



UNIVERSITÄTS-  
BIBLIOTHEK  
PADERBORN

# **Konstruktions-Elemente in Stein, Holz und Eisen, Fundamente**

**Marx, Erwin**

**Stuttgart, 1901**

2. Kap. Konstruktionsbedingungen

---

[urn:nbn:de:hbz:466:1-78727](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:466:1-78727)

## 2. Kapitel.

## Konstruktionsbedingungen.

Ein richtig konstruiertes Fundament hat folgende Bedingungen zu erfüllen:

370.  
Bedingungen.

1) Lage, Form und Gröfse der Fundamentbasis müssen den herrschenden Druckverhältnissen entsprechen.

2) Das Fundament muß gegen Einsinken, d. i. gegen Bewegung im lotrechten Sinne gesichert sein.

3) Das Fundament muß gegen seitliches Verschieben oder Abgleiten, d. i. gegen Bewegung im wagrechten Sinne gesichert sein.

4) Das Fundament muß so angeordnet und ausgeführt sein, daß sein Bestand durch äußere Einflüsse nicht gefährdet werden kann; insbesondere darf das Fundament nicht vom Wasser in schädlicher Weise beeinflusst werden.

Zu diesen allgemeinen Bedingungen, denen jedes Fundament zu entsprechen hat, kommen in einzelnen Fällen noch besondere, aus dem Zwecke des betreffenden Bauwerkes entspringende Anforderungen hinzu.

So z. B. wird in Gebäuden, worin feine physikalische, astronomische etc. Beobachtungen vorgenommen werden sollen, die Herstellung vollständig standfester und erschütterungsfreier Arbeitsplätze ein wesentliches Erfordernis sein; liegen solche Gebäude in verkehrsreichen Stadtteilen, so handelt es sich hierbei um die Erreichung eines ganz besonderen Widerstandes gegen die durch den Straßenverkehr hervorgerufenen Erschütterungen<sup>176)</sup>.

## a) Lage, Form und Gröfse der Fundamentbasis.

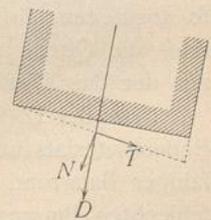
371.  
Lage.

Für die Aufstanzfläche eines Fundaments oder die Fundamentbasis sind die folgenden Konstruktionsregeln maßgebend.

1) Die Fundamentbasis soll winkelrecht auf der Richtung des daselbst herrschenden Druckes liegen, um das Verschieben längs des Untergrundes zu verhüten. Sobald die Basis eine andere Lage hat, so zerlegt sich die Mittelkraft  $D$  (Fig. 663) aus sämtlichen auf die Aufstanzfläche wirkenden Kräften in eine dazu winkelrechte Seitenkraft  $N$  (Normaldruck), welche der Baugrund aufzunehmen hat, und in eine Seitenkraft  $T$  in der Richtung der Basis, welche das Verschieben des Fundaments herbeiführt.

Man kann allerdings innerhalb gewisser Grenzen von dieser theoretischen Lage abweichen, um anderweitigen Verhältnissen und Anforderungen Genüge zu leisten. Theoretisch darf diese Abweichung bis zum Reibungswinkel gehen, der im Mittel mit etwa 25 Grad angenommen werden kann; allein in der Praxis

Fig. 663.



<sup>176)</sup> Bei der Gründung des physikalischen, des physiologischen, des pharmakologischen und des zweiten chemischen Instituts an der Dorotheenstraße in Berlin wurden, auf Grund sorgfältiger Untersuchungen, folgende Konstruktionsbedingungen aufgestellt:  $\alpha$ ) die Fundamente recht tief und mäßig herzustellen und dadurch den Schwerpunkt der Mauern möglichst weit nach unten zu verlegen;  $\beta$ ) so weit als thunlich die Gründung unmittelbar zusammenhängend zu bewirken;  $\gamma$ ) da, wo Senkgründung erforderlich, die Röhren näher als sonst üblich zu stellen und die Pfeilerquerschnitte über das gewöhnliche Maß zu vergrößern;  $\delta$ ) bei Pfahlrostgründungen die Pfähle ohne besondere Rücksicht auf die einzelnen Mauern gleichmäßig und dichter als sonst über die ganze zu bebauende Fläche zu verteilen und in gehöriger Tiefe mit einer durchgehenden Verholmung und starkem Bohlenbelag zu versehen;  $\epsilon$ ) die ganze Gebäudegruppe mit einem 1 m breiten Isoliergraben von der Tiefe der benachbarten Umfassungsmauern zu umziehen;  $\zeta$ ) die Tische für die Präzisionsarbeiten besonders zu gründen und von dem zur Konstruktion der Gebäude gehörigen Mauerwerk etc. zu isolieren. (Näheres hierüber: KLEINWÄCHTER. Die Fundierung der Universitäts-Institute in Berlin. Centralbl. d. Bauverw. 1881, S. 359.)

wird man diese Grenze nicht erreichen dürfen, weil durch Erschütterungen, durch Wasser und durch andere Einflüsse die Reibung wesentlich herabgemindert werden kann. Ein Winkel von 15, höchstens von 18 Grad ist als äußerste praktische Grenze anzunehmen, wenn man dem Abgleiten nicht durch andere, später noch zu besprechende Mittel entgegenwirkt.

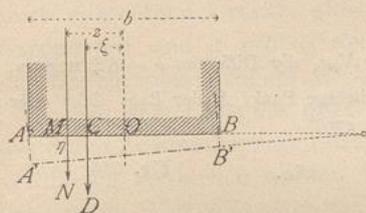
Da die Fundamente der meisten Hochbauten im wesentlichen nur lotrechte Kräfte auf den Baugrund zu übertragen haben, so ist ihre Aufständerfläche meist wagrecht angeordnet. Wenn es sich jedoch um die Gründung von Konstruktionsteilen handelt, welche auch wagrechten Kräften (Schüben) zu widerstehen haben, wie z. B. bei Widerlagern größerer Gewölbe, bei Stützmauern, bei Wänden und Freistützen, welche größere Dächer zu tragen haben etc., so ist die Aufständerfläche winkelrecht zur Richtung der Mittelkraft aus sämtlichen wirkenden Kräften zu legen.

2) Die Fundamentbasis soll so gestaltet sein, daß der daselbst herrschende Druck durch ihren Schwerpunkt geht. Denn nur in diesem Falle wird sich der Druck gleichmäßig über die ganze Aufständerfläche verteilen; gleichartiger, pressbarer Baugrund wird alsdann durchweg um gleich viel zusammengepresst, und das Setzen des Bauwerkes ist ein gleichförmiges.

372-  
Form.

Es sei (Fig. 664)  $AB = b$  die Breite einer Fundamentbasis, welche den Druck  $D$  aufzunehmen hat, der im Abstände  $OC = \xi$  vom Schwerpunkte  $O$  die Basis trifft. Einen gleichartigen pressbaren Baugrund vorausgesetzt, wird das Zusammenpressen des letzteren und das Einfließen des Fundaments derart eintreten, daß die Aufständerfläche  $AB$  deselben in die Lage  $A'B'$  übergeht.

Fig. 664.



In einem beliebigen Punkte  $M$ , der um  $OM = z$  vom Schwerpunkte  $O$  absteht, ist der auf den Baugrund ausgeübte Druck<sup>177)</sup>

$$N = \frac{D}{F} \left( 1 + \frac{F \xi z}{J} \right),$$

sobald  $F$  den Flächeninhalt und  $J$  das Trägheitsmoment der Fundamentbasis bezeichnen.

