

III

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000304025

x
979

~~9.60~~
~~24~~

DER BAU
DER
SCHIEFEN BRÜCKE

ÜBER DEN
SANNFLUSS BEI STEINBRÜCK

FÜR DIE
SÜDLICHE STAATS-EISENBAHN WIEN—TRIEST

VON
AD. RITTER VON HEIDER.

Zusatz. sub Litt. D. I. No. 435.

GRAZ.

DRUCK UND VERLAG DER ACT.-GES. „LEYKAM-JOSEFSTHAL“.

1872.





III 34028



Handwritten signature: Johann von Ritter

Vorwort.

Die vorliegende, vor mehr als zwanzig Jahren verfasste Schrift hatte den Zweck, meine, im Jahre 1846 bei Carl Gerold in Wien erschienene „Theorie der schiefen Gewölbe“ durch ein praktisches Beispiel zu ergänzen. Obwohl nur in dieser Absicht verfasst, erschien mir dieselbe nach deren Beendigung dennoch einerseits nicht berechtigt, da ich an der Verfassung des Projektes keinen Antheil hatte, andererseits als eine Art Anklageschrift gegen meine damaligen Vorgesetzten, da ich, wenn ich ehrlich und offen die Wahrheit sagen wollte, mich gegen die, mir vorgeschriebene Konstruktion der Lagerflächen erklären musste. Diese Verhältnisse veranlassten mich damals, die fertige Schrift bei Seite zu legen.

Erst in neuester Zeit, nachdem an mir eine Reihe anderer Ereignisse vorüber gegangen ist, und bereits das Meiste meinem Gedächtnisse entfallen war, kam mir die Schrift wieder in die Hand, und ich fand darin so manche Erfahrung und Reflexion niedergelegt, deren Mittheilung mir doch nicht ganz werthlos erschien. Ich glaubte daher auch jetzt, wo alle persönlichen Fragen durch die Zeit beseitigt sind, und der Bau nur mehr der Geschichte angehört, die Schrift mit nur ganz unwesentlichen Aenderungen und Anmerkungen der Oeffentlichkeit übergeben zu dürfen.

Möge dieselbe jetzt noch ihren ursprünglichen Zweck erfüllen, und damit einen, meiner „Theorie der schiefen Gewölbe“ wiederholt gemachten Vorwurf einer zu abstrakten Form mindestens theilweise abhelfen.

Graz, im August 1872.

Der Verfasser.

Geschichtliches.

Für die Fortsetzung der k. k. Staats-Eisenbahn von Cilli nach Laibach als einen Theil der Wien-Triester Staats-Eisenbahn wurden zwei Linien untersucht, deren eine das Flussgebiet der Sann nach abwärts bis an ihre Ausmündung in den Savefluss, und von dort das Flussgebiet des letzteren nach aufwärts verfolgt, die andere hingegen dem Zuge der Poststrasse folgend das Sannthal nach aufwärts durchzieht, und den Gebirgsrücken, welcher das Sann- und Savethal trennt, überschreitet. Die erstere Linie erwies sich aber in jeder Beziehung als vortheilhafter, denn, wenn sich auch der Bau in seiner ersten Anlage vielleicht als kostspieliger herausstellte, so zeigten sich dagegen die Betriebsspesen durch die günstigen Gefälls-Verhältnisse für immerwährende Zeiten weit geringer, ferner das durch die Führung der Eisenbahn so zu sagen erst aufgeschlossene Sann- und Savethal unendlich reich an Naturproducten, namentlich an Steinkohlen, Eisen- und Bleierzen, Mineral-Quellen u. dgl., daher zur Ansiedlung industrieller Unternehmungen sehr geeignet, endlich aber wurde durch diese Linie die Möglichkeit eines Anschlusses nach Croatien geboten, und der Bahn sogleich ein Frachten-Verkehr von jährlich ungefähr einer Million Zentner gesichert, welcher bisher zu Wasser auf der Save aufwärts nach Laibach ging, und hauptsächlich in Banater Getreide und Wein besteht, indem der Schiffs-transport wegen der höchst gefährlichen und kostspieligen Beschiffung der Save, namentlich zwischen Steinbrück und Laibach, eine Konkurrenz mit dem Eisenbahn-Transport ganz unmöglich machte.

Schon bei der ersten Tracirung im Jahre 1843—44 wurde daher auch dieser Linie die verdiente Aufmerksamkeit geschenkt, und ein in allen Details ausgearbeitetes Projekt durch den damaligen k. k. Ingenieur Pohlmayr verfasst, welches später als Grundlage zur Ausführung des Baues benützt wurde. Der im Frühjahr 1845 begonnene Bau wurde dem damaligen k. k. Oberingenieur, Herrn Hoffmann, übertragen, und ihm nebst einem anderweitigen Personale auch der Verfasser dieses als k. k. Ingenieur-Assistent und später als Abtheilungs-Ingenieur zugetheilt. Ohne mich auf den, in jeder Beziehung höchst interessanten und an Schwierigkeiten überreichen Bau der ganzen Strecke von Cilli bis Laibach hier einlassen zu können, übergehe ich sogleich auf die Lage der Bahn in Steinbrück. Es ist diess eben der äusserste Punkt, wo das Sannthal in das Savethal fast senkrecht ausmündet. Dolomit-Kalkfelsen und Grauwacken-Gebilde sind das sichtbare Grundgebirge, worauf Muschel- und Korallen-Kalk, Kohlensandstein und jüngere Formationen sich beiderseits des Flusses zu sehr hohen, steilen Bergen erheben und den Thälern das Ansehen wildromantischer Schluchten geben. Beide Thäler bieten übrigens ebenso sehr dem Natur- als Alterthumsforscher, wie auch dem Sammler alter Volkssagen überreiche Beute. Eine Unzahl Ueberreste bekrundet den einstigen Aufenthalt der Römer in diesen Thälern; alte verlassene Klöster, Kapellen, Ruinen von Ritterschlössern etc. geben weiter Zeugniß, dass diese Thäler auch während des Mittelalters zur Stätte der Cultur wie des geselligen Verkehres gewählt wurden, und in beiden Beziehungen von Wichtigkeit waren.

Steinbrück selbst, wo gegenwärtig zwei steinerne Brücken, kaum einige Schritte von einander entfernt, über die Sann führen, hatte seinen Namen gleichwohl schon vor dem Bestande dieser beiden Brücken, und es soll sich derselbe von einer Brücke herschreiben, welche unter Leopold IV. (dem Glorreichen) an dieser Stelle über die Save erbaut, und wie man glaubt unter Kaiser Friedrich III. (oder IV.) um das Jahr 1450 während der Streitigkeiten mit dem Grafen von Cilley (Cilli) zerstört wurde.

Ohne hierauf näher eingehen zu können, glaube ich doch einschalten zu sollen, dass allerdings bei den Fundirungen der Stützmauern entlängst des Saveflusses einige Spuren eines unverkennbaren Beton- oder Guss-Mauerwerkes aufgefunden wurden, welches aber, nach allen Seiten unbegrenzt, weder auf die Form noch Gattung des dort bestandenen Baues irgend welchen Schluss erlaubte.

Der Ort Steinbrück als solcher bestand im Jahre 1845 eigentlich blos aus vier Wohngebäuden mit den zugehörigen Wirthschaftsbauten, welche jedoch bis auf eines durch den Bau der Eisenbahn jetzt ganz verschwunden sind. Dieses eine, zur Zeit unserer Ankunft in Steinbrück unbewohnte, heute noch bestehende, und durch die Eisenbahn-Aufdämmung bis in das Niveau des ersten Stockwerkes verschüttete, im Situations-Plan mit *A.* bezeichnete Gebäude wurde zur Zeit der französischen Invasion Krains als Grenz-Zollamt erbaut, ging sodann in Privathände über, wurde zum Behufe des Eisenbahnbaues wieder eingelöst, und wird gegenwärtig neu adaptirt, noch zu Betriebszwecken benützt. An der Stelle dieses Gebäudes bestand früher eine Kirche, welche der Sage nach von den Templern erbaut, den Namen Aegidi-Kirche hatte, und sammt einem, erst durch den Eisenbahnbau verschwundenen soliden Speicher a_1 , eine Filiale der Karthause Gairach bildete. Hiezu gehörte die Stallung a_2 und die Harfe a_3 , ein hölzernes, in Unter-Steiermark und Krain übliches Gitterwerk zum Trocknen des Getreides etc.

Ein anderes im Situations-Plane mit *B* bezeichnetes, zur Zeit unserer Ankunft in Steinbrück bewohntes Gebäude sammt Stallungen b_1 und b_2 und Wirthschafts-Gebäuden b_3 und b_4 war Save-aufwärts im wahren Sinne des Wortes an die Berglehne angelehnt. Angenehm überrascht musste man sich in dieser romantischen, an Naturschönheiten so grossartigen Wildniss finden, wenn man in dieses Gebäude, das sogenannte Gasthaus eintrat, und eine 70jährige, sehr gefällige und was noch weit mehr sagen will, auch sehr gebildete Frau fand, welche mit ihrer ebenfalls schon bejahrten Tochter ihr Häuschen sehr nett eingerichtet, und mehrere Gastzimmer in Bereitschaft hatte. Nur Derjenige, der wie wir darauf gefasst war, jeder Bequemlichkeit des Lebens entsagen und jeder gebildeten Ansprache entbehren zu müssen, kann begreifen, welchen Werth wir hierauf legten, und ich glaube einem inneren Drange von Dankbarkeit nachkommen und die Namen dieser beiden biederer und rechtlichen Frauen, welche leider die Zerstörung ihres friedlichen Häuschens nicht lange überlebten, der Vergessenheit entziehen zu sollen. Es war die Frau Maria Höfern Edle von Saalfeld und ihre Tochter aus früherer Ehe Maria Zörrer. In einer offenen Vorhalle dieses Gebäudes fanden wir aber auch eine, für unsere Erhebungen sehr wichtige Urkunde, indem dort der höchste Wasserstand der Save am 10. Oktober 1700 bezeichnet war, wovon die folgenden Reime-Zeugenschaft gaben:

„Da man gezählet siebenzehnhundert Jahr,
 „Und den 10. Oktober bei der Nacht war,
 „Kommt die Sau so hoch geruhnen,
 „Bei der Thür ein, bei Fenster aus
 „Das End genuhnen“

1700 renov: 1818.

Die zwei anderen Gebäude *C* und *D* endlich, deren eines am rechten, das andere am linken Sannufer bestand, waren von wendischen Bauern bewohnt. Die dagegen heute in Steinbrück sichtbaren Bauten gehören durchgehends der neuesten Zeit an, und sind theilweise während des Baues, theilweise seit Eröffnung des Bahn-Betriebes entstanden.

Ist ferner eine gut erhaltene, an mehreren Stellen mit bedeutenden Schwierigkeiten hergestellte Strasse in einer so öden unwirthlichen Gegend an und für sich schon ein sicheres Zeichen, dass ein in der Auffassung

der Verhältnisse höher stehender Geist dabei gewaltet hat, so findet man hievon die Bestätigung in Steinbrück selbst, wo die beiden Ufer des Sannflusses durch eine 6 Klafter hohe, auf 2 Land- und 4 Mittelpfeilern ruhende gewölbte Brücke zur Uebersetzung der Strasse verbunden sind. Die grösste Einfachheit des Baustiles hebt die wahrhaft ästhetischen Verhältnisse des Bauwerkes selbst nur noch mehr hervor, und obwohl in neuester Zeit, kaum einige Schritte davon entfernt, eine andere, den Gegenstand dieser Schrift bildende weit grossartigere, kunstvollere Brücke entstanden ist, so ist dieselbe doch nicht im Stande, jene einfache bescheidene Strassen-Brücke zu verdunkeln.

Ein am rechten Ufer, der Brücke gegenüber stehendes, mit einem eben nicht geschmackvollen Tempel überbautes Monument *E* bringt Licht über den hier offenbar thätig gewesenen umsichtigen Geist, der die hohe Wichtigkeit der Verbindung der Süd-Steiermark mit den Ufern der Save und hiedurch mit Croatien und den Naturreichthümern des Banates richtig erfasste. Es ist die Büste Seiner kaiserlichen Hoheit des Erzherzogs Johann, welche die folgende Inschrift trägt:

„Ioanni archiduci Austriae Benefico salvatori Pontis Viaeque.
Novae auctori, providissimo; incolae Agri Cellejensis grati animi erga Pos.
MDCCCXVI.“

Die Brücke selbst wurde aber erst in den Jahren 1825 bis 1828 erbaut und gleichzeitig die Strasse am linken Save-Ufer nach Lichtenwald, Reichenburg und weiter geführt, wovon die Inschrift der am linken Sann-Ufer aufgestellten Statue des heiligen Johannes von Nepomuk *F*. zeigt. Sie lautet:

„Annis MDCCCXXV et MDCCCXXVI

Francisco I., Austriae Imperatore felicis Regn. Incolae agrorum Cellejensis, Tiberiensis, Gyrocensis, Lichtenwaldensis, Laacensis, Reichenburgensis et Ranensis. Ut-Croatiam inter Carnioliam, Stiriamque facilius terrestris esset, comeatus communi. Impendio a Tiberi thermis juxta Saanique Litora ad vicum usque Laac per septemdecim passum millia et Sauno Flumineponte Lapides juncto, hanc viam Rotabilem fecerunt. Francisco Comite ab Hartig, provinciae praeside, Balthasaro de Zirnfeld, Celleani circuli praefecto, Friederico Byloff, Totius operis architecto, et Curatoribus Ioann Haendel de Rebenburg et Ignatio Uhl.

Ave viator. Utere felix et vale.“

Die Führung der Bahn war an diesem beengten Punkte durch Ingenieur Pohlmeier derart beantragt, dass dieselbe den Sannfluss oberhalb der Strassenbrücke schief mittelst 5 Bogen hätte übersetzen und sodann den Bergrücken mittelst eines Tunnels durchbrechen sollten. Der Stationsplatz war an einer geeigneten Stelle Save-aufwärts projektirt und es muss hier zum Verständniss der folgenden Zeilen hervorgehoben werden, dass vor dem Baue der Eisenbahn ein sehr lebhafter Schiffsverkehr auf dem Saveffusse hauptsächlich mit Getreide aus dem Banate bestand. Da aber diese Schifffahrt namentlich zwischen Steinbrück und Laibach sehr schwierig war, so konnte mit Zuversicht angenommen werden, dass nach Eröffnung der Bahn die Schifffahrt in Steinbrück enden und daher dort ein Umladen der Getreidesendungen erfolgen werde. Dem Stationsplatze in Steinbrück musste daher nach dem Stande der damaligen Verkehrsverhältnisse eine grosse Wichtigkeit beigelegt werden und es war klar, dass man auch nicht daran denken konnte, denselben an eine andere Stelle, als unmittelbar an den Savefluss zu legen.*) Ausserdem musste aber auch noch auf einen möglichen Anschluss einer Bahn nach Agram-Sissek Rücksicht genommen werden.

*) Diese Verhältnisse haben sich in den letzten 20 Jahren derart geändert, dass man jetzt allerdings bedauern muss, dass von der Trace des Herrn Pohlmeier abgegangen wurde, und dass der Stationsplatz nicht Sannaufwärts statt an die Save verlegt wurde. Der Getreidetransport hat eben auch Save abwärts aufgehört, und es findet in Steinbrück daher kein Umladen statt. Die Verbindung mit Croatien ist aber jetzt in Steinbrück sehr unzweckmässig.

Die durch Pohlmaier tracirte, für den Bau und Betrieb sehr zweckmässige Linie erlaubte jedoch die Anlage eines Stationsplatzes, wenn er an der Save liegen sollte, erst weiter Save-aufwärts. Es hätte daher eine Bahn von Agram, welche am linken Saveufer hier anlangen musste, die Sann abermals mittelst einer Brücke unterhalb der bestehenden Strassenbrücke übersetzen müssen, so dass in Steinbrück in einer ganz kurzen Strecke drei Brücken zu stehen gekommen wären. Ueberdies hätte die Agramer Bahn von dort noch eine bedeutende Strecke Save-aufwärts bis zum Stationsplatz geführt werden müssen. Es war daher natürlich, dass eine Vereinigung dieser beiden Bahnen in Steinbrück selbst nicht nur angezeigt, sondern auch in ökonomischer Beziehung und für den seinerzeitigen Betrieb sehr wünschenswerth erschien.

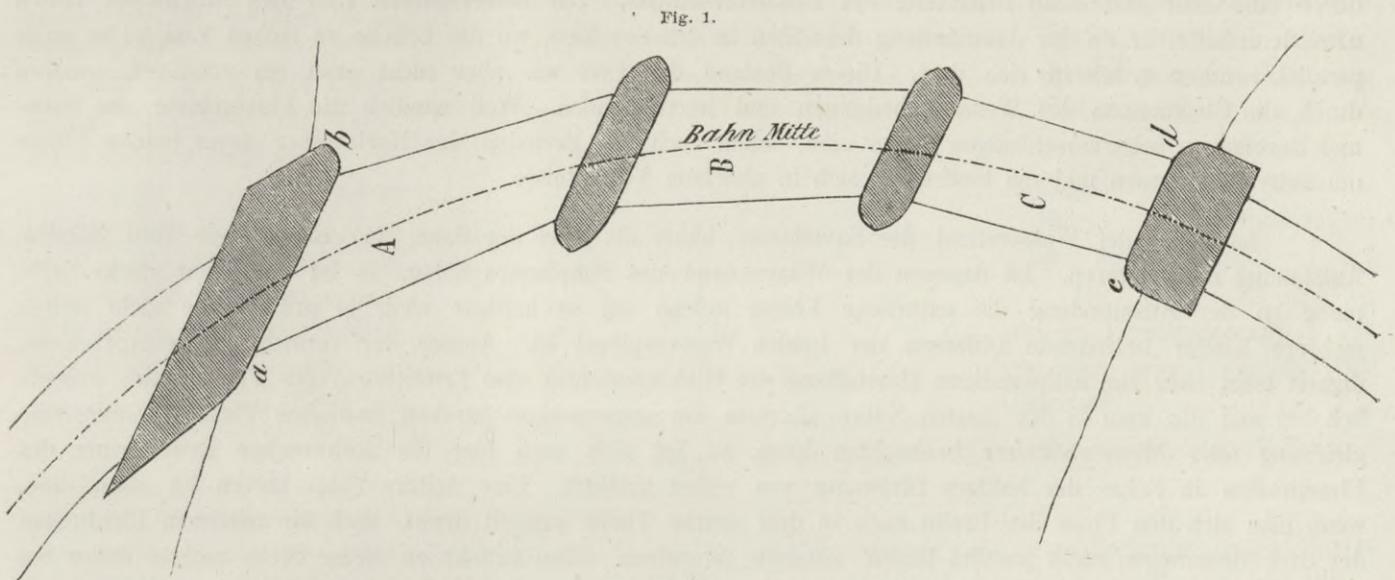
Der Oberingenieur Herr Hoffmann hatte demnach die allerdings sehr schwierige Aufgabe, eine Linie auszumitteln, welche einen solchen Anschluss in Steinbrück möglich macht. Allein eine Entwicklung der Linie an so steilen Berglehnen, wie man sie hier vor sich hatte, ist sehr beschränkt. Eine Verlegung der Bahnachse um einige Klafter rechts oder links ist die ganze disponible Bewegung, und die Aufgabe konnte sich nur darauf reduzieren, die Bahn entlängst des Sannufers weiter nach Abwärts zu führen, bis ein Anschluss der Agramer Bahn möglich war, sodann die geringe Verbreiterung des Thales an der Ausmündung des Sann in den Savefluss zur Anlage des Stationsplatzes zu benützen und gewissermassen im Bereiche des Stationsplatzes selbst den Sannfluss zu übersetzen. Herr Hoffmann mittelte zu diesem Zwecke zwei Linien aus, deren erstere es möglich machte, den Sannfluss in gerader Linie zu übersetzen, dagegen zum Anschluss an die beiderseitigen Bahnlinien Krümmungen mit 60 Klafter Halbmesser erforderte.

Die zweite zur Ausführung befürwortete und auch angenommene Linie verband die beiderseitigen Bahn-Tracen mittelst eines Bogens mit 100 Klafter Halbmesser, wodurch die Nothwendigkeit entstand, die Brücke selbst, welche so, wie bei der ersteren Linie den Stromstrich schief durchschneidet, in Bogen zu stellen.

Die Erweiterung des Flussbettes unmittelbar an der Ausmündung, die nahe Stellung an der bereits bestandenen Strassenbrücke, und namentlich die starke Frequenz auf dem Sannfluss mittelst Flössen, stellten die Nothwendigkeit heraus, die Oeffnungen möglichst weit zu machen. Zu diesem Behufe beantragte Herr Hoffmann daher eine schiefe gewölbte Brücke mit 3 Oeffnungen à 12 Klafter Spannweite und machte persönlich den Entwurf hiezu.

Entwurf der Brücke und Ausführung der Pfeiler.

Schon die erste allgemeine Anordnung über die Stellung der Pfeiler und Brücken-Oeffnungen gab Anlass zum Studium einer interessanten und sehr glücklich gelösten Aufgabe. Der Stromstrich durchschnitt nach einer Erhebung die Bahnachse in einer Linie, welche mit der, der Krümmung der Bahnachse zugehörigen radialen, mithin senkrechten Linie einen Winkel von 25 Grad einschloss. Für den mittleren Bogen war daher die Abweichung des Gewölbes von der senkrechten Richtung 25 Grade. Denkt man sich nun die beiden äusseren, die Bahnbreite begrenzenden, zur Bahnachse parallelen Kreislinien Fig. 1 gezogen und die drei Öff-



nungen parallel zur mittleren Oeffnung eingezeichnet, so ergeben sich hieraus die folgenden sehr wesentlichen Uebelstände:

1. Der erste Bogen *A* weicht mehr, der letzte Bogen *C* weniger, als der mittlere Bogen *B* von der senkrechten Richtung ab, es müsste daher für jedes der drei Gewölbe eine eigene Konstruktion der Stein-schnitte ausgemittelt werden;
2. Die innere Sehne und äussere Tangente zu den beiderseitigen, die Bahnbreite begrenzenden Bogenstücken zwischen je zwei Pfeilern laufen nicht parallel, es hätte daher der Anlauf eines und desselben Gewölbes an einer Seite länger, als an der anderen sein müssen, so dass selbst bei einem und demselben Gewölbe die

Abweichung von der senkrechten Richtung an jeder Stirnseite des Gewölbes eine andere geworden wäre. Es sind dies, wenn auch keine absoluten Hindernisse, doch sehr bedeutende Erschwernisse für die Ausführung und wären in dem vorliegenden Falle, wenn auch nicht so grell wie in der absichtlich noch auffallender gemachten Zeichnung, doch immer sehr zu berücksichtigen geblieben. Eine einfache Rechnung zeigt nämlich, dass in dem vorliegenden Falle z. B. für eine senkrechte Spannweite von 65 Fuss bei senkrechter Breite von 15 Fuss und bei einer Stärke der Mittelpfeiler von 14 Fuss der erste Gewölbsanlauf ab um nahe 8 Fuss hätte länger werden müssen als der letzte cd .

Hätten nun auch einige von diesen Uebelständen dadurch beseitigt werden können, dass man von der strengen Konstruktions-Richtigkeit abgegangen wäre und z. B. für jeden einzelnen Bogen den längeren Gewölbsanlauf als massgebend betrachtet und den gegenüber liegenden Gewölbsanlauf darnach bestimmt hätte, oder dass man sich überhaupt den längsten Gewölbsanlauf ab berechnet und alle übrigen gleich lang gemacht hätte, wodurch allerdings die Gewölbsbogen B und C breiter als absolut nothwendig geworden wären, so blieb dennoch noch immer ein anderer, nicht hoch genug anzuschlagender Uebelstand. Der Horizontalschub eines richtig konstruirten schiefen Gewölbes fällt nämlich mit der Richtung des schiefen Schnittes zusammen; es ist daher auch leicht erklärlich, dass, wenn dieser schiefe Schnitt bei jedem Gewölbe ein anderer ist, sich auch die auf den Horizontalschub wirkende Spannweite, mithin der Horizontalschub selbst für jedes Gewölbe ändert. Der in den Mittelpfeilern sich begegnende Horizontalschub wäre daher, abgesehen davon, dass er sich in jedem Falle unter einem Winkel begegnet, mithin nie ganz aufheben kann, auch noch ungleich gross geworden, so dass immer eine Kraft thätig geblieben wäre, welche auf den Umsturz der Mittelpfeiler gewirkt hätte.

Allen diesen Uebelständen begegnete ein bei der damaligen k. k. General-Direction der Staatseisenbahnbauten in Wien entworfenes und von Herrn Hoffmann in einer Kleinigkeit noch verbessertes Projekt durch eine sehr sinnreiche Benützung der Lokalverhältnisse. Die beiderseitigen Ufer des Sannflusses laufen nämlich unmittelbar an der Ausmündung desselben in den Savefluss, wo die Brücke zu stehen kam, nicht mehr parallel, sondern erweitern sich dort. Dieser Bestand der Ufer war aber nicht etwa ein zufälliger, sondern durch die Strömungen des Wassers bedungen und hervorgerufen. Weil nämlich die Flussgebiete des Sann- und Saveflusses sehr verschiedener Natur sind, fallen auch die Perioden der Hochwässer dieser beiden Flüsse nur selten zusammen und nie treffen sie sich in gleichem Verhältnisse.

Ist daher der Wasserstand des Saveflusses höher als jener der Sann, so entsteht nur eine einfache Aufstauung des letzteren. Ist dagegen der Wasserstand des Sannflusses höher, so ist eine sehr starke Strömung an der Ausmündung die natürliche Folge, welche um so heftiger wird, je grösser die nicht selten mehrere Klafter betragende Differenz der beiden Wasserspiegel ist. Ausser der vermehrten Stromgeschwindigkeit trägt aber zur nothwendigen Herstellung des Gleichgewichtes eine Erweiterung des Flussprofils wesentlich bei und wie man in der ganzen Natur allerorts ein gegenseitiges Streben und eine Thätigkeit zur Ausgleichung aller Missverhältnisse beobachten kann, so hat sich auch hier die nothwendige Erweiterung des Flussprofils in Folge der heftigen Strömung von selbst gebildet. Eine weitere Folge hievon ist aber, dass, wenn man sich den Fluss der Breite nach in drei gleiche Theile getheilt denkt, auch die mittleren Richtungen der drei Strömungen nicht parallel laufen, sondern divergiren. Eine Brücke an dieser Stelle musste daher bei richtiger Auffassung der Verhältnisse auch divergirende Richtungen der Oeffnungen erhalten, wenn sie dem Laufe des Wassers keinen Anstoss geben soll. Diese im rechten Momente aufgefassten für den vorliegenden Fall wie eigens geschaffenen Verhältnisse gaben aber Gelegenheit zu der höchst glücklichen Lösung der Aufgabe, wodurch nicht nur alle oben bemerkten Uebelstände vermieden, sondern gleichzeitig die Stellung der Brücke den bestehenden Verhältnissen vollkommen angepasst wurde.

Der Verfasser des Projectes versuchte nämlich die Aneinanderreihung von 3 kongruenten Trapezen $abcd$, $cdef$ und $efgh$ (Figur 2) derart, dass die Bahnmitte durch alle drei in der Mitte durchgeht, und zeichnete sodann in jede dieser Trapeze die Brückenöffnung $bilk$, $dmon$ und $fprq$ gleich ein. Die entstehende

Differenz in der Länge des äusseren Umfanges gegen den inneren Umfang der Bahn wurde hiedurch in den Mittelpfeilern ausgeglichen, so dass auch diese Mittelpfeiler in der Richtung des Schubes, welcher aus den beiden Horizontalschüben der beiderseitigen Gewölbe entstand, eine Verstärkung erhielten.

Fig. 2.

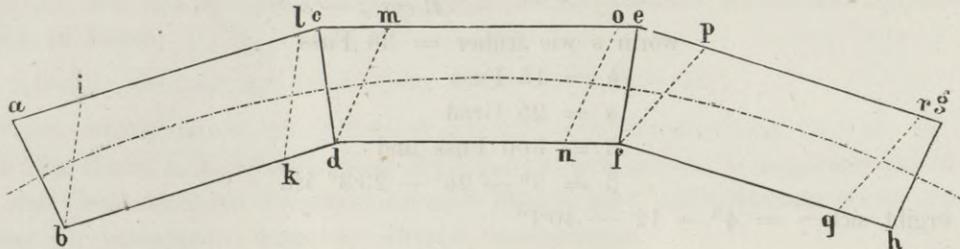
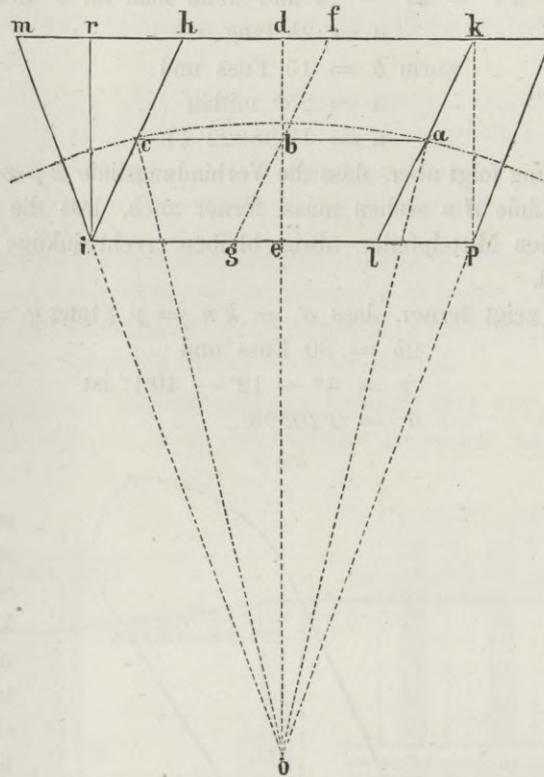


Fig. 3.



Diese empirisch gefundene Konstruktion führte mich zu der folgenden Berechnung, woraus die Zusammensetzung der Mittelpfeiler aus 4 rechtwinkligen Dreiecken, deren je zwei kongruent sind, hervorging.

Ich setze nämlich als gegeben voraus:

$ab = bc =$ der halben Spannweite des Gewölbes $= 36$ Fuss $= s$.

$ao = eo =$ dem Krümmungs-Halbmesser der Bahnachse $= 600$ Fuss $= R$.

$bd = be =$ der halben nothwendigen Breite des Gewölbogens mit Rücksicht auf die Stärke der Parapeten $= 15$ Fuss, $= b$ und endlich den Winkel $dbf = gbe =$ der Abweichung des Gewölbes

von der senkrechten Richtung $\alpha = 25$ Grade.

