

derselbe ist ferner unabhängig von z , somit für alle Punkte der Basis der gleiche. In Folge dessen ist auch die GröÙe η unveränderlich, d. h. der Baugrund wird durchwegs um gleich viel zusammengepreÙt; das Fundament sinkt in allen Punkten um gleich viel ein, und es findet kein Drehen, kein Schiefstellen desselben statt.

2) Es sei (Fig. 624) $\xi = \frac{b}{6}$, alsdann wird nach Gleichung 188.

$$N_{min} = 0,$$

d. h. es findet im Punkte B kein Zusammenpressen, keine Einfrnkung, sondern bloÙ eine Drehung der Basis um diesen Punkt statt. Die Normalpressung an einer beliebigen Stelle derselben betrügt

$$N = \frac{D}{b} \left(1 + \frac{2z}{b} \right) = \frac{D(b + 2z)}{b^2}, \quad 190.$$

und die gröÙste Pressung im Punkte A , für welchen $z = \frac{b}{2}$,

$$N_{max} = \frac{2D}{b}.$$

3) Wird (Fig. 625) $\xi > \frac{b}{6}$, so wird im Ausdruck 188. für N_{min} die Differenz $b - 6\xi$ negativ, also auch der Druck N_{min} negativ. Da nun, je nachdem der beliebige Punkt M der Basis links oder rechts vom Schwerpunkt O gelegen ist, der Druck (nach Gleichung 186.)

$$N = \frac{D(b^2 \pm 12\xi z)}{b^3} \quad 191.$$

ist, wird auch dieser Druck sich negativ ergeben, so lange

$$12\xi z > b^2 \quad \text{oder} \quad z > \frac{b^2}{12\xi},$$

d. h. es findet (hier rechts vom Schwerpunkt) gegen B zu ein Abheben des Fundamentes statt, oder, mit anderen Worten, es tritt ein Drehen der Fundament-Basis um einen zwischen O und B gelegenen Punkt ein; der Abstand dieses Punktes von O ergibt sich aus der Relation

$$-z = \frac{b^2}{12\xi};$$

denn für diesen Werth von z wird $N = 0$.

Da nun ein Abheben des Fundamentes vom Baugrund niemals eintreten darf, so ist es demnach auch nicht statthaft, ξ gröÙer als $\pm \frac{b}{6}$ werden zu lassen; es darf demnach der Druck D niemals auÙerhalb des mittleren Basis-Drittels wirken.

Nur bei nicht pressbarem (felsigem) Baugrund ist es unschädlich, wenn die Druckrichtung nicht durch den Schwerpunkt der Fundament-Basis geht; allein auch in diesem Falle dürfen gewisse Grenzen nicht überschritten werden, die bei rechteckiger Basis-Gestalt, wie eben gezeigt, durch das mittlere Basis-Drittel, bei beliebiger Form der Fundament-Basis durch die Bedingung gegeben sind, dass an keiner Stelle derselben Zugspannungen auftreten sollen. Man hat diesen Grenzen um so ferner zu bleiben, je weniger widerstandsfähig der Baugrund ist.

3) Die Fundament-Basis soll so groß sein, dass die in irgend einem Punkte derselben vorkommende gröÙste Normalpressung die zulässige Druckbeanspruchung des Baugrundes nicht überschreitet. Ueber das Maß der letzteren und die sonstigen hierbei maßgebenden Factoren wird noch die Rede sein.

b) Sicherheit gegen Einfinken.

Das Einfinken oder »Setzen« des Fundamentes kann entweder in einer lothrecht niedergehenden Bewegung oder in einer Drehung desselben bestehen. Die letztere ist meist eine Bewegung nach abwärts; indess kann ausnahmsweise auch ein theilweises Abheben des Fundamentes von der Bauföhle stattfinden.

Fig. 624.

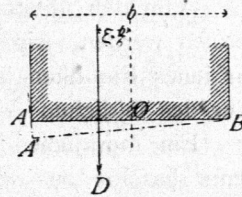
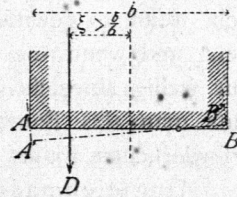


Fig. 625.



Das Einsinken des Fundamentes kann eintreten:

- 1) in Folge der Zusammenpressung des Baugrundes ¹⁵⁰⁾,
- 2) in Folge seitlichen Ausweichens des Baugrundes ¹⁵¹⁾,
- 3) in Folge des Einflusses des Wassers und
- 4) in Folge anderweitiger äusserer Einflüsse.

Von den Mifsständen, die durch Wasser und andere äussere Einflüsse hervorgerufen werden, wird noch später (unter d) die Rede sein; hier wird hauptsächlich nur jenes Einsinken in Betracht gezogen, welches in Folge der Zusammenpressung oder des seitlichen Ausweichens des Baugrundes eintritt.

358.
Zusammen-
pressen
des
Baugrundes.

Ein merkliches Zusammenpressen des Baugrundes wird nur dann ausbleiben, wenn derselbe aus vollständig widerstandsfähigem Felsen besteht. Bei jeder pressbaren Bodenart wird eine Compression des Baugrundes eintreten, und zwar wird die Grösse derselben vom Mafse seiner Pressbarkeit und von der Grösse des vom Bauwerk ausgeübten Druckes abhängen. Je weicher die Bodenart ist, worauf fundirt werden soll, und je grösser der vom Bauwerk ausgeübte Druck ist, desto mehr wird der Boden zusammengepresst und desto mehr sinkt das Fundament ein.

Aus dem Gefagten geht hervor, dafs in verhältnissmäfsig nur wenigen Fällen ein durch Zusammenpressen des Baugrundes hervorgerufenes Einsinken des Fundamentes vollständig vermieden werden kann. In der That ist dasselbe meist auch unschädlich, wenn es gewisse Grenzen nicht überschreitet, wenn es gleichmäfsig vor sich geht und wenn die herrschende Druckrichtung von der lothrechten gar nicht oder nur wenig abweicht. In einem solchen Falle ist blofs die Vorsicht zu gebrauchen, dafs man das Bauwerk langsam ausführt und das Einsinken desselben abwartet, erforderlichen Falles das Mauerwerk um das Mafse des Einsinkens höher macht.

Ungleichmäfsiges Einsinken des Fundamentes bringt in letzterem Trennungen hervor, da das Mauerwerk nur selten oder nur in geringem Mafse biegender Kräfte

¹⁵⁰⁾ Ueber das Verhalten verschiedener Bodenarten gegen das Eindringen eines festen Körpers stellte *Hagen* Versuche an, indem er Blechcylinder mit ebenen Rändern mit verschiedener Belastung auf die Erde stellte und sowohl die Tiefe des Eindringens, als auch die Art und Weise desselben genau beobachtete, bezw. wie die Umgebung der Eindringstellen sich dabei verhielt.

Hagen erhielt bei diesen Versuchen das bemerkenswerthe Resultat, dafs bei den Sandchüttungen, und zwar sowohl bei den festeren als den loseren, und eben so wohl bei trockenen wie bei feuchten, die Tragfähigkeit nahe dem Quadrate der Einsenkung proportional wird. Bei allen Versuchen im Thonboden dagegen, sei er mit mehr oder weniger Wasser vermischt, ergab sich die Tragfähigkeit oder die Belastung als der ersten Potenz, d. h. als der einfachen Einsenkung proportional. Es zeigte sich ferner der bemerkenswerthe Unterschied, dafs bei den Sandchüttungen die Belastung sofort bis zu der entsprechenden Tiefe einsank und sich nachher nicht mehr rührte, während bei Thonboden die Lasten nach und nach tiefer sanken, bis sie nach etwa 20 bis 30 Minuten ebenfalls keine weitere Bewegung mehr erkennen liefsen.

Trockener, aber fest gestampfter Sand ergab nahezu die doppelte Tragfähigkeit, als lose aufgeschütteter.

Ganz bedeutend vermehrt sich die Tragfähigkeit des Sandes, wenn er in eingeschlossenem Raume in dünnen Lagen und in feuchtem Zustande eingestampft wird, wobei durchfließendes Wasser nur sehr langsam eindringt und nur tropfenweise abfließt. Sie ist alsdann 12- bis 18-mal so grofs, als bei trockenem losem Sande.

¹⁵¹⁾ Ueber die Art und Weise, wie der Boden beim Eindringen einer Last ausweicht, hat *Hagen* bei seinen Versuchen Folgendes bemerkt.

In den lose aufgeschütteten, trockenen Sand dringt die Last ein, ohne dafs irgend eine Erhebung der Oberfläche des Grundes in der Umgebung bemerkbar wird; es bildet sich vielmehr eine kegelförmige Vertiefung um die Eintrittsstelle, woraus hervorgeht, dafs der Sand nur zusammengedrückt und dichter wird, indem die herabgedrückten Sandtheilchen in die Zwischenräume der unteren lockeren Sandchichten eindringen.

Bei dem fest gestampften, feuchten (wenig benetzten) Sande zeigte sich um die Eindringstelle ebenfalls eine Vertiefung, aber in einiger Entfernung schwellt der Boden rings herum stark auf.

