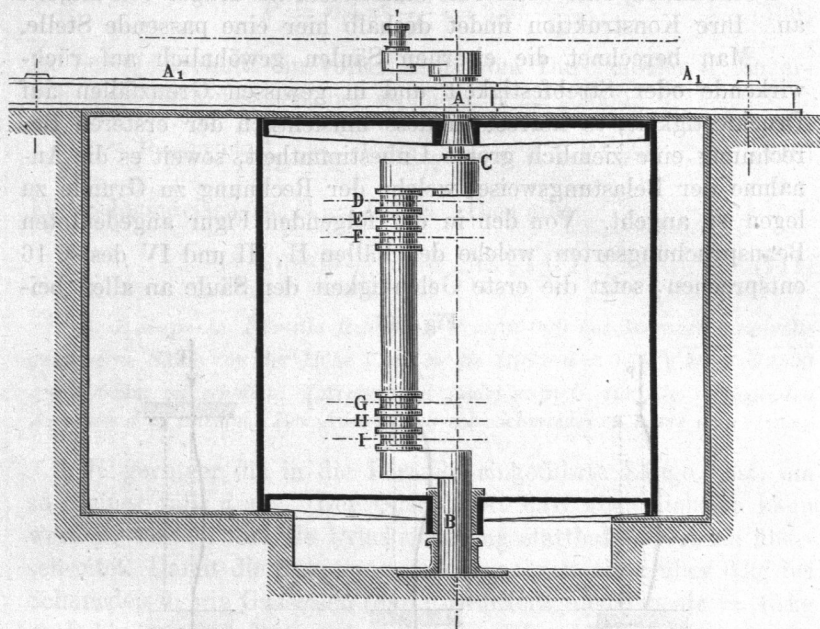


stuhls nahekomen, ja in sie übergehen kann, zeigt die hier folgende Skizze des Lagerstuhls eines Lemielle'schen Ventilators.

Fig. 366.



Hier sind neun Lager miteinander zu verbinden. Zunächst drei für die Trommel, mit welcher die Treibkurbel fest verbunden ist; es sind die beiden Halslager *A* und *B* und das Stützlager *C*. So dann sechs Lager *D*, *E*, *F*, *G*, *H*, *J* für die Leitstangen der Schaukeln. Der Lagerstuhl als Ganzes betrachtet wird gebildet durch den Träger $A_1 A_1$, das Mauerwerk und das krummachsenähnliche Stück *BJDC*.

Die Achsenhalter oder -Gabeln der Eisenbahnwagen gehören ebenfalls zu den Lagerstühlen; bei ihnen wird indessen dem Lager eine Gleitung normal zur Zapfenachse gestattet, und diese durch die Federn regulirt; sie haben im Grunde eine enge Verwandtschaft mit unseren oben besprochenen gelenkigen Lagern.

§. 127.

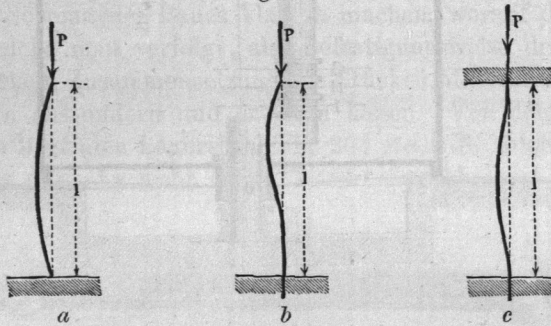
Berechnung der eisernen Säulen.

Vielfach fällt dem Maschinenbauer die Berechnung und Ausführung eiserner Säulen zu, welche fast ganz zu rein baulichen

Zwecken dienen, oder doch in nur entferntem Zusammenhang mit Maschinen stehen; häufig jedoch benutzt er sie auch als Gestelltheile von Maschinen, oder wendet sie unmittelbar als Träger von Lagern an. Ihre Konstruktion findet deshalb hier eine passende Stelle.