Aus diesen Daten war zu bestimmen:

1. die schiefe Länge des halben Gewölbsanlaufes $al = ak = ci = ch = bg = bf = b'$,
2. die für den Mittelpfeiler einerseits unten übrig bleibende Stärke $lp = a$,
3. die auf derselben Seite oben bleibende Stärke $kn = a'$, endlich
4. die anderseits oben bleibende Stärke des Mittelpfeilers $mh = a''$

Die halbe Länge des schiefen Gewölbsanlaufes b' ergibt sich sehr leicht aus der Gleichung

$$b' = \frac{b}{\cos \alpha}, \text{ worin } b = 15 \text{ Fuss,}$$

und $\alpha = 25$ Grad, demnach $b' = 16.551$ Fuss.

Zur Bestimmung der Grösse a , a' und a'' ist es am bequemsten, die ebenfalls interessanten Mittelpunktwinkel

$$boc = boa = \beta \text{ und}$$

$$bon = bom = \gamma \text{ zu bestimmen.}$$

Ersterer ergibt sich aus der Gleichung:

$$\sin \beta = \frac{s}{R}$$

$$\text{worin } s = 36 \text{ Fuss}$$

$$R = 600 \text{ Fuss, mithin}$$

$$\beta = 3'' - 26' - 23.3''.$$

Der Winkel γ ergibt sich, wenn man bemerkt, dass

$$ie = ig + ge = ab + ge = s + b \tan \alpha = s'$$

ferner dass

$$(R \cos \beta - b) \tan \gamma = s'$$

$$\text{mithin } \tan \gamma = \frac{s + b \tan \alpha}{R \cos \beta - b}$$

worin s wie früher = 36 Fuss

$$b = 15 \text{ Fuss}$$

$$\alpha = 25 \text{ Grad}$$

$$R = 600 \text{ Fuss und}$$

$$\beta = 3^\circ - 26' - 23.3'' \text{ ist.}$$

Hieraus ergibt sich $\gamma = 4^\circ - 12' - 40.1''$

Da ferner:

$a = lp = ip - il = ip - ac = 2s' - 2s$ und wenn man für s' den oben gefundenen Werth setzt:

$$a = 2b \tan \alpha$$

worin $b = 15$ Fuss und

$$\alpha = 25^\circ \text{ mithin}$$

$$a = 13.98922 \text{ Fuss.}$$

Aus dieser letzten Gleichung folgt aber, dass die Verbindungslinie kp senkrecht auf die Linie ep , mithin auch senkrecht auf die parallele Linie dn stehen muss, ferner auch, dass die beiden Dreiecke kpl und pkn , welche auf der einen Seite für den Mittelpfeiler übrig bleiben, rechtwinklige Dreiecke mit gemeinschaftlicher Basis $kp = 2b = 30$ Fuss sind.

Eine einfache Betrachtung zeigt ferner, dass $a' = kn = pk \tan \gamma = 2b \tan \gamma$ sein muss, mithin da

$$2b = 30 \text{ Fuss und}$$

$$\gamma = 4^\circ - 12' - 40.1'' \text{ ist,}$$

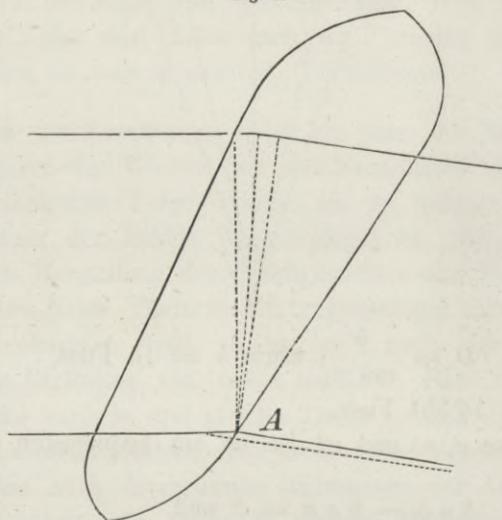
$$a' = 2.20893.$$

Fig. 4.

Denkt man sich endlich aus dem Punkte i eine Senkrechte ir auf die Linie mh gezogen, so wird man leicht finden, dass $rh = a$ und $rm = a'$ sein muss, denn es ist $rh = ir \tan \alpha = 2b \tan \alpha = a$ und $rm = 2b \tan \gamma = a'$.

Hieraus folgt ferner, dass die, auf der anderen Seite für den Mittelpfeiler übrig bleibende Figur ebenfalls aus zwei rechtwinkligen Dreiecken, mit der gemeinschaftlichen Basis $2b$ besteht, deren eines irh kongruent mit kpl und das andere irm kongruent mit pkn ist.

Hieraus folgt ferner, dass diese Construction eben die gewünschte Stärke der Mittelpfeiler ergab, und dass, wenn dies nicht der Fall gewesen wäre, man zum Behufe der Konstruktion die Spannweite $2s'$ um eben so viel grösser oder kleiner annehmen hätte müssen, als man die Mittelpfeiler bei späterer Einzeichnung der richtigen Spannweite schwächer oder stärker erhalten wollte. Wie sehr endlich das Zusammentreffen der Umstände zu dieser Lösung der Aufgabe förderlich war, geht auch schon aus der Betrachtung hervor, dass dieselbe durch den Umstand allein unmöglich geworden wäre, wenn die Bahn entgegengesetzt gekrümmt den Fluss hätte übersetzen müssen.



Die beistehende Figur 4 zeigt uns daher die geometrische Konstruktion der Mittelpfeiler mit den sodann beliebig angesetzten Vorköpfen. Im Laufe des Baues wurde übrigens noch die Abänderung getroffen, dass man, um den Brechungspunkt A nicht eben in der Kante des Pfeilers zu haben, das erste Gewölbe um 3 Zoll schmaler, das letzte dagegen um ebensoviel breiter machte.

Es muss hiezu noch ausdrücklich bemerkt werden, dass es ebenfalls nur ein glückliches Zusammentreffen der Umstände zu dieser Lösung der Aufgabe förderlich war, geht auch schon aus der Betrachtung hervor, dass dieselbe durch den Umstand allein unmöglich geworden wäre, wenn die Bahn entgegengesetzt gekrümmt den Fluss hätte übersetzen müssen.

Die übrigen Details des Entwurfes sind aus der beigegebenen Zeichnung Tafel 3 ersichtlich, und es wird genügen zu wissen, dass die Höhe der Brücke durch die Schienenhöhe der Eisenbahn, die Höhe des Gewölbs-Anlaufes aber durch die erhobene Höhe der höchsten Hochwässer, welche hier nicht selten 25 bis 27 Fuss über den kleinsten Wasserstand betragen und namentlich im Jahre 1672, 1700 und 1824 fast die gleiche Cote von 96.880 bis 96.895 über den Meeresspiegel erreichten, bedingt war, um alle in der Zeichnung ersichtlichen Annahmen erklärlich zu finden.

Der Bau selbst wurde ganz aus Quaderstein herzustellen beantragt.

Dieses Project erhielt unterm 29. Juli 1846 die hochortige Genehmigung, und am 11. bis 13. August 1846 wurde durch den Herrn k. k. Oberingenieur Hoffmann und den k. k. Ingenieur Herrn Neiser die, wie man sich bei der Unebenheit des Terrain's und dem Mangel aller Anbindepunkte leicht denken kann, sehr schwierige Tracirung der complicirten Figur der Brücke vorgenommen.

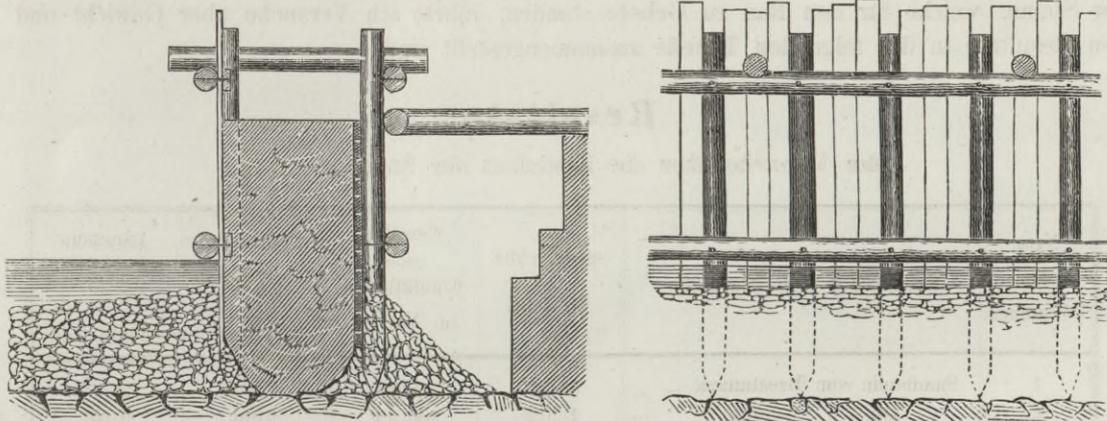
Es wurde hierbei die Mittellinie der Bahn möglichst genau tracirt, und die einzelnen Fluchten der beiden Land- und Mittelpfeiler einerseits an der bestehenden Strassenbrücke, anderseits am rechten Saveufer mittelst Signalstangen bezeichnet.

Am 17. August 1846 wurde die Abgrabung für die beiden Landpfeiler durch den Bauunternehmer Herrn Johann Picco, der die erforderlichen Arbeiten für die ganze Eisenbahnstrecke von Cilli bis Steinbrück nach Einheitspreisen herzustellen hatte, begonnen, und gleichzeitig auch die Anstalten zur Herstellung der nöthigen Fangdämme für die beiderseitigen Landpfeiler und den ersten Mittelpfeiler getroffen.

Herr Picco hatte in Steinbrück den umsichtigen Civilingenieur Herrn Anton Rauscher Edlen von Rauschenfels zur Besorgung seiner Geschäfte, so wie den sehr tüchtigen Polier Herrn Schioni, der schon in den Jahren 1825 bis 1828 bei der bestehenden Strassenbrücke mitarbeitete, bestellt, und so in jeder Beziehung für den guten Fortgang des begonnenen Baues bestens gesorgt.

Das Flussbett bestand aus festem Dolomit-Kalkfels, welcher aber nur an der rechten Seite des Flussbettes, und namentlich an der Stelle, wo der zweite Mittelpfeiler zu stehen kam, bloß lag, in der linken Hälfte

Fig. 5.



des Flussbettes aber mit einer 6 bis 8 Fuss hohen Schotterlage bedeckt war. Die Fangdämme für die beiderseitigen Landpfeiler und den ersten Mittelpfeiler konnten daher mittelst Piloten, wie in der bestehenden Zeichnung Figur 5 dargestellt, hergestellt werden.

Ein kleiner Vorrath von Quadern war durch den Unternehmer Herrn Picco aus den Brüchen bei Brestanizza am linken Sannufer, eine Meile oberhalb Steinbrück, bereits beige stellt, welche aus festem Kohlen-sandstein bestanden, ein anderer Streinbruch Save-abwärts in Zalipna, gegenüber von Radschach, in einem Conglomerate von Kalkstein eröffnet, und am 30. September 1846 wurde auch der erste Stein für diese Brücke im linkseitigen Landpfeiler versetzt.

Am 1. Jänner 1847 erhielt der Verfasser dieses den Auftrag, die unmittelbare Leitung der Ausführung dieses interessanten Baues zu übernehmen. Es war damals der linkseitige Landpfeiler bis zur Sockelhöhe beendet, im rechtseitigen Landpfeiler wurde an der ersten Quaderschichte gearbeitet, und für den ersten (linkseitigen) Mittelpfeiler war bereits die Aushebung bis auf den Felsen beendet, jedoch durch ein kurz vorher eingetretenes Hochwasser, welches den Fangdamm überströmte und theilweise beschädigte, wieder stark verschlammte.

Das erste, was sich mir als nothwendig darstellte, war die Auffindung einer geeigneten Stelle zur Eröffnung eines Quadersteinbruches, indem die Sandsteinbrüche in Brestanizza für andere Objecte bereits sehr stark ausgebeutet waren, und der Bruch in Zalipna ebenfalls wenig versprach, die dort gewonnenen Quadersteine aber nach meiner Ueberzeugung den Witterungseinflüssen nicht widerstehen konnten, wie sich diess leider auch bei den andern — nicht unter meiner Leitung gestandenen — Objecten nach Verlauf von kaum 3 Jahren wirklich herausstellte.

Das Nächstwichtige war die Konstruktion eines Fangdammes für den zweiten (rechtseitigen) Mittelpfeiler, indem dort das Flussbett aus nacktem Kalksteinfels bestand, mithin an eine Konstruktion des Fangdammes mittelst Piloten nicht zu denken war.

In ersterer Beziehung, nämlich zur Auffindung eines geeigneten Steinbruches, durchstreifte ich trotz der, zu solchen Erhebungen sehr ungünstigen Jahreszeit die ganze Umgebung von Steinbrück ohne besonderen Erfolg, und wie man so häufig dasjenige, was man unmittelbar vor sich hat, in weiter Ferne sucht, so fand auch ich erst am 24. März 1847 am rechten Sannufer, und später auch unmittelbar gegenüber am linken Ufer, kaum 600 Klafter von Steinbrück entfernt, unmittelbar an der Strasse nach Tüffer eine Stelle, wo ein Steinbruch vom grössten Umfange angelegt werden konnte. Der Stein bestand aus weissem festen Korallenkalk, der sich ausgezeichnet schön bearbeiten liess, und in jeder Beziehung entsprach.

Nach Beseitigung verschiedener Schwierigkeiten, namentlich auch in Betreff der Grundeinlösung wurde dieser Steinbruch in Angriff genommen, und lieferte nicht nur den grössten Theil der Quadern für die schiefe Brücke, sondern es wurde auch noch der ganze bedeutende Bedarf an Quadern für die übrigen Bauten in Steinbrück, ferner für die Reconstruction der zuerst aus dem besprochenen Sandstein hergestellten Brücke in Markt Tüffer und für andere Bauten dort erzeugt und gewonnen. Zum Behufe einer genaueren Kenntniss der Eigenschaften der Steine, welche für den Bau zu Gebote standen, führte ich Versuche über Gewicht und Festigkeit durch, deren Resultate in der folgenden Tabelle zusammengestellt sind.

Resultate

der Versuche über die Festigkeit der Steingattungen.

Nro. des Versuches	Gattung des Steines	spezifisches Gewicht	Gewicht eines Cubikfusses in W.-Pfd.	Spur der Zerdrückung	
				bei Pfund per	gänzliche Zerdrückung Quadr.-Zoll
1	Sandstein von Brestanizza .	2·542	144 26	1610	2130
2	dto. dto.	2·502	141 99	1550	2130
3	dto. dto.	2·612	147 25	1680	1680
4	dto. dto.	2·531	142 69	2400	—
5	dto. dto.	—	—	2470	—
6	dto. dto.	—	—	1810	2400
7	Korallenkalk-Konglomerat aus Zalipna	2·630	148 27	5400	—
8	Korallenkalk aus dem neu eröffneten Bruche nächst Steinbrück	2·640	148 80	5560	—

Bei wiederholten Versuchen mit Korallenkalk aus dem Bruche nächst Steinbrück trat bei dem grössten Drucke, den unser Apparat auszuüben im Stande war, von 5600 Pfund auf den Quadrat-Zoll, noch keine Spur einer Zerdrückung ein.

Die zu den Versuchen angewendeten Steinwürfel waren bei Sandstein $1\frac{1}{2}$ Zoll lang, breit und hoch, und bei Korallenkalk 1 Zoll lang, breit und hoch.

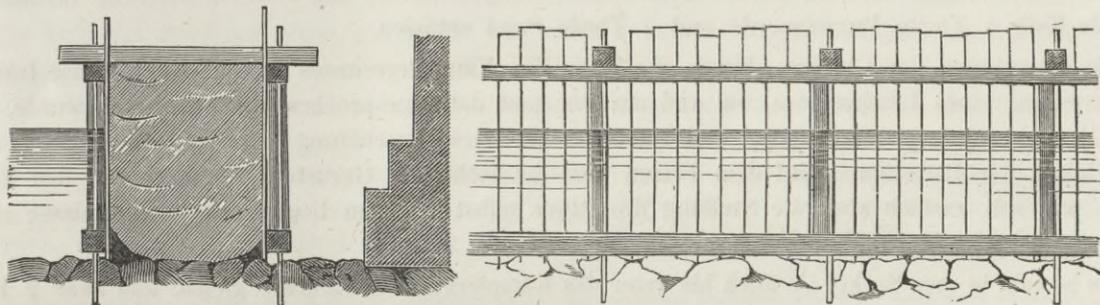
Bei den Versuchen Nr. 4 und 5 wurde in Folge eines nicht ganz gleichen Auflagerns eine Ecke abgedrückt, daher der Versuch unterbrochen.

Bei den Versuchen 7 und 8 zeigte sich die Spur einer Zerdrückung nur an den Kanten, eine weitere Zerdrückung konnte mit dem disponiblen Drucke nicht erzielt werden.

In Betreff des Fangdammes fand ich in einem Werke über die Ausführung der Nydeckbrücke über die Aar zu Bern*) wozu ich die Kupfertafeln, aber leider nie den auf dem Umschlage als in Bälde nachfolgend angekündigten Text erhalten hatte, einen Fangdamm angedeutet, der an eisernen, in das Flussbett eingepöhrten Stangen befestigt war. Mit Benützung dieser fruchtbaren Idee construirte ich den, in der Figur 6 dargestellten Fangdamm, der sich so gut bewährte, dass ich einiges über dessen Herstellung mittheilen zu sollen glaube.

Am 13. März 1847 wurde ein provisorisches Gerüste mittelst hölzerner Böcke, die in das Wasser gestellt wurden, herzustellen begonnen, und nach dessen Beendigung die unteren, schon früher abgebundenen Schwellen des Fangdammes auf dem Gerüste in die richtige Lage gelegt. In diese Schwellen waren bereits an den bestimmten Punkten die Löcher für die eisernen Stangen gepöhrt, und es dienten dieselben vorläufig zur Führung der Bohrer. Es zeigte sich jedoch bald, dass das Bohren der Löcher in den Felsen durch den Sand, der von dem sehr schnell strömenden Wasser am Grundbette immer mitgeführt wurde, und sich in die gepöhrten Löcher zwischen dem Bohrer einlegte, sehr erschwert wurde. Zur Abhilfe dieses Uebelstandes wurden über jedem Bohrloche kleine hölzerne Kästen, welche bis an den Felsen reichten und am Gerüste befestigt waren, eingesetzt und mit Lehm gefüllt. Das Bohren ging dann rasch und ohne Anstand vor sich, so dass am 20. März bereits alle 54 eiserne Stangen eingesetzt, und das provisorische Gerüst beseitigt werden konnte.

Fig. 6.



In die schon vorbereiteten Zapfenlöcher dieser unteren Längenschwellen wurden nun die Stahlsäulen eingesetzt, sodann aber die unteren Schwellen an den Eisenstangen nach abwärts unter den Wasserspiegel versenkt. Hierauf wurden die oberen Längenschwellen auf die Eisenstangen gesteckt, mit den Stahlsäulen verbunden und endlich über jedes Eisenstangenpaar ein Zangenholz aufgesetzt. An beiden Seiten dieses Gerüsts wurden sodann 2^{te}ge Pfosten eingesetzt, welche unterhalb schneidig unter einem sehr spitzen Winkel angearbeitet waren, so dass bei späterem Nachtreiben mittelst einer Handramme sich diese scharfen Pfostenenden theilweise aufstülpen, und so einen genauen Anschluss an alle Unebenheiten des Felsbettes bilden konnten. Dieses Nachtreiben

*) Die Nydeck-Brücke über die Aar zu Bern von C. E. Müller. Zürich bei Fried. Schulthess, 1845.

der Pfosten geschah übrigens erst, nachdem der Lehmversatz eingefüllt war, und zur noch grösseren Beruhigung wurde in die unteren Winkel des Fangdammes Pferdemit gegeben.

Den 6. April 1847 war dieser Fangdamm ganz beendet, und es wurde das Wasserschöpfen begonnen. Obwohl die Reinigung des Grundes zwischen den Wänden des Fangdammes mit aller Sorgfalt geschah, so entging doch an einer Stelle ein, fast durch den ganzen Fangdamm greifendes loses Steinstück der Beobachtung, indem man es für festen Felsen hielt. Die Folge hievon war, dass man selbst mit 4 archimedischen Schnecken den Zufluss des Wassers nicht bewältigen konnte, und erst nachdem an dieser Stelle der Lehmversatz wieder ganz ausgehoben und der jetzt entdeckte Stein beseitigt war, bewährte sich der Fangdamm ganz ausgezeichnet, so, dass eine einzige kleinere archimedische Schnecke genügte, um den Zufluss des Wassers, der grösstentheils auch aus Felsspalten und Lagern entsprang, zu bewältigen.

Der Fangdamm hatte übrigens auch in Bezug auf seine Festigkeit sehr bedeutende Proben auszuhalten, denn bevor er noch ganz beendet war, trat in der Zeit vom 1. bis 3. April ein Hochwasser ein, welches in der oberen Sanngegend 4 Flösse aus Brettern, die am Ufer festgebunden waren, abriß, dieselben abwärts trieb, wo sie sich an 2 Nothbrücken anlegten, und endlich auch diese mitrissen, so dass sämtliche 4 Flösse und 4 Brückenfelder gleichzeitig geschwommen kamen, und sich an den Fangdamm stiessen. Ein zweites solches Hochwasser, welches am 1. Mai 1847 die Höhe von 17 Fuss über den kleinsten Wasserstand erreichte, und abermals 6 abgerissene Brücken mitbrachte, ging ebenfalls für den Fangdamm ganz ohne Schaden vorüber, während die anderen weniger exponirten Fangdämme selbst von kleineren Hochwässern jedesmal mehr oder weniger beschädigt wurden.

Den 9. Juli 1847 waren die Fundirungsarbeiten für diesen zweiten Mittelpfeiler so weit beendet, dass die Abtragung des Fangdammes begonnen werden konnte. Die Fundirung selbst bot übrigens durchaus keine weiteren Schwierigkeiten dar, der Felsgrund wurde bei allen Pfeilern vollkommen eben abgeglichen, und darauf das Mauerwerk aus Quadern versetzt, und zwar wurden für sämtliche Pfeiler die äusseren Quadern vollkommen rein bearbeitet, die innen verwendeten jedoch bloß roh bossirt.

Die grossen Theils bereits beigeestellten und gleichzeitig immer noch zugeführten Sandsteinquadern aus Brestanizza wurden nur zum inneren Mauerwerk, für die Aussenseite aber der Korallenkalkstein aus dem neu eröffneten Bruche verwendet. Bis zum mittleren Wasserstande wurde endlich der Mörtel zum Versetzen der Quadern mit Puzzolanerde bereitet, welche über Triest bezogen wurde, und zwar in solchem Verhältnisse, dass auf 3 Theile Kalk 4 Theile Puzzolanerde und 2 Theile Sand entfielen.

Die Versetzung der Quadern bis in die Höhe des Kämpfergesimses bot übrigens wenig Interesse dar, da die Herstellung eines Laufgerüsts, so viel darüber und dafür gesprochen und projectirt wurde, doch erst später zur Ausführung kommen konnte, weil einerseits die freie Beschaffung der Sann mit Flössen, andererseits die Schwierigkeit der Befestigung auf dem Felsen und die Höhe des Gerüsts, wenn es für den ganzen Bau verwendbar sein soll, endlich aber die Stellung des Baues selbst in einem Bogen sehr viele Anlässe zu Zweifeln gab, die eben nicht leicht zu überwinden waren.

Die sowohl in dem Sockel als auch bis unter das Kämpfergesimse durchaus gleich, und zwar 2 Fuss hohen Quadern wurden daher mittelst provisorischer, für jede Quaderschicht gehobener Brücken von den beiderseitigen Ufern auf den zugehörigen Land- und Mittelpfeiler verführt, und bis Ende October 1847 waren auch beide Land- und Mittelpfeiler bis unter das Kämpfergesimse vollkommen beendet, wozu $122.971\frac{2}{3}$ Cubikfuss-Quadern erforderlich waren, die in ungefähr 9 Monaten grössten Theils erzeugt, bearbeitet und versetzt wurden.

Bei sämtlichen Quaderschichten wurde übrigens streng auf einen guten Verband mittelst Laufer und Binder gesehen, derart, dass solche immer abwechselnd neben und übereinander zu liegen kamen. Die äussere Verkleidung, welche an keiner Stelle weniger als 2 Fuss und durchschnittlich 2 Fuss 6 Zoll stark war, wurde überdies noch mittelst Steinklammern verbunden.

Das Lehr- und Laufgerüst.

Der Entwurf für das Lehrgerüst der Gewölbsbogen wurde ebenfalls von dem Herrn Oberingenieur Hoffmann persönlich gemacht, und erhielt, mit einer kleinen Abänderung unterm 16. März 1847 die Genehmigung der hohen k. k. Generaldirection für Eisenbahnbauten in Wien, jedoch mit dem ausdrücklichen Bemerkens, dass, wenn es überhaupt möglich wäre, ein Pfahljoch in der Mitte jeder Oeffnung einzuschlagen, man ein derartiges unterstütztes Gerüst dem freischwebenden Gerüste vorziehen würde.

Wie nämlich aus der Zeichnung des Gerüstes Tafel 2 ersichtlich ist, hatte Herr Hoffmann für die Konstruktion des Lehrgerüstes ein Sprengwerk gewählt, wozu er hauptsächlich nur durch die Ueberzeugung geführt wurde, dass die Anbringung von Mitteljochen einerseits wegen Beirrung des nicht unbedeutenden Verkehrs Fluss abwärts mit Flössen, anderseits wegen des Felsgrundes fast unmöglich war, Gründe, welche auch nach einer neuerlichen sehr sorgfältigen Ueberlegung um so mehr für die Ausführung des freischwebenden Sprengwerkes sprachen als die Hochwässer vom 31. Jänner, vom 1. bis 4. April und 1. Mai 1847 nur zu klar zeigten, welchen Gefahren ein solches Mitteljoch, das doch nur allenfalls mittelst eiserner, in den Felsengrund gebohrter Stangen hätte befestigt werden können, ausgesetzt sein müsste, indem in diesen Tagen ganze Flösse, die durch Nothbrücken angehalten sich eines über das andere schoben und endlich durch den Einsturz der Nothbrücke mit ganzen Brückenfeldern zu einen Holzklumpen vereinigt, geschwommen kamen. Die Ausführung dieses Gerüstes wurde daher auch nach einer nochmaligen Rücksprache mit dem damaligen k. k. Rathe und Inspector Dr. Ritter v. G h e g a nach dem vorgelegten Entwurfe definitiv beschlossen, und bewährte sich sowohl durch die Konstruktion als auch äusserst sorgfältige Ausführung in jeder Beziehung so ausgezeichnet, dass es gewiss von keinem anderen, wie immer konstruirten Gerüste hätte übertroffen werden können.

Die wenn gleich schon im Monate Jänner 1847 begonnene Beistellung des nöthigen Holzes und dessen Abbindung machte es jedoch erst im Monate Jänner 1848 möglich mit der Aufstellung des Lehrgerüstes zu beginnen, und erst am 15. Juni 1848 war dasselbe soweit beendet, dass die Aufzeichnung der Lagerfugen des Gewölbes auf die Pfostenverschalung vorgenommen werden konnte.

Die Stuhlsäulen *a*, Sattelhölzer *b* und Bundträme *c*; ferner die Spannstreben *d*, Tragbänder *e*, Sprengstreben *f*, Jagdbänder *e* und Klözel *z*, Verbindungsbalken der Stuhlsäulen *h*, Spannstreben *i*, Sprengstreben *k*, endlich die 3"ge Pfostenverschalung auf dem Lehrgerüst und 2"ge Verschalung der Stuhlsäulen um das Einklemmen schwimmender Körper zwischen den Stuhlsäulen zu verhindern, wurden aus weichem Holze hergestellt.

Die Futterhölzer *m*, Grundswellen *n* und Kappbäume *o*, wurden aus Lerchenholz angefertigt, und endlich die Hängsäulen *p*, Mittelspannstreben *q*, Keile *s* und *t* und 4" Pfosten *w*, an den Hängsäulen wurden

aus hartem, nämlich Eichen- und theilweise wegen Mangel an Eichen aus Buchenholz angefertigt. Ueberdiess wurde an eisernen Schrauben und Bändern, worunter 4 Bänder, und zwar je 2 um jeden Vorkopf der Pfeiler Fluss aufwärts zur Verbindung der beiderseitigen Stuhlsäulen untereinander im Ganzen 23.202 Pfund Eisen, ferner 1848 Stück Anzugnägel und 10.125 Stück grosse Pfostennägel verwendet. Jeder der drei Gewölbbogen erhielt 10 solche in der Zeichnung dargestellte Rippen, welche daher von Mittel zu Mittel $2' 10\frac{3}{4}''$ entfernt standen, und die Grundswellen wurden an eigens in die Pfeiler eingemauerte eiserne Haken befestiget.

Ueber das Verhalten des Lehrgerütes während des Baues der Gewölbe gibt die folgende Tabelle, worin das Nivellement der Scheitelpunkte des Gerütes vorgemerkt erscheint, den sprechendsten Beleg. Ein Aufsteigen der Scheitelpunkte kam während des ganzen Baues nicht vor, eine starke Belastung mittelst deponirter Gewölbs-Quadern im Scheitel verursachte ebenso wenig, als die sodanne Entfernung dieser Belastung eine bemerkenswerthe Veränderung, und nachdem alle drei Gewölbe geschlossen waren, betrug die endliche Senkung des Gerütes für den ersten Bogen im Mittel 0.032 Klfr. = 2.3 Wr.-Zoll, für den zweiten Bogen 0.039 Klfr. = 2.8 Wr.-Zoll und für den dritten Bogen 0.047 Klfr. = 3.4 Wr.-Zoll, was eben sehr nahe der Ueberhöhung des Lehrgerütes gleich kam, welche man bei Abbinden desselben annahm.

Bemerkenswerth bleibt übrigens hiebei noch, dass selbst diese verhältnissmässig geringe Setzung erst während der Versetzung der letzten 5 Gewölbschichten zum Vorschein kam, dass endlich auf dieses günstige Verhalten des Lehrgerütes auch die immer gleichmässige Belastung, welche durch die Art des Vorganges bei der Einwölbung, die später beschrieben werden wird, erzielt wurde, günstig eingewirkt hat, dürfte ausser allen Zweifel gestellt sein.

So einfach das Laufgerüst zur Verführung und Versetzung der Anlauf- und Gewölbssteine auf den ersten Anblick erscheinen mag, so stellten sich der Ausführung desselben doch eine Unzahl Bedenken und Schwierigkeiten entgegen.

Am wünschenswerthesten wäre freilich ein Laufgerüst gewesen, welches den ganzen Bau einerseits in der Sehne zum innern Bogen, andererseits in der Tangente zum äusseren Bogen in gerader Linie überbaut hätte. Allein die grosse Breite, welche ein solches Gerüst hätte erhalten müssen, dass es an dem bereits hergestellten Bau durchaus keine Stütze hätte finden können, und frei aus dem Felsenbette des Flusses mehr als 8 Klafter hoch hätte aufgeführt werden müssen, wo es sodann auch allen Beschädigungen durch Hochwässer ausgesetzt gewesen wäre, liess eine solche Idee an und für sich als unausführbar erscheinen.

