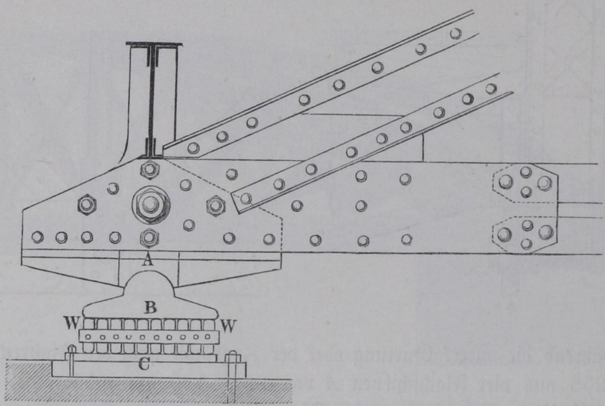
stäbe gegen einander versteift sind. Desgleichen sind die verticalen Pfosten P aus je vier Eckeisen mit zwischengesetztem Gitter gebildet, während die Diagonalen D aus je zwei Flachschienen von 10×105 mm bestehen. Die Verbindung der Gurtungen mit den Zwischengliedern ist, wie aus den Figuren 254 bis 257 ersichtlich ist, überall durch Bolzen C von 52 mm Dicke gebildet, in deren Axen die Schwerlinien der verbundenen Theile sich kreuzen. Auch hier sind die Trägerenden jeder Oeffnung auf einer Seite durch ein festes Auflager auf dem Pfeiler gestützt, während jedes der anderen Enden mit Hülfe eines gußeisernen Schuhes A, Fig. 258, und einer Platte B auf eine Anzahl (10) von Walzensegmenten W drückt, welche auf der

Fig. 258.



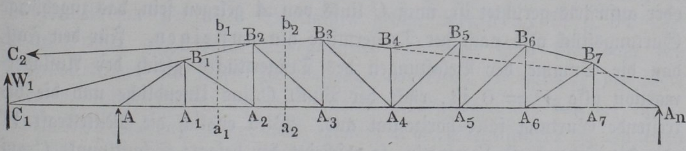
Stützplatte C des Landpfeilers ruhen. Diese Walzensegmente, mit ihren Zapfen in einem viereckigen Rahmen gehalten, gestatten vermöge der ihnen möglichen pendelnden Bewegung die horizontale Verschiebung von ungefähr 30 mm, welche die Längenänderung des Trägers in Folge der Temperaturschwankungen nothwendig macht. Die zehn Walzen von 0,118 m Durchmesser und 0,52 m Breite haben einen Maximaldruck von 36 Tonnen auf die Stützplatte zu übertragen, während sie mit Sicherheit, ohne die Elasticität des Gußeisens zu gefährden, etwa 46 Tonnen auszuhalten vermögen, nämlich 1 Ctr. pro 1″ Durchmesser und 1″ Breite, d. h. ca. 7,5 kg pro 1 cm Durchmesser und 1 cm Breite, daher

$$10 . 52 . 11{,}8 . 7{,}5 = 46\,000 \text{ kg}.$$

§. 57. **Schwedler'sche Träger.** Im vorhergehenden Paragraphen wurde gefunden, daß bei dem Parabelträger, dessen Form aus der Bedingung einer constanten Spannung in der geraden Gurtung folgte, die Dia=

gonalen bei der vollen Belastung gar keiner Spannung unterworfen sind, während durch die einseitigen Belastungen jede Diagonale einer größten positiven und einer größten negativen Spannung von demselben Betrage ausgesetzt wird. Der letztere Umstand macht daher die Anordnung von Gegenstreben in allen Feldern nöthig, wenn man die Bedingung stellt, daß die Diagonalen nur in einem Sinne, entweder nur auf Zug oder nur auf Druck angesprochen werden sollen. Man kann das letztere indessen auch erreichen, ohne gekreuzte Streben anwenden zu müssen. Soll z. B. in einem beliebigen Felde, in welchem nur eine Diagonale angebracht ist, die letztere in allen Fällen nur durch Zugkräfte angegriffen werden, so hat man nur nöthig, durch die Form des Trägers dafür zu sorgen, daß bei derjenigen einseitigen Belastungsart, welche nach dem Vorstehenden die größte Druckspannung in der Diagonale hervorzurufen sucht, diese Druckspannung gleich Null ausfällt. Wenn diese Bedingung für die größte negative Spannung erreichbar, also $-T_{max} = 0$ ist, so wird offenbar jede andere in der Diagonale auftretende Spannung positiv sein, mit anderen Worten, die Diagonale wird nur durch Zugkräfte angegriffen werden. Nun ist aus dem Vorhergehenden aber leicht zu erkennen, daß die vorausgesetzte Bedingung erfüllt ist, sobald die beiden Gurtungsstücke des betreffenden Feldes sich in einem Punkte schneiden, durch welchen auch die Resultirende aller derjenigen äußeren Kräfte hindurchgeht, die auf das Trägerstück wirken, das zwischen dem betrachteten Felde und dem einen Stützpunkte gelegen ist. Sollen z. B. in der Diagonale $A_2 B_1$, Fig. 259, nur Zugspannungen auftreten, so denkt man sich diejenige Belastung, welche in dieser Diagonale das Minimum der

Fig. 259.



