

spricht werden, zu Gunsten einer Verringerung der Mauerdicke ein gegenseitiges Aufheben dieser Schübe anzunehmen; denn der Erddruck kann veränderlich sein oder durch Abgraben des Bodens wohl ganz aufgehoben werden.

b) Wandverstärkungen.

Ersparnisse bezüglich des Materialaufwandes lassen sich bei der Herstellung von Bauwerken dadurch erzielen, daß man den Mauern nicht auf ihre ganze Länge und Höhe eine ihrer Beanspruchung angemessene gleiche Dicke giebt und sie nicht immer nur in dem gleichen Material aufführt, sondern sie an geeigneten Stellen verstärkt.

336.
Vorbemerkung.

Diese Verstärkungen können entweder in einer Vergrößerung der Standfestigkeit durch geschickte Anordnung des Grundrisses oder des Querschnittes der Mauer oder durch geeignete Verbindung mit anderen Constructionstheilen bestehen, oder sie können auf Erhöhung der Festigkeit der ganzen Mauer durch passende Vertheilung von festerem und weniger festem Material abzielen. Beide Verstärkungsweisen können auch gleichzeitig in Anwendung kommen.

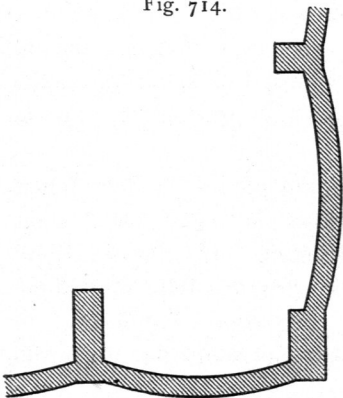
1) Verstärkung der Standfestigkeit.

Die Standfestigkeit eines Mauerkörpers kann erhöht werden, indem man, gleiche Querschnittsgröße vorausgesetzt, von der gewöhnlichen rechteckigen Querschnittsform abgeht und ihn nach oben hin verjüngt. Es wird damit nicht nur der Schwerpunkt desselben tiefer gerückt, sondern auch die Aufstandsfläche verbreitert und damit das Kippen um eine Kante erschwert. Zu den Mitteln, eine Verjüngung des Querschnittes herbeizuführen, gehören die Anordnungen von Sockelvorsprüngen, Böschungen, Abtreppungen und die Abschwächung der Mauern in den oberen Geschossen. Diese Mittel sind im Vorhergehenden schon mehrfach besprochen worden und bedürfen daher hier keiner weiteren Erörterungen.

337.
Uebersicht.

Die Gestaltung des Grundrisses einer Mauer ist in so fern auf die Standfestigkeit von Einfluß, als durch Anordnung von Vorsprüngen in passenden Abständen, den Pfeilervorlagen und Strebepfeilern, dieselbe erhöht wird, indem unter Verringerung der Masse der Abstand der Schwerlinie des ganzen Mauerkörpers von der Drehkante eine Vergrößerung gegenüber dem bei einer gleich dicken Mauer ohne Strebepfeiler erfährt. Damit ist in der Regel auch eine Raumerparnis, jedoch andererseits auch eine verhältnismäßig theuerere Ausführung verbunden.

Fig. 714.



Auch die zwischen den Pfeilern befindlichen Mauerfelder, die Mauerfelder, können durch ihre Grundrißbildung zur Vergrößerung der Standfestigkeit herangezogen werden, indem man sie gekrümmt herstellt und ihre gewölbte Seite der Richtung der angreifenden Kraft zukehrt. Die Wirkung der letzteren wird dadurch auf die Seiten der Pfeiler übertragen und hebt sich in diesen gegenseitig auf, sobald es sich um Zwischenpfeiler handelt. Bei den Endpfeilern der Mauer ist dies nicht der Fall; dieselben müssen daher entsprechend stärker gemacht werden.

Eine Anordnung dieser Art zeigen die Umfassungsmauern des Kellergeschosses der *St. James's Electric Light Central Station* zu London (Fig. 714⁷²⁸).

Einen ähnlichen Erfolg kann man dadurch erzielen, daß man die der angreifenden Kraft abgekehrte Seite der Mauerfelder im Bogen in die Pfeilervorprünge überführt. Die Schilder verstärken sich hierbei allmählig nach den Pfeilern zu.