Ein niedriges Laufgerüst mit hoch überbautem Wagen, wie es öfter bei Brückenbauten angewendet wird, erschien mir aus der Ursache nicht zu empfehlen, weil hierbei der zu bewegende Wagen meist so schwer und unbehilflich wird, dass hiedurch die Vortheile des Laufgerütes verloren gehen. Zudem hätte aber auch der Wagen eine, practisch fast unausführbare Breite erhalten müssen.

Ein anderes Gerüste, welches ich ebenfalls zu konstruiren versuchte, sodann aber verwarf, bestand darin, dass sich über jeden Brückenbogen ein Wagen der Breite nach verschieben liess, worauf sodann die Aufzugwinde der Länge nach beweglich war, so dass eigentlich 3 Laufgerüste entstanden wären. Allein einerseits die ebenfalls bedeutende Breite des beweglichen Wagens, andererseits, dass sodann doch noch eine andere Vorrichtung erforderlich geworden wäre, um den Quaderstein am Bearbeitungsplatze aufheben, und zum betreffenden Brückenbogen schaffen zu können, liess auch dieses Laufgerüst zu unständig erscheinen.

Es blieb daher nichts übrig als ein Laufgerüst zu konstruiren, welches der Bogenstellung des ganzen Baues folgend, selbst im Bogen zu stehen kam, so dass auch die Bahn, worauf sich der Rollwagen bewegt, einen entsprechenden Bogen beschrieb. Obwohl hierbei der Vortheil, den Wagen von einem fixen Punkte aus mittelst Seilen vor und rückwärts bewegen zu können, aufgegeben werden musste, und andererseits die Frage entstand, ob sich in der practischen Handhabung des Wagens bei einer Bewegung in einer Kurve keine besonderen Schwierigkeiten entgegenstellen werden, so blieb doch keine andere Wahl, und es wurde daher das auf Tafel 2

Beobachtungen

über

die Aenderungen der Scheitelpunkte des Lehrgerüsts.

(Sämmtliche Coten beziehen sich auf das Niveau des Meeresspiegels und sind in Wiener Klaftern zu verstehen.)

Tag des Nivellements	Gefundene Höhe am						Differenz in Bezug auf das erste Nivellement am						Anmerkung
	1. Bogen		2. Bogen		3. Bogen		1. Bogen		2. Bogen		3. Bogen		
	rechts	links	rechts	links	rechts	links	rechts	links	rechts	links	rechts	links	
1. August 1848	98-867	98-866	98-882	98-870	98-867	98-867	—	—	—	—	—	—	Nach gänzlicher Vollendung aller Lehrgerüste.
16. März 1849	98-866	98-863	98-882	98-866	98-869	98-854	— 0-001	— 0-003	± 0-000	— 0-004	± 0-002	— 0-013	Wurde bei jedem Gewölbe an der 5. Schichte vom Gewölbs-Anlaufe gearbeitet.
12. April 1849	98-867	—	98-874	—	98-865	—	± 0-000	—	— 0-008	—	— 0-002	—	Wurde an der 8. Schichte gearbeitet. Scheinbares Aufsteigen der Scheitel an der rechten Bahnseite, was sich aber als irrig erwies.
4. Mai 1849	98-867	98-857	98-871	98-867	98-860	98-859	± 0-000	— 0-009	— 0-011	— 0-003	— 0-007	— 0-008	Wurde an der 12. Schichte gearbeitet, und sämtliche Scheitel waren stark belastet.
11. Mai 1849	98-864	98-858	98-870	98-859	98-858	98-866	— 0-003	— 0-008	— 0-012	— 0-011	— 0-009	— 0-001	Wurde an der 16. Schichte gearbeitet, und die Belastung der Scheitel war ganz beseitigt.
23. Mai 1849	98-856	98-855	98-867	98-861	98-855	98-864	— 0-011	— 0-011	— 0-015	— 0-009	— 0-012	— 0-003	Wurde an der 19. Schichte gearbeitet, daher blos noch 2 1/2 Schichte beiderseits fehlten.
19. Juni 1849	98-829	98-840	98-836	98-837	98-822	98-818	— 0-038	— 0-026	— 0-046	— 0-033	— 0-045	— 0-049	Nach gänzlicher Schliessung aller Gewölbe vor Lüftung des Gerüsts aus dem Nivellement der Schlusssteine durch Abziehen der betreffenden Schlusssteinböhen gefunden.

dargestellte Laufgerüst ausgeführt, was noch dadurch sehr erschwert war, dass nur mit Mühe die 12 Klafter langen Bundträme für das Lehrgerüst aufgetrieben werden konnten, für das Laufgerüst aber nur 6 bis 7 Klfr. langes Holz zur Disposition stand, aus welchem daher die Sprengwerke mit 13 Klfr. Spannweite zusammengesetzt werden mussten.

Trotz all dieser misslichen Verhältnisse bewährte sich aber das Laufgerüste während der ganzen Zeit seiner Benützung ausgezeichnet gut, was um so mehr sagen will, als gleich die ersten damit transportirten Gwölbsanlaufsteine ein Gewicht bis zu 150 Centner hatten, und das Gesamtgewicht des, auf dem Sprengwerk bewegten Wagens sammt eisernem Krahn (Aufzugwinde) Bemannung, etc., wenn ein solcher Stein daran hing, nahe 200 Centner betrug.

Auf den obersten Geleishölzern, die aus kurzen Stücken zusammengesetzt, den Bogen der Bahn formirten, wurden gewöhnliche breitfüssige Eisenbahnrails befestiget, und auf diesen bewegten sich die gusseisernen Rollen des Wagens. Auf jeder Seite des Wagens waren 3 solche Rollen angebracht, deren Zapfenlager mittelst Keilen gehoben oder gesenkt werden konnte, so dass man es in seiner Macht hatte, das Hauptgewicht immer auf die mittlere Rolle zu bringen, welche gleichzeitig als Triebrod diente, indem an deren Achse ein grösseres, hölzernes Rad mit Sprossen befestiget war, woran je 2 Arbeiter drehten und so den ganzen Wagen vor oder rückwärts bewegten.

Ueberdies waren vertikale Leitrollen angebracht, welche nicht nur zur Führung des Wagens dienten, sondern den Arbeitern auch immer anzeigten, wenn der Wagen im Bogen die radiale Stellung verliess, und ihnen so das Zeichen zum Einhalten oder Fortsetzen der Bewegung gab. Dieselben Arbeiter, welche übrigens die Fortbewegung des Wagens betrieben, besorgten auch das Aufziehen und Herablassen der Steine. Das Gerüst wurde beiderseits über den Werkplatz fortgesetzt, und für jede Seite ein eigener Wagen bestimmt, so dass gleichzeitig von beiden Seiten Steine zugeführt und von jedem beliebigen Punkt des Werkplatzes der Stein aufgehoben, und an jeden beliebigen Punkt des Bauobjectes vertikal versetzt werden konnte.

Zur Fortbewegung des Wagens befanden sich die Arbeiter auf einem schwebenden, an eisernen Stangen aufgehängten Gerüste. Die Verschiebung des Krahnes (Winde) auf dem Wagen selbst geschah auf Flachschiene mittelst hölzerner Wellen beiderseits des Wagens, worauf sich ein Seil auf- oder abwickelte, in welche Wellen Löcher angebracht waren, worin der Arbeiter immer ein Holz steckte, es um den zulässigen Winkel vorwärts bewegte, und sodann in eines der folgenden Löcher steckte. Es zeigte sich übrigens in der Ausführung sodann bequemer, den Krahn mittelst eiserner Stangen, die unter das Rad geschoben und oben vorgedrückt wurden, das sogenannte Vorwärtskeilen zu bewegen.

Die Steine wurden mittelst der bekannten Kröplöcher an den Flaschenzug des Wagens aufgehoben.

Die Gewölbe.

Bevor ich auf die Ausführung der Gewölbe unseres Falles übergehe, glaube ich einige allgemeine Bemerkungen, welche sich bei der praktischen Ausführung eines schiefen Gewölbes ergeben, um so mehr voraussenden zu sollen, als sich mir dieselben in ihrer ganzen Ausdehnung erst nach Erscheinen meiner Theorie der schiefen Gewölbe entgegen stellten, und daher auch darin nicht aufgenommen werden konnten. Ich werde mich hierbei auf die, in der praktischen Ausführung fast ausschliesslich vorkommenden, oder mindestens als schiefe Gewölbe behandelten Cylinderflächen beschränken, und muss die Anwendung des Gesagten in geeigneter Weise auf andere Flächen, namentlich aber auf solche, welche ein senkrechtes Gewölbe gar nicht zulassen, z. B. bei kuppelförmiger Einwölbung eines elliptischen Raumes mittelst eines Ellipsoides mit 3 Achsen, oder bei Brücken-Gewölben mit konoidischen Flächen, den Forschungen derjenigen ausführenden Ingenieure überlassen, welchen derartige Gewölbe in anderen Flächen auszuführen vorkommen, wobei meine Theorie der schiefen Gewölbe genügende Anhaltspunkte bieten dürfte.

Denkt man sich nämlich ein Tonnengewölbe durch eine vertikale Ebene schief geschnitten, so müssen, wenn das Gewölbe sodann noch den Gesetzen der Stabilität entsprechen soll, sämmtliche in dem Gewölbe wirksam gedachten Kräfte, mithin auch die Mittelkrafts-Kurve in diesem Schnitte der vertikalen Ebene zusammenfallen.

Eine weitere Bedingung des Gleichgewichtes ist sodann, dass die Linie, welche durch den Schnitt der vertikalen Ebene mit der Lagerfläche entsteht, senkrecht auf den wirksamen Kräften, mithin auch senkrecht auf der Mittelkrafts-Kurve oder radial zu dieser stehen muss. Wirken sodann alle Kräfte in zur Mittelkrafts-Kurve parallelen Linien, so muss der Schnitt der Lagerfläche durch die vertikale Ebene eine gerade Linie werden, im entgegengesetzten Falle aber, wenn nämlich das Gewölbe gegen den Scheitel zu schwächer gemacht wird, als am Anlaufe, wird, strenge genommen, auch diese Linie eine Kurve. Dies Letztere gilt übrigens auch für senkrechte Gewölbe, wird aber nie beachtet, denn stellt man bei solchen ungleich starken Gewölben die Lagerfläche radial zur Mittelkrafts-Kurve und gibt dem Gewölbe die, dieser Kurve entsprechende Belastung (Nachmauerung), so werden die einzelnen Kräfte allerdings nicht mehr senkrecht auf die Lagerfläche treffen, allein die hieraus entspringenden Seitenkräfte, welche sich gleich und entgegengesetzt sind, und auf ein Zerreißen der Gewölbsteine hinwirken, sind so unbedeutend, dass ein wirkliches Zerreißen der Gewölbsteine nie zu befürchten steht. Stellt man aber in einem solchen Falle, wie es auch fast immer geschieht, die Lagerfläche radial zur inneren Gewölbsfläche, so muss man auch bei der Belastung des Gewölbes (Nachmauerung) die Mittelkrafts-Kurve als eine, zur inneren Gewölbsfläche parallele Kurve in Rechnung nehmen. Dann erscheint aber auch die Mehrstärke des Gewölbes am Anlaufe gegenüber dem Scheitel nur als Belastung des Gewölbes, oder als ein Theil der Nachmauerung.

Diesen allgemeinen Grundsätzen der Gewölbtheorie gemäss kann man daher auch für schiefe Gewölbe annehmen, dass die Lagerflächen durch die Bewegung einer geraden Linie erzeugt werden, indem sich dieselbe

entlängst der, in meiner Theorie der schiefen Gewölbe angegebenen richtigen Lagerfuge fortbewegt, und dabei immer parallel zur vertikalen Schnittfläche und radial zu der Curve bleibt, die durch den schiefen Schnitt entsteht.

Bei näherer Untersuchung dieser unbedingt allein richtigen Lagerfläche stösst man aber in der praktischen Ausführung auf das erste Hinderniss, denn, die Fläche steht nicht senkrecht auf der Cylinderoberfläche, d. h. dem Lehrgerüste. Ist nämlich der senkrechte Querschnitt der Cylinderoberfläche eine Kreislinie, so ist der schiefe Schnitt, mithin auch die Mittelkraft-Kurve, eine Ellipse. Da nun die erzeugende Linie der Lagerfläche immer senkrecht auf der letzteren bleiben soll, die Krümmungshalbmesser einer Ellipse sich aber in jedem Punkte ändern, so kann die erzeugte Fläche nicht mehr senkrecht auf der Cylinderoberfläche stehen. Derselbe Fall, nur umgekehrt tritt ein, wenn der schiefe Schnitt eine Kreislinie ist, weil dann der senkrechte Querschnitt eine Ellipse ist. Dieser Umstand tritt aber gerade dort störend auf, wo der Ausführung der richtigen Lagerflächen in der Praxis kein anderes Hinderniss entgegensteht, nämlich bei Ziegel-Gewölben.

Ich habe daher auch in früherer Zeit die erzeugende Linie der Lagerflächen entlängst der richtigen Lagerfugen senkrecht auf der Cylinderoberfläche stehend, fortbewegen lassen, und auch diese Konstruktion der Lagerfläche bei Besprechung über die praktische Ausführung schiefer Gewölbe in meiner Theorie der schiefen Gewölbe, Seite 66—68, als unabweislich nothwendig vorausgesetzt, und nahm um so weniger Anstand diess zu thun, als die Abweichung dieser Fläche nur in der radialen Richtung vorkommt, daher kein Seitenschub entsteht, und man durch die Belastung oder Nachmauerung immer ein Mittel in Händen hat, die Mittelkrafts-Kurve dennoch in der richtigen Lage zu erhalten. Eine nähere Untersuchung ergibt übrigens auch, dass die so erzeugte Lagerfläche, wenn auch nicht richtig, doch nicht so sehr unrichtig ist, als es für den ersten Augenblick erscheint, denn, schneidet man diese Lagerflächen in der bestimmten Richtung durch eine vertikale Ebene, so erhält man eine schwach gekrümmte Linie, die in den meisten Fällen, namentlich bei flachen Segmenten, nur wenig von der radialen Richtung der Curve des schiefen Schnittes abweicht. Aber eben dieser Umstand hat mich in neuerer Zeit dazu veranlasst, näher zu untersuchen, ob die nicht ganz senkrechte Stellung der vollkommen richtigen Lagerfläche wirklich ein so erschwerendes Hinderniss für die Ausführung ergeben soll, als es mir erschien, und ich überzeugte mich nicht nur durch Rechnung, sondern auch an wirklich ausgeführten Gewölben, dass es durchaus nicht der Fall ist. Die vollkommen richtige Lagerfläche kann nämlich ohne irgend ein Behauen der Ziegel ausgeführt werden, da die Abweichung dieser Fläche von der senkrechten auf die Cylinderoberfläche in jedem Falle so unbedeutend ist, dass sie bei der, wenn auch rechtwinkeligen Form der Ziegel, ihrer geringen Dimensionen wegen demnach nicht sichtbar wird.

Nach meiner Ueberzeugung und meinen Erfahrungen sollte daher auch ein schiefes Ziegel-Gewölbe nie mehr anders, als mit den richtigen Lagerfugen und Flächen ausgeführt werden, da diess mit so wenig Aufwand von Genie möglich ist, dass es selbst jeder gemeine Maurer trifft, wenn man ihm nur einige vertikale schiefe Schnitte auf dem Lehrgerüste vorzeichnet, und angibt, dass sowohl die Lagerfugen als -Flächen senkrecht auf diesen Linien stehen sollen.

So leicht sich demnach die richtige Ausführung eines schiefen Ziegelgewölbes gestaltet, ebenso schwierig wird dieselbe aus Quadern, indem es sich hier nicht mehr um das Zusammensetzen einer Fläche aus kleinen Stücken, die jeden Augenblick wieder weggenommen und richtiger gelegt werden können, handelt, sondern die Werkstücke einzeln vor der Versetzung schon richtig angearbeitet werden müssen, wobei auch nicht zwei Steine gleich sind. Dennoch hat aber auch der k. k. Ingenieur Herr Ursprung an der schiefen Brücke bei Markt Tüffer bewiesen, dass es nicht zu den Unmöglichkeiten gehört.*)

Indessen erfordert diese Ausführung so viel Aufmerksamkeit, und wird durch die schwierige Bearbeitung und den Verlust so manchen fehlerhaft bearbeiteten Steines so kostspielig, dass man es gewiss immer vorziehen

*) Leider wurde auch dieses Gewölbe aus dem besprochenen Sandstein von Brestanizza ausgeführt und musste daher später ausgewechselt werden, wobei die mühevoll ausgeführte Ausführung verloren ging.

wird, für Quader-Gewölbe konstante Konstruktions-Winkel anzuwenden, wenn nur der begangene Fehler innerhalb derjenigen Grenzen liegt, welche ohne Gefahr noch zulässig sind. Indem ich mich in dieser Beziehung auf das, in meiner Theorie der schiefen Gewölbe, Seite 61 u. w. Gesagte, beziehe, glaube ich hier noch Einiges beifügen zu sollen, worauf man bei der genaueren Untersuchung derartig ausgeführter Gewölbe unwillkürlich stösst.

Es ist unstreitig, dass die Richtung des Druckes, welcher in einem Gewölbe besteht, nur durch Veränderung der Lage der Fläche, welche wir dem Drucke entgegensetzen, verändert werden kann, denn, lässt man z. B. die Lagerflächen eines senkrechten Gewölbes unverändert, und schneidet dasselbe nur schief ab, so wird hiedurch allein die senkrechte Richtung des Gewölbsschubes durchaus nicht geändert, legen wir aber diese Lagerflächen mehr oder weniger geneigt, so wird auch der Gewölbsschub nach diesen Lagerflächen sich mehr oder weniger verändern, indem er immer senkrecht auf diese Flächen fortgepflanzt wird. Wir haben es daher hiedurch in unserer Gewalt, die Richtung des Gewölbsdruckes beliebig zu verändern, und können uns ebenso die Aufgabe stellen, für eine bestimmte Richtung des Gewölbsschubes die zugehörige Lagerfläche zu finden, als für eine gegebene Richtung der Lagerfläche die zugehörige Richtung des Gewölbsschubes auszumitteln. Den ersteren Weg habe ich in meiner Theorie der schiefen Gewölbe verfolgt, den letzteren will ich hier zur Untersuchung des Erfolges bei konstanten Lagerfugen einschlagen. Bevor ich jedoch hierauf weiter eingehe, wird es zweckmässig sein, einige Eigenschaften dieser Lagerfugen mit konstantem Konstruktions-Winkel anzuführen.

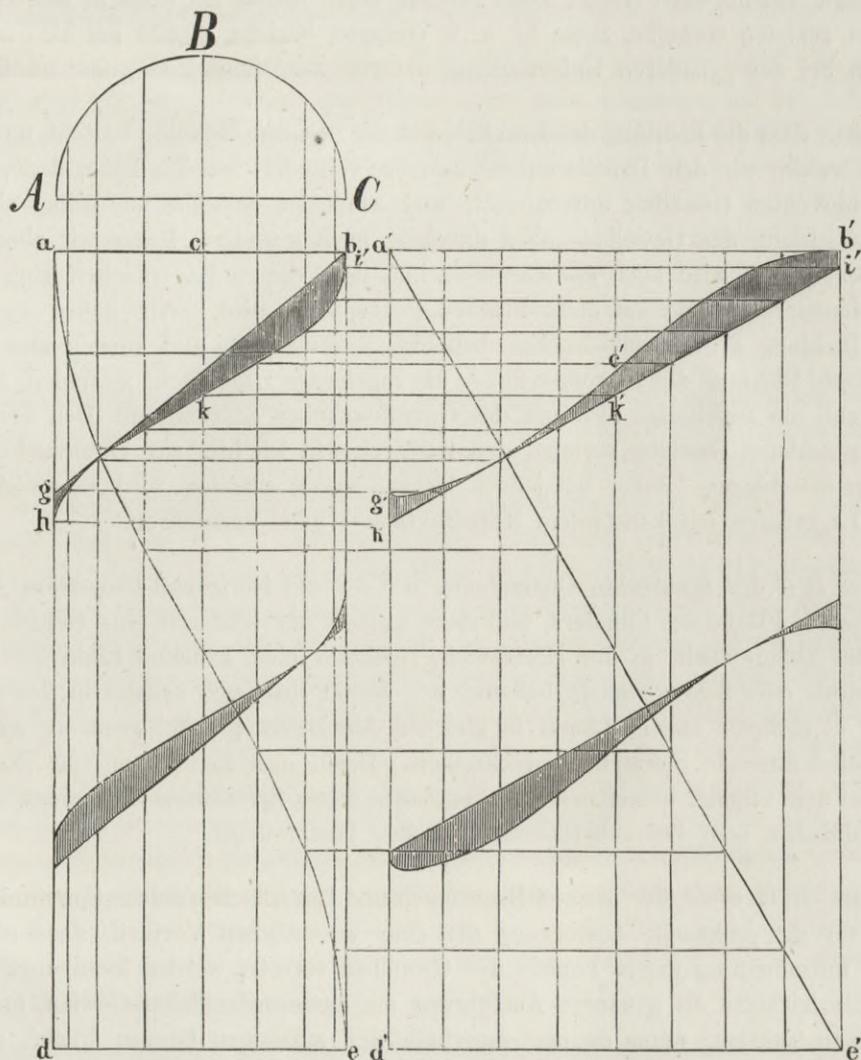
Ist nämlich ABC der senkrechte Querschnitt, $abde$ die Horizontal-Projektion eines Cylinders, und $a'b'e'd'$ die developpirte Fläche des Cylinders, und zieht man in der letzteren eine Gerade $a'e'$, so wird diese auf den Cylinder wieder aufgewickelt, in der Horizontal-Projektion eine krumme Linie ae beschreiben, welche unter dem Namen Spiral- oder Schraubenlinie bekannt ist. Denkt man sich sodann in der developpirten Fläche zu dieser Geraden $a'e'$ mehrere andere Linien in gleichen Abständen parallel gezogen, so werden diese auch auf dem Cylinder parallel laufende Spirallinien beschreiben. Denkt man sich ferner eine gerade Linie, die ihre senkrechte Stellung auf dem Cylinder immer beibehält, entlängst dieser Spirallinien fortbewegt, so werden dieselben die sogenannten Spiralfächen oder Schrauben-Gewind-Flächen beschreiben.

Stellt man nun ein Gewölbe her, dessen Lagerfugen und Lagerflächen solche Spirallinien und Spiralfächen sind, so erzielt man für die praktische Ausführung den sehr wesentlichen Vortheil, dass ein Stein mit diesen Flächen angearbeitet, unbedingt an jedem Punkte des Gewölbes versetzt werden kann, und passen muss. Dies ist aber sowohl für die leichtere als genauere Ausführung ein ausserordentlicher Gewinn, um dessentwillen man einen Fehler in der Konstruktion, wenn er nur innerhalb der zulässigen Grenze bleibt, gewiss gerechtfertigt finden wird.

Es ist diess auch die Ursache, wesshalb diese Spirallinien und Flächen allgemein anempfohlen und zur Herstellung schiefer Gewölbe hauptsächlich angewendet werden. Man ist aber darin zu weit gegangen, indem man diese Spiralfächen auch als die einzig richtigen Lagerflächen und für alle Fälle anwendbar hingestellt hat, wie wir sogleich sehen werden. Denkt man sich nämlich den Cylinder durch eine vertikale Ebene in der Richtung bg geschnitten, so wird, wie man leicht findet, dieser Schnitt in der developpirten Fläche eine Curve $b'c'g'$ beschreiben, welche unter dem Namen Sinuslinie bekannt ist. Soll aber in einem Gewölbe vollkommenes Gleichgewicht bestehen, so müssen die Mittelkrafts-Curven in solchen vertikalen Schnitten liegen, daher in der developpirten Fläche diese Curve beschreiben. Bei Ausmittlung der richtigen Lagerfugen ist demnach auch diese Linie massgebend, da die Fugen senkrecht auf dieselbe stehen müssen, und es sind hiernach in meiner Theorie der schiefen Gewölbe, Seite 40 u. w., die nöthigen Gleichungen, und Seite 55 u. w. deren möglichst genaue geometrische Konstruktion angegeben.

Werden nun aber in der developpirten Fläche die zu $a'e'$ parallel gezogenen Geraden als Lagerfugen angenommen, so wird auch der Gewölbsdruck in einer Linie, welche senkrecht auf $a'e'$ steht und in der developpirten Fläche eine gerade ist, fortgepflanzt, und da wir bereits gesehen haben, dass eine gerade Linie

Fig. 7.



in der developpirten Fläche auf dem Cylinder selbst eine Spirallinie beschreibt, so wird die Mittellinie des Druckes in der Horizontalprojektion die Spirallinie $h k i$ beschreiben. Da nun aber diese Linie nach ewigen Gesetzen der Natur das Bestreben haben wird, in eine solche überzugehen, deren Horizontalprojektion eine gerade ist, so folgt auch hieraus, dass sich zwischen den Punkten k und i ein Stirnschub nach aussen, und zwischen h und k ein solcher nach innen geltend machen wird, welchem es auch zuzuschreiben ist, dass sich besonders bei Ziegel-Gewölben ein Ausbauchen der Stirnflächen, welches nicht selten auch ein Abtragen des Gewölbes nothwendig machte, ergeben hat. Zur Berechnung der Grösse dieses Stirnschubes müsste man die Pression zwischen je zwei Gewölbsteinen, und die Abweichung des angewendeten vom richtigen Konstruktionswinkel in Rechnung nehmen. Da indessen dieser in der Richtung der Stirnfläche sich äussernden Kraft nur die Reibung zwischen den Gewölbsteinen entgegen gesetzt werden kann, so genügt es, wie ich ebenfalls in meiner Theorie der schiefen Gewölbe, Seite 61 u. w. gezeigt habe, den Winkel, um welchen der angewendete von dem wahren Konstruktionswinkel abweicht, mit dem Reibungswinkel, d. i. demjenigen, dessen Tangente dem Reibungs-Coefficienten gleich ist, zu vergleichen, woraus sogleich ersichtlich wird, ob und welche Gefahr vorhanden ist.

Soll ferner die Mittellinie des Druckes, welche in der developpirten Fläche eine Gerade ist, von Widerlager auf Widerlager reichen, so muss sie innerhalb der Curve fallen, welche durch den vertikalen Schnitt des Cylinders

in der developpirten Fläche entsteht. Es ist daher auch ersichtlich, dass der ausserhalb der Linie $h k i$ und $h' k' i'$ gegen die Stirnfläche fallende, straffirte Theil des Gewölbes nur auf einer Seite des Gewölbes ein Widerlager hat, was in gewissen Fällen, wie die Zeichnung (die die Verhältnisse des mittleren Bogens des Watford-Viaduktes in der London-Birmingham Eisenbahn, wie ihn Buck in seinem Werke über schiefe Gewölbe beschreibt, darstellt) zur Genüge ersichtlich macht, nicht ohne Einfluss bleiben kann, namentlich wenn man bemerkt, dass gerade auf diesen Theil des Gewölbes die grösste Belastung, welche noch dazu keine richtige Vertheilung zulässt, nämlich die Parapetmauer, zu stehen kommt. Man könnte sich endlich veranlasst sehen, um den ohne Widerlager bleibenden Theil des Gewölbes kleiner zu erhalten, den Punkt i' dadurch näher an b' zu bringen, dass man den Konstruktionswinkel noch grösser nimmt. Hiedurch würde aber die Linie $h k i$ noch schärfer gekrümmt, mithin ein noch grösserer Stirnschub entspringen. In jedem Falle bringt aber der, ohne Widerlager bleibende Theil des Gewölbes demselben weniger Gefahr, als der Stirnschub, daher demselben immer die grösste Aufmerksamkeit gewidmet werden muss.

Betrachtet man aber ferner die Eigenschaften dieser Spiralfäche, so findet man, dass dieselbe, um einen Halb-Cylinder zu umschreiben, eine gewisse Länge L des Cylinders erfordert, welche gefunden wird, wenn man den Umfang des Halb-Cylinders durch die Tangente des Konstruktions-Winkels, oder desjenigen Winkels, welcher die Linie $a' e'$ mit der Widerlagslinie $a' d'$ einschliesst, theilt. Bezeichnet man nämlich den Halbmesser des Cylinders mit r , den Winkel $d' a' e'$ mit γ und mit π die bekannte Verhältnisszahl zwischen dem Durchmesser und der Peripherie des Kreises, so wird

$$L = \frac{r \pi}{\tan \gamma}$$

Ist aber die bis jetzt betrachtete Cylinderfläche die innere Gewölbsfläche, so durchschneidet die Spiralfäche die äussere Gewölbsfläche ebenfalls in einer Spirallinie mit denselben Eigenschaften, und zwar muss diese zweite Spirale den äusseren Cylinder in derselben Länge L umschreiben.

Da aber der Umfang des äusseren Halb-Cylinders offenbar grösser ist, als jener des inneren, so folgt auch hieraus, dass der Winkel γ in der äusseren Gewölbsfläche grösser ist als in der inneren. Bezeichnet man denselben daher mit γ' und den Halbmesser des äusseren Cylinders mit r' , so muss auch

$$L = \frac{r' \pi}{\tan \gamma'}$$

sein, woraus weiter folgt:

$$\frac{r \pi}{\tan \gamma} = \frac{r' \pi}{\tan \gamma'} \quad \text{und} \quad \tan \gamma' = \frac{r'}{r} \tan \gamma$$

Hieraus ersieht man, dass bei Annahme dieser Spirallinien als Lagerfugen sich sowohl für die innere als äussere als auch jede andere hiezu parallel gelegt gedachte Fläche ein anderer Konstruktionswinkel ergibt.

Es ist daher nicht mehr gleichgiltig, welche Fläche man zur Ausmittlung des Konstruktionswinkels und Untersuchung der Stabilität wählt, sondern man muss hiezu unbedingt die Schwerpunktsfläche oder die dafür ohne namhaften Fehler gesetzte mittlere Fläche wählen. Entfernt sich in dieser Fläche sodann der gewählte Konstruktionswinkel möglichst wenig von dem richtigen Konstruktionswinkel, so wird der der inneren Fläche um ebenso viel zu klein, als jener der äusseren Gewölbsfläche zu gross.

Endlich kommt aber noch ein bemerkenswerther Umstand bei diesen Spirallinien und Flächen in Betracht. Die Stossfugen der Gewölbesteine, welche in der inneren Gewölbsfläche am angemessensten senkrecht auf die Lagerfugen angenommen werden, sind nämlich ebenfalls Theile von Spirallinien, welche die als Lagerfugen angenommenen Spiralen senkrecht schneiden. Denkt man sich nun aber auch diese Spiralen auf die äussere Gewölbsfläche übertragen, so schliessen sie dort ebenfalls mit einer zur Achse des Cylinders parallel

gezogenen Geraden einen grösseren Winkel ein, als in der inneren Gewölbsfläche und es schneiden sich daher diese beiden, von der inneren auf die äussere Gewölbsfläche übertragenen Linien in der letzteren nicht mehr unter einem rechten Winkel, sondern um die beiderseitige Differenz hievon abweichend.

