sonst verwendeten Längeneinheit in der Richtung der Gewölbaxe zu untersuchen, und da innerhalb eines solchen Streifens die einwirkenden Kräfte symmetrisch zu einer mittleren, den seitlichen Begrenzungsflächen parallelen Verticalebene vertheilt erscheinen, so beschränken sich die Gleichgewichtsuntersuchungen für denselben auf Kräfte, welche in einer Ebene wirken.

Sind die vorkommenden ständigen und zufälligen Belastungen symmetrisch zu einer die Axe des Gewölbes enthaltenden Lothebene vertheilt, so nennt man das Gewölbe ein symmetrisch belastetes, ausserdem ein unsymmetrisch belastetes.

Letzterer Fall kommt vorübergehend bei allen Verkehrslasten vor, wiewohl nachweisbar bei dem bedeutenden Eigengewichte der Construction die zufälligen Lasten einen geringen Ausschlag geben; derselbe tritt aber auch dann auf, wenn, wie bei schrägen Auffahrten gegen die Brückenmitte hin, die ständigen Lasten nicht symmetrisch innerhalb der einzelnen Oeffnungen angeordnet sind. Mit Rücksicht hierauf und ferner desshalb, weil die hiefür anzugebenden Untersuchungen bei den hölzernen und eisenen Bogenbrücken mit den durch die Eigenschaften des Materiales bedingten Abänderungen zu verwenden sind, sollen auch die unsymmetrisch belasteten Gewölbe betrachtet werden.

### 1. Symmetrisch belastete Gewölbe.

Aus den einfachen Gleichgewichtsuntersuchungen über einen halben derartigen Gewölbstreifen von der Tiefe = 1 (bcfgd Fig. a) und aus den Eigenschaften der zur Herstellung desselben verwendeten Materialien ergeben sich die folgenden Sätze und Forderungen.

a) Der Horizontalschub ( $H$ ), welcher unter Annahme eines bestimmten Angriffspunctes  $a$  in der Verticalen  $de$  durch den Scheitel des Gewölbes und eines bestimmten Drehpunctes  $o$  auf der Kämpferlinie  $bc$  mit



Fig. 1.

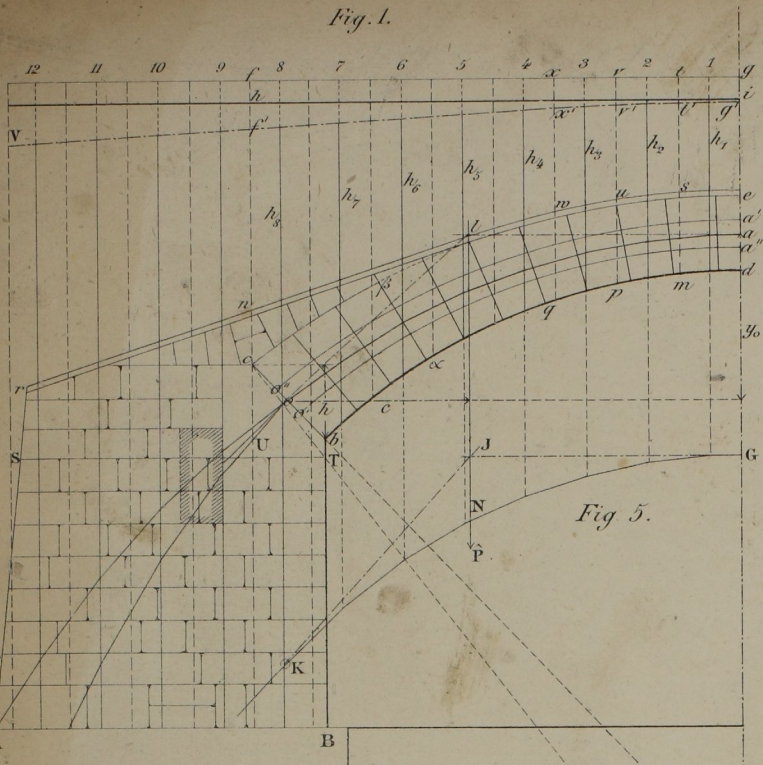


Fig. 5.

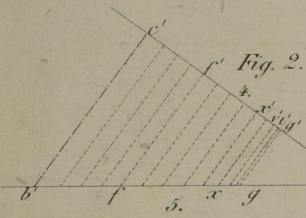


Fig. 2.

Fig. 6.

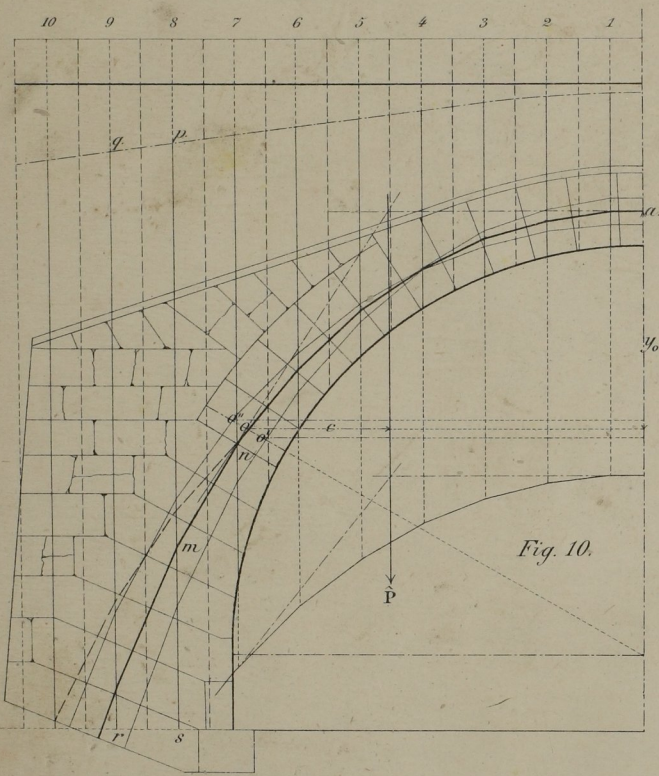


Fig. 10.

Fig. 7.

3.

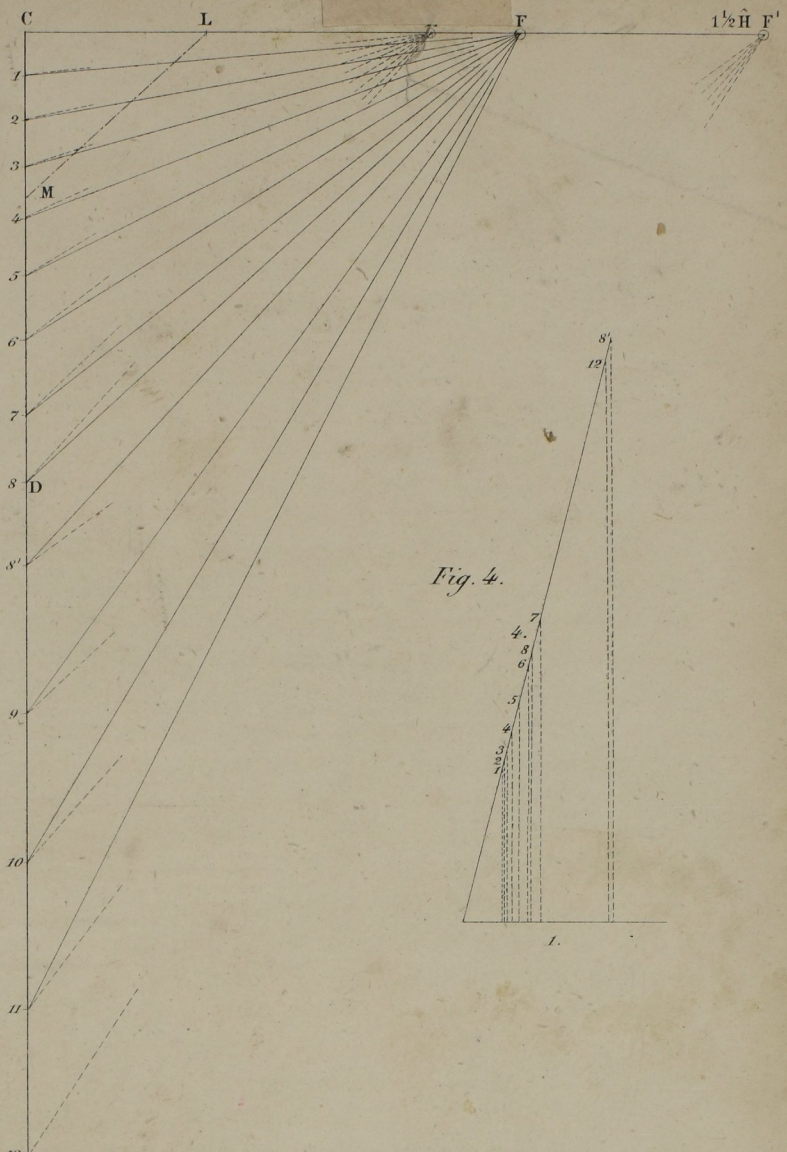
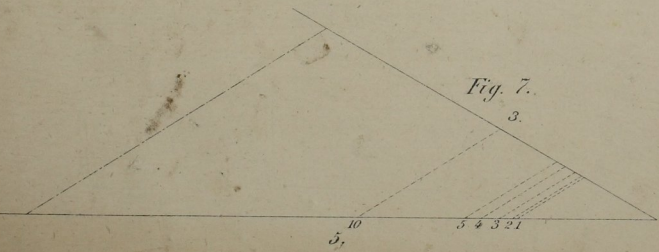


Fig. 4.

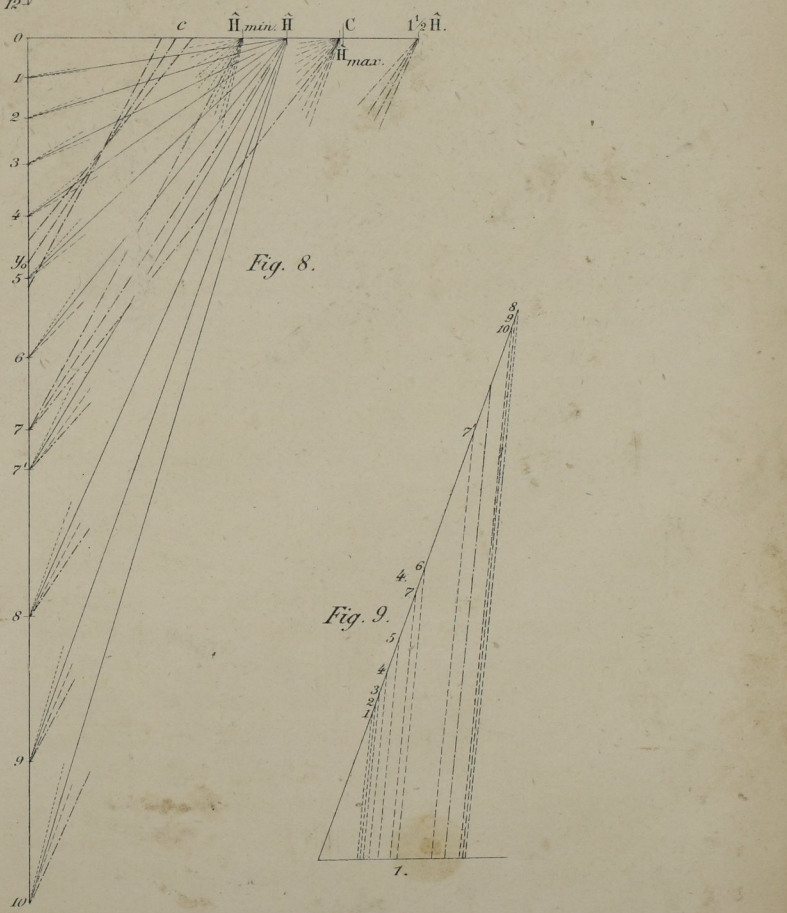


Fig. 8.

Fig. 9.

Zu Fig. 1 u. 6: M = 1:100.

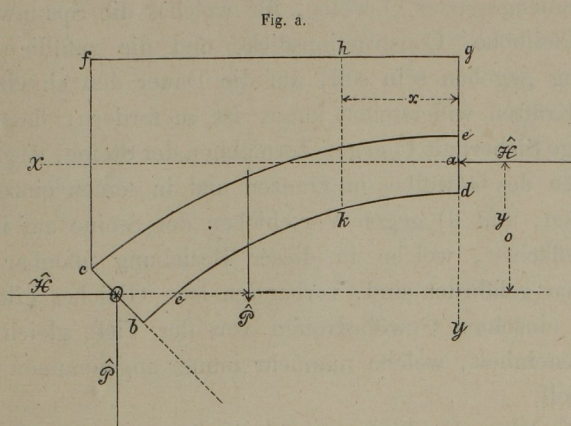






$$\hat{H} = \frac{\hat{P}c}{y_0} \dots \dots \dots (1)$$

erhalten wird, ergibt sich in gleicher Grösse, aber auch in bestimmter Lage in irgend einem, in der Entfernung x



vom Scheitel angenommenen Verticalschnitt h k. Für zwei andere innerhalb de und bc gewählte Punkte wird ein anderer Werth  $\hat{H}$  erhalten; ebenso ändert sich Grösse und Lage von  $\hat{H}$  im Schnitt h k.

Setzt man vollständig starres Material voraus, so darf der Angriffspunkt der Mittelkraft aus allen horizontalen Kräften ( $\hat{H}$ ) bis e hinauf- oder bis d herabrücken, ebenso darf in diesem Falle der Drehpunkt o zwischen b und c wechseln. Ueber de und beziehungsweise bc hinaus können derartige Punkte nicht mehr vorhanden sein, da nur auf diese Ausdehnung widerstandsfähiges Material angenommen wurde.

Für die Punkte e und b erhält  $\hat{H}$  seinen kleinsten Werth, weil c seinen kleinsten und  $y_0$  den möglichst grossen Werth bekommt; für die Punkte d und c wird der grösste Werth von  $\hat{H}$  erhalten.

Unter stillschweigender Voraussetzung, dass  $\hat{H}$  für die einer bestimmten Gleichgewichtslage eines gegebenen Gewölbes entsprechenden Angriffs- und Drehpunkte berechnet, und dass in irgend einem Verticalschnitt der diesen Punkten entsprechende Werth von  $\hat{H}$  betrachtet wird, sagt man: der Horizontalschub ist im ganzen Gewölbe constant.

$\beta$ ) Da für den gleichen Horizontalschub in jedem beliebig gewählten Verticalschnitt die Lage seines Angriffspunktes eine bestimmte ist, so hat auch die Mittelkraft aller, von dem abgeschnittenen Theil des Gewölbes (Gewölbstreifens) her gegen denselben einwirkenden Kräfte den gleichen Angriffspunkt wie dieser Horizontalschub. Ausser letzterem wirkt aber eine Vertikalkraft  $\hat{P}_x^0$  in dem betreffenden Schnitt, welche gleich ist dem Gewichte des Gewölbtheiles vom Scheitel bis zur gedachten Schnittebene.

Verbindet man die Angriffspunkte der einem bestimmten Werthe  $\hat{H}$  entsprechenden Mittelkräfte, welche gegen die aufeinander folgenden Verticalschnitte erhalten werden, durch eine stetige Linie, so ergibt diese die „Mittelkraftcurve oder Mitteldrucklinie“.

Durch zwei Punkte, von welchen der eine im Schnitt durch den Scheitel des Gewölbes, der andere auf der Kämpferlinie angenommen ist, oder auch durch zwei Punkte, welche auf zwei verschiedenen, beliebigen Fugen gewählt werden, ist sonach bei gegebenen Belastungsverhältnissen eine einzige Drucklinie möglich. Die trigonometrische Tangente des Winkels  $\beta_x$ , welchen dieselbe an irgend einer Stelle mit dem Horizont bildet, ist

$$\text{tang } \beta_x = \frac{\hat{P}_x^0}{\hat{H}} \dots \dots \dots (2)$$

$\gamma$ ) Bei jeder Construction soll die Festigkeit des Materials, so weit als zulässig, ausgenützt werden. Da nun die Druckfestigkeit der Steinmaterialien bedeutend grösser ist, als deren Zug- und Abscherfestigkeit, so sollen Steine, wo möglich, nur Druckspannungen erleiden. Wählt man eine Lagerfläche so, dass dieselbe senkrecht zur Drucklinie steht, so wird bei dem in Betracht kommenden rechteckigen Querschnitt der Lagerfläche dieser Forderung nur dann genügt, wenn der Angriffspunkt der Mittelkraft aller Einwirkungen ( $\hat{Q}$ ) von einer Seite des Gewölbstreifens her in ihrem mittleren Dritteltheil gelegen ist. Da die gleiche Bedingung für alle Lagerflächen erfüllt werden soll, so ist zu verlangen, dass die Mitteldrucklinie im mittleren Dritteltheil des Bogens verläuft.