Erhöhte Standficherheit der Mauern kann auch durch geeignete Verbindung mit anderen Constructionstheilen erzielt werden, und zwar indem die letzteren entweder dadurch zum Widerstand gegen Beanspruchungen mit herangezogen werden oder indem sie diese ganz aufnehmen. Im ersten Falle findet die Ueberleitung des Druckes — hier kommen nur der Winddruck und die Beanspruchung durch Erschütterungen oder ungleichmäßige Bodenfenkungen in Betracht — von einer Mauer auf die andere, und damit die Vertheilung desselben, durch Balkenlagen oder Gurtbogen oder Strebebogen oder Verankerungen statt. Im zweiten Falle wird eine Entlastung der Mauer von lothrechten Drücken oder Seitenschüben durch vor- oder eingelegte Stützen aus Holz oder Eifen herbeigeführt, welche dieselben aufzunehmen haben.

Von einer Besprechung der Gurt- und Strebebogen kann hier abgesehen werden, da diese besser an die der Gewölbe-Constructionen (siehe Theil III, Band 2, Heft 3 dieses »Handbuches«) sich anschließt. Das Gleiche gilt in der Hauptsache von den Pfeilervorlagen und Strebepfeilern. Auch die Verankerungen mit anderen Constructionstheilen finden naturgemäfs ihre Behandlung bei den Balkendecken, Gewölben (siehe im gleichen Hefte) und Sicherungen gegen Erdererschütterungen und Bodenfenkungen (siehe Theil III, Band 6 dieses »Handbuches«, Abth. V, Abschn. 1, Kap. 3). Ebenso verhält es sich mit den Mauern zur Entlastung von lothrechten Drücken oder Seitenschüben ein- oder vorgelegten Constructionstheilen von Eifen und Holz, welche zu den Stützen der Balkendecken und Gewölbe gehören.

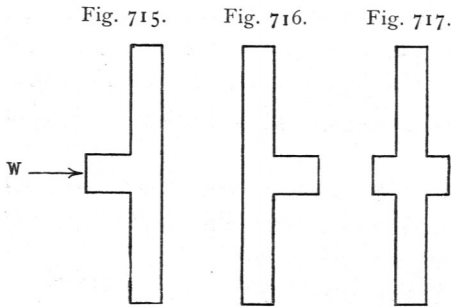
Es bleiben daher für die Besprechung an diesem Orte nur die mit Rücksicht auf den Winddruck angeordneten Mauerpfeiler übrig.

338.
Pfeilervorlagen
und
Strebepfeiler.

Pfeilervorlagen und Strebepfeiler sind nicht wesentlich von einander verschiedene, lothrecht aufsteigende Mauervorprünge. Die Pfeilervorlagen (Wandpfeiler, Lifenen) behalten gewöhnlich ihre Breite und Dicke auf ihre ganze Höhe bei und sind häufig unter dem oberen Mauerabschluss unter einander durch eben so weit vorspringende Rollschichten oder Bogenfriese oder Bogen verbunden. Im letzteren Falle bilden sich in den Mauern Nischen oder Blenden. Die Strebepfeiler läßt man häufig in der Breite, namentlich aber in der Gröfse des Vorsprunges nach oben hin abnehmen; sie endigen entweder unter dem oberen Mauerabschluss, oder sie verkröpfen sich mit demselben oder durchschneiden ihn; felten sind sie unter ihm mit einander verbunden, obgleich auch solche Verbindungen vorkommen, die dann aber gewöhnlich nur auf einen Theil des Vorsprunges ausgeführt werden.