Setzt man eine rechteckige Form der letzteren voraus, so wird der Schwerpunkt  $O$  in die Mitte zwischen  $A$  und  $B$

fallen; nimmt man ferner die Abmessung winkelrecht zur Bildfläche gleich der Einheit an, so werden  $F = b$  und  $J = \frac{b^3}{12}$ , (s. nach<sup>178)</sup>

$$N = \frac{D}{b} \left( 1 + \frac{12 \xi z}{b^2} \right) = \frac{D (b^2 + 12 \xi z)}{b^3} \dots \dots \dots 279.$$

Der größte Druck  $N_{max}$  findet im Punkte  $A$ , bzw.  $A'$  statt, für welchen  $z$  seinen Höchstwert  $\left( = \frac{b}{2} \right)$  hat; es wird

$$N_{max} = \frac{D}{b} \left( 1 + \frac{6 \xi}{b} \right) = \frac{D (b + 6 \xi)}{b^2} \dots \dots \dots 280.$$

Der kleinste Druck  $N_{min}$  ergibt sich für den Punkt  $B$ , bzw.  $B'$ , für den  $z$  seinen kleinsten Wert  $\left( = -\frac{b}{2} \right)$  hat; es wird<sup>179)</sup>

$$N_{min} = \frac{D}{b} \left( 1 - \frac{6 \xi}{b} \right) = \frac{D (b - 6 \xi)}{b^2} \dots \dots \dots 281.$$

Die Druckverteilung in der Fundamentbasis läßt sich durch die sog. Druckfigur graphisch darstellen, über deren Konstruktion in Teil I, Bd. 1, zweite Hälfte (Art. 320 u. 321, S. 274 u. 275<sup>180)</sup> dieses »Handbuches« das Erforderliche zu finden ist.

Die Größe, um welche sich in einem beliebigen Punkte  $M$  der Baugrund zusammenpresst oder, was das gleiche ist, um welche das Fundament einfließt, sei  $\eta$ ; dieselbe wird dem daselbst herrschenden Drucke  $N$  nahezu proportional sein, also

$$\eta = \mu N.$$

<sup>177)</sup> Nach Gleichung 50, S. 273 (2. Aufl.: Gleichung 69, S. 86; 3. Aufl.: Gleichung 102, S. 112) in Teil I, Bd. 1, zweite Hälfte dieses »Handbuches«.

<sup>178)</sup> Siehe Gleichung 364 (S. 448) ebendaf.

<sup>179)</sup> Siehe auch die Gleichungen auf S. 448 (2. Aufl.: S. 88; 3. Aufl.: S. 114) ebendaf.

<sup>180)</sup> 2. Aufl.: Art. 111 u. 113, S. 86 u. 89; 3. Aufl.: Art. 126 u. 129, S. 112 u. 129.

Da im Punkte  $A$  der Druck am größten, im Punkte  $B$  am kleinsten ist, wird auch  $\eta$  von  $A$  nach  $B$  hin stetig abnehmen. Sonach tritt das Schiefstellen oder das Drehen der Fundamentbasis ein.

Nunmehr sind folgende 3 Fälle zu betrachten:

α) Die Richtung des vom Bauwerk ausgeübten Druckes  $D$  gehe durch den Schwerpunkt  $O$  der Fundamentbasis. Alsdann ist  $\xi = 0$ , und der Druck nach Gleichung 233

$$N_{\phi} = \frac{D}{b}; \dots \dots \dots 282.$$

derfelbe ist sonach unabhängig von  $z$ , somit für alle Punkte der Aufstandfläche der gleiche. Infolgedessen ist auch die Gröfse  $\eta$  unveränderlich, d. h. der Baugrund wird durchweg um gleich viel zusammengepresst; das Fundament sinkt in allen Punkten um gleich viel ein, und es findet kein Drehen, kein Schiefstellen desselben statt.

β) Es sei (Fig. 665)  $\xi = \frac{b}{6}$ ; alsdann wird nach Gleichung 280

$$N_{min} = 0,$$

d. h. es findet im Punkte  $B$  kein Zusammenpressen, keine Einfenkung, sondern blofs Drehen der Basis um diesen Punkt statt. Die Normalpressung an einer beliebigen Stelle derselben beträgt

$$N = \frac{D}{b} \left( 1 + \frac{2z}{b} \right) = \frac{D(b + 2z)}{b^2}, \dots \dots \dots 283.$$

und die größte Pressung im Punkte  $A$ , für welchen  $z = \frac{b}{2}$ , nach Gleichung 280

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

γ) Wird (Fig. 666)  $\xi > \frac{b}{6}$ , so wird im Ausdruck 235 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 279)

$$N = \frac{D(b^2 \pm 12\xi z)}{b^3} \dots \dots \dots 284.$$

ist, wird dieser Druck sich negativ ergeben, so lange

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

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

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

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

Da nun das Abheben des Fundaments vom Baugrund niemals eintreten darf, so ist es demnach auch nicht statthaft,  $\xi$  gröfser als  $\pm \frac{b}{6}$  werden zu lassen; deshalb darf der Druck  $D$  niemals aufserhalb des mittleren Basisdrittels wirken.

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

373.  
Gröfse.

3) Die Fundamentbasis soll so groß sein, dafs die in irgend einem Punkte derselben vorkommende größte Normalpressung die zulässige Druckbeanspruchung des Baugrundes nicht überschreitet. Ueber das Mafs der letzteren und die sonstigen hierbei mafsgebenden Faktoren wird noch (in Art. 379, unter 3) die Rede sein.

Fig. 665.

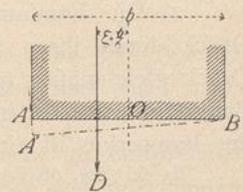
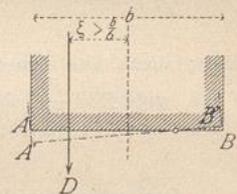


Fig. 666.



## b) Sicherheit gegen Einfallen.

Das Einfallen oder »Setzen« des Fundaments kann entweder in einer lotrecht niedergehenden Bewegung oder in einer Drehung desselben bestehen. Die letztere ist meist eine Bewegung nach abwärts; indes kann ausnahmsweise auch ein teilweises Abheben des Fundaments von der Bauföhle stattfinden.

Das Einfallen des Fundaments kann eintreten:

- 1) infolge des Zusammenpressens des Baugrundes <sup>181)</sup>,
- 2) infolge seitlichen Ausweichens des Baugrundes <sup>182)</sup>,
- 3) infolge des Einflusses des Wassers und
- 4) infolge 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 Einfallen in Betracht gezogen, welches infolge des Zusammenpressens oder des seitlichen Ausweichens des Baugrundes eintritt.

Ein merkliches Zusammenpressen des Baugrundes wird nur dann ausbleiben, wenn derselbe aus vollständig widerstandsfähigem Felsen besteht. Bei jeder pressbaren Bodenart wird eine Kompression des Baugrundes eintreten, und zwar wird die Gröfse derselben vom Mafs seiner Pressbarkeit und von der Gröfse des vom Bauwerk ausgeübten Druckes abhängen. Je weicher die Bodenart ist, worauf gegründet werden soll, und je gröfser 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 verhältnismäfsig nur wenigen Fällen das durch Zusammenpressen des Baugrundes hervorgerufene Einfallen des Fundaments vollständig vermieden werden kann. In der That ist daselbe meist auch unerschädlich, wenn es gewisse Grenzen nicht überschreitet, wenn es gleichmäfsig vor sich geht und wenn die herrschende Druckrichtung von der Lotrechten gar nicht oder

374.  
Zusammen-  
pressen  
des  
Baugrundes.

<sup>181)</sup> 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 bemerkenswerte Ergebnis, dafs bei den Sandschüttungen, und zwar sowohl bei den festeren als den loseren, und ebensowohl bei trockenen wie bei feuchten, die Tragfähigkeit nahe dem Quadrate der Einlenkung 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 Einlenkung proportional. Ferner zeigte sich der bemerkenswerte Unterschied, dafs bei den Sandschüttungen die Belastung sofort bis zur 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 durchfliefsendes Wasser nur sehr langsam eindringt und nur tropfenweise abfliefst. Sie ist alsdann 12- bis 18mal so grofs als bei trockenem losem Sande.

