III. Einmalige Ausgaben für die Bauausführungen der Reichs-Post- und Telegraphen-Verwaltung.

Ordentlicher Etat.	Betrag für 1892/93 ℳ	Gesamtkosten. ℳ
1. Zur Herstellung eines neuen Dienstgebäudes in Köln am Rhein, 8. Rate (5. Baurate)	500 000	(2 000 000)
2. Zur Vergröfserung des Postgrundstücks und zur Herstellung eines neuen Dienstgebäudes in Frankfurt am Main, 5. Rate (3. Baurate)	861 500	(2 089 000)
3. Zur Herstellung eines neuen Dienstgebäudes in Aachen, 5. und letzte Rate (4. Baurate)	221 500	(921 500)
4. Desgl. in Duisburg, 3. und letzte Rate	100 000	(310 000)
5. Desgl. in Landsberg a. d. Warthe, 3. und letzte Rate	81 150	(229 450)
6. Desgl. in Liegnitz, 3. Rate	300 000	(741 000)
7. Zur Erwerbung eines Bauplatzes und zur Herstellung eines neuen Dienstgebäudes in Crefeld, 3. Rate (2. Baurate)	432 000	(730 740)
8. Zur Herstellung eines neuen Dienstgebäudes in Baden-Baden, 2. Rate	120 000	(256 600)
9. Desgl. in Berlin auf dem Postgrundstück Ritterstrafse 7, letzte Rate	85 200	(155 200)
10. Zur Erwerbung eines Grundstücks und zur Herstellung von Posthaltereigebäuden an der Köpenicker- und der Melchiorstrafse in Berlin, 2. Rate (1. Baurate)	409 196	(630 000)
11. Zum Um- und Erweiterungsbau auf dem Postgrundstücke in Braunschweig, 2. Rate	100 000	(246 200)
12. Zur Herstellung eines neuen Dienstgebäudes in Colmar (Elsafs), 2. Rate	100 000	(232 450)
13. Desgl. in Demmin, 2. und letzte Rate	90 000	(150 000)
14. Desgl. in Eberswalde, 2. und letzte Rate	90 000	(150 000)
15. Desgl. in Homburg v. d. H., 2. Rate	80 000	(200 000)
16. Desgl. in Itzehoe, 2. Rate	100 000	(221 000)
17. Desgl. in Königshütte (Oberschlesien), 2. und letzte Rate	93 350	(163 350)
18. Desgl. in Lüdenscheid, 2. Rate	100 000	(231 200)
19. Desgl. in Marienburg (Westpr.), 2. Rate	100 000	(221 500)
20. Desgl. in Memel, 2. Rate	95 000	(272 000)
21. Desgl. in Pasewalk, 2. und letzte Rate	72 450	(131 250)
22. Desgl. in Pyrmont, 2. und letzte Rate	50 700	(110 700)
23. Desgl. in Stade, 2. und letzte Rate	133 000	(203 000)
24. Desgl. in Weifsenburg (Elsafs), 2. und letzte Rate	88 400	(148 400)
25. Desgl. in Wittenberg (Bz. Halle), 2. Rate	90 000	(227 435)
*26. Desgl. in Altona (Elbe), 1. Rate	100 000	(683 000)
*27. Desgl. in Brandenburg a. d. Havel, 1. Rate	80 000	(251 900)
*28. Zur Herstellung eines neuen Postdienstgebäudes auf dem Personen-Betriebsbahnhofe in Köln am Rhein, 1. Rate	80 000	(495 000)
*29. Zur Herstellung eines neuen Dienstgebäudes in Cöpenick, 1. Rate	70 000	(189 500)
*30. Desgl. in Diedenhofen, 1. Rate	75 000	(138 915)
*31. Zur Erwerbung eines Bauplatzes und zur Herstellung eines neuen Dienstgebäudes in Dortmund, 1. Rate	771 499	(1 536 000)
*32. Zu einem Um- und Erweiterungsbau auf dem Postgrundstücke in Elberfeld, 1. Rate	80 000	(382 700)
*33. Zur Herstellung eines neuen Dienstgebäudes in Glauchau, 1. Rate	80 000	(260 000)
Zu übertragen	5 829 945	
Uebertrag	5 829 945	
*34. Zur Herstellung eines neuen Dienstgebäudes in Goslar, 1. Rate	70 000	(190 000)
*35. Desgl. in Halle a. d. Saale, 1. Rate	202 000	(1 359 000)
*36. Zur Erwerbung eines Bauplatzes und zur Herstellung eines neuen Dienstgebäudes in Kattowitz (Oberschl.), 1. Rate	127 000	(198 300)
*37. Desgl. in Mülhausen (Els.), 1. Rate	366 736	(582 400)
*38. Zur Herstellung eines neuen Dienstgebäudes in Northeim (Hannover), 1. Rate	63 310	(127 000)
*39. Zu einem Um- und Erweiterungsbau auf dem Postgrundstücke in Schwerin i. Mecklenburg, 1. Rate	70 000	(441 500)
*40. Zur Herstellung eines neuen Dienstgebäudes in Siegen, 1. Rate	70 000	(246 000)
*41. Zur Vergröfserung des Postgrundstücks in Thorn und zu einem Um- und Erweiterungsbau auf demselben, 1. Rate	95 000	(184 000)
Summe	6 893 991	