Bei allen Thonarten dagegen erhebt sich beim Eindringen der Last die Umgebung bedeutend über die Oberfläche des Bodens, was auch bei Bauten vielfach bemerkt werden kann, indem bei Dammchüttungen durch Wiesen und Stümpfe mit weichem Untergrunde ein Sinken des Damms eintritt, während daneben Erhöhungen des Bodens entstehen, welche oftmals den Damm selbst überragen.

Es folgt daraus, dafs Thonboden sich in mancher Beziehung einer Flüssigkeit ähnlich verhält, und ein auf Thonboden aufgeführtes Bauwerk niemals schwerer sein darf, als die verdrängte Thonmasse selbst, weil nur in diesem Falle eine Sicherheit gegen Versinken des Fundamentes vorhanden ist.

widerstehen kann. Der Zugwiderstand des besten Mauerwerkes beträgt (bei 10-facher Sicherheit nach der Tabelle auf S. 247 in Theil I, Bd. 1 dieses »Handbuches«) 1,8 bis 2,0 kg für 1 qcm; deshalb läßt sich unter Einwirkung bedeutender, auf dem Fundament-Mauerwerk ruhenden Lasten die Verhütung eines Bruches nicht erwarten.

Ein Drehen des Fundamentes, welches, wie in Art. 356 (S. 246) gezeigt wurde, durch excentrische Druckwirkung hervorgebracht werden kann, ist nur bei einigen seltener vorkommenden Bauwerken unschädlich, z. B. bei gewissen Stützmauern etc. In den meisten Fällen wird durch die Drehung ein ungleichmäßiges Setzen der einzelnen Fundamenttheile hervorgerufen und dadurch deren Bestand gefährdet.

359.
Drehung
des
Fundamentes.

Man wird demnach bei Construction und Ausführung der Fundamente das Hauptaugenmerk darauf zu richten haben, daß das Einsinken kein zu großes wird und daß es vor Allem gleichmäÙig geschieht. Wo das letztere nicht erreicht werden kann, muß man darauf bedacht sein, das Maß des Einsinkens möglichst zu reduciren.

360.
GleichmäÙig-
keit und Maß
des
Einsinkens.

Dem Drucke, den das Bauwerk auf den Baugrund ausübt und der die Zusammenpressung des letzteren hervorbringt, wirkt die Reibung zwischen den Außenflächen des Fundamentes und dem dasselbe umgebenden Bodenmaterial entgegen. Bei Hochbauten, die in der am häufigsten vorkommenden Weise, d. i. in einer ausgeschachteten Baugrube fundirt werden, kommt diese Reibung in der Regel gar nicht in Betracht; jedenfalls ist sie im Zeitraum unmittelbar nach Ausführung des Fundamentes nur von sehr geringem Einfluß. Allein bei den fog. versenkten Fundamenten, die ohne Baugrube hergestellt werden, spielt diese Reibung nicht selten eine wichtige Rolle; es kommt bei bedeutender Mächtigkeit der zu Tage liegenden lockeren Bodenschicht fogar vor, daß das Fundament nur vermöge seiner Reibung in dieser Schicht die nöthige Standfestigkeit erhält.

Der Reibungswiderstand, den ein Fundament im Boden erfährt und der von feinem lothrechten Druck abzuziehen ist, ist sehr verschieden. Derselbe hängt von der Form der Fundament-Basis, von der Beschaffenheit der Fundament-Außenfläche, von der Fundirungs-Tiefe und von der Beschaffenheit der betreffenden Bodenschichten ab; er beträgt je nach localen Verhältnissen (nach *Schmoll*) 0,19 bis 0,30 kg für 1 qcm (1900 bis 3000 kg für 1 qm).

Das seitliche Ausweichen des Baugrundes kommt in größerem Maße nur bei ganz weichem Baugrunde vor oder dann, wenn das Bauwerk auf einen Erdabhang zu stehen kommt. Mooriger, schlammiger etc. Boden steigt an allen Seiten einer aufgetragenen Last empor und läßt die letztere immer tiefer einsinken¹⁵²⁾.

361.
Ausweichen
des
Baugrundes.

Um das Einsinken der Fundamente auf ein möglichst geringes Maß zurückzuführen, sind folgende Regeln zu beobachten.

362.
Mittel
gegen das
Einsinken.

1) Man setze das Fundament auf eine möglichst wenig pressbare Bodenschicht.

Das sicherste Verfahren besteht immer darin, daß man das Fundament auf einer vollständig tragfähigen Bodenschicht — sei es unmittelbar oder mit Hilfe einzelner Stützen (Pfeiler, Pfähle, Brunnen etc.) — ausführt. Nur wenn die zu durchsetzende lockere Bodenschicht eine sehr bedeutende Mächtigkeit hat, so daß die Erreichung der tragfähigen Schicht nur sehr schwer oder nur mit sehr großen Kosten möglich ist, sollte es als zulässig erachtet werden, daß die erforderliche Standfestigkeit des Fundamentkörpers durch den Reibungswiderstand, den er in der lockeren Bodenschicht erfährt, erzielt werde.

¹⁵²⁾ Siehe die Fußnote 151.

Mittel, einen möglichst wenig preßbaren Baugrund zu schaffen, sind:

a) Vermehrung der Fundirungs-Tiefe. Erfahrungsgemäß wächst in der Regel die Festigkeit des Bodens mit der Tiefe, zum nicht geringen Theile deshalb, weil der Druck, den eine Schicht von den darüber liegenden Schichten erfährt, um so größer ist, in je größerer Tiefe die betreffende Bodenschicht gelegen ist.

Durch eine größere Gründungstiefe wird auch noch der weitere Vortheil erzielt, daß das seitliche Ausweichen des Bodens, welches von einem Emporsteigen desselben herrührt, geringer wird.

Mit Rücksicht auf das in Art. 323 (S. 232) Gesagte ist dieses Mittel nur dann mit Erfolg anzuwenden, wenn die betreffende festere Bodenschicht eine entsprechende Mächtigkeit hat. Bei geringerer Mächtigkeit derselben ist es im Gegentheile angezeigt, sie thunlichst wenig zu schwächen, also die Fundirungs-Tiefe so gering wie möglich anzunehmen.

β) Verbefferung stark preßbarer Bodenschichten. Es wurden bereits im vorhergehenden Kapitel (unter c) die Mittel angegeben, welche zur künstlichen Dichtung eines nachgiebigen Baugrundes, so wie zur Verhinderung des seitlichen Ausweichens lockerer Bodenarten dienen.

2) Man beachte, ob die Tragfähigkeit des Baugrundes auch für die Folge gesichert sei; nöthigenfalls treffe man die erforderlichen Vorkehrungen gegen eine Beeinträchtigung der Tragfähigkeit.

Eine Beeinträchtigung der Bodenfestigkeit kann hauptsächlich durch den Einfluß des Wassers, durch Gleichgewichtstörungen in den tieferen Schichten des Baugrundes und durch anderweitige äußere Einflüsse hervorgerufen werden. Hiervon und von der Art und Weise, wie solchen Einflüssen begegnet werden kann, wird noch unter d die Rede sein.

3) Die Belastung des Baugrundes für die Flächeneinheit soll möglichst klein sein, keinesfalls die größte zulässige Druckbeanspruchung desselben überschreiten.

Im Allgemeinen ist zu beobachten, daß der vom Bauwerk auf den Baugrund ausgeübte Normaldruck nicht über ein Zehntel der Druckfestigkeit der Baugrundmasse betragen soll.

Bei ganz widerstandsfähigem Felsen kann man diesen Normaldruck auf den Baugrund eben so groß als die zulässige Pressung im Fundament-Mauerwerk selbst (7 bis 10 kg für 1 qcm) annehmen; sonst setzt man bei Felsen den größten zulässigen Normaldruck im Mittel zu 5 bis 6 kg für 1 qcm an. Ferner ist bei Gründungen auf Gerölle, so wie auf compactem Thon- und Lehmboden, grobem und fest gelagertem Kies 3,5 bis 4,5 kg, bei Gründungen auf feinkörnigem Kies und festem Sand 3 bis 4 kg für 1 qcm Nutzfläche zu rechnen.

Durch die Berliner Bauordnung vom Jahre 1853 ist die größte zulässige Belastung des dortigen Baugrundes auf 2,5 kg für 1 qcm fest gesetzt; indess ist die Tragfähigkeit desselben eine größere und läßt sich mit Sicherheit auf 3,5 kg bemessen; man ist in Berlin bei Kastengründungen auf scharfem Sande bis zu 5,12 kg für 1 qcm gegangen.

Bei Interimsbauten können die angegebenen größten Pressungen um 40 bis 50 Procent höher angenommen werden; eben so kann man eine Vermehrung um etwa 25 Procent eintreten lassen; wenn die größte Belastung des Baugrundes nur von Zeit zu Zeit, und nicht stofsweise oder mit Erschütterungen verbunden, wirksam ist.

Wenn bei einem projectirten Fundamente die Rechnung, bezw. die statische Untersuchung ergibt, daß die zulässige Belastung des Baugrundes für die Flächeneinheit überschritten ist, oder wenn man, um ein möglichst geringes Einsinken des Fundamentes zu erzielen, die Pressung des Baugrundes auf ein geringeres, als das größte zulässige Maß herabmindern will, so muß man entweder durch Abändern der Gesamtanordnung des betreffenden Gebäudes oder durch entsprechende Vorkehrungen bei Construction und Ausführung des Fundamentes Abhilfe schaffen.