<sup>182)</sup> 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; vielmehr bildet sich eine kegelförmige Vertiefung um die Eintrittsstelle, woraus hervorgeht, dafs der Sand nur zusammengedrückt und dichter wird, indem die herabgedrückten Sandteilchen in die Zwischenräume der unteren lockeren Sandfichten eindringen.

Beim 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 Dammschüttungen durch Wiesen und Sümpfe mit weichem Untergrunde ein Sinken des Damms eintritt, während daneben Erhöhungen des Bodens entstehen, welche oftmals den Damm selbst überragen.

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

nur wenig abweicht. In einem solchen Falle ist bloß die Vorsicht zu gebrauchen, daß man das Bauwerk langsam ausführt und das Einfallen desselben abwartet, erforderlichenfalls das Mauerwerk um das Maß des Einfallens höher macht.

Ungleichmäßiges Einfallen des Fundaments bringt in letzterem Trennungen hervor, da das Mauerwerk nur selten oder nur in geringem Maße biegender Kräfte widerstehen kann. Der Zugwiderstand des besten Mauerwerkes beträgt bei (10-facher Sicherheit nach der Tabelle auf S. 247 in Teil I, Bd. 1, zweite Hälfte dieses »Handbuches«<sup>183)</sup> 1,8 bis 2,0 kg für 1 qcm; deshalb läßt sich unter Einwirkung bedeutender, auf dem Fundamentmauerwerk ruhender Lasten das Verhüten eines Bruches nicht erwarten.

375.  
Drehen  
des  
Fundaments.

Das Drehen des Fundaments, welches, wie in Art. 372 (S. 302) gezeigt wurde, durch schiefe (exzentrische) Druckwirkung hervorgebracht werden kann, ist nur bei einigen seltener vorkommenden Bauwerken unschädlich, z. B. bei gewissen Stützmauern etc. In den meisten Fällen wird durch das Drehen das ungleichmäßige Setzen der einzelnen Fundamenteile hervorgerufen und dadurch ihr Bestand gefährdet.

376.  
Gleichmäßig-  
keit und Maß  
des  
Einfallens.

Man wird demnach bei Konstruktion und Ausführung der Fundamente das Hauptaugenmerk darauf zu richten haben, daß das Einfallen nicht zu groß wird und daß es vor allem gleichmäßig geschieht. Wo letzteres nicht erreicht werden kann, muß man darauf bedacht sein, das Maß des Einfallens möglichst herabzumindern.

Der Reibungswiderstand, den ein Fundament im Boden erfährt und der von seinem lotrechten Druck abzuziehen ist, ist sehr verschieden. Derselbe hängt von der Form der Fundamentbasis, von der Beschaffenheit der Fundamentaufenfläche, von der Gründungstiefe und von der Beschaffenheit der betreffenden Bodenschichten ab; er beträgt je nach örtlichen Verhältnissen (nach *Schmoll*) 0,10 bis 0,30 kg für 1 qcm (1900 bis 3000 kg für 1 qm).

Dem Drucke, den das Bauwerk auf den Baugrund ausübt und der die Zusammenpressung des letzteren hervorbringt, wirkt die Reibung zwischen den Außenflächen des Fundaments und dem daselbe umgebenden Bodenmaterial entgegen. Bei Hochbauten, die in der am häufigsten vorkommenden Weise, d. i. in einer ausgefachteten Baugrube, gegründet werden, kommt diese Reibung in der Regel gar nicht in Betracht; jedenfalls ist sie im Zeitraum unmittelbar nach der Ausführung des Fundaments nur von sehr geringem Einfluß. Allein bei den sog. 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 sogar vor, daß das Fundament nur vermöge seiner Reibung in dieser Schicht die nötige Standfestigkeit erhält.

377.  
Ausweichen  
des  
Baugrundes.

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 aufgebrachten Last empor und läßt die letztere immer tiefer einfallen<sup>184)</sup>.

378.  
Mittel  
gegen das  
Einfallen.

Um das Einfallen der Fundamente auf ein möglichst geringes Maß zurückzuführen, sind die folgenden Regeln zu beobachten.

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, Röhren etc.) — ausführt. Nur wenn die

<sup>183)</sup> 2. Aufl.: S. 53. — 3. Aufl.: S. 64.

<sup>184)</sup> Siehe die Fußnote 182.

zu durchsetzende lockere Bodenschicht eine sehr bedeutende Mächtigkeit hat, so daß das Erreichen 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.

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

α) Vermehrung der Gründungstiefe. Erfahrungsgemäß wächst in der Regel die Festigkeit des Bodens mit der Tiefe, zum nicht geringen Teile 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 noch der weitere Vorteil erzielt, daß das seitliche Ausweichen des Bodens, welches von einem Emporsteigen desselben herrührt, geringer wird.

Mit Rücksicht auf das in Art. 338 (S. 285) Gefagte, ist dieses Mittel nur dann mit Erfolg anzuwenden, wenn die betreffende festere Bodenschicht eine entsprechende Mächtigkeit hat. Bei geringerer Mächtigkeit derselben ist es im Gegenteile angezeigt, sie thunlichst wenig zu schwächen, also die Gründungstiefe so gering wie möglich anzunehmen.

Für die Tragfähigkeit  $T$  einer Bodenschicht stellte Rankine die Formel auf:

$$T = t\gamma \left( \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} \right)^2,$$

worin  $t$  die Gründungstiefe,  $\gamma$  das Gewicht der Raumeinheit Erde und  $\varphi$  den Reibungswinkel der letzteren bezeichnet. Von Jankowski rührt der Ausdruck her:

$$T = 2t\gamma \cdot t g^2 \frac{45 + \varphi}{2} : t g^2 \frac{45 - \varphi}{2}.$$

Aus beiden Gleichungen geht hervor, daß die Tragfähigkeit mit der Gründungstiefe zunimmt<sup>185)</sup>.

β) Verbesserung stark preßbarer Bodenschichten. Bereits im vorhergehenden Kapitel (unter c) wurden die Mittel angegeben, welche zur künstlichen Dichtung eines nachgiebigen Baugrundes, sowie zur Verhinderung des seitlichen Ausweichens lockerer Bodenarten dienen.

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

Die 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 ebenso groß, als die zulässige Pressung im Fundamentmauerwerk 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, sowie auf kompaktem Thon- und Lehm Boden, 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 war die größte zulässige Belastung des dortigen Baugrundes auf 2,5 kg für 1 qcm festgesetzt; indes ist die Tragfähigkeit desselben eine größere und läßt

<sup>185)</sup> Siehe auch: ENGESSER, F. Zur Theorie des Baugrundes. Centralbl. d. Bauverw. 1893, S. 306.  
Handbuch der Architektur. III. 1. (3. Aufl.)