IV. Einmalige Ausgaben für die Bauausführungen der Verwaltung der Reichs-Eisenbahnen.

Aufserordentlicher Etat.	Betrag für 1892/93 ℳ	Gesamtkosten. ℳ
1. Zum Ausbau des zweiten Geleises auf der Theilstrecke Diedenhofen-Kedingen der Linie Diedenhofen-Teterchen, einschliefslich der Erweiterung des Bahnhofes Diedenhofen, letzte Rate	300 000	(1 710 000)
2. Zur Herstellung einer normalspurigen Eisenbahn von Saarburg nach Alberschweiler mit Abzweigung von Hessen nach Vallerysthal, letzte Rate	200 000	(2 265 000)
3. Zur Erweiterung des Bahnhofs Bensdorf, letzte Rate	52 000	(245 000)
4. Zur Herstellung einer normalspurigen Eisenbahn von Selz über Walburg nach Merzweiler, 2. Rate	1 500 000	(4 786 000)
5. Zur Herstellung einer normalspurigen Eisenbahn von Röschwoog nach Hagenau, 2. Rate	1 500 000	(3 720 000)
6. Zum Ausbau des zweiten Geleises auf der Theilstrecke Ebersweiler-Teterchen der Linie Diedenhofen-Teterchen, 2. Rate	1 000 000	(2 249 000)
7. Zur Vergröfserung d. Verwaltungsgebäudes am Bahnhofe Strafsburg, letzte Rate	230 000	(460 000)
8. Zur Erweiterung des Bahnhofes Colmar, letzte Rate	120 000	(220 000)
9. Zur Herstellung einer normalspurigen Eisenbahn von Mommenheim über Obermodern nach Saargemünd mit Abzweigung nach Saaralben, 2. Rate	6 000 000	(26 961 000)
10. Zur Weiterführung der Eisenbahn Colmar-Münster bis Metzeral, letzte Rate	576 500	(1 051 000)
11. Zur Vermehrung der Betriebsmittel	1 250 000	(3 250 000)
*12. Für die Erweiterung des Bahnhofs Diedenhofen	420 000	
*13. Zur Vermehrung der Locomotivstände auf den Bahnhöfen Strafsburg und Mülhausen, 1. Rate	200 000	(390 000)
*14. Zur Erbauung einer zweiten Eisenbahnbrücke über die Mosel bei Lougeville, 1. Rate	750 000	(1 670 000)
Summe	14 098 500	

Die Knickfestigkeit gerader Stäbe.

I.

Die übliche Theorie der Knickfestigkeit gerader Stäbe überall gleichen Querschnitts geht bekanntlich von der Differentialgleichung

$$\frac{EJ}{\varrho} = EJ\frac{d^2y}{dx^2} = -P_0 y \quad . \quad . \quad 1)$$

aus, nach deren Integration als Gleichung der elastischen Linie

$$y = \delta \cos\frac{\pi x}{l} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 2)$$

gefunden wird, wo δ = Biegungspfeil in Stabmitte (Abb. 1).

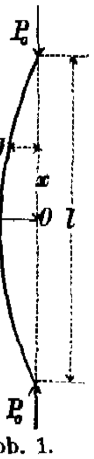

Abb. 1.

Setzt man den Werth von y und von $\frac{d^2y}{dx^2}$ in Gl. 1 ein, so erhält man

$$\frac{\pi^2 EJ}{l^2} = P_0 \text{ (Eulersche Gleichung),} \quad 3)$$

eine Beziehung, welche im Zustande des Gleichgewichts zwischen den inneren und äufseren Kräften erfüllt sein mufs. Wird $P_0 < \frac{\pi^2 EJ}{l^2}$, so vermag die äufsere Kraft nicht den Stab in der Krümmung zu erhalten; letzterer streckt sich gerade. Wird $P_0 > \frac{\pi^2 EJ}{l^2}$, so überwiegt die biegende Kraft; der Stab ist nicht imstande, derselben Widerstand zu leisten, er knickt aus. Der Werth von $P_0 \left(= \frac{\pi^2 EJ}{l^2}\right)$ ist unabhängig vom Biegungspfeil δ; es ist daher für jeden beliebigen Werth von δ theoretisch Gleichgewicht möglich. Die Gl. 3 giebt nur eine Bedingung für das Gleichgewicht, über die Spannungen im Innern des Stabes liefert sie keinen Aufschlufs. Letztere werden durch die Gröfse des Biegungspfeils δ bedingt. Da nun δ für $P_0 = \frac{\pi^2 EJ}{l^2}$ beliebig grofs sein kann, so ist dies auch mit den Spannungen der Fall. Die dem Stabe zuzumuthende Druckkraft darf daher die Knickkraft P_0 nicht erreichen. Selbstverständlich mufs die Druckkraft auch kleiner als $F.K$ sein, wo F = Querschnitt, K = Druckfestigkeit.