Die hauptsächlichsten Mittel, die Belastung des Baugrundes für die Flächeneinheit zu verringern, sind folgende:

α) Man vertheilt, wenn dies angeht, den vom Bauwerk ausgeübten Druck auf mehrere Punkte und concentrirt ihn nicht an einer einzigen oder an nur wenigen Stellen. So kann man z. B. die Zahl der Stützen, auf denen das Bauwerk ruht, vermehren etc.

β) Man vergrößert die Fundament-Basis. Von dem Einfluss, den die Größe der Fundament-Basis auf die Construction des Fundamentes ausüben kann, war zum Theile schon in Art. 357 (S. 247) die Rede.

Betrachtet man zunächst die bei Hochbauten am häufigsten vorkommenden Fundamente, nämlich die aus Mauerwerk hergestellten, so erhält die Fundament-Basis fast stets einen größeren Flächeninhalt, als der zur Basis parallele Querschnitt des aufgehenden Mauerwerkes hat. Es geschieht dies einerseits deshalb, um dem Mauerkörper durch eine größere Basis auch eine größere Standfestigkeit zu verleihen; andererseits darf die Druckbeanspruchung des Baugrundes in der Regel die größte Pressung im Mauerwerk nicht erreichen, und es muß aus diesem Grunde der Druck auf eine größere Fläche vertheilt werden, mit anderen Worten eine Fundament-Verbreiterung eintreten. Derlei Fundament-Verbreiterungen werden nur selten stetig, meistens abtatzweise ausgeführt, wodurch man zur Anordnung der sog. Fundament-Abtätze, Grundbänke oder Bankete (Fig. 626) gelangt.

Durch Anbringung eines, event. auch mehrerer Fundament-Abtätze kann man die Basis in solcher Größe erhalten, daß der dafelbst vorkommende größte Normaldruck die zulässige Pressung des Baugrundes nicht übersteuert. Man kann indess, wenn man das Einsinken des Fundamentes noch weiter verringern will, eine noch beträchtlichere Verbreiterung des Fundamentes, d. i. eine Vermehrung der Zahl der Fundament-Abtätze vornehmen.

In Betreff der Breiten- und Höhenabmessungen der Fundament-Abtätze wird in der Praxis vielfach gefehlt. Die Vertheilung des Normaldruckes von einem kleineren Querschnitt auf einen tiefer gelegenen, größeren Querschnitt findet nämlich nur innerhalb gewisser Grenzen statt, und eine Verbreiterung des Fundamentkörpers ist nur dann von Werth, wenn diese Grenzen eingehalten werden; geht man über dieselben hinaus, so ist die betreffende Mauermaße nicht nur zwecklos, sondern unter Umständen sogar nachtheilig für den Bestand des Fundamentes.

Theoretische Untersuchungen zeigen, daß die Vertheilung des vom Bauwerk ausgeübten Druckes in Form einer nach unten sich erweiternden Pyramide vor sich geht, deren Verjüngungsverhältniß innerhalb der Grenzen 1 : 2 und 1 : 1 gelegen ist. Erfahrungsgemäß soll man das Verhältniß 1 : 1 nur in besonders günstigen Fällen erreichen, während das Verhältniß 1 : 2 unter allen Umständen genügt. Bringt man sonach eine stetige Fundament-Verbreiterung an, so sind die Begrenzungslinien auf Grundlage der eben angeführten Ziffern zu wählen. Werden Fundament-Abtätze angeordnet, so soll die Breite l die Höhe h derselben wenn möglich nicht erreichen; es braucht aber auch die Breite nicht kleiner als die halbe Höhe zu sein (Fig. 626). Fundament-Verbreiterungen, die nach einem größeren als dem angegebenen Verhältniß angeordnet werden, bedingen einerseits eine Mauerwerksverschwendung; andererseits können sie auch schädlich wirken, da sie unter Umständen Trennungen im Fundamentkörper herbeiführen (Fig. 627 u. 628).

Hat man demnach ein Bauwerk (Fig. 629 u. 630), das eine untere Breite b_0 hat und den Normaldruck D auf den Baugrund ausübt, zu fundiren und ist die größte zulässige Pressung des Baugrundes für die Flächeneinheit K , so ist — eine centriche Lage der Druckrichtung D vorausgesetzt — die Breite der Fundament-Basis für die Länge = 1

$$b = \frac{D}{K}.$$

Sobald K kleiner ist, als die zulässige Druckbeanspruchung im Mauerwerk, so ist $b > b_0$. Um die erforderliche Fundament-Breite zu erhalten, fängt man mit der Anordnung der Fundament-Abtätze möglichst hoch oben (bei Bauwerken ohne unterirdische Räume nahe an der Erdoberfläche, sonst etwa in der Höhe der Kellerfohle) an. Ist die in Aussicht genommene Fundirungs-Tiefe t nicht zu klein und der

Fig. 626.

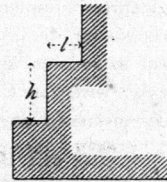


Fig. 627.

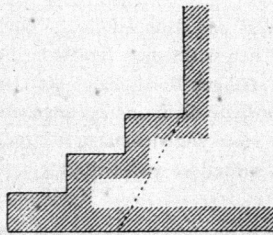


Fig. 628.

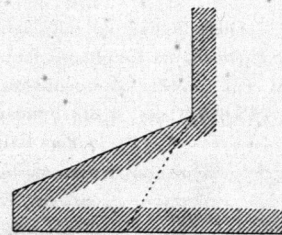


Fig. 629.

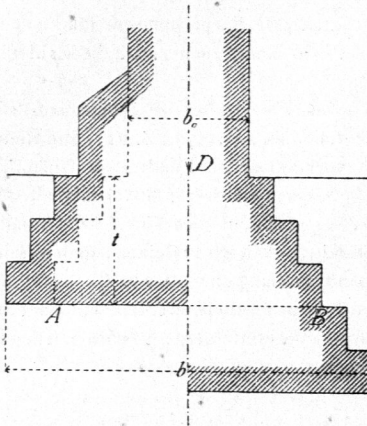
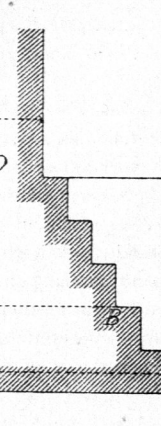


Fig. 630.



Druck D nicht besonders groß, so wird man den beabsichtigten Zweck ohne Weiteres erreichen. Bei größerer Belastung jedoch oder, wenn die tragfähige Schicht schon in geringer Tiefe zu finden ist, kann man auf diesem Wege allerdings zu einer zu geringen Basis-Breite $AB (< b)$ gelangen. Ist nun ein Ueberfahren einer gewissen Fundirungs-Tiefe t nicht zulässig oder nicht wünschenswerth, so kann man zwar die Fundament-Breite in derselben Tiefe auf das erforderliche Maß vergrößern, muß aber alsdann auch eine entsprechende Verbreiterung des aufgehenden Mauerwerkes vornehmen (Fig. 629). Ist es dagegen vorzuziehen, die Fundirungs-Tiefe zu vergrößern, so legt man die Fundament-Basis in solche Tiefe, daß man bei zweckmäßiger Gestaltung der Fundament-Abätze die erforderliche Breite b erzielt (Fig. 630).

Die Vergrößerung der Fundament-Basis wird nicht immer durch unmittelbare Verbreiterung des Fundament-Mauerwerkes vorgenommen; dazu dienen auch Sand- und Steinschüttungen, Beton-Schichten und Schwellroste.

γ) Man wendet fog. Erdbogen (siehe Abchn. 2, Kap. 2, b, 1) und umgekehrte Gewölbe (siehe ebendaf., Kap. 2, a) an.

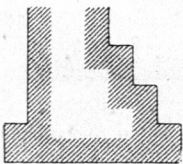
δ) Man vergrößert die Fundirungs-Tiefe. Es wurde früher (unter β) gezeigt, wie durch eine vermehrte Gründungstiefe eine Vergrößerung der Fundament-Basis und dadurch eine Verringerung des Druckes für die Flächeneinheit erreicht werden kann. Indes ist eine Vermehrung der Fundirungs-Tiefe noch in anderer Weise wirksam, da hierdurch der vom Erdreich auf den Fundamentkörper ausgeübte Druck größer wird; in Folge dessen ist auch der Reibungswiderstand ein größerer, und der Normaldruck, den das Fundament auf den Baugrund zu übertragen hat, wird geringer.

Um ein möglichst gleichmäßiges Einsinken des Fundamentes zu erzielen, beobachte man folgende Regeln:

1) Ist der Baugrund gleichartig und die Belastung eine überall gleiche, so gebe man der Fundament-Basis eine solche Gestalt, daß sich der Normaldruck gleichmäßig über dieselbe vertheilt. Es wurde bereits in Art. 356. (S. 246) gezeigt, daß die Basis alsdann so geformt werden muß, daß die Resultante aus sämtlichen dafelbst wirkenden Kräften durch den Basis-Schwerpunkt hindurchgeht.