Zur Begründung dieser Forderung mögen nachstehende Erläuterungen Platz greifen.

Bei der Art und Weise, in welcher die stattfindenden Einwirkungen von irgend einem Gewölbstein auf den nächst vorhergehenden übertragen und im Innern desselben fortgepflanzt werden, lässt sich eine sprungweise Aenderung der Einzelkräfte oder Spannungen nicht denken; dieselben sind entweder gleich gross oder sie ändern sich stetig. Im ersten Falle findet eine gleichmässige Vertheilung der Einzelkräfte über einen betrachteten Fugenschnitt statt, und es erleidet die Flächeneinheit des Fugenschnittes vom Inhalte F eine Spannung, welche ausgedrückt ist durch

$$\hat{\sigma} = \frac{\hat{Q}}{F} \dots \dots \dots (3)$$

Der Angriffspunkt der Mittelkraft ( $\hat{Q}$ ) liegt hiebei im Schwerpunkte des rechteckigen Querschnittes.

Im letzteren Falle ist wegen der für alle Anwendungen in Betracht zu ziehenden äusserst geringen Längenveränderungen die Annahme zulässig, dass die sich stetig ändernden Einzelkräfte und die ihnen entsprechenden Spannungen proportional dem Abstände von einer Axe sind, deren Lage von der Vertheilung der Spannungen über den Querschnitt abhängig ist.

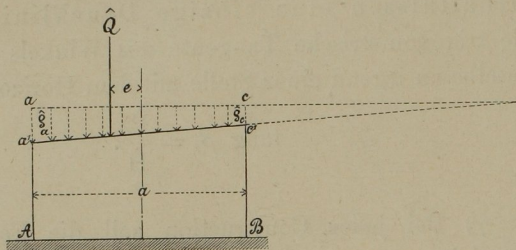
Durch Fig. b wird der Fall versinnlicht, dass diese Axe ausserhalb vom Querschnitte liegt.

Bezeichnet a die Breite und b die Tiefe eines vor der Einwirkung der Kräfte ( $\hat{Q}$ ) rechtwinkelig parallel-



epipedisch gestalteten Steins, welcher von der untern Seite her genügend gestützt ist,  $\phi_a$  und  $\phi_c$  die Spannungen pr. Flächeneinheit in den äussersten Fasern,  $e$  den Abstand der Mittelkraft von der Prismenaxe, und sind der Tiefe

Fig. b.



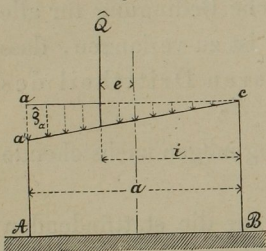
nach in jedem elementaren Streifen die gleichen Druckvertheilungen, wie im angenommenen Querschnitte, vorzusetzen, so wird nach einfachen Entwicklungen

$$(\phi_a + \phi_c) \frac{ab}{2} = \hat{Q};$$

$$\phi_a = \frac{\hat{Q}}{ab} \left(1 + \frac{6e}{a}\right); \dots \dots \dots (4)$$

$$\phi_c = \frac{\hat{Q}}{ab} \left(1 - \frac{6e}{a}\right). \dots \dots \dots (5)$$

Fig. c.



Ist  $b = 1$  und wird  $\phi_c = 0$ , so ist

$$\phi_a = \frac{2\hat{Q}}{a} = \frac{2\hat{Q}}{F}, \dots \dots \dots (6)$$

ferner aus Gleichung 4 und 6  $e = \frac{1}{6} a \dots \dots \dots (7)$

und mit Bezug auf Fig. c  $i = \frac{1}{2} a + \frac{1}{6} a = \frac{2}{3} a. \dots \dots (8)$

Durch die im letzt' betrachteten Falle vorhandene Kräftevertheilung ist aber offenbar diejenige Grenzlage angegeben, bei welcher eben noch alle Flächenelemente nur Druckspannungen auszuhalten haben. Würde die Axe  $c$  (neutrale Axe), um welche die Drehung des Querschnittes  $ac$  nach  $a'c$  erfolgte, im letzteren selbst liegen, so treten, wie bei einem gebogenen Stabe, Druck- und Zugspannungen auf.

Eine gleiche Grenzlage für den Angriffspunct derjenigen Mittelkraft, welche sich gerade noch aus lauter Druckkräften zusammensetzt, findet sich, wenn die neutrale Axe an dem Umfange des Querschnittes in  $a$  angenommen wird; der Angriffspunct von  $\hat{Q}$  liegt sodann auf der anderen Seite der Prismenaxe in dem Abstände  $\frac{2}{3} a$  von  $a$ .

Beachtet man für diese Arten der Druckvertheilung auf den Horizontalschnitt  $ac$  die Fortpflanzung der Spannungen in dem prismatischen Körper und die Uebertragung der Einwirkungen auf die Unterlage  $AB$ , indem man hiebei die ungünstigste Voraussetzung macht, dass die in einer Faser — insoferne bei Steinmaterialien überhaupt hievon die Rede sein kann — auftretende Spannung unverändert bis zum Auflager fortgepflanzt wird, so erkennt man sofort, dass ein Oeffnen der in  $AB$  gedachten

Fuge nicht eintritt, sondern auch hier nur Druckspannungen aufzunehmen sind.

δ) Damit ein aus einzelnen Schichten und Steinen zusammengesetztes Gewölbe, für welches die Spannweite, die Pfeilhöhe, Constructionsdicke und die zufällige Belastung gegeben sein soll, auf die Dauer den einwirkenden Kräften widerstehen kann, ist zu fordern, dass die nöthige Sicherheit 1) gegen Zermalmen der Steine, 2) gegen Drehen des Gewölbes im Ganzen und in seinen einzelnen Theilen, und 3) gegen Verschieben der Steine auf ihren Lagerflächen, welche in dieser Beziehung offenbar am meisten gefährdet sind, vorhanden ist. Gleiches gilt für einen einzelnen Gewölbstreifen von der Tiefe gleich der Längeneinheit, welche nunmehr immer angenommen werden soll.

1) Diese Forderung gipfelt in der richtigen Bestimmung der Schlusssteinhöhe. Ist diese festgesetzt, so findet sich nach späteren Angaben an jeder Stelle die Stärke des Bogens oder also die Länge jeder Fuge dadurch, dass ihre Projection auf einen Verticalschnitt gleich der Schlusssteinhöhe zu sein hat.

Im Schnitt durch den Scheitel ist die Mittelkraft aller Einzelwirkungen gleich dem Horizontalschub  $\hat{H}$ . Bei günstigster Lage des Angriffspunctes von  $\hat{H}$  würde mit Rücksicht auf technische und ökonomische Zwecke die Schlusssteinhöhe  $h$  zu erhalten sein aus der Gleichung

$$h = \frac{\hat{H}}{\beta}. \dots \dots \dots (9)$$

Diese günstigste Lage von  $\hat{H}$  kann für alle Fälle, unter denen das Gewölbe stabil zu sein hat, nicht vorausgesetzt werden. Es muss vielmehr mit Rücksicht auf einseitige Belastungen in Aussicht genommen werden, dass die Lage von  $\hat{H}$  im mittleren Drittheil der Schlusssteinfläche variirt. Die verschiedene Grösse des Horizontalschubs  $\hat{H}$  bei verschiedenen Angriffspuncten mag hier unter Bezug auf die nachfolgende Bestimmung von  $h$  ausser Acht gelassen werden.

Rückt aber  $\hat{H}$  an die obere oder untere Grenze des mittleren Drittheils (an den Kernrand), so wird unter Bezug auf Gleichung 6:

$$h = \frac{2\hat{H}}{\beta}. \dots \dots \dots (10)$$

Der Werth des Festigkeitscoefficienten  $\beta$  für Steinmaterialien, welcher bei ruhenden Lasten im Allgemeinen zu  $\frac{1}{10} \beta_0$  genommen wird, ist für Gewölbe, welche, wie Brückengewölbe, Erschütterungen ausgesetzt sind, im günstigsten Falle zu  $\frac{1}{20} \beta_0$ , bei geringerer Auffüllung aber nur zu  $\frac{1}{40} \beta_0$  zu nehmen, wie in der Tabelle über die Druckfestigkeit der Steinmaterialien angegeben wurde.

Bei Gewölben ist aber noch weiter zu beachten, dass der Druck pr. Flächeneinheit wegen sonst eintretender, merklicher Verkürzungen nicht zu stark genommen werden darf, dass die Festigkeit des Bindemittels nicht gleich-



Fig. 1.

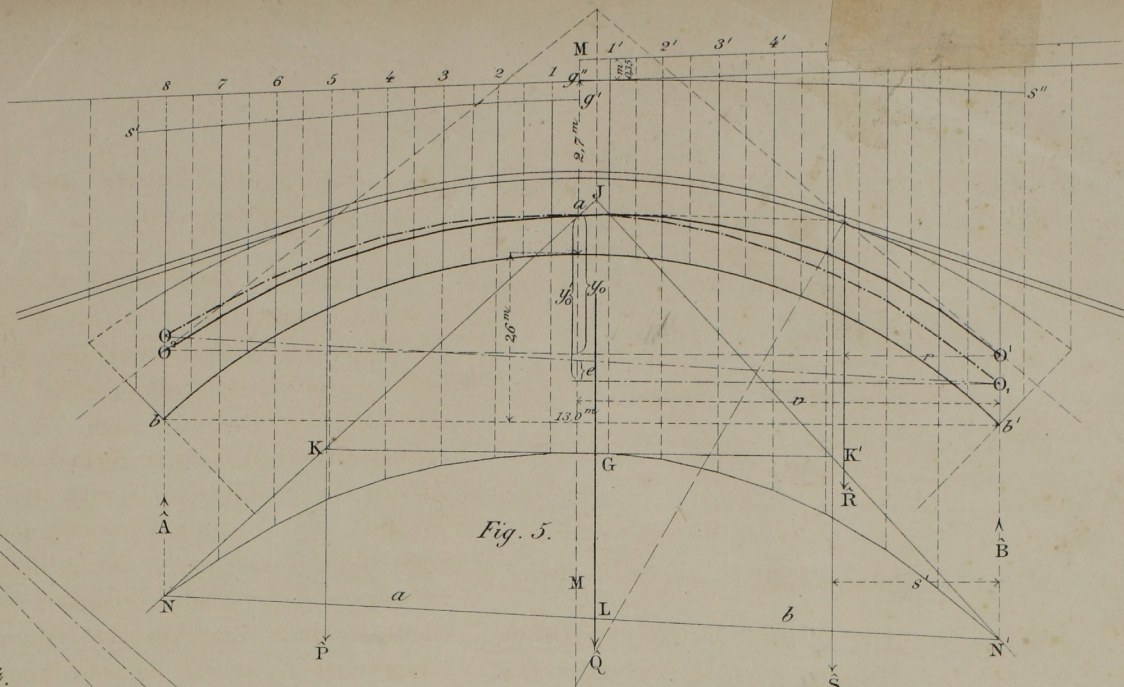


Fig. 5.

Zu Fig. 1. M = 1:100.

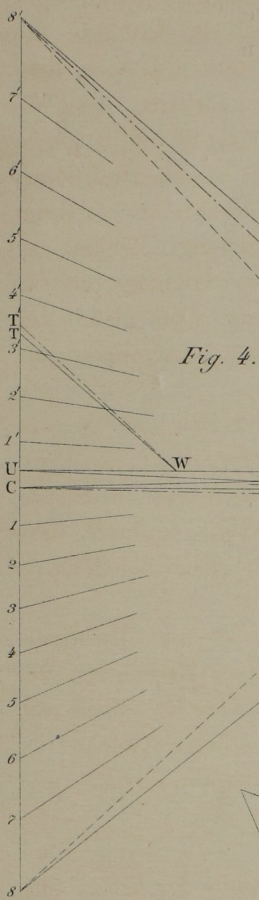


Fig. 4.

Fig. 2.

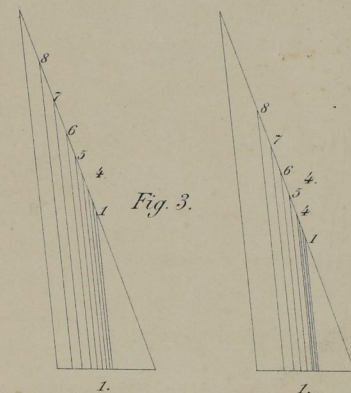
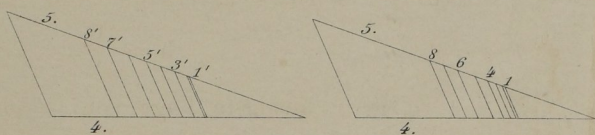


Fig. 3.

Fig. 6.

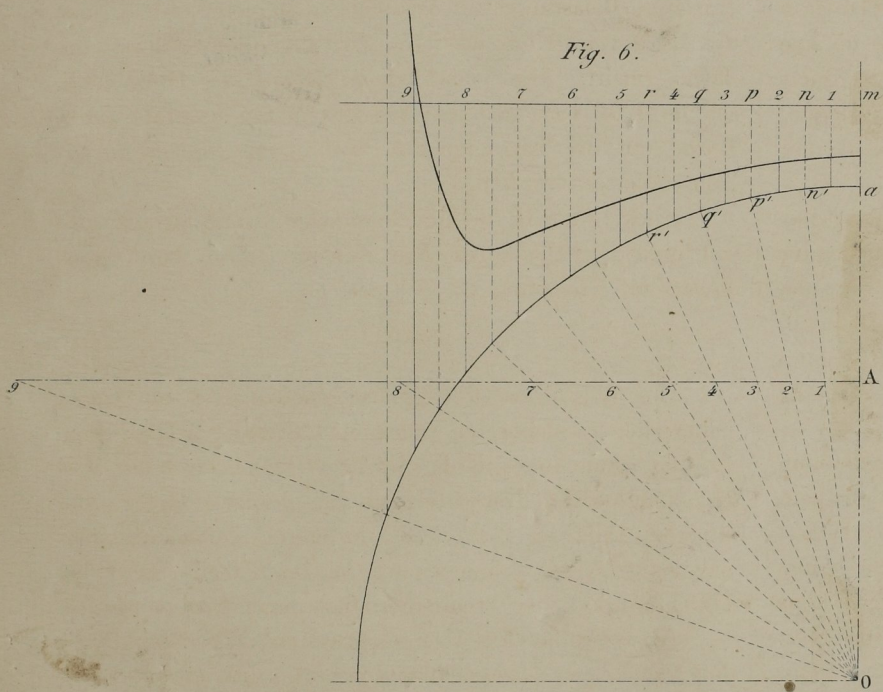
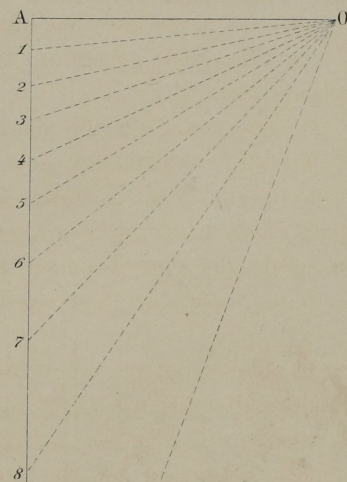


Fig. 7.









giltig sein kann, und dass Ungenauigkeiten in der Ausführung wegen vorkommender Deformationen der Lehrgerüste nie ganz vermieden werden können. Demnach wird eine weitere, nicht unbeträchtliche Abminderung von  $\beta$  zugelassen werden müssen.

In Erwägung aller dieser Umstände ist es zur Zeit noch nothwendig, empirische Formeln zur Bestimmung der Schlusssteinhöhe zu benützen.

Es gibt bekanntlich verschiedene Formeln, welche aus den in den meisten Fällen gegebenen Stücken, nämlich aus der Spannweite, der Pfeilhöhe oder dem Halbmesser der Wölblinie, eine directe Bestimmung der Schlusssteinhöhe zulassen.

Wir geben hier die von Herrn Director und Professor Dr. von Bauernfeind \*) aufgestellte, empirische Formel an, welche die Schlusssteinhöhe zwar nicht sofort, sondern zunächst den verwendbaren Festigkeitscoefficienten auffinden lässt, in welcher aber gerade dadurch alle jene Momente besser zum Ausdruck gebracht werden, welche von besonderem Einflusse auf die Wahl der Schlusssteinhöhen sind. Nach dieser Formel ist die grösste zulässige Belastung der Flächeneinheit der Wölbsteine nicht, wie es die Druckfestigkeit derselben fordern würde, constant, sondern mit der Grösse der Brücke veränderlich zu nehmen.