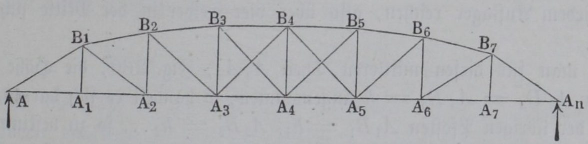
Spannung, d. h. die größte Druckspannung zu erzeugen strebt, welcher Zustand bekanntlich durch eine Belastung aller links gelegenen Knotenpunkte, jedes durch k, dargestellt ist. Denkt man nun durch die Diagonale einen Schnitt $a_1 b_1$ gelegt, so muß das Balkenstück $a_1 A b_1$ im Gleichgewichte sein unter dem Einflusse aller äußeren darauf wirkenden Kräfte und der drei Spannungen U_2, O_2 und T_1 der durchschnittenen Glieder. Die beiden Spannungen U_2 und O_2 haben eine durch ihren Schnittpunkt C_1 gehende Mittelkraft, und wenn die Resultirende W_1 aller äußeren Kräfte ebenfalls durch diesen Punkt C_1 geht, so fällt die Spannung T_1 der Diagonale gleich

Null aus, wie man findet, wenn man die Summe der statischen Momente aller vier Kräfte W_1, U_2, O_2 und T_1 in Bezug auf C_1 gleich Null setzt. Um daher der gestellten Bedingung zu genügen, hat man nur nöthig, den Durchschnittspunkt C_1 der geraden Gurtung mit der Resultirenden W_1 aller auf das betrachtete Balkenstück wirkenden äußeren Kräfte zu bestimmen, und der oberen Gurtung $B_1 B_2$ eine durch diesen Punkt gehende Richtung zu geben. Wäre etwa die Höhe des Verticalständers $A_2 B_2 = h_2$ gegeben, so erhielte man durch die so gefundene Richtung $B_2 C_1$ die Höhe $A_1 B_1 = h_1$ des vorhergehenden Pfostens. Bestimmt man in derselben Art den Durchschnittspunkt C_2, in welchen die gerade untere Gurtung von der Resultirenden W_2 aller auf das Balkenstück $a_2 A b_2$ wirkenden äußeren Kräfte getroffen wird, so erhält man in der Verbindungslinie von C_2 mit B_2 die Richtung und den Knotenpunkt B_3 der Gurtung $B_2 B_3$. Ebenso kann man die rechts von B_3 gelegenen Knotenpunkte bestimmen.

Es kann hierbei bemerkt werden, daß jede einzelne der besagten Resultirenden, wie W_2, die Mittelkraft ist aus der in A vertical aufwärts gerichteten jedesmaligen Lagerreaction R, und den vertical abwärts wirkenden zwischen A und dem Durchschnitte angebrachten Belastungen von $q = p + k$ für jeden Knotenpunkt. Diese Mittelkraft ist daher gleich der in dem betrachteten Querschnitte wirkenden verticalen Scheerkraft V. Der Angriffspunkt C dieser Resultirenden liegt nach den bekannten Gesetzen, welche für die Zusammensetzung paralleler entgegengesetzter Kräfte gelten, immer außerhalb der Kräfte, und zwar auf der Seite der größeren von ihnen. So lange daher die Stützenreaction R an Größe die Summe der gedachten Belastungen q übertrifft, d. h. so lange die verticale Scheerkraft V positiv oder aufwärts gerichtet ist, muß C links von A gelegen sein, das zugehörige Gurtungsstück also nach der Trägermitte hin ansteigen. Für den Fall, daß die Summe der Belastungen des Trägerstückes gleich der Auflagerreaction also $V = 0$ ist, rückt der Punkt C ins Unendliche und die betreffende Gurtung fällt horizontal aus. Wird endlich die Mittelkraft W oder die Scheerkraft V negativ, so erscheint der besagte Schnittpunkt C auf der anderen Seite des Querschnittes und die Gurtung des Trägers wird an dieser Stelle nach der Mitte hin abfallen. Dieses Verhalten stellt sich in der Figur in dem Felde $A_3 A_4$ ein, indem hier vorausgesetzt ist, daß in dem Pfosten $A_3 B_3$ ein Wechsel der Scheerkraft V stattfindet, derart, daß diese Kraft daselbst positiv ist, wenn nur die Knotenpunkte A_1 und A_2 mit je q belastet sind, während bei einer Belastung auch von A_3 eine negative Schubkraft in dem Felde $A_3 A_4$ erzeugt wird. Man erkennt daraus, daß in Folge dessen der Träger nach der Mitte hin eine geringere Höhe h_4 erhält, als in dem links davon entfernten Knotenpunkte A_3. Gesetzt $A_4 B_4$ wäre der mittlere Pfosten, so läßt sich auch für die rechte Trägerhälfte $A_4 A_n$ durch eine ganz ähnliche Betrachtung, wie sie hier angeführt ist, die Form der oberen Gurtung unter der Bedingung feststellen, daß die Diagonalen nur gezogen werden sollen, für welchen Fall man natürlich die Diagonalen von der Mitte aus nach der entgegengesetzten Richtung, d. h. nach dem jenseitigen Auflager A_n ansteigen lassen muß.