Man berechnet die eisernen Säulen gewöhnlich auf rückwirkende oder Strebfestigkeit und in gewissen Grenzfällen auf Druckfestigkeit; es herrscht indess hinsichtlich der ersteren Berechnung eine ziemlich grosse Unbestimmtheit, soweit es die Annahme der Belastungsweise, welche der Rechnung zu Grunde zu legen ist, angeht. Von den in der folgenden Figur angedeuteten Beanspruchungsarten, welche den Fällen II, III und IV des §. 16 entsprechen, setzt die erste Gelenkigkeit der Säule an allen bei-

Fig. 367.



den Enden, die zweite solche an nur einem Ende voraus, während bei der dritten beide Enden als fest eingespannt angenommen sind. Die Belastungen, welche den Bruch drohen, sind bei:

$$a. \quad \pi^2 \frac{JE}{l^2}$$

$$b. \quad 2 \pi^2 \frac{JE}{l^2}$$

$$c. \quad 4 \pi^2 \frac{JE}{l^2}$$

wenn die Säulen prismatisch und von der Länge (Höhe) l sind, der Querschnitt das Trägheitsmoment J und das Material den Elastizitätsmodul E besitzt. Wie in §. 16 erwähnt wurde, sprechen Versuche dafür, dass freistehende Säulen sich wie der Stab im Falle c verhalten, wenn ihre Enden einfach abgeflacht sind. Wählt man nun die Belastung kleiner als sie dem Falle a . entspricht, so ist unter allen Umständen, selbst wenn eine gewisse Gelenkigkeit der Enden dennoch vorausgesetzt wird, Sicherheit vorhanden*).

*) Baumeister Drewitz prüfte gusseiserne Säulen mit der Belastung $\pi^2 JE : l^2$, ohne die leiseste nachtheilige Aenderung an denselben bemerken zu können. Erbkam's Bauzeitung V. S. 534.

Wir nehmen deshalb für die der Längsenachse nach gerichtete zulässige Belastung P :

$$P = 0,4 \pi^2 \frac{JE}{l^2} = 3,94 \frac{JE}{l^2} \dots (109)$$

Ist der Querschnitt ein voller Kreis vom Durchmesser d , so erhält man für Gusseisen, bei welchem $E = 10\,000$:

$$P = 1937 \frac{d^4}{l^2} \sim 1900 \frac{d^4}{l^2}, d = 0,15 \sqrt{l} \sqrt[4]{P} \dots (110)$$

Für Schmiedeeisen ist $E = 20\,000$. Dies gibt:

$$P = 3800 \frac{d^4}{l^2}, d = 0,13 \sqrt{l} \sqrt[4]{P} \dots (111)$$

1. Beispiel. Für die Belastung $P = 15\,000$ hat hiernach eine volle gusseiserne Säule von der Höhe $l = 4\text{ m}$ die Dicke $d = 0,15 \sqrt{4000} \sqrt[4]{1500} \sim 105\text{ mm}$ zu erhalten. (Armengaud findet a. a. O. für die vorliegenden Angaben $d = 100\text{ mm}$. Bei Anwendung von Schmiedeeisen käme $d = 91\text{ mm}$.)

Je geringer die in die Formeln eingeführte Länge l ist, um so kleiner fällt d aus. Der Querschnitt darf aber nicht so klein werden, dass in ihm die Druckspannung statthafte Grenzen überschreitet. Damit die Spannung im Querschnitt nicht über 6 kg bei Schmiedeeisen wie Gusseisen (deren Drucktragmodel beide $= 15\text{ kg}$ sind) hinausgehe, darf man in beiden Fällen d nicht kleiner nehmen als:

$$\left. \begin{array}{l} d = 0,46 \sqrt[4]{P} \\ \text{oder die Belastung nicht grösser als} \\ P = 4,71 d^2 \end{array} \right\} \dots (112)^*$$

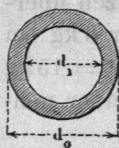
Nach den Formeln (110) und (112) ist die folgende Tabelle für runde volle gusseiserne Säulen berechnet. Sie gibt die Belastungen in Kilogramm, welche den in Eingang und Kopf angegebenen Säulendicken und -Höhen entsprechen.