Obwohl sich nun Herr Buck in seiner Abhandlung über schiefe Gewölbe (siehe Anhang) sehr viel Mühe giebt, diese Stossfläche auch wirklich so zu erhalten, und Herr Hart in seiner praktischen Abhandlung über die Konstruktion schiefer Brücken (siehe ebenfalls Anhang) diese Stossfugen sogar parallel zum Stirnschnitt, in vertikalen Ebenen liegend, haben will, so bleibt es doch ausgemacht, dass, da man einmal den Druck nur senkrecht auf die Lagerflächen fortpflanzen kann, auch die Stossflächen senkrecht auf den Lagerflächen stehen müssen, weil sie nur dann mit der wirklichen Richtung der vorhandenen Kraft zusammenfallen. Da aber dies, wenn einmal eine Lagerfläche bearbeitet ist, auch sehr leicht zu erzielen ist, so ist gewiss auch das Konsequenteste, diese Stossfläche auch senkrecht auf die Lagerflächen zu bearbeiten, wenn sie sodann auch keine Spiralfäche bilden.

Gehen wir daher nach diesen allgemeinen Bemerkungen auf unser Bauobjekt über. Wie schon bemerkt, sollten die Gewölbe alle drei gleich eine schiefe Spannweite von 12 Klaftern oder 72 Fuss erhalten und jedes einzelne unter einem Winkel von $\alpha = 25$ Graden von der senkrechten Richtung abweichen. Die Pfeilhöhe h ergab sich mit 15 Fuss, die Gewölbsstärke war im senkrechten Querschnitt durchaus gleich mit 4 Fuss beantragt, und die senkrechte Breite der Gewölbe b sollte 30 Fuss betragen. Hieraus ergab sich vor Allem die senkrechte halbe Spannweite mit $s = 32.627$ Fuss und die wirkliche Länge des Gewölbsanlaufes mit 33.101 Fuss. Als Ausgangspunkt für die Ausführung muss ferner bemerkt werden, dass der Leichtigkeit und Genauigkeit der Ausführung wegen im Allgemeinen, und um an einem so bedeutenden Objekte keine neuen Experimente zu machen, die innere Gewölbsfläche eine Cylinderfläche sein sollte, deren senkrechter Querschnitt eine Kreislinie ist und dass die Lagerfugen und Flächen die früher besprochenen Spirallinien und Flächen sein sollten, d. h. die Ausführung mittelst eines konstanten Konstruktionswinkels vorgeschrieben war.

Bezeichnet man demnach wie oben die senkrechte halbe Spannweite mit s und die Pfeilhöhe mit h , so ergibt sich der Halbmesser R_1 des die innere Gewölbsfläche bildenden Cylinders aus der Formel

$$R_1 = \frac{s^2 + h^2}{2h}$$

mit $R_1 = 42.984$.

Ebenso ergibt sich der Mittelpunktswinkel φ für die halbe Segmentsfläche des Gewölbes aus der Formel

$$\text{Cos } \varphi = \frac{s^2 - h^2}{s^2 + h^2}$$

wenn man die obigen Werthe für s und h substituirt, mit

$$\varphi = 49^\circ - 22' - 49.6''.$$

Nun wird aber nach meiner Theorie der schiefen Gewölbe, Seite 29, der richtige Konstruktionswinkel γ für den Gewölbsanlauf des vorliegenden Falles nach der Formel VIII. 2.

$$\text{tang } \gamma = \text{tang } \alpha \cos \varphi$$

gefunden, worin α , wie schon bemerkt, den Winkel bezeichnet, um welchen das Gewölbe von der senkrechten Richtung abweicht, mithin hier $\alpha = 25$ Grade und φ der Mittelpunktswinkel ist, welchen wir soeben mit $\varphi = 49^\circ - 22' - 49.6''$ gefunden haben. Durch Einführung dieser Werthe findet man:

$$\gamma = 16^\circ - 53' - 14''$$

Ebenso findet man für den Scheitel des Gewölbes, wo $\varphi = 0$ wird, $\text{tang } \gamma' = \text{tang } \alpha$, mithin

$$\gamma' = 25^\circ - 0' - 0''.$$

Die Ausmittlung der Lagerfugen sollte mithin derart vorgenommen werden, dass sie mit einer zur Achse des Cylinders in der Cylinderfläche parallel gezogenen Geraden möglichst nahe den Winkel γ'' einschliessen, wo sodann der grösste Fehler bloss $\gamma'' - \gamma = \gamma' - \gamma'' = 4^0 - 3' - 23''$ beträgt, welches für unseren Fall gleichzeitig der kleinste Fehler wäre, welchen man bei Anwendung eines konstanten Konstruktionswinkels mindestens begehen muss.

Da ferner, wie ich gezeigt habe, bei Anwendung der Spiralfächen es nicht mehr gleichgiltig ist, welche Gewölbfläche man der Untersuchung unterzieht, so wollen wir annehmen, dass der obige mittlere Konstruktionswinkel in der mittleren Fläche, welche zwischen der inneren und äusseren Gewölbfläche liegt, entstehen soll. Der Halbmesser dieser Fläche R_2 ist, da jener der inneren Gewölbfläche $R_1 = 42.984$ und die halbe Gewölbstärke 2 Fuss beträgt,

$$R_2 = 44.984.$$

Nach meiner Ausmittlung eines konstanten Konstruktionswinkels (siehe Seite 62 u. w. meiner Theorie der schiefen Gewölbe) soll nun derselbe ein solcher sein, welcher ebensoviel im Scheitel als am Anlaufe vom richtigen Konstruktionswinkel abweicht, d. h. ein arithmetisches Mittel zwischen Beiden sein, daher ich ihn auch als mittleren Konstruktionswinkel bezeichnete. Dieser ergibt sich daher mit:

$$\gamma''' = \frac{\gamma + \gamma'}{2} = 20^0 - 56' - 37''.$$

Es ergibt sich daher der Konstruktionswinkel für die innere Gewölbfläche, wie wir früher gesehen haben, aus der Formel

$$\text{tang } \gamma'' = \frac{R_1}{R_2} \text{ tang } \gamma''.$$

Mithin durch Einführung der obigen Werthe für R_1 , R_2 und γ''

$$\gamma''' = 20^0 - 5' - 18''.$$

Wir wollen nun sehen, ob sich die Vertheilung der Gewölb- und Anlaufsteine in der inneren developpirten Gewölbfläche derart ausmitteln lässt, dass dieser Winkel möglichst nahe entsteht. Bevor ich jedoch hierauf selbst eingehe, muss ich voraus bemerken, dass es nach meiner Ansicht sehr unrecht ist, wenn man sich schon der Leichtigkeit der Ausführung wegen bequemt, durch Annahme eines konstanten Konstruktionswinkels einen unvermeidlichen Fehler zu begehen, diesen einer eingebildeten Schönheit wegen noch zu vergrössern.

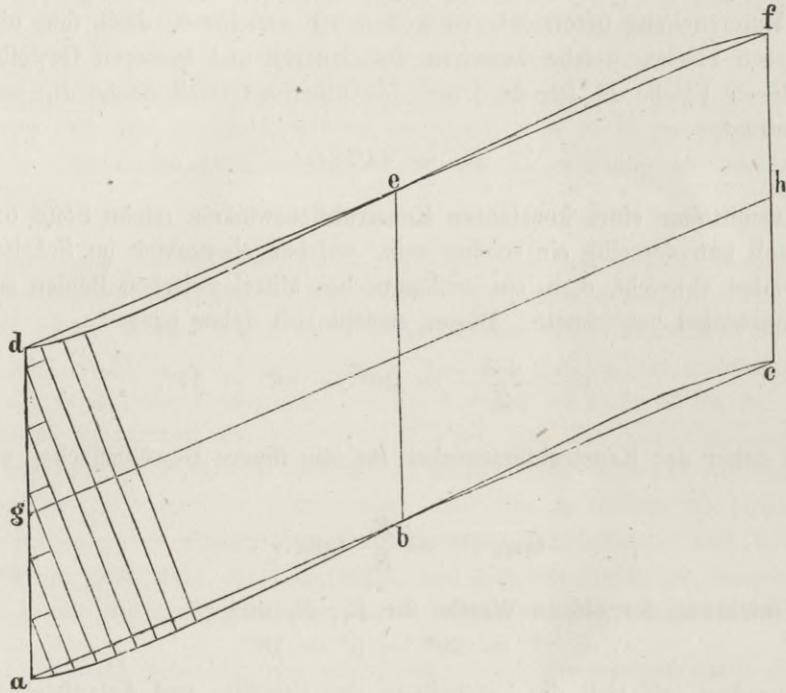
Hierher gehört aber offenbar die Bedingung, dass die Länge des Widerlagers in eine zu ermittelnde Anzahl gleich langer Anlaufsteine getheilt werden soll. Würde man nämlich, um alle Gewölbsteine gleich breit zu erhalten, in der developpirten Fläche die Sehne abc , Fig. 8, in eine bestimmte, der gewünschten Breite der Gewölbsteine entsprechende Anzahl gleicher Theile theilen und durch die Theilungspunkte die Lagerfugen derart einzeichnen, dass sie mit der Widerlagslinie ad den oben gefundenen aus dem mittleren Konstruktionswinkel abgeleiteten Winkel γ''' einschliessen, so hätte man die möglichst kleinste Fehlergrenze erreicht, dagegen würden die beiden Ecksteine bei d und f , ein zufälliges Zusammentreffen ausgenommen, etwas kürzer oder länger als die übrigen Anlaufsteine entfallen, was aber eben nach meinen Begriffen von Schönheit, wenn es nur konstruktiv richtig ist, derselben durchaus keinen Eintrag thut. Ja selbst eine Symmetrie in der Anordnung der Anlaufsteine wäre zu erzielen, wenn man zur Eintheilung der Gewölbsteine statt der Sehne ac die mittlere Sehne gh wählen würde. Freilich würden sodann beiderseits in der Stirnfläche des Gewölbes die Kämpfersteine etwas breiter oder schmaler als die übrigen Gewölbsteine erscheinen, aber geschieht diess nicht ohnediess auch durch den vertikalen Schnitt der Stirnfläche und trägt diese Fläche nicht ohnediess durch das nicht radiale Laufen der Fugen den Charakter einer fehlerhaften Konstruktion?

Indessen ist es von jeher ein sehr undankbares Unternehmen, den einmal eingebürgerten Begriffen von Schönheit entgegen zu treten und so musste auch ich mich dem Zwange einer gleichen Eintheilung um

so mehr unterwerfen, als ohnedies auch noch andere Verhältnisse die Vergrößerung des Fehlers notwendig machten.

In jedem Falle ist aber die in Fig. 8 angegebene Einzeichnung der möglichst richtigen Lagerfugen anzuempfehlen, weil man durch diese geometrische Konstruktion schon im Vorhinein die allenfalls möglichen

Fig. 8.



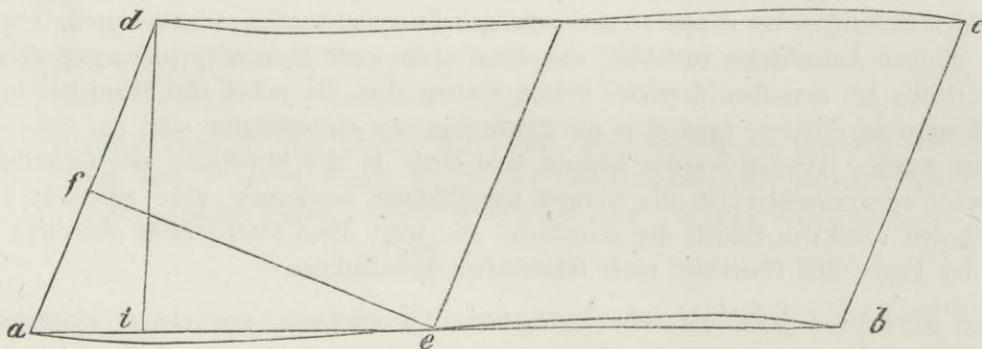
und einer näheren Berechnung zu würdigenden Fälle ersehen kann und so die Grenzen der Untersuchung und Berechnung näher gestellt sind.

Es sei nämlich für unseren Fall die Fläche $abcd$ die developpirte innere Gewölbsfläche, so muss die Linie ef , welche senkrecht auf ad steht, gleich dem halben senkrechten Umfange des Gewölbes sein, welcher einem Winkel von

$$\varphi = 49^{\circ} - 22' - 49.6''$$

entspricht.

Fig. 9.



Bezeichnet man daher diesen Umfang ef mit u_1 , so muss, da der Halbmesser der Cylinderfläche schon früher mit

$$R_1 = 42.984$$

gefunden wurde,

$$ef = u_1 = 37.046 \text{ sein.}$$

Ist ferner Fig. 10 der Querschnitt und die Horizontal-Projektion der Cylinderfläche, so folgt hieraus, dass

$$af = ef \operatorname{tang} aef \text{ ist,}$$

und da $ef = ag =$ der halben senkrechten Spannweite s , oder auch $= R_1 \sin \varphi$ ist, ferner der Winkel $aef = \alpha = 25^\circ$ ist, so wird auch

$$af = R_1 \sin \varphi \operatorname{tang} \alpha.$$

Aus Fig. 9 ist ferner ersichtlich, dass $af = ef \operatorname{tang} aef$ ist, und da in Fig. 9 $ef = u_1$ ist, so wird, wenn man den Winkel aef mit β_1 bezeichnet und bemerkt, dass af Fig. 9 $= af$ Fig. 10 sein muss,

$$\operatorname{tang} \beta_1 = \frac{R_1}{u_1} \sin \varphi \operatorname{tang} \alpha.$$

Führt man in diese Formel die bekannten und gefundenen Werthe von R_1 , u_1 , φ und α ein, so ergibt sich

$$\beta_1 = 22^\circ - 19' - 38''.$$

Aus Fig. 9 ergibt sich endlich

$$ae \cos \beta_1 = ef = u_1$$

mithin, wenn man $ae =$ der halben Sehne ab mit l_1 bezeichnet,

$$l_1 = \frac{u_1}{\cos \beta_1}$$

und wenn man wieder für u_1 und β_1 die Werthe substituirt,

$$l_1 = 40.049$$

daher die ganze Sehne

$$ab = 2 l_1 = 80.098.$$

Da nun die Gewölbsteine bei einer Höhe von 4 Fuss am besten eine mittlere Breite von 2 Fuss, daher in der inneren Gewölbsfläche etwas weniger als 2 Fuss erhalten sollen, so ergab sich, dass diess am besten erzielt wird, wenn man die Sehne ab in 41 oder 43 Theile theilt.

Wird nun gleichzeitig die Linie di Fig. 9 durch den Endpunkt der Widerlagslinie d derart gezogen, dass der Winkel $adi = \gamma''' = 20^\circ - 5' - 18.3''$ wird, so ergibt sich, dass der Durchschnittspunkt dieser Linie di mit der Sehne ab bei 43 Theilen sehr nahe auf den sechsten Theilungspunkt trifft.*)

Hieraus liess sich die Möglichkeit der Eintheilung in 43 Gewölb- und 6 Anlaufsteine entnehmen. Gleichzeitig ergab sich, dass, wenn man 7 Anlaufsteine anwenden wollte, auch der Punkt i mit dem siebenten Theilungspunkt nahe zusammen treffen müsste, was 49 Gewölbsteine nothwendig machen würde.

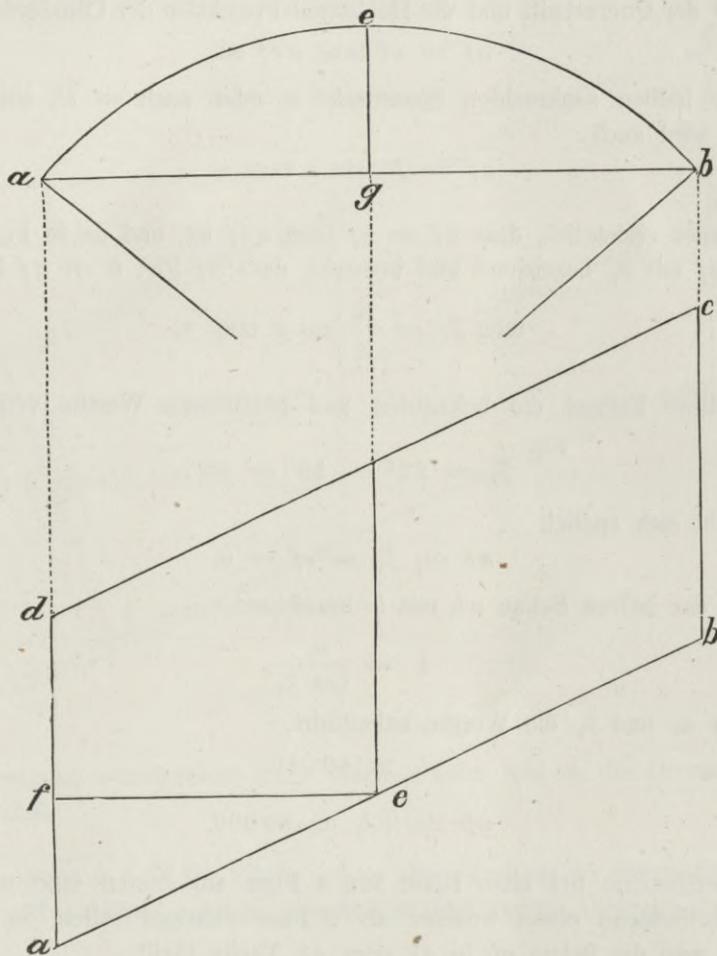
Wir wollen daher die beiden Fälle von 43 Gewölb- und 6 Anlaufsteinen und von 49 Gewölb- und 7 Anlaufsteinen einer näheren Berechnung unterziehen.

*) Durch Rechnung findet man $di = 11.378$ indem in dem Dreiecke adi die Seite ad , der Winkel $adi = \gamma'''$ und der Winkel $dai = 90 - \beta_1$ gegeben ist.

Da die ganze Länge der Sehne $2l = 80.098$ ist, so ergibt sich bei 43 Theilen die Länge eines solchen $n = 1.863$.

Da ferner die Länge der Widerlagslinie $ad = 33.101$ ist, so ergab sich bei 6 Anlaufsteinen die Länge eines solchen mit $m = 5.517$.

Fig. 10.



Da nun die Linie ai = der Breite von 6 Gewölbsteinen entsprechen müsste, so würde sie $N = \frac{12l}{43} = 11.176$, ferner wäre $ad = M = 33.101$ und der Winkel dai , den wir mit δ bezeichnen wollen, muss die Ergänzung von β_1 zu 90° sein, daher $\delta = 67^\circ - 40' - 22''$.

Es sind daher in dem Dreiecke adi zwei Seiten und der eingeschlossene Winkel gegeben, woraus sich der Winkel $adi = \gamma_1$ nach der Formel

$$\text{tang } \gamma_1 = \frac{N \sin \delta}{M - N \cos \delta}$$

berechnen lässt.

Durch Einführung der obigen Werthe findet man:

$$\gamma_1 = 19^\circ - 42' - 35''$$

woraus sich im Vergleiche mit dem aus dem mittleren Konstruktionswinkel abgeleiteten Winkel

$$\gamma''' = 20^\circ - 5' - 18''$$

ergibt, dass er um $0^0 - 22' - 43''$ zu klein ist, und gegenüber den beiden äussersten Grenzen des richtigen Konstruktionswinkels

$$\begin{aligned} \text{von } \gamma &= 16^0 - 53' - 14'' \text{ und} \\ \gamma' &= 25^0 - 0' - 0'' \end{aligned}$$

einen grössten Fehler von $5^0 - 17' - 25''$ erweist.

Ueberträgt man übrigens den für die innere Gewölbsfläche gefundenen Winkel γ_1 auf die mittlere und äussere Gewölbsfläche, so findet man für die mittlere Gewölbsfläche nach der Formel

$$\text{tang } \gamma_2 = \frac{R_2}{R_1} \text{ tang } \gamma_1$$

worin $R_2 = 44.984$ und $R_1 = 42.984$ ist,

$$\gamma_2 = 20^0 - 33' - 6''$$

und es ergibt sich gegenüber dem früher für die Mittelfläche gefundenen mittleren Konstruktionswinkel $\gamma_2 = 20^0 - 56' - 37''$ eine Differenz von $0^0 - 23' - 31''$ und gegenüber den richtigen Konstruktionswinkeln ein grösster Fehler von $4^0 - 26' - 54''$.

Für die äussere Gewölbsfläche findet man nach der Formel

$$\text{tang } \gamma_3 = \frac{R_3}{R_1} \text{ tang } \gamma_1$$

worin $R_3 = 46.984$, die anderen Grössen aber wie oben bleiben,

$$\gamma_3 = 21^0 - 23' - 4''$$

woraus sich gegenüber den richtigen Konstruktionswinkeln ein grösster Fehler von $4^0 - 29' - 50''$ ergibt, und ersichtlich wird, dass der grösste Fehler in den beiden Aussenflächen grösser als in der Mittelfläche ist, und dass er in der inneren Fläche sein Maximum von $5^0 - 17' - 25''$ erreicht.

Für den zweiten Fall, nämlich 49 Gewölb- und 7 Anlaufsteine, findet man, dass die Breite eines Gewölbsteines in der Sehne gemessen $n = 1.635$ würde, und die Breite von 7 solchen Gewölbsteinen

$$N = \frac{14 \text{ l}}{49} = 11.443.$$

Die Länge eines Anlaufsteines würde $m = 4.729$ und $M = 33.101$. Hiermit ergibt sich nach der Formel

$$\text{tang } \gamma_1 = \frac{N \sin \delta}{M - N \cos \delta}$$

$$\gamma_1 = 20^0 - 12' - 36''$$

daher gegenüber dem, aus dem mittleren Konstruktionswinkel abgeleiteten Winkel eine Differenz von $0^0 - 7' - 18''$ und einen grössten Fehler von $4^0 - 47' - 24''$.

Ueberträgt man diesen Winkel γ_1 auf dieselbe Weise wie früher auf die mittlere und äussere Gewölbsfläche, so findet man für die erstere

$$\gamma_2 = 21^0 - 4' - 10''$$

daher gegenüber dem mittleren Konstruktionswinkel eine Differenz von $0^0 - 7' - 23''$ und einen grössten Fehler von $4^0 - 10' - 56''$. Und für die äussere Gewölbsfläche wird

$$\gamma_3 = 21^0 - 55' - 9''$$

woraus sich ein grösster Fehler von $5^0 - 1' - 55''$ ergibt.

In diesem Falle erreicht daher der grösste Fehler sein Maximum in der äusseren Fläche.

Wie man sieht, wäre aber in beiden Fällen die Differenz gegenüber dem mittleren Konstruktionswinkel sehr unbedeutend geworden, und der grösste Fehler wäre noch immer derart, dass er mit voller Sicherheit begangen werden konnte. Beide Fälle waren daher für die Ausführung gleich empfehlenswerth.

Indessen stellten sich der praktischen Ausführung sowohl des einen als anderen Falles Hindernisse entgegen, welche durch Lokal- und andere Verhältnisse noch weit mehr Gewicht erhielten, als sie vielleicht verdienten. Namentlich aber erschienen die Gewölbsteine bei einer Eintheilung in 49 Theile und der Anlaufsteine in 7 Theile im Verhältnisse zu ihrer Höhe zu schmal, bei der Eintheilung in 43 Gewölb- und 6 Anlaufsteine wurden dagegen die letzteren zu massiv, da deren jeder im rein bearbeiteten Zustande noch 85 Cubikfuss hätte enthalten müssen, was mit Bezug auf die zu Gebote gestandenen Hilfsmittel und in Anbetracht, dass die Ecksteine noch weit grösser geworden wären, nicht als ausführbar erklärt wurde. Ja selbst bei der Eintheilung in 7 Anlaufsteine musste jeder derselben noch mehr als 72 Cubikfuss enthalten, und es wurde daher auch noch deren Aufbringung als sehr zweifelhaft bezeichnet.

Nach vielfältiger Ueberlegung und Abwiegung aller Verhältnisse, ferner da die Rechnung ergab, dass selbst bei 43 Gewölbsteinen mit 7 Anlaufsteinen der grösste Fehler kaum $\frac{1}{5}$ des Reibungswinkels zwischen den Lagerflächen der Gewölbsteine beträgt, daher auch der Fall einer wirklichen Gefahr noch nicht anzunehmen war, damit aber eben die wünschenswerthesten Verhältnisse für die Ausführung erzielt werden konnten, gleichzeitig aber auch der nicht tragende Theil des Gewölbes verkleinert wurde, entschied man sich entgegen meiner Ansicht für die Eintheilung in 43 Gewölbsteine mit 7 Anlaufsteinen, wornach auch die Gewölbe ausgeführt wurden. Eine nähere Untersuchung dieser Vertheilung ergibt folgendes: Bei 43 Gewölbsteinen wird nämlich in der inneren Fläche deren Breite in der Sehne gemessen $n = 1.863$ und die Breite von 7 Steinen $N = \frac{14l}{43} = 13.039$, ferner wird bei 7 Anlaufsteinen für jeden $m = 4.729$, und die ganze Länge ist $M = 33.101$.

Der Winkel δ bleibt wie früher $\delta = 67^\circ - 40' - 22''$.

Mittelst dieser Daten ergibt sich nach der Formel

$$\text{tang } \gamma_1 = \frac{N \sin \delta}{M - N \cos \delta}$$

der Winkel γ_1 mit $\gamma_1 = 23^\circ - 11' - 43''$.

Dieser Winkel ist daher um $3^\circ - 6' - 25''$ grösser als der aus dem mittleren Konstruktionswinkel für die innere Gewölbsfläche abgeleitete Winkel und der grösste Fehler beträgt $6^\circ - 18' - 29''$.

Wird weiters dieser Winkel γ_1 nach der Formel:

$$\text{tang } \gamma_2 = \frac{R_2}{R_1} \text{ tang } \gamma_1$$

auf die mittlere Gewölbsfläche übertragen, wobei wie früher $R_2 = 44.984$ und $R_1 = 42.984$ ist, so findet man $\gamma_2 = 24^\circ - 9' - 12''$.

In der mittleren Gewölbsfläche wird daher der Winkel der Lagerfugen um $3^\circ - 12' - 35''$ grösser als der mittlere Konstruktionswinkel und der grösste Fehler beträgt

$$7^\circ - 15' - 58''$$

welches auch die Grösse des für die Beurtheilung der Gefahr massgebenden Fehlers ist.

Für die äussere Gewölbsfläche ergibt sich endlich nach der Formel

$$\text{tang } \gamma_3 = \frac{R_3}{R_1} \text{ tang } \gamma_1$$

wobei wie früher $R_3 = 46.984$ ist,

$$\gamma_3 = 25^\circ - 5' - 51''$$

mithin ein grösster Fehler von $8^\circ - 12' - 37''$, welches gleichzeitig das Maximum des vorkommenden Fehlers darstellt.

Da nun der Reibungswinkel zwischen rein bearbeitetem festen Kalkstein auf gleichen Stein, d. h. der Winkel, unter welchem ein Abgleiten beginnt, 35 bis 36 Grad beträgt, und wir gefunden haben, dass in der mittleren Fläche der grösste Fehler bloß $7\frac{1}{4}$ Grad ist, so konnte allerdings mit Beruhigung angenommen werden, dass noch durchaus keine Gefahr des Abgleitens eintritt. Demungeachtet konnten mir die angeführten Motive nicht gewichtig genug erscheinen, um desshalb den Fehler grösser zu machen, als er bei Anwendung eines konstanten Konstruktionswinkels ohnedies unvermeidlich ist. Indessen musste ich mich hierin dem ausdrücklichen Wunsche meines vorgesetzten Oberingenieurs fügen.*)

Zu den bisherigen Berechnungen musste immer die Breite der Gewölbsteine in der Sehne gemessen, angenommen werden, da aber diese den Stein nicht senkrecht schneidet, so erübrigt noch, die senkrechte Breite der Gewölbsteine zu berechnen, welche man wie folgt findet:

Für die innere Gewölbsfläche

$$n_1 = m \sin \gamma_1 = 1.862$$

für die mittlere Gewölbsfläche

$$n_2 = m \sin \gamma_2 = 1.935$$

und endlich für die äussere Gewölbsfläche

$$n_3 = m \sin \gamma_3 = 2.006.$$

Für die weiteren Berechnungen werden wir endlich noch die Differenz zwischen dem inneren und äusseren Konstruktionswinkel brauchen und wollen sie daher ebenfalls hier gleich anführen. Es ist nämlich

$$\varepsilon = \gamma_3 - \gamma_1 = 1^\circ - 54' - 8''.$$

Stellt man nun zur leichteren Uebersicht die Resultate der für die Ausführung bestimmten durch Rechnung gefundenen Grössen für die innere, mittlere und äussere Gewölbsfläche zusammen, so ergibt sich die folgende Tabelle:

Gefundene Grösse	Innere	Mittlere	Äussere	Anmerkung
	Gewölbs-Fläche			
Halbmesser	$R_1 = 42.984$	$R_2 = 44.984$	$R_3 = 46.984$	Der richtige Konstruktionswinkel beträgt: am Anlaufe $16^\circ - 53' - 14''$ am Schlusse $25^\circ 0' 0''$ der gerechnete mittlere Konstruktionswinkel soll sein: $20^\circ - 56' - 37''$.
Mittelpunktswinkel	$\varphi = 49^\circ - 22' - 49.6''$	—	—	
Senkrechter Umfang	$u_1 = 37.046$	$u_2 = 38.769$	$u_3 = 40.493$	
Schiefe Sehne	$l_1 = 40.049$	—	—	
Senkrechte Breite der Gewölbsteine	$n_1 = 1.862$	$n_2 = 1.935$	$n_3 = 2.006$	
Länge der Anlaufsteine	$m = 4.729$	—	—	
Konstruktionswinkel	$\gamma_1 = 23^\circ - 11' - 43''$	$\gamma_2 = 24^\circ - 9' - 12''$	$\gamma_3 = 25^\circ - 5' - 51''$	
Grösster Fehler	$6^\circ - 18' - 29''$	$7^\circ - 15' - 58''$	$8^\circ - 12' - 37''$	
Differenz $\gamma_3 - \gamma_1$	$\varepsilon = 1^\circ - 54' - 8''$			

Nach dieser allgemeinen Ausmittlung der Lagerfugen in der inneren und äusseren Gewölbsfläche ergibt sich zuerst für die Konstruktion des Zahnschnittes der Anlaufsteine folgendes:

Die Fläche des Zahnschnittes, welche einen Theil der inneren Gewölbsfläche zu bilden bestimmt ist, muss in der developpirten Fläche ein rechtwinkliches Dreieck abc Fig. 11 darstellen, dessen Hypothenuse

*) Aus einem, in neuester Zeit in der allgemeinen Bauzeitung 1871, VII., VIII. und IX. Heft erschienen Aufsätze geht hervor, dass Herr Hoffmann die im Jahre 1839 erschienene Schrift von Georg Watson Buck (vide Anhang) als Leitfaden für seine Anschauungen diente.