Die in solcher Art festgestellte Trägerform hat den Uebelstand, daß in der Mitte, wo das Biegungsmoment ein Maximum ist, die Spannung der Gurtung wegen der daselbst verminderten Höhe eine beträchtliche und nach beiden Seiten hin schnell abnehmende ist, sowie daß die Ausführung des Trägers eine schwierige wird. Diese Uebelstände sind bei dem Schwedler'schen Träger dadurch beseitigt, daß der mittlere Theil des Trägers zwischen den beiden höchsten Verticalen $A_3 B_3$ und $A_5 B_5$ mit parallelen Gurtungen nach Fig. 260 versehen wird. In Folge dessen wird in diesen mittleren Feldern die Bedingung, daß die Diagonalen Druckkräften gar nicht ausgesetzt seien, nicht mehr erfüllt sein, und man hat daher, wie bei den Parallel-

Fig. 260.



trägern, in diesen mittleren Feldern gekreuzte Diagonalen anzubringen, wenn dieselben nur in einer Richtung widerstandsfähig sind. Für diesen mittleren Trägertheil mit parallelen Gurtungen gelten überall die in §. 54 über Parallelträger angeführten Beziehungen, und man kann überhaupt den Schwedlerträger als einen Parallelträger ansehen, bei welchem die obere Gurtung beiderseits so nach der unteren herabgezogen ist, daß der mehrerwähnten Bedingung genügt wird, wonach in den Seitenfeldern die einfachen Diagonalen nur gezogen werden.

Die Erstreckung dieses mittleren Stückes zu jeder Seite der Trägermitte, also die Anzahl der mit Gegenstreben zu versehenden Felder, erhält man wieder durch Ermittelung der Strecke, auf welcher die Verticalkraft ihre Richtung ändert, d. h. den Werth Null annehmen kann. Bezeichnet n die ganze Anzahl der im Träger vorhandenen Felder von der Länge a, und ist ν die Anzahl der Felder zwischen dem Auflager A und dem Pfosten $A_\nu B_\nu$, so erhält man den Auflagerdruck R_ν in A, wenn der Träger auf der Strecke $A A_\nu$ mit der beweglichen Last bedeckt ist, zu:

$$R_\nu = \frac{n-1}{2} p + \frac{n-1+n-2+\cdots n-\nu}{n} k = \frac{n-1}{2} p + \left(1 - \frac{\nu+1}{2n}\right) \nu k \ . \quad (1)$$

und folglich die verticale Scheerkraft in dem auf den Pfosten A_ν folgenden Felde zu:

$$V_\nu = R_\nu - \nu(p+k) = \frac{n-1}{2}p - \frac{\nu+1}{2n}\nu k - \nu p \;.\;.\;.\;.\; (2)$$

Setzt man diesen Ausdruck gleich Null, so erhält man

$$n(n-1)p = (\nu+1)\nu k + 2n\nu p,$$

woraus sich

$$\nu = -\left(\frac{1}{2} + n\frac{p}{k}\right) + \sqrt{n(n-1)\frac{p}{k} + \left(\frac{1}{2} + n\frac{p}{k}\right)^2} \;.\;.\;.\; (3)$$

ergiebt.

Aus dieser Gleichung findet sich die Anzahl der in der Mitte mit parallelen Gurtungen und daher mit Gegenstreben zu versehenden Felder. Beispielsweise erhält man für $n = 10$ und $p = \frac{1}{3}k$ für ν den Werth

$$\nu = -3{,}83 + \sqrt{30 + 3{,}83^2} = 2{,}81,$$

woraus sich ergiebt, daß die parallelen Gurtungen bis zum dritten Pfosten neben jedem Auflager reichen, also über vier Felder in der Mitte sich erstrecken.