(Siehe die Tabelle auf folgender Seite.)

Die mit einem Sternchen bezeichneten Zahlen in den Spalten 2, 3 und 4 sind aus der Formel (112) berechnet. Diese schränkt dort die zulässige Belastung merklich ein. So ergäbe z. B. die Berechnung nach (111) für $d = 180$ und $l = 2000$ die zulässige Belastung $P = 1900 \cdot 180^4 : 2000^2 = 498\,636\text{ kg}$, während nach (112) sich nur etwas über $\frac{1}{3}$ dieses Werthes ergibt. Jenes P würde auch im Querschnitt eine Spannung weit über den Tragmodul hinaus, nämlich von nahe 20 kg hervorrufen.

d	$l=2000$	3000	4000	5000	6000	7000
30	392	174	98	62	43	32
35	726	322	182	116	81	59
40	1 240	530	310	198	138	102
45	1 986	883	496	318	220	162
50	3 027	1 350	760	487	338	248
60	6 278	2 802	1 576	1 009	701	514
70	11 674	5 170	2 906	1 861	1 294	942
80	19 850	8 791	4 960	3 174	2 209	1 618
90	31 782	14 125	7 944	5 022	3 531	2 607
100	*74 120	21 488	12 110	7 750	5 403	3 962
120	*67 853	44 642	25 111	16 071	11 161	8 222
140	*92 355	81 100	46 521	29 774	20 718	15 190
160	*120 627	*120 627	79 364	50 793	35 328	25 955
180	*152 669	*152 669	127 176	81 361	49 215	41 536
200	*188 480	*188 480	*188 480	124 006	86 235	63 180

Hohle Säulen. Die gusseisernen Säulen werden gewöhnlich Fig. 368. hohl hergestellt. Ihre Abmessungen ermitteln sich leicht durch Querschnittverwandlung aus denen der vollen gleichwerthigen Säule. Ist der lichte Durchmesser des Querschnittes d_1 , der äussere d_0 , der der vollen Säule d , so ist zu nehmen:



$$\frac{d_0}{d} = \frac{1}{\sqrt[4]{1 - \left(\frac{d_1}{d_0}\right)^4}} \dots \dots \dots (113)$$

Das Hohlungsverhältniss $d_1:d_0 = \psi$ wird häufig $= 0,7$ bis $0,8$ gefunden. Man erhält für:

$\psi = 0,5$	0,6	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95
$d_0:d = 1,016$	1,035	1,07	1,10	1,14	1,20	1,31	1,52

Die Grenze der Anwendung der Strebefestigkeitsformel fällt nicht ganz, obwohl nahe mit der obigen zusammen. Man sehe zu, dass d_0 nicht kleiner wird als:

$$\left. \begin{aligned} d_0 &= \frac{0,46 \sqrt{P}}{\sqrt{1 - \psi^2}} \\ \text{oder die Belastung nicht grösser als} \\ P &= 4,71 d_0^2 (1 - \psi^2) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (114)$$

*) Hierbei herrscht dieselbe Tragsicherheit wie bei (110) und (111) mit Beziehung auf den Fall a , indem dort der Koeffizient $0,4$ eingeführt wurde, hier aber die Spannung $= 0,4$ des Tragmoduls gesetzt worden ist.