Ganz ebenso wird auch eine Horizontal-Projektion dieser Zahnschnitte gefunden, deren Konstruktion aus der beistehenden Zeichnung und der Bezeichnung der zusammengehörigen Punkte mit gleichen Buchstaben zur Genüge ersichtlich sein wird.*)

Fig. 12.

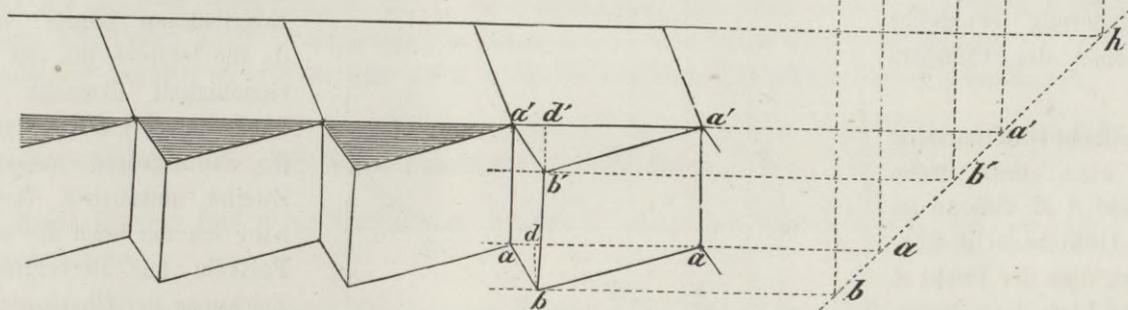
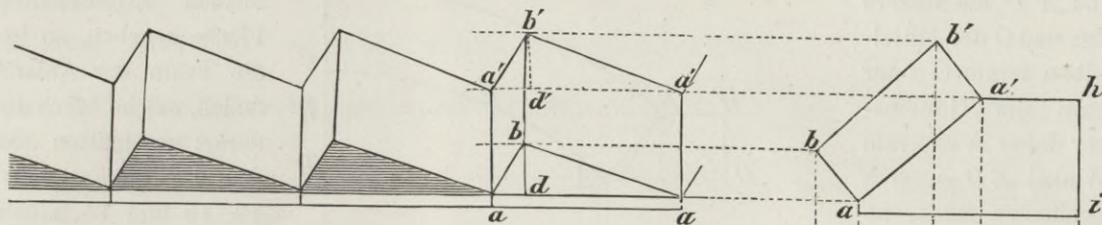


Fig. 13.

Fig. 14.

Dass übrigens die Linien $b b'$ in Figur 14 nicht durch den Mittelpunkt der konzentrischen Kreise $b a$ und $b' a'$, ferner in Figur 12 und 13 nicht senkrecht auf die Widerlagslinie und parallel zu $a a'$ laufen, ist Folge der eigentlich unkonstruktiven Abänderung, dass die Stossfugen in der äusseren Gewölbsfläche senkrecht auf den Lagerfugen stehen sollen, wodurch auch die Kanten oder Linien $b b'$ in allen Figuren keine Radialen mehr sind.

In soferne weiters die Theile $a a' h i$ Figur 14 der Anlaufsteine als Theile der Pfeiler betrachtet werden können, kann auch die Form ihrer Stossflächen gleichgiltig genannt werden, aber wenn man bemerkt, dass in dieser Schichte sich die ganzen Horizontalschube der Gewölbe konzentriren, so musste es auch wünschenswerth erscheinen, die Stossflächen derart anzuordnen, dass sie in der Richtung dieses Horizontalschubes zu liegen kommen. Ein einfacher vertikaler, schiefer Schnitt in der Richtung des Gewölbschubes ist aber nicht möglich ohne die Zähne selbst schief zu durchschneiden. Ein solcher Schnitt musste daher so angeordnet werden, dass die Linie $a a'$ Figur 12, 13 und 14 in der Schnittfläche zu liegen kommt, und es erschien daher am zweckmässigsten, die Stossfläche des Zahnschnittes $b b' a a'$ sich durch den übrigen Theil des Steines fortgesetzt zu denken, indem, wenn diese Fläche im Gewölbe genügt, d. h. kein bemerkenswerther Druck darauf ausgeübt wird, es auch die entsprechendste Fläche für den Zusammenstoss der Anlaufsteine, in welchen man sich das Gewölbe fortgesetzt denken kann, sein muss. Um jedoch die aus dem nicht senkrechten Durchschnitt der Spiralen in der äusseren Gewölbsfläche entspringende Gesetzlosigkeit in dieser Stossfläche $b b' a a'$ nicht auf die ganze

*) Ich muss hier bemerken, dass in meiner „Theorie der schiefen Gewölbe“ die Fig. 18 und 20, Taf. 2, durch ein mir unerklärliches Versehen ganz falsch gezeichnet wurden, wie sich diess bei einer Vergleichung mit den obigen Figuren 12 und 13 leicht zeigen wird.

Da ferner $DA = DB - AB$ ist,

$$\text{und } DB = R_3 \sin \varphi' = \sqrt{R_3^2 - R_1^2 \cos^2 \varphi} \quad AB = R_1 \sin \varphi \text{ ist,}$$

$$\text{so folgt hieraus die Breite } AD = d = \sqrt{R_3^2 - R_1^2 \cos^2 \varphi} - R_1 \sin \varphi.$$

Die obere Breite $A'D'$ ergibt sich ebenso, wenn man bemerkt,

$$\text{dass } D'B' = DB = R_3 \sin \varphi' = \sqrt{R_3^2 - R_1^2 \cos^2 \varphi} \text{ und } A'B' = R_3 \sin \varphi \text{ ist,}$$

$$\text{daher } A'D' = d' = D'B' - A'B' = \sqrt{R_3^2 - R_1^2 \cos^2 \varphi} - R_3 \sin \varphi.$$

Die Höhe der Anlaufsteine $DD' = k$ ergibt sich endlich aus der Formel $k = (R_3 - R_1) \cos \varphi$.

Denkt man sich jetzt den Punkt D in die Horizontal-Projection übertragen, so muss derselbe, da er ein Punkt der äusseren Gewölbsfläche ist, in die Verlängerung der Linie Oa' , mithin nach d fallen, und verbindet man den Punkt a mit d , schneidet die Länge $ab =$ der Länge eines Anlaufsteines ab, und zieht durch b die Linie bd' parallel zu ad , so gibt $abd'd$ die Grund- oder Lagerfläche eines Anlaufsteines.

Wird weiters die Linie bb' radial und durch die Punkte a' und b' die Linie $a'e$ und $b'e$ parallel zu ad gezogen, so gibt $a'b'c'e$ die obere Fläche eines Anlaufsteines.

Beide Flächen sind daher vollkommen bestimmt, wenn der Winkel $a'ad$, den wir mit ε bezeichnen wollen, gegeben ist.

Bezeichnet man zu diesem Zwecke den Winkel dOE mit α' , so ergibt sich nach dem mitgetheilten Gesetze der Linie Od , dass $R_3 \tan \alpha' = R_1 \tan \alpha$ sein muss, daher

$$\tan \alpha' = \frac{R_1}{R_3} \tan \alpha, \text{ wobei}$$

α wie immer den Abweichungswinkel, der bei uns $= 25^\circ$ ist, bezeichnet. Da nun

$$de = ae \tan \varepsilon = d \tan \varepsilon, \text{ ferner}$$

$$de = dE - eE = dE - aE \text{ und}$$

$$dE = (s + d) \tan \alpha' = \frac{(s + d) R_1}{R_3} \tan \alpha$$

$aE = s \tan \alpha$ ist, wobei s wie früher die halbe senkrechte Spannweite bezeichnet, so ist auch

$$de = \left(\frac{(s + d) R_1}{R_3} - s \right) \tan \alpha, \text{ mithin}$$

$$\tan \varepsilon = \frac{s R_1 + d R_1 - s R_3}{d R_3} \tan \alpha$$

Mit Hilfe dieses Winkels ε kann jetzt auch die Länge der Linien $ad = bd'$ für die untern und $a'e = b'e'$ für die obere Fläche gefunden werden, indem

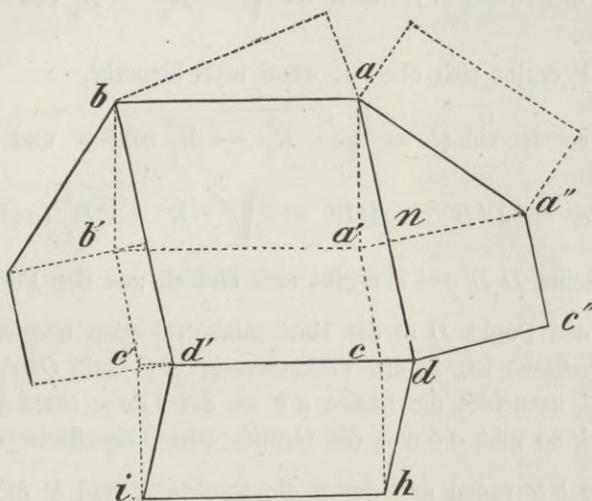
$$ad = \frac{d}{\cos \varepsilon} \text{ und } a'e = \frac{d'}{\cos \varepsilon} \text{ ist.}$$

Denkt man sich endlich noch die Stirnfläche um die Linie ad Figur 16 umgelegt, so muss die Linie na'' die Hypotenuse eines Dreieckes sein, dessen eine Kathete $a'n = aa' \sin \varepsilon = (d - d') \sin \varepsilon$ und dessen andere Kathete der senkrechten Höhe des Anlaufsteines, die wir mit k bezeichnet haben gleich ist. Es ist daher

$$na'' = \sqrt{(d - d')^2 \sin^2 \varepsilon + k^2}$$

ferner ist $a n = (d - d') \cos \varepsilon$ wodurch, da $a'' c'' = a' c$ ebenfalls gegeben ist, auch die ganze Fläche, welche mit der gegenüber liegenden Stossfläche kongruent ist, vollkommen bestimmt ist. Die rückwärtige in unserer Zeichnung um die Linie $d d'$ umgelegte Fläche ist endlich durch die Grösse $d c = (d - d') \tan \varepsilon$ und die senkrechte

Fig. 16.



Höhe des Anlaufsteines, die wir mit k bezeichnet haben, ebenfalls genügend bestimmt.

Berechnet man mit Hilfe dieser Formeln die einzelnen Dimensionen, und verbindet mit dem derart erhaltenen Stein den bereits früher bestimmten Zahnschnitt, so erhält man ein vollständiges Bild der Anlaufsteine, wie sie ausgeführt wurden.

Hier bleibt nur noch einiges über die beiderseitigen Ecksteine zu be-

merken. Dieselben werden nämlich durch die vertikalen Ebenen, welche die beiderseitigen Stirnflächen des Gewölbes abgränzen, geschnitten, so dass der eine im rückwärtigen Theile etwas kürzer, der andere um ebensoviel länger wird. Dieser schiefe Schnitt ist nun nur in so fern von Wichtigkeit, als er den Zahn des Anlaufsteines ändert.

Ist nämlich Figur 17 eine Reihe von Anlaufsteinen

und $A B$ und $A' B'$ die Richtung der beiderseitigen vertikalen Ebenen, so wird einseits von der Kämpferlinie der äusseren Gewölbsfläche $a b'$ das Stück $a' b'$ abgeschnitten, anderseits wird der Stein um ebenso viel länger. Da wir nun bereits früher die Länge der Linie $b' c'$ in ihrer Horizontal-Projektion $= d - d'$ gefunden haben und der Winkel $b' c' a' = \alpha = 25^\circ$ gegeben ist, so wird $a' b' = (d - d') \tan \alpha$.

In der developpirten äusseren Gewölbsfläche Fig. 18 wird daher einerseits von dem Dreiecke, welches den Zahnschnitt begränzt, der Theil $a' b' c'$ abgeschnitten welcher, obwohl die Seite $a' c'$ streng genommen eine Curve ist, wovon aber bei der geringen Länge der Linie $a' c'$ abstrahirt werden soll, als Dreieck berechnet werden kann, in welchem die eine Seite $a' b'$, der Winkel $a' b' c' = \gamma_3$ und der Winkel $b' a' c' = 90 - \gamma$ gegeben ist, indem eine Lagerfuge mit dem richtigen Konstruktionswinkel γ auf der Curve $a' c'$ in a' senkrecht stehen muss.

Es sind daher in dem abgeschnittenen Dreiecke eine Seite und die beiden anliegenden Winkel gegeben, woraus alle anderen Grössen berechnet werden können, und wodurch der abgeschnittene Theil des Zahnes vollkommen bestimmt ist.

An der anderen Seite dagegen wird die Länge des Zahnes m um die Grösse $a b = (d - d') \tan \alpha$ vermehrt. Es ist daher in dem ganzen Dreiecke $a e c$, worin wieder die Linie $a c$ als Gerade angesehen werden darf, die Seite $a e = m + (d - d') \tan \alpha$, der Winkel $a e c = \gamma_3$ und der Winkel $e a c = 90 - \gamma$ gegeben, womit alle anderen Grössen berechnet werden können, und es erübrigt nur noch zu bemerken, dass bei diesem Zahne sich auch die innere Gewölbsfläche etwas ändert, was da sich hier die Länge m nicht ändert, dadurch gefunden wird, wenn man in dem Dreiecke $b e d$ Figur 18 den Winkel $e b d$ gleich $90 - \gamma_3$ setzt und da somit ebenfalls die Seite $e b = m$ und die beiden anliegenden Winkel $b e d = \gamma_3$ und $e b d = 90 - \gamma$ gegeben sind, daraus die Länge $e d$ berechnet.

Da endlich in Folge der Bogenstellung der Brücke die Horizontalschube je zweier Gewölbe sich nicht gerade entgegen gesetzt sind, sondern unter einen Winkel von $171^\circ - 34' - 40''$ sich schneiden, so war noch ein Verschieben der Anlaufsteine in der Richtung der Resultirenden aus diesen beiden Kräften zu berücksichtigen. Obwohl nun, wie ich bei Gelegenheit der Besprechung über die Nachmauerung zeigen werde, in dieser

Beziehung nichts zu fürchten war, so wurden der grösseren Vorsicht wegen doch die Anlaufsteine mittelst eiserner Bolzen mit der unteren Schichte verbunden.

In Betreff der Anarbeitung der Gewölbesteine selbst muss vorausgesendet werden, dass die Lagerflächen streng genommen konoidische Flächen sind, welche dadurch entstehen, dass sich eine gerade Linie senkrecht auf der inneren Gewölbsfläche entlangst der Spirale, welche die Lagerfuge bezeichnet, fortbewegt. Da indessen

Fig. 17.

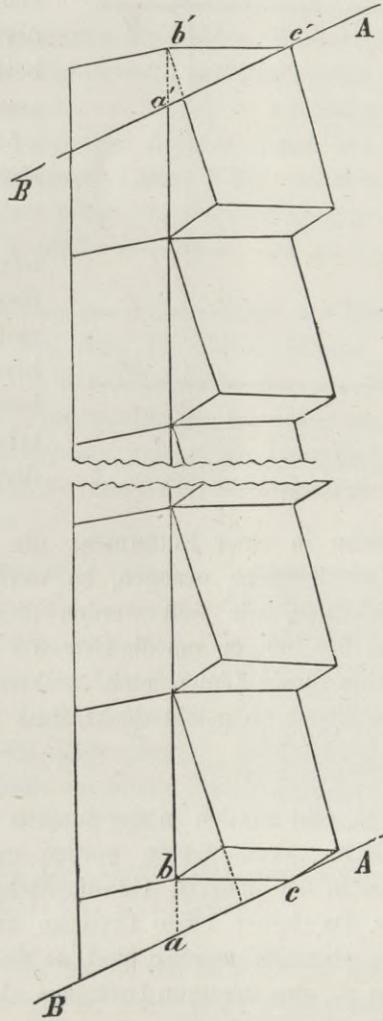
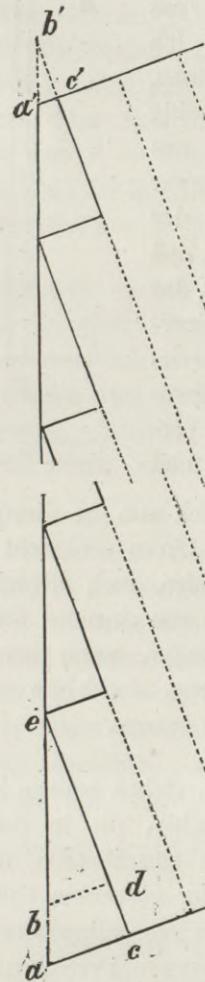


Fig. 18.

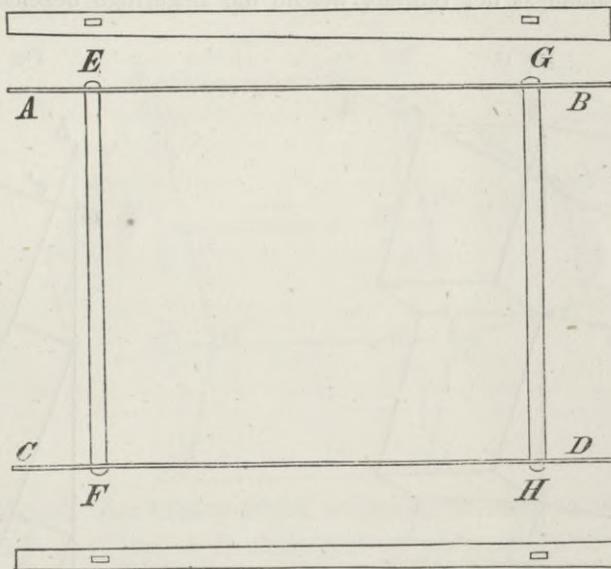


bei der geringen Länge eines Steines im Verhältnisse zum Krümmungshalbmesser der Spirale mindestens in unserem Falle diese Fläche für jeden einzelnen Stein als windschiefe Fläche behandelt werden kann, so wurden die Lagerflächen der einzelnen Steine auch als solche behandelt, und hiezu das von G. W. Buck in seinem Werke *A practical and theoretical Essay on oblique bridges*, London 1839, Seite 12 angegebene Windschiefe-lineal auch Windschiefelehre, verwendet, welches seiner Einfachheit wegen, und da es für jede Länge des Gewölbesteines angewendet werden kann, sich zur Bearbeitung der Gewölbesteine ganz besonders empfiehlt. Dasselbe besteht im Wesentlichen aus zwei Linealen AB und CD , Figur 19, welche durch 2 Querstangen EF und GH so verbunden sind, dass sie ihre Stellung auf der schmalen Kante immer beibehalten, ohne aber deswegen steif und unbeweglich zu sein. Es sind zu diesem Zwecke die Verbindungen bei E, F, G und H nicht vollkommen fest, sondern derart, dass sie noch immer einige Bewegung zulassen, angefertigt. Die beiden Lineale sind in ihrer

vertikalen Ansicht derart hergestellt, dass das eine der ganzen Länge nach gleich hoch, das andere dagegen nur einerseits ebenso hoch, andererseits aber höher ist, so dass die beiderseitigen Kanten des zweiten Lineals nicht parallel laufen, sondern divergiren.

Fig. 19.

Die Länge der beiden Lineale entspricht genau der Dicke des Gewölbes, daher sie für unseren Fall 4 Fuss lang gemacht würden. Ich liess die ganze Vorrichtung, deren mehrere gleichzeitig in Verwendung waren, aus Eisen anfertigen, und zwar war das eine Lineal der ganzen Länge nach $1\frac{1}{2}$ Zoll hoch und $\frac{1}{4}$ Zoll dick, das andere Lineal dagegen einerseits $1\frac{1}{2}$ Zoll, andererseits $2\frac{1}{2}$ Zoll hoch und ebenfalls $\frac{1}{4}$ Zoll dick. Die Verbindungsstangen $E F$ und



$G H$ wurden aus 1 Zoll breiten $\frac{1}{4}$ Zoll dicken Eisenstangen angefertigt, und derart bestimmt, dass die beiden Lineale einerseits genau 2.5 Fuss, andererseits 2.5375 Fuss von einander abstanden.

Es soll nun gezeigt werden, auf welche Weise dieses Lineal angewendet, und wie dessen Dimensionen berechnet wurden. Wieschon bemerkt, dient es zur Anarbeitung der Lagerflächen der Gewölbsteine.

Denkt man sich nun in dieser konoidischen Fläche in einer Entfernung, die wir vorläufig mit l bezeichnen wollen, zwei Linien senkrecht auf die innere Gewölbsfläche gezogen, so werden diese beiden Linien da sie beide radial laufen, auch divergiren. Es fragt sich nun, wie weit werden diese beiden Linien in der äusseren Gewölbsfläche von einander abstehen, wenn sie in der inneren um die Grösse l entfernt sind. Dies wird aber sehr einfach gefunden, wenn man sich durch die eine dieser Linien eine, senkrecht auf der Achse des Cylinders stehende Ebene, durch die andere dagegen eine Ebene so gelegt denkt, dass die Achse des Cylinders in derselben zu liegen kommt.

Beide Ebenen stehen sodann auf einand senkrecht, und werden in der inneren und äusseren Gewölbsfläche Schnitte verursachen, die in der developpirten Fläche gerade Linien werden und mit den Spiralfugen rechtwinklige Dreiecke einschliessen, deren Hypothenusen in der inneren Gewölbsfläche $= l$, in der äusseren Gewölbsfläche gleich der gesuchten Grösse l' sein werden. Da ferner beide Dreiecke eine Kathete gleich lang, und in jedem Dreiecke ein anliegender Winkel γ_1 und γ_3 ebenfalls gegeben sind, so findet man leicht, dass die beiden Katheten des inneren Dreieckes $l \cos \gamma_1$ und $l \sin \gamma_1$, des äusseren Dreieckes aber $l' \cos \gamma_3$ und $l' \sin \gamma_3$ sein müssen, und dass ferner $l \cos \gamma_1 = l' \cos \gamma_3$ sein muss,

$$\text{woraus } l' = \frac{l \cos \gamma_1}{\cos \gamma_3}$$

Stehen demnach die beiden Lineale unterhalb um l von einander entfernt ab, so müssen sie oberhalb

$$\text{um } l' = l \frac{\cos \gamma_1}{\cos \gamma_3}$$

entfernt gehalten werden.

Wird daher, wie es bei uns der kürzesten Steine wegen angenommen werden musste, $l = 2.5$ gesetzt, so ergibt sich $l' = 2.5375$. Diese Formel dient aber gleichzeitig auch zur Bestimmung der Länge der Gewölbsteine in der äusseren Gewölbsfläche, indem, da die Spirallinien in der äusseren Gewölbsfläche etwas länger sind

als die zugehörigen Spirallinien in der inneren Fläche, auch die einzelnen Gewölbsteine oben etwas länger sein müssen, wenn nicht die Stossfugen sich nach oben öffnen sollen. Es ist daher nöthig, für die vorkommenden Längen l der Gewölbsteine in der inneren Fläche die zugehörigen Längen l' in der äusseren Gewölbsfläche nach der obigen Formel zu berechnen.

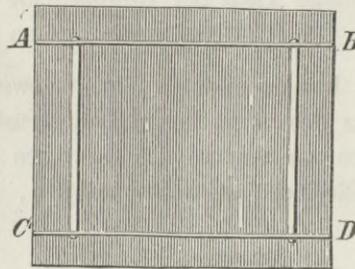
Für unseren Fall ergab sich die vollkommen ausreichende praktische Regel, dass für je $5\frac{1}{2}$ Zoll innerer Länge des Steines eine Linie zur äusseren Länge zugeschlagen werden musste.

Denkt man sich weiters die beiden Winkel γ_1 und γ_3 derart über einander gezeichnet, dass sie den einen Schenkel und den Winkelpunkt gemeinschaftlich haben, so werden die beiden anderen Schenkel einen Winkel $\varepsilon = \gamma_3 - \gamma_1 = 1^\circ - 54' - 8''$ einschliessen, und gleichzeitig werden diese beiden Schenkel die gegenseitige Lage der oberen und unteren Kante des Steines repräsentiren. Eine einfache Betrachtung zeigt sodann, dass bei einer gewissen Länge l der unteren Kante, die obere um $d = l \tan \varepsilon$ senkrecht auf die erstere gemessen, abstehen müsse, und dieser Ausdruck gibt uns auch das Mass für die Divergenz des einseitigen Richtlineals. Setzt man nämlich wieder $l = 2.5$, so ergibt sich $d = 0.08303$ Fuss = 0.996 Zoll.

Wie man schon aus der Entwicklung der Dimensionen des Richtlineals ersieht, müssen für den Fall, als dasselbe so gestellt wird, dass die oberen Kanten der beiden Lineale in einer Ebene liegen, die unteren Kanten die Lage zweier, in der Lagerfläche der Gewölbsteine gezogener radialer Linien annehmen. Die Anwendung dieses Richt- oder Windschieflineals ist daher auch sehr einfach. Dasselbe wird nämlich auf die Fläche des roh vorbereiteten Gewölbsteines, welche als Lagerfläche dienen soll, derart aufgelegt, wie es aus der bestehenden Zeichnung Figur 20 ersichtlich ist, sodann die Lage der Lineale mit Kohle bezeichnet, und zwei rinnen-

Fig. 20.

förmige Vertiefungen entlängst AB und CD derart eingearbeitet, dass, wenn das Instrument in dieselben eingelegt wird, die oberen Kanten der Lineale AB und CD in einer Ebene liegen, d. h. wenn man mit dem Auge über das Lineal CD visirt, muss die Kante des Lineals AB zu CD parallel



laufen, und der ganzen Länge nach durch die letztere gedeckt werden.

Sodann wird die ganze übrige Fläche des Steines derart abgearbeitet, dass ein Lineal, senkrecht auf AB und CD entlängst des Steines fortbewegt, sich an denselben immer vollkommen anlegt und die beiden Rinnen in die

Fläche zu liegen kommen. Die Abarbeitung wird von einer Seite, z. B. zwischen A und C begonnen und gleichmässig vorrückend gegen B und D fortgesetzt.

Bei einiger Uebung macht die Bearbeitung dieser Flächen nicht im mindesten mehr Schwierigkeit, als die Bearbeitung einer Ebene. Ist diese erste Fläche bearbeitet, so wird hierauf die genaue Form der Lagerfläche vorgerissen, wobei die Mittellinie der Lagerfläche senkrecht auf die untere Kante gezogen, und die obere und untere Länge mit Berücksichtigung der Differenz in derselben beiderseits aufgetragen wurde, sodann wurden die beiderseitigen Stossflächen einfach derart angearbeitet, dass sie mit der Lagerfläche in jedem Punkte einen rechten Winkel einschliessen.

Auf die, derart ohne die geringste Schwierigkeit angearbeiteten Stossflächen wurde sodann mittelst einer, aus Eisenblech genau nach dem senkrechten Querschnitt der Gewölbsteine angefertigten Chablone die Form des Steines angezeichnet, wodurch sich die beiderseitigen Kanten für die zweite Lagerfläche und die innere Gewölbsfläche ergaben und auch diese ohne Anstand bearbeitet werden konnten.

Wie man sieht, wurde auf die Krümmung der inneren Gewölbsfläche keine Rücksicht genommen, indem bei dem verhältnissmässig grossen Krümmungshalbmesser die Abweichung von der Geraden so gering war, dass

sie selbst mit dem besten Willen nicht sichtbar gemacht werden konnte. Das beschriebene Windschiefflineal diente endlich aber nicht blos zur Bearbeitung, sondern auch zur Prüfung der Lagerflächen, und zwar nicht blos bei den einzelnen Steinen, sondern auch nachdem sie versetzt waren, zur Untersuchung der aus zwei Steinen zusammengestossenen Lagerfläche.

Diejenigen Steine, welche an die Stirnfläche zu liegen kommen, erhalten einerseits statt der Stossfläche einen vollkommen ebenen Schnitt, durch welchen die Lagerflächen schief geschnitten werden. Dieser Schnitt ist für jeden einzelnen Stein ein anderer, und obwohl ich mich bemühte, ein einfaches Verfahren zur Bestimmung dieses Schnittes auszumitteln, und auch die von G. W. Buck in seinem früher angeführten Werke angegebenen Konstruktionen machte, so zogen es die Werkleute doch vor, sich diesen Schnitt für jeden Stein einzeln vom Lehrgerüste abzunehmen, und da ich selbst dieses Verfahren am Ende für das Beste erkannte, so übergehe ich hier auch alle als überflüssig befundenen Konstruktionen und Berechnungen.

In Bezug auf das Versetzen der angearbeiteten Gewölbssteine, wurde nicht das gewöhnliche Verfahren angewendet, wornach im spitzen Winkel des Gewölbes die ersten Steine versetzt, und sodann jede Lage vollkommen geschlossen und sodann erst die nächste begonnen wird, indem hiedurch nothwendiger Weise eine sehr ungleiche Belastung des Lehrgerüsts entsteht, sondern es wurde das, in meiner Theorie der schiefen Gewölbe, Seite 67 u. w. beschriebene Verfahren, wornach das Gewölbe der ganzen Breite nach gleichmässig in Stufen vorschreitet, angewendet. Zur Versinnlichung des Fortganges des Baues wurde auf Taf. 2 das Gewölbe im Laufe des Baues dargestellt. Die straffirten Steine am Lehrgerüste stellen die Schlusssteine dar, welche mit ausserordentlicher Sorgfalt angearbeitet, und mittelst Handrammen fest eingetrieben wurden.

Diese Schlusssteine wurden ferner um 8 Zoll länger gemacht, als die eigentliche Stärke des Gewölbes erforderte, und die Verschalung des Lehrgerüsts an dieser Stelle abgenommen, so dass die Steine so lange eingetrieben werden konnten, bis der zu lange Theil der Gewölbssteine an der inneren Fläche grössten Theils vorstand. Dieser vorspringende Theil der Gewölbssteine wurde sodann abgearbeitet.

Dieses, meines Wissens noch bei keinem anderen Bau angewendete Verfahren wurde aus der Ursache so sorgfältig vorgenommen, weil sich, trotz des vorzüglichen Lehrgerüsts und trotz der Belastung des Scheitels mehrere Gewölbsfugen nächst des Anlaufes vor Schluss des Gewölbes oben öffneten. Es musste daher ein Abdrücken der Kanten in der inneren Gewölbsfläche gefürchtet werden, und ich war daher auf Mittel bedacht, das ganze Gewölbe zu heben.