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. — Auf Grund des § 19 der Bau-Polizei-Ordnung für den Stadtkreis Berlin vom 15. Januar 1887 ist die zulässige Beanspruchung »guten Baugrundes« mit 2,5 kg für 1 qcm festgesetzt.

Bei Bauten für vorübergehende Zwecke können die angegebenen grössten Pressungen um 40 bis 50 Vomhundert höher angenommen werden; ebenso kann man eine Vermehrung um etwa 25 Vomhundert 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 entworfenen Fundament die Rechnung, bezw. die statische Untersuchung ergibt, dafs die zulässige Belastung des Baugrundes für die Flächeneinheit überschritten ist, oder wenn man, um ein möglichst geringes Einsinken des Fundaments zu erzielen, die Pressung des Baugrundes auf ein geringeres, als das grösste zulässige Mafs herabmindern will, so mufs man entweder durch Abändern der Gesamtanordnung des betreffenden Gebäudes oder durch entsprechende Vorkehrungen bei Konstruktion und Ausführung des Fundaments Abhilfe schaffen.

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

α) Man verteilt, wenn dies angeht, den vom Bauwerk ausgeübten Druck auf mehrere Punkte und konzentriert 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 vergröfsert die Aufflandfläche des Fundaments. Von dem Einfluss, den die Gröfse der Fundamentbasis auf die Konstruktion des Fundaments ausüben kann, war zum Teile schon in Art. 373 (S. 302) die Rede.

Betrachtet man zunächst die bei Hochbauten am häufigsten vorkommenden Fundamente, nämlich die aus Mauerwerk hergestellten, so erhält die Aufflandfläche fast stets einen grösseren Flächeninhalt, als der zur Basis parallele Querschnitt des aufgehenden Mauerwerkes hat. Dies geschieht einerseits deshalb, um dem Mauerkörper durch die grössere Aufflandfläche auch grössere Standfestigkeit zu verleihen; andererseits darf die Druckbeanspruchung des Baugrundes in der Regel die grösste Pressung im Mauerwerk nicht erreichen, und aus diesem Grunde mufs der Druck auf eine grössere Fläche verteilt werden, mit anderen Worten eine Fundamentverbreiterung eintreten. Derlei Fundamentverbreiterungen werden nur selten stetig, meistens abatzweise ausgeführt, wodurch man zur Anordnung der sog. Fundamentabfätze, Grundbänke oder Bankette (Fig. 667) gelangt.

Durch Anbringen eines, erforderlichenfalls auch mehrerer Fundamentabfätze kann man die Aufflandfläche des Fundaments in solcher Gröfse erhalten, dafs der dafelbst vorkommende grösste Normaldruck die zulässige Pressung des Baugrundes nicht überschreitet. Man kann indes, wenn man das Einsinken des Fundaments noch weiter verringern will, eine noch beträchtlichere Verbreiterung des Fundaments, d. i. eine Vermehrung der Zahl der Fundamentabfätze vornehmen.

Bezüglich der Breiten- und Höhenabmessungen der Fundamentabfätze wird in der Praxis vielfach gefehlt. Die Verteilung 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 Wert, wenn diese Grenzen eingehalten werden; geht man über dieselben hinaus, so ist die betreffende Mauermaffe nicht nur zwecklos, sondern unter Umständen sogar nachteilig für den Bestand des Fundaments.

Theoretische Untersuchungen zeigen, dafs die Verteilung des vom Bauwerk ausgeübten Druckes in Form einer nach unten sich erweiternden Pyramide vor sich geht, deren Verjüngungsverhältnis innerhalb der Grenzen 1 : 2 und 1 : 1 gelegen ist. Erfahrungsgemäfs soll

Fig. 667.

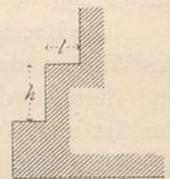


Fig. 668.

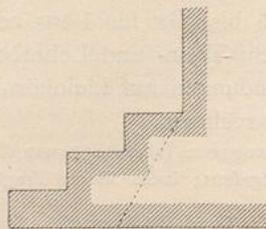
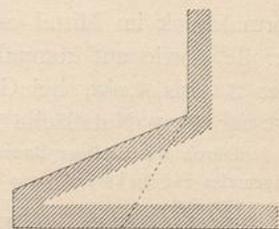


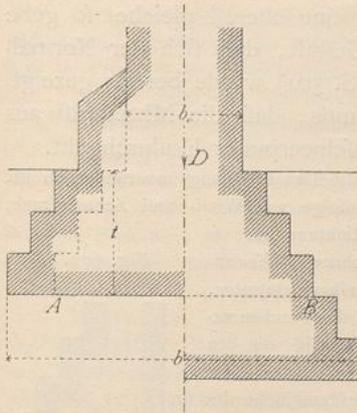
Fig. 669.



man das Verhältnis 1:1 nur in besonders günstigen Fällen erreichen, während das Verhältnis 1:2 unter allen Umständen genügt. Bringt man fonach die stetige Fundamentverbreiterung an, so find die Begrenzungslinien auf Grundlage der eben angeführten Ziffern zu wählen. Werden Fundamentabfätze angeordnet, so soll die Breite  $l$  die Höhe  $h$  derselben wenn möglich nicht erreichen; auch die Breite braucht aber nicht kleiner als die halbe Höhe zu sein (Fig. 667). Fundamentverbreiterungen, die nach einem größeren als dem angegebenen Verhältnis angeordnet werden, bedingen einerseits eine Mauerwerksverschwendung; andererseits können sie auch schädlich wirken, da sie unter Umständen Trennungen im Fundamentkörper herbeiführen (Fig. 668 u. 669<sup>186</sup>).

Fig. 670.

Fig. 671.



Hat man demnach ein Bauwerk (Fig. 670 u. 671), das eine untere Breite  $b_0$  hat und den Normaldruck  $D$  auf den Baugrund ausübt, zu gründen und ist die größte zulässige Pressung des Baugrundes für die Flächeneinheit  $K$ , so ist — eine zentrische Lage der Druckrichtung  $D$  vorausgesetzt — die Breite der Fundamentbasis für die Länge gleich 1

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

Sobald  $K$  kleiner ist als die zulässige Druckbeanspruchung im Mauerwerk, so ist  $b > b_0$ . Um die erforderliche Fundamentbreite zu erhalten, fängt man mit der Anordnung der Fundamentabfätze 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 Gründungstiefe  $t$  nicht zu klein und der 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 Basisbreite  $AB (< b)$  gelangen. Ist nun das Ueberschreiten einer gewissen Gründungstiefe  $t$  nicht zulässig oder nicht wünschenswert, so kann man zwar die Fundamentbreite in derselben Tiefe auf das erforderliche Maß vergrößern, muß aber alsdann auch die entsprechende Verbreiterung des aufgehenden Mauerwerkes vornehmen (Fig. 670). Ist es dagegen vorzuziehen, die Gründungstiefe zu vergrößern, so legt man die Fundamentbasis in solche Tiefe, daß man bei zweckmäßiger Gestaltung der Fundamentabfätze die erforderliche Breite  $b$  erzielt (Fig. 671).

Die Vergrößerung der Fundamentbasis wird nicht immer durch unmittelbare Verbreiterung des Fundamentmauerwerkes vorgenommen; dazu dienen auch Sand- und Steinfüllungen, Betonschichten und Schwellroste.