Man hat bei

$$\begin{array}{cccccccc} \psi = \frac{d_1}{d_0} & 0,5 & 0,6 & 0,7 & 0,75 & 0,8 & 0,85 & 0,9 & 0,95 \\ 1 - \psi^2 & 0,75 & 0,64 & 0,51 & 0,44 & 0,36 & 0,28 & 0,19 & 0,10 \\ \frac{1}{\sqrt{1 - \psi^2}} & 1,15 & 1,25 & 1,40 & 1,51 & 1,67 & 1,89 & 2,29 & 3,20 \end{array}$$

2. Beispiel. Obige Säule von 15 000 kg Belastung, welche 105 mm dick ausfiel, erhält bei einem Hohlungsverhältniss 0,8 die Dicke $d_0 = 1,14 \cdot 105 = 119,7 \sim 120$ mm, und die Lichtweite $d_1 = 0,8 \cdot 120 = 96$ mm, d. i. eine Wanddicke von 12 mm. Für die Spannung $\sigma = 6$ kg im Querschnitt dürfte sie nach (114) die Belastung $P = 4,71 \cdot 120^2 \cdot 0,36 \sim 24\,480$ kg tragen. Somit wären die gefundenen Werthe brauchbar, wenn man die geringe Wanddicke als gut im Guss ausführbar ansehen will. Wählt man $d_1 : d_0 = 0,7$, so kommen die auch wegen (114) brauchbaren Werthe $d_0 = 112$ mm und $d_1 = 79$ mm, entsprechend der Wanddicke 16,5 mm, welche auch als gut herstellbar angesehen werden darf.

Manchmal ist man in der Lage, für eine hohle Säule den äusseren Durchmesser d_0 wählen zu können, alsdann bestimmt sich beim Material Gusseisen die Lichtweite d_1 aus folgendem Ausdruck:

$$\left. \begin{array}{l} d_1 = d_0 \sqrt[4]{1 - 0,000516 \frac{P l^2}{d_0^4}} \\ \text{und die Belastung} \\ P = 1900 \frac{d_0^4 - d_1^4}{l^2} \end{array} \right\} \dots \dots \dots (115)$$

wobei $P =$ dem Unterschied der Tragkräfte zweier voller Säulen von den Dicken d_0 und d_1 ist.

Dabei ist aber wieder, damit die Druckspannung nicht 6 kg übersteige, darauf zu achten, dass P nicht grösser werde als:

$$\left. \begin{array}{l} P = 4,71 (d_0^2 - d_1^2) \\ \text{und } d_1 \text{ nicht grösser als:} \\ d_1 = d_0 \sqrt[4]{1 - 0,2122 \frac{P}{d_0^2}} \end{array} \right\} \dots \dots \dots (116)$$

abgesehen davon, dass auf gute Ausführbarkeit der Gusswand gesehen werden muss.

3. Beispiel. In einem Berliner Kasernengebäude waren hohle Säulen von nahe 16 900 kg Tragkraft bei 3600 mm Höhe anzubringen. Man gab ihnen die Dicke $d_0 = 157$ mm. Dann hätten sie nach (115) die Lichtweite $d_1 = 157 \sqrt[4]{1 - 0,000516 \cdot 3600^2 \cdot 16900 : 157^4} = 157 \cdot 0,9499 \sim 149$ mm zu erhalten. Nach (116) darf man höchstens nehmen:

$$d_1 = 157 \sqrt{1 - 0,2122 \cdot 16900 : 157^2} = 0,9244 \cdot 157 \sim 145 \text{ mm.}$$

Dies würde immer erst eine Wanddicke von 6 mm liefern. Machen wir daher diese jetzt nach empirischer Wahl = 15 mm, so kommt $d_1 = 127 \text{ mm}$. Man hat genommen $d_1 = 124 \text{ mm}$.