Bezeichnet nämlich

$\lambda$  den grössten Druck in Kilogrammen, welchem 1 □Decimeter Lagerfläche der Wölbsteine auf die Dauer ausgesetzt werden soll und darf,

$s$  die Spannweite (AA') des Brückengewölbes in Decimetern (Fig. d) und

$\tau = \frac{r}{p}$  das Verhältniss

des Halbmessers MA = r der kreisförmigen inneren Wölbungslinie zum Pfeile CD = p derselben,

so wird in Uebereinstimmung mit den bei grossen und kleinen Musterbrücken, für welche selbstverständlich nur gutes Material verwendet wurde, stattfindenden Pressungen

$$\lambda = 2,6 \cdot s + 32,3 \cdot \tau \dots \dots \dots (11)$$

gesetzt.

Beispielsweise ist für ein Brückengewölbe von 24<sup>m</sup> Spannweite und 4,7<sup>m</sup> Pfeilhöhe  $r = 17,67^m$ ,  $\tau = \frac{r}{p} = 3,76$ ,

folglich der zulässige Druck pr. □<sup>dm</sup> in Kgr  
 $\lambda = 2,6 \cdot 240 + 32,3 \cdot 3,76 = 746$  (abg).

Mit Hilfe dieses Werthes  $\lambda$  ist nun die Schlusssteinhöhe  $h$  (CE Fig. d) aus der Gleichung abzuleiten:

$$\lambda h = \hat{H} \dots \dots \dots (12)$$

Da aber in derselben  $\hat{H}$  noch nicht bekannt und offenbar von der zu bestimmenden Schlusssteinhöhe  $h$  abhängig ist, so wird nach Dr. von Bauernfeind's Entwicklungen der Werth  $\hat{H}$  für den besondern Fall ermittelt, dass die Mittellinie des Drucks (mn) in einem Abstände =  $\frac{1}{2} h$  von C der inneren Wölbungslinie parallel läuft, also ein Kreisbogen vom Halbmesser  $r + \frac{1}{2} h$  ist; die so erhaltene Gleichung für  $\hat{H}$  wird mit Gleichung (12) verbunden, und aus der neuen Gleichung  $h$  entnommen.

Bezeichnet

$d$  den Abstand (CF) des Gewölbscheitels von der Oberfläche des Füllmaterials,

$\hat{g}$  das Gewicht der Cubikeinheit Gewölbmauerwerk in Kilogrammen,

$\hat{g}$ , das Gewicht derselben Raumeinheit des über dem Gewölbschluss liegenden Materials und

$\hat{w}$  die zufällige oder Verkehrsbelastung in Kilogrammen pr. Flächeneinheit der wagrecht projecirten Brückenoberfläche,

so findet man die Schlusssteinhöhe  $h$  aus der quadratischen Gleichung:

$$h \lambda = (\hat{g} h + [d - h] \hat{g} + \hat{w}) (r + \frac{1}{2} h), \quad (13)$$

welche für den Fall, dass  $\hat{g} = \hat{g}$  ist (was bei einer Uebermauerung des Gewölbes oder bei Ueberfüllung mit Steinmaterial stattfindet), übergeht in die Gleichung des ersten Grades:

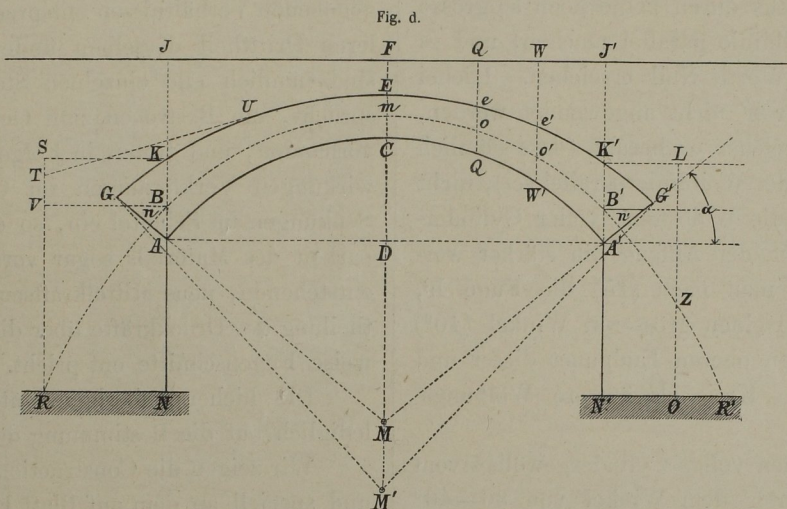
$$(2\lambda - \hat{g} \cdot d - \hat{w}) h = 2r (\hat{g} \cdot d + \hat{w})$$

$$h = \frac{2r (\hat{g} \cdot d + \hat{w})}{2\lambda - (\hat{g} \cdot d + \hat{w})} \quad (14)$$

Soll hieraus  $h$  in Metern erhalten werden, so

ist  $r$  und  $d$  in Metern,  $\hat{g}$  und  $\hat{g}$ , in Kilogrammen oder beziehungsweise in Tonnen pro Cubikmeter Stein und Füllmaterial,  $\lambda$  und  $\hat{w}$  in Kilogrammen oder beziehungsweise in Tonnen pro □Meter einzusetzen.

Die Gleichungen (13) und (14) würden für  $h$  sehr grosse Werthe liefern in dem Falle, dass man für ein Gewölbe, welches wie ein Tunnel in einem Berg oder wie ein Durchlass in einem hohen Damm gebaut wird, die Höhe  $d$  bis zur Oberfläche des Berges oder Dammes nehmen wollte. Da jedoch erfahrungsgemäss nur ein Theil dieser Erdmassen auf das Gewölbe drückt, indem der übrige Theil durch die Reibung der Erdtheilchen und eintretende Spannungen für sich im Gleichgewichte ist, so kann man etwa 3<sup>m</sup> als grössten Werth von CF =  $d$



\*) Jahrgang IV der Eisenbahnzeitung Seite 292-302.



ansehen. Ist demnach in einzelnen Fällen der Abstand des Gewölbscheitels von der Oberfläche der auf dem Gewölbe ruhenden Erdmasse grösser als  $3^m$ , so bringt man den Ueberschuss dieses Abstandes nicht in Rechnung, sondern setzt einfach  $d = 3^m$ . Aber auch innerhalb dieser Grenze dürfte der Werth  $z$  mit zunehmender Grösse von  $d$  deshalb grösser genommen werden, weil die Erschütterungen des Gewölbes bei stärkerer Auffüllung rasch abnehmen müssen.

Damit die Kämpfer und Anlaufsteine des Gewölbes auch nur mit dem zulässigen Drucke  $z$  beansprucht werden, hat man, wie schon erwähnt, die Projection der Kämpferfuge auf den Verticalschnitt durch die Kämpferlinie gleich der Höhe  $h$  zu nehmen. Die Länge der Kämpferfuge  $AG = h'$  ist sonach aus der Gleichung

$$h' = \frac{h}{\sin \alpha} = \frac{rh}{r - p} \dots \dots \dots (15)$$

zu finden, in welcher  $\alpha$  den Winkel vorstellt, unter welchem die Mittellinie des Drucks  $mn'$  am Kämpfer gegen die Verticale gerichtet ist. Dieser Winkel  $\alpha$  ist im Allgemeinen auch der, welchen die Kämpferfuge ( $A'G'$ ) mit dem Horizonte bildet, mit Ausnahme des Falles, wo die Leibungsfläche des Gewölbes ein voller Halbcylinder oder nahehin ein solcher ist; denn in diesem Falle lässt sich die Mittellinie des Drucks durch keine noch so grosse Belastung der inneren Wölblinie parallel machen, und es kann folglich  $\alpha$  nie den Werth Null erreichen. Hiebei kann auch der Ausdruck für  $h'$  nicht angewendet werden, da die Bedingung, auf welcher er beruht (dass nämlich die Mittellinie des Drucks der Wölblinie parallel sei), nicht mehr besteht. Will man die Wölbesteine voller Cylindergewölbe vom Scheitel gegen den Anfang hin stärker werden lassen, so berechne man nach (15) die Fuge  $h'$ , welche mit dem Horizonte einen grösseren Winkel ( $40^\circ$ ) bildet, und lege durch den oberen Endpunct dieser und der Schlusssteinfuge einen Kreis als äussere Wölblinie.

Der Theil eines solchen vollen Cylindergewölbes vom Kämpfer bis zu einer unter dem Winkel von  $30-40^\circ$  gegen den Horizont geneigten Lagerfläche entspricht überhaupt nicht mehr dem Begriffe eines Gewölbes, sondern dem einer Mauer, da innerhalb desselben die Steine gegen Gleiten und Drehen durch die Reibung und durch die Unterstützungsweise von der unteren Seite her gesichert sind, während die eigentlichen Gewölbesteine von der unteren und oberen Seite her durch die angrenzenden Steine in ihrer Lage gehalten werden müssen. Demnach sind auch bei den weiteren Untersuchungen diese unteren Theile voller Cylindergewölbe zu dem Widerlager zu rechnen und wie diese zu behandeln.

Um die Verwendung der Gleichungen (11), (13) und (14) an einem durch die Vorlegeblätter gegebenen Beispiele zu zeigen, bestimmen wir die Schlusssteinhöhe für die schiefe Bahnbrücke, für welche nach Obigem  $s = 14,6^m$ ,

$p = 2,92^m$ ,  $r = 10,585^m$  ist. Hiernach wird zunächst der für  $1 \square^{dm}$  Schlusssteinfläche erlaubte Druck

$$z = 2,6 \cdot 146 + 32,3 \cdot \frac{10,585}{2,92} = 497^k,$$

und sodann, wenn man, wie hier geschieht,  $d = 1,34^m$ ,  $\hat{g} = 2000^k$ ,  $\hat{g}_1 = 1600^k$  pr.  $Kb^m$  und  $\hat{w} = 950^k$  pr.  $\square^m$  setzt, die Schlusssteinhöhe nach Gleichung (13):

$$(\hat{g} - g_1)h^2 + (2r(\hat{g} - \hat{g}_1) + \hat{g}_1 d + \hat{w} - 2z)h + 2r(\hat{g}_1 d + \hat{w}) = 0$$

$$h = 0,8^m.$$

Hätte man Gleichung (14) benützt und zur Correction der dadurch vernachlässigten Unterschiede zwischen  $\hat{g}$  und  $\hat{g}_1$  statt  $\hat{g}_1 = \frac{2000 + 1600}{2} = 1800$  gesetzt, so wäre  $h = 0,75^m$  gefunden worden. —

Die Werthe für  $h$ , welche in der angegebenen Weise für specielle Fälle berechnet werden, lassen sich nunmehr zur Bestimmung des Horizontalschubs  $\hat{H}$  benützen, und es kann alsdann aus Gleichung (12) ein verbesserter Werth für  $h$  erhalten und mit diesem ein Revisionsverfahren durchgeführt werden. —

2) Die Sicherheit gegen Drehen eines zu betrachtenden Gewölbstreifens im Ganzen und in seinen einzelnen Theilen ist, den nöthigen Widerstand vom Widerlager her vorausgesetzt, dann vorhanden, wenn sich eine den gegebenen Verhältnissen entsprechende Drucklinie im mittleren Drittheil desselben finden lässt. In diesem Falle sind nämlich alle einzelnen Steine nur auf Druck beansprucht, ein Bestreben zum Oeffnen der Fugen ist nicht vorhanden, und treten in Folge der stattfindenden Druckwirkungen Verkürzungen im Gewölbstreifen und damit Senkungen im Scheitel ein, so darf man wegen der Pressbarkeit des Materials sogar voraussetzen, dass die hiebei entstehende, neue Mittelkraftcurve einer günstigeren Vertheilung der Druckkräfte über die Vertical- und beziehungsweise Fugenschnitte entspricht.

Die hierher gehörigen Untersuchungen laufen somit lediglich auf die Bestimmung der Mitteldrucklinie hinaus.

Wir zeigen die Construction der Drucklinie überhaupt und speciell an dem auf Blatt E gewählten Beispiele eines segmentbogenförmigen Gewölbes, für welches  $s = 13^m$ ,  $p = 2,6^m$ ,  $d = 2,7^m$ ,  $\hat{w} = 560^k$  pr.  $\square^m$ ,  $\hat{g} = 2000^k$  und  $\hat{g}_1 = 1600^k$  pr.  $Kb^m$  angenommen, und welches mit Rücksicht auf den disponiblen Raum im Maassstabe 1 : 100 dargestellt wurde, wobei wir bemerken wollen, dass zweckmässig hiebei ein grösserer Maassstab, allenfalls 1 : 50, zu Grund gelegt wird.

Aus den gegebenen Stücken erhält man zunächst  $z = 454^k$  pr.  $\square^{dm}$  und aus Gleichung (14), in welcher statt  $\hat{g}_1$   $\frac{\hat{g} + \hat{g}_1}{2} = 1800^k$  pr.  $Kb^m$  eingesetzt wurde,

$$h = 1,20^m \text{ (rd).}$$

Dieselbe Höhe ist im Verticalschnitt durch die Kämpferlinie anzutragen und hieraus die Länge der Kämpferfuge abzuleiten.



Gewölbstreifens ( $\dot{P}$ ) ermittelt und die Hebelarme  $c$  und  $y_0$  (Fig. 6) in Fig. 8 ähnlich wie früher verwendet, um den Horizontalschub  $\dot{H}$  für den angenommenen Angriffs- und Drehpunct aufzufinden.

Mit diesem ist die Drucklinie im Gewölbstreifen von  $a$  bis  $o$  construirt und aus derselben zu entnehmen, dass die geforderte Sicherheit gegen Drehen vorhanden ist.

Wenn man bei einem halbkreisförmigen Gewölbe eine zur Wöblinie concentrische Mittelkraftcurve verlangen wollte, so müsste die letztere am Kämpfer selbstverständlich eine lothrechte Tangente haben. Die Tangente an die Drucklinie entspricht aber nach den seitherigen Betrachtungen der Lage der Mittelkraft an der betrachteten Stelle; es hätte sonach in dem Kräftepolygone der dieser Mittelkraft entsprechende, durch den Pol gelegte Strahl parallel zur Kräftelinie zu sein und es würde somit die Kräftelinie und desshalb auch  $\dot{P}$  selbst unendlich gross werden.

Nach den Beziehungen, welche zwischen dem Kräftepolygone und der Drucklinie bestehen, und welche seither benützt wurden, um die Stabilität eines mit bestimmter Belastung gegebenen Gewölbes zu untersuchen, ist es nunmehr leicht, auch die umgekehrte Aufgabe zu lösen, nämlich zu einer gegebenen Drucklinie diejenigen Belastungen aufzusuchen, welche an einander gereiht werden müssen, damit diese Drucklinie erhalten werden kann.

Wir zeigen die Behandlungsweise an einer halbkreisförmigen Drucklinie (Blatt F, Fig. 6 und 7) und bemerken hiezu, dass einerlei Material und für die dem Scheitel zunächst liegende Lamelle eine bestimmte Belastungshöhe vorausgesetzt wird. Ist die Breite der Lamellen  $m, n, n', p, p, q$  etc. entsprechend und der Einfachheit wegen gleich der Einheit gewählt, die Lage der Schwerlinien der Lamellen 1, 2, 3 ... angegeben und die Proportionale zu dem Gewichte der ersten Lamelle durch die Länge  $A 1$  bestimmt, so zieht man in dem Schnitt der Grenzlinie derselben ( $n n'$ ) mit der Drucklinie den Halbmesser  $n'o$  und nimmt  $oA$  auf der Verticalen  $oa$  durch den Scheitel so, dass die durch  $A$  gelegte Horizontale bis zum Schnitt mit  $n'o$  gleich  $A 1$  wird.

Verbindet man nacheinander  $o$  mit  $p', q', r' \dots$ , so schneiden die Strahlen  $op', oq', or' \dots$  auf der verlängerten Horizontalen  $A 1$  die Proportionale 12, 23 ... zu den Gewichten der Lamellen 2, 3 ... ab.

Nach Gleichung (2) ist

$$\dot{H} = \frac{\dot{P}_x}{\tan \beta_x};$$

$$\text{für } x = 1 : \dot{H} = \frac{\dot{P}_1}{\tan \beta_1}.$$

In letzterer Gleichung ist  $\dot{P}_1$  durch die Proportionale  $A 1$  und  $\beta_1$  durch Winkel  $A o 1$  gegeben, somit durch  $oA$  die Proportionale zu  $\dot{H}$  im gleichen Maassstabe, wie  $A 1$ , zugetragen.