In Bezug auf die Lage des Vorsprunges der Verstärkungspfeiler zu den Mauern des Gebäudes sind drei Fälle zu unterscheiden; der Vorsprung fällt ganz nach ausen oder ganz nach innen, oder er vertheilt sich auf beide Seiten. Die für die Standficherheit vortheilhafteste Lage des Vorsprunges bei einer einzeln stehenden Mauer muß die der Krafrichtung abgekehrte sein (Fig. 716). Für den Winddruck, der hier allein in das Auge zu fassen ist, wäre diese bei einem Gebäude der Vorsprung

⁷²⁸) Nach: *Engineer*, Bd. 70, S. 188.



nach innen. Da aber der Wind von verschiedenen Seiten kommen und von der getroffenen Mauer auf die gegenüber stehende übertragen werden kann, auf welche auch je nach der Steilheit des Daches mehr oder weniger vom Wind Schub des letzteren abgegeben wird, so ist bei geschlossenen Gebäuden dem Vorsprung des Pfeilers nach außen (Fig. 715) der Vorzug zu geben. Hierbei ist eine solche Verbindung von Mauerchildern

und Pfeilern vorausgesetzt, dass beide zusammen den erforderlichen Widerstand leisten können und die ersteren an den letzteren die genügende Unterstützung finden. Dafür ist aber die Anordnung eines Vorsprungs nach beiden Seiten der Mauer (Fig. 717) am geeignetsten und daher den beiden anderen Bildungen vorzuziehen.

Die Entfernung der Pfeiler-Verfärfkungen von einander wird in der Regel von der räumlichen Eintheilung und der formalen Ausbildung des Gebäudes abhängig sein; eben so wird die Mauerdicke des Schildes mit Rücksicht auf die gegebenen Verhältnisse und die zulässigen Mindestdicken bestimmt werden können.

Immerhin wird es manchmal wünschenswerth sein, zu prüfen, ob für die gegebene Strebepfeiler-entfernung die gewählte Mauerdicke ausreichend ist. Ein Weg dazu ist der, das Mauerchild als eine auf zwei Seiten aufruhende, durch den Wind gleichmäfsig auf Durchbiegung beanspruchte Platte anzusehen. Je inniger der Zusammenhang des Mauerkörpers ist, um so zulässiger wird diese Berechnungsweise sein. Es ist bekanntlich

$$\frac{M}{k} = \frac{\mathcal{F}}{a},$$

worin M das größte Biegemoment, k die zulässige Beanspruchung für die Flächeneinheit und $\frac{\mathcal{F}}{a}$ das Widerstandsmoment bedeuten. Im vorliegenden Falle ist

$$M = \frac{p l^2}{8},$$

worin l die Entfernung der Stützpunkte und p die Belastung für die Längeneinheit, hier den Winddruck für 1qm getroffener Wandfläche (= 120 kg), bezeichnen. Ferner ist

$$\frac{\mathcal{F}}{a} = \frac{d^2}{6},$$

wenn man d als Mauerdicke annimmt und einen Streifen von 1 m Höhe in Rechnung zieht.

Die Biegefestigkeit von Mauerwerk ist unbekannt; man wird sich daher damit begnügen müssen, für k die zulässige Beanspruchung des Mörtels auf Zugfestigkeit zu setzen.

Es ergibt sich dann

$$d = \sqrt{\frac{6 M}{k}}.$$

Diese Berechnungsweise ist nur zulässig, wenn das Mauerchild in den Strebepfeilern eine genügende Unterstützung findet, wenn diese also einen Vorsprung nach der dem Winde abgekehrten Seite haben. Die Sicherheit, welche der Aufstand des Mauerchildes auf der Grundmauer und die Belastung durch die Balkenlage bieten, ist nicht mit in Rechnung gezogen; dagegen ist auch keine Rücksicht auf die Höhe genommen.

Beispiel. Die Länge des Mauerchildes sei 4,5 m und die Stützweite $l = 5,0$ m; als zulässige Beanspruchung des Luftkalkmörtels werde $k = 1$ kg für 1 qcm oder $k = 10\,000$ kg für 1 qm angenommen. Es ist dann

$$M = \frac{120 \cdot 5^2}{8} = 375 \text{ mkg}$$

und

$$d = \sqrt{\frac{6 \cdot 375}{10\,000}} = 0,474 \text{ m}.$$

Die Breite des Strebepfeilers, d. h. seine Abmessung in Richtung der Mauerlänge kann ebenfalls nach Maßgabe der Umstände fest gestellt werden, während die Abmessung senkrecht zur Mauerlänge durch Berechnung der Stabilität eines aus einem Schild und einem Strebepfeiler zusammengesetzten Mauerstückes gefunden werden mußte.