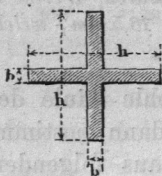
4. Beispiel. Eine gusseiserne Säule von 4700 mm Höhe und 235 mm äusserer Dicke hat zu tragen 125 000 kg und wurde mit der Hohlungsweite $d_1 = 170 \text{ mm}$ ausgeführt. Wir erhielten nach (115) für die Belastung bei Berechnung auf Strebefestigkeit: $d_1 = 235 \sqrt[4]{1 - 0,000516 \cdot 125 000 \cdot 4700 : 235^4} = 235 \cdot 0,8543 \sim 201 \text{ mm}$, nach (116) aber nur

$$d_1 = 235 \sqrt{1 - 0,2122 \cdot 125 000 : 235^2} = 235 \cdot 0,721 \sim 169 \text{ mm,}$$

d. i. fast genau wie die Ausführung.

Man sieht aus diesen Beispielen, dass man sorgfältig alle Umstände zu erwägen hat, um Fehler zu vermeiden, und ein begründetes Urtheil über den einzelnen Fall zu gewinnen.

Fig. 369.



Flügelsäulen. Der kreuzförmige Querschnitt, welcher bei den Achsen grosse Dienste leistete, eignet sich auch für Säulen. Man kann die Rippenhöhe und -Dicke h und b wieder einfach durch Querschnittverwandlung aus der Dicke d der gleichwerthigen vollen Rundsäule herleiten, indem man macht:

$$\frac{b}{d} = \frac{3\pi}{16} \left(\frac{d}{h} \right)^3 = 0,59 \left(\frac{d}{h} \right)^3 \quad \dots \quad (117)$$

woraus mit genügender Annäherung b bei gewähltem Profil (h) bestimmter ist. Bezüglich der Druckfestigkeit achte man darauf, dass die Querschnittabmessungen nicht kleiner ausfallen als:

$$\left. \begin{aligned} b h &= \frac{P}{12} \\ P &= 12bh \end{aligned} \right\} \quad \dots \quad (118)$$

oder die Belastung nicht grösser als:

5. Beispiel. Um die Säule aus dem 1. Beispiel in eine Flügelsäule zu verwandeln, wählen wir $h = 1,5 d = 1,5 \cdot 105 \sim 158 \text{ mm}$. Dann wird nach (117) $b = 105 \cdot 0,59 \cdot 8 : 27 \sim 18 \text{ mm}$. Dabei dürfte wegen der Druckfestigkeit ($\sigma = 6$) die Belastung betragen: $P = 12 \cdot 18 \cdot 158 = 34 120 \text{ kg}$, wonach die Annahmen völlig zulässig sind.

Für unmittelbare Berechnung von b und h hat man für Gusseisen:

$$\left. \begin{aligned} b &= \frac{30}{10000 \pi^2} \frac{Pl^2}{h^3} = 0,0003 \frac{Pl^2}{h^3} \\ P &= 3300 \frac{bh^3}{l^2} \end{aligned} \right\} \quad \dots \quad (119)$$

soll aber wieder wegen der Druckfestigkeit nicht über die in (118) gegebenen Grössen gehen.

6. Beispiel. In dem der Zuckerfabrik in Waghäusel zugehörigen neuen Raffineriegebäude (erbaut 1859 bis 1860), dessen Decken durchweg von Flügelsäulen getragen sind, erfahren die Säulen im Kellergeschosse der Angabe nach 2400 Zentner oder 120 000 kg Belastung. Sie haben 2 m Höhe und sind in den Flügeln 50 auf 360 mm stark. Diesen Abmessungen entspräche nach (119) eine Tragkraft von $3300 \cdot 50 \cdot 360^3 : 2000^2 \sim 1890\,000\text{ kg}$, nach (118) aber bei der Druckspannung $\mathfrak{S} = 6\text{ kg}$ nur $P = 12 \cdot 50 \cdot 360 = 216\,000\text{ kg}$, was aber immer noch sehr weit die gegebene Belastung übersteigt. Die Pfosten sind also reichlich stark; sie erfahren eine Druckspannung von $120\,000 : 2 \cdot 50 \cdot 360 = 3\frac{1}{3}\text{ kg}$. Die 4800 Ctr. betragende Probelastung brachte erst die Spannung $6\frac{2}{3}\text{ kg}$ hervor*).