Für  $x = 2$  wird

$$\dot{P}_2 = \dot{H} \tan \beta_2, \text{ und da}$$

$$\beta_2 = \angle A o 2, \text{ so ist}$$

$A 2$  gleich der Proportionalen zu  $\dot{P}_2$  im gewählten Maassstabe und somit die Länge 12 jene zu  $\dot{P}_1$  etc.

Trägt man die Längen  $A 1, 12 \dots$  an die Schwerlinien 1, 2 ... von der gegebenen Drucklinie an aufwärts und verbindet die Endpuncte derselben durch eine stetige Linie, so erhält man eine Belastungscurve. In Fig. 7 wurde die Kräftelinie  $A 12 \dots$  in der bisher gewählten Lage noch besonders beigefügt.

3) Das Gleichgewicht und die Sicherheit gegen Gleiten auf den Lagerflächen der Wölbsteine ist vorhanden, wenn der durch die Reibung gebotene Widerstand gleich oder grösser ist, als diejenige Einwirkung, welche ein Gleiten verursachen kann. Wird mit  $\dot{R}$  die Mittelkraft aller gegen eine Lagerfläche ( $\alpha \beta$ ) von einer Seite her einwirkenden Kräfte, mit  $\varphi$  der Winkel, welchen die Richtung von  $\dot{R}$  mit einer Normalen zur Lagerfläche und mit  $\dot{N}$  der Normaldruck auf dieselbe bezeichnet, so ist nach bekannten Sätzen die Grösse der Reibung ausgedrückt durch

$$\mu \dot{N} = \mu \dot{R} \cos \varphi.$$

Ein Gleiten auf  $\alpha \beta$  wird durch die parallel zur Lagerfläche wirkende Componente von  $\dot{R}$ , nämlich durch

$$\dot{R} \sin \varphi \text{ angestrebt.}$$

Im Gleichgewichtsfalle hat

$$\mu \dot{R} \cos \varphi = \dot{R} \sin \varphi$$

$$\mu = \tan \varphi \text{ zu sein.}$$

Drückt man den Reibungscoefficienten  $\mu$  durch die Tangente des Reibungswinkels  $\psi$  aus, so lautet die Bedingung des Gleichgewichtes

$$\psi = \varphi.$$

Mit Rücksicht auf die sonst gewählte Sicherheit in einer derartigen Construction ist aber zu verlangen, dass

$$\psi \cong \frac{1}{2} \varphi, \text{ und, da der Reibungswinkel im Mittel den}$$

Werth von  $34^\circ$  hat, dass

$$\varphi = 17^\circ \text{ im äussersten Falle wird.}$$

Der Winkel, welchen die Mittelkraft aller von einer Seite her gegen die Lagerfläche wirkenden Kräfte mit der Normalen zu dieser Fläche bildet, soll demnach  $17^\circ$  nicht überschreiten.

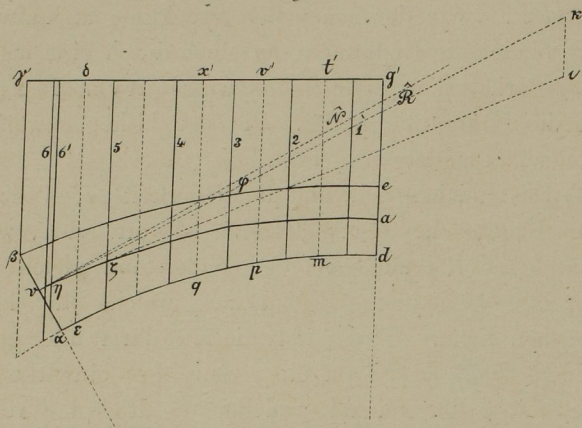
Die Untersuchung dieser für alle Lagerflächen zu stellenden Bedingung geht somit darauf hinaus, die Richtungen der Mittelkräfte gegen dieselben festzustellen. Da seither auf den Fugenschnitt eine Rücksicht nicht genommen wurde, so weicht die vorliegende Aufgabe von den bis jetzt betrachteten einigermassen ab.

Der Lösung dieser Aufgabe für eine Fugenfläche schicken wir die Bemerkung voraus, dass dasjenige Polygon, welches man durch Verbindung der Angriffspuncte der Mittelkräfte gegen die auf einander folgenden Lagerflächen erhält, gewöhnlich als Stützlinie bezeichnet wird, und dass sonach die folgenden Bestimmungen gleichzeitig das Verfahren für die Construction der Stützlinie angeben.



In beistehender Figur e ist ein Theil des auf Blatt E, Fig. 1, dargestellten Gewölbes wieder gegeben und die Grenze der reducirten Lamellen  $g'$ ,  $t'$ ,  $v'$  ... sowie die Drucklinie durch  $a$  bis zur Schwerlinie der Lamelle 5,

Fig. e.



also bis  $\zeta$ , angetragen. Die Richtung der an  $\zeta$  sich anschliessenden Druckpolygonseite ist durch den Strahl  $F5$  (Fig. 3) festgesetzt und durch  $\iota\zeta$  in Fig. e angegeben. Eine Aenderung der Richtung dieses Strahles tritt da ein, wo die Schwerlinie der nächsten Lamelle getroffen wird. Da nun aber mit Bezug auf die Theilung des Gewölbes diese nächste Lamelle  $a\beta\gamma\delta\epsilon$  zu sein hat, so ist zunächst die Schwerlinie derselben, welche in Fig. e mit  $6'$  bezeichnet ist, aufzusuchen. Da die Breite dieser neuen Lamelle im Allgemeinen nicht übereinstimmt mit der ausserdem für die vorhergehenden Lamellen gewählten Basis, so hat man, um eine Proportionale zu dem Gewichte derselben im sonst benützten Maassstabe zu erhalten, die in der Zeichnungstafel liegende Lamellenseite ( $a\beta\gamma\delta\epsilon$ ) auf ein Rechteck von der Basis  $b$  zu reduciren.

Wir übergehen diese einfacheren Aufgaben, setzen also die Lage der Schwerlinie und die Höhe des reducirten Rechteckes als gefunden voraus, und fügen zur Durchführung des Verfahrens für die Bestimmung von  $\hat{R}$  weiter an, dass von dem Schnittpuncte  $\eta$  des Strahles  $\iota\zeta$  mit der Schwerlinie  $6'$  die Grösse der durch Strahl  $F5$  (Fig. 3, Bl. E) repräsentirten Kraft rückwärts durch  $\eta\iota$  und in  $\iota$  der  $v'$  Theil der bestimmten Lamellenhöhe an eine Verticale aufwärts durch  $\iota z$  angetragen wird, und dass nunmehr  $z\eta$  die Grösse und Richtung der gesuchten Mittelkraft vorstellt. Der Schnittpunct  $v$  derselben auf  $a\beta$  ist ein Punct der Stützlinie. Dass Winkel  $\varphi$ , welchen  $\hat{N}$  mit  $\hat{R}$  bildet, in diesem Falle der gestellten Bedingung entspricht, ergibt sich sofort aus der Figur e.

## 2. Unsymmetrisch belastete Gewölbe.

Wir betrachten den allgemeinsten und für die Anwendung wichtigsten Fall, dass nämlich die Auffüllung nicht horizontal abgegrenzt ist, und um hiebei die ungünstigste Stellung der zufälligen Lasten zu berücksich-

tigen, setzen wir voraus, dass dieselben nur auf der durch das Eigengewicht stärker beanspruchten Gewölbhälfte aufgebracht und auf dieser bis zur Brückenmitte vorgertickt seien.

Auf Blatt F, Fig. 1, ist ein derartig belastetes Gewölbe im Maassstabe 1:100 dargestellt, dessen Spannweite  $s = 13$  m, Pfeilhöhe  $p = 2,6$  m, Constructionsdicke im Scheitel  $d = 2,7$  m, wie bei dem auf Blatt E (Fig. 1) betrachteten Gewölbe, gegeben ist. Die obere Abgrenzung hat eine Neigung von 4%, die Verkehrslast ( $\hat{w}$ ) beträgt pr.  $\square^m$  560<sup>k</sup>, das Gewicht des Gewölbmauerwerks  $\hat{g} = 2000$ <sup>k</sup> und das des Füllmaterials  $\hat{g}_1 = 1600$ <sup>k</sup> pr.  $\text{Kb}^m$ . Auf der rechten Seite von der Verticalen  $MM$  durch den Scheitel ist für den zu untersuchenden Streifen von der Tiefe gleich der Einheit über der Fahrbahn eine Schichte Füllmaterial von 0,35 m Höhe aufgelegt, welche der zufälligen Belastung entspricht.

Es ist leicht ersichtlich, dass die Bestimmung der Gewölbstärke und die Untersuchung bezüglich der Sicherheit gegen Gleiten der Wölbsteine an einander ganz in derselben Weise durchzuführen ist, wie beim symmetrisch belasteten Gewölbe, und dass demnach für unsymmetrische Belastung nur die Sicherheit gegen Drehen oder mit anderen Worten die Construction der Drucklinie besonders in Betracht kommt. Diese allein ist somit im Nachfolgenden anzugeben.

Man theilt hiezu einen ganzen Gewölbstreifen von dem Scheitel aus in die gleich breiten Lamellen 1, 2, 3 ... und 1', 2', 3' ..., wählt jedoch die Breite derselben so, dass aus später zu entnehmenden Gründen die Schwerlinien der äussersten Lamellen die Punkte  $b$  und  $b'$  enthalten. Der links und beziehungsweise rechts von der letzten Lamellengrenze befindliche Theil über der Kämpferfuge wird dem Widerlager zugerechnet. Man reducirt sodann nach Fig. 2 die Erdbelastung auf Steinbelastung und erhält die Grenze der reducirten Lamellen in  $g's'$  für die linke und in  $g''s''$  für die rechte Seite. Trägt man die gleichen aliquoten, hier die vierten, Theile (nach Fig. 3 und 4) der Schwerlinien der Lamellen und zwar für die linkseitige Gewölbhälfte von einem Punkte  $C$  aus nach einander abwärts an eine Verticale an und für die rechtseitige Gewölbhälfte aufwärts, so ist  $C8$  eine Proportionale zu dem Gewichte  $\hat{P}$  der linken und  $C8'$  eine Proportionale zu dem Gewichte  $\hat{S}$  der rechten Gewölbhälfte, während die ganze Länge  $8C8'$  das Gewicht  $\hat{Q}$  des ganzen Gewölbstreifens repräsentirt. Der Kürze wegen mögen diese und ähnliche, bestimmte Kräfte vorstellende Linien, wie früher, gleich diesen Kräften selbst gesetzt werden.

Durch  $C$  legt man eine Horizontale und zieht durch  $F$  ihr einen beliebigen Horizontalschub  $CF$ ; zieht durch  $F$  die Pol  $F$  die Strahlen  $F1, F2 \dots F1', F2' \dots$ , welche in der Figur theilweise punctirt angegeben sind; verlängert in Fig. 1 die Verticale durch den Scheitel bis zu einem unterhalb von diesem beliebig gewählten Punkte  $G$ , und



ebenso alle Schwerlinien 1, 2... 1', 2'...; construirt sodann, analog dem für das symmetrisch belastete Gewölbe angegebenen Verfahren, die Drucklinie GN und GN', so erhält man in dem Schnittpuncte J der äussersten Polygonseiten einen Punct der Schwerlinie des ganzen Gewölbstreifens und somit auch die Lage von Q; ebenso findet man aber in dem Schnitte (K) der Horizontalen durch G mit der durch N gezogenen, äussersten Druckpolygonseite einen Punct für P und in ähnlicher Weise in dem Schnittpuncte K' einen Punct für S, so dass also die Lage von P und S gleichfalls bekannt ist.

Nachdem die Grösse des Gewichtes Q durch die Kräfte- linie und die Lage von Q durch die Drucklinie bestimmt ist, kommt es zunächst darauf an, Q in zwei verticale Componenten, deren Angriffspuncte in den Verticalen durch N und N' gelegen sein sollen, zu zerlegen. Sind diese gefunden, so stellen sie, in umgekehrter Richtung angebracht, offenbar diejenigen verticalen Auflagerreactionen vor, welche der Bedingung genügen, dass die Summe der verticalen Kräfte im Gleichgewichtsfalle gleich Null zu sein hat.

Zieht man aber die Schlusslinie NN' des Polygons NGN' und durch den Pol F eine Parallele zu NN' bis zum Schnitt U mit der Kräftelinie (Fig. 4), so gibt die Länge U8 die gesuchte Componente in N und die Länge U8', die Componente in N'.

Bezeichnet man nämlich mit N und N' diese Componenten in N und N', ist L der Schnittpunct der Schwerlinie Q mit der Schlusslinie NN' und LN = a, LN' = b, so hat

$$\begin{aligned} N + N' &= Q \dots\dots (1) \\ N a &= N' b \dots\dots (2), \text{ also auch} \\ N &= \frac{Q b}{a + b} \dots\dots (3) \text{ und} \\ N' &= \frac{Q a}{a + b} \dots\dots (4) \text{ zu sein.} \end{aligned}$$

Da nach der Construction  $\triangle LJN \sim \triangle U8F$  und  $\triangle LJN' \sim \triangle U8'F$ , so verhält sich:

$$\begin{aligned} JL : U8 &= a : FU \\ JL : U8' &= b : FU, \text{ und hieraus} \\ U8' : U8 &= a : b \\ U8' &= \frac{U8 \cdot a}{b}. \end{aligned}$$

Nach Obigem ist:

$$\begin{aligned} U8 + U8' &= Q, \text{ und somit} \\ U8 &= \frac{Q b}{a + b} \dots\dots (5), \text{ und} \\ U8' &= \frac{Q a}{a + b} \dots\dots (6) \end{aligned}$$

Nach Gleichung (3) und (5) ist desshalb auch

$$U8 = N, \text{ und}$$

nach Gleichung (4) und (6)

$$U8' = N'.$$

Es werden somit durch die in F zur Schlusslinie NN'

angetragene Parallele die verticalen Auflagerreactionen A und B auf der Kräftelinie abgeschnitten.

Aus letzterer ist zu entnehmen, dass

$$\hat{A} > \hat{P} \text{ und } \hat{B} < \hat{S}.$$

Nach den Gleichgewichtsbedingungen und nach Fig. 4 ist ferner:

$$\hat{A} + \hat{B} = \hat{P} + \hat{S} \dots\dots (7)$$

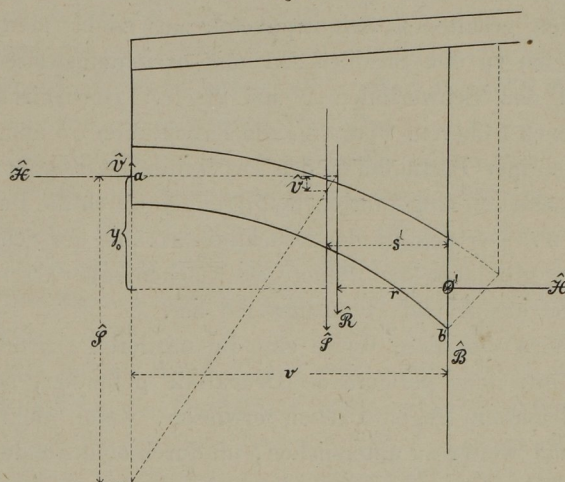
Führt man im Scheitel einen Verticalschnitt und betrachtet die linkseitige Gewölbhälfte, so hat im Falle des Gleichgewichtes:

$$\hat{A} = \hat{P} + \hat{V} \dots\dots (8), \text{ und}$$

für die rechtseitige Gewölbhälfte

$$\hat{B} = \hat{S} - \hat{V} \dots\dots (9) \text{ zu sein.}$$

Fig. f.



Die Grösse der Vertikalkraft V, welche im betrachteten Schnitte vorhanden ist, wird in der Kräftelinie durch CU in demselben Maassstabe wie die übrigen Kräfte repräsentirt.

Ausser Gleichung (9) haben im Gleichgewichtsfalle für den rechtseitigen Gewölbstreifen, welcher in beistehender Figur f dargestellt sein soll, die Relationen:

$$\hat{H} = \hat{H} \dots\dots (10) \text{ und für den ange-}$$

nommenen Drehpunct o' und Angriffspunct a:

$$\hat{H} y_o = \hat{S} s' - \hat{V} v \dots\dots (11)$$

zu gelten, wenn s' und v die Hebelarme von S und V bezüglich des Punctes o' sind, und wenn die beim symmetrisch belasteten Gewölbe als selbstverständlich anzusehende Voraussetzung, dass die Schlusslinie der Mittelkraftcurve horizontal ist und somit die correspondirenden Drehpuncte o und o' in gleicher Höhe liegen, auch hier gemacht wird. Der Drehpunct o' und der Angriffspunct a ist aber, um überhaupt eine entsprechende Drucklinie erhalten zu können, im mittleren Drittel des Bogens anzunehmen.