Gleichung 3 kann man auch in folgender Form schreiben:

$$k_0 = \frac{P_0}{F} = \frac{\pi^2 EJ}{l^2 F} = \frac{\pi^2 E i^2}{l^2} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}, \quad . \quad . \quad 4)$$

wo k_0 = Knickfestigkeit, $i = \sqrt{J:F}$ = Trägheitsradius, $\lambda = l:i$ = Längenverhältnifs.

Der Gl. 3 liegen folgende Voraussetzungen bezw. Vernachlässigungen zu grunde:

1) Die Längenänderung der Stabachse infolge der Druckspannungen wurde vernachlässigt.

2) Der Krümmungsradius wurde annähernd $\varrho = 1 : \frac{d^2y}{dx^2}$ statt $\varrho = \left[1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}} : \frac{d^2y}{dx^2}$ gesetzt.

3) Das Elasticitätsgesetz $\sigma = E\varepsilon$ wurde durchgehends als gültig angenommen.

4) Es wurde bei Bestimmung der elastischen Linie nur der Einflufs der Biegungsmomente, nicht aber auch der Einflufs der Schubkräfte berücksichtigt.

Die beiden ersten Punkte sind praktisch ohne Bedeutung. Eine genauere Untersuchung (Grashof, Die Festigkeitslehre 1866 S. 112) liefert das theoretisch interessante Ergebnifs, dafs die Knickkraft P_0 keineswegs unabhängig vom Biegungspfeil δ ist, sondern mit δ etwas, allerdings nur sehr unbedeutend, zunimmt. Grashof giebt als zweiten Annäherungswerth

$$P_0 = \frac{\pi^2 EJ}{l^2}\left(1 + \frac{\pi^2 \delta}{\gamma l^2}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 5)$$

Für $\delta = 0$ stimmt dieser Werth mit dem Eulerschen Werthe (Gl. 3) überein.

Mit Bezug auf Punkt 3 kann die Eulersche Gleichung selbstverständlich nur soweit Geltung beanspruchen, als die Spannungen unterhalb der Elasticitätsgrenze bleiben, somit nur dann, wenn die Knickspannung k_0 kleiner als der Grenzwerth g sich ergiebt. Für $k_0 > g$ liefern die Gl. 3 und 4 zu günstige Ergebnisse, da nach Ueberschreitung der Elasticitätsgrenze die Formänderungen und somit auch die Biegungsmomente stärker ausfallen, als bei Aufstellung der Gl. 1 vorausgesetzt wurde. Man kann diesem Umstande dadurch Rechnung tragen, dafs man an Stelle des Elasticitätsmoduls E die Gröfse T (siehe Zeitschr. des Arch.- und Ing.-Vereins in Hannover 1889 Heft 4) in Gl. 1 einführt, wodurch Gl. 3 und 4 übergehen in

$$P_0 = \frac{\pi^2 TJ}{l^2} \text{ und } k_0 = \frac{\pi^2 T}{\lambda^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 6)$$

Zur Definition der Gröfse T sei in Abb. 2 die Arbeitslinie des Stabmaterials mit den Dehnungen ε als Abscissen und den zugehörigen Spannungen σ als Ordinaten aufgetragen. Zieht man in einem beliebigen Punkte M der Arbeitslinie eine Tangente MN, welche den Winkel φ mit der Wagerechten bildet, so ist $T = \operatorname{tg}\varphi$. So lange M innerhalb Elasticitätsgrenze liegt, also für $\sigma < g$, ist T constant gleich dem Elasticitätsmodul E; für gröfsere σ nimmt der Werth von T ab. Bei gegebener Arbeitslinie ist es nun leicht, für bestimmte Längen λ den Werth der Knickfestigkeit k_0 mit Hülfe der Gl. 6 zu bestimmen, wie dies in der oben angeführten Quelle näher dargelegt ist.

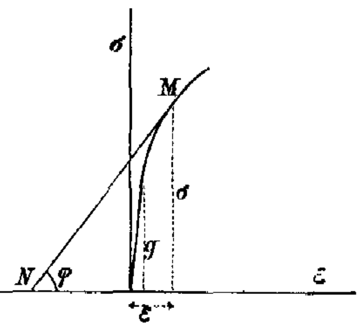

Abb. 2.

Insbesondere für Eisen läfst sich die Beziehung zwischen k_0 und λ (Festigkeitslinie) in folgender Weise (Abb. 3) darstellen. Von $k_0 = 0$ bis $k_0 = g$ gilt die Eulersche Gleichung $k_0 = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}$; der zu $k_0 = g$ gehörige Werth von λ ist $\lambda_2 = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{g}}$. Daran schliefsen sich zwei Gerade, GQ und QC. Bezeichnet man die Abscisse von deren Schnittpunkt Q mit λ_1, so ist

von 0 bis λ_1, k_0 constant $= q$ = Spannung an der Quetschgrenze (Streckgrenze),

von λ_1 bis λ_2, $k_0 = g + \frac{q-g}{\lambda_2 - \lambda_1}(\lambda_2 - \lambda)$.