Diese Bedingung läßt sich indes nur dann erfüllen, wenn die Druckrichtung eine unveränderliche ist. Wenn jedoch die Resultante sämtlicher wirkenden Kräfte in Folge von Wind- und Schneedruck, in Folge wechselnder zufälligen Belastungen etc. eine veränderliche Richtung hat, so läßt sich die Fundament-Basis nicht in der angegebenen Weise anordnen, und es wird in gewissen Fällen eine ungleichmäßige Druckvertheilung eintreten. Dieser Uebelstand wird dann am wenigsten nachtheilig sein, wenn man die Fundament-Basis so gestaltet, daß ihr Schwerpunkt von jener Resultanten getroffen wird, die den größten Normaldruck ergiebt.

Fig. 631.



Das Bestreben, den Druck thunlichst gleichmäßig auf die Fundament-Basis zu vertheilen, kann auch zu unsymmetrischer Anordnung von Fundament-Abätzen (Fig. 631) führen, indem man an jener Seite eine größere Zahl derselben anbringt, an der die ursprünglich excentrische Druckrichtung dies erfordert.

2) Ist der Baugrund zwar gleichartig, die Belastung dagegen an verschiedenen Stellen des Bauwerkes eine verschiedene, so muß man durch ungleichartige Anordnung und Construction der einzelnen Fundamenttheile eine thunlichst gleichmäßige Beanspruchung des Baugrundes zu erzielen trachten. Wo die Belastung eine größere ist, verbreitert man die Fundament-Basis oder vergrößert die Gründungstiefe¹⁵³⁾;

¹⁵³⁾ Für die Gründung des Reichstagshauses in Berlin war, nach Maßgabe der im Herbst 1883 vorgenommenen Bohrungen, bestimmt, daß die Sohlen der minder belasteten Theile auf +31,2 bis +31,8^m über Normal-Null, diejenige der 4 Eckthürme und der Kuppel auf +30,0^m über Normal-Null anzulegen seien.

oder aber man concentrirt in den weniger belasteten Theilen des Bauwerkes den Normaldruck an einzelnen Stellen, ordne Erdbogen an etc.

Man kann auch durch die Gesamtanlage eines Gebäudes das ungleichmäßige Setzen desselben vermeiden, wenn man beachtet, wie sich die Lasten auf ihre Unterstützungen vertheilen. So z. B. haben Mittelwände und einzelne Freistützen im Inneren der Gebäude häufig einen wesentlich größeren Druck aufzunehmen und auf den Baugrund zu übertragen, als die Außenwände. Man kann unter Umständen durch eine anderweitige Grundrissanordnung eine gleichmäßigere Vertheilung der Lasten erzielen.

3) Ist der Baugrund nicht gleichartig, so muß man gleichfalls durch verschiedene Anordnung und Construction der einzelnen Fundamenttheile die sonst unausbleiblichen schädlichen Einsenkungen desselben verhüten.

Ein ungleichartiger Baugrund bringt am leichtesten ungleichmäßige Senkungen im Fundamentkörper hervor. Diefelben bewirken, daß die an der Basis gelegenen Fundamenttheile auf Biegung beansprucht werden; gewöhnliches Fundament-Mauerwerk widersteht biegenden Kräften nur wenig; selbst größere Fundament-Quader brechen erfahrungsgemäß unter dem Einfluß solcher Kräfte. Ein Zerreißen und Zerbrechen des Fundamentes ist sonach häufig die Folge ungleichmäßiger Setzungen.

Um die letzteren zu vermeiden, können je nach örtlichen Verhältnissen hauptsächlich dreierlei Mittel in Anwendung kommen:

α) An jenen Stellen, wo der Baugrund nachgiebiger ist, trachtet man durch Fundament-Verbreiterung oder durch Vergrößerung der Fundirungs-Tiefe den Druck für die Flächeneinheit um so viel zu reduciren, daß die Preßung des ungleichartigen Baugrundes an allen Punkten nahezu dieselbe ist.

β) Man wählt eine Fundament-Construction, welche biegenden Kräften besser zu widerstehen geeignet ist, als Mauerwerk, wie: Sandschüttungen, Betonlagen und Schwellroste.

γ) Bei größeren Gebäuden wendet man in den einzelnen Theilen, der verschiedenen Beschaffenheit des Baugrundes entsprechend, auch verschiedene Gründungs-Constructionen an. Die verschieden fundirten Gebäudetheile werden alsdann am besten stumpf an einander gestossen, damit die vorkommenden ungleichmäßigen Senkungen in den einzelnen Theilen unabhängig von einander eintreten können und keine schädlichen Trennungen im Mauerwerk hervorbringen. Erst wenn das Setzen stattgefunden hat, findet ein entsprechender Höhenausgleich und eine Vereinigung der einzelnen Theile statt.

Beispiele. α) Für die Fundirung der Universitäts-Institute an der Dorotheen-Straße in Berlin ergaben sorgfältige Bodenuntersuchungen, daß einst ein Wasserlauf der Spree das Grundstück von Südost nach Nordwest durchzogen haben mußte. Der tragfähige Baugrund fällt von 2,5 m unter Terrain in der neuen Wilhelm-Straße Anfangs allmählich, dann aber sehr rasch bis zu einer Tiefe von 20 m; in gleicher Weise senkt sich der tragfähige Sand von der Dorotheen-Straße nach dem Ufer der Spree hin.

Diesen Verschiedenheiten entsprechend wurden folgende Fundirungs Arten in Anwendung gebracht: mittlerer Theil des Mittelbaues vom physiologischen Institut — gemauertes Fundament in einer Tiefe von 1 m unter Grundwasser, ausgeführt bei Wassererschöpfen; übrige Theile des Mittelbaues und der südliche Flügel des physiologischen Institutes — Boden unter Wasser ausgebagert, dann betonirt und das Wasser ausgepumpt; nördlicher Theil des Ostflügels und die um das große Auditorium nordöstlich und östlich gruppirten Bautheile — hölzerne Senkröhren; übriger Theil der Baualanage — Pfahlrost (mit Pfählen bis 16 m Länge); Präcisions-Arbeitsitze — Senkbrunnen¹⁵⁴⁾.

β) Auch beim Bau des neuen Reichstagshauses in Berlin wurden in den einzelnen Theilen, der verschiedenartigen Beschaffenheit des Baugrundes und den verschiedenen Belastungen der einzelnen Gebäudetheile entsprechend, verschiedene Gründungs-methoden in Anwendung gebracht, und zwar: gewöhnliche gemauerte Fundamente, Fundament-Mauerwerk mit Gegenbogen, Beton-Gründung und Beton-Pfahlrost¹⁵⁵⁾.

c) Sicherheit gegen seitliches Verschieben.

Das seitliche Verschieben oder das Abgleiten des Fundamentes kann eintreten:

- 1) durch unzweckmäßige Lage der Fundament-Basis,
- 2) durch den Einfluß des Wassers, durch Gleichgewichtstörungen in den oberen Bodenschichten und durch anderweitige äußere Einflüsse.

An dieser Stelle wird nur von dem unter 1 angeführten Factor die Rede sein.

¹⁵⁴⁾ Näheres hierüber: KLEINWÄCHTER. Die Fundirung der Universitäts-Institute in Berlin. Centralbl. d. Bauverw.

1881, S. 359.

¹⁵⁵⁾ Näheres hierüber: Der Bau des Reichstagshauses in Berlin. Centralbl. d. Bauverw. 1885, S. 25.

Damit eine feitliche Verfchiebung des Fundamentes nicht eintrete, find folgende Regeln zu beobachten:

1) Man lege die Fundament-Basis normal zur herrschenden Druckrichtung. Von diefer Lage der Fundament-Basis, die man auch die theoretifche nennen kann, wurde schon in Art. 355 (S. 245) gefprochen.

Wenn ein Bauwerk oder ein bestimmter Constructionstheil deffelben nur lothrechte Lasten zu tragen hat, fo ift auch auf den Baugrund nur ein lothrechter Druck zu übertragen, und die Fundament-Basis wird vorthheilhafter Weife wagrecht gelegt. Treten jedoch noch feitliche Schübe, wie Erddruck, Gewölbfchub, Winddruck etc. hinzu, fo nimmt die Refultante aus fämmtlichen auf die Fundament-Basis wirkenden Kräften eine von der lothrechten abweichende Richtung an. Sind nun lothrechte und wagrechte Kräfte unveränderlich, fo ift auch die Refultante unveränderlich, und man kann dem feitlichen Verfchieben des Fundamentes dadurch vorbeugen, dafs man die Basis winkelrecht zur Richtung der Refultanten anordnet oder doch nur wenig (vergl. Art. 355, S. 245) von diefer Lage abweicht.

Dies fetzt voraus, dafs man es bei Construction und Ausführung des Fundamentes in der Hand hat, unter Aufwendung verhältnifsmäfsig geringer Kosten der Basis eine beliebige Lage zu geben.