Diese Berechnung ist unter Annahme eines auf die ganze Höhe gleich bleibenden rechteckigen Querschnittes des Strebepfeilers, und wenn man ein Mauerstück für sich allein, ohne Rücksicht auf den Zusammenhang mit dem Gebäude, betrachtet und nur die Stabilität gegen Umkanten untersucht, nicht schwierig.

I. Fall: Der Strebepfeiler sei der Windrichtung zugekehrt (Fig. 718).

Es sei W der Winddruck, G das Gewicht, F die Grundfläche und h die Höhe der Mauer, l_1 die Länge des Mauerfeldes, d_1 die Dicke desselben, l_2 die Breite des Strebepfeilers, d_2 die Dicke desselben, γ das Gewicht der Raumeinheit des Mauerwerkes und a_1 der Abstand des Lothes durch den Schwerpunkt der Mauer von der Drehkante $D D$. Bei m -facher Sicherheit muß dann sein:

$$m W \frac{h}{2} = G a_1,$$

worin $G = F h \gamma = (l_1 d_1 + l_2 d_2) h \gamma$ und

$$a_1 = \frac{l_1 d_1^2 + l_2 d_2^2}{2(l_1 d_1 + l_2 d_2)},$$

woraus

$$d_2 = \sqrt{\frac{1}{l_2} \left(\frac{m W}{\gamma} - l_1 d_1^2 \right)}.$$

Beispiel. Für $l_1 = 4,5$ m, $l_2 = 0,5$ m, $d_1 = 0,5$ m, $h = 8,0$ m, $\gamma = 1600$ kg für 1 cbm Backsteinmauerwerk und $m = 1,5$ berechnet sich $W = 5 \cdot 8 \cdot 120 = 4800$ kg, und dann

$$d_2 = 2,6 \text{ m}.$$

II. Fall. Der Strebepfeiler sei der Windrichtung abgekehrt (Fig. 719).

Es berechnet sich hierfür

$$a_1 = \frac{l_2 d_2^2 - l_1 d_1^2 + 2 l_1 d_1 d_2}{2(l_1 d_1 + l_2 d_2)}$$

und dann

$$d_2 = -\frac{l_1 d_1}{l_2} \pm \sqrt{\frac{1}{l_2} \left(\frac{m W}{\gamma} + l_1 d_1^2 \right) + \frac{l_1 d_1^2}{l_2^2}}.$$

Beispiel. Unter denselben Annahmen, wie oben, ergibt sich

$$d_2 = 1,1 \text{ m}.$$

III. Fall. Der Strebepfeiler springe zu beiden Seiten der Mauer gleich viel vor (Fig. 720).

Dann ist

$$a_1 = a_2 = \frac{1}{2} d_2$$

und

$$d_2 = -\frac{l_1 d_1}{2 l_2} \pm \sqrt{\frac{m W}{\gamma l_2} + \frac{l_1^2 d_1^2}{4 l_2^2}}.$$

Beispiel. Für die obigen Annahmen wird

$$d_2 = 1,5 \text{ m}.$$

Wenn die Dicke einer Mauer ohne Strebepfeiler bekannt ist, so läßt sich dann leicht die Strebepfeilerdicke einer mit Strebepfeilern versehenen Mauer von gleicher Stabilität berechnen.

Ist f_1 die Grundfläche des Mauerfeldes, f_2 die des Strebepfeilers und F die der Mauer ohne Strebepfeiler, deren Dicke mit d und deren Länge mit l bezeichnet werden soll, während sonst die früheren Bezeichnungen beibehalten

Fig. 718.

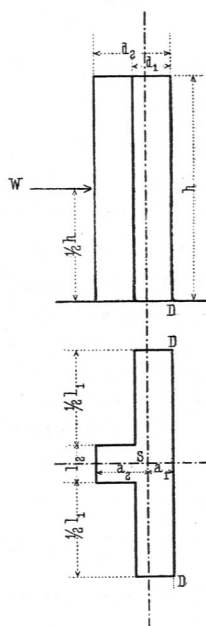


Fig. 719.

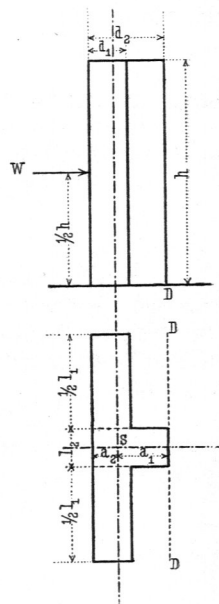
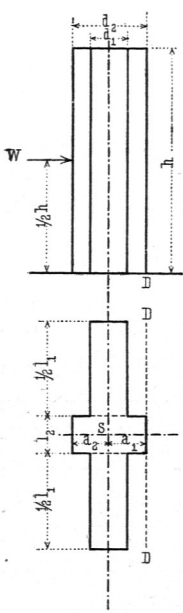


Fig. 720.



werden, so berechnet sich für den Fall I der Abstand a_1 des Schwerpunktes der Mauer mit Strebepfeilern von der Drehkante aus der Gleichung

$$(f_1 + f_2) a_1 = f_1 \frac{1}{2} d_1 + f_2 \frac{1}{2} d_2.$$

Sollen beide Mauern gleiche Stabilität haben, so muß

$$(f_1 + f_2) a_1 = F \frac{1}{2} d$$

fein, oder

$$l d^2 = l_1 d_1^2 + l_2 d_2^2,$$

woraus

$$d_2 = \sqrt{\frac{l d^2 - l_1 d_1^2}{l_2}}.$$

Die Dicke d der Mauer ohne Strebepfeiler findet sich aus der Momentengleichung

$$m W \frac{1}{2} h = G \frac{1}{2} d.$$

Da $G = d h \gamma$, so ist

$$d = \sqrt{\frac{m W}{\gamma}}.$$

Beispiel. Es sei wie früher $l = 5,0$ m, $l_1 = 4,5$ m, $l_2 = 0,5$ m, $h = 8,0$ m, $d_1 = 0,5$ m, $\gamma = 1600$ kg und $m = 1,5$. Es ist dann $W = 8 \cdot 120 = 960$ kg für 1 m Länge und

$$d = \sqrt{\frac{1,5 \cdot 960}{1600}} = 0,95 \text{ m};$$

$$d_2 = \sqrt{\frac{5 \cdot 0,95^2 - 4,5 \cdot 0,5^2}{0,5}} = 2,6 \text{ m},$$

was mit dem früheren Ergebnis übereinstimmt (vergl. S. 404).

Schwieriger und umständlicher wird die Berechnung, wenn Rücksicht auf die in der Auftandsfläche sich ergebenden Spannungen genommen werden soll.

Nur Druckspannungen sind vorhanden, wenn die Mittelkraft der auf Umsturz wirkenden Kräfte zwischen die in der mit der Krafrichtung zusammenfallenden Schweraxe der Auftandsfläche der Mauer liegenden Kernpunkte fällt. Es ist daher wenigstens die Lage des dem Winddruck abgekehrten Kernpunktes zu bestimmen, durch den äußersten Falles die Mittelkraft gehen darf. Der Abstand dieses Punktes vom Schwerpunkte des Grundriffes ist in die Stabilitätsgleichung einzusetzen, aus der dann die Mauerdicke berechnet werden kann.

Es soll hier nur der Fall III der Strebepfeileranordnung (Fig. 721) untersucht werden. Neben Beibehaltung der früher angewendeten Bezeichnungen sei e_2 der Abstand des fraglichen Kernpunktes (K_2) von dem hier mit dem Mittelpunkt des Grundriffes zusammenfallenden Schwerpunkte S desselben. Man hat nun

$$l_2 = \frac{\mathcal{J}}{F a_2} \quad (729),$$

worin \mathcal{J} das Trägheitsmoment des Grundriffes für die Schweraxe YY des Grundriffes, F die Fläche des letzteren und a_2 den Abstand des Schwerpunktes von der Drehkante $D D$ bedeuten.