Für Schweifseisen kann man setzen

$\lambda_1 = 65$, $E = 2\,000\,000$, $q = 2350$ kg/qcm, $g = 1500$ kg/qcm,

$$\lambda_2 = \sqrt{\frac{\pi^2 . 2\,000\,000}{1500}} = 115.$$

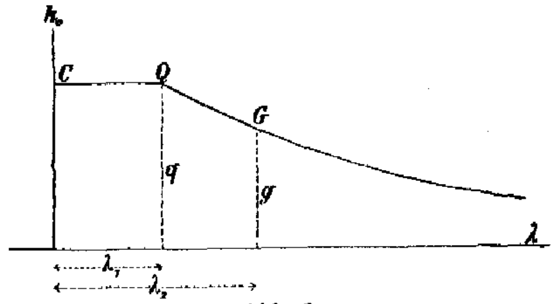

Abb. 3.

Die Gleichung der Festigkeitslinie lautet sodann

$$\left.\begin{array}{ll} \text{von } 0 \text{ bis } 65, & k_0 = 2350 \text{ kg} \\ \text{von } 65 \text{ bis } 115, & k_0 = 3455 - 17\,\lambda \\ \text{von } 115 \text{ bis } \infty, & k_0 = \frac{20\,000\,000}{\lambda^2} \end{array}\right\} \quad . \quad . \quad 7)$$

Für Flufseisen ist entsprechend

$\lambda_1 = 64$, $E = 2\,150\,000$, $q = 2650$, $g = 2200$, $\lambda_2 = 94$

$$\left.\begin{array}{ll} \text{von } 0 \text{ bis } 64, & k_0 = 2650 \text{ kg} \\ \text{von } 64 \text{ bis } 94, & k_0 = 3610 - 15\,\lambda \\ \text{von } 94 \text{ bis } \infty, & k_0 = \frac{21\,500\,000}{\lambda^2} \end{array}\right\} \quad . \quad . \quad . \quad 8)$$

II.

Der unter Nr. 4 genannte Einflufs der Schubkräfte auf die elastische Linie und somit auch auf die Knickfestigkeit ist nur selten und höchstens bei solchen Querschnittsformen von Bedeutung, welche in der Schwerpunktsachse die kleinsten Breiten aufweisen (Querschnitte mit Mittelrippe, z. B. I-Querschnitte).

Die Ordinate y der elastischen Linie kann gesetzt werden $y = y' + y''$, wo y' den Einflufs der Momente, y'' den der Schubkräfte darstellt. Alle drei Linien y y' und y'' sind Cosinuslinien und zwar mit proportionalen Ordinaten, sodafs man setzen darf $y' = \alpha y$ und $y'' = (1-\alpha)\,y$.

Aus der Gleichung $EJ\frac{d^2y'}{dx^2} = EJ\alpha\,\frac{d^2y}{dx^2} = -Py$ folgt ähnlich wie früher $P = \frac{\alpha EJ\pi^2}{l^2}$.

Zur Bestimmung des Einflusses der Querkräfte Q dient die Gleichung

$$\frac{dy''}{dx} = \gamma = \zeta\,\frac{Q}{FG},$$

wo γ = specifische Verschiebung zweier um die Einheit entfernten Querschnitte infolge von Q,

G = Schub-Elasticitätsmodul, F = Querschnittsgröfse,

ζ = einem Beiwerth, welcher ausdrückt, um wie viel die wirkliche Schiebung γ infolge der ungleichmäfsigen Vertheilung der Schubspannungen τ gröfser ist, als wenn sich die Schubspannungen gleichmäfsig über den Querschnitt vertheilten.

Mit Hülfe des Satzes von der Arbeit erhält man

$$\zeta = \frac{F}{Q^2}\int \tau^2 . dF.$$

Für rechteckige Querschnitte wird $\zeta = \frac{6}{5}$, für kreisförmige $\zeta = \frac{10}{9}$.

Durch Integration obiger Differentialgleichung ergiebt sich, da

$$Q = \frac{dM}{dx} = \frac{dPy}{dx},\ y'' = \frac{Py\zeta}{FG} \text{ od. } (1-\alpha)y = \frac{Py\zeta}{FG},\ 1-\alpha = \frac{P\zeta}{FG}.$$

Nach Elimination der Gröfse α aus den Gleichungen

$$P = \frac{\alpha EJ\pi^2}{l^2} \text{ und } 1-\alpha = \frac{P\zeta}{FG}$$

erhält man

$$P = \frac{\pi^2 EJ}{l^2}\,\frac{1}{1 + \frac{\pi^2 EJ\zeta}{l^2 GF}} = \frac{\pi^2 EJ}{l^2}\,\frac{1}{1 + \frac{25\,J\zeta}{l^2 F}}$$

für $G = 0{,}4\,E$ und $\pi^2 = 10$. . . . . 9)

Der Bruch $\frac{1}{1+\frac{25\,J\zeta}{l^2F}}$ stellt den Werth von α dar.