Säulen aus Winkel- und T-Eisen. Solche kommen bei den Fachwerkbrücken, namentlich denjenigen der in Amerika üblichen Bauart mit Schraubenverbindungen (vergl. §. 87), vor. Die senkrechten Pfosten sind Säulen mit beweglichen Enden, erster Fall in Fig. 367; auch der obere Streckbaum hat Belastung auf Strebefestigkeit und zwar gemäss dem dritten Fall, Fig. 367. Folgende Figur stellt die am meisten dabei zur Anwendung kommenden

Fig. 370.



Querschnittformen dar. Der erste der dargestellten Querschnitte ist der in der Brückenbauanstalt in Phenixville, Pennsylvanien, für die Pfosten gebräuchliche. Die Säule ist aus Quadranteisen, manchmal auch Sextanteisen gebildet. Man reicht mit ganz wenig Kalibern aus, indem zur Verstärkung zwischen die Flantschen der Quadranteisen Flachstäbe von verschiedener Querschnittgrösse eingienietet werden. Die vier folgenden werden namentlich in dem Keystone-Werk angewandt. Man suche bei der Wahl der Querschnittabmessungen nur stets so zu verfahren, dass die (äquatorialen) Trägheitsmomente zu den beiden Hauptachsen gleich ausfallen, wozu §. 7 genügende Anleitung gibt. Der fünfte Quer-

*) Das Gebäude ist auch wegen der eigenthümlichen Konstruktion seiner feuerfesten Decken bemerkenswerth. Dieselben sind in sechs Stockwerken mit Kreuzgewölben, und in den beiden obersten mit den gebräuchlichen Kappengewölben eingedeckt, und werden von nahe 500 Flügelsäulen getragen. Der ganze Innenbau ist dabei lose zwischen die nur mit Quersankern angehängten Mauern gestellt. S. Förster's Bauz. 1861, S. 93.

schnitt zeigt in Punktirung in der Mitte noch ein Doppel-T. Man wendet die hierbei entstehende Querschnittform namentlich in Streckbäumen an und benutzt bis zu drei solcher eingeschalteten Doppel-T-Platten. Der letzte der oben dargestellten Querschnitte, entstehend durch Verbindung von vier Winkelleisen, wird bei uns neuerdings bei Schachtgestängen verwendet*). Die Berechnung auf Strebfestigkeit geschieht hier zur Ermittlung des zulässigen Abstandes zwischen den Führungen des Gestänges.

Gekuppelte Säulen. Oftmals kommt es in Frage, ob es bei sehr bedeutender Belastung zweckmässig hinsichtlich der Materialersparniss sei, statt einer Säule deren zwei oder mehr aufzustellen. Wendet man m Säulen statt der einen an, so findet sich unter der Voraussetzung, dass auf Strebfestigkeit berechnet werden muss, bei Annahme geometrisch ähnlicher Querschnitte für das Verhältniss der Körperinhalte V^1 und V :

$$V^1 = \sqrt{m} V \dots \dots \dots (120)$$

d. h. die gekuppelten Säulen brauchen $\sqrt{m}$ mal so viel Material als die einzelne Säule. Es ist also hinsichtlich des Materialverbrauchs für Säulen günstig, wenige stark belastete Säulen zum Tragen einer gegebenen Last zu verwenden.

7. Beispiel. Auch aus der obigen Tabelle lässt sich dies entnehmen. Wählt man z. B. zum Tragen von 1294 kg bei 6 m Säulenhöhe nur eine volle runde Säule, so hat diese nach Zeile 7 die Dicke 70 mm zu erhalten, während bei 4 Säulen von je 50 mm Dicke die Gesamtlast = $4 \cdot 338 = 1352$ kg, also nahe ebenso gross wird. Die Querschnitte verhalten sich aber wie $4 \cdot 50^2 : 70^2$, d. i. wie 100 : 49 oder sehr nahe wie $\sqrt{4} : 1$.