Hat man für diesen mittleren Theil A_3A_5, Fig. 260, die Höhe der Pfosten $A_3B_3 = A_5B_5 = h$ angenommen, so handelt es sich darum, die Höhen der übrigen Pfosten $A_1B_1 = h_1$, $A_2B_2 = h_2 \ldots$ so zu bestimmen, daß der im Eingange erwähnten Bedingung Genüge gethan wird. Um etwa die Höhe $h_2 = A_2B_2$ zu ermitteln, denkt man sich die beiden Knotenpunkte A_1 und A_2 von der Verkehrslast angegriffen und bestimmt den Durchschnittspunkt C_2, in welchem die Resultirende aller auf A_2AB_2 wirkenden äußeren Kräfte die horizontale Gurtung schneidet, welcher Punkt die Richtung B_3B_2 und also die Höhe A_2B_2 ergiebt. Die Festsetzung dieses Punktes durch ein graphisches Verfahren bietet keine Schwierigkeit dar. Will man den Punkt C durch Rechnung bestimmen, so bezeichne man wieder mit ν die Anzahl der belasteten Felder, also ist hier für A_2 $\nu = 2$ anzunehmen, und bestimme nach (1) die Größe des Auflagerdrucks R_ν für diese vorausgesetzte Belastung. Bezeichnet nun $c = AC$ die Entfernung des gesuchten Schnittpunktes C von dem Auflager A, so gilt die Momentengleichung in Bezug auf den Punkt C:

$$R_\nu c = (p+k)(c + a + c + 2a + \cdots c + \nu a) = q\left(\nu c + \frac{\nu+1}{2}\nu a\right) (4)$$

woraus

$$c = \frac{\frac{\nu+1}{2}\nu a q}{R_\nu - q\nu} \;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\; (5)$$

folgt. Durch wiederholte Anwendung dieser Formel für $\nu = 1, 2, 3 \ldots$ findet man die Abstände c und damit die Höhen sämmtlicher Pfosten $h_1, h_2, h_3 \ldots$, wenn die Höhe h der mittleren gegeben ist. Daß diese Verticalpfosten hier andere Werthe annehmen, als bei dem Parabelträger, ist selbstredend; ebenso ist es klar, daß bei diesem Träger für den Zustand der gleichförmigen Belastung die Spannung der unteren Gurtung nicht mehr in allen Feldern von gleicher Größe ist, wie es bei dem Parabelträger der Fall ist. Die Bestimmung der größten Anstrengungen der Gurtungen und Zwischentheile geschieht in derselben Art, wie vorstehend für den Parabelträger und für den Parallelträger gezeigt worden ist.

Bezeichnet

$$M_\nu = q \frac{n-1}{2} \nu a - q (1 + 2 \ldots \nu - 1) a = q \frac{n-\nu}{2} \nu a \quad . \ (6)$$

das Biegungsmoment für den Querschnitt durch den νten Verticalständer für den Fall, daß der Träger über seine ganze Länge mit der Verkehrslast bedeckt ist, so findet man die Zugspannung $U_{\nu+1}$ der unteren Gurtung in dem auf diesen Pfosten folgenden Felde zu

$$U_{\nu+1} = \frac{1}{h_\nu} M_\nu = q \frac{n-\nu}{2} \nu \frac{a}{h_\nu}, \quad . \ . \ . \ . \ . \ (7)$$

unter h_ν die Höhe des νten Pfostens verstanden. Für die Spannung O_ν der oberen Gurtung in dem νten Felde, d. h. dem Pfosten $A_\nu B_\nu$ vorhergehenden Felde, deren Neigung gegen den Horizont α_ν sein mag, findet man dann ebenfalls zu

$$O_\nu = \frac{1}{\cos \alpha_\nu} \frac{M_\nu}{h_\nu} = \frac{U_{\nu+1}}{\cos \alpha_\nu} = \frac{1}{\cos \alpha_\nu} \frac{n-\nu}{2} \nu \frac{a}{h_\nu} \quad . \ . \ (8)$$

Da nun $\frac{a}{\cos \alpha_\nu}$ die Länge λ des betreffenden Gurtungsstückes bedeutet, so kann man wie beim Parabelträger auch allgemein

$$O_\nu = \frac{\lambda}{a} U_{\nu+1} \quad . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ (9)$$

schreiben, welche Gleichung für jede Hälfte des Trägers unter der Voraussetzung gilt, daß die Zählung der Felder von dem zugehörigen Auflagerpunkte nach der Mitte hin geschieht.

Ist, wie in der Figur, die Zahl der Felder eine gerade, so sind die Maximalspannungen der unteren sowohl wie der oberen Gurtung in den beiden mittleren Feldern je unter sich gleich. Wenn dagegen die Felderzahl eine ungerade ist, so ist in dem mittleren Felde die Spannung $U_{\frac{n+1}{2}}$ gleich derjenigen der oberen Gurtung $O_{\frac{n+1}{2}}$, und da die Kreuzdiagonalen dieses Feldes bei voller Belastung des Trägers keiner Anstrengung ausgesetzt sind, so ist auch die Spannung der Obergurtung in jedem der beiderseits anstoßenden Felder ebenso groß wie in dem mittleren.