In der That gelang mir dies durch das angegebene Verfahren vollkommen, indem sich das Gewölbe nächst dem Scheitel um mehr als einen Zoll über das Lehrgerüst erhob.

Um übrigens einem Abspringen der Kanten vorzubauen, wurden dieselben entlängst der Lagerfugen nicht nur kanelirt, sondern auch überdies noch die Fugen nach aussen etwas erweitert. Zwischen die Lagerflächen selbst wurde aber Pappendeckel eingelegt, der $1\frac{1}{2}$ Linie stark, per Quadrat-Fuss 12 Loth schwer war, und vor der Verwendung möglichst vollkommen mit Theer getränkt war.

Die beiderseitigen Lagerflächen wurden zuerst mit fettem Kalkbrei angestrichen, sodann der Pappendeckel aufgelegt, und der zu versetzende Stein darauf gelegt.

Dieses Verfahren zeigte blos den Uebelstand, dass trotz der sehr sorgfältigen Asphaltirung immer noch etwas Wasser eindrang, zwischen den Lagerflächen durchsickerte und sodann an der inneren Gewölbsfläche, durch den Theer braun gefärbt, herabliief, so dass das Gewölbe in kurzer Zeit ein sehr alterthümliches Aussehen bekam. Indessen dauerte dieses Durchsickern nur ganz kurze Zeit, und wurde später nicht mehr beobachtet.

Demungeachtet kann ich nur bedauern, dass mein erster Antrag, hiezu Bleiplatten zu verwenden, aus ökonomischen Rücksichten verworfen wurde, und werde später hierauf noch zu sprechen kommen.

Die Einwölbung selbst konnte, nachdem fast das ganze Jahr 1848 mit Aufstellung des Lehr- und Laufgerüsts und mit Versetzung des Kämpfer-Gesimses und der Anlaufsteine verlief, erst am 24. November 1848 begonnen werden, und es wurde selbst jetzt, theils wegen Witterungs-, theils anderer Verhältnisse wegen nur so langsam gearbeitet, dass am 17. Februar 1849 erst 192 Stück Gewölbsteine versetzt waren. Von da an wurde aber die Arbeit wieder mit aller Energie aufgenommen, und den 3. Juni 1849 wurde der letzte der 1260 Stück Gewölbsteine versetzt.

Zwei Nivellements der Gewölbsscheitel, deren ersteres am 19. Juni 1849 vor Lüftung des Lehrgerüsts vorgenommen wurde, das zweite am 25. Juni desselben Jahres nach Lüftung aller Gerüste, ergab eine Setzung des Gewölbes zwischen 0.008 und 0.010 Klafter d. i. zwischen $\frac{1}{2}$ und $\frac{3}{4}$ Zoll. Spätere Erhebungen unterm 9. Juli, 11. Juli, 26. Juli, wo die Aufmauerung der Parapetmauern bereits bis zum Gewölbsschlusse, sowie auch die Nachmauerung hergestellt war, endlich ein wiederholtes Beobachten des Verhaltens der horizontalen Parapetmauern ergaben nicht die geringste weitere Setzung.

Erst nach mehreren Jahren bei Gelegenheit eines zufälligen Aufenthaltes in Steinbrück beobachtete ich eine weitere Setzung, welche wahrscheinlich der Verwesung des verwendeten Pappendeckels zwischen den Lagerflächen zuzuschreiben sein dürfte.

Die Nachmauerung.

Obwohl die Nachmauerung für ein schiefes Gewölbe genau denselben Gesetzen unterliegt, wie für jedes andere Gewölbe, so sollte doch derselben bei schiefen Gewölben, wenn sie nicht mit den richtigen Lagerfugen und Flächen ausgeführt werden, eine ganz besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden, weil man sich hier der Grenze des zulässigen Fehlers, worauf man bei senkrechten Gewölben so sehr sündigt, ohnediess schon stark genähert hat, daher auch ein kleinerer Fehler in der Nachmauerung schon von wirklich nachtheiligen Folgen sein kann. Von diesem Standpunkte wird man daher auch eine, für jeden anderen Fall vielleicht übertrieben erscheinende Aengstlichkeit und Wichtigkeit, welche ich der Nachmauerung beilegte, gerechtfertigt finden.

Ich benützte zu meinen Untersuchungen die, wegen ihrer Einfachheit und klaren Darstellung höchst empfehlenswerthe Pauli'sche Gewölbttheorie, wie man dieselbe in der Stuttgarter Eisenbahn-Zeitung, Jahrgang 1846 Nr. 34, von dem Ingenieur Bauernfeind mitgetheilt findet. Die Fundamental-Gleichung dieser Theorie ist:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{P}{H}$$

wobei P den vertikalen Druck des Gewölbes zwischen den, durch x begrenzten Theilen der Mittelkraftskurve bezeichnet, H den Horizontalschub des Gewölbes, welcher bekanntlich in jedem Punkte des Gewölbes sich gleich bleibt, ausdrückt, und x und y die Coordinaten der Mittelkraftskurve sind.

Der Vertikaldruck P besteht bei Brücken-Gewölben gewöhnlich:

- a) aus dem Gewichte des Gewölbes selbst,
- b) aus dem Gewichte der hierauf liegenden Nachmauerung,
- c) aus dem Gewichte der Anschüttung, und endlich
- d) aus dem Gewichte der zufälligen Belastung.

Die Mittelkraftskurve ist in unserem Falle eine Ellipse, welche durch den schiefen Schnitt eines kreisförmigen Cylinders entsteht. Bezeichnet man den Halbmesser dieses Cylinders mit R , den Winkel, um welchen die Richtung des schiefen Schnittes von der senkrechten abweicht mit α , und die beiden Achsen der entstehenden Ellipse mit A und B , so ist

$$A = \frac{R}{\cos \alpha} \text{ und } B = R$$

mithin die Gleichung der Ellipse, wenn der Anfang des Coordinatensystems in den Scheitel der kleinen Achse B gelegt wird:

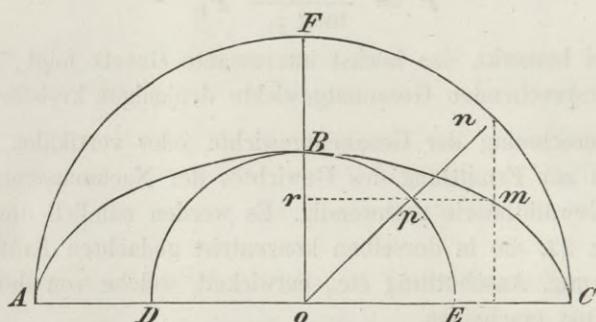
$$y = R - \sqrt{R^2 - x^2 \cos^2 \alpha}$$

woraus

$$\frac{dy}{dx} = \sqrt{\frac{x \cos^2 \alpha}{R^2 - x^2 \cos^2 \alpha}} = \frac{P}{H}$$

Fig. 21.

Beschreibt man ferner über die grosse und kleine Achse der Ellipse AC und OB Halbkreise, so ist es eine bekannte Eigenschaft dieser Kurve, dass jeder Punkt m der Ellipse gefunden werden kann, wenn man die radiale Linie on zieht, und durch den Durch-



Kreises p eine horizontale Linie pm , durch den Durchschnittpunkt n aber eine Vertikale nm zieht. Der Durchschnittpunkt m dieser beiden Linien nm und pm muss immer ein Punkt der Ellipse sein.

auch gleichzeitig $= on \sin F o n$ ist, so folgt auch, da $on =$ der grossen Achse der Ellipse A ist, und wenn man den Winkel $F o n$ mit φ bezeichnet, dass $x = A \sin \varphi$ ist.

Bemerk man nun, dass $mr = x$ ist, und dass mr

Auf diese Art kann jeder Punkt der Ellipse als eine Funktion des Mittelpunktswinkels der überschriebenen Kreise ausgedrückt werden. Wird daher zur Vereinfachung der folgenden Berechnungen für x diese Funktion vom Mittelpunktswinkel φ das ist

$$x = A \sin \varphi$$

und für A der obige Werth

$$A = \frac{R}{\cos \alpha} \text{ mithin}$$

$$x = \frac{R \sin \varphi}{\cos \alpha}$$

in die obige Formel eingeführt, so erhält man:

$$\frac{P}{H} = \tan \varphi \cos \alpha \dots \dots \dots \text{I}$$

$$\text{und } P = H \tan \varphi \cos \alpha \dots \dots \dots \text{II}$$

Nachdem nun α gegeben ist, so kann für verschiedene Werthe von φ der Quotient $\frac{P}{H}$ berechnet werden, und nachdem ferner, wie schon bemerkt wurde, H eine konstante Grösse bezeichnet; so wird es nur darauf ankommen, diesen Werth von H auszumitteln, um sodann für jeden Werth von φ den Werth von P , das ist dasjenige Gewicht, welches zur Herstellung des Gleichgewichtes in der angenommenen Kurve nöthig ist, berechnen zu können.

Nun kann aber auch für jeden Werth von φ das Gewicht des Gewölbes, der Anschüttung und zufälligen Belastung berechnet werden, und es ist sodann die Aufgabe, die Differenz zwischen der Summe dieser Gewichte und dem gefundenen Werth von P durch das Mehrgewicht der Nachmauerung gegenüber der Anschüttung auf Null zu bringen.

Um endlich den Werth von H zu ermitteln, kann für gewöhnliche Fälle angenommen werden, dass bei einem kleinen Werth von φ das Gewicht der Nachmauerung gleich Null sein soll, wo sodann P gleich dem bekannten Gewichte des Gewölbes, der Anschüttung und zufälligen Belastung für diesen kleinen Werth von φ ist.

Bezeichnet man diesen kleinen Werth von φ mit φ_1 , und das berechnete zugehörige Gewicht von P mit P_1 , so wird aus der obigen Gleichung I

$$H = \frac{P_1}{\tan \varphi_1 \cos \alpha}$$

und wenn man diesen Werth von H in die Gleichung II einführt,

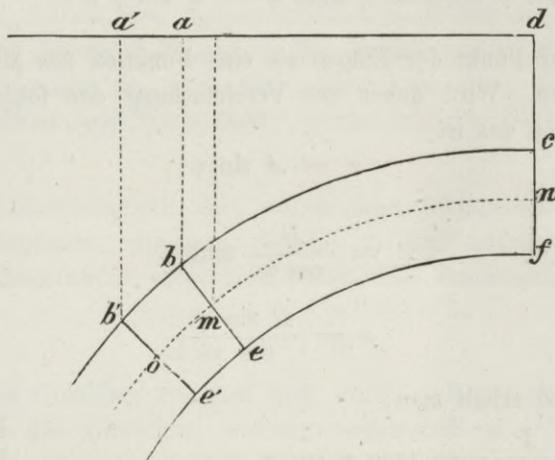
$$P = \frac{\tan \varphi}{\tan \varphi_1} P_1$$

aus welcher Gleichung, nebenbei bemerkt, das höchst interessante Gesetz folgt, dass für elliptische Bögen die, gleichen Mittelpunktswinkeln entsprechenden Gesamtgewichte denjenigen kreisförmiger Bögen gleich sein müssen.

Bei der eigentlichen Berechnung der Gesamtgewichte oder vertikalen Last, sowohl zur Bestimmung des Horizontalschubes, als auch zur Ermittlung des Gewichtes der Nachmauerung scheint mir eine kleine Abweichung von der Pauli'schen Gewölbtheorie nothwendig. Es werden nämlich dort für einen gewissen Theil der Mittelkraftskurve z. B. $m n$, Fig. 22, die in derselben konzentriert gedachten Kräfte aus den Gewichten derjenigen Theile des Gewölbes, Nachmauerung, Anschüttung etc., entwickelt, welche von den, durch diese Punkte m und n vertikal gezogenen Linien begrenzt erscheinen.

Fig. 22.

Nun ist es aber gewiss, dass in diesem Theile der Mittelkraftskurve, vorausgesetzt, dass die Gewölbsteine radial angearbeitet wurden, auch das Gewicht des radial abgeschnittenen Theiles des Gewölbes $b e f c$ sowie das ganze Gewicht der Anschüttung, Nachmauerung und zufälligen Belastung, welches durch die, durch den Punkt b gehende Vertikale $b a$ begrenzt erscheint, wirksam ist. Obwohl die hieraus entspringende



Differenz gegenüber den Resultaten der Pauli'schen Gewölbtheorie auf die Nachmauerung selbst von keinem wesentlichen Einfluss ist, so ist dieser Unterschied doch namentlich bei der Berechnung des Horizontalschubes nicht ganz zu übersehen, und musste in dem vorliegenden Falle besonders berücksichtigt werden. Ich habe daher auch den folgenden Weg der Berechnung eingeschlagen.

Um für irgend einen, dem Winkel φ entsprechenden Punkt m die zugehörigen Gewichte des Gewölbes, Anschüttung etc. zu erhalten, habe ich die Länge des Bogens $m n = s$ aus der Reihe:

$$s = \frac{R}{\cos \alpha} \left[\varphi - \frac{1}{2} \varepsilon^2 \left(\frac{1}{2} \varphi - \frac{1}{4} \sin 2\varphi \right) - \frac{1}{8} \varepsilon^4 \left(\frac{3}{8} \varphi - \frac{1}{4} \sin 2\varphi + \frac{1}{32} \sin 4\varphi \right) - \dots \right] \dots \text{III}$$

berechnet, worin

$$\varepsilon^2 = \frac{A^2 - B^2}{A^2} = \sin^2 \alpha \text{ ist.}$$

Ferner habe ich die, der äusseren Gewölbsfläche und demselben Winkel φ entsprechenden Punkte b durch deren Coordinaten aus der Gleichung der äusseren Gewölbslinie gesucht und so die Linien $a d$ und $a b$ für verschiedene Werthe von φ erhalten.

Die Gleichung der äusseren Gewölbslinie ist nämlich in unserem Falle, den Ursprung des Coordinatensystems im Scheitel der Kurve genommen,

$$y^1 = \cos \alpha \left(\frac{R + e}{\cos \alpha} - \sqrt{\frac{(R + e)^2}{\cos^2 \alpha} - x'^2} \right)$$

wobei e die halbe Dicke des Gewölbes bezeichnet, und y für den Fall, als man dessen Werth auf eine andere als durch den Scheitel gehende Linie, z. B. ad Fig. 22 bezogen erhalten will, um die konstante Grösse d e vermehrt werden muss.

Wird in diese Gleichung wieder für x' die gleichnamige Funktion des Mittelpunkts-Winkels φ eingeführt, nämlich

$$x' = \frac{(R + e) \sin \varphi}{\cos \alpha} \dots \dots \dots \text{IV}$$

so nimmt die Gleichung die folgende höchst einfache Form an:

$$y' = (R + e) (1 - \cos \varphi) \dots \dots \dots \text{V.}$$

Man kann daher mittelst der Gleichung III die Länge der mittleren Kurve für verschiedene Werthe von φ , daher auch die Länge des, zwischen je zwei Werthen von φ liegenden Theiles $m o$, Fig. 22, dieser Kurve berechnen, und erhält, wenn man diese mittlere Länge mit der Dicke des Gewölbes multipliziert, die Fläche $b b' e' e$.

Ferner kann man mittelst der Gleichungen IV und V die denselben Werthen von φ entsprechenden Abszissen und Ordinaten $a b$, $a' b'$, $a d$, $a' d$, mithin auch $a' a$ berechnen, so dass man unter der Annahme, dass für einen kleinen Werth von φ , $b' b$ als gerade Linie angesehen werden kann, man auch die Fläche $a' b' b a$ leicht findet.

Setzt man sodann die Breite des Gewölbes gleich ein Fuss, und kennt man das Gewicht des Gewölbesteines und Anschüttungsmaterials, so kann die ganze Last, welche in dem Theile $a' b' e' e b a$ wirksam ist, berechnet werden. Wird gleichzeitig auch nach Gleichung II das Gewicht berechnet, welches zur Herstellung eines vollkommenen Gleichgewichtes erforderlich ist, so gibt die Differenz zwischen den beiden gefundenen Gewichten dasjenige Gewicht, welches durch das Mehrgewicht der Nachmauerung gegenüber der Anschüttung ersetzt werden muss.

Ich habe daher für alle Werthe von φ von 5 zu 5 Grad bis zu dem, dem Gewölbsanlauf entsprechenden Mittelpunktswinkel von $\varphi = 49^0 - 22' - 49.6''$ die Länge der Kurve s und die Abszissen und Ordinaten für die äussere Kurve berechnet, und die Resultate in die folgende Tabelle zusammengestellt, wobei bemerkt werden muss, dass

$$\begin{aligned} R &= 44.984, \\ e &= 2.000 \text{ und} \\ \alpha &= 25^0 - 0' - 0'' \text{ ist,} \end{aligned}$$

ferner dass als Vergleichungsebene die Schienenhöhe angenommen wurde, welche 5.380 Fuss über den Scheitel der Gewölbe zu liegen kam, daher auch die gefundenen Werthe von y' um 5.380 vermehrt werden mussten.

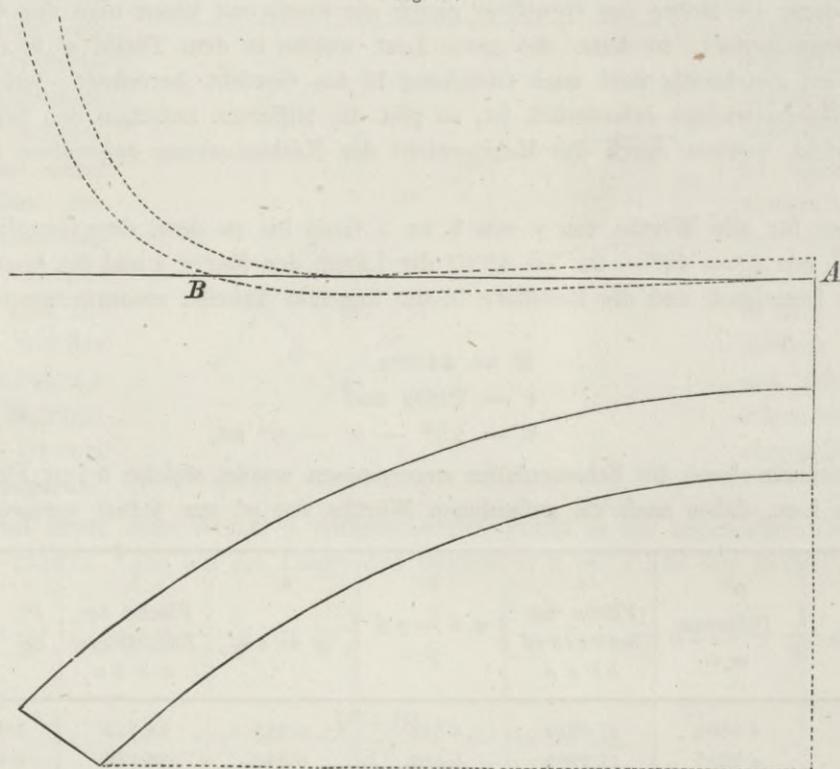
1. $\varphi =$ Grade	2. $s = n m$	3. Differenz $m o$	4. Fläche des Gewölbes $b b' e' e$	5. $a' d - a d$ z'	6. $y' = a b$	7. Fläche der Anschüttung $a' b' b a$	8. $\frac{P}{H} = tg \varphi$ $\cos \alpha$	9. Differenz
5	4 3304	4 3304	17 3216	4.518	5.559	24 711	0.079292	0.079292
10	8 6551	4.3247	17.2988	4.484	6.094	26.126	0.159806	0.080514
15	12 9681	4.3130	17.2520	4.415	6.981	28 863	0.242844	0.083038
20	17 2643	4.2962	17.1848	4.313	8.213	32.766	0.329869	0.087025
25	21.5389	4.2746	17.0984	4.178	9.782	37.592	0.422618	0.092749
30	25.7877	4.2488	16.9952	4.012	11.675	43.043	0.523257	0.100639
35	30.0073	4.2196	16.8784	3.814	13.877	48.728	0.634604	0.111347
40	34 1954	4.1881	16.7524	3.588	16.372	54 267	0.760482	0.125878
45	38.3502	4.1548	16.6192	3.334	19.141	59.200	0.906306	0.145824
49° 22' 49.6''	41.9491	3.5989	14 3956	2.694	21.776	55.115	1.056675	0.150369

Wird nun eine Breite des Gewölbes von ein Fuss in die weitere Berechnung aufgenommen, so sind die in den Kolonnen 4 und 7 angegebenen Zahlen Kubikfusse, und es kann, wenn das Gewicht eines Kubikfusses Gewölbmauerwerk und eines Kubikfusses Anschüttung gegeben ist, das zwischen je zwei Werthe von φ entfallende Gewicht dieser beiden Körper leicht ausgemittelt werden.

Um aber den Leser nicht mit einer Unzahl Berechnungen und Combinationen, die ich versuchte, zu ermüden, will ich nur im Allgemeinen die Resultate verschiedener Berechnungen andeuten, und sodann gleich auf den Fall, welchen ich zur Ausführung am geeignetsten fand, übergehen.

Ich untersuchte nämlich zuerst den Fall, dass im Scheitel des Gewölbes bloß eine Anschüttung gemacht wird, fand aber hierbei, dass sodann auch erst in dem 35. bis 45. Grade eine wirkliche Nachmauerung erforderlich wäre, in dem ganzen übrigen Theil des Gewölbes mit Ausnahme des Scheitels selbst durch die Anschüttung bis in die Schienenhöhe schon eine zu grosse Belastung vorhanden ist. Bestimmt man nämlich für einen kleinen Werth von φ das darauf liegende Gewicht, und berechnet hiermit den Horizontalschub, so kann man durch Multiplikation desselben mit den, in der letzten Kolonne aufgenommenen Quotienten die zur Herstellung des Gleichgewichtes erforderliche Belastung finden. Nimmt man nun an, dass diese Belastung bloß durch die Anschüttung über dem Gewölbe erzielt werden soll, so wird die Oberfläche der Anschüttung eine Kurve

Fig. 23.



beschreiben, welche zwischen A und B sich unter die Höhe des Punktes A senkt, und erst in B über dieselbe aufsteigt. Es ist daher auch klar, dass jede höhere Anschüttung schon Uebergewicht ist, und in dem Theile zwischen A B nicht nur keine Nachmauerung, sondern, soll die Anschüttung bis in das Niveau der Geraden A B hergestellt werden, sogar eine Entlastung nöthig ist. Ich suchte daher eine solche Anschüttung auszumitteln, deren Kurve die Gerade A B in ihrem tiefsten Punkt tangirt, und wollte sodann das im Scheitel erforderliche Mehrgewicht durch eine Nachmauerung im Scheitel selbst gewinnen.

Eine nähere Untersuchung ergab aber, dass für diesen Fall einerseits die erforderliche Nachmauerung im Scheitel mit Rücksicht auf die disponible Höhe für die Schwellen und das Oberbaubett zu hoch, andererseits über dem Gewölbsanlauf eine, schon über die Schienenhöhe reichende Nachmauerung erforderlich geworden wäre. Es erübrigte daher nichts anderes, als die Nachmauerung im Scheitel des Gewölbes mindestens so hoch als thunlich für beide Rücksichten anzunehmen, und an den Stellen, wo das Gewicht der Anschüttung sodann noch zu gross ist, eine Entlastung anzubringen. Diese war nun ohne künstliche Hohlbauten und dergleichen Hilfsmittel durch ein gewöhnliches Ziegelmauerwerk selbst wenn auch nicht vollständig, doch theilweise zu erreichen, indem das Anschüttungsmateriale, Steingerölle, per Kubikfuss 100 Pfund wog, während Ziegelmauerwerk nur 85 Pfund schwer ist.

Ich will daher gleich zur Berechnung desjenigen Falles übergehen, welcher mir unter allen untersuchten der geeignetste erschien, und muss zu diesem Zwecke voraussenden, dass ein Kubikfuss Gewölb-Quadern 149 Wiener Pfund, ein Kubikfuss gewöhnliches Bruchstein-Mauerwerk als Nachmauerung 130 Wiener Pfund, ein Kubikfuss Anschüttungs-Materiale 100 Wiener Pfund und ein Kubikfuss Ziegel-Mauerwerk 85 Pfund wog.

Es konnte daher durch jeden Kubikfuss Nachmauerung gegenüber der Anschüttung eine Mehrbelastung von 30 Pfund und durch jeden Kubikfuss Ziegel-Mauerwerk eine Entlastung von 15 Pfund erzielt werden.

Werden demnach die in der Tabelle Kolonne 4 angesetzten Zahlen mit 149 multipliziert, so erhält man das Gewicht des Gewölbes für je 5 Grad Länge des Bogens. Ebenso erhält man durch Multiplikation der Zahlen in der Kolonne 7 mit 100 das Gewicht der Anschüttung.

Ausser dem erst zu ermittelnden Gewichte der Nachmauerung kommt sodann noch die zufällige Belastung zu berücksichtigen. Diese konnte bei 36 Fuss Länge und $7\frac{1}{2}$ Fuss Breite, das ist auf 270 Quadratfuss mit 40.000 Pfund angenommen werden, daher per Quadratfuss mit 148 Pfund, durfte dagegen, wenn man denselben Fehler vor und während der zufälligen Belastung haben will, bloß mit der Hälfte, d. i. mit 74 Pfund in Rechnung, genommen werden.

Werden demnach die in Kolonne 5 angesetzten Zahlen mit 74 multipliziert, so erhält man die zufällige Belastung, welche auf je 5 Grad des Bogens entfällt.

Hiernach wurde die 2., 3. und 4. Kolonne der folgenden Tabelle berechnet, wovon nämlich die zweite die Gewichte des Gewölbes selbst, die dritte die Gewichte der Anschüttung und die vierte die entfallende zufällige Belastung enthält. In der fünften Kolonne wurde sodann die Summe dieser drei Gewichte angegeben.

Es handelt sich daher jetzt nur noch darum, die Grösse des Horizontal-Schubes auszumitteln, um durch Multiplikation desselben mit den in der letzten Kolonne der früher mitgetheilten Tabelle angegebenen Koefficienten diejenigen Gewichte zu erhalten, welche zur Herstellung des Gleichgewichtes erforderlich sind.

Setzt man zu diesem Zwecke in den früher entwickelten Formeln $\varphi = 1$, so findet man $s = 0.86627$, daher die Fläche des Gewölbes oder auch der Kubik-Inhalt = 3.46508 Kubikfuss, mithin den Kubikfuss a 149 Pfund 516.30 Pf.

Die Linie ad wird gleich 0.90475 und die Linie $ab = 5.387$, mithin, da die Linie $cd = 5.380$ ist, die dem Werthe von $\varphi = 1$ entsprechende Fläche $a'b, ba = 4.8710$ und da ein Kubikfuss Anschüttungs-Materiale 100 Pfund wiegt 487.10 „

Die Nachmauerung im Scheitel wurde am entsprechendsten mit 1.400 hoch angenommen, daher bei einer Länge von 0.90470 mit einer Fläche von 1.267, und bei einem Mehrgewicht von 30 Pf. 38.01 „

die zufällige Belastung beträgt endlich auf 0.90475 a 74 Pfund 66.95 „

Es entfällt daher das, dem Winkel $\varphi = 1$ entsprechende Gewicht $P_1 = 1108.36$ Pf.

mithin da der Horizontalschub

$$H = \frac{P_1}{\cos \alpha \tan \varphi}$$

ist, wenn man wieder $\alpha = 25^\circ$ und $\varphi = 1$ setzt,

$$H = 70062 \text{ Pfund.}$$

Mittelst dieses Horizontalschubes sind nun die in der 6. Kolonne der folgenden Tabelle eingeführten Gewichte berechnet.

In der 7. Kolonne findet man sodann das mittelst der Nachmauerung auszugleichende Gewicht, mit der Bezeichnung, ob es positiv oder negativ ist, und endlich in der 8. und 9. Kolonne die berechneten Höhen der Nachmauerung aus Bruchstein als Belastung oder aus Ziegel als Entlastung aufgenommen.

1. $\varphi =$ Grade	2. Gewicht des Gewölbes	3. Gewicht der Anschüttung	4. Gewicht der zufälligen Belastung	5. Gesamt- Gewicht der Belastung	6. Richtige Belastung $P =$	7. Differenz beider Belastungen	8. 9. Höhe der Nachmauerung		Anmerkung
							mit Bruchstein	mit Ziegel	
5	2581	2471	334	5386	5555	+ 169	1.094	—	Die zwei letzten Coten der Kolonne reichen schon über die Anschüttung, daher eigentlich deren Gewicht nicht in Abschlag hätte kommen sollen.
10	2578	2613	332	5523	5641	+ 118	0.660	—	
15	2571	2886	327	5784	5818	+ 34	—	0.294	
20	2561	3276	319	6156	6097	— 59	—	1.530	
25	2548	3759	309	6616	6498	— 118	—	2.238	
30	2532	4304	297	7133	7050	— 83	—	0.520	
35	2515	4873	282	7670	7802	+ 132	2.567	—	
40	2496	5427	266	8189	8819	+ 630	9.138	—	
45	2473	5920	247	8643	10217	+ 1574	22.342	—	
49° 22' 49.6"	2115	5512	199	7856	10535	+ 2679	43.953	—	

Wie übrigens schon bemerkt, wurde die Nachmauerung im Scheitel selbst d. i. bei $\varphi = 0$ mit 1.400 angenommen, ferner da das Gewicht des Anschüttungs-Materiales per Kubikfuss 100 betrug, so konnte durch die Nachmauerung bloß eine Belastung von 30 Pfund per Kubikfuss Bruchstein-Mauerwerk und eine Entlastung von 15 Pfund per Kubikfuss Ziegel-Mauerwerk in Rechnung genommen werden.

In der beistehenden Figur 24 sind die hieraus sich ergebenden Kurven für die Nachmauerung aus Bruchstein und aus Ziegel angezeigt, und gleichzeitig auch die Form der Nachmauerung, wie sie ausgeführt wurde, bezeichnet, und zwar stellen die schief straffirten Theile Bruchstein-Mauerwerk, und die horizontal straffirten Theile Ziegelmauerwerk dar. Es muss hiezu bemerkt werden, dass es nöthig war, um einen Ablauf des Wassers zu erzielen, regelmässige Flächen der Nachmauerung auszuführen.

Diess konnte nun ohne Störung des Gleichgewichtes erreicht werden, indem man die obere Form des Ziegelmauerwerks derart annahm, wie es dem Zwecke des Ansammelns und Ableitens des Wassers am besten entsprach, sodann aber in demselben Verhältnisse, in welchem durch das Ziegelmauerwerk eine zu grosse Entlastung entstand, das Bruchstein-Mauerwerk als Belastung vermehrte, so dass dennoch an jedem Punkte die gewünschte Belastung entstand. Wie man endlich sieht, konnte auf den ersten Theil des Gewölbes vom Anlaufe weg, nicht mehr die erforderliche Belastung gebracht werden, da sie über die Schienenhöhe hätte reichen müssen. Ich wollte daher auch die Aufmauerung der Pfeiler von der Nachmauerung durch eine geböschte, punktiert angedeutete Linie trennen, so dass auf die Seite der Nachmauerung dennoch das erforderliche Gewicht verpflanzt worden wäre, stand jedoch hievon ab, weil bei einem guten Verband, wenn eine Trennung hätte möglich sein sollen, dieselbe doch in einer solchen Linie hätte erfolgen müssen.