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

δ) Man vergrößert die Gründungstiefe. Schon früher (unter β) wurde gezeigt, wie durch die vermehrte Gründungstiefe die Vergrößerung der Fundamentbasis und dadurch die Verringerung des Druckes

<sup>186</sup> Francke hat in neuerer Zeit (in: Schweiz. Bauz., Bd. 35, S. 145) wieder solche theoretische Untersuchungen angestellt, auf Grund deren er für die erforderliche Stärke (Mächtigkeit)  $t$  eines Fundamentkörpers zur Formel

$$t = b \sqrt[3]{\frac{12 k b}{7 E}}$$

gelangt, wenn  $2b$  die Breite dieses Fundamentkörpers, über welche sich der vom Bauwerk ausgeübte Druck noch verteilen soll,  $k$  die zulässige Beanspruchung des tragenden Baugrundes für die Einheit der Fläche und der Senkung und  $E$  die Elastizitätsziffer des Materials, aus dem das Fundament hergestellt ist, bezeichnen. Ist  $\omega$  der Winkel, unter dem die Seitenflächen der oben erwähnten Druckverteilungspyramide zur Wagrechten geneigt sind, so ergibt sich für denselben der Ausdruck:

$$\operatorname{tg} \omega = \sqrt[3]{\frac{12 k b}{7 E}};$$

hiernach können die Begrenzungslinien der Fundamentabfätze eingezeichnet werden.

Wenn man den vom Bauwerk ausgeübten Normaldruck wieder mit  $D$ , auch hier zentrische Lage der Druckrichtung vorausgesetzt, bezeichnet, so beträgt der größte Bodendruck in der Mitte

$$\sigma_{\max} = \frac{0,75 D}{b}.$$

Beispiel: Es sei für fest gelagerten Kiesgrund  $k = 14 \text{ kg}$  für  $19 \text{ cm}$ ,  $b = 400 \text{ cm}$  und für Mauerwerk  $E = 21000$ , so ergibt sich  $\operatorname{tg} \omega = 0,74$  und  $t = 296 \text{ cm}$ . Würde statt Mauerwerk *Monier*-Masse mit dem Mittelwert  $E = 66000$  gewählt werden, so würde eine Böschung  $\operatorname{tg} \omega = 0,526$  und eine Fundamentstärke  $t = 210 \text{ cm}$  hinreichend sein. Bei Anwendung von bestem Zementmörtel würde  $E$  auf  $240000$  steigen und dementsprechend  $t$  auf  $137 \text{ cm}$  herabgemindert werden können.

für die Flächeneinheit erreicht werden kann. Indes ist die Vermehrung der Gründungstiefe noch in anderer Weise wirksam, da hierdurch der vom Erdreich auf den Fundamentkörper ausgeübte Druck größer wird; infolgedessen ist auch der Reibungswiderstand größer, und der Normaldruck, den das Fundament auf den Baugrund zu übertragen hat, wird geringer<sup>187)</sup>.

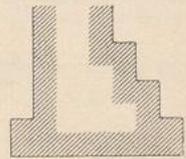
380.  
Gleichmäßiges  
Setzen.

Um das möglichst gleichmäßige Einsinken des Fundaments zu erzielen, beobachte man die folgenden Regeln.

1) Ist der Baugrund gleichartig und die Belastung eine überall gleiche, so gebe man der Aufstandrohfläche des Fundaments eine solche Gestalt, daß sich der Normaldruck gleichmäßig über dieselbe verteilt. In Art. 372 (S. 301) wurde bereits gezeigt, daß die Aufstandrohfläche alsdann so geformt werden muß, daß die Mittelkraft aus sämtlichen dafelbst wirksamen Kräften durch den Basischwerpunkt hindurchgeht.

Diese Bedingung läßt sich indes nur dann erfüllen, wenn die Druckrichtung unveränderlich ist. Wenn jedoch die Mittelkraft aus sämtlichen wirksamen Kräften infolge von Wind- und Schneedruck, infolge wechselnder zufälliger Belastungen etc. eine veränderliche Richtung hat, so läßt sich die Aufstandrohfläche des Fundaments nicht in der angegebenen Weise anordnen, und in gewissen Fällen wird eine ungleichmäßige Druckverteilung eintreten. Dieser Uebelstand wird dann am wenigsten nachteilig sein, wenn man die Fundamentbasis so gestaltet, daß ihr Schwerpunkt von jener Mittelkraft getroffen wird, die den größten Normaldruck ergibt.

Fig. 672.



Das Bestreben, den Druck thunlichst gleichmäßig auf die Aufstandrohfläche des Fundaments zu verteilen, kann auch zu unsymmetrischer Anordnung von Fundamentabfätzen (Fig. 672) führen, indem man an jener Seite eine größere Zahl derselben anbringt, an der die ursprünglich exzentrische Druckrichtung dies erfordert.

2) Ist der Baugrund zwar gleichartig, die Belastung dagegen an verschiedenen Stellen des Bauwerkes verschieden, so muß man durch ungleichartige Anordnung und Konstruktion der einzelnen Fundamenteile die thunlichst gleichmäßige Beanspruchung des Baugrundes zu erzielen trachten. Wo die Belastung größer ist, verbreitert man die Aufstandrohfläche des Fundaments oder vergrößert die Gründungstiefe<sup>188)</sup>, oder aber man konzentriert in den weniger belasteten Teilen 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 verteilen. 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 die gleichmäßigere Verteilung der Lasten erzielen.

Indes findet man bei den hohen Häusern nordamerikanischer Großstädte auch entgegengesetzte Verhältnisse. *Leithof* hat in Chicago beobachtet, daß die Fundamentmauern von im Inneren der hohen Häuser gelegenen Freistützen, welche bloß durch die Deckengewichte mit zusätzlicher Last belastet sind, wegen teilweisen Fehlens der letzteren, in der Regel eine geringere Belastung für die Flächeneinheit erfahren, als die durch das Eigengewicht stark belasteten Fundamentmauern der massiven Frontwandpfeiler. Hieraus erklärt sich die merkliche Neigung der Decken nach der Frontwand hin, die bei Gebäuden früherer Zeit mit 6 bis 9 Geschossen und massiven tragenden Frontwänden nicht selten auftritt<sup>189)</sup>.

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

<sup>187)</sup> Man erieht hieraus, daß man sich die Tragfähigkeit einer Bodenart, wie *Brennecke* sagt, aus drei Teilen zusammengesetzt denken kann: 1) aus der Tragfähigkeit an der Oberfläche, 2) aus der Zunahme der Tragfähigkeit infolge der Belastung durch die darüber lagernden Bodenmassen und 3) aus der Reibung, welche zwischen dem umgebenden Erdreich und den Außenwänden des Fundamentkörpers erzeugt wird. — Siehe auch: *Engels, H.* Untersuchungen über den Seitendruck der Erde auf Fundamentkörper. *Zeitfchr. f. Bauw.* 1896, S. 409.

<sup>188)</sup> Für die Gründung des Reichstagshauses in Berlin war, nach Maßgabe der im Herbst 1883 vorgenommenen Bohrungen, bestimmt, daß die Sohlen der minder belasteten Teile auf + 31,2 bis + 31,3 m über Normal-Null, diejenige der 4 Ecktürme und der Kuppel auf + 30,5 m über Normal-Null anzulegen seien.

<sup>189)</sup> Siehe: *Zeitfchr. f. Bauw.* 1895, S. 223.

Ein ungleichartiger Baugrund bringt am leichtesten ungleichmäßige Senkungen im Fundamentkörper hervor. Diefelben bewirken, daß die an der Basis gelegenen Fundamenteile auf Biegung beansprucht werden; gewöhnliches Fundamentmauerwerk widersteht biegenden Kräften nur wenig; selbst größere Fundamentquader brechen erfahrungsgemäß unter dem Einfluß solcher Kräfte. Das Zerreißen und Zerbrechen des Fundaments ist ferner häufig die Folge ungleichmäßiger Setzungen.