Die größte Spannung einer Diagonale kann man wie bei dem Parabelträger dadurch finden, daß man die Momentengleichung in Bezug auf den Durchschnitt C der beiden Gurtungen ansetzt, welche dem von der Diagonale eingenommenen Felde angehören. Es läßt sich diese maximale Spannung aber auch direct finden, ohne daß man die Abstände c und d dieses Schnittpunktes von dem Auflager und der Diagonalenrichtung kennt. Denkt man sich nämlich den Balken im νten Felde, z. B. im dritten Felde durchschnitten und den ungünstigsten Belastungszustand, d. h. eine Belastung aller Knotenpunkte rechts vom Schnitte A_3 bis A_7 vorausgesetzt, so hat man, unter T_ν die Diagonalenspannung und unter δ_ν den Winkel der Diagonale $B_2 A_3 A$ gegen den Horizont verstanden, wegen des Gleichgewichts im oberen Knotenpunkte B_2 die Gleichheit der Horizontalkräfte:

$$T_\nu \cos \delta_\nu = H_\nu - H_{\nu-1}, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (10)$$

wenn mit H_ν und $H_{\nu-1}$ die horizontalen Spannungscomponenten bezeichnet werden, welche bei der vorausgesetzten Belastung bezw. in $B_2 B_3$ und $B_2 B_1$ sich einstellen. Nun findet sich aber für diesen Zustand, für welchen der Auflagerdruck in A durch

$$R_\nu = p \frac{n-1}{2} + k \frac{1 + 2 + \cdots n - \nu}{n} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (11)$$

gegeben ist, die Horizontalspannung

$$H_\nu = \frac{1}{h_\nu} \left[R_\nu \nu a - p (1 + 2 + \cdots \nu - 1) a \right] \quad . \quad . \quad . \quad (12)$$

und

$$H_{\nu-1} = \frac{1}{h_{\nu-1}} \left[R_\nu (\nu - 1) a - p (1 + 2 + \cdots \nu - 2) a \right], \quad (13)$$

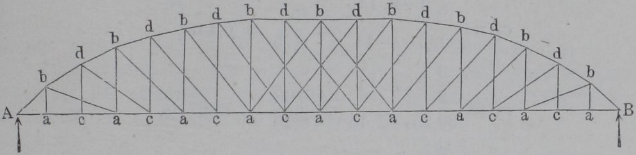
wodurch man nach (10) die gesuchte Maximalspannung T_ν der Diagonale findet. Desgleichen ergiebt sich für den Pfosten $A_2 B_2$ die größte Spannung gleich der für denselben Belastungszustand ermittelten algebraischen Summe der Verticalcomponenten der in den drei Gliedern $B_1 B_2$, $B_3 B_2$ und $B_2 A_3$ auftretenden Spannungen u. s. f.

Auch diese Träger können, um die Entfernungen der Knotenpunkte bei großen Spannweiten nicht zu groß und die Diagonalen nicht zu steil zu erhalten, mit mehrfachen Systemen von Zwischengliedern versehen werden, wie dies beispielsweise bei den Trägern der Elbbrücke in der Berlin-Lehrter-Eisenbahn *) geschehen ist. Fig. 261 zeigt das System eines solchen Trägers,

*) Erbkam, Zeitschr. f. Bauwesen, 1868, S. 517.

welcher bei einer Entfernung der Stützen von 210′ (65,9 m) 16 Felder von 12′ (3,766 m) und zwei Endfelder von je 9′ (2,825 m) erhalten hat.

Fig. 261.



Das System des Fachwerks ist ein doppeltes, und man hat bei der Berechnung eines solchen Trägers jedes der beiden Systeme $A\,a\,b\,a\,b\ldots B$ und $A\,c\,d\,c\,d\ldots B$ für sich zu berechnen und die für die einzelnen Gurtungstheile erhaltenen Spannungszahlen entsprechend zu addiren.

Beispiel. Für eine Spannweite von 32 m soll ein in der Mitte 4 m hoher Schwedlerträger aus 8 Feldern bestehend angeordnet werden. Für denselben sollen die Form und die größten Spannungen der Glieder unter der Voraussetzung ermittelt werden, daß das Eigengewicht der Construction pro laufenden Meter 1 Tonne und die Verkehrslast für dieselbe Länge 2,5 Tonnen beträgt?

Hier ist die horizontale Weite jedes der $n = 8$ Felder durch $a = \frac{32}{8} = 4$ m, daher die Belastung eines Knotenpunktes durch $p = 4$ t, $k = 10$ t und bezw. $q = p + k = 14$ t gegeben. Um die Höhen der Pfosten A_1B_1, $A_2B_2\ldots$,

Fig. 262.