Setzt man die beiden verticalen Kräfte S und V (nach Fig. 1 und f) zu einer Mittelkraft R zusammen, deren Grösse durch  $U8' = \hat{B}$  in der Kräftelinie schon angegeben ist, und deren Lage sehr einfach gefunden wird, bezeichnet man mit r den Hebelarm von R bezüglich o', so vereinfacht sich Gleichung (11) in

$$\hat{H} y_o = \hat{R} r \dots\dots (12)$$



$\hat{H}$  wird nun ganz in ähnlicher Weise, wie früher, gefunden, indem man durch U (Fig. 4) eine Horizontale zieht, auf dieser die Länge  $UW = r$  und von U aus aufwärts auf der Verticalen die Länge  $TU = y_0$  abträgt, und zu WT die Parallele  $E8'$  durch  $8'$  legt, bis diese die verlängerte Horizontale  $UW$  in E schneidet.

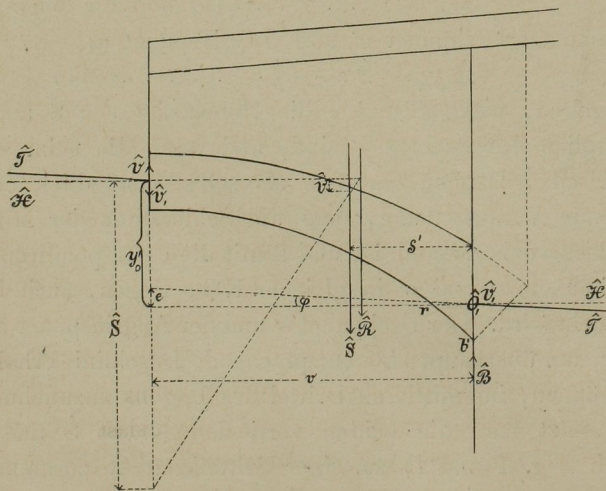
Aus der Aehnlichkeit der Dreiecke  $UWT$  und  $UE8'$  folgt, dass mit der Länge  $UE$  der Horizontalschub  $\hat{H}$  für die Punkte  $o'$  und  $a$  in dem gewählten Kräftemaassstabe erhalten wurde.

Verbindet man E mit C (Fig. 4), so stellt der Strahl EC die Mittelkraft aus  $\hat{H}$  und  $\hat{V}$  vor.

Zu demselben zieht man nunmehr in Fig. 1 die Parallele durch a bis zum Schnitt mit Schwerlinie 1 und 1'; von den erhaltenen Schnittpunkten aus zieht man die Parallelen zu den Strahlen E1 und beziehungsweise E1' bis zu den Schwerlinien 2 und 2' etc.; construirt also ganz nach früherem Vorgange die Drucklinien  $ao$  und  $ao'$ . Bei richtiger Bestimmung der Drucklinie  $oao'$  geht dieselbe nach den eingeführten Bedingungen durch die Punkte  $o$  und  $o'$ . Der Schnitt der Drucklinie  $ao$  mit der Schwerlinie 8 gibt aber den Punkt, an welchem die Gesamtreaction aus  $\hat{A}$  und  $\hat{H}$  anzugreifen hat.

Wird auf diese Weise eine im mittleren Drittel des Gewölbstreifens verlaufende Drucklinie gefunden, so ist die Sicherheit gegen Drehen erwiesen, wenn nicht, so hat man weiter zu untersuchen, ob durch eine Aenderung in der Annahme der Höhenlage der Drehpunkte  $o$  eine entsprechende Drucklinie erhalten werden kann. Wie aus einfachen Erwägungen zu entnehmen, wird, wenn überhaupt eine den zu stellenden Anforderungen entsprechende Drucklinie aufgefunden werden kann, der Punkt  $o_2$  höher als  $o_1$  (Fig. 1) liegen müssen. Nimmt man nun die durch  $o_1$  und  $o_2$  bestimmte Schlusslinie der Mittelkraftcurve im

Fig. g.



Voraus an und betrachtet wieder den rechtseitigen, ins freie Gleichgewicht gesetzten Gewölbstreifen, so wird nach Fig. g, wenn die ausser  $\hat{S}$ ,  $\hat{V}$  und  $\hat{B}$  einwirkenden Kräfte  $\hat{T}$  (in der Verticalen durch den Scheitel und durch  $b'$ ) in

die horizontalen Componenten  $\hat{H}$  und in die verticalen Componenten  $\hat{V}$ , zerlegt werden,

$$\begin{aligned} \hat{H} &= \hat{H}, \\ \hat{B} &= \hat{S} - \hat{V} + \hat{V}, - \hat{V}, = \hat{S} - \hat{V} \text{ und} \\ \hat{H}y'_0 &= \hat{S}s' - \hat{V}v + \hat{V}, v. \dots \dots (13) \end{aligned}$$

Nach Figur g ist  $\frac{\hat{V}}{\hat{H}} = \text{tang } \varphi = \frac{e}{v}$ , und somit

$$\hat{H}(y'_0 - e) = \hat{R}r. \dots \dots (14)$$

Trägt man aus Figur 1 die Länge  $y'_0 - e$  in der Kräftelinie von U aus aufwärts durch  $T'U$  an, verbindet  $T'$  mit W und zieht durch  $8'$  die Parallele zu  $T'W$ , so schneidet letztere den gesuchten Horizontalschub ( $E'U$ ) auf der verlängerten Horizontalen  $UW$  ab.

Durch  $E'$  legt man eine Verticale, zieht durch U eine Parallele zur Schlusslinie  $o_1o_2$  bis zum Schnitt  $E''$  mit der eben genannten Verticalen und erhält zunächst durch  $E'E''$  den Werth  $\hat{V}$ , im gewählten Maassstabe, durch  $E''U$  die Mittelkraft  $\hat{T}$  aus  $\hat{H}$  und  $\hat{V}$ , und durch  $E''C$  die Resultirende aus  $\hat{T}$  und  $\hat{V}$ . Zu letzterer legt man durch den Angriffspunct a eine Parallele bis zum Schnitt mit den Schwerlinien 1 und 1'; zieht sodann durch den neuen Pol  $E''$  die Strahlen  $E''1$ ,  $E''1'$ ,  $E''2$ ,  $E''2'$  ... und zu diesen nacheinander die Parallelen ganz nach früherem Vorgange, um die Drucklinie zu construiren, und erhält dieselbe in der durch Figur 1 mit punctirten Linien hinreichend deutlich angegebenen Weise.

Es ist nunmehr sofort ersichtlich, dass bei der gewählten Lamelleneintheilung, ohne die Auflagerreactionen  $\hat{A}$  und  $\hat{B}$  neuerdings aufsuchen zu müssen, alle möglichen Drucklinien eingetragen werden können.

b) Das Widerlager eines Brückengewölbes pflegt man in der Art herzustellen, dass es für sich sowohl dem Horizontalschub des Gewölbes als dem Druck der hinter ihm liegenden Erdmasse genügend widerstehen kann.

Ist demnach ein Widerlager sehr hoch und der Erd- druck über den Horizontalschub vorherrschend, so bestimmt man die Dicke des Widerlagers wie die einer Stützmauer, wobei man der Sicherheit halber den Horizontalschub gar nicht in Anschlag bringt; ist dagegen die Einwirkung des Gewölbes grösser als die der Erdmasse, so bestimmt man die Widerlagsdicke so, als ob diese Masse gar nicht vorhanden wäre, damit bei einer allenfallsigen Hinterspülung der Widerlager diese dem Gewölbschub noch hinreichenden Widerstand leisten können.

Um aber in dem letzteren, nunmehr näher zu betrachtenden Falle die Ungenauigkeiten in der Ausführung und sonstige ungünstige Vorkommnisse zu berücksichtigen, bringt man dadurch einen höheren, den übrigen Verhältnissen angepassten Sicherheitsgrad in die Widerlager- construction, dass man verlangt, dieselbe solle dem  $\nu$ -fachen Horizontalschub noch gewachsen sein, und dass also durch die angreifenden Kräfte nur der  $\nu^{\text{te}}$  Theil des Widerstands- vermögens in Anspruch genommen wird.



Der Coefficient  $\nu$  wird zwischen 1,5 und 2 und somit 1,5 bis 2fache Sicherheit genommen.

Die Widerlager werden im Wesentlichen entweder als Mauern mit horizontalen Lagerflächen oder als Fortsetzungen der Gewölbe so hergestellt, dass die Lagerflächen der Steine senkrecht zur Drucklinie gestellt werden, und um hiebei die günstigste Druckvertheilung auf dieselben zu erhalten, hat die Drucklinie durch den Schwerpunkt der Lagerflächen zu gehen und ihre Breite ist so festzusetzen, dass die Flächeneinheit über die im Gewölbe angenommene, zulässige Druckspannung ( $\hat{H}$ ) hinaus nicht beansprucht wird.

Bei Widerlagern mit horizontalen Lagerflächen ist zu untersuchen, ob die verlangte Sicherheit gegen Verschieben auf der in dieser Beziehung im Allgemeinen meist gefährdeten Lagerfläche, auf welcher die Kämpferschicht aufruht, und sodann ob diese Sicherheit gegen Drehen um eine horizontale Axe im ungünstigsten Falle vorhanden ist.

Wir zeigen diese beiden Untersuchungen an dem auf Blatt E (Fig. 1) gewählten Beispiele. Die Grösse des Horizontalschubs in  $o$  ist auf Seite 48 bereits berechnet, nämlich  $\hat{H} = 58520^k$ . Das Gewicht des halben Gewölbstreifens ist:

$$\begin{aligned} \hat{P} &= 0,95 \cdot CD \cdot 4 \cdot 2000 \\ &= 0,95 \cdot 7,12 \cdot 4 \cdot 2000 = 54112^k. \end{aligned}$$

Soll 1,5fache Sicherheit gegen Verschieben auf der Lagerfläche  $ST$  vorhanden sein, wird ferner als Widerstand gegen Verschieben ausschliesslich die Reibung in Rechnung gebracht und von der Adhäsion des Bindemittels an den Steinen abgesehen, so hat man die Bedingungsgleichung:

$$1,5 \cdot \hat{H} = \mu \cdot \hat{N},$$

wenn  $\mu$  den Reibungscoefficienten von Stein auf Stein mit einer Zwischenlage von Mörtel und  $\hat{N}$  den Normaldruck auf die Lagerfläche  $ST$  bezeichnet. Es ist aber bei Vernachlässigung des Prisma's  $TUcb$ :

$$\hat{N} = \hat{P} + 5,05 \cdot 3,5 \cdot 1 \cdot 2000,$$

wobei letzterer Werth das Gewicht des Prisma's  $V S U f$  (Fig. 1) vorstellt,

$$\hat{N} = 54112 + 35350 = 89462^k.$$

Nach den Versuchen von Morin ist  $\mu$  in dem vorliegenden Falle nach kurzer Zeit (10—15 Minuten) der Berührung und bei Verwendung von hydraulischem Mörtel mit einem mittleren Werthe von 0,70 einzusetzen. Daher wird:

$$\mu \cdot \hat{N} = 62623^k.$$

Die Grösse des anzusetzenden Angriffes, nämlich  $1,5 \hat{H}$  ist aber  $87780^k$ .

Es gibt nun, wenn horizontale Lagerflächen beibehalten werden sollen, verschiedene Mittel, um die aufgestellte Bedingungsgleichung zu befriedigen. Das nächstliegende besteht darin, die Erhärtung des Bindemittels abzuwarten und erst nach dieser Zeit das Gewölbe her-

stellen zu lassen. In diesem Falle kann jedenfalls ausser der Reibung die Adhäsion des Bindemittels an den Steinen als Widerstand in Berechnung gezogen werden. Da nämlich seither Versuche über den Gesamtwiderstand, welcher unter verschiedenen Belastungsverhältnissen und bei verschiedener Art und Dauer der Zusammensetzung von Steinmaterialien geleistet wird, fehlen, erübrigt nichts Anderes, als in der angedeuteten Weise vorzugehen.

Nach den Versuchen des Herrn Professor Bauschinger beträgt die Adhäsion für Schub bei Backsteinen, welche mit Cementmörtel (von 1 Theil Cement und 2 Theilen Sand) verbunden sind, nach 30tägiger Erhärtung  $5^k$  pr.  $\square^{cm}$ . Nimmt man  $\frac{1}{10}$  dieses Werthes als zulässigen Angriff, so wird der durch die ganze Lagerfläche von der Breite  $ST = 4,8^m$  und der Tiefe  $= 1^m$  geleistete Adhäsionswiderstand  $4,8 \cdot 5000 = 24000^k$ . Reibung und zulässiger Adhäsionswiderstand zusammen ergeben nunmehr  $86623^k$ , also nahehin die geforderte Sicherheit.

Ein zweites Mittel, den nöthigen Widerstand ohne Zurechnung der Adhäsion zu erhalten, bestünde darin, die Breite  $ST$  der horizontalen Lagerfläche zu vergrössern, weil hiedurch das aufliegende Steinprisma und somit auch der Normaldruck und mit diesem die Reibung vergrössert würde.

Ein drittes Mittel bilden eingestellte höhere Steine, durch welche die Lagerfläche stellenweise unterbrochen, das hiezu verwendete Material aber bei zweckmässiger Anordnung auf Abscheeren angegriffen wird. Bei der Einfachheit solcher Anordnungen genügt es, dieselben zu erwähnen; ausserdem ist die Art der Verwendung solcher Steine in Fig. 1 des Blattes E und in Fig. 4 auf Blatt 5 angedeutet.

Bei der besprochenen Untersuchung der Sicherheit gegen Gleiten wurde eine bestimmte Breite  $ST$  des Widerlagers vorausgesetzt. Diese Breite ist aber aus der meist den Ausschlag gebenden, zweiten Forderung nach Fig. 1, Blatt E, abgeleitet, dass  $1\frac{1}{2}$ fache Sicherheit gegen Drehen vorhanden sein soll.

Bei hinreichendem Zusammenhange des Mauerwerkes wird ein Umkanten des Widerlagers nur um die Axe  $A$  zu befürchten sein, da hiebei das Moment von  $\hat{H}$  seinen grössten Werth erreicht. Der verlangten Sicherheit gegen Drehen wird offenbar dann genügt, wenn die vom Kämpfer aus mit  $1,5$ fachem Horizontalschub ( $\hat{H}$ ) construirte Drucklinie diese Axe schneidet, oder das Fundament innerhalb  $AB$  trifft. Zur Construction der Drucklinie setzt man für die gleiche Basis die Lamellentheilung nach Fig. 1 fort, reducirt die Erdauffüllung und Verkehrslast auf Steinbelastung, trägt die gleichen aliquoten Theile der Schwerlinien anschliessend an die Kräftelinie für das Gewölbe (Fig. 3) an, nämlich  $8-8'$  für die auf die Basis  $b$  reducirte Lamelle unterhalb der Kämpferfuge  $bc$ , ferner  $8'-9$ ,  $9-10$ ,  $10-11$  etc.; trägt von  $C$  aus den  $1,5$ fachen Horizontalschub  $CF'$  an; zieht durch  $O$  die Parallele zu  $F'8'$



bis zum Schnitt mit Schwerlinie 9; von dem Schnittpuncte aus eine Parallele zum Strahl F'9 etc. Diese mit 1,5fachem Horizontalschub construirte Drucklinie schneidet auf der Fundamentoberfläche die erforderliche Breite für die verlangte Sicherheit gegen Drehen ab.

Werden die Lagerflächen senkrecht zur Drucklinie im Widerlager gestellt, wie dies nach Fig. 6 und 8 (Blatt E) geschehen ist, so construirte man die Drucklinie mit einfachem Horizontalschub vom Kämpfer und beziehungsweise von einer unter  $30^\circ$  zum Horizonte geneigten Fuge an weiter, und zieht hiezu (Fig. 6) durch 0 die Parallele zu dem Strahl H6 bis zum Schnitt n mit Schwerlinie 7, durch n die Parallele zu H7' bis zum Schnitt m mit Schwerlinie 8 etc.

Die Länge 7—7' entspricht dem Gewichte der Lamelle 7 unterhalb der Grenze 0'0'', die Länge 7'8 dem Gewichte der Lamelle 8 von p bis s. Die Lagerflächen werden sodann auf die so erhaltene Drucklinie senkrecht gestellt oder so angeordnet, dass sie höchstens um den halben, mittleren Reibungswinkel ( $17^\circ$ ) von dieser Stellung abweichen. Zweckmässig wird eine ähnliche Anordnung im Fundamente beibehalten; soll aber eine horizontale Fundamentoberfläche gewählt werden, so dass also die Drucklinie im Allgemeinen einen grösseren Winkel als  $17^\circ$  mit ihr bildet, so hat man zu untersuchen, ob Sicherheit gegen Verschieben vorhanden ist. Die Breite der Lagerflächen ist nach der oben angegebenen Forderung zu bestimmen und gemäss dieser eine bestmögliche Druckvertheilung über dieselben anzustreben.