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

a) An jenen Stellen, wo der Baugrund nachgiebiger ist, trachtet man durch Fundamentverbreiterung oder durch Vergrößerung der Gründungstiefe den Druck für die Flächeneinheit um so viel herabzumindern, daß die Pressung des ungleichartigen Baugrundes an allen Punkten nahezu dieselbe ist.

β) Man wählt eine Fundamentkonstruktion, welche biegenden Kräften besser zu widerstehen geeignet ist als Mauerwerk, wie: Sandfüllungen, Betonfichten ohne oder mit Eiseinlagen und Schwellroste.

γ) Bei größeren Gebäuden wendet man in den einzelnen Teilen, der verschiedenen Beschaffenheit des Baugrundes entsprechend, auch verschiedene Gründungskonstruktionen an. Die verschiedenen gegründeten Gebäudeteile werden alsdann am besten stumpf aneinander gefügt, damit die vorkommenden ungleichmäßigen Senkungen in den einzelnen Teilen unabhängig voneinander eintreten können und keine schädlichen Trennungen im Mauerwerk hervorbringen. Erst wenn das Setzen stattgefunden hat, findet der entsprechende Höhenausgleich und die Vereinigung der einzelnen Teile statt.

Beispiele. a) Für die Gründung der Universitätsinstitute an der Dorotheenstrasse zu Berlin ergaben sorgfältige Bodenuntersuchungen, daß einst ein Wasserlauf der Spree das Grundstück von Südost nach Nordwest durchzogen haben mußte. Der tragfähige Baugrund fällt von 2,50 m unter Erdgleiche in der neuen Wilhelmstrasse anfangs allmählich, dann aber sehr rasch bis zu einer Tiefe von 20 m; in gleicher Weise senkt sich der tragfähige Sand von der Dorotheenstrasse nach dem Ufer der Spree hin.

Diesen Verschiedenheiten entsprechend wurden folgende Gründungsarten in Anwendung gebracht: mittlerer Teil des Mittelbaues vom physiologischen Institut — gemauertes Fundament in einer Tiefe von 1 m unter Grundwasser, ausgeführt bei Wassererschöpfen; übrige Teile des Mittelbaues und der südliche Flügel des physiologischen Instituts — Boden unter Wasser ausgebagert, dann betoniert und das Wasser ausgepumpt; nördlicher Teil des Ostflügels und die um das große Auditorium nordöstlich und östlich gruppierten Bauteile — hölzerne Senkröhren; übriger Teil der Baualanlage — Pfahlrost (mit Pfählen bis 16 m Länge); Präzisionsarbeitsätze — Senkbrunnen<sup>190)</sup>.

b) Auch beim Bau des neuen Reichstagshauses zu Berlin wurden in den einzelnen Teilen, der verschiedenartigen Beschaffenheit des Baugrundes und den verschiedenen Belastungen der einzelnen Gebäudeteile entsprechend, verschiedene Gründungsverfahren in Anwendung gebracht, und zwar: gewöhnliche gemauerte Fundamente, Fundamentmauerwerk mit Gegenbogen, Betongründung und Betonpfahlrost<sup>191)</sup>.

### c) Sicherheit gegen seitliches Verschieben.

Das seitliche Verschieben oder das Abgleiten des Fundaments kann eintreten:

- 1) durch unzweckmäßige Lage der Aufständerfläche des Fundaments,
- 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 Faktor die Rede sein.

Damit das seitliche Verschieben des Fundaments nicht eintrete, sind die folgenden Regeln zu beobachten.

1) Man lege die Aufständerfläche des Fundaments winkelrecht zur herrschenden Druckrichtung. Von dieser Lage der Fundamentbasis, die man auch die theoretische nennen kann, wurde schon in Art. 371 (S. 300) gesprochen.

Wenn ein Bauwerk oder ein bestimmter Konstruktionsteil derselben nur lotrechte Lasten zu tragen hat, so ist auch auf den Baugrund nur ein lotrechter Druck zu übertragen, und die Aufständerfläche des Fundaments wird vorteilhafterweise wagrecht gelegt. Treten jedoch noch seitliche Schübe, wie Erddruck, Gewölbschub, Winddruck etc., hinzu, so nimmt die Mittelkraft aus sämtlichen auf die Fundamentbasis

<sup>190)</sup> Näheres hierüber: KLEINWÄCHTER. Die Fundierung der Universitäts-Institute in Berlin. Centralbl. d. Bauverw. 1881, S. 359.

<sup>191)</sup> Näheres hierüber: Der Bau des Reichstagshauses in Berlin. Centralbl. d. Bauverw. 1885, S. 25.

wirkenden Kräften eine von der lotrechten abweichende Richtung an. Sind nun lotrechte und wagrechte Kräfte unveränderlich, so ist auch die Mittelkraft unveränderlich, und man kann dem seitlichen Verschieben des Fundaments dadurch vorbeugen, daß man die Aufflandfläche winkelrecht zur Richtung der Mittelkraft anordnet oder doch nur wenig (vergl. Art. 371, S. 300) von dieser Lage abweicht.

Dies setzt voraus, daß man es bei Konstruktion und Ausführung des Fundaments in der Hand hat, unter Aufwendung verhältnismäßig geringer Kosten der Aufflandfläche eine beliebige Lage zu geben.

Bisweilen sind die Kräfte, namentlich die wagrechten Kräfte, die ein Bauwerk, bezw. einen Konstruktionsteil beanspruchen, veränderlich (Winddruck, seitliche Schübe, die von zufälligen Lasten herühren etc.); alsdann hat auch die auf die Fundamentbasis wirkende Mittelkraft eine veränderliche Richtung. Erreichen die Unterschiede die Größe des Reibungswinkels nicht, so wird man eine zweckentsprechende Anordnung erhalten, wenn man die Basis winkelrecht zur mittleren Druckrichtung legt. Sind die Schwankungen größer, so wird man zwar der Fundamentbasis eine ähnliche Lage geben, wird aber dem seitlichen Verschieben durch andere Vorkehrungen vorbeugen.

2) Ist es aus irgend welchen Gründen nicht zulässig oder nicht wünschenswert, von einer bestimmten, den herrschenden Druckverhältnissen nicht entsprechenden Lage der Fundamentbasis abzuweichen, so muß man durch anderweitige Vorkehrungen das Abgleiten des Fundaments verhüten.

Derlei Vorkehrungen sind:

a) Man vermehrt das Gewicht des zu gründenden Bauwerkes. Hierdurch wird die Mittelkraft in günstigem Sinne abgelenkt; die zur Aufflandfläche des Fundaments winkelrechte Seitenkraft wird größer, sonach die Reibung vermehrt.

β) Man vermehrt in anderer Weise die Reibung des Fundaments auf dem Baugrund. Dies kann durch hervortretende Schwellen und Pfähle geschehen oder dadurch, daß man das Fundamentmauerwerk zahnförmig (Fig. 673) in den Baugrund eingreifen läßt.

Solche Fundamentzähne sollten nicht unter 30 cm, besser nicht unter 50 cm Tiefe und nicht unter 60 cm, besser nicht unter 1 m Länge haben.