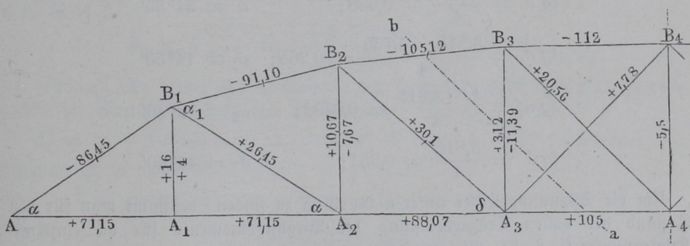


Fig. 262, zu bestimmen, findet sich zunächst der Auflagerdruck in A, für den Fall, daß nur der Knotenpunkt A_1 durch die Verkehrslast angegriffen wird, zu

$$R_1 = \frac{n-1}{2}\,p + \frac{n-1}{n}\,k = \frac{7}{2}\,4 + \frac{7}{8}\,10 = 22{,}75 \text{ t}.$$

Ebenso erhält man diese Auflagerdrucke für die Belastung der zwei Knotenpunkte A_1 und A_2, bezw. der drei Punkte A_1, A_2 und A_3 zu

$$R_2 = \frac{7}{2}\,4 + \frac{7+6}{8}\,10 = 30{,}25 \text{ t und}$$

$$R_3 = \frac{7}{2}\,4 + \frac{7+6+5}{8}\,10 = 36{,}5 \text{ t}.$$

Mit diesen Werthen bestimmen sich daher nach (5) die Abstände c_1, c_2 und c_3 von A, in welchen die horizontale Gurtung von den oberen Gurtungsstücken $B_1 B_2$, $B_2 B_3$ und $B_3 B_4$ getroffen wird, zu

$$c_1 = \frac{\frac{2}{2}\, 1 \,.\, 4 \,.\, 14}{22{,}75 - 14} = \frac{56}{8{,}75} = 6{,}4\,\text{m},$$

$$c_2 = \frac{\frac{3}{2}\, 2 \,.\, 4 \,.\, 14}{30{,}25 - 2 \,.\, 14} = \frac{168}{2{,}25} = 74{,}67\,\text{m},$$

$$c_3 = \frac{\frac{4}{2} \,.\, 3 \,.\, 4 \,.\, 14}{36{,}5 - 3 \,.\, 14} = -\frac{336}{5{,}5} = -61{,}1\,\text{m}.$$

Der negative Werth von c_3 deutet an, daß die obere Gurtung zwischen A_3 und A_4 horizontal zu machen, und daß daher ein Feld zu jeder Seite der Mitte mit Gegenstreben zu versehen ist.

Wenn nun dem Pfosten $A_3 B_3$ die verlangte Höhe $h_4 = h_3 = 4\,\text{m}$ gegeben wird, so erhält man

$$h_2 = h_3 \frac{c_2 + 2a}{c_2 + 3a} = 4\, \frac{74{,}67 + 8}{74{,}67 + 12} = 3{,}815\,\text{m}$$

und

$$h_1 = h_2 \frac{c_1 + a}{c_1 + 2a} = 3{,}815\, \frac{6{,}4 + 4}{6{,}4 + 8} = 2{,}755\,\text{m}.$$

Hieraus folgen nun weiter die Neigungen der Gurtungen und Streben gegen den Horizont aus:

$$tg\,\alpha = \frac{2{,}755}{4} = 0{,}689; \qquad \alpha = 34^0\,35'$$

$$tg\,\alpha_1 = \frac{3{,}815 - 2{,}755}{4} = 0{,}265; \qquad \alpha_1 = 14^0\,50'$$

$$tg\,\alpha_2 = \frac{4 - 3{,}815}{4} = 0{,}0462; \qquad \alpha_2 = 2^0\,40'$$

$$tg\,\delta = \frac{3{,}815}{4} = 0{,}954; \qquad \delta = 43^0\,40'.$$

Um die Spannungen der unteren Gurtung zu finden, bestimmt man für den Zustand der vollen Trägerbelastung die Biegungsmomente für die einzelnen Knotenpunkte (s. §. 54, Gleichung 8a):

$$M_1 = q\,a\,\nu\,\frac{n - \nu}{2} = 14 \,.\, 4\, \frac{7}{2} = 196\,\text{mt}.$$

$$M_2 = 14 \,.\, 4 \,.\, 2\, \frac{6}{2} = 336\,\text{mt}.$$

$$M_3 = 14 \,.\, 4 \,.\, 3\, \frac{5}{2} = 420\,\text{mt}.$$

$$M_4 = 14 \,.\, 4 \,.\, 4\, \frac{4}{2} = 448\,\text{mt}.$$

Hieraus findet man die Gurtungskräfte für die einzelnen Felder, wenn man immer den unteren Knotenpunkt A für die Bestimmung der Spannungen O

und den oberen Knotenpunkt B für die Spannungen U zum Mittelpunkte der Momente annimmt. Danach erhält man für $A A_1$ mit dem Momentenmittelpunkte in B_1:

$$U_1 = \frac{M_1}{h_1} = \frac{196}{2,755} = 71,15 \text{ t.}$$

Ebenso groß ist auch U_2 in $A_1 A_2$, da in A_1 die Horizontalkraft sich nicht ändern kann, insofern hier kein geneigtes Glied zur Aufnahme einer horizontalen Componente sich anschließt. Wählt man A_1 zum Momentenmittelpunkte, so folgt aus $M_1 = O_1 h_1 \cos \alpha$ die Spannung:

$$O_1 = \frac{M_1}{h_1 \cos \alpha} = \frac{196}{2,755 \,.\, \cos 34^0 35'} = \frac{196}{2,755 \,.\, 0,823} = 86,45 \text{ t.}$$