Für I-förmige Querschnitte kann man genau genug setzen $\gamma = \frac{Q}{fG}$, wo f = Stegquerschnitt = Trägerhöhe t mal Stegdicke β $= t\,.\,\beta$, sodafs man hierfür erhält

$$P = \frac{\pi^2 EJ}{l^2}\,\frac{1}{1+\frac{25\,J}{l^2 f}},\quad \alpha = \frac{1}{1+\frac{25\,J}{l^2 f}} \qquad 10)$$

Bezeichnet man die Knickkraft, welche bei Vernachlässigung der Schubkräfte sich ergiebt, wie früher mit $P_0\left(=\frac{\pi^2 EJ}{l^2}\right)$, so kann man Gl. 9 und 10 auch schreiben

$$P = P_0\,.\,\alpha = P_0\,\frac{1}{1+\frac{P_0\,\zeta}{GF}} \text{ bezw. } P = P_0\,\frac{1}{1+\frac{P_0}{Gf}} \qquad 11)$$

Die Knickfestigkeit k, welche der Knickkraft P entspricht, ist

$$k = \frac{P}{F} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}\,.\,\alpha = k_0\,.\,\alpha = k_0\,\frac{1}{1+\frac{k_0\,\zeta}{G}} \text{ bezw. } k = k_0\,\frac{1}{1+\frac{k_0 F}{Gf}} \qquad 12)$$

Für den Fall, dafs k_0 die Elasticitätsgrenze überschreitet, ist auch hier E durch T zu ersetzen; es kommt dies darauf hinaus, dafs man in Gl. 11 und 12 die den Gl. 7 und 8 entsprechenden Werthe von k_0 einführt. Für G dürfte der alte Werth $G = 0{,}4\,E$ beizubehalten sein, da vermuthlich eine Ueberschreitung der Elasticitätsgrenze durch Druckspannungen parallel der Achse nicht gleichzeitig auch eine Aenderung des Schub-Elasticitätsmoduls für Schubkräfte senkrecht zur Achse zur Folge hat. Versuche in dieser Richtung sind nicht bekannt geworden.

Aus Gl. 12 geht hervor, dafs der Einflufs der Schubkräfte mit wachsendem k_0, d. h. mit abnehmender specifischer Länge λ, zunimmt. Beispielsweise sei für einen schweifseisernen Blechträger $F:f = 10$, $k_0 = 2350$. Trotz dieser ungünstigen Annahme wird α nicht kleiner als 0,97; die Vernachlässigung der Schubkräfte bei Ermittlung der Knickfestigkeit erscheint daher für die Anwendung vollkommen zulässig.

III.

Das im vorigen Abschnitt bei Vollträgern angewandte Verfahren kann mit entsprechenden Aenderungen auch bei Fachwerkträgern zur Bestimmung der Knickkraft P benutzt werden.

Nehmen wir zunächst an, die Stäbe seien in den Knotenpunkten gelenkartig mit einander verbunden, so ergiebt sich bezüglich der Formänderung durch die Momente $P = \frac{\alpha EJ\pi^2}{l^2} = \frac{\alpha EF_1 h^2\pi^2}{2\,l^2}$, wo F_1 = Querschnitt von 1 Ständer, h = Entfernung der Ständerachsen (Abb. 4).

Bezüglich der Formänderung durch die Querkräfte kann man setzen $\frac{dy''}{dx} = \frac{Q}{Ef}\,\frac{d^3}{h^2c}$, woraus, da $y'' = (1-\alpha)\,y$ und $Q = \frac{d}{dx}(P\,y)$, folgt $1-\alpha = \frac{Pd^3}{Efh^2c}$. c bedeutet hierin die Projection der Strebenlänge d auf die Ständerrichtung, f den Strebenquerschnitt.

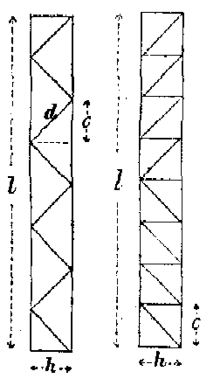

Abb. 4. Abb. 5.

Durch Elimination von α erhält man $P = \frac{\pi^2 EF_1 h^2}{2\,l^2}\,\frac{1}{1+\frac{\pi^2 F_1 d^3}{2\,l^2 fc}}$,

oder $$P = P_0\,\frac{1}{1+\frac{P_0 d^3}{Efh^2c}} = P_0\,\frac{1}{1+\frac{k_0\,2\,F_1 d^3}{Efh^2c}} \quad .\ .\ 13)$$

$$k = k_0\,\frac{1}{1+\frac{k_0\,2\,F_1 d^3}{Efh^2c}} \quad .\ .\ .\ .\ .\ .\ .\ .\ .\ .\ 14)$$

Ueberschreitet k die Elasticitätsgrenze, so sind in Gl. 13 und 14 die durch Gl. 7 und 8 gegebenen Werthe von k_0 einzusetzen.

Ist das Strebenwerk nach Abb. 5 angeordnet, so ist in Gl. 13 und 14 statt $\frac{d^3}{f}$ der Werth $\frac{d^3}{f}+\frac{h^3}{f_1}$ einzuführen, wo f_1 = Querschnitt der Verticalen.