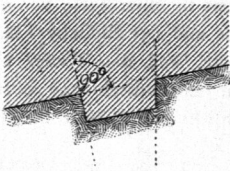
Bisweilen find die Kräfte, namentlich die wagrechten Kräfte, die ein Bauwerk, bezw. einen Constructionstheil beanfpruchen, veränderlich (Winddruck, feitliche Schübe, die von zufälligen Lasten herrühren etc.); alsdann hat auch die auf die Fundament-Basis wirksame Refultante eine variable Richtung. Erreichen die Differenzen die Gröfse des Reibungswinkels nicht, fo wird man eine zweckentsprechende Anordnung erhalten, wenn man die Basis winkelrecht zur mittleren Druckrichtung legt. Sind die Schwankungen gröfsere, fo wird man zwar der Fundament-Basis eine ähnliche Lage geben, wird aber dem feitlichen Verfchieben durch andere Vorkehrungen vorbeugen.

2) Ift es aus irgend welchen Gründen nicht zuläffig oder nicht wünschenswerth, von einer bestimmten, den herrschenden Druckverhältniffen nicht entfprechenden Lage der Fundament-Basis abzuweichen, fo mufs man durch anderweitige Vorkehrungen ein Abgleiten des Fundamentes verhüten.

Derlei Vorkehrungen find:

α) Man vermehrt das Gewicht des zu fundirenden Bauwerkes. Hierdurch wird die Refultante in günftigem Sinne abgelenkt, die zur Fundament-Basis winkelrechte Componente wird gröfser, fonach die Reibung vermehrt.

Fig. 632.



β) Man vermehrt in anderer Weife die Reibung des Fundamentes auf dem Baugrund. Es kann dies durch hervortretende Schwellen und Pfähle gefchehen oder dadurch, dafs man das Fundament-Mauerwerk zahnförmig (Fig. 632) in den Baugrund eingreifen läßt.

Solche Fundament-Zähne follten nicht unter 30 cm, better nicht unter 50 cm Tiefe und nicht unter 60 cm, better nicht unter 1 m Länge haben.

γ) Man vergrößert die Fundirungs-Tiefe. Hierdurch wird einerfeits gleichfalls in dem schon unter α gedachten Sinne das Gewicht des Bauwerkes vermehrt; andererseits wirkt der Erdkörper, welcher vor der herrschenden

Druckrichtung gelegen ift, durch den fog. paffiven Erddruck gegen das Abgleiten des Fundamentkörpers¹⁵⁶⁾.

δ) Man bringt an der am tiefsten gelegenen Stelle des Bauwerkes einen fo grofsen Mauerkörper an, dafs diefer durch feine Maffe allein das Abgleiten des Fundamentes zu verhüten im Stande ift.

ε) Wenn ein lang geftrecktes Fundament im Wefentlichen nur lothrechte Drücke zu übertragen hat und wenn daffelbe auf einem zwar widerstandsfähigen, jedoch ftark geneigten Baugrund *MN* (Fig. 633) herzustellen ift, fo würde ein unmittelbares Auffetzen des Fundament-Mauerwerkes auf die ftark abfallende Boden-

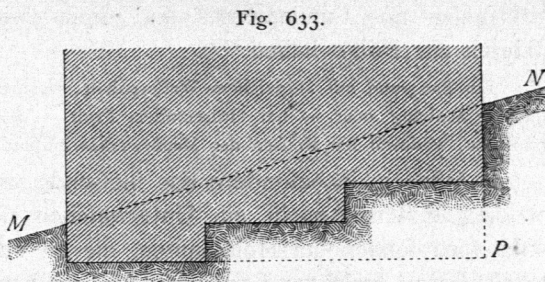
¹⁵⁶⁾ Nach *Ott's* Baumechanik (I. Theil, 2. Aufl. Prag 1877) läßt fich die in diefem Falle erforderliche Fundirungstiefe *t* berechnen aus der Gleichung

$$t = \frac{1,414}{f + \sqrt{1 + f^2}} \sqrt{\frac{2H - (G + 2V)f}{\gamma}}$$

worin *G* das Eigengewicht des Fundament- und des darüber aufgeführten aufgehenden Mauerwerkes, *V* die Refultante der fonft wirksamen lothrechten Kräfte, *H* die Refultante aus den das Bauwerk angreifenden Horizontalkräften, γ das Gewicht der Volumeinheit Bodenmaterial und *f* den Reibungs-Coefficienten des letzteren bezeichnet. Bei naftem Erdreich ift der kleinfte Werth von *f* = 0,3 einzuführen; der gröfste Werth ift zu 0,65 anzunehmen.

fläche ein Abgleiten desselben zur Folge haben. Wollte man andererseits eine stetig fortlaufende Basis MP , welche den theoretischen Anforderungen entspricht, zur Ausführung bringen, so wird das Volum des Fundamentkörpers wesentlich vermehrt, der letztere also vertheuert, und auch die Aushebung der Fundament-Grube wird kostspieliger, letzteres namentlich dann, wenn der Baugrund felsig ist.

In einem solchen Falle treppe man das Terrain ab, und zwar derart, daß die Begrenzungen der einzelnen Stufen normal, bezw. parallel zur herrschenden Druckrichtung gelegen sind. Haben die einzelnen Stufen eine grössere Länge und ist das zu fundirende Bauwerk stark belastet, so ist über jeder Stufe stehende Mauerkörper unabhängig von den benachbarten auszuführen. Würde die Mauerung im Verbinde geschehen, so würde das den verschiedenen Höhen entsprechende, ungleichmäßige Setzen Trennungen im Mauerwerk hervorrufen. (Vergl. auch Art. 364, S. 243.)



d) Sicherheit gegen äußere Einflüsse.

Äußere Einflüsse, welche den Bestand der Fundamente gefährden können und die in Folge dessen für deren Construction und Ausführung maßgebend sind, rühren zumeist vom Wasser, von Gleichgewichtstörungen in den oberen Bodenschichten und von Gleichgewichtstörungen, welche in den tieferen Bodenschichten durch unterirdische Baue hervorgerufen werden, her.

1) Einfluss des Waffers. Derselbe macht sich in mehrfacher Weise geltend:

α) Die natürliche Bodenfeuchtigkeit wird im Winter dadurch schädlich, daß der Frost den Baugrund auflockert und denselben nachgiebiger macht. Nur wenige, vollkommen frostbeständige Felsarten widerstehen diesem Einfluss.

β) Das Grundwasser steigt im Fundament-Mauerwerk, event. auch im aufgehenden Mauerwerk empor, veranlaßt den feuchten Zustand der Wände und der von denselben umschlossenen Räume. Constructions-Materialien, welche der Feuchtigkeit nicht genügend widerstehen können, werden angegriffen, wodurch der Bestand des Bauwerkes gefährdet werden kann. Kohlensäurehaltiges Wasser, eben so feuchter Boden, der organische, in Verwesung begriffene Stoffe enthält, wirken besonders zerstörend auf das Mauerwerk ein. Unter Umständen tritt das Grundwasser auch in die unterirdischen Räume der Gebäude — seitlich oder durch die Kellerfohle — ein. (Siehe auch Art. 329, S. 234.)

γ) Quellen und sonstige Wasseradern, welche den Baugrund durchsetzen, führen eine Erweichung desselben mit sich; in Folge dessen tritt eine Senkung des Fundamentes ein.

In geschichteten, sonst widerstandsfähigen Felsarten können Wasseradern auch dann einen schädlichen Einfluss ausüben, wenn sie von geneigten Thon- oder Lehmschichten durchsetzt sind. Die letzteren werden durch das Wasser schlüpfrig, und es kann im Laufe der Zeit ein Abrutschen des Fundamentes eintreten¹⁵⁷⁾.

Quellen und anderes den Boden durchfließendes Wasser¹⁵⁸⁾ können auch ein

366.
Einfluss
des
Waffers.

¹⁵⁷⁾ Bei den Bergstürzungen zu Caub (1876), wo die Gebirgs-Formation aus Thonschiefer mit eingelagerten Dachschieferflötzen besteht, war die auf der nordwestlichen Seite zu Tage tretende Lettenschicht durch die vorhergehenden anhaltenden Regengüsse wie mit Seife geschmiert und hatte den Fels- und Schuttmassen als Rutschfläche gedient. (Vergl. Deutsche Bauz. 1876, S. 291.)

¹⁵⁸⁾ Hierzu gehört auch das Wasser, welches aus Flufs- und Strombetten in die Uferwandungen sickert, was namentlich bei Hochwasser eintritt und auf den Bestand von auf den Ufern errichteten Bauwerken zerstörend wirken kann.

Mehrere der alt-ägyptischen Denkmalbauten, wie z. B. der Palaß von Karnak, die meisten Monumente Thebens etc.

Unterfpülen des Fundamentes und dieses wieder eine beträchtliche Senkung des letzteren zur Folge haben ¹⁵⁹⁾.

Ein Baugrund mit ungleichem Wassergehalt, welcher nicht gleichmäfsig entwässert wird, kann eine ungleiche Senkung oder — bei eintretendem Frost — selbst eine ungleiche Hebung von Gebäudetheilen veranlassen, wodurch ein Reißen des Mauerwerkes eintritt ¹⁶⁰⁾.

δ) Offenes, insbesondere das fließende und das wellenschlagende Wasser können bei fortgesetztem Angriff ein Unterwaschen des Fundamentes herbeiführen. Dieser Punkt wird ferner bei Hochbauten, die an und in Teichen, Seen, Flüssen, oder am Meeresufer zu errichten sind, besonders zu berücksichtigen sein.