In ähnlicher Art erhält man:

$$U_3 = \frac{M_2}{h_2} = \frac{336}{3,815} = 88,07 \text{ t.}$$

$$O_2 = \frac{M_2}{h_2 \cos \alpha_1} = \frac{336}{3,815 \,.\, \cos 14^0 50'} = \frac{336}{3,815 \,.\, 0,9667} = 91,10 \text{ t.}$$

$$U_4 = \frac{M_3}{h_3} = \frac{420}{4} = 105 \text{ t.}$$

$$O_3 = \frac{M_3}{h_3 \cos \alpha_2} = \frac{420}{4 \,.\, \cos 2^0 40'} = \frac{420}{4 \,.\, 0,9989} = 105,12 \text{ t.}$$

$$O_4 = \frac{M_4}{h_4} = \frac{448}{4} = 112 \text{ t.}$$

Die größte Spannung der Strebe $A_2 B_1$ findet sich bei einer Belastung des rechten Trägerstückes bis zum Knotenpunkte A_2, für welchen Fall der Auflagerdruck in A zu

$$R_1 = 4 \frac{7}{2} + 10 \frac{1 + 2 + 3 + \cdots 6}{8} = 40,25 \text{ t.}$$

sich bestimmt. Da ferner der Abstand d_1 der Diagonale $A_2 B_1$ von dem Schnittpunkte der Gurtungen $A A_2$ und $B_1 B_2$ durch

$$d_1 = (c_1 + 2\,a) \sin \alpha = 14,4 \,.\, \sin 34^0 35' = 14,4 \,.\, 0,567 = 8,165 \text{ m}$$

bestimmt ist, so findet sich T_1 aus

$$T_1 d_1 = R_1 c_1 - p\,(c_1 + a) = 40,25 \,.\, 6,4 - 4 \,.\, 10,4 = 216,0$$

zu

$$T_1 = \frac{216}{8,165} = 26,45 \text{ t.}$$

In gleicher Weise hat man für die Belastung des rechten Trägertheils bis einschließlich A_3 den Auflagerdruck in A gleich:

$$R_2 = 4 \frac{7}{2} + 10 \frac{1 + 2 + 3 + \cdots 5}{8} = 32,75 \text{ t,}$$

und den betreffenden Hebelarm

$$d_2 = (c_2 + 3\,a) \sin \delta = (74,67 + 12) \sin 43^0 40' = 86,67 \,.\, 0,690 = 59,80 \text{ m,}$$

so daß man aus

$$T_2 d_2 = 32,75 \,.\, 74,67 - 4\,(2 \,.\, 74,67 + 3 \,.\, 4) = 1800$$

$$T_2 = \frac{1800}{59,8} = 30,1 \text{ t}$$

erhält.

Die Diagonale $A_4 B_3$ erreicht ihre größte Spannung, wenn alle Knotenpunkte rechts bis zu A_4 einschließlich belastet sind, während die Gegenstrebe $A_3 B_4$ bei einer Belastung aller Knoten von A bis A_3 am stärksten gezogen wird. Man findet diese Spannungen für dieses Feld wie bei den Parallelträgern, indem man die betreffende verticale Scheerkraft gleich der verticalen Componente der Diagonalkraft setzt. Daher findet sich für $A_4 B_3$ die Spannung T_3 aus

$$T_3 \sin 45^0 = 4 \frac{7}{2} + 10 \frac{1+2+3+4}{8} - 3 \,.\, 4 = 14{,}5\,\mathrm{t}$$

zu

$$T_3 = \frac{14{,}5}{0{,}7071} = 20{,}56\,\mathrm{t},$$

und für $A_3 B_4$ die größte Spannung T_3' aus

$$T_3' \sin 45^0 = -4 \frac{7}{2} - 10 \frac{7+6+5}{8} + 3 \,.\, 14 = 5{,}5$$

zu

$$T_3' = \frac{5{,}5}{0{,}7071} = 7{,}78\,\mathrm{t}.$$

Für den Pfosten $A_1 B_1$ ergeben sich zunächst wieder die größte und die kleinste Spannung zu resp.

$$P_{1max} = +p + k = 16\,\mathrm{t}$$

und

$$P_{1min} = +p = 4\,\mathrm{t},$$

da die in A_1 wirkende Belastung lediglich durch den Pfosten $A_1 B_1$ aufgenommen werden muß.