Wenn die Ständer an den Knotenpunkten voll durchgehen, so erhöht sich die Knickkraft noch um den Betrag der Knickfestigkeit der beiden Ständer $= \frac{2\,EJ_1\pi^2}{l^2}$ bezw. $= \frac{2\,TJ_1\pi^2}{l^2} = 2\,p_0$.

Es bezeichnet hier J_1 das Trägheitsmoment eines Ständers, p_0 die zugehörige Knickkraft. Man hat dann insgesamt

$$P = P_0\,\frac{1}{1+\frac{k_0\,2\,F_1 d^3}{Efh^2c}} + 2\,p_0 \quad .\ .\ .\ .\ 15)$$

Beispielsweise für $k_0 = 2350$, $F_1 = 15\,f$, $h = c$ (Abb. 5), $E = 2\,000\,000$; man erhält $P = P_0\,.\,0{,}88$. Der Einflufs der Querkräfte *auf die Knickfestigkeit ist also auch bei Fachwerkträgern* i. a. ohne grofse praktische Bedeutung. Selbstverständlich müssen die Querschnitte der Ständer ein derartiges Trägheitsmoment besitzen, dafs die Druckkraft $\frac{P}{2}$ sicher auf Knotenpunktentfernung übertragen werden kann. Desgleichen müssen auch die Streben steif genug angeordnet sein, um die von ihnen aufzunehmenden Druckkräfte ohne auszuknicken übertragen zu können. Diese Druckkräfte sind bei kleinen Ausbiegungen δ klein; sie nehmen proportional δ zu. Es ist daher der Fall denkbar, dafs ein Fachwerkträger bei geringer Steifigkeit der Druckstreben kleinen Ausbiegungen δ gegenüber ausreichend sicher ist und in die ursprüngliche gerade Gestalt zurückschnellt, dafs er jedoch nach Ueberschreitung einer gewissen Gröfse der Ausbiegung in sich zusammenbricht, weil einzelne Druckstreben für sich ausknicken.

Das Mafs der für die Druckstreben erforderlichen Steifigkeit wird sich in den Fällen der Anwendung meist leicht abschätzen lassen. Rein rechnerisch kann man zu einem zutreffenden Ergebnifs gelangen, wenn man von dem Gesichtspunkt ausgeht, dafs die Streben mindestens so lange knicksicher sein müssen, als die Ständer noch widerstandsfähig gegen Druck und Biegung sind. Ist die Ausbiegung in dem Augenblick, wo die Festigkeit der Ständer ($= k$) erreicht wird, $= \delta$, so mufs sein $k = \frac{P}{2\,F_1}+\frac{P\delta}{F_1 h}$, woraus für δ der Werth $\delta = \left(\frac{kF_1}{P}-\frac{1}{2}\right)h$ erhalten wird. Nun ist

$$Q = \frac{dM}{dx} = \frac{Pdy}{dx} = -\frac{\pi}{l}\sin\frac{\pi x}{l}\cdot\left(kF_1-\frac{P}{2}\right)h.$$

Der gröfste Werth von Q ergiebt sich für

$$x = \frac{l}{2} \text{ zu } Q = \frac{\pi h}{l}\left(kF_1-\frac{P}{2}\right);$$

die entsprechende Strebenkraft ist $D = \frac{Qd}{h}$, für welche der Strebenquerschnitt ausreichend sicher anzuordnen ist.

(Anmerkung. In ähnlicher Weise kann auch für Blechträger die erforderliche Entfernung der Halsniete ($= \vartheta$) berechnet werden. Aus

$$k = \frac{P}{F}+\frac{P\delta}{W} = \frac{P}{F}+\frac{P\delta}{Fw} = \frac{P}{F}\left(1+\frac{\delta}{w}\right) \text{ folgt}$$

$$\delta = \left(\frac{kF}{P}-1\right)w.$$

Ferner ist der Werth von

$$Q = \frac{\pi}{l}\sin\frac{\pi x}{l}P\delta = \frac{\pi}{l}\sin\frac{\pi x}{l}(kF-P)\,w,$$

die Schubkraft auf die Längeneinheit ist annähernd $= \frac{Q}{h}$; auf 1 Niet entfällt daher die Kraft $\frac{Q\vartheta}{h}$, und wenn man mit S_1 die Widerstandsfähigkeit eines Niets bezeichnet, so mufs sein $\frac{Q\vartheta}{h} = S_1$ und Niettheilung $\vartheta = \frac{S_1 h}{Q}$. Der kleinste Werth von ϑ wird für $x = \frac{l}{2}$ erhalten zu $\vartheta = \frac{S_1 h\,l}{\pi(kF-P)\,w}$. In vorstehendem bedeutet W das Widerstandsmoment des Querschnitts F, und $w = W:F$ den Widerstandshalbmesser (Kernhalbmesser).