Unmittelbar auf die Nachmauerung wurde sodann ein liegendes Ziegelpflaster und hierauf eine vollkommen kunstgerecht angearbeitete Asphalt-Lage gegeben, welche aus einzelnen Platten à $2\frac{1}{2}$ Quadratfuss bestand, und wozu 224 Theile Asphalt, 112 Theile Sand und 22 Theile Erdpech genommen wurden.

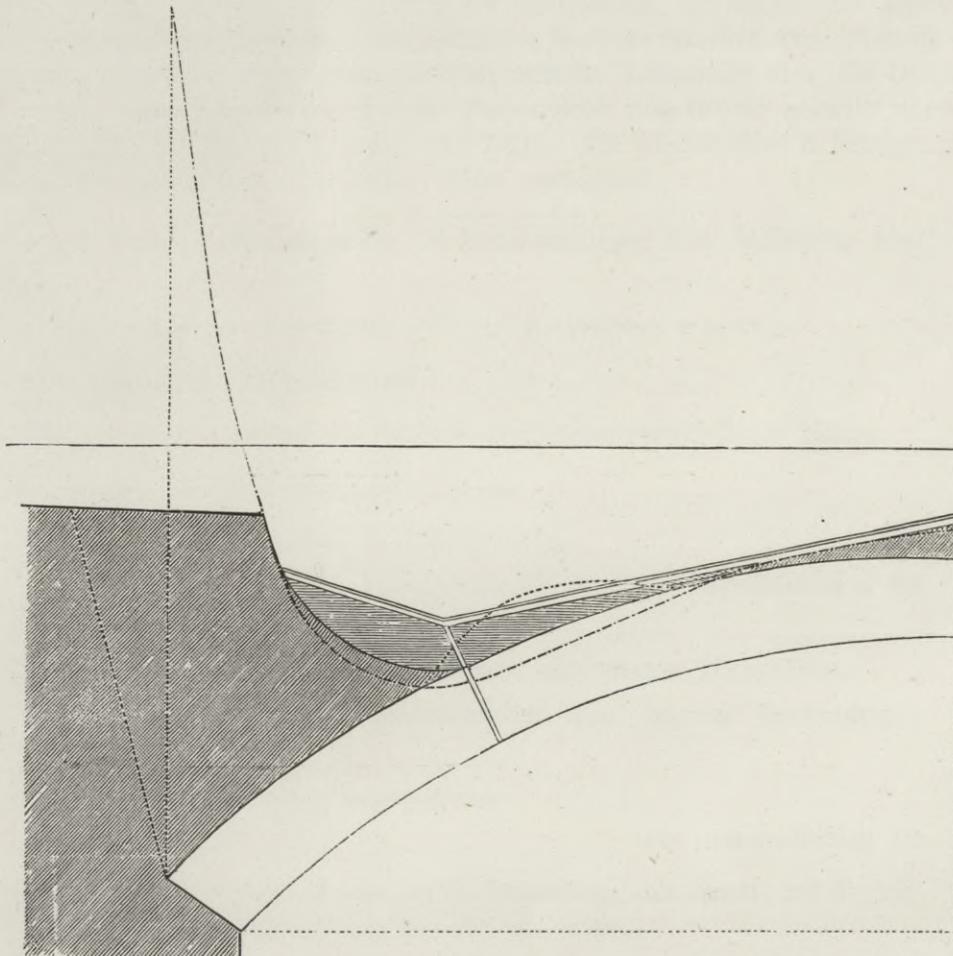
Die in Formen gegossenen Asphalt-Platten wurden sodann aufgelegt und mittelst heisser Eisen zusammengelöthet.

Bei Gelegenheit der Nachmauerung wird es endlich noch am Platze sein, die Gefahr der Verschiebung der Anlaufsteine mit einigen Worten zu berühren.

Wie schon bemerkt, treffen nämlich die Gewölbsschube von je zwei Gewölben im Mittelpfeiler unter einem Winkel von $171^{\circ} - 34' - 40''$ zusammen.

Es muss daher hieraus nothwendiger Weise eine Kraft resultiren, welche die Anlaufsteine in der Richtung des Mittelpfeilers zu verschieben sucht, daher sowohl diese Resultirende, als die Kraft, welche zur Verschiebung der Anlaufsteine erforderlich wäre, aufgesucht werden muss, um durch ihren Vergleich ermitteln zu können, ob eine diesfällige Gefahr vorhanden ist.

Fig. 24.



Wie wir nun gesehen haben, beträgt der Horizontalschub eines einen Fuss breiten Theiles des Gewölbes 70.062 Pfund. Durch das Zusammentreffen zweier solcher Kräfte unter dem obigen Winkel entsteht eine

Resultirende von 10.290 Pfund, indem nämlich, wenn man den halben obigen Winkel mit $\delta = 85^\circ - 47' - 20''$ bezeichnet, die Resultirende

$$R = 2 H \cos \delta$$

sein muss.

Da ferner auf den Anlaufsteinen offenbar der ganze vertikale Druck des Gewölbes sammt Nachmauerung und Anschüttung ruht, und dieser, nach unseren früheren Berechnungen für ein halbes Gewölbe von ein Fuss Breite 74.033 Pfund, daher für 2 Gewölbe 148.066 Pfund beträgt, und da ferner auf dieser Schichte die 18 Fuss hohe Aufmauerung der Mittelpfeiler lastet, die an der breiteren Seite der Mittelpfeiler, wo die Gefahr am grössten ist, 43.071 Pfund wiegt, so sind die Anlaufsteine, abgesehen von ihrem eigenen Gewichte mit 191.137 Pfund beschwert. Nimmt man demnach die Reibung von Quader auf Quader mit $\frac{1}{3}$ an, so wäre zur Verschiebung der Anlaufsteine eine Kraft von 63.712 Pfund, das ist mehr als die sechsfache Kraft, welche aus den beiderseitigen Horizontalschuben entspringt, erforderlich.

Hieraus dürfte zur Genüge ersehen werden, dass thatsächlich keine Gefahr der Verschiebung der Anlaufsteine zu befürchten stand.

Schlussbemerkungen.

Nachdem, wie schon gesagt, am 3. Juni 1849 der letzte Schlussstein für die Gewölbe versetzt, und am 17. August 1849 die Nachmauerung, Aufmauerung der Stirnmauern, das Ziegel- und Asphaltpflaster, sowie die Anschüttung über den Gewölben hergestellt war, mithin ein Werk so mannichfachen Studiums verkörpert da stand, fand am 18. August 1849 die erste Bahnprobefahrt mittelst Lokomotiv über die Brücke statt, und da am 17. August 1846 der erste Schaufelstich für die Fundamente der Brücke gemacht wurde, so erforderte der Bau bis zu seiner gänzlichen Vollendung genau drei Jahre. Die Gesamtkosten betragen nach meiner Abrechnung 384.141 fl. 3 kr., welche sich in folgender Weise vertheilten:

1. für Erdarbeiten, nämlich Grundaushhebung, Wiederanschüttung und Auffüllung über den Gewölben.	5.233 fl. 21 kr.
2. für die vier Fangdämme der zwei Land- und zwei Mittelpfeiler zusammen	9.323 „ 22 „
3. für das Wasserschöpfen in den Fundamenten	10.124 „ 18 „
4. für das Lehrgerüst nach Abschlag des Werthes des wieder verwendbaren Holzes.	22.505 „ 23 „
5. für 210.958 $\frac{1}{3}$ Cubikfuss Quadermauerwerk, wovon	
54376 $\frac{1}{12}$ Cubikfuss glatt bearbeitete Kalksteinquadern,	
34772 $\frac{1}{6}$ Cubikfuss nach besonderen Zeichnungen, zu Gesimsen, Anlaufsteinen u. dgl. bearbeitete Kalksteinquadern,	
85534 $\frac{5}{12}$ Cubikfuss rauh bossirte Sandsteinquadern zum inneren Mauerwerke,	
6068 Cubikfuss rauh bossirte Kalksteinquadern zum inneren Mauerwerke, endlich	
30207 $\frac{2}{3}$ Cubikfuss Gewölbquadern aus Kalkstein	
ein Gesamtbetrag von	327.554 „ 45 „
6. für das Bruchstein- und Ziegelmauerwerk zur Nachmauerung, das Ziegel- und Asphaltpflaster, Kupferrohren zum Wasserabzug und Eisenmateriale	9.399 „ 54 „
Zusammen den obigen Gesamtbetrag in Conventions-Münze	384.141 fl. 3 kr.
oder in österr. Währung	403.348 „ 10 „

Eine Summe, welche mit Rücksicht auf die solide Ausführung, und mit Rücksicht auf die Schwierigkeiten, welche ein solcher Kunstbau an und für sich schon bietet, und welche noch durch die Ereignisse des Jahres 1848 nicht unwesentlich vermehrt wurden, sehr mässig erscheinen wird.

Indem ich hiermit alles Wesentliche über diesen interessanten Bau mitgetheilt habe, bleibt mir nur noch der Wunsch übrig, dass meine Bemerkungen und Erfahrungen, die ich in diesem Schriftchen niedergelegt habe, ebenso richtig befunden werden, als sie von mir ehrlich geglaubt und ausgesprochen wurden.

Erscheinen sie aber dem Leser am Schlusse vielleicht zu unbedeutend, um ein eigenes Buch darüber zu schreiben, so bemerke ich dagegen, dass auch durch das Zusammentragen kleiner Körner, wenn sie nur nicht ganz werthlos sind, etwas Werthvolles geschaffen werden kann, und so wollte auch ich gleich der Ameise das Meinige beitragen.



A n h a n g.

Bemerkungen über die bisher erschienenen Schriften über schiefe Gewölbe.

Ich glaube den Lesern dieser Schrift einen wesentlichen Dienst zu erweisen, namentlich aber vielseitige Anfragen von Freunden und Collegen nicht besser beantworten zu können, als, indem ich hier ein kurzes Inhaltsverzeichniss der bisher erschienenen Schriften über schiefe Gewölbe, so weit sie mir bekannt wurden, mit meinen Ansichten hierüber ergänzt mittheile, wobei ich jedoch alle in den verschiedenen technischen Zeitschriften zerstreuten Aufsätze über diesen Gegenstand unbeachtet lasse, und nur jene Schriften berühre, welche sich ausschliesslich mit diesem Gegenstande befassen. Solche findet man aber nur in englischer und deutscher Sprache, und zwar gehört den Engländern das Verdienst, sich zuerst mit dem Gegenstande ernstlich beschäftigt zu haben.

Das älteste Werk ist unter dem Titel:

„A practical and theoretical Essay on oblique bridges by George Watson Buck.“

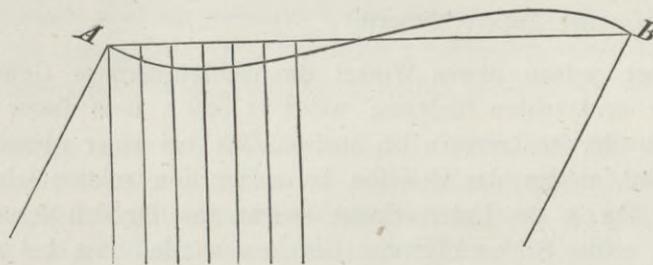
Ein praktischer und theoretischer Versuch über schiefe Brücken von George Watson Buck, im Jahre 1839 in London bei John Weale in 4^o erschienen.

Dieses Werk zerfällt in sieben Kapitel und einen Anhang und behandelt ausschliesslich nur schiefe Brückengewölbe mit parallelen Widerlagern und Stirnflächen, mithin blos einen speziellen Fall der Cylinderflächen.

Im ersten Kapitel werden die allgemeinen Grundsätze der Verzeichnung und geometrischen Konstruktion der Spirallinien auf Cylinderflächen angegeben, wobei gleichzeitig, ohne irgend eine Begründung, mitgetheilt wird, dass die Fugenlinien schiefer Gewölbe in der developpirten Fläche gerade Linien bilden müssen,

welche daher auf dem Cylinder selbst Spiralen beschreiben. Sodann geht Herr Buck auf die Ausmittlung der entsprechenden Spiralen für einen schief geschnittenen Cylinder über und stellt, wieder ohne Begründung, einfach das Gesetz auf, dass die Fugenlinien in der

Fig. 25.



developpirten inneren Fläche senkrecht auf der Sehne AB Fig. 25 stehen müssen, wovon man nur in soweit abgehen dürfe, als es die Vertheilung der Anlauf- und Gewölbesteine erfordert. Hierauf werden die entsprechenden Spirallinien in der äusseren Gewölbsfläche

konstruirt, wobei wieder angenommen wird, dass die Spiralfäche durch die Bewegung eines verlängerten Halbmessers des Cylinders entsteht, indem er sich einerseits an der Achse des Cylinders, anderseits an der Spirale des inneren Cylinders fortbewegt (und dabei immer parallel zu einer vertikalen, auf der Achse des Cylinders senkrecht stehenden Ebene bleibt). Schliesslich wird noch die Verzeichnung der nicht radialen Fugenschnitte in der Stirnfläche angegeben.

Hiermit ist das ganze System von Buck's Konstruktion schiefer Gewölbe festgesetzt und es folgt nun im

Zweiten Kapitel die Entwicklung aller Formeln zur Berechnung der früher durch geometrische Konstruktion gefundenen Daten.

Im dritten Kapitel wird sodann die Zurichtung der Gewölbsteine mitgetheilt, welche Herr Buck in der Art vornimmt, dass er zuerst eine Lagerfläche mittelst des in dieser Schrift bei Anarbeitung der Gewölbsteine beschriebenen Windschief-Lineals und sodann die innere Gewölbsfläche bearbeiten lässt. Zum Behufe der Anarbeitung der letzteren Fläche benützt Herr Buck zwei Kurvenlineale, die fest verbunden und durch ein, in der schiefen Richtung des Fugenschnittes daran befestigtes Richtlineal, ferner durch zwei andere an dem letzteren befestigte radiale Lineale, die richtige Lage der Krümmung angeben, wenn die radialen Lineale an die bearbeitete Lagerfläche angelegt werden. Alle übrigen Flächen des Gewölbsteines lässt Herr Buck von der inneren Gewölbsfläche des Steines ausgehend, radial anarbeiten. Zum Schlusse dieses Kapitels giebt Herr Buck noch eine Konstruktion des schiefen Schnittes der Gewölbsteine an der Stirnfläche an, welche er in natürlicher Grösse ausgeführt haben will und im Wesentlichen nur in einer Developpirung der äusseren Gewölbsfläche besteht.

Im vierten Kapitel wird das bisher Mitgetheilte auf zwei Beispiele angewendet, deren eines eine Brücke mit halbkreisförmigen Bogen, das andere eine solche mit Segment-Bogen ist, und zwar wurde für das erstere der ausgeführte mittlere Bogen des Watford-Viaduktes in der London-Birmingham Eisenbahn benützt.

Im fünften und sechsten Kapitel wird das Verfahren bei der Einwölbung und die Art der genauen Verzeichnung der Spirallinien in allen Projektionen angegeben.

Im siebenten Kapitel endlich folgt eine theoretische Untersuchung über die Stabilität der solcher Gestalt hergestellten Gewölbe. Diese Untersuchung geht von dem Grundsätze aus, dass das Wesentliche der Stabilität einer Brücke darin bestehe, dass die Lagerflächen so beschaffen seien, dass eine Linie, welche in der Lagerfläche senkrecht auf die Linie des Fugenschnittes in der Stirnfläche oder einer hiezu parallelen Fläche und senkrecht auf diese Fläche selbst gezogen wird, horizontal, d. h. parallel zu einer horizontal liegenden Ebene sein müsse. Es wird daher abermals ein Dogma ohne irgend eine Begründung hingestellt, welches als Grundlage zum Aufbauen einer Reihe von Trugschlüssen führt, wie wir sogleich sehen werden.

Herr Buck berechnet nun den Winkel vom Anlauf des Gewölbes gegen den Scheitel zu, wo diese Bedingung bei den, nach seiner Angabe konstruirten Gewölben in Erfüllung geht, und folgert hieraus sodann den Schluss, dass der Theil des Gewölbes vom Anlaufe bis zur Grenze dieses Winkels nicht volle Sicherheit biete, der übrige Theil des Gewölbes sei aber vollkommen gesichert. Er empfiehlt daher für diesen unteren Theil die Anwendung starker eiserner Ankerschliessen.

Herr Buck berechnet sodann diesen Winkel für halbkreisförmige Gewölbe und verschiedene Abweichungen desselben von der senkrechten Richtung, wobei er findet, dass dieser Winkel um so kleiner wird, je grösser die Abweichung von der senkrechten ist, und endlich bei einer Abweichung von der Senkrechten um $64^{\circ} - 20'$ gleich Null wird, mithin das Gewölbe bei seiner Konstruktion schon am Anlaufe volle Sicherheit biete. Weiter setzt Herr Buck die Untersuchung, welche ihm für den gesuchten Winkel sogar negative Werthe ergeben, mithin nach seiner Schlussfolgerung beweisen würde, dass bei Abweichungen von mehr als $64^{\circ} - 20'$ sich die volle Sicherheit sogar über den Halbkreis hinaus erstreckt, nicht fort, sondern bezeichnet dies als die natürliche Grenze, bis zu welcher ein schiefes Gewölbe nach wissenschaftlichen Grundsätzen mit

Sicherheit erbaut werden kann. Sodann sagt er, dass nach bisherigen Erfahrungen die Schwierigkeit, schiefe Gewölbe herzustellen, desto grösser wird, je mehr sich die Abweichung von der Senkrechten dem Winkel von 45 Graden nähert, und dass man daher zu der Schlussfolge geführt werden sollte, dass mit weiterer Zunahme dieses Winkels die Schwierigkeit noch fort wachse. Seine obige Berechnung lehre aber gerade das Gegentheil, nämlich, dass die Schwierigkeit von 45 Grad weiter immer geringer werde.

Im Anhange giebt Herr Buck endlich noch eine Zusammenstellung der Verhältnisse der trigonometrischen Funktionen, welche für sein Werk dadurch von Nutzen wird, weil er in alle Berechnungen nicht den Winkel, um welchen das Gewölbe von der Senkrechten abweicht, sondern den Winkel, welchen der schiefe Schnitt mit der Achse des Cylinders einschliesst, benützt, hiedurch aber sehr viele trigonometrische Funktionen, namentlich aber auch sinus versus, cosinus versus, secanten und cosecanten erhält, deren Werthe in den wenigsten trigonometrischen Tafeln aufgenommen sind, daher die Gleichungen erst durch Umwandlungen für die Rechnung brauchbar gemacht werden müssen.

Wie man hieraus entnehmen kann, besteht Herrn Buck's Konstruktion in der Annahme eines konstanten Konstruktionswinkels, dessen Ausmittlung aber, wenn auch sehr einfach, doch falsch ist, und um so mehr mit Vorsicht angewendet werden muss, je schief der Schnitt und je mehr sich das Gewölbe einem vollen Bogen nähert. Um sich hievon zu überzeugen, wollen wir den nach Herrn Buck's Konstruktion ausgeführten Bogen des Watford-Viaduktes, so wie ihn Herr Buck als Beispiel durchführt, etwas beleuchten. Dessen Gewölbe weicht um 40 Grad von der senkrechten Richtung ab, und Herr Buck fand für die innere Gewölbsfläche, welche er überhaupt bei Ausmittlung des Konstruktionswinkels sehr unpassend als massgebend aufstellt, einen Konstruktionswinkel von $28^{\circ} - 6' - 37''$ und für die äussere Gewölbsfläche $31^{\circ} - 3' - 38''$, für die mittlere oder Schwerpunktsfläche, in welcher man sich sämtliche Kräfte vereint denken kann, ergibt sich daher ein Konstruktionswinkel von $29^{\circ} - 35' - 8''$.

Da nun bei einem solchen vollen Bogen, wie ich in meiner Theorie der schiefen Gewölbe dargethan habe, der richtige Konstruktionswinkel am Anlaufe des Gewölbes = 0 und im Scheitel des Gewölbes = 40 Grad sein muss, so weichen bei Herrn Buck's Konstruktion die Lagerfugen am Anlaufe um $29^{\circ} - 35' - 8''$ und am Scheitel um $10^{\circ} - 24' - 52''$ von dem richtigen Konstruktionswinkel ab.

Nach meiner Ausmittlung eines konstanten Konstruktionswinkels, wenn ich überhaupt einen einzigen Konstruktionswinkel für das ganze Gewölbe angenommen hätte, wäre derselbe = $20^{\circ} - 0' - 0''$ geworden, so dass er am Anlaufe des Gewölbes sowie am Scheitel um 20 Grad von der richtigen Lage abgewichen wäre. Bedenkt man aber, dass Stein auf Stein unter einem Winkel von 35 bis 36 Graden schon wirklich abgleitet, so wird man auch sehen, dass Herr Buck diesem Winkel am Anlaufe des Gewölbes schon sehr nahe war, und dass das Gewölbe seinen Bestand höchst wahrscheinlich nur den eingezogenen Schliessen verdankt. Bei meiner Ausmittlung des mittleren Konstruktionswinkels wäre diese Gefahr unbedingt bedeutend vermindert worden, da derselbe in den ungünstigsten Punkten doch immer nur um circa $\frac{3}{5}$ des Reibungswinkels von der richtigen Lage abgewichen wäre. Dennoch würde aber ich mich in einem solchen Falle gegen die Anwendung noch unbedingt aussprechen, und verweise in dieser Beziehung auf die in meiner Theorie der schiefen Gewölbe Seite 73 u. w. für solche Fälle angegebene Konstruktion.

So sehr ich mich daher gegen die von Herrn Buck angegebene Ausmittlung des Konstruktionswinkels aussprechen muss, ebenso sehr muss ich die im dritten Kapitel angegebenen Vorrichtungen zur Bearbeitung der Gewölbesteine, namentlich aber das sogenannte Windschieflineal, als im höchsten Grade einfach und für die praktische Ausführung nicht warm genug anzuempfehlen erwähnen. Dieselben sind der Hauptsache nach auch bei der Bearbeitung der Gewölbesteine für die schiefe Brücke in Steinbrück angewendet worden, und in dieser Schrift beschrieben.

Indem ich endlich das fünfte und sechste Kapitel als von weniger Interesse übergehe, glaube ich der im siebenten Kapitel durchgeführten theoretischen Untersuchung einige Worte widmen zu sollen. Es muss nach dem früher hierüber Angeführten selbst dem Laien im Baufache ein Zweifel in die Richtigkeit der Untersuchung aufstossen, wenn er die Resultate derselben findet. Weniger leicht ist es aber, die Fehler selbst zu entdecken, wenn sie sich hinter einer mehr oder weniger gelehrten Hülle verschanzen.

Aber so sehr auch die von Herrn Buck als Grundlage für die Stabilität eines Gewölbes angeführte Bedingung einleuchtend scheint, so geht doch schon aus der folgenden Betrachtung hervor, dass diese Bedingung, so wie sie hier gestellt erscheint, für schiefe Gewölbe nicht genüge, denn denkt man sich ein schiefes Gewölbe in vollem Bogen mit gewöhnlichen horizontalen Lagerfugen gerade so ausgeführt, als wäre es ein senkrecht, oder mit andern Worten, denkt man sich ein senkrecht Tonnengewölbe an den beiden Stirnflächen schief geschnitten, so ist die erste Lagerfläche eine horizontale Ebene, und die erste Fuge in der Stirnfläche eine horizontale, in dieser Ebene liegende Gerade. Eine Senkrechte auf diese Linie, welche gleichzeitig senkrecht auf der Stirnfläche steht, wird daher auch in die horizontale Lagerfläche fallen, mithin eine horizontale Linie sein, und nach Herrn Buck's weiterer Schlussfolgerung müsste dieses Gewölbe den Gesetzen der Stabilität, da die von ihm gestellte Bedingung erfüllt ist, entsprechen, ein Schluss, der eben nicht viel mehr gefehlt wäre, als derjenige, zu welchem Herr Buck durch seine Untersuchung geführt wird, indem er findet, dass ein Gewölbe im vollen Bogen, welches um $64^{\circ} - 20'$ von der senkrechten Richtung abweicht, nach seiner Konstruktion volle Sicherheit gewähre, während doch gerade in diesem Falle seine Lagerfläche am Gewölbsanlaufe um $52^{\circ} - 57'$ von der richtigen Lage abweichen würde, mithin ein Einsturz ganz unvermeidlich wäre.

Der Irrthum, in welchen Herr Buck verfallen ist, besteht aber darin, dass erstens die Mittelkrafts-Curve eben eine Curve, und zweitens die Lagerfläche eine gekrümmte Fläche und keine Ebene ist. Die Bedingung der Stabilität ist daher, dass die Mittelkrafts-Curve senkrecht auf der Lagerfläche stehe, d. h. eine Tangente zur Mittelkrafts-Curve in dem Punkte gezogen, wo diese die Lagerfläche durchschneidet, muss senkrecht stehen auf einer tangirenden Ebene, welche zur Lagerfläche durch denselben Punkt gelegt gedacht wird. Da ferner die Mittelkrafts-Curve nach den Gesetzen der Stabilität eine ebene, und zwar in einer vertikalen Ebene liegende Curve sein muss, so besteht allerdings das weitere Gesetz, dass eine horizontale Linie in der oben bemerkten, die Lagerfläche tangirenden Ebene gezogen, senkrecht auf jener vertikalen Ebene stehen muss, in welcher die Mittelkrafts-Curve liegt. Herr Buck führt aber statt der Tangente zur Mittelkrafts-Curve den Fugenschnitt in der Stirnfläche, und statt der tangirenden Ebene die Lagerfläche selbst in seine Untersuchung ein, und wird durch diese Missgriffe zu einer langen Reihe von Trugschlüssen geführt.

Aber auch angenommen, es wäre an dem Punkte, wo Herr Buck findet, dass er eine horizontale Gerade in die Lagerfläche ziehen kann, die den gestellten Bedingungen entspricht, die Lagerfläche nach seiner Konstruktion richtig, so ist noch immer der weitere Schluss ganz unbegründet, dass von dort an der übrige Theil des Gewölbes bis zum Scheitel den Stabilitätsgesetzen entspreche, denn Herr Buck kann selbst aus seiner Formel ersehen, dass dies nur für den einzigen Punkt gelten würde, für welchen er es findet.

Indessen giebt uns Herrn Buck's Werk, wie schon bemerkt, sehr werthvolle praktische Anweisungen, und kann in dieser Beziehung, und wenn man seine fehlerhafte Ausmittlung der Lagerfugen und Flächen so wie die theoretische Abhandlung, zu welcher sich Herr Buck durch die herrschende Richtung des Zeitgeistes ohne genügende theorethische Bildung gedrängt fühlte, als Blendwerk bei Seite legt, Jedermann empfohlen werden.

In demselben Jahre 1839 erschien ebenfalls in London ein Werk über schiefe Gewölbe unter dem Titel:

„A practical treatise on the Construction of Oblique Arches by John Hart. 8.“

Eine praktische Abhandlung über die Konstruktion schiefer Bogen von John Hart.

Dieses Schriftchen, welches bereits drei Auflagen erlebte, und auch in Romberg's Zeitschrift für praktische Baukunst Jahrgang 1847 in Uebersetzung zu finden ist, setzt ebenfalls die Anwendung eines konstanten Konstruktionswinkels voraus, welcher ebenso gefunden wird, wie ihn Herr Buck ausmittelt.

Es gilt daher hierüber ganz dasselbe, was von Buck's Ausmittlung des Konstruktionswinkels gesagt wurde.

Im Uebrigen unterscheidet sich Herrn Hart's Konstruktion wesentlich dadurch von Buck's Konstruktion, dass er die Lagerflächen nicht senkrecht auf der Cylinderfläche, sondern senkrecht auf die durch den schiefen Schnitt entstehende Curve fordert. Da nun die Mittelkrafts-Curve in diesem schiefen Schnitt liegend gedacht wird, so erzielt Herr Hart allerdings den Vortheil, dass die, die Lagerfläche erzeugende Gerade, mithin die Lagerfläche selbst, mindestens in einer Richtung senkrecht auf der Mittelkrafts-Curve steht. Hiermit giebt Herr Hart aber auch alle im Laufe dieser Schrift dargestellten Vortheile der Konstruktion mittelst der Spiralfächen auf, und da er durch diese Bedingung gezwungen wird, für jeden Stein eigene Chablonen anzufertigen, so verfällt er in dieselben Schwierigkeiten, welche sich der praktischen Ausführung schiefer Quadergewölbe mit den richtigen Lagerflächen entgegen stellen, ohne hievon einen wesentlichen Gewinn zu haben, da gerade ein Fehler in dieser Richtung der Lagerflächen durch die Nachmauerung ganz unschädlich gemacht werden kann.

In der Längenrichtung der Lagerflächen dagegen, wo es kein Mittel giebt, einem Fehler eine andere Kraft entgegen zu setzen, behält Herr Hart dieselbe fehlerhafte Konstruktion wie Herr Buck.

Weiters unterscheidet sich Herrn Hart's Konstruktion dadurch von Buck's Konstruktion, dass er die Stossflächen der einzelnen Steine als vollkommen vertikale, zur Stirnfläche parallele Schnitte annimmt, was allerdings einen Zweck hätte, wenn Herr Hart mit derselben Aengstlichkeit auch auf die richtige Lage der Lagerfugen und Flächen sehen würde, da er aber diese, worauf eigentlich die ganze Konstruktion beruht, einfach als gerade Linien unter einem so zu sagen willkürlich angenommenen Winkel in die developpirte Fläche einzeichnet, so erscheint diese ängstliche Sorge für die Stossflächen nicht nur überflüssig, sondern, da die erhaltenen Stossflächen nicht in die Richtung der wirksamen Kräfte fallen, wie sie durch die angenommene Richtung der Lagerflächen einmal bedingt sind, sogar fehlerhaft. Zudem wird hiedurch abermals eine Unzahl von Chablonen bedingt.