Je nach den besonderen Verhältnissen wird der auf diese Art bestimmten Widerlagerstärke ein Zuschlag gegeben und dieser allenfalls dadurch erhalten, dass man verlangt, die mit  $1\frac{1}{2}$ fachem Horizontalschub und mit denselben Lamellengewichten construirte Drucklinie solle die nöthige Breite auf der Fundamentoberfläche abschneiden.

Auf diese Art wurde für das segmentbogenförmige Gewölbe, Fig. 1, Blatt E, eine Widerlagerstärke von  $5,2^m$  und für das halbkreisförmige Gewölbe, Fig. 6, eine solche von  $3,8^m$  erhalten.

e) Die Dicke der steinernen Brückenpfeiler ist mit Rücksicht auf statische, hydrotechnische und ästhetische Anforderungen zu bestimmen. In ersterer Beziehung hat man zu unterscheiden, ob der Horizontalschub der beiden sich gegen den Pfeiler lehnenen Gewölbhälften gleich gross ist, und demnach auf denselben lediglich ein Verticaldruck einwirkt, welcher aus dem Gewichte zweier Gewölbhälften und ihrer Belastung, sowie aus dem Eigengewichte des Pfeilers besteht, oder ob bei verschiedenem Horizontalschub gegen denselben ein schräger Druck vorhanden ist.

Bezeichnet im ersten Falle

$\dot{Q}$  den von den beiden Gewölbhälften herrührenden und aus den Kräftelinien leicht abzuleitenden Verticaldruck auf einen Pfeilerstreifen von der Länge 1,

h, die Höhe des Pfeilers von der Sockelschichte bis zur Kämpferlinie,

d, dessen gleich bleibende Dicke auf die Höhe h,, endlich  $\beta$  die auf die Dauer zulässige Belastung der Flächeneinheit des verwendeten Steinmaterials,

so hat offenbar

$$\beta \cdot 1 \cdot d = \dot{Q} + h, d, \dot{g}, \text{ und deshalb}$$

$$d = \frac{\dot{Q}}{\beta - \dot{g}h}$$

zu sein.

Beträgt nach dem auf Blatt E, Fig. 1, gegebenen Beispiele das Gewicht eines halben Gewölbes nebst seiner ständigen und zufälligen Belastung auf die Länge von  $1^m$  im Ganzen rd.  $54000^k$ , so ist  $\dot{Q} = 108000^k$ ; ist nun ferner  $h = 9^m$ ,  $\dot{g} = 2000^k$  pr.  $Kb^m$  und  $\beta = 70000^k$  pr.  $\square^m$ , so wird:

$$d = \frac{108000}{70000 - 18000} = 2,1^m \text{ rd.}$$

Ist im zweiten Falle  $\dot{H}$ , die Differenz der beiderseitigen Horizontalkräfte, so muss die nöthige Sicherheit gegen Verschieben der Kämpferschichte vorhanden sein, und ausserdem ist zu verlangen, dass die Mittelkraft aller gegen die Fundamentoberfläche des Pfeilers gerichteten Einwirkungen im mittleren Drittel der Pfeilerbreite gelegen ist und die Flächeneinheit des Materiales über die zulässige Grenze hinaus mit Berücksichtigung der Druckvertheilung nicht angestrengt wird. — Um den ästhetischen Anforderungen zu genügen, macht man die Dicke steinerner Brückenpfeiler nicht geringer als  $\frac{1}{9}$  der Spannweite und mit Rücksicht auf hydrotechnische Verhältnisse nicht leicht kleiner als 1,5 Meter. —

Blatt 6.

### Gurtgesimse, Geländer.

Die Gurtgesimse sollen das Regenwasser von den Stirnflächen der Brücke abhalten und denselben einen passenden architektonischen Abschluss geben. Man macht sie daher um so höher, je höher die Brücke ist, und lässt sie um den Betrag dieser Höhe oder etwas weniger über die Stirnflächen vorspringen. Die Gliederung ihrer Profile muss einfach, bestimmt, kräftig und der Bauart der Brücke angemessen sein; der Uebergang von der grössten zur kleinsten Ausladung soll nicht zu rasch erfolgen, aber auch nicht durch viele, kleinlich aussehende Zwischenglieder bewirkt werden. Wo es die Brückenbauart und die vorhandenen Geldmittel gestatten, kann man unter dem Gurtgesimse einfache Verzierungen, wie sie die Figuren 2, 5, 6, 7, 8 zeigen, in Hausteinen oder Ziegeln anbringen.

Da die Geländer zum Schutze der auf der Brücke sich bewegenden Personen und Fuhrwerke bestimmt sind, so müssen sie eine diesem Zwecke entsprechende Höhe und Widerstandsfähigkeit, demnach eine hinreichende



Dicke erhalten. Auf Eisenbahn-Brücken, wo nur wenige Personen zu gehen haben, aber ausspringenden Wägen ein Widerstand gegen das Abstürzen geboten werden soll, wird häufig die Dicke des Geländers grösser als seine Höhe gemacht (Fig. 2); manchmal überträgt man diesen Widerstand den Gurtgesimsen, indem man sie über die Planhöhe legt (eo, Fig. 9 und 10); in den meisten Fällen aber werden die Geländer der Bahn- und Wegbrücken gleich behandelt. Die Aussenseite des Geländers fällt in der Regel mit der Stirnfläche der Brücke in eine Ebene; eine Ausnahme hiervon, wie sie auf Blatt 2 vorkommt, erklärt die hierüber auf S. 37 gemachte Bemerkung.

### Lehrgerüste.

Ein Brückengewölbe kann nur über einem Gerüste ausgeführt werden, welches die Wölbesteine so lange unterstützt, bis sie nach eingetretenem Gewölbschlusse sich selber tragen können. Dergleichen Gerüste heissen Lehrgerüste und bestehen aus lothrechten Rippen oder Lehrbögen, die unter sich zu einem festen Ganzen verbunden und oben mit Schalhölzern überdeckt sind, welche die Leibungsfläche des Gewölbes darstellen. Man unterscheidet zwei Arten von Lehrgerüsten: gestützte, welche zwischen den Widerlagern mehrere Stützpunkte haben, und gesprengte, welche nur in den Widerlagern oder Pfeilern ihre Unterstützung finden.

Es ist leicht einzusehen, dass beide Arten der Lehrgerüste ganz verschieden auf die Widerlager oder Pfeiler wirken: die gestützten Gerüste werden gar keinen oder doch nur sehr geringen Druck auf die Mauermassen ausüben, während die gesprengten Lehrgerüste gerade so, wie die Gewölbe selbst, auf ihre Unterlagen drücken. Dieser Umstand ist bei der Wahl der Constructionsweise eines Lehrgerüstes sehr wohl zu beachten. Denn während nach Wegnahme der gestützten Lehrgerüste die Widerlager und Pfeiler auf einmal stark belastet werden, empfangen sie bei gesprengten Lehrgerüsten diese Belastung nach und nach; es wird somit das Setzen der Gewölbe in dem letzteren Falle viel gleichmässiger vor sich gehen als in dem ersteren, was für die Festigkeit des Gewölbes von grossem Belange ist.

Sei nun das Lehrgerüste ein gestütztes oder ein gesprengtes; so soll es doch stets folgende allgemeine Anforderungen erfüllen:

1) Es soll das ganze Gewölbe bis zur Ausrüstung mit Sicherheit tragen, ohne sich zu setzen oder einzubiegen und ohne zu viel Material in Anspruch zu nehmen.

2) Die Belastungen seiner Schenkel mit den nach und nach zu versetzenden Wölbschichten sollen die Form der Lehrbögen nicht verändern.

3) Seine Einrichtung soll so sein, dass es sich, ohne ein plötzliches Setzen des Gewölbes hervorzurufen, wegnehmen und entweder als Ganzes oder in seinen Theilen wieder verwenden lässt.

4) Es soll den Verkehr auf dem zu überbrückenden Wege oder Flusse nicht hemmen und in letzterem keine starke Stauung bewirken.

Da sich die Gewölbe nach ihrer Ausrüstung erfahrungsgemäss immer setzen, so werden die Lehrgerüste um so viel, als die wahrscheinliche Senkung beträgt, überhöht. Auf theoretischem Wege lässt sich für diese Senkung kein Ausdruck finden, da dieselbe von zu vielen Einflüssen abhängig ist, wesshalb man sich mit Mittelwerthen begnügt, die auf Beobachtungen beruhen. Solche Werthe sind, wenn  $t$  die wahrscheinliche Senkung,  $s$  die Spannweite des Gewölbes und  $p$  dessen Pfeilhöhe bezeichnet,

1) für gut ausgeführte gestützte Lehrgerüste:

$$t = \frac{1}{200} (s - p), \text{ und}$$

2) für gut angeordnete gesprengte Lehrgerüste:

$$t = \frac{1}{100} (s - p).$$

Damit ein Lehrgerüste die nöthige Festigkeit ohne zu grossen Materialaufwand erlangt, müssen die Dimensionen seiner Bestandtheile nach den auf sie wirkenden Pressungen bestimmt werden. Man muss demnach diese Drücke zu berechnen im Stande sein und beurtheilen können, in welcher Weise sie sich von dem Kranze aus auf die übrigen tragenden Theile des Gerüstes fortpflanzen. Für den vorliegenden Zweck genügt es, Folgendes anzuführen:

1) Der senkrechte Druck, den eine Wölbschichte auf das Schalholz ausübt, ändert sich mit der Zunahme der Wölbung. Er ist für eine und dieselbe Schichte am grössten, wenn auf dieser Schichte noch keine andere liegt; sobald neue Schichten hinzukommen, wird der Druck der ersteren kleiner.

2) Der Sicherheit halber bestimmt man für jede Stelle des Lehrbogens den grössten Druck, den derselbe auszuhalten hat, wobei man annimmt, dass an dieser Stelle eine folgende Schichte noch nicht aufgelegt sei.

3) Wird die Reibung der Wölbesteine auf ihrer Unterlage, wodurch sich der senkrechte Druck derselben gegen das Lehrgerüste etwas vermindert, vernachlässigt, so findet man die Pressung  $\hat{D}_v$  der  $v^{\text{ten}}$  Wölbschichte von dem Gewichte  $\hat{P}_v$ , deren unteres Lager mit dem Lothe den Winkel  $\varphi_v$  bildet, aus der Gleichung  $\hat{D}_v = \hat{P}_v \cos \varphi_v$ .

4) Will man nun wissen, wie gross der Gesamtdruck auf ein Kranzstück ist, auf dessen Enden die  $v^{\text{te}}$  und  $\mu^{\text{te}}$  Schichte treffen, so ist derselbe offenbar gleich der Summe aller  $\hat{D}$  von  $\hat{D}_v$  bis  $\hat{D}_\mu$ .

5) Diesen Druck betrachtet man bei der Berechnung der Lehrgerüste als eine über das Kranzstück gleichmässig vertheilte Last, und darnach bestimmt man die Stärke desselben.

6) Aus den Pressungen, welche das Kranzstück auf seine Stützen ausübt, ergeben sich deren Dimensionen, indem man für den Fall, dass diese Stützen nicht einfache Hölzer, sondern Häng- oder Sprengwerke sind, jene



Pressungen nach den Gesetzen der Statik zerlegt und die so gefundenen Seitenkräfte mit der zulässigen Annahme des Materials in bekannte mathematische Beziehungen bringt.

Lehrgerüste werden vorzugsweise aus Holz unter Verwendung von eisernen Verbindungstheilen, in neuerer Zeit aber auch aus Eisen hergestellt. Da übrigens in Anbetracht der grösseren Herstellungskosten, welche eiserne Lehrgerüste erfordern, und wegen des Umstandes, dass bei einer wiederholten Verwendung derselben meist grössere Abänderungen nothwendig werden, ihre allgemeinere Anwendung in Frage steht, so wurde in den Blättern 7—9 nur die Construction hölzerner Lehrgerüste berücksichtigt, was besonders noch dadurch gerechtfertigt erscheint, dass die seither ausgeführten eisernen Lehrgerüste den hölzernen nachgebildet sind.

Auf den Blättern 7, 8 und 9 ist die Anordnung mehrerer gestützter und gesprengter Lehrgerüste in den zur Bestimmung aller Theile erforderlichen Projectionen gegeben.

#### Blatt 7.

#### Gestützte Lehrgerüste.

Die Figuren 1 bis 3 stellen eines der gestützten Lehrgerüste dar, welche bei dem Baue der Brücke über den Main bei Marktheidenfeld in Bayern angewendet wurden, und zwar ist Fig. 1 ein Schnitt nach der Mitte AB der Brückenbahn parallel mit den Stirnflächen; Fig. 2 eine Oberansicht, in welcher der Theil EB die Schalhälzer, AE die Kranzhölzer, AD die Lagerbalken des Kranzes zeigt, und Fig. 3 ein lothrechter Querschnitt nach der Linie EF, welche mit der Gewölbaxe in einer Ebene liegt.

Die Spannweite des Brückenbogens beträgt 23,35<sup>m</sup>, die Pfeilhöhe 4,67<sup>m</sup>. Die Ständer (a) und die Jochpfähle (d) stehen nach der Länge der Brücke 5,55<sup>m</sup> und nach der Breite 0,93<sup>m</sup> von Mitte zu Mitte auseinander. Jene ruhen hier unmittelbar auf dem Mauerabsatze b; sie könnten aber auch auf einer auf diesem Absatze liegenden Schwelle stehen. Von der inneren Pfeilerfläche sind sie durch Keile so weit entfernt gehalten, dass die Gurtgesimse von den oberen Balken nicht berührt werden. Mit den Ständern und Pfählen sind die Holme c durch Zapfen, und mit den Holmen die Balken e, welche in der Höhe des Bogenanfangs liegen, durch Kämme verbunden. Die Balken e sind wegen der grossen Entfernung ihrer Unterstützungspuncte verstrebt und es ruhen die Streben auf den Gurthölzern q, welche ihrerseits durch angeschraubte Sattelhölzer unterstützt werden. Die Balken i liegen bloss auf den Keilen k, welche zur Hebung und Senkung des Gerüstes dienen. Die Stützen f stehen senkrecht zur inneren Wölbungslinie und sind bis auf diejenigen, an denen sich die Gurten g befinden, in die

Balken i versetzt. Die eben ausgenommenen Stützen stehen mit Zapfen in Querbalken, welche auf die Längsbalken i gekämmt sind. In jeder einzelnen Bogenrippe werden alle Stützen von zwei angeschraubten und versetzten Streben s, und durch alle Rippen hindurch die auf den Querbalken stehenden Stützen von schiefen Gurten g, welche überblattet und angeschraubt sind, gehalten. Auf den Stützen sind die Holme o mit Zapfen und auf den Holmen die Kranzhölzer p mit Kämmen befestigt, während die Schalhälzer u frei auf den Rippen des Gerüstes liegen.

Eine etwas veränderte Anordnung eines gestützten Lehrgerüstes zeigen die Figuren 4, 5, 6 im Längenschnitt, Grundriss und Querschnitt. Dieses Gerüste diente zum Baue der Brücke über die Erft bei Grimlinghausen in Rheinpreussen und ist dem ersten Bande der „Bauausführungen des preussischen Staats“ entnommen. Da dieses Gerüste nach dem vorigen keiner näheren Beschreibung mehr bedarf und die Constructions-Unterschiede sich sofort durch eigene Vergleichung ergeben, so folgen nur wenige Bemerkungen.

Die genannte Brücke hat nur eine Oeffnung. Die Spannweite beträgt 21,97<sup>m</sup>, die Pfeilhöhe 3,77<sup>m</sup>, die Breite des Gewölbes 6,27<sup>m</sup>. Dieses Gewölbe besteht aus Ziegeln und ist im Scheitel 1,1<sup>m</sup> stark. Es wird nach den Seiten hin in vier gleichen Abtheilungen um je 0,13<sup>m</sup> dicker, so dass es am Bogenanfang eine Stärke von 1,63<sup>m</sup> hat. Der Verband der besonders gebrannten Ziegel, welche 2 bis 4½mal so gross als gewöhnliche Ziegel sind, ist in Fig. 7 für die grösste Gewölbstärke näher dargestellt. Es kam bei der Anordnung desselben darauf an, wegen der Absätze das Uebereinandergreifen der Steine bedeutend zu vergrössern, wesshalb die obersten Steine 0,39<sup>m</sup> lang und eben so breit sind, während die übrigen Ziegel theils 0,39<sup>m</sup> Länge und 0,26<sup>m</sup> Breite, theils 0,26<sup>m</sup> Länge und 0,26<sup>m</sup> Breite, theils 0,26<sup>m</sup> Länge und 0,12<sup>m</sup> Breite, alle aber 6,6<sup>cm</sup> Dicke haben.