ε) Bisweilen ist auch der vom Wasser erzeugte Auftrieb für Construction und Ausführung der Fundamente von Einfluss. Kommt ein Bauwerk unmittelbar auf Felsen oder auf eine sonstige wasserundurchlässige Bodenart zu stehen, so ist ein Auftrieb nicht vorhanden. Wenn jedoch das betreffende Bodenmaterial vom Wasser durchzogen wird, ist in vielen Fällen der Auftrieb in Betracht zu ziehen.

Diesen verschiedenartigen nachtheiligen Einflüssen des unter- und oberirdischen Wassers muss in geeigneter Weise begegnet werden. Es sind in dieser Beziehung nachstehende Regeln zu beobachten.

Ad α). Die Fundament-Basis ist in frostoffreie Tiefe zu legen. In unseren Klimaten dringt der Frost meist nur in eine Tiefe von 0,8 bis 1 m ein; deshalb ist mindestens eine Fundirungs-Tiefe von 1 bis 1,25 m zu wählen.

Bei allen wichtigeren Bauwerken ist die grössere der beiden angegebenen Grenzziffern zu verwenden; nur bei Nebengebäuden, bei Einfriedigungen etc. kann man eine geringere Gründungstiefe wählen. Bei vollkommen frostoffbeständigem Felsen kann man auch unter 1 m Tiefe gehen.

Ad β). Dem schädlichen Einfluss des Grundwassers muss durch entsprechende Dichtungs- und Entwässerungs-Anlagen, so wie durch Wahl geeigneter Constructionsmaterialien vorgebeugt werden.

Damit das Grundwasser im Mauerwerk nicht emporsteige, bringe man fog. Isolirschichten an, von denen noch im nächsten Bande dieses »Handbuches« (Abth. III, Abfchn. 1, A, Kap.: Schutz gegen Feuchtigkeit und Witterungseinflüsse) die Rede sein wird.

Das Fundament-Mauerwerk soll ferner möglichst wasserdicht nach den Seiten hin abschliessen, damit kein Wasser in die Souterrain-Räume eindringe; es kann dies durch möglichst wasserdichte Mauerung, noch besser durch Anlage von Luftgräben und durch zweckmäfsige Entwässerungs-Anlagen ausserhalb des Fundament-Mauerwerkes erzielt werden. Das Grundwasser darf auch nicht durch die Kellerfohle emporsteigen, was durch Lehm- und Beton-Schichten, durch umgekehrte und entsprechend gedichtete Gewölbe, besser

sind hauptsächlich deshalb in Verfall gerathen, weil ihre ohnedies nicht sehr sorgfältig ausgeführten Fundamente vom Nil-Wasser, welches bei den periodischen Ueberschwemmungen in das Ufergelände einsickert, einen zerstörenden Einfluss erfahren haben.

¹⁵⁹⁾ Die schon in der Fussnote 150 (S. 248) erwähnten Hagen'schen Versuche bezogen sich auch auf den Einfluss, den Wasser auf einige Bodenmaterialien ausübt.

Liefs man in eine Schüttung von trockenem Sande Wasser von unten eintreten und dieses mit einer Druckhöhe wirken, welche sich etwa 3 cm über die Oberfläche erhob, so verlor der Sand alle Festigkeit und quoll stellenweise hoch auf. Liefs man aber das Wasser von oben nach unten durch die Masse fliefsen, so ergab sich eine bedeutend grössere Tragfähigkeit.

Beim Durchlassen von Wasser durch die Sandschicht von unten wird die Tragfähigkeit immer noch etwas grösser, als bei trockenem Sande, der lose aufgeschüttet wird, aber kleiner als bei trockenem, fest gestampftem Sande, in dessen nur so lange, als die Druckhöhe des Wassers sich nicht auf mehr als einige Millimeter über die Oberfläche des Sandes erhebt und die Oberfläche nicht mehr aufpült.

Beim Durchfliefsen des Wassers von oben nach unten wird die Tragfähigkeit 4- bis 5-mal so gross, als bei trockenem, lose aufgeschüttetem Sande.

Die Versuche mit verschiedenen, auch sehr steifen Thonarten ergaben, dass dieselben sich ähnlich wie Flüssigkeiten verhalten, dass die Tragfähigkeit nahe dem Gewichte der verdrängten Thonmasse gleich ist und ein auf Thon gelagertes Gebäude somit eigentlich immer schwimmt. Es scheint sich ferner aus diesen Versuchen zu ergeben, dass für verschiedene drückende Flächen die Einfenkungen den Quadraten dieser Flächen umgekehrt proportional sind.

¹⁶⁰⁾ Als Beispiel kann u. A. ein in Oberhessen erbautes Bahnwärterhaus der Main-Wefer-Bahn angeführt werden, wovon ein Theil durch das in der wasserführenden Bodenschicht gebildete Eis gehoben und dadurch von dem in seiner früheren Lage verbliebenen Theile abgerissen wurde.

durch die oben erwähnten Entwässerungs-Anlagen (vergl. Art. 347 u. ff., S. 243) zu geschehen hat. Auch solche Constructionen werden später noch zu besprechen sein.

Um den zerstörenden Einfluß der Feuchtigkeit auf die Constructionen-Materialien zu verhüten, müssen dieselben in entsprechender Weise gewählt, bezw. in geeigneter Weise verwendet werden. In letzterer Beziehung ist namentlich bei Anwendung von Holz zu beachten, daß dasselbe stets unter Wasser bleibe und nicht dem schädlichen Wechsel von Nässe und Trockenheit ausgesetzt werde. Die Oberkante jeder hölzernen Fundament-Construction soll deshalb mindestens 30, besser 50 bis 75 cm unter dem niedrigsten Grundwasserspiegel gelegen sein. Es ist stets die größere Ziffer, wenn nöthig eine noch tiefere Lage der Holz-Construction zu wählen, wenn die Möglichkeit vorliegt, daß durch Anlage einer städtischen Canalisation, durch Tieferlegung des nächst gelegenen Recipienten etc. eine Senkung des Grundwasserspiegels eintreten könnte.

Ad γ). Ist der Baugrund von Wasseradern durchsetzt, so gehe man entweder mit der Fundament-Basis bis unter die wasserführende Schicht, oder besser man entwässert die letztere in der schon in Art. 347 (S. 243) besprochenen Weise. Sind Quellen vorhanden, so fasse man sie, wie an derselben Stelle gleichfalls schon gesagt wurde, oberhalb des Fundamentes derart ab, daß ihr Abfluß keine Störung erleidet.

Erforderlichen Falles kann auch durch eine Spundwand-Umschließung das seitliche Ausweichen des Baugrundes oder auch ein Auswaschen desselben verhütet werden.

Ad δ). Bei Gründungen am und im stehenden oder fließenden Wasser verhüte man das Unterwaschen des Fundamentes durch eine entsprechend tiefere Gründung, durch Umschließung mit einer Spundwand und durch Steinschüttung.

Wenn man die Fundament-Basis in eine solche Tiefe verlegt, in der das Wasser eine sehr geringe Geschwindigkeit hat, in der es also überhaupt keinen Angriff auf den Boden ausübt, so ist der beabsichtigte Zweck erreicht.

Spundwände (siehe Art. 154 u. ff., S. 109) werden entweder vollständig dicht hergestellt, oder sie umschließen das Fundament in solcher Weise, daß jede nachtheilige Bewegung des Wassers vermieden wird. Beide Anordnungen werden in vielen Fällen genügen. Doch thut man auch hier besser, wenn man mit dem Fundamente in solche Tiefe herabgeht, in welcher das Wasser nur eine geringe Strömung hat; denn die Spundwand schützt zwar den Boden unter dem Fundamente gegen Fortspülung; allein ein seitliches Fortspülen des Bodenmaterials um die Spundwand herum und das dadurch hervorgerufene Ausweichen derselben wird nicht verhütet.

Steinschüttungen müssen aus so großen Steinen gebildet werden, daß sie vom Wasser nicht fortbewegt werden¹⁶¹⁾. Die Steinschüttungen kommen entweder allein oder in Verbindung mit Spundwänden zur Verwendung. Im letzteren Falle haben sie die Standfestigkeit der Spundwände zu erhöhen und das Wegspülen des Bodenmaterials um dieselben herum zu verhüten.

Auch hier müssen hölzerne Constructionstheile des Fundamentes stets unter Wasser sein und deshalb ihre Oberkante mindestens 50 cm unter den bekannten niedrigsten Wasserstand gelegt werden.

Ad ε). Dem vom Wasser erzeugten Auftriebe muß eine solche Masse entgegengesetzt werden, daß sich beide das Gleichgewicht halten. Soll z. B. die Sohle eines Reservoirs oder sonstigen Beckens durch das Grundwasser nicht gehoben werden, so muß der Baukörper, der die Sohle bildet, eine solche Dicke erhalten, daß sein Gewicht mindestens eben so groß ist, als der wirkfame Auftrieb. In gleicher Weise ist zu verfahren, wenn eine Baugrube trocken gelegt und durch einen wasserdichten Baukörper die Wasserzuflutung auf ihrer Sohle verhindert werden soll.