Für $A_2 B_2$ hat man einmal die Knotenpunkte $A_3 A_4 \ldots A_7$ und das andere Mal diejenigen A_1 und A_2 mit je k belastet zu denken, und erhält für den Durchschnitt zwischen $A A_2$ und $B_1 B_2$ im Abstande $c_1 = 6{,}4\,\mathrm{m}$ von A als Momentenmittelpunkt die Gleichungen:

$$-P_{2min}(c_1 + 2a) = \left(p\frac{7}{2} + k\frac{1+2+3+4+5}{8}\right)c_1 - p(c_1 + a + c_1 + 2a)$$
$$= 209{,}6 - 99{,}2 = 110{,}4,$$

woraus

$$P_2 = -\frac{110{,}4}{14{,}4} = -7{,}67\,\mathrm{t}$$

Druckspannung folgt, und

$$-P_{2max}(c_1 + 2a) = \left(p\frac{7}{2} + k\frac{7+6}{8}\right)c_1 - q(c_1 + a + c_1 + 2a)$$
$$= 193{,}6 - 347{,}2 = -153{,}6,$$

daher

$$P_{2max} = \frac{153{,}6}{14{,}4} = 10{,}67\,\mathrm{t}$$

Zugspannung.

Ebenso erhält man für $A_3 B_3$, wenn der Schnittpunkt von $A A_3$ und $B_2 B_3$ im Abstande $c_2 = 74{,}67$ von A als Momentenmittelpunkt und eine Belastung von $A_4, A_5 \ldots A_7$ angenommen wird:

$$-P_{3min}(c_2 + 3a) = \left(p\frac{7}{2} + k\frac{1+2+3+4}{8}\right)c_2 - p(3c_1 + a + 2a + 3a)$$
$$= 1978{,}75 - 992 = 986{,}75,$$

daher

$$P_{3min} = -\frac{986,75}{86,67} = -11,39\,\text{t}$$

Druckspannung.

Wenn andererseits die Knotenpunkte A_1, A_2 und A_3 belastet werden, so hat man zu beachten, daß der Schnitt nach ab die nunmehr mit $T_3' = 7,78$ t gezogene Diagonale $A_3 B_4$ trifft, so daß man auch deren verticale Componente $T_3' \sin 45^0 = 5,5$ t in der Gleichgewichtsgleichung zu berücksichtigen hat. Mit Rücksicht hierauf erhält man:

$$-(P_{3max} + 5,5)(c_2 + 3a) = \left(p\,\frac{7}{2} + k\,\frac{7+6+5}{8}\right)c_2 - q\,(3c_2 + 6a)$$

$$= 36,5\,.\,74,67 - 14\,.\,248 = 2725,33 - 3472 = -746,67,$$

woraus

$$P_{3max} = \frac{746,67}{86,67} - 5,5 = 3,12\,\text{t}$$

Zug folgt.

Der mittlere Pfosten $A_4 B_4$ kann nur durch Druckkräfte beansprucht werden, da die horizontale Gurtung in B_4 verticale Kräfte nicht aufnehmen kann und die in B_4 sich anschließenden beiderseits abfallenden Diagonalen nicht druckfähig sind, was in dem Falle eines in $A_4 B_4$ auftretenden Zuges der Fall sein müßte. Die größte Druckkraft findet in $A_4 B_4$ statt, wenn die Diagonale $A_3 B_4$ ihrem größten Zuge

$$T_3' = \frac{5,5}{\sin 45^0} = 7,78\,\text{t}$$

ausgesetzt ist, in welchem Falle der Pfosten mit

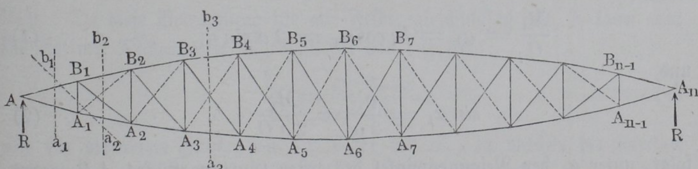
$$P_{4max} = 5,5\,\text{t}$$

auf Druck beansprucht wird.

Die ermittelten Spannungszahlen, welche für die andere Trägerhälfte der Symmetrie wegen ebenso groß ausfallen, sind in Fig. 262 eingetragen.

Pauli'sche Träger. Eine andere Trägerform ist die von v. Pauli angegebene, Fig. 263, welche u. a. bei der Mainzer Rheinbrücke zur An- §. 58.

Fig. 263.



wendung gekommen ist. Dieser Träger stimmt mit dem Fischbauchträger, Fig. 250, darin überein, daß er symmetrisch zu der Horizontalen AA_n durch die Auflager gebildet ist, folglich eine gerade neutrale Axe hat. Er unterscheidet sich aber von den Parabelträgern in der Gestalt der Gurtungen, für deren Form nämlich das Princip aufgestellt ist, daß die Spannungen