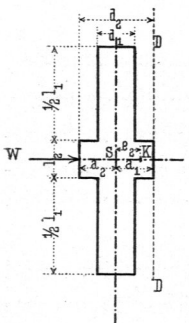
Es ist ferner

$$\mathcal{J} = \frac{1}{12} (l_1 d_1^3 + l_2 d_2^3), \quad F = l_1 d_1 + l_2 d_2 \quad \text{und} \quad a_2 = \frac{1}{2} d_2, \quad \text{also}$$

$$e_2 = \frac{l_1 d_1^3 + l_2 d_2^3}{6 d_2 (l_1 d_1 + l_2 d_2)}.$$

Die Stabilitätsgleichung ist

Fig. 721.



$$W \frac{1}{2} h = G \ell_2,$$

woraus sich die cubische Gleichung

$$d_2^3 - \frac{3}{\gamma} \frac{W}{\ell_2} d_2 + \frac{l_1^* d_1^3}{\ell_2} = 0$$

ergibt, aus welcher d_2 berechnet werden kann.

Die beiden anderen Fälle der Strebepeileranordnung ergeben für die Berechnung von d_2 Gleichungen noch höherer Grade.

Die Druckspannung in der Drehkante kann auf dem früher (in Art. 304, S. 381) angegebenen Wege ermittelt werden.

2) Verstärkung der Festigkeit.

339-
Allgemeines.

Regelrechter Verband und gute Mörtelverbindung der Steine einer Mauer reichen oft nicht aus, um derselben genügende Sicherheit gegen die Einwirkungen von Erschütterungen und ungleichmäßigem Setzen in Folge von Bodensenkungen zu verleihen. Wie schon im vorhergehenden Bande (Art. 105, S. 83) dieses »Handbuches« erörtert wurde, werden zur Erhöhung der hierbei namentlich in Anspruch genommenen Zugfestigkeit die Verklammerungen und Verankerungen angewendet. Bezüglich der letzteren sind hier einige Ergänzungen zu machen, in so weit dies nicht in Theil III, Band 6 (bei Besprechung der Sicherungen gegen die Wirkungen von Bodensenkungen und Erderschütterungen) dieses »Handbuches« geschieht.

Die Verankerungen bezwecken die Herstellung von in sich möglichst zusammenhängenden Mauerkörpern und Mauer-systemen, damit bei Eintritt der erwähnten Beanspruchungen die ganze Mauer oder das ganze Mauer-system am Widerstand gegen dieselben theilnimmt. Man sucht dies durch Einlagen von zugfesten Stoffen, wie Eisen und Holz, zu erreichen. Man hat dabei allerdings mit der Vergänglichkeit dieser Stoffe zu rechnen. Bei Mitverwendung der Mörtelverbindung erfüllen sie ihren Zweck aber jedenfalls, bis der Mörtel selbst seine größte Zugfestigkeit erlangt hat und damit jene Hilfs-Constructionen mehr entbehrlich macht. Man hat auch Beispiele, daß das Eisen bei genügendem Schutze gegen die dauernde Einwirkung der Feuchtigkeit sehr lange seine Festigkeit bewahrt. Andererseits ist auf die Gefahren aufmerksam zu machen, welche die mit Ausdehnung verbundene Oxydation des Eisens für Quader, in welche es eingelassen ist, mit sich bringt, und welche die nach Vermoderung des Holzes in den Mauern entstehenden großen Höhlungen herbeiführen.

Erwähnung mag hier noch finden, daß Verankerungen häufig auch zur Wiederherstellung von Gebäuden angewendet werden, welche in ihrem Bestande schon Noth gelitten haben.

Zu gleichem Zwecke, wie Klammern und Anker, kommen auch, wie ebenfalls schon im vorhergehenden Bande (Art. 95 bis 103, S. 77 bis 82) dieses »Handbuches« besprochen wurde, besondere Formungen der Fugenflächen in Anwendung. Abgesehen von den größeren Kosten, die diese Mittel veranlassen, sind sie im Allgemeinen wegen der verhältnißmäßig geringen Zug- und Scherfestigkeit der meisten Steinarten nicht besonders zweckmäßig.

340-
Verankerungen
aus Holz.

Einlagen von Holz in den Mauern zur Erhöhung der Festigkeit derselben sind eine mehr der Geschichte angehörige Construction und werden heutigen Tages bei den Hochbauten der cultivirteren Länder kaum mehr benutzt.

Im Alterthum und im Mittelalter war Holz dagegen ein beliebtes Mittel zur Verstärkung der Mauern. Nach *Schliemann* fanden sich die Spuren desselben in den Lehmziegelmauern von Troja und Tiryns; die