γ) Man vergrößert die Gründungstiefe. Hierdurch wird einerseits gleichfalls in dem schon unter α gedachten Sinne das Gewicht des Bauwerkes vermehrt; andererseits wirkt der Erdkörper, welcher vor der herrschenden Druckrichtung gelegen ist, durch den sog. passiven Erddruck gegen das Abgleiten des Fundamentkörpers<sup>192)</sup>.

δ) Man bringt an der am tiefsten gelegenen Stelle des Bauwerkes einen so großen Mauerkörper an, daß dieser durch sein Gewicht allein das Abgleiten des Fundaments zu verhindern im Stande ist.

ε) Wenn ein langgestrecktes Fundament im wesentlichen nur lotrechte Drücke zu übertragen hat und wenn dasselbe auf einem zwar widerstandsfähigen, jedoch stark geneigten Baugrund *MN* (Fig. 674) herzustellen ist, so würde das unmittelbare Aufsetzen des Fundamentmauerwerkes auf die stark abfallende Bodenfläche das Abgleiten desselben zur Folge haben. Wollte man andererseits eine stetig fortlaufende Aufflandfläche *MP*, welche den theoretischen Anforderungen entspricht, zur Ausführung bringen, so wird der Rauminhalt des Fundamentkörpers wesentlich vermehrt, der letztere also verteuert, und auch das Ausheben der Fundamentgrube wird kostspieliger, letzteres namentlich dann, wenn der Baugrund festig ist.

<sup>192)</sup> Nach *Ott's Baumechanik* (Teil I., 2. Aufl. Prag 1877) läßt sich die in diesem Falle erforderliche Gründungstiefe *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 Mittelkraft der sonst wirksamen lotrechten Kräfte, *H* die Mittelkraft aus den das Bauwerk angreifenden wagrechten Kräften, *γ* das Gewicht der Raumeinheit Bodenmaterial und *f* den Reibungskoeffizienten des letzteren bezeichnen. Bei nassem Erdreich ist der kleinste Wert von *f* = 0,3 einzuführen; der größte Wert ist zu 0,65 anzunehmen.

Fig. 673.

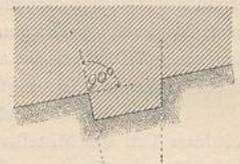
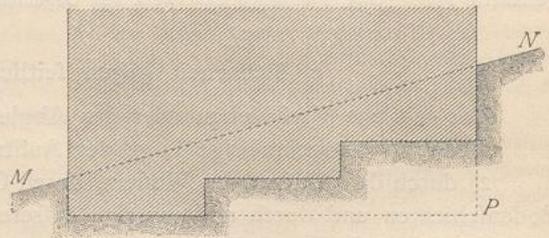


Fig. 674.



In einem solchen Falle treppe man den Baugrund ab, und zwar derart, daß die Begrenzungen der einzelnen Stufen winkelrecht, bezw. parallel zur herrschenden Druckrichtung gelegen sind. Haben die einzelnen Stufen eine größere Länge und ist das zu gründende Bauwerk stark belastet, so ist der über jeder Stufe stehende Mauerkörper unabhängig von den benachbarten auszuführen. Würde die Mauerung im Verbands gefeichen, so würde das den verschiedenen Höhen entsprechende, ungleichmäßige Setzen Trennungen im Mauerwerk hervorrufen. (Vergl. auch Art. 380, S. 309).

#### d) Sicherheit gegen äußere Einflüsse.

Äußere Einflüsse, welche den Bestand der Fundamente gefährden können und die infolgedessen für ihre Konstruktion 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 Wassers. 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 Fundamentmauerwerk, unter Umständen auch im aufgehenden Mauerwerk empor, veranlaßt den feuchten Zustand der Wände und der von denselben umschlossenen Räume. Konstruktionsmaterialien, welche der Feuchtigkeit nicht genügend widerstehen können, werden angegriffen, wodurch der Bestand des Bauwerkes gefährdet werden kann. Kohlenfäurehaltiges Wasser, ebenso 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 — feilich oder durch die Kellerföhle — ein. (Siehe auch Art. 344, S. 287.)

γ) Quellen und sonstige Wasseradern, welche den Baugrund durchsetzen, führen die Erweichung desselben mit sich; infolgedessen tritt die Senkung des Fundaments 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 im Laufe der Zeit kann das Abrutschen des Fundaments eintreten<sup>193)</sup>.

Quellen und anderes den Boden durchfließendes Wasser<sup>194)</sup> können auch das Unterpülen des Fundaments und dieses wieder eine beträchtliche Senkung des letzteren zur Folge haben<sup>195)</sup>.

<sup>193)</sup> Bei den Bergbrüchen zu Caub (1876), wo die Gebirgsformation aus Thonschiefer mit eingelagerten Dachschieferblöcken 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. 1867, S. 291.)

<sup>194)</sup> Hierzu gehört auch das Wasser, welches aus Fluß- 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 Denkmälbauten, wie z. B. der Palaß von Karnak, die meisten Monumente Thebens etc., sind hauptsächlich deshalb in Verfall geraten, weil ihre ohnedies nicht sehr sorgfältig ausgeführten Fundamente vom Nilwasser, welches bei den periodischen Ueberschwemmungen in das Ufergelände einsickert, einen zerstörenden Einfluß erfahren haben.

<sup>195)</sup> Die schon in der Fußnote 181 (S. 303) erwähnten Hagen'schen Versuche bezogen sich auch auf den Einfluß, den Wasser auf einige Bodenmaterialien ausübt.

Ließ 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. Ließ man aber das Wasser von oben nach unten durch die Masse fließen, so ergab sich eine bedeutend größere Tragfähigkeit.

Beim Durchfließen von Wasser durch die Sandschicht von unten wird die Tragfähigkeit immer noch etwas größer, als

Ein Baugrund mit ungleichem Wassergehalt, welcher nicht gleichmäßig entwässert wird, kann die ungleiche Senkung oder — bei eintretendem Frost — selbst die ungleiche Hebung von Gebäudeteilen veranlassen, wodurch das Reißen des Mauerwerkes eintritt<sup>196)</sup>.

δ) Offenes, insbesondere das fließende und das wellenschlagende, Wasser kann bei fortgesetztem Angriff das Unterwaschen des Fundaments herbeiführen. Dieser Punkt wird sonach 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 Konstruktion 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 nachteiligen Einflüssen des unter- und oberirdischen Wassers muss in geeigneter Weise begegnet werden. In dieser Beziehung sind die nachstehenden Regeln zu beobachten.

Zu α). Die Aufständerfläche des Fundaments ist in frostfreie Tiefe zu legen. In unseren Klimaten dringt der Frost meist nur in eine Tiefe von 80 cm bis 1 m ein; deshalb ist mindestens eine Gründungstiefe von 1,00 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 frostbeständigem Felsen kann man auch unter 1 m Tiefe gehen.

Zu β). Dem schädlichen Einfluss des Grundwassers muss durch entsprechende Dichtungs- und Entwässerungsanlagen, sowie durch Wahl geeigneter Konstruktionsmaterialien vorgebeugt werden.

Damit das Grundwasser im Mauerwerk nicht emporsteige, bringe man fog. Isolierschichten an, von denen noch im nächsten Baude, Heft 1 dieses »Handbuches« (Abt. III, Abfchn. 1, A, Kap. 12: Schutz der Wände gegen Feuchtigkeit) die Rede sein wird.