Herr Hart sagt übrigens schon in der Vorrede, er wolle seine Schrift für nichts weiter, als für eine nützliche Anweisung für Praktiker betrachtet wissen, und vermeidet diesem Grundsatzes getreu in der ganzen Abhandlung jedes mathematische Zeichen oder Formel; er führt mehrere Fälle, die auf 11 Tafeln dargestellt sind, rein konstruktiv durch und zeigt in derselben Weise auch an einem sehr schiefen Gewölbe die Grenze, bis zu welcher die Konstruktion mit Sicherheit anzuwenden sei. Das Schriftchen lässt daher auch nur vom praktischen Standpunkte aus eine Beurtheilung zu, und da schliesse ich mich ganz der Ansicht des Herrn Hertel, Uebersetzer eines Werkes, worauf ich später zu sprechen kommen werde, an, indem er sagt:

„Wie es bei dergleichen Tendenzen aber immer geht, der Verfasser häuft eine Menge Handwerksregeln, „die recht gut sind, wenn der vorliegende Fall sich ihnen gutmüthig anschmiegt, Rath und Hilfe aber versagen, „wenn die Vorlagen sich ändern. Er verlangt eine Menge Chablonen, Lehrbretter und Richtmasse; wir haben „aber gesehen, dass mit ihnen ein schlechtes Auskommen ist. Die Brücke der Thüringer Eisenbahn in Kösen „wäre vielleicht mit allen diesen Chablonen nicht zu Stande gekommen, oder hätte ihre überraschende konstruk- „tive Schönheit und Sicherheit nicht erreicht, wenn nicht der geschickte Steinhauermeister und Unternehmer „den ganzen Plunder von gefertigten Chablonen zur Seite warf, und blos mit Hilfe der Schmiegen und des „Quadranten arbeiten liess, wozu ihm freilich seine eigene Intelligenz und ein zuvor angefertigtes Modell be- „hilfflich sein musste.“

In der That wird aber auch die Ausführung eines Gewölbes mit den vollkommen richtigen Lagerflächen kaum so grossen praktischen Schwierigkeiten unterworfen sein, als sie hier Herr Hart für eine gänzlich falsche Konstruktion zusammen häuft.

Zunächst diesen Gegenstand behandelnd, finden wir das in Wien 1845 in 4^o erschienene Werk:

„Konstruktion der Anlaufsteine für schiefe Ziegelgewölbe und Bemerkungen über schiefe Ziegelgewölbe „im Allgemeinen von Ferdinand Hoffmann.“

Dieses mehrfach verkannte und namentlich in der Stuttgarter Eisenbahnzeitung mindestens leidenschaftlich beurtheilte Schriftchen ist das erste, welches für die Anlaufsteine, wovon es handelt, nicht nur den richtigen Konstruktionswinkel, sondern auch die vollkommen richtige Lagerfläche aufzufinden lehrt.

Herr Hoffmann geht nämlich von der ganz richtigen Voraussetzung aus, dass alle Stützlinsen, die man sich in einem Gewölbe wirksam denken muss, in vertikalen Ebenen liegen müssen, die die Gewölbsflächen parallel zur Stirnfläche schneiden, und konstruirt seine Lagerfläche des Anlaufsteines sodann derart, dass sie in allen Punkten senkrecht auf diesen Stützlinsen steht. Herr Hoffmann erhält daher auch in der Stirnfläche die vollkommen richtigen radialen Fugenlinien, und setzt überhaupt den wirksamen Kräften eine Fläche vollkommen senkrecht entgegen, so dass von einem Seitenschube und Zerlegung der Kraft keine Rede mehr sein kann. Der einzige Vorwurf, der Herrn Hoffmann vielleicht treffen könnte, ist der, dass er, nachdem er die richtige Lage der Lagerfläche ausgemittelt hat, dieselbe sodann mindestens für die mittleren Anlaufsteine nicht rechtwinklich begrenzte, wodurch der Ziegelverband sehr vereinfacht und weniger Behauen der Ziegel nöthig geworden wäre. Indessen ist dies durchaus kein Fehler zu nennen, da die Konstruktion selbst den schiefwinkligen Schnitt ergibt, sondern es ist nur die Ausserachtlassung einer Rücksicht für die leichtere Arbeit, welche erzielt werden kann, ohne dem Zwecke selbst, der richtigen Lage der Lagerfläche, einen Nachtheil zu bringen.

Herrn Hoffmann's Konstruktion der Anlaufsteine kann daher nicht nur für die Ausführung schiefer Ziegelgewölbe mit der allfälligen Abänderung, dass man sie innen rechtwinklig begrenzt, unbedingt anempfohlen werden, sondern wer ein schiefes Ziegelgewölbe mit den richtigen Lagerflächen ausführen will, was nach meiner Ueberzeugung und den, von mir gemachten Erfahrungen wohl nicht anders mehr vorkommen sollte, kann dieselben sogar nicht anders machen, ausser er macht sie falsch.

Rücksichtlich des Gewölbes selbst ist jedoch Herr Hoffmann zu einem Missgriff verleitet worden. Er glaubt nämlich, mit der richtigen Ausmittlung der Anlaufsteine schon alles gethan zu haben, und führt seine Gewölbe mit dem Winkel, welchen er für die Anlaufsteine fand, als konstanten Konstruktionswinkel aus. Wie leicht begreiflich, wird sodann der Fehler im Scheitel des Gewölbes noch weit grösser als bei den früher besprochenen Ausmittlungen nach Buck etc., und Herr Hoffmann machte die ganz natürliche Erfahrung, dass derart ausgeführte Ziegelgewölbe sich im Scheitel ausbauchten.

Um diese Erscheinung zu erklären, kommt er auf folgenden Missgriff. Weil er nämlich das schiefe Gewölbe durch den Scheitel senkrecht auf die schiefe Richtung des Gewölbes schneidet, und hiedurch der Schnitt eine Kurve beschreibt, so glaubt er darin einen Grund zu finden, dass bei einem schiefen Gewölbe auch in der Richtung gegen die Stirnfläche ein Gewölbsdruck ausgeübt werde, und erklärt hieraus das oft vorgekommene Ausbauchen der Stirnflächen schiefer Ziegelgewölbe. Hätte Herr Hoffmann die richtige Lagerfläche seiner Anlaufsteine weiter im Gewölbe ebenfalls richtig fortgesetzt, so wäre er wohl sogleich darauf gekommen, dass er durch dieselben jeden vorhandenen Druck senkrecht auffängt, und der, bei anderen Gewölben sich merkbar gemachte Stirnschub nur Folge der unrichtigen Lage der Lagerflächen war.

Diesem zunächst im Jahre 1846 erschien in Wien bei Karl Gerold meine Theorie der schiefen Gewölbe und deren praktische Ausführung, und erst im Jahre 1850 erschien wieder ein englisches Werk über diesen Gegenstand. Es führt den Titel:

„A practical treatise on the construction of Oblique Bridges with spiral and with equilibrated Courses
By Francis Bashforth London 1850.“

Eine praktische Abhandlung über die Konstruktion schiefer Brücken mit Spiral und Gleichgewichtslager von Francis Bashforth.

Eine deutsche Uebersetzung dieses Werkes von W. Hertel erschien im Jahre 1851 in Weimar bei F. Voigt.

Wie schon der Titel des Werkes bezeichnet, unterscheidet der Verfasser zweierlei Lagerflächen, scheint aber nicht den Muth gehabt zu haben, die einen die richtigen zu nennen, weil er damit die Anderen hätte als falsch bezeichnen müssen. Er benennt daher die richtigen Lagerflächen, denn diese sind es in der That, als in das Gleichgewicht gesetzte, zum Unterschiede von den Spiralfächen.

Herr Hertel übersetzt das Wort equilibrated mit abgewogen, worunter man gewöhnlich in der Kunstsprache horizontal versteht, während doch gerade die Lagerflächen schiefer Gewölbe sich dadurch von denen senkrechter Gewölbe wesentlich unterscheiden, dass keine der Linien, durch welche diese Flächen beschrieben oder festgesetzt werden, horizontale Linien sind. Eine wörtliche Uebersetzung mit „in das Gleichgewicht gesetzt“ scheint mir daher das passendste, wenn man es nicht vorzieht, das Kind beim wahren Namen zu nennen, und zu sagen, „die richtigen Lagerfugen und Flächen.“

Herr Bashforth theilt sein Werk in drei Abtheilungen, wovon die erste und umfangreichste von den schiefen Brücken mit Spirallagern handelt. Es wird hier in bestimmter und klarer Form alles Wesentliche gegeben, was sowohl bei der Konstruktion als Berechnung dieser Spiralfächen erforderlich ist, wobei es jedoch Herr Bashforth vermeidet eine selbstständige Ansicht über die Ausmittlung der Richtung dieser Spiralfugen anzugeben, sondern nur sagt, wie man dies gewöhnlich zu machen pflegt, wobei er Buck's und Hart's Konstruktion mittheilt. Auffallend bleibt es nur, dass Herr Bashforth, der doch, wie aus dem zweiten und dritten Abschnitte klar hervorgeht, die richtigen Begriffe von dem Gegenstande, um den es sich handelt, hatte, nicht mindestens die Grenzen näher festsetzt, innerhalb welchen man die, von ihm selbst als falsch anerkannte Konstruktion mit Spiralfächen noch anwenden kann.

Schon in der Vorrede theilt ferner Herr Bashforth mit, dass Adie zuerst schiefe Brücken mit den richtigen Lagerflächen konstruirte, und über diesen Gegenstand im Jahre 1842 dem Institute der Civil-Ingenieure eine Schrift übergab, und dass Dr. Whewell und Herr Sang einige theoretische Untersuchungen über diesen Gegenstand veröffentlichten. Herr Bashforth entwickelt daher in der zweiten Abtheilung seines Werkes die Gleichungen der richtigen Lagerfugen, und theilt auch einige werthvolle Andeutungen über die Art der Ausführung von Gewölben mit diesen richtigen Lagerfugen mit, wobei Herr Bashforth, wie dies überhaupt in allen englischen Werken über diesen Gegenstand vorzüglich der Fall ist, nur von Quader-Gewölben spricht.

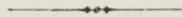
In der dritten Abtheilung geht Herr Bashfort noch weiter, und entwickelt auch die Gleichungen der richtigen Lagerfugen für solche Gewölbe, deren Stützlinien nicht in parallelen Ebenen liegen, wobei er freilich nur den speciellen Fall der Verbindung von senkrechten mit schiefen Gewölben einer Untersuchung unterzieht, da aber dieser Fall auch dann Anwendung findet, wenn ein Gewölbe an den beiden Stirnflächen nicht parallel geschnitten wird, so können die entwickelten Formeln auch hiefür gebraucht werden.

In einem Anhange werden endlich die vorzüglichsten Eigenschaften der Ellipse, so wie die Gleichungen der Kettenlinie gegeben.

Sämmtliche von Herrn Bashforth entwickelten Formeln und Gleichungen findet man aber, wenn man von den verschiedenen Bezeichnungen absieht, schon in meiner 4 Jahre früher erschienenen Theorie der schiefen Gewölbe. Indessen muss anerkannt werden, dass diese Schrift ein sehr bedeutender Fortschritt in der englischen Literatur über diesen Gegenstand ist, und dass dieselbe in jeder Beziehung einen weit höheren Standpunkt einnimmt, als die früher erschienenen Werke von Buck und Hart. Man kann daher auch Herrn Hertel für die Uebersetzung dieses Werkes nur dankbar sein.

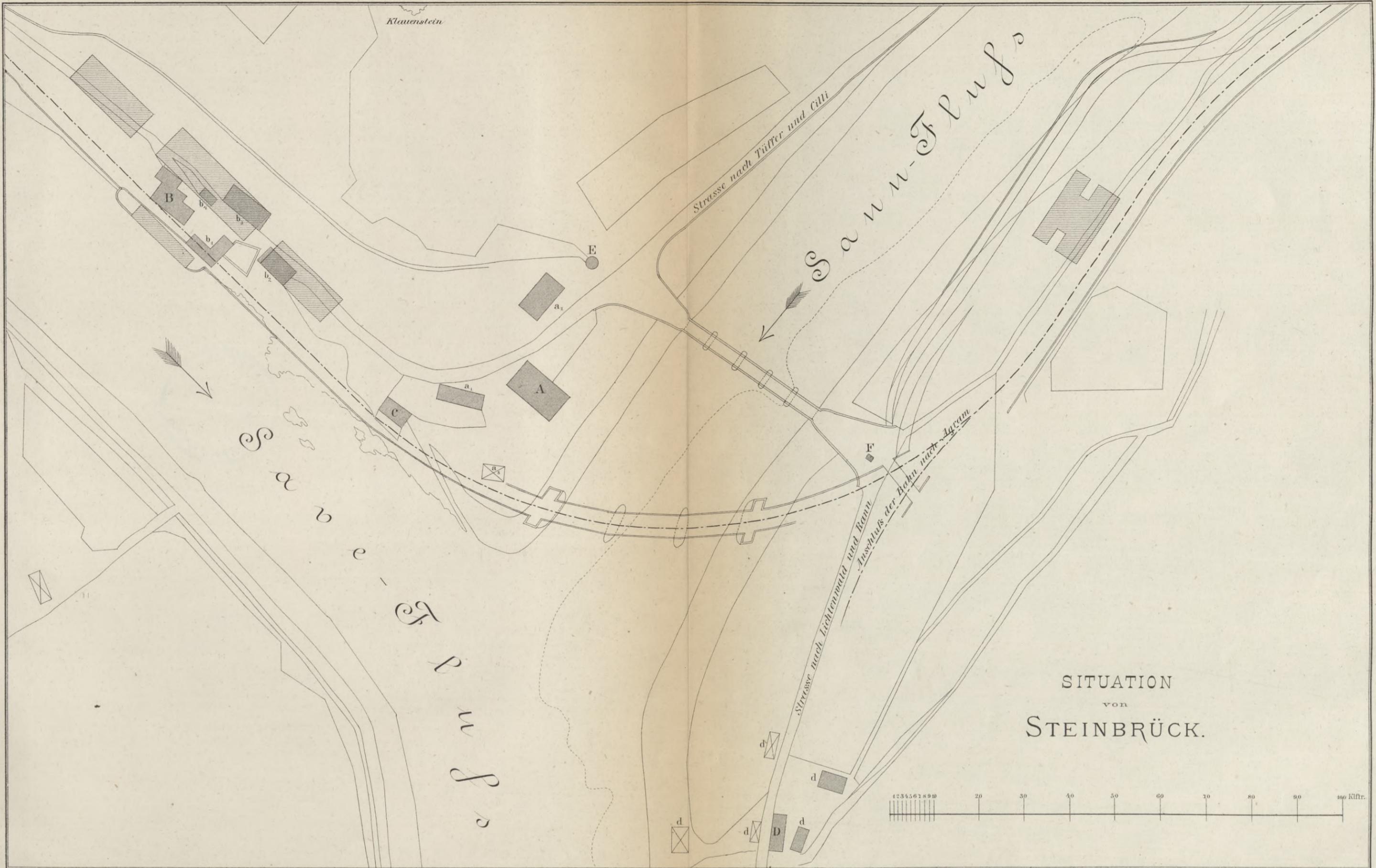


Inhalts-Verzeichniss.

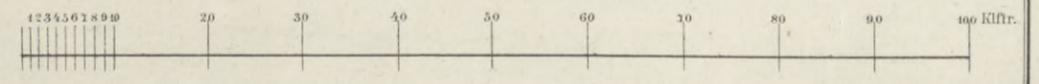


	Seite
Geschichtliches	1
Entwurf der Brücke und Ausführung der Pfeiler	5
Das Lehr- und Laufgerüst	13
Die Gewölbe	17
Die Nachmauerung	40
Schlussbemerkungen	49
Anhang. Bemerkungen über die bisher erschienenen Schriften über schiefe Gewölbe	51



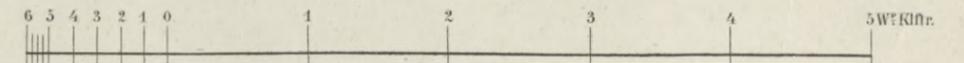
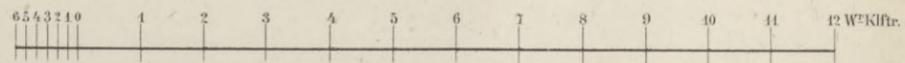
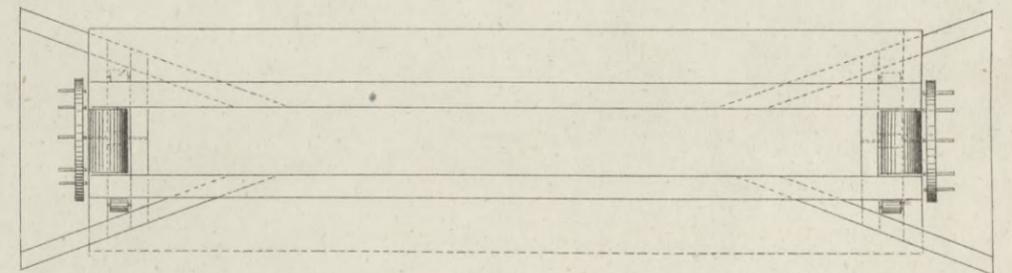
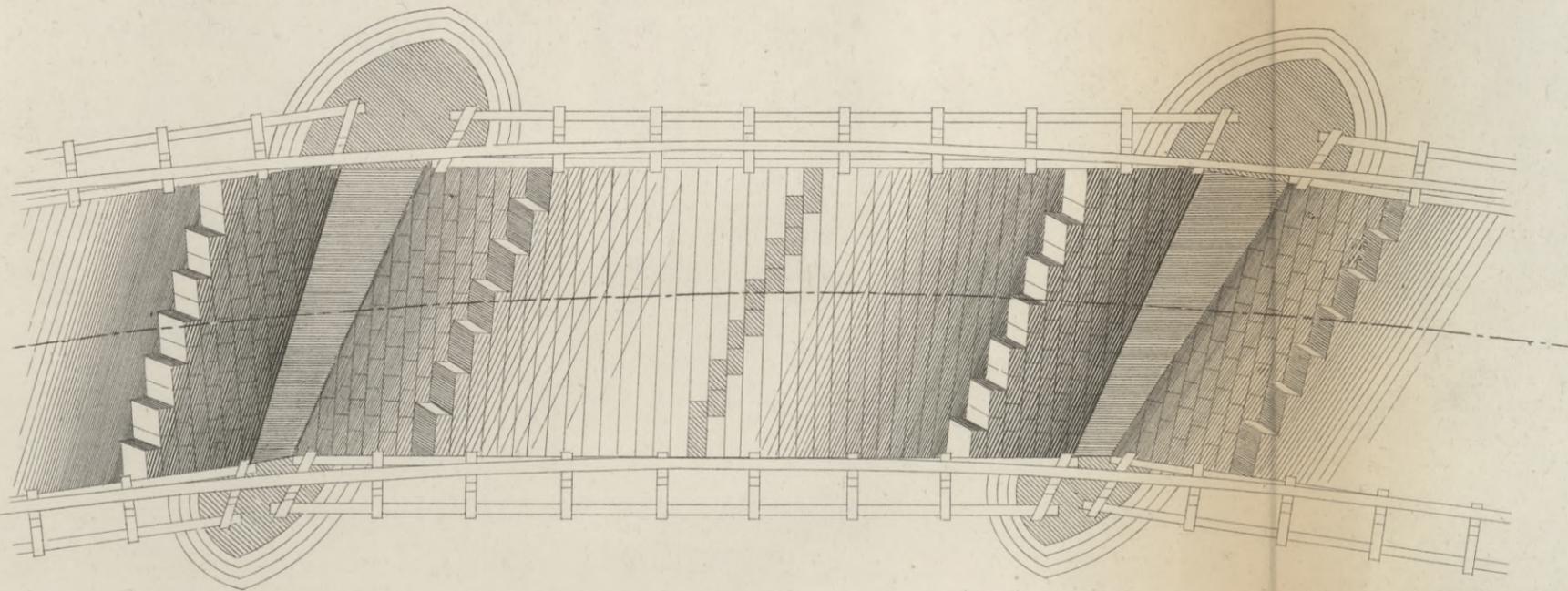
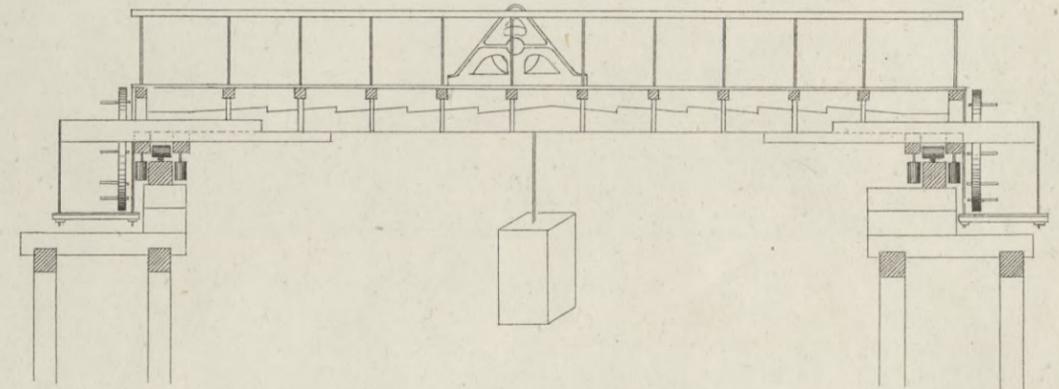
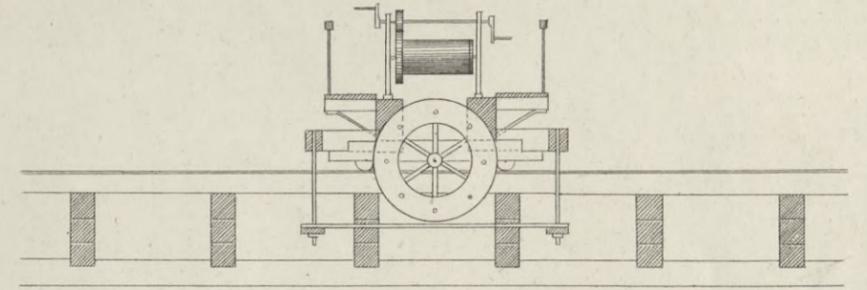
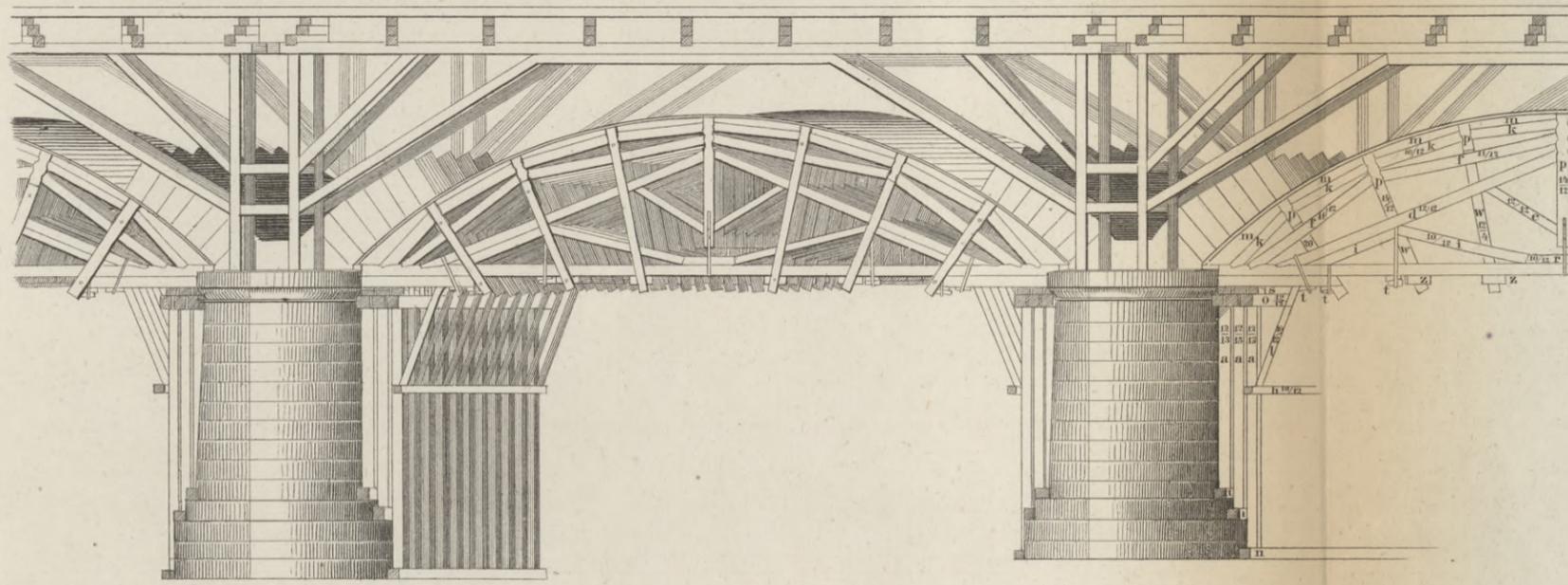


SITUATION
von
STEINBRÜCK.

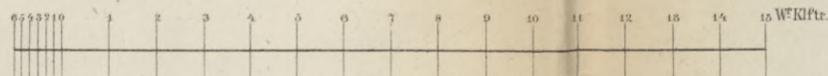
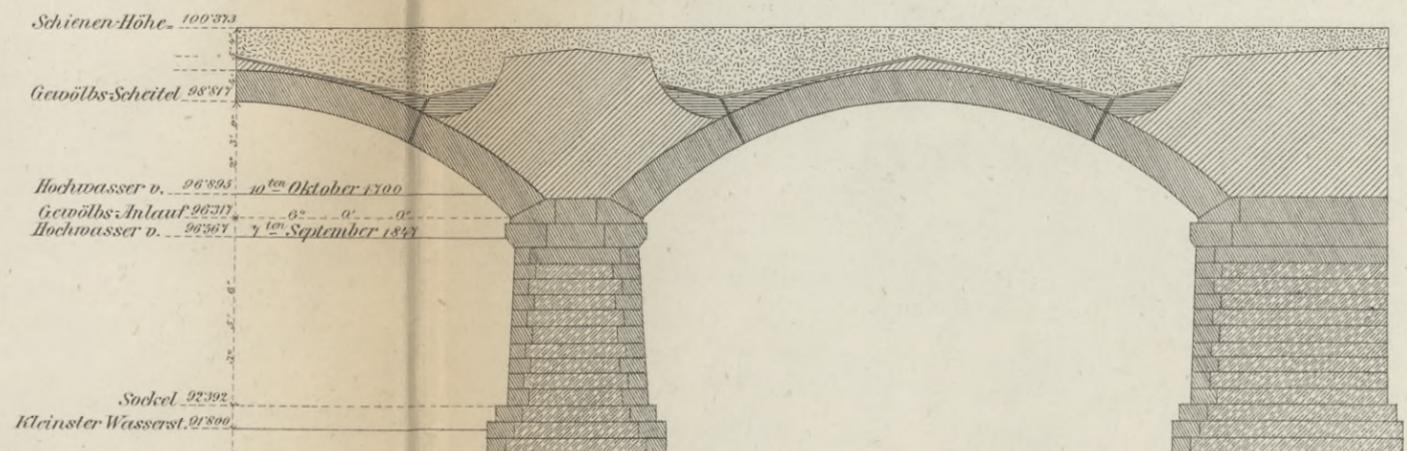
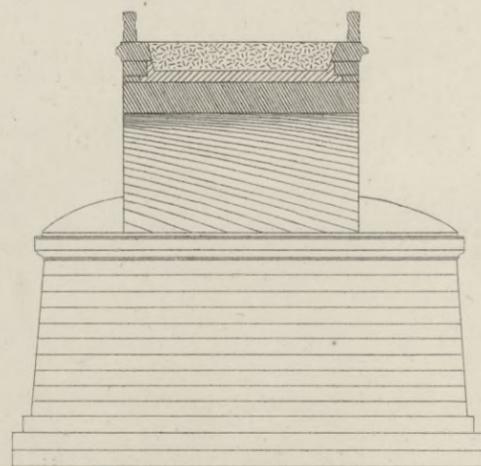
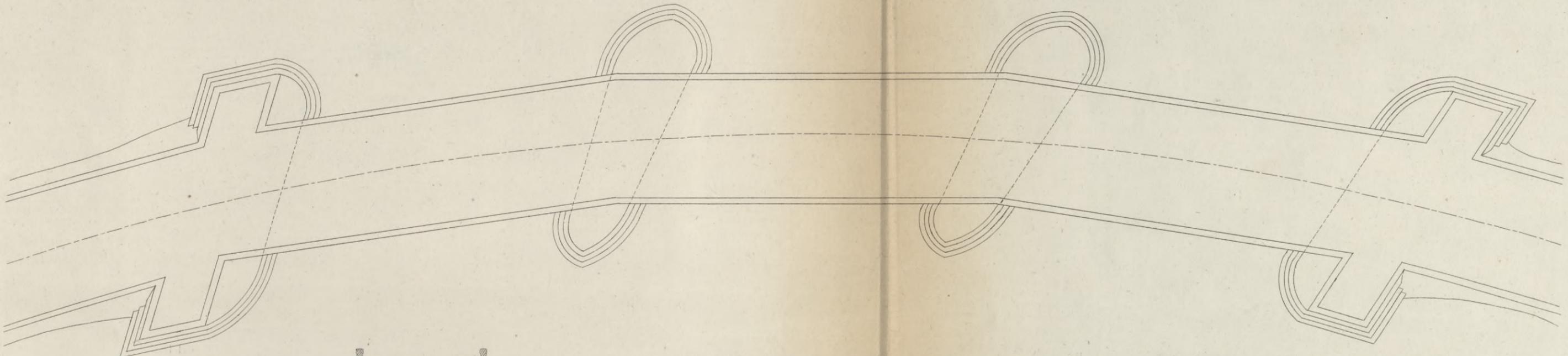
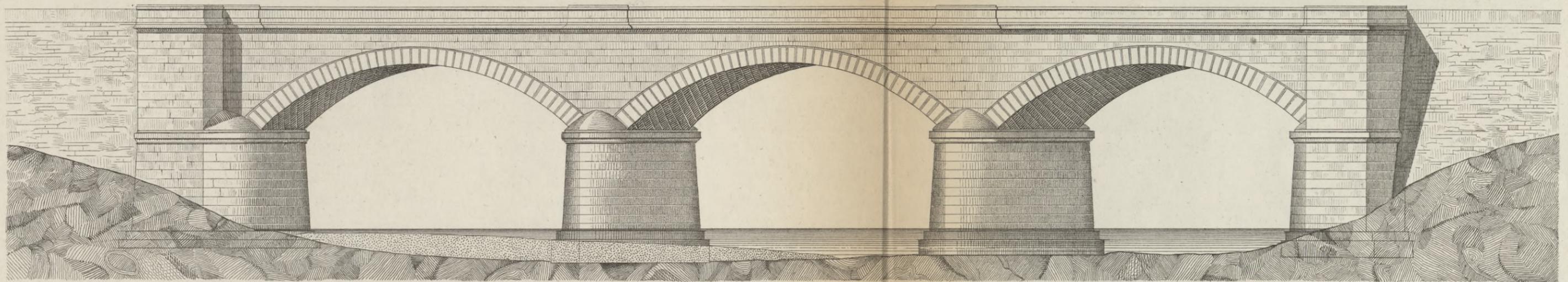




Das Lauf- und Lehrgerüst.



SANNBRÜCKE IN STEINBRÜCK.





POLITECHNIKA KRAKOWSKA
BIBLIOTEKA

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-34028

Kdn. 524. 13. IX. 54

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000304025