Die Dicke d solcher, dem Auftrieb entgegenwirkenden Baukörper (meist Mauer- und Beton-Schichten) läßt sich aus der Gleichung

$$d = \frac{t}{\gamma}$$

¹⁶¹⁾ Stellt man sich die Steine als Würfel von der Kantenlänge a vor, so muß

$$a > \frac{\gamma}{2\gamma_0 g f} v^2$$

sein, wenn γ das Gewicht der Volumeinheit Wasser, γ_0 das Gewicht der Volumeinheit Stein, v die Geschwindigkeit des Wassers, g die Beschleunigung der Schwere und f den betreffenden Widerstands-Coefficienten bezeichnet. Der Coefficient von v kann im Mittel zu 10 angenommen werden.

berechnen, wenn t die Höhe der drückenden Wasserfülle (die Wassertiefe) und γ das Gewicht der Volumeneinheit des betreffenden Baukörpers bezeichnet. Indes erhält man auf diese Weise stets eine zu große Dicke, weil das Wasser zwischen den Bodentheilen einen Widerstand erfährt und deshalb seine Bewegungsgeschwindigkeit kleiner ist, als jene, welche der wirklichen Druckhöhe entsprechen würde. Bei grobem Kiesboden wird in Folge dessen die nach aufwärts wirkende Kraft auf etwa die Hälfte, bei sandigem Baugrund auf etwa ein Drittel des theoretischen Auftriebes herabgemindert. Meistens wird deshalb schon die Hälfte der nach obiger Formel berechneten Dicke genügen¹⁶²⁾.

Wirken auf ein Bauwerk außer lothrechten auch wagrechte Kräfte, so sind bei Auffuchung der Gesamteresultanten die lothrechten Kräfte um das Maß des Auftriebes zu verringern.

2) Gleichgewichtsförungen in den oberen Bodenschichten. Dieselben können hervorgebracht werden:

α) Durch örtliche Veränderungen, die in den meisten Fällen durch Bodeneinschnitte und sonstige Erdarbeiten entstehen, und ein Abgleiten des Bauwerkes erzeugen können.

β) Durch Wasseransammlung in den tieferen Theilen der Erdrinde; hierdurch wird nicht selten ein Angriff und eine Lösung der zu Tage liegenden Erdschicht hervorgerufen, welche ein Nachsinken höher gelegener Schichten und der darauf gegründeten Bauwerke zur Folge haben kann¹⁶³⁾.

γ) Gleichgewichtsförungen in den tieferen Bodenschichten. Die hier in Frage kommenden Gleichgewichtsförungen sind hauptsächlich diejenigen, welche durch unterirdische Baue, wie Bergwerks- und Wasserstollen, Tunnel etc., so wie durch die damit verbundenen Wasserentziehungen und Einbrüche hervorgebracht werden¹⁶⁴⁾.

Durch solche Einflüsse kann eben so ein Bersten des Fundamentes, wie ein Abgleiten desselben stattfinden.

Um in allen derartigen Fällen die zu errichtenden Gebäude vor einer späteren Gefährdung nach Thunlichkeit zu schützen, muß man Constructionen und Sicherungen ausführen, bei denen auf die Möglichkeit einer später eintretenden Lagenveränderung Rücksicht genommen ist. Allgemeine Regeln lassen sich hierbei nicht aufstellen, da die maßgebenden örtlichen Verhältnisse ungemein verschieden sind. Es läßt sich an dieser Stelle nur allgemein sagen, daß man dem Abgleiten die entsprechenden Massen, dem Bersten des Fundamentes Constructionen entgegenzusetzen muß, die eine größere Zugfestigkeit haben, als Mörtelmauerwerk.

In Theil III, Bd. 6 (Abth. V, Abschn. 1, Kap. 3) wird von der Einwirkung der Bodensenkungen auf Gebäude und den Sicherungen dagegen noch eingehend die Rede sein.

e) Fundirungs-Tiefe.

Es war im Vorhergehenden mehrfach Anlaß, von der Größe der Fundament-Tiefe und von einigen Factoren, welche dieselbe beeinflussen, zu sprechen. Es dürfte

367.

Gleichgewichtsförungen im Baugrund.

368.

Fundirungs-Tiefe.

¹⁶²⁾ Vergl. auch: Wochbl. f. Arch. u. Ing. 1880, S. 85.

¹⁶³⁾ Als Beispiele von Bauwerken, welche durch Gleichgewichtsförungen in den obersten Bodenschichten gelitten haben, können die von den Berggrüben zu Aachen etc. berührten Gebäude genannt werden.

¹⁶⁴⁾ Der unterhöhlte Baugrund in den Kohlenrevieren Rheinlands und Westphalens hat mehrfach schädliche Veränderungen erlitten. Die Stadt Essen steht auf einem Terrain, das der Steinkohlen-Formation angehört, von mehreren Kohlenflözen durchsetzt und von einer Kreidemergelschicht überlagert ist. Durch den Abbau jener Kohlenflöze erfährt die Mergelschicht theils durch Wasserentziehung, theils durch zeitweise Einbrüche örtliche Einsenkungen. Die Gebäude kommen alsdann entweder auf die durch die Einsenkungen gebildeten Mulden oder auf die betreffenden Sattel zu stehen und werden hierbei einer Biegung ausgesetzt, welche ein Reißen der unteren Mauerfchichten und ein Klaffen der Stofsfugen nach unten oder oben zur Folge hat.

indefn nicht überflüssig fein, die hierbei zu beobachtenden Regeln nochmals zusammenzufassen und durch die noch nicht erwähnten Gesichtspunkte zu ergänzen¹⁶⁵⁾.

1) Das Fundament ist, wenn irgend möglich, auf die tragfähige Bodenschicht — sei es direct oder mittels einzelner Stützen (Pfeiler, Pfähle, Brunnen etc.) — zu setzen. Nur im Nothfalle versuche man es, durch die Reibung des Bodenmaterials an den Aufsenflächen des Fundamentes allein die erforderliche Standfestigkeit desselben zu erzielen (vergl. Art. 360, S. 249).

2) Die Fundament-Basis muß in frostfreier Tiefe gelegen sein (vergl. Art. 366, S. 255).

3) Man wähle eine über das geringste zulässige Maß hinausgehende Fundirungstiefe¹⁶⁶⁾, wenn man:

α) eine noch festere Bodenschicht erreichen will (vergl. Art. 362, S. 250);

β) wenn man durch eine größere Fundament-Verbreiterung den vom Fundament zu übertragenden Druck auf eine größere Fläche vertheilen will (vergl. Art. 363, S. 251);

γ) wenn man den Reibungswiderstand zwischen dem Bodenmaterial und den Aufsenflächen des Fundamentes vermehren will (vergl. Art. 363, S. 252);

δ) wenn man ein Abgleiten des Fundamentes durch den Einfluß des fog. passiven Erddruckes verhüten will (vergl. Art. 365, S. 254).

ε) wenn die Sohle der im Gebäude etwa anzulegenden unterirdischen Räume tiefer gelegen ist, als die obere Begrenzung der tragfähigen Bodenschicht, und

ζ) wenn das seitliche Ausweichen und Emporsteigen des Baugrundes verringert werden soll (vergl. Art. 362, S. 250).

4) Man führe das Fundament in eine solche Tiefe hinab, daß es vom schädlichen Einflusse des Wassers bewahrt bleibt (vergl. Art. 366, S. 255).

Von der Fundirungstiefe hängt zum großen Theile die Construction und Ausführung des Fundamentes ab. Für geringere Tiefen werden aufgebaute Fundamente (in ausgeschachteter Baugrube von unten nach oben hergestellt), bei größeren Tiefen verfenkte Fundamente (in den Boden eingetrieben oder mittels Grabe- und Baggararbeit gefenkt) angewendet.

369.
Einfluß
der
Fundirungs-
Tiefe.

f) Gründungsmethoden.

Die Wahl der Gründungsmethode hängt ab:

1) von der Natur des betreffenden Gebäudes und von der Art und Weise, wie dasselbe den Baugrund beansprucht (Eigengewicht des Gebäudes, ruhende und bleibende oder wechselnde und stoßende Belastung, Erschütterungen etc.);

2) von den Ansprüchen an die längere oder kürzere Zeit dauernde Erhaltung des Gebäudes (definitive und Interimsbauten, monumentale Bauwerke, einfachen Zwecken dienende Profanbauten etc.);

3) von der Beschaffenheit des Baugrundes;

4) von dem Vorhandensein von Wasser (ob Grundwasser, offenes fließendes, wellenschlagendes etc. Wasser) und anderen äußeren, den Baugrund beeinflussenden Factoren;

5) von den verfügbaren Baustoffen, maschinellen und sonstigen Hilfsmitteln;

6) von der verfügbaren Bauzeit, und

7) von den Kosten, welche die einzelnen Gründungsmethoden erzeugen.

370.
Wahl
der
Gründungs-
methode.

¹⁶⁵⁾ Diejenigen Regeln und Gesichtspunkte, von denen bereits ausführlicher die Rede war, sind durch kleineren Druck gekennzeichnet.

¹⁶⁶⁾ Vitruv sagt im III. Buche (Kap. 4): Das Erdreich ist bei Tempelbauten nicht nur so tief auszugraben, bis man, wo möglich, festen Boden erreicht, sondern auch noch in die feste Bodenschicht hinein, nach Maßgabe der Größe und Schwere des aufzuführenden Gebäudes.