Das Fundamentmauerwerk soll ferner möglichst wasserdicht nach den Seiten hin abschliessen, damit kein Wasser in die Keller oder sonstigen unterirdischen Räume eindringe; dies kann durch möglichst wasserdichte Mauerung, noch besser durch Anlage von Luftgräben und durch zweckmäßige Entwässerungsanlagen ausserhalb des Fundamentmauerwerkes erzielt werden. Das Grundwasser darf auch nicht durch die Kellerfohle emporsteigen, was durch Lehmschlag- und Betonschichten<sup>197)</sup>, durch umgekehrte und entsprechend gedichtete Gewölbe, besser durch die oben erwähnten Entwässerungsanlagen (vergl. Art. 363 u. ff., S. 297 u. ff.) zu geschehen hat. Auch solche Konstruktionen werden später noch zu besprechen sein.

Um den zerstörenden Einfluss der Feuchtigkeit auf die Konstruktionsmaterialien 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

bei trockenem Sande, der lose aufgeschüttet wird, aber kleiner als bei trockenem, fest gestampftem Sande, indessen 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 Durchfliessen des Wassers von oben nach unten wird die Tragfähigkeit 4- bis 5mal 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. Ferner scheint sich aus diesen Versuchen zu ergeben, dass für verschiedene drückende Flächen die Einenkungen den Quadraten dieser Flächen umgekehrt proportional sind.

<sup>196)</sup> Als Beispiel kann u. a. ein in Oberhessen erbautes Bahnwärterhaus der Main-Wefer-Bahn angeführt werden, wovon ein Teil durch das in der wasserführenden Bodenschicht gebildete Eis gehoben und dadurch von dem in seiner früheren Lage verbliebenen Teile abgerissen wurde.

<sup>197)</sup> Bei den Gründungen der *Magasins du Bon Marché* zu Paris war der Grundwasserzudrang zu gewissen Zeiten so groß, dass die Dichtung durch Beton das Eindringen des Wassers in das II. Kellergeschoß nicht verhüten konnte. In der Folge wurde eine zuverlässigere Dichtung dadurch erzielt, dass die einzelnen Maschinen etc. in wasserdichte Behälter gestellt wurden, welche wie die Wasserbehälter aus Eisenblech konstruiert sind. Der größte derselben ist 18,5 lang, 11,8 breit und 2,5 m tief; die Wände sind aus 10 mm, der Boden aus 12 mm dickem Blech angefertigt; die Winkeleisen in den Ecken sind 8 cm breit; der Boden ist noch durch Blechträger von 50 cm Höhe verstärkt. (Näheres hierüber in: *Fondations des Magasins du Bon Marché à Paris. La construction moderne*, Jahrg. 2, S. 426.

und nicht dem schädlichen Wechsel von Nässe und Trockenheit ausgesetzt werde. Die Oberkante jeder hölzernen Fundamentkonstruktion soll deshalb mindestens 30, besser 50 bis 75 cm unter dem niedrigsten Grundwasserspiegel gelegen sein. Stets ist die grössere Ziffer, wenn nötig eine noch tiefere Lage der Holzkonstruktion zu wählen, wenn die Möglichkeit vorliegt, daß durch Anlage einer städtischen Kanalisation, durch Tieferlegung des nächst gelegenen Rezipienten etc. eine Senkung des Grundwasserspiegels eintreten könnte.

Zu  $\gamma$ ). Ist der Baugrund von Wasseradern durchsetzt, so gehe man entweder mit der Aufständerfläche des Fundaments bis unter die wasserführende Schicht, oder besser man entwässere die letztere in der schon in Art. 364 (S. 298) besprochenen Weise. Sind Quellen vorhanden, so fasse man sie, wie an derselben Stelle gleichfalls schon gesagt wurde, oberhalb des Fundaments derart ab, daß ihr Abfluß keine Störung erleidet.

Erforderlichenfalls kann auch durch eine Spundwandumschließung das seitliche Ausweichen des Baugrundes oder auch das Auswaschen desselben verhütet werden.

Zu  $\delta$ ). Bei Gründungen am und im stehenden oder fließenden Wasser verhüte man das Unterwaschen des Fundaments durch eine entsprechend tiefere Gründung, durch Umschließung mit einer Spundwand und durch Steinschüttung.

Wenn man die Aufständerfläche des Fundaments 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. 112) werden entweder vollständig dicht hergestellt, oder sie umschließen das Fundament in solcher Weise, daß jede nachteilige Bewegung des Wassers vermieden wird. Beide Anordnungen werden in vielen Fällen genügen. Doch thut man auch hier besser, wenn man mit dem Fundament in solche Tiefe herabgeht, in welcher das Wasser nur eine geringe Strömung hat; denn die Spundwand schützt zwar den Boden unter dem Fundament gegen Fortspülen; allein das seitliche Fortspülen des Bodenmaterials um die Spundwand herum und das dadurch hervorgerufene Ausweichen derselben werden nicht verhütet.

Steinschüttungen oder Steinwürfe müssen aus so großen Steinen gebildet werden, daß sie vom Wasser nicht fortbewegt werden<sup>198)</sup>. 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 Konstruktionssteile des Fundaments stets unter Wasser sein und deshalb ihre Oberkante mindestens 50 cm unter den bekannten niedrigsten Wasserstand gelegt werden.

Zu  $\epsilon$ ). Dem vom Wasser erzeugten Auftriebe muß eine solche Masse entgegen gesetzt werden, daß sich beide das Gleichgewicht halten. Soll z. B. die Sohle eines Wasserbehälters 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 ebenso groß ist, als der wirksame 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 entgegenwirkender Baukörper (meist Mauer- und Betonschichten) läßt sich aus der Gleichung

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

berechnen, wenn  $t$  die Höhe der drückenden Wasserfülle (die Wassertiefe) und  $\gamma$  das Gewicht der Raumeinheit des betreffenden Baukörpers bezeichnet. Indes erhält man auf diese Weise stets eine zu große

<sup>198)</sup> 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  $\gamma$  das Gewicht der Raumeinheit Wasser,  $\gamma_0$  das Gewicht der Raumeinheit Stein,  $v$  die Geschwindigkeit des Wassers,  $g$  die Beschleunigung der Schwere und  $f$  den betreffenden Widerstandskoeffizienten bezeichnen. Der Koeffizient von  $v$  kann im Mittel zu 10 angenommen werden.

Dicke, weil das Wasser zwischen den Bodenteilchen einen Widerstand erfährt und deshalb seine Bewegungsgeschwindigkeit kleiner ist, als jene, welche der wirklichen Druckhöhe entsprechen würde. Bei grobem Kiesboden wird infolgedessen 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 genügen<sup>199)</sup>.

Wirken auf ein Bauwerk aufer lotrechten auch wagrechte Kräfte, so sind bei Auffuchung der Gesamtmittelkraft die lotrechten Kräfte um das Maß des Auftriebes zu verringern.

383.  
Gleichgewichts-  
störungen  
im  
Baugrund.

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

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

β) Durch Wasseranfangsammlung in den tieferen Teilen der Erdrinde; hierdurch wird nicht selten ein Angriff und eine Lösung der zu Tage liegenden Erdschicht hervorgerufen, welche das Nachsinken höher gelegener Schichten und der darauf gegründeten Bauwerke zur Folge haben kann<sup>200)</sup>.

3) Gleichgewichtstörungen in den tieferen Bodenschichten. Die hier in Frage kommenden Gleichgewichtstörungen sind hauptsächlich diejenigen, welche durch unterirdische Baue, wie Bergwerks- und Wasserstollen, Tunnel etc., sowie durch die damit verbundenen Wasserentziehungen und Einbrüche hervorgebracht werden<sup>201)</sup>.

Durch solche Einflüsse kann ebenso das Bersten des Fundