

dreieckige Erhöhungen und Vertiefungen erfordert. Wo Balkenlagen in drei über einander befindlichen Ebenen vorkommen, wie dies bei den Balkenlagen von Holz- und Fachwerkbauten vorkommt, wiederholen sich die zuvor genannten Verbindungen, wobei an den Ecken vorzugsweise der weifschwanzförmige, zwischen denselben der schwalbenschwanzförmige Kamm Anwendung findet. Da verkämmte Verbandstücke in der Regel durch Belaftung genügend auf einander gepreßt werden, so ist eine weitere Befestigung derselben durch Dollen wenig im Gebrauch.

β) Das Nuthen auf den Grat (XVIIIa) dient zur Verbindung meist rechtwinkelig sich kreuzender Bretter, wobei gewöhnlich eine Bretterlage durch einzelne stärkere Bretter (Leisten) zu einer Tafel vereinigt wird. Damit ein Abheben der Bretterlage nicht stattfinden kann, erhalten dieselben eine schwalbenschwanzförmig erweiterte Nuth, in welche eine entsprechend geformte Feder oder Leiste eingreift, die rechtwinkelig zu den Langseiten der Bretter eingeschoben wird.

146.
Nuthen
auf den
Grat.

2. Kapitel.

Freistützen und Pfähle.

Die im Hochbauwesen erforderlichen Freistützen kommen meist im beschlagenen Zustande, als Pfoften, zur Verwendung und haben hauptsächlich ruhende Lasten zu tragen, während die zum Grundbau dienenden durchgehenden oder zusammengesetzten Pfähle meist unbeschlagen bleiben, zwar in gleicher Weise belastet werden, aber außerdem den Stößen beim Einrammen zu widerstehen haben. Während die Pfoften meist ganz frei stehen und je nach dem Verhältniß ihrer kleinsten Querschnittsdimension zu ihrer Länge $\frac{h}{l}$ einem Druck oder einer seitlichen Ausbiegung ausgesetzt sind, stecken die Rostpfähle theilweise und die Grundpfähle ganz im Baugrund.

a) Freistützen.

Bezeichnet man mit E den Elasticitäts-Modul, mit K die zulässige Beanspruchung auf einfachen Druck, mit C einen von der Endbefestigung der Stütze abhängigen Coefficienten, so ist, wenn c einen von der Querschnittsform abhängigen Zahlen-Coefficienten und $\frac{1}{s}$ den Sicherheits-Coefficienten bezeichnet, welcher durchschnittlich zu $\frac{1}{10}$ angenommen werden kann, die Freistütze auf Druck oder seitliche Ausbiegung zu berechnen, je nachdem ⁶⁹⁾

$$\frac{h}{l} \geq \sqrt{\frac{K}{E}} \sqrt{\frac{s}{Cc}} \dots \dots \dots 16.$$

Bezeichnet P die Belaftung der Stütze, so erhält man im ersteren Falle den Querschnitt dieser Stütze ⁷⁰⁾

$$F = \frac{P}{K}, \dots \dots \dots 17.$$

im letzteren Falle das Trägheitsmoment ihres Querschnittes ⁷¹⁾

$$\mathcal{J} = \frac{s P^2}{C E} P \dots \dots \dots 18.$$

147.
Form und
Stärke.

⁶⁹⁾ Nach Gleichung 131. (S. 303) ebendaf.
⁷⁰⁾ Nach Gleichung 2. (S. 246), bezw. 135 (S. 305) ebendaf.
⁷¹⁾ Nach Gleichung 133. u. 134. (S. 304) ebendaf.

Da die Querschnitte beschlagener Stützen Rechtecke sind, deren größte Seite mit b und deren kleinste Seite mit h bezeichnet werden mag, so läßt sich im ersteren Falle aus der Relation

$$b h = \frac{P}{K}, \dots \dots \dots 19.$$

im letzteren Falle, worin $c = \frac{1}{12}$ beträgt, aus

$$b h^3 = 12 \frac{s l^2}{C E} P \dots \dots \dots 20.$$

eine dieser Dimensionen ermitteln, wenn die andere angenommen ist. Da $h < b$ ist, also höchstens $h = b$ werden kann, so zeigt die letzte Gleichung, daß P seinen relativ größten Werth erreicht, wenn die Stütze einen quadratischen, d. h. einen Querschnitt erhält, für welchen die Gefahr einer seitlichen Ausbiegung nach zwei zu einander normalen Richtungen gleich gering ist und dessen Seite

$$b = \sqrt[4]{\frac{12 s l^2}{C E} P} \dots \dots \dots 20a.$$

beträgt.

Der zulässige Druck auf die Flächeneinheit des Querschnittes einer auf seitliche Ausbiegung beanspruchten, rechteckig beschlagenen Stütze ist ⁷¹⁾

$$k = \frac{1}{12} \cdot \frac{C E}{s} \left(\frac{h}{l}\right)^2 \dots \dots \dots 21.$$

und nimmt, wenn aus Gleichung 16. der Grenzwert

$$l = h \sqrt{\frac{E}{K}} \sqrt{\frac{C}{12 s}} \dots \dots \dots 22.$$

eingeführt wird, seinen größten Werth

$$k = K, \dots \dots \dots 23.$$

ferner für alle unter übrigens gleichen Umständen zunehmenden Längen der Stützen abnehmende Werthe an, welche (für Kilogramm und Quadr.-Centimeter) aus der Gleichung

$$K = 1000 C \left(\frac{h}{l}\right)^2 \dots \dots \dots 24.$$

berechnet werden können. Hieraus ergeben sich für folgende vier Befestigungsarten der Stütze die nachstehenden zulässigen Werthe von k ⁷²⁾:

	Fall 1: Ein Ende eingespannt, das andere frei drehbar	Fall 2: Beide Enden frei drehbar	Fall 3: Beide Enden ein- gespannt	Fall 4: Ein Ende eingespannt, das andere drehbar, aber vertical geführt
$C =$	$\frac{\pi^2}{4}$	π^2	$4 \pi^2$	$2 \pi^2$
$k =$	$2467 \left(\frac{h}{l}\right)^2$	$9868 \left(\frac{h}{l}\right)^2$	$39472 \left(\frac{h}{l}\right)^2$	$19736 \left(\frac{h}{l}\right)^2$

Dies liefert für vorstehende vier Fälle und folgende Werthe von $\frac{h}{l}$ beschlagener Stützen die nachstehenden Werthe von k :

⁷²⁾ Siehe auch die Tabelle in Art. 341 (S. 305) ebendaf.

$\frac{h}{l}$	0,117	0,110	0,101	0,090	0,080	0,070	0,060	0,050	0,040	0,030	0,020	0,010
k_1	75	55	38	25	20	16	12	9	6	4	2	1
k_2	300	220	152	100	80	64	48	36	24	16	8	4
k_3	1200	880	608	400	320	256	192	144	96	64	32	16
k_4	600	440	304	200	160	128	96	72	48	32	16	8

Kilogramm pro 1 qcm.

Beispiel. Hat ein Ständer von 4 m Höhe mit quadratischem Querschnitt, dessen unteres Ende fest eingespannt, dessen oberes Ende drehbar ist, eine Last von 1000 kg zu tragen, so läßt sich dessen Stärke, welche Sicherheit gegen seitliche Ausbiegung gewährt, auf folgende Art berechnen. Wird der Elasticitäts-Modul des Holzes $E = 120\,000$ kg, der Sicherheits-Coefficient für Holz $s = \frac{1}{10}$ angenommen, so wird nach Gleichung 20 a. die Seite des quadratischen Querschnittes

$$b = \sqrt[4]{\frac{12 \cdot 4 \cdot 400^2 \cdot 10}{3,14 \cdot 120\,000}} 1000 = 21,24 \text{ cm.}$$

Frei stehende, schwer beladene Freistützen von mäfsiger Höhe werden aus einem einzigen Stamme hergestellt. Wo bei bedeutenden Ständerhöhen eine Zusammenfassung ihrer Theile stattfinden mufs, wendet man den Nuthzapfen (siehe Art. 129, S. 98) an, welchen man durch je zwei Holznägel, besser Schraubenbolzen oder, je nach der Stärke des Ständers, durch zwei oder vier Schienen in Verbindung mit Bolzen (siehe Fig. 277, S. 98) verstärkt.

148.
Anwendung.

b) Pfähle.

Die zur Gründung von Hochbauten erforderlichen Pfähle werden in unbefschlagtem Zustande und entweder als völlig im Baugrund steckende Grundpfähle oder als theilweise in den Baugrund eingerammte, theilweise über denselben hervorragende Rost- oder Langpfähle angewendet. Beide haben einen Widerstand zu entwickeln, welcher ihrer grössten Belastung mindestens gleich ist. Dieser Widerstand setzt sich aus dem lothrechten Gegendruck des Baugrundes auf den Pfahlquerschnitt und aus dem wagrechten Seitendruck desselben auf die Pfahlwandung, bzw. dem hierdurch erzeugten Reibungswiderstand zusammen. Bezeichnet man jenen lothrechten und wagrechten Druck auf die Flächeneinheit bzw. mit w_1 und w_2 , mit μ den Reibungs-Coefficienten zwischen Pfahlholz und Baugrund, so ergibt sich für einen der grössten Belastung Q durch ein Hochbauwerk ausgesetzten Pfahlrost mit n Pfählen von der Länge l und dem Durchmesser d die Gleichung

149.
Pfähle.

$$w_1 n \pi \frac{d^2}{4} + w_2 n \pi d l \mu = Q, \dots \dots \dots 25.$$

woraus sich bei einer gegebenen Anzahl n von Grundpfählen deren Durchmesser

$$d = -\frac{2 \mu l w_2}{w_1} + 2 \sqrt{\left(\frac{l \mu w_2}{w_1}\right)^2 + \frac{Q}{n \pi w_1}} \dots \dots \dots 26.$$

oder, wie gewöhnlich, bei Verwendung von Pfählen mit bekanntem Durchmesser, deren Zahl finden läßt. Die Stärke von Rostpfählen, welche unten fest im Boden stecken, während sie mehr oder minder bedeutend über denselben hervorragen, sind nach Art der Freistützen zu berechnen, deren unteres Ende eingespannt und deren oberes Ende drehbar ist und wobei in Gleichung 18. $\mathcal{F} = \frac{\pi}{64} d^4$ zu setzen ist. Hieraus

ergibt sich mit Bezug auf den hervorragenden Theil des mit der Belastung $\frac{Q}{n} = P$ beschwerten Rostpfahles der erforderliche Durchmesser

$$d = \sqrt[4]{\frac{64 s l^2}{\pi C E} P} \dots \dots \dots 27.$$

worin der Sicherheits-Coefficient $\frac{1}{s} = \frac{1}{10}$, der Elasticitäts-Modul des Pfahlholzes $E = 120000 \text{ kg}$ und $C = \frac{\pi^2}{4}$ gesetzt werden kann.

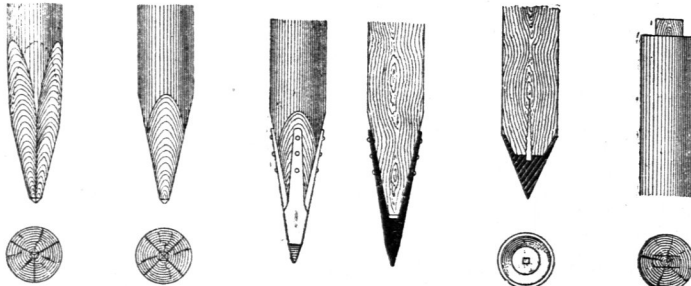
150.
Form.

Rostpfähle werden aus Baumstämmen hergestellt, welche man von der Rinde, aber nicht vom Splinte befreit. Kantige Rostpfähle wendet man nur da an, wo sie über den Baugrund hervorragen und sichtbar bleiben sollen oder wo aus einem sehr starken Stamm mehrere Pfähle geschnitten werden. Bei nachgiebigem Baugrund, z. B. Lehm-, Thon- oder Sandboden und nicht zu großen Gründungstiefen genügt es, die Pfähle unten mit einer drei- oder vierseitigen, etwas abgestumpften Spitze (Fig. 304 u. 305), welcher man die zwei- bis dreifache Pfahldicke zur Länge und, zur Vermeidung von Schiefstellen des Pfahles, eine genau centrische Lage giebt, zu versehen.

151.
Pfahlschuhe.

Bei unnachgiebigem Baugrund, z. B. bei Kies- oder steinigem Boden, und bei größeren Gründungstiefen werden die Pfahlspitzen mit schmiedeeisernen oder gußeisernen Pfahlschuhen

Fig. 304. Fig. 305. Fig. 306. Fig. 307. Fig. 308.



(Fig. 306 u. 307) versehen.

Die schmiedeeisernen Pfahlschuhe, welche wegen ihrer größeren Elasticität beim Einrammen nicht so leicht brechen und deshalb den gußeisernen Pfahlschuhen vorgezogen werden, bestehen aus

einer massiven, pyramidenförmigen Spitze, an welche drei oder vier mit einigen zur Befestigung dienenden Nagellöchern versehene Lappen angeschmiedet sind. Damit sich diese Pfahlschuhe beim Einrammen nicht auf die Seite schieben, muß die Grundfläche der pyramidenförmigen Spitze, so wie die untere Fläche der abgestumpften Pfahlspitze genau normal zur Pfahlaxe gearbeitet sein und letztere dicht an das Eisen sich anschließen. Da die Berührungsfläche beider nicht zu klein sein darf, so erhalten schmiedeeiserne Pfahlschuhe ein Gewicht von etwa 5 bis 6 kg.

Die gußeisernen Pfahlschuhe erfordern ein, unter übrigens gleichen Umständen, etwa doppelt so großes Gewicht als die schmiedeeisernen und bestehen aus einem Kegel mit vertiefter Grundfläche, in welche ein schmiedeeiserner, mit Widerhaken versehener Dorn eingegossen ist. Das untere Ende des Pfahles erhält die Form eines abgestumpften Kegels, welcher in die Vertiefung des Schuhs passen und sich genau an dieselbe anschließen muß.

152.
Verbindung
der
Pfahlköpfe.

Oben erhalten die Pfähle, wenn sie Schwellen aufzunehmen haben, entweder einfache Zapfen (Fig. 308) oder, wenn ein Abheben der Schwellen durch hydrostatischen Druck zu befürchten steht, fog. Grundzapfen (siehe Fig. 292, S. 103),

d. h. Zapfen, welche in die nach oben schwalbenschwanzförmig erweiterten Zapfenlöcher der Schwellen eingelassen und dann durch Keile oben etwas aus einander getrieben werden.

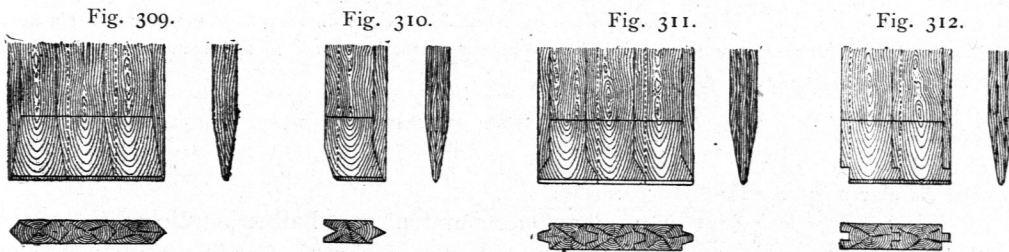
Wo die Länge der Rostpfähle nicht ausreicht, um den festen Baugrund zu erreichen, werden dieselben durch aufgesetzte Pfähle verlängert (siehe Fig. 270 bis 273). Dieses Aufpfropfen von Pfählen, welche den Stößen der Ramme zu widerstehen haben, muß man so einfach wie möglich machen, um ein Spalten und Splittern der Pfähle an ihrer Verbindungsstelle zu vermeiden. Aus diesem Grunde ist erfahrungsgemäß der in Fig. 278 (S. 98) dargestellte Kreuzzapfen mit zwei eisernen Schliesen nicht so gut, als der stumpfe Stofs in Verbindung mit schmiedeeisernen Klammern (siehe Fig. 272, S. 97), mit übergangenagelten schmiedeeisernen Schienen (siehe Fig. 273, S. 97), mit schmiedeeisernen Ringen und hölzernen Dübeln (siehe Fig. 270, S. 97) oder auch mit gußeisernen Zwischenstücken (siehe Fig. 271, S. 97).

153.
Verlängerung
der
Pfähle.

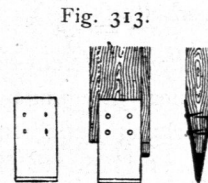
c) Spundbohlen.

Die zur Umschließung unter Wasser liegender Baugruben oder auch zum Schutze unter Wasser befindlicher Fundamente gegen Unterpflung dienenden Spundwände werden theils aus kantigen, dicht an einander gerammten Pfählen, theils aus starken gespundeten Bohlen, den sog. Spundbohlen hergestellt, welche man zwischen kantige, an und zwischen den Ecken eingerammte Leitpfähle eintreibt. Man verwendet zu denselben meist grünes Holz, da dieses weniger leicht aufquillt und sich wirft, als trockenes. Um einen möglichst dichten Anschluß der Spundbohlen zu erzielen, werden die Fugen derselben mit Spundungen (siehe Art. 132, S. 99) versehen, unter welchen die Keilspundung mit ein-, drei- und viermal gebrochener Fuge (Fig. 309 bis 311) und die quadratische Spundung (Fig. 312) die zweckmäßigsten sind. Zum Zweck des Einrammens erhalten dieselben unten eine gebrochene Schneide und eine einseitige Zuschärfung (Fig. 309 bis 312), welche beim Eintreiben keilartig wirkt und die einzutreibende Spundbohle seitlich an die zuvor eingetriebene preßt.

154.
Form
und
Verbindung.



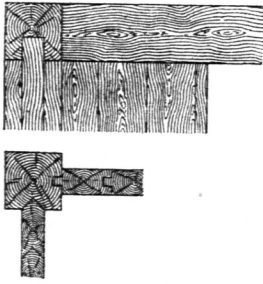
Obwohl man das Einrammen der Spundbohlen gewöhnlich an den beiden seitlichen Spundpfählen beginnt und von da nach der Mitte dieses Zwischenraumes hin fortschreitet, so stellen sich die Spundbohlen beim Einrammen doch allmählich etwas schief, weshalb die in der Mitte verbleibende, von oben nach unten sich verengende Oeffnung durch eine eigens einzupaffende, etwas keilförmig gestaltete, beiderseits mit Federn versehene Spundbohle derart geschlossen werden muß, daß die benachbarten Spundbohlen sich mehr lothrecht stellen müssen und hierbei möglichst dicht an einander gepreßt werden.



Bei unnachgiebigem Boden erhalten auch die Spundbohlen eiserne, unten aus einem dreiseitigen Prisma, oben aus zwei angefmiedeten rechteckigen Lappen bestehende Schuhe (Fig. 313). Diese Lappen erhalten die Breite der Spundbohle abzüglich

155.
Sicherung
der
Schneiden.

Fig. 314.



der beiderseitigen Nuthen und Federn und eine genügende Zahl ovaler Nagellöcher, an deren unterer Seite die zur Befestigung der Schuhe an den Bohlen erforderlichen Nägel eingeschlagen werden, damit sie beim Zusammenpressen der Bohlen durch das Rammen sich nicht verbiegen oder abbrechen. Oben werden die Spundbohlen beim Einrammen durch zwei feitlich angelegte Zangen in einer lothrechten Ebene erhalten, während sie nach dem Einrammen in eine ihrer vollen Stärke entsprechende Nuth der Holme eingelassen werden (Fig. 314).

3. Kapitel.

Balkenverfärkungen.

156.
Berechnung
der
Verfärkung.

Die zu Hochbauzwecken in vorzugsweise wagrechter Lage zur Verwendung kommenden Balken sind stets beschlagen und haben rechteckige Querschnitte, deren Breite und Höhe in einem gewissen Verhältniss stehen muss und sich, wie folgt, ermitteln lässt.

Bezeichnet l die frei tragende Länge (Stützweite), b und h bezw. die Breite und Höhe eines beschlagenen Balkens (Fig. 315), D den kleinsten Durchmesser des schwächsten Baumstammes, woraus sich derselbe herstellen lässt, so ist dessen Biegemoment

$$\frac{1}{6} b h^2 = \frac{1}{6} b (D^2 - b^2) = \frac{1}{6} (b D^2 - b^3) \dots 28.$$

Dasselbe wird ein Maximum, wenn der erste Differential-Quotient desselben nach b

$$\frac{d(b h^2)}{d b} = D^2 - 3 b^2 = 0$$

gesetzt wird, woraus sich $b = \frac{D}{\sqrt{3}}$ und $h = D \sqrt{\frac{2}{3}}$ ergibt. Theilt

man nunmehr den Durchmesser D (Fig. 315) in drei gleiche Theile, errichtet in den Theilpunkten die Normalen, welche die Peripherie des Stammes schneiden,

und verbindet diese Schnittpunkte mit den Endpunkten des Durchmessers, so folgen aus der Aehnlichkeit der Dreiecke die Verhältnisse

$$\frac{b}{\frac{D}{3}} = \frac{D}{b} \quad \text{und} \quad \frac{h}{\frac{2}{3} D} = \frac{D}{h}, \dots 29.$$

welche die obigen Werthe für b und h ergeben.

In der Praxis pflegt man den Querschnitten von Balken, welche die relativ grösste Tragfähigkeit entwickeln sollen, mit hinreichender Annäherung, das Seitenverhältniss $\frac{b}{h} = \frac{5}{7}$ zu geben. Bleibt das Widerstandsmoment ⁷³⁾ eines solchen Balkens, welches seiner Breite und dem Quadrate seiner Höhe proportional ist, hinter seinem Biege- ⁷⁴⁾ oder Angriffsmoment zurück, so ist eine hinreichende Verfärkung desselben erforderlich; dieselbe ist hiernach vortheilhaft in der Vermehrung seiner Höhe zu suchen.

Werden zu diesem Zwecke zwei Balken durch Verzahnung oder Verdübelung verbunden, so erfordern dieselben unter übrigens gleichen Umständen eine grössere

⁷³⁾ Siehe Theil I, Band 1 dieses »Handbuchs«, Art. 299 (S. 263).

⁷⁴⁾ Siehe ebendaf. Art. 295 (S. 257).

Fig. 315.