Die Wölbung des Bogens dauerte nur vierzehn Tage und nach acht Tagen wurde die Ausrüstung in der Weise vorgenommen, dass sieben Tage lang die dreifachen Keile k, deren Flächen eine Neigung von  $\frac{1}{16}$  hatten, allmählig zurückgeschlagen wurden. Bevor die Lösung der Keile begann, betrug die Senkung des Bogens im Scheitel 6,3<sup>mm</sup>, am ersten Tage des Lösens 15,4<sup>mm</sup>, am zweiten 18,9<sup>mm</sup>, am dritten 25,2<sup>mm</sup>, und so nahm sie bis zum achten Tage auf 63<sup>mm</sup> zu. Nach der Hintermauerung der Gewölbschenkel betrug sie 67,2<sup>mm</sup> und nach dem Aufführen der Stirnmauern und der Ueberfüllung mit Erde 71,4<sup>mm</sup>. Später, als die Brückenöffnung auf zwei Drittel ihrer Höhe in Wasser stand, trat noch eine weitere Senkung von 21<sup>mm</sup> ein. Man hatte eine Senkung von 147<sup>mm</sup> erwartet und deshalb das Lehrgerüste um so viel erhöht: der Pfeil des Bogens ist somit etwas grösser als er nach dem Plane sein sollte.



Blatt 8 und 9.

## Gesprengte Lehrgerüste.

Auf Blatt 8 ist in Fig. 1 die Längensicht, in Fig. 2 ein Theil der Oberansicht mit und ohne Schalhölzer und in Fig. 3 der lothrechte Querschnitt eines der gesprengten Lehrgerüste gegeben, welche bei dem Baue der Pont de Sèvres in Paris, die mit neun halbkreisförmigen Oeffnungen von je 18<sup>m</sup> Spannweite die Seine überschreitet, zur Anwendung kamen und sich wie die vorhergehenden sehr gut bewährt haben.

Das Lehrgerüste für ein Brückengewölbe von 13,5<sup>m</sup> Breite war aus sieben Rippen, welche 2<sup>m</sup> von Mitte zu Mitte abstanden, zusammengesetzt. Jede Rippe ruhte mittelst zweier Ständer a, die am oberen Ende 0,30<sup>m</sup> auf 0,35<sup>m</sup> dick waren, auf der vorspringenden untersten Mauerschichte der Pfeiler und bestand aus zwei durch Zangen (z) verbundenen Sprengwerken (cd, ei), welche die Bogenhölzer o trugen. Alle Streben und Spannriegel hatten einen quadratischen Querschnitt von 0,30<sup>m</sup> Seite. Die unteren Streben (c) waren in die Ständer versetzt und verzapft, die oberen (e) aber auf den Holm b aufgekaut. Der Riegel m war mit den Streben e durch eine Versatzung mit Zapfen und überdies durch ein Eisenband verbunden. Die Zangen z bestanden aus zwei zusammengeschraubten Theilen, wovon jeder 0,30<sup>m</sup> auf 0,25<sup>m</sup> dick war; sie hatten die Durchbiegung der Streben c, d, e und des Balkens m zu verhindern und dem ganzen System grössere Steifigkeit zu verleihen. An sie waren Gurten (g) gekämmt und angeschraubt, um die Rippen unter sich fest zu verbinden. Die Biegung der Bogenstücke (o) wurde durch kleine, in die Streben e, den Spannriegel i und in die Bogenhölzer selbst verzapfte Klötze (u) vermieden. Die Schalhölzer (y) lagen nicht unmittelbar auf den Lehrbögen, sondern mittelbar durch Keile (k), welche es möglich machten, jedem Schalholze vor der Versetzung der auf ihm ruhenden Wölbschichte die gehörige Lage zu geben. Auf jede Wölbschichte traf ein Schalholz, welches erst aufgelegt wurde, sobald die Herstellung dieser Schichte begann. —

Die Figuren 4, 5, 6 des Blattes 8 stellen ein bei der schon erwähnten Marktheidenfelder Brücke angewendetes gesprengtes Lehrgerüste dar, welches dem in früherer Zeit zur Herstellung der Brücke bei Boffalora verwendeten Gerüste nachgebildet und welches von dem eben beschriebenen wesentlich verschieden ist. Fig. 4 gibt dessen Ansicht nach der Länge, Fig. 5 die Ansicht von oben und Fig. 6 einen Querschnitt am Scheitel nebst Seitenansicht. Die Spannweite beträgt 23,35<sup>m</sup>, die Pfeilhöhe 4,67<sup>m</sup>, somit das Verdrückungsverhältniss ein Fünftel.

Man erkennt sofort, dass dieses Lehrgerüste aus Häng- und Sprengwerken zusammengesetzt ist, welche ihre Stützpunkte in den Ständern b finden, die auf den

Pfeilervorsprüngen a ruhen. Das Hauptstück ist das einfache Hängwerk ccc, dessen Hängsäule e an den Streben befestigt ist. Um ausser e noch andere Hängsäulen anbringen zu können, hat man die Streben i, i, i zu einem festen, auf die Ständer b sich stützenden Vieleck vereinigt, in dessen Winkeln die übrigen Hängsäulen e' und e'' wie die Säule e aufgehängt sind. Beide schützen die Strebe ce, mit der sie durch Hängeisen und Ueberblattung verbunden sind, gegen eine Durchbiegung. Der Spannbalken o ist durch das Sprengwerk v o' v in seiner Wirkung gegen die Säulen e', e' unterstützt, auf welche unter anderen auch die Streben r, r drücken, deren Bestimmung die weitere Unterstützung der Hängsäulen e'', e'' ist. Die Stücke i, i, auf denen die an ihren Enden verzapften Bogenhölzer liegen, sollen durch kleinere Streben (u, u) vor Biegung bewahrt werden. Eine grosse Anzahl wagrecht liegender Gurten (g), welche mit den Zangen verkämmt und unter sich verschraubt sind, verbinden die zehn Rippen des Gerüstes der Breite nach zu einem festen Ganzen.

Dieses Lehrgerüste hat keine Vorrichtung zum Heben oder Senken. Wenn es indessen gut construiert ist und die nöthige Ueberhöhung erhalten hat, so bedarf es keiner Hebung; die Senkung aber, welche nach dem Gewölbeschluss einzutreten hat, kann durch allmälige Wegnahme entsprechender Verbandstücke hervorgebracht werden. —

Unter den in neuerer Zeit veröffentlichten Constructionen von gesprengten Lehrgerüsten zeichnet sich das für den Bau der Brücke über die Warthe bei Wronke in Preussen entworfene und ausgeführte Lehrgerüste in mehrfacher Hinsicht vorthellhaft aus, wesshalb es hier nach der Abbildung und Beschreibung in Förster's Bauzeitung, Jahrgang 1852, Seite 93 u. ff. aufgenommen wurde. Dasselbe hat eine Spannweite von 23,22<sup>m</sup> und eine Pfeilhöhe von 4,39<sup>m</sup>. Da seine Construction aus der Längensicht Fig. 1, Blatt 9, den Oberansichten Fig. 2, L und R, dem lothrechten Querschnitt am Scheitel Fig. 3 und den Detailzeichnungen Fig. 4 und 5, welche die gusseisernen Schuhe z und die Vorrichtung zum Heben und Senken der Kranzhölzer, sowie die aufgelegten Schalhölzer für eine innere Bogenrippe im vergrösserten Maassstabe darstellen, genügend hervorgeht, so folgt hier nur die Beschreibung der Aufstellung dieses bedeutenden Lehrgerüstes nach S. 108 der genannten Zeitschrift.

Nachdem die Pfeiler und Widerlager bis zur Kämpferhöhe aufgemauert waren, legte man zuerst die Schwellen a nach der Wage auf das Fundament, stellte die mit Zapfen versehenen Ständer b auf und befestigte sie durch Interimsstützen von den Spundwänden aus. Nun wurde in einem Prahm ein ganz einfaches Bockgerüste errichtet, welches so hoch war, dass es dem Spannriegel p als Auflager dienen konnte. Der Prahm wurde mit sämmtlichen, zu einem Lehrbogen nöthigen Stücken beladen und zwischen die Pfeiler gefahren; hierauf legte man zuerst die



bereits verbolzten Spannriegel o und p auf das Gerüst, setzte dann die Streben e ein und verband sie mit dem Ständer b durch Schwertlatten. Nach diesem wurden die Streben m und f eingebracht und die Keile c zwischen Ständer und Pfeiler gelegt, damit unter den bereits aufgerichteten Theilen eine Spannung entstand. Die nächste Arbeit war das Auflegen der beiden Hauptstreben d, d und die Befestigung der Mittelzange h, welche sofort verbolzt wurde.

Die gusseisernen Schuhe z (siehe auch Fig. 4), in welchen die Streben d und e stehen, waren schon auf dem Verbandplatze mit den Ständern verbunden. Hierauf befestigte man die untere Zange k, stellte den gesprengten Bock g auf die Hauptstreben und versetzte und verbolzte sämtliche Zangen. Nachdem die zu einem Gewölbe gehörigen sechs Lehrbögen aufgerichtet waren, wurde der aus den Streben und Zangen c, u, v, s, t bestehende Querverband und schliesslich der aus den Laschen l zusammengesetzte Bogenkranz auf eichene Keilstücke w, x (Fig. 5) eingelegt. Diese Laschen waren von 1,3<sup>dm</sup> starken Halbhölzern geschnitten und hatten zu beiden Seiten Falze, welche die Gewölblatten y aufnahmen. Letztere waren 0,65<sup>dm</sup> im Gevierte stark. Am Stoss der Bogenstücke l wurde absichtlich 6,5<sup>mm</sup> Spielraum gelassen, damit sich dieselben beim Setzen des Gerüsts zusammenschieben konnten. Auf allen anderen Stellen dagegen, wo Hirnholzflächen gegen einander drückten, wurden Zinkplatten zwischen dieselben gelegt. Durch Anziehen und Lösen der Keile wurde vor dem Beginne des Wölbens die Gewölblinie nach einer Lehre berichtigt. —

Das zweite auf dem Blatte 9 dargestellte Lehrgerüste (Fig. 6 bis 9), welches nur für geringere Spannweiten von 9 bis höchstens 15<sup>m</sup> dient, ist für sich verständlich. In demselben ist angedeutet, wie man bei hohen Pfeilern oder Widerlagern die Lagerschwellen a auf starke vorschwingende Steine s, die später nach vorgeschriebenen Formen abgearbeitet werden, legen kann, und wie man das Heben des Lehrgerüsts im Scheitel, das während des Wölbens der Schenkel in dem Falle eintritt, wenn der oben angegebenen, zweiten Anforderung an Lehrgerüste durch die constructive Anordnung nicht genügt wird, durch Auflegen von Steinen zu verhindern sucht. Das Heben und Senken dieses Gerüsts wird hier weniger vortheilhaft als bei den beiden vorhergehenden durch die Keile k bewirkt.

In neuerer Zeit haben französische Ingenieure zuerst statt der Keile mit Sand gefüllte Säcke oder Büchsen (Fig. 10 bis 14) oder auch Schrauben (Fig. 15) bei Lehrgerüsten verwendet. Behufs der Ausschalung eines Gewölbes lässt man aus den Säcken oder Büchsen den Sand allmählig auslaufen, oder nimmt bei den Schrauben die entsprechenden Drehungen vor. Beide Verfahren haben indess seither noch wenig Verbreitung gefunden.

### Bewegliche Versetzgerüste.

Die Baugerüste haben gewöhnlich mehr als einen Zweck zu erfüllen, indem sie theils als Standort der Arbeiter, theils als Transportbrücken für die Zufuhr der Baumaterialien, theils als Vorrichtungen zum Versetzen der Steine dienen; je nachdem nun der Hauptzweck wechselt, bezeichnet man auch die Gerüste als Arbeits-, Transport- oder Versetzgerüste. Mit Bezugnahme auf die Anordnung unterscheidet man einfache und zusammengesetzte Stuhlgerüste, welche bei kleineren Bauwerken Verwendung finden und nur aus einer zweckentsprechend zusammengesetzten Reihe von Dielen, welche ihre Unterstützung durch Balkenstücke und Steine erhalten, bestehen; einfache und zusammengesetzte Bockgerüste, welche aus einer über Schrägen oder Böcke gelegten Bohlenlage gebildet sind und bei mässig hohen Bauwerken verwendet werden; Schiffsgerüste, bei welchen eine Arbeitsbrücke durch eine auf platte Schiffe aufgelegte Rüstung mit Bohlenlagen gebildet ist und welche meistentheils nur benützt werden, um die eigentlichen Baugerüste im Wasser auszuführen; Pfahlgerüste, bei welchen die Arbeitsbrücken auf Langpfählen hergestellt sind, die in dem Boden eingerammt oder eingegraben werden, und Hängegerüste, welche zu den Vollendungsarbeiten und bei Reparaturen von Bauwerken benützt werden, wenn die an einer Stelle vorzunehmenden Arbeiten nur kurze Zeit in Anspruch nehmen und wenn nach der Anordnung des ganzen Bauwerkes die Möglichkeit nicht gegeben ist, andere leichte und billige Rüstungen anzubringen. Die Hängegerüste bestehen in der Hauptsache aus einem oben offenen Kasten, in welchem sich die Arbeiter und die zur unmittelbaren Verwendung bestimmten Materialien befinden, und aus Seilen oder Ketten, mit denen der Kasten befestigt ist und durch welche er mittelst geeigneter gewählter mechanischer Vorrichtungen gehoben und gesenkt und mit letzteren selbst seitlich verstellt werden kann. —

Bei der Ausführung grösserer Brücken sind vorzugsweise Pfahlgerüste in Verwendung, welche bei steinernen Brücken hauptsächlich als Versetzgerüste Dienste zu leisten haben. Man unterscheidet feste und bewegliche Versetzgerüste. Die Anlage eines festen Gerüsts wird auf Blatt 18 in allen wesentlichen Theilen angegeben. Die Anordnung und Construction beweglicher Gerüste wird in den Blättern 10 und 11 an drei Beispielen gezeigt.

Bewegliche Gerüste oder sog. Versetzkranen müssen selbstverständlich auf geeignet angeordneten festen Untergerüsten, welche die Transportbrücken bilden, aufrufen; beim Brückenbaue kommen sie überall da in Anwendung, wo einerseits wegen bedeutender Länge und Höhe der herzustellenden Brücke eine feste Rüstung zu theuer käme und wo andererseits aus Rücksichten für den Verkehr, den



Wasserstand etc., die Anlage einer verhältnissmässig niedrigen Transportbrücke gestattet ist. — Auf Blatt 10 ist eines der beweglichen Gerüste, welches bei dem Baue der 580<sup>m</sup> langen, 16<sup>m</sup> hohen und ebenso breiten steinernen Canalbrücke über die Garonne bei Agen verwendet wurde, welches aber in gleicher oder nur wenig geänderter Anordnung auch für Herstellung anderer Bauwerke geeignet ist, nach der Abbildung und Beschreibung in Förster's Bauzeitung, Jahrgang 1845, S. 180 u. ff. dargestellt. Fig. 1 gibt die Hauptansicht des Krahns und zugleich den Umriss der Brücke senkrecht zur Canalaxe. Die Dimensionen des Krahns müssen natürlich so bestimmt sein, dass alle Werkstücke ohne Hindernisse versetzt werden können; Fig. 2 gibt die Seitenansicht und Fig. 3 die halbe Oberansicht des Krahns, während durch Fig. 4 ein Theil der Oberansicht der Transportbrücke, nämlich durch den rechts befindlichen Theil ein parallel mit der Canalaxe laufendes und mit den Materialplätzen auf dem festen Lande verbundenes Transportgerüste, und durch den übrigen schmalen Theil die Unterlage für den Steinwagen E dargestellt ist.