Unter diesen Factoren sind indess die Beschaffenheit des Baugrundes und der Einfluss des Wassers in erster Reihe leitend bei der Wahl der Gründungsmethode.

371-
Einfluss
des
Baugrundes.

Betreff des Baugrundes ist hierbei entscheidend:

- 1) ob die feste Bodenschicht, worauf das Fundament-Mauerwerk unmittelbar gesetzt werden kann, bereits in geringerer Tiefe sich vorfindet, oder
- 2) ob der tragfähige Baugrund erst in grösserer Tiefe (innerhalb ziemlich weiter Grenzen, 3 bis 15 m) unter der Erdoberfläche zu finden ist, so dass er mittels Pfeilern, Pfählen, Senkbrunnen oder Senkröhren erreichbar ist, oder
- 3) ob die tragfähige Bodenschicht sich in noch grösserer Tiefe befindet, so dass sie mit den eben angedeuteten Mitteln nicht erreicht werden kann.

372-
Einfluss
des
Wassers.

Der Einfluss des Wassers macht sich in negativem oder positivem Sinne geltend, in so fern

- 1) gar kein Wasser vorhanden ist, oder
- 2) Wasser sich zwar vorfindet — sei es Grundwasser oder offenes Wasser (letzteres ein im Hochbauwesen verhältnissmässig sehr feltener Fall) — welches sich aus der Baugrube ausschöpfen lässt, oder
- 3) das vorhandene Wasser nicht ausgeschöpft werden kann.

373-
Gruppierung
und
Eintheilung
der
Fundirungen.

Vereinigt man die angeführten sechs Gesichtspunkte unter einander, so kann man die verschiedenen Gründungsweisen nach Art des neben stehenden Schemas¹⁶⁷⁾ gruppieren.

Für die nachfolgenden Betrachtungen erscheint es am zweckmässigsten, die Grundbauten einzutheilen in¹⁶⁸⁾:

- 1) Aufgebaute Fundamente, welche von unten nach oben hergestellt werden, und
- 2) Verfenkte Fundamente, deren Ausführung von oben nach unten geschieht — sei es, dass sie in den Boden eingetrieben werden, sei es, dass unter dem bereits fertigen Fundamentkörper der schlechte Boden nach und nach weggenommen wird.

374-
Kosten.

Es wurde in Art. 370 gesagt, dass auch die Kosten der Gründungsmethoden bei deren Wahl ausschlaggebend sein können. Man wird, zwei gleich gute Fundament-Constructionen vorausgesetzt, naturgemäss diejenige wählen, welche unter sonst gleichen Verhältnissen, die geringeren Kosten verursacht.

So z. B. wurde bei der Gründung gewisser Theile des neuen Reichstagshauses in Berlin durch eingehende Kostenberechnung die zweckmässigste Methode ermittelt. Es berechnete sich 1 Quadr.-Meter Beton-Gründung unmittelbar auf dem 4,5 bis 5,0 m unter N. W. lagernden festen Kies, zu rund 86 Mark, die Herstellung eines Beton-Pfahlroftes, einschl. der Kosten für die Wasserhaltung zu rund 58 Mark; bei ersterer wäre noch hinzugekommen, dass ein Erdkörper von etwa 2000 qm Grundfläche und 4,5 bis 5,0 m Tiefe im Wasser auszuheben gewesen wäre, was einen bedeutenden Aufwand an Zeit und Geldmitteln erfordert haben würde. Die Gründung mittels Beton-Pfahlroft wurde deshalb vorgezogen¹⁶⁹⁾.

Die Kosten der einen oder anderen Gründungsweise können unter Umständen auch dann ausschlaggebend sein, wenn die verfügbaren Geldmittel sehr beschränkt sind; man wird häufig das billigere Gründungsverfahren wählen, wenn dasselbe auch weniger solide, als ein anderes, leider theureres ist.

Da, wie im vorstehenden Kapitel gezeigt wurde, eine grosse Zahl von Factoren und Einflüssen auf die Construction und Ausführung eines Fundamentes einwirken, da, wie das neben stehende Schema zeigt, auch die Zahl der verschiedenen Gründungs-methoden eine nicht geringe ist; so sind auch die absoluten Kosten der Fundamente sehr verschieden. Leider liegen brauchbare Angaben darüber nur in geringem Masse vor.

¹⁶⁷⁾ Dasselbe ist zum Theile dem im »Deutschen Bauhandbuch« (III. Theil. Berlin 1879. S. 26) von *Franzius* aufgestellten Schema nachgebildet.

¹⁶⁸⁾ Die häufig vorkommende Eintheilung in natürliche und künstliche Fundirung wurde, da sie jeder principiellen Grundlage entbehrt, hier nicht weiter beachtet.

¹⁶⁹⁾ Näheres in: Der Bau des Reichstagshauses in Berlin. Centralbl. d. Bauw. 1885, S. 25.

Bau- grund:	Wasser nicht vorhanden.	Wasser vorhanden als:		Wasser vorhanden, aber nicht aus- zuschöpfen.
		Grundwasser.	offenes Wasser, welches sich ausschöpfen läßt.	
in geringer Tiefe fest.	Unmittelbare Ausführung des Fundament-Mauer- werkes auf dem festen Baugrund.	<ol style="list-style-type: none"> 1) Abgraben der lockern Bodenschicht, Ausschöpfen des Wassers und <ol style="list-style-type: none"> a) Ausführung des voll gemauerten Fundamentes; b) Ausführung einzelner massiv gemauerten Fundament-Pfeiler mit Erdbogen. 2) Schwache Beton-Schicht zur Dichtung der Quellen. 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Herstellung einer wasserfreien Baugrube, Abgraben der lockern Bodenschicht und gemauerten Fundamentes; 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Steinschüttung. 2) Beton-Schicht (durch Verfenken ohne Wassererschöpfen hergestellt).
in erreichbarer Tiefe fest.	Abgraben der lockeren Bodenschichten und <ol style="list-style-type: none"> 1) Ausführung des vollgemauerten Fundamentes; 2) Ausführung einzelner massiv gemauerten Fundament-Pfeiler, ohne oder mit Erdbogen; 3) Beton-Schicht. 	Abgraben der lockeren Bodenschichten bis unter den Grundwasserspiegel und <ol style="list-style-type: none"> a) tief liegender Pfahlrost; b) Beton-Schicht zur Dichtung der Quellen (mit oder ohne Wassererschöpfen). 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Herstellung einer wasserfreien Baugrube und tief liegender Pfahlrost; 2) hoch liegender Pfahlrost; 3) Gründung mittels eiserner Schraubenspähle. 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Hoch liegender Pfahlrost; 2) Baggerung und <ol style="list-style-type: none"> a) Steinschüttung, b) Beton-Verfenkung. 3) Senkbrunnen. 4) Senkröhren.
nicht in erreichbarer Tiefe fest.	<ol style="list-style-type: none"> 1) Verbreiterung des Mauerwerkes; 2) breite Beton-Schicht; 3) trockene Steinpackung; 4) Sandschüttung; 5) umgekehrte Gewölbe. 	Abgraben der lockern Bodenschicht auf angemessene Tiefe, jedenfalls bis unter den niedrigsten Grundwasserspiegel, <ol style="list-style-type: none"> 1) Ausschöpfen des Wassers und <ol style="list-style-type: none"> a) Schwellrost, b) Sandschüttung, c) breite Beton-Lage, d) Pfahlrost oder Pfähle zur Dichtung des Baugrundes, e) umgekehrte Gewölbe, f) Steinpackung; 2) breite Beton-Schicht ohne Wassererschöpfen. 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Herstellung einer wasserfreien Baugrube, Abgraben der lockern Bodenschicht in angemessene Tiefe und 2) Hoch liegender Pfahlrost; 3) Gründung mittels eiserner Schraubenspähle. 	Belastung des Baugrundes um das Fundament herum und <ol style="list-style-type: none"> 1) Senkbrunnen, 2) Senkröhren.
Be- merkungen:	Holz nicht zu verwenden.	Holz unter Wasser zulässig; genaue Arbeit möglich.		Holz unter Wasser zulässig; weniger genaue Arbeit.

In den von *Endell* und *Frommann*, bezw. *Wiethoff*¹⁷⁰⁾ veröffentlichten »Statistischen Nachweisen, betreffend die in den Jahren 1871 bis einschl. 1880 vollendeten und abgerechneten Preussischen Staatsbauten« sind auch die Kosten der »künstlichen Fundierungen« für 1 qm bebaute Grundfläche angegeben. Da indess die Angaben über die Gründungstiefen fehlen, so sind Kostenvergleiche nicht gut anzustellen. Geeigneter hierzu wären Angaben über den Preis für 1 cbm Grundbau (bebaute Grundfläche \times Gründungstiefe), weil die Kosten von der Gründungstiefe in hohem Maße abhängig sind; allerdings kommt der Einfluss der letzteren in der angewandten Fundirungs-Methode einigermaßen zum Ausdruck.

Im Folgenden wird mehrfach Gelegenheit sein, der Kosten der verschiedenen Fundament-Constructions Erwähnung zu thun.

¹⁷⁰⁾ In: Zeitchr. f. Bauw. (Auch als Sonderabdruck erscheinend.)