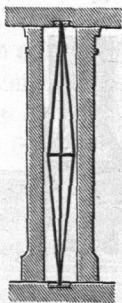
Verminderung der Säulenhöhe wirkt bedeutend auf den Materialverbrauch ein, da sich nach (110) die Querschnitte gleichbelasteter ähnlicher Säulen, wenn sie auf Strebfestigkeit zu berechnen sind, direkt wie die Höhen (l) verhalten. Dieser Umstand vermag die Auflösung einer Säule in mehrere gelegentlich zu rechtfertigen, wenn nämlich eine Höhenverminderung damit verknüpft werden kann. So z. B. sind nach Obigem die dreiständigen Eisenkerne nach Fig. 371, welche manche Architekten in Ziegelpfeilern anbringen**), noch immerhin vortheilhafter als einfache Stäbe, in-

*) Ein neues Schachtgestänge auf Grube Präsident in Westfalen, erbaut von der Isselburger Maschinenbauanstalt, hat solch ein Flügelgestänge. Am oberen Ende desselben haben die Winkelleisen 155 mm äussere Schenkellänge bei 18 mm Dicke.

**) Pfeiler des Vestibüls im Theater zu Karlsruhe.

dem hier das Volumverhältniss $= \frac{1}{2} \sqrt{m}$, d. i. $\frac{1}{2} \sqrt{3} = 0,866$ ausfällt.

Fig. 371.



Endlich ist noch zu bemerken, dass die Säulen, welche man in Maschinengestellen angewandt findet, meistens weit stärker ausgeführt sind, als die obige Berechnung sie liefert. Dies erklärt sich daraus, dass solche Säulen oft auch noch biegenden und Zugkräften ausgesetzt sind, auch vielfach Erschütterungen auszuhalten haben, sodass die grössere Materialverwendung in der Regel gerechtfertigt ist*). Namentlich ist zu beachten, dass gusseiserne Säulen, die auf Zug beansprucht werden, wie die Gestellsäulen stehender Dampfmaschinen, zum mindesten mit dem Doppelten des aus (112), (114), (116) und (118) erhaltenen Querschnittes auszuführen sind. Bei Gebäuden findet man manchmal auch die Sicherheit grösser gewählt, als unsere Rechnung that, wie das Beispiel 6. zeigte; manchmal jedoch auch wird die Tragkraft in noch höherem Maasse ausgenutzt, als wir annahmen.

§. 128.

Formgebung der eisernen Säulen.

Die Säulen, welche als Maschinengestelltheile dienen, werden entweder mit bekannten Mitteln auf eisernen Grundplatten befestigt, oder sie werden, wie die als Gebäudetheile wirkenden Säulen auf Mauerwerk oder Quader gestellt. Ganz schwer belastete Gebäudesäulen werden manchmal mit einfacher Unterlegung einer Bleiplatte ohne weitere Befestigung auf einen Sockelstein gesetzt. Hat man aber ihre Stellung mehr zu sichern, so wird eine Verankerung mit dem Sockel hergestellt. Die folgenden Figuren zeigen drei Arten solcher Befestigungen. Die Sohlfläche der Säule liegt in allen drei Fällen unterhalb des Estrichs. Bei dem ersten ist eine besondere Sohlplatte mittelst eines Grundankers mit einem Ziegelsockel verbunden, beim zweiten eine der Säule angegossene Fussflansche mit Steinschrauben an den Quader-

*) So bei Mühlen, wo die das Mühlengebiet tragenden Säulen eine 5- bis 6mal grössere Sicherheit gewähren, als wir oben anführten, und wo man wegen der Vibrationen doch die Abmessungen nicht gern verkleinert.