Jeder Krahn bestand aus zwei lothrechten,  $23\frac{1}{2}$ <sup>m</sup> von einander entfernten Ständern und den sie verbindenden, künstlich verstärkten wagrechten Balken. Jeder Ständer ruhte mittelst zweier Räder auf einem in der Mitte der Transportbrücke befindlichen Schienenstrang, und die wagrechten Balken waren mit einem kleinen Schienenwege versehen, worauf sich ein Wagen mit doppelter Winde bewegte (Fig. 7 und 8). Auf zwei Haspeln mit Getrieben, welche an die Ständer befestigt waren (Fig. 9 und 10), rollten sich die Enden eines Seiles auf, an dem die aufzuhebende Last hing. Zogen die Haspeln das Seil gleichzeitig an, so blieb der Wagen stehen und die Last erhob sich lothrecht; zog aber ein Haspel das Seil an, während der andere nachliess, so ging der Wagen nach der einen oder anderen Seite, je nachdem der eine oder andere Haspel gedreht wurde, und die angehängte Last bewegte sich mit dem Wagen in wagrechter Linie parallel zur Gewölbaxe. Der Krahn liess somit drei auf einander senkrechte Bewegungen zu: parallel mit den Stirnmauern der Brücke durch die Räder an dem Fusse der Ständer, lothrecht durch die in gleichem Sinne erfolgende Drehung der erhöht stehenden beiden Haspeln, und wagrecht nach der Brückenbreite durch entgegengesetzte Drehungen der letzteren. —

Der auf Blatt 11 durch Fig. 1 und 2 dargestellte, grössere und der durch die Figuren 3 bis 10 angegebene, kleinere Krahn fand wiederholte Verwendung bei der Ausführung steinerner Brücken für die bayerischen Staatsbahnen. Beide Versetzkrahnen sind nach lithographirten Zeichnungen der früheren kgl. bayerischen Eisenbahnbau-Commission mit einigen Abänderungen und Ergänzungen wieder gegeben.

Wir lassen zunächst die nöthigen Erläuterungen über

die Zusammensetzung und die Benützung des grösseren Krahns folgen, welcher bei Herstellung der Bahnbrücke über die Rednitz im Bezirke der damaligen Eisenbahnbau-Section Schwabach verwendet wurde.

Fig. 1 gibt einen Theil der Längenansicht des Krahns und des Umrisses der Brücke, Fig. 2 die Seitenansicht des Krahns senkrecht zur Längsaxe der Brücke.

Das feste Untergerüste F auf der oberen und unteren Seite der herzustellenden Brücke bestund mit Ausnahme der Stellen, an welchen die vorspringenden Fundamente der Pfeiler eine Aenderung bedingten, aus eingerammten Pfählen, welche in der Höhe des Kämpfers der halbkreisförmigen Gewölbe je durch Holme unter sich verbunden waren. Vor den Pfeilern dagegen wurde, wie in unseren Zeichnungen zu ersehen ist, dieses Untergerüste je aus zwei Theilen zusammengesetzt, indem ausser der sonst vorhandenen Pfahlreihe niedrigere Pfähle in den Boden bis auf die Höhe des obersten Fundamentabsatzes eingerammt und auf letzterem und auf ersteren Schwellen aufgelegt wurden. Auf diesen Schwellen wurden Langschwelen in der Richtung der Hauptpfahlreihen aufgebracht und als Unterlagen für Ständer benützt, welche in Kämpferhöhe wieder durch Holme verbunden sind. Die Holme, welche auf diese Weise je in gleicher Richtung angeordnet sind, tragen mittelst Stühlen leichtere Schienen, auf welchen die mit Spurkränzen oder auch mit Nuten versehenen acht Räder des Krahns laufen.

Der Krahn, welcher von der Axe der Räder bis zu den Unterlagen des Haspels z die bedeutende Höhe von 15,53<sup>m</sup> hat, und dessen Länge senkrecht zur Brückenaxe 14<sup>m</sup> beträgt, musste demgemäss kräftige Ständer und verstärkte, wagrechte Balken erhalten.

Jeder Ständer ruht auf zwei horizontalen Balken (a, a), welche durch kleine Querswellen (e) und durch Schraubenbolzen zu einem Rahmen zusammengesetzt sind. An den unteren Seiten der Balken a sind die Axenlager der Laufräder befestigt; auf den oberen Seiten derselben finden die vier Haupttheile eines Ständers (b, b und c, c), von denen je die zwei einander zunächst stehenden an ihren oberen Enden zur Aufnahme einer Schwelle l durch entsprechende Abarbeitung zusammengefügt sind, ihre Unterstüzung. Die beiden vorderen, über der Schwelle a meist von einander abstehenden Stützen (b, b) sind durch Gurten (g) und Streben (h) unter sich verbunden und abgesteift (Fig. 2). Die Stützen b und c (Fig. 1) werden durch Gurten i in ihrer richtigen Lage erhalten.

Auf den Schwellen a ist ein Dielenbeleg angebracht, von welchem aus die Arbeiter den Steigbaum s erreichen können, um auf diesem zu dem mit dem Ständer verbundenen Steg W zu gelangen.

Die wagrechten Balken m finden zunächst ihre Unterstüzung durch die schon genannten Schwellen l, durch welche die einzelnen Theile der Ständer an ihren oberen Enden verbunden sind. Unter den Balken m



befinden sich die Spannriegel *n*, welche durch die Streben *d* gestützt werden und somit auch zur Verstärkung der Balken *m* beitragen. Die Streben *d* haben aber ausserdem noch wesentlich den Zweck, den ganzen Ständer mit den wagrechten Balken so zu verbinden, dass ein seitliches Ausweichen desselben verhindert wird, und es wird dies dadurch erreicht, dass die Streben *d* je bis zu einem auf die Schwellen *a* aufgelegten Querriegel *f* herabgeführt sind, und mit diesem und mit den Schwellen *a* durch eiserne Hilftheile an ihren unteren Enden fest vereinigt und überdies mit den Stützen *c* an der Kreuzungsstelle verbolzt werden.

Weitere Verstärkungen erhalten die Balken *m* und *n* durch Spannwerke (*o*, *p*); es wird aber auch hier wieder durch die Spannbänder (*p*) gleichzeitig eine Verankerung mit dem Ständer ermöglicht, indem dieselben an den armirten Enden der Balken *m* befestigt und desshalb mit der Schwelle *l* verbunden sind.

Eine dritte Verbindung des Ständers mit den wagrechten Balken (*m*) geht von der Mitte der letzteren aus und besteht in den Zugbändern *q*, welche zugleich den hölzernen Riegel *r* gegen die Stützen *b*, *b* des Ständers anpressen. Dieser dient aber einerseits den zur Unterstützung des Steges *W* nöthigen Streben und andererseits den Streben *t* zum Auflager, welche letztere im Vereine mit den Streben *u* und den Spannriegeln *v* eine Ausbiegung des Ständers gegen die Brücke hin zu verhindern haben.

Auf beiden Seiten der wagrechten Balken *m* sind leichte Stege *V* angeordnet, welche vom Steigbaum *s* aus zugänglich sind; auf diesen Balken sind einfache Flachschiene befestigt, auf welchen der Haspel vom Stege aus leicht bewegt werden kann. Die Stege *V* sind in Fig. 1 nicht und der Steg *W* in Fig. 1 und 2 nur theilweise angegeben, um die Zeichnung nicht undeutlich zu machen. Details des Haspels (*z*) wurden desshalb nicht angefügt, weil auf Blatt 18 eine ganz ähnliche Windevorrichtung mit hinreichender Deutlichkeit dargestellt ist. —

Ueber die Benützung des Krahn mögen noch folgende Bemerkungen aufgenommen werden. Die Bewegung der ganzen Vorrichtung erfolgt vom Stege *W* aus durch Arbeiter, welche an dem Rädertriebwerke (*x*, *y*) die geeignete Drehung bewerkstelligen. Durch die mehrfach gekuppelte, horizontale Welle *w* wird eine gleichmässige Drehung der Getriebe *x* gesichert; durch die geneigte, gleichfalls mehrfach gekuppelte Welle *x'* wird mittelst eines auf ihr befestigten Getriebes das Rad *y* und in Folge dessen der Krahn im Ganzen bewegt.

Wegen des grösseren Gewichtes der hier beschriebenen Vorrichtung wird übrigens die Bewegung möglichst zu vermindern sein, und desshalb ist es zweckmässig, zwischen dem herzustellenden Bauwerke und den Ständern einen auf der Zeichnung nicht angegebenen Transportsteg nach Anleitung der Blätter 10 und 18 anzuordnen, auf

welchem die Steine bis unter dem jeweiligen Standorte des Krahn beizuführen sind. Es werden alsdann die Steine an dem Seile des Haspels *z* befestigt, durch diesen gehoben und nunmehr mittelst der drei, durch die ganze Vorrichtung gebotenen, senkrecht zu einander stehenden Bewegungen genau an ihren Verwendungsort gebracht. —

Ueber die Anordnung und Benützung des kleineren, auf Blatt 11 dargestellten Krahn, welcher unter Anderem bei Herstellung der Bahnbrücke über den Arrabach bei Altentrüdingen verwendet wurde, und dessen Höhe von der Axe der Laufräder bis zur Oberfläche der den Haspel aufnehmenden Schienen 14,1<sup>m</sup>, dessen Länge senkrecht zur Brückenaxe 12,7<sup>m</sup> beträgt, ist im Wesentlichen Folgendes hervorzuheben.

Fig. 3 gibt die Seitenansicht des Krahn von einem oberhalb der Brücke genommenen Standpunkte aus; Fig. 4 die Längensicht der unteren Krahnhälfte; Fig. 5 einen Horizontalschnitt durch den oberen Ständer in der Höhe *AA*; Fig. 6, 7 und 8 sind Details für das Rädertriebwerk am Fusse des Ständers und Fig. 9 und 10 für jenes an dem oberen Theile desselben.

Das Untergerüste *F* besteht auf der oberen und unteren Seite der Brücke aus je einer Reihe eingerammter Pfähle, welche unter sich durch Holme verbunden sind.

Auf der Mitte dieser Holme sind Flachschiene befestigt, und auf diesen laufen die vier Räder des Krahn, deren Radkränze mit Nuten versehen sind.

Der Ständer des Krahn auf jeder Seite der Brücke ruht auf den beiden horizontalen Schwellen *a*, *a*, auf deren unteren Seiten die Axenlager der Laufräder befestigt sind, so dass durch die Axen selbst eine Querverbindung der Schwellen *a*, *a* herbeigeführt wird; auf den oberen Seiten sind die letzteren nächst dem durch Querswellen (*b*, *b*) zusammen gehalten. Gegen die Querswellen stützen sich die Hauptbestandtheile *c*, *c* des Ständers, welche durch Streben (*e*), Gurten (*g*) und Querswellen (*m*) abgesteift und verbunden sind (Fig. 3 und 4). Die Querswellen *b*, *b* dienen aber ausserdem auch den Streben *d*, welche mit ihren oberen Enden gegen die wagrechten Balken *k*, *k* stossen, als Stützen. Zur Bedienung des Getriebes *x* ist in entsprechender Höhe ein Steg *S* angeordnet, welcher vom Steigbaum *v* aus zugänglich ist und durch die Riegel *h*, *h* im Vereine mit den Schwertlatten *i*, *i* und ferner durch die Schwellen *g* und *g'* seine Unterstützung erhält.

Auf den Stützen *c*, *c* liegen die wagrechten Balken *k*, *k*, welche durch vereinigte Spreng- und Spannwerke verstärkt sind.

Die Streben *d*, *n* und *o*, die Riegel *h* und Latten *i*, sowie die Zugbänder *q* und *s* sind, wie bei dem grösseren Krahn, in sinnreicher Weise zur gegenseitigen Verbindung und Absteifung der Ständer und wagrechten Balken benützt. An letzteren sind wieder leichtere Stege *R* befestigt, welche von dem Steigbaum *v* aus zugänglich sind,



und auf welchen die Arbeiter sich befinden, wenn der in unseren Zeichnungen nicht angegebene Haspel bewegt werden soll.

Da dieser Krahn ein geringeres Gewicht hat, als der in Fig. 1 und 2 dargestellte, so verzichtet man meist auf die Anlage eines besonderen Transportsteges und lässt die ganze Vorrichtung mittelst der angebrachten Rädertriebwerke, deren Benützung nach den vorhergehenden Be-

schreibungen weiterer Erklärungen nicht bedarf, an dasjenige Ufer, an welchem der Werkplatz sich befindet, zurückdrehen, führt dieselbe nach Befestigung des Steines an dem von dem Haspel herabreichenden Taue bis an die Verwendungsstelle und kann nun wieder, da der Krahn mit dem Haspel drei auf einander senkrechte Bewegungen gestattet, den Stein genau versetzen.

## II. Hölzerne Brücken.

Blatt 12 und 13.

### Reichenbachbrücke in München.

Die hölzernen Brücken lassen sich nach der Einwirkung ihrer die Fahrbahn unmittelbar tragenden Theile auf die Widerlager oder Landjoche und auf die Pfeiler oder Mitteljoche in zwei grosse Gruppen ausscheiden, deren erste die einfachen und gegliederten Balkenbrücken umfasst und dadurch charakterisirt ist, dass die Stützen der ganz oder nahehin horizontal aufliegenden Träger keinen oder nur einen äusserst geringen Seitenschub erleiden; hieher gehören die Balken-, die Häng- und Fachwerkbrücken. Die zweite Gruppe umschliesst die Sprengwerke verschiedener Construction, bei welchen die Stützen ausser verticalen Einwirkungen einen beträchtlichen Seitenschub empfangen. Da die hölzernen Brücken mehr und mehr durch eiserne verdrängt werden, so haben wir unterlassen, den ihnen in den früheren Auflagen eingeräumten Umfang zu erweitern, trotzdem dass die Aufnahme einer einfachen Sprengwerkbrücke zweckmässig erschien, und uns darauf beschränkt, die hauptsächlichsten Repräsentanten jeder der beiden Gruppen in ihrer constructiven Ausbildung geordnet wieder zu geben. Aus demselben Grunde haben wir bewegliche hölzerne Brücken nicht aufgenommen.

Wenn wir auch da, wo weiter gehende Entwicklungen zum Verständnisse statischer Untersuchungen nöthig werden, diese ausschliessen, so erachten wir doch dann, wenn die Resultate der Entwicklungen sich kurz und klar geben und sofort durch eine Anwendung auf die durch die Tafeln gebotenen Beispiele verwenden lassen, die Angabe derselben für zweckmässig und werden hienach bald die Berechnung der Träger berücksichtigen, bald aber auch nur den Gang der statischen Untersuchungen andeuten.

Die auf Blatt 12 und 13 dargestellte einfache Balkenbrücke, welche die Fraunhofer Strasse der Residenz mit der durch die Isar getrennten Vorstadt Au verbindet, führt

ihren Namen zu Ehren Georg v. Reichenbach's, der in München lebte und wirkte, und wurde in den Jahren 1842 und 43 nach dem Entwurfe des k. Oberbaurathes v. Gärtner ausgeführt.

Unsere Zeichnung stellt nur drei Oeffnungen dar, während die Brücke deren zehn hat, jede von 14,6<sup>m</sup> Weite. Ihre Länge beträgt somit 146<sup>m</sup>. In dieser Zeichnung, und zwar auf Blatt 12, gibt Fig. 1 eine Seitenansicht, Fig. 2 einen Längenschnitt, Fig. 3 eine Oberansicht: von A bis B mit Bekiesung, von B bis C ohne diese, und von C bis D ohne Rinnen; Fig. 4 ist ein Grundriss des Balkenwerkes, Fig. 5 ein wagrechter Durchschnitt des rechtseitigen Landjoches mit einem Flügel, und zwar der Theil a oberhalb, der Theil b innerhalb der Verschalung der Jochpfähle. Auf dem Blatte 13 stellt Fig. 6 einen Querschnitt durch die Mitte der Brücke mit der Ansicht eines Mitteljochs und der beiden Flügel, Fig. 7 den wagrechten Durchschnitt eines solchen Jochs nach der Linie mn, Fig. 8 die Verbindung der Schirrbalken durch Schlaudern und Fig. 9 die Vereinigung der äussersten schiefen Jochpfähle mit den nächststehenden lothrechten Pfählen dar. Da sich fast alle Dimensionen und Verbindungen aus der Zeichnung ergeben, so beschränken sich die folgenden Bemerkungen vorzugsweise auf dasjenige, was jener nicht entnommen werden kann.

Zu der in Rede stehenden Brücke ist Eichen- und Fichtenholz verwendet. Aus Eichenholz sind die Jochpfähle (i), die Jochschwellen (k), die Schirrbalken (s) und die sie unterstützenden Streben; ferner die Wechsel zwischen den Schirrbalken (q), die Gurtgesimse der Joche (g), die Geländer und die Flügel (f) mit Ausnahme der Verschalung. Aus Fichtenholz wurden alle übrigen Theile angefertigt, nämlich die Strassenträger oder Enzbäume (r), die Querschwellen (u) der Fahrbahn und Fusswege, die Wasserrinnen, sowie die Bohlen zur Verschalung der Fusswege, Joche und Flügel. Die Jochpfähle, von denen die