Eine weitere Bedingung für die Niettheilung ϑ folgt aus der

Forderung, dafs die Gurtungen für sich allein zwischen je zwei Nieten knicksicher sein müssen. Schliefslich dürfen die Niete nicht weiter gesetzt werden, als einem dichten Fugenschlufs entspricht.)

IV.

Bisweilen werden die Ständer statt durch einen fortlaufenden Strebenzug (Abb. 4 und 5) nur durch eine Reihe von Querstäben (Abb. 6) mit einander verbunden, wobei dann selbstverständlich die Knotenverbindungen vollständig steif, zur Uebertragung von Biegungsmomenten geeignet hergestellt werden müssen. Auch für diesen Fall (Rahmenwerk) kann das bisherige Verfahren Anwendung finden. Sehen wir vorerst von der eigenen Knickfestigkeit der Ständer ab, so ist wie früher $P = \frac{\alpha E J \pi^2}{l^2} = \frac{\alpha E F_1 h^2 \pi^2}{2\, l^2}$.

Zur Bestimmung der den Querstäben entsprechenden Formänderung sei Y das Trägheitsmoment eines Querstabs, c die Entfernung der Querstäbe, $\frac{Y}{c}$ das Trägheitsmoment der Querstäbe auf die Längeneinheit. Infolge der auf einen Querstab wirkenden Kräfte wird derselbe verbogen (Abb. 7), wodurch die elastische Linie eine gewisse Winkeländerung ($= \psi$ für die Längeneinheit) erleidet. Die entsprechende Ordinate eines Punktes x ist $y'' = \int_0^x d\psi\,(x - \xi) = \int_0^x \psi\, d x$, wo ξ die von 0 bis x laufende Abscisse bezeichnet.

Abb. 6.

Nun ist (Abb. 7 und 8)

$$\psi = \varDelta : \frac{h}{2};\ \varDelta = \frac{S h^3 c}{24\, E Y} + \frac{S h \,.\, \zeta c}{2\, G f} = \frac{S}{E}\left(\frac{h^3 c}{24\, Y} + \frac{h \zeta c}{0{,}8 f}\right)$$

für $G = 0{,}4\, E$.

In vorstehendem Ausdruck giebt das erste Glied den Einflufs der

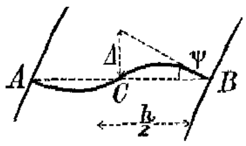

Abb. 7.

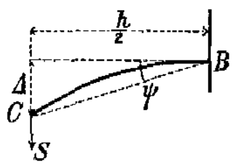

Abb. 8.

Momente, das zweite den der Querkräfte auf $\varDelta$. f bezeichnet den Querschnitt eines Querstabs, ζ den im Abschnitt II erwähnten Beiwerth, welcher für rechteckige Querschnitte den Werth $\frac{6}{5}$ hat.

S ist die von den Querstäben auf die Längeneinheit übertragene Kraft,

$$S = \frac{dN}{dx},\ \text{wo } N = \text{Gurtungskraft, somit } S = \frac{1}{h}\,\frac{dM}{dx},$$

$$\psi = \frac{dM}{dx} \cdot \frac{1}{Eh}\left(\frac{h^2 c}{12\, Y} + \frac{\zeta c}{0{,}4 f}\right) = \frac{dM}{dx} \cdot C.$$

$$y'' = \int \psi\, dx = \int dM \,.\, C = MC = Py \,.\, C \text{ oder}$$

$$(1 - \alpha)\, y = P C y,\ \ 1 - \alpha = PC.$$

Nach Elimination von α erhält man

$$P = \frac{\pi^2 E J}{l^2}\,\frac{1}{1 + \frac{\pi^2 E J}{l^2} \cdot C} = \frac{\pi^2 E F_1 h^2}{2\, l^2}\,\frac{1}{1 + \frac{\pi^2 E F_1 h^2}{2\, l^2}\, C}.$$

Setzt man P_0 statt $\frac{\pi^2 E J}{l^2}$ und führt für C seinen Werth ein, so ergiebt sich

$$P = P_0\,\frac{1}{1 + P_0 C} = P_0\,\frac{1}{1 + \frac{P_0}{Eh}\left(\frac{h^2 c}{12\, Y} + \frac{\zeta c}{0{,}4 f}\right)} \qquad 16)$$

$$k = \frac{P}{2\, F_1} = k_0\,\frac{1}{1 + \frac{2\, F_1 k_0}{Eh}\left(\frac{h^2 c}{12\, Y} + \frac{\zeta c}{0{,}4 f}\right)} \quad . \ . \quad 17)$$

Ueberschreitet k die Elasticitätsgrenze, so sind in Gl. 16 und 17 näherungsweise die durch Gl. 7 und 8 gegebenen Werthe von k_0 einzuführen.

Berücksichtigt man die eigene Knickfestigkeit der Ständer

$$= \frac{2\, E J_1 \pi^2}{l^2} \text{ bezw. } = \frac{2\, T J_1 \pi^2}{l^2} = p_0,$$

so erhält man als Gesamt-Knickkraft

$$P = P_0\,\frac{1}{1 + \frac{P_0}{Eh}\left(\frac{h^2 c}{12\, Y} + \frac{\zeta c}{0{,}4 f}\right)} + 2\, p_0 \qquad 18)$$

Wenn man den Einflufs der Schubkräfte auf die Querstäbe vernachlässigt, d. h. $f = \infty$ setzt, so geht Gl. 18 über in

$$P = P_0\,\frac{1}{1 + \frac{P_0 h c}{E\, 12\, Y}} + 2\, p_0 \quad . \ . \ . \ . \quad 19)$$

Innerhalb Elasticitätsgrenze ist $P_0 = \frac{\pi^2 E J}{l^2} = \frac{\pi^2 E F_1 h^2}{2\, l^2}$; Gl. 19 nimmt dann folgende Gestalt an

$$P = \frac{E}{\frac{2\, l^2}{\pi^2 F_1 h^2} + \frac{h c}{12\, Y}} + \frac{2\, E J_1 \pi^2}{l^2} \quad . \ . \ . \quad 20)$$

ein Ausdruck, welcher schon früher durch W. Ritter auf anderem Wege (Schweizer. Bauzeitung 1889 I) entwickelt wurde.

Für $F_1 = 5\, f,\ E = 1300\, k_0,\ h = c,\ \zeta = 1{,}2,\ Y = \frac{f t^2}{12}$ (Rechteck $= \beta \,.\, t$), $p_0 = 0$ erhält man

wenn $\frac{h}{t} = 2$, nach Gl. 20 $P = 0{,}97\, P_0$, nach Gl. 18 $P = 0{,}95\, P_0$,

wenn $\frac{h}{t} = 4$, „ „ „ $P = 0{,}89\, P_0$, „ „ „ $P = 0{,}87\, P_0$.

Die Verbindung der Querstäbe mit den Ständern mufs jedenfalls mit mehr als je einem Niet hergestellt werden, damit sie imstande ist, Kraftmomente zu übertragen. Die Nietreibung für sich allein würde nur bei sehr kleinen Ausbiegungen, wo die Kraftmomente sehr gering sind, zur Uebertragung ausreichen. Sobald infolge von Stofswirkungen, einseitiger Kraftwirkung, ungleicher Erwärmung usw. die Ausbiegung δ ein gewisses Mafs überschreitet, versagt die Verbindung; die Ständer können sich nicht mehr gegenseitig unterstützen, die Widerstandsfähigkeit der Gesamtconstruction vermindert sich auf die Summe der Einzelwiderstände der Ständer ($= 2\, p_0$).

Eine derartige mangelhafte Anordnung kann unter günstigen Verhältnissen längere Zeit den äufseren Kräften Widerstand leisten, bis sie eines Tags beim Zusammentreffen verschiedener widriger Nebenumstände plötzlich zusammenbricht.

Karlsruhe, im August 1891. Fr. Engesser.

Vermischtes.

Von den neu angestellten Baubeamten Preufsens wird häufig an das königl. technische Oberprüfungsamt in Berlin das Ersuchen gerichtet, ihnen Abschriften von Zeugnissen zu übersenden, deren sie für die Darstellung ihrer bisherigen dienstlichen Laufbahn (zur Feststellung ihrer Dienstzeit, vergl. den Erlafs vom 26. September 1882, Seite 377 des Jahrgangs 1882 d. Bl.) bedürfen. Dem gegenüber ist zu bemerken, dafs die von den Baubeamten behufs Zulassung zu den Staatsprüfungen seinerzeit eingereichten Zeugnisse nach abgelegter Baumeisterprüfung von dem Königl. Oberprüfungsamt an das Ministerium der öffentlichen Arbeiten abgegeben werden, wohin auch mit dem Zeitpunkt der ersten festen Anstellung der betreffenden Beamten die Prüfungsacten selbst gelangen. Die Gesuche um Uebersendung von Zeugnissen sind daher nicht an das Königl. Oberprüfungsamt, sondern auf dem vorgeschriebenen Dienstwege an den Minister der öffentlichen Arbeiten zu richten.

Zur Erlangung von Entwürfen für die künstlerische Ausschmückung der grofsen Halle im neuen Landesgewerbemuseum in Stuttgart (vgl. Jahrg. 1888 S. 260 ff.) wird durch die württembergische Landesvertretung ein Preisausschreiben an die Künstler des Deutschen Reiches erlassen. Die Ausstattung der Halle soll zur Erinnerung an die Feier der fünfundzwanzigjährigen Regierung Seiner Majestät des Hochseligen Königs Karl von Württemberg erfolgen und in der Ausführung eines Frescobildercyklus sowie von Bronce-Figurengruppen auf den Absätzen der Hallentreppen bestehen, welche auf die württembergische Geschichte und die genannte Feier Bezug haben. Die Preise betragen für den Bildercyklus 3000, 1500 und 500 Mark, für die Figurengruppen auf den mittleren Treppenabsätzen 2000, 1000 und 500 Mark und für die oberen Figurengruppen 1000 und 500 Mark. Zum Preisgericht gehören, aufser drei ständischen Vertretern und zwei Vertretern der Staatsregierung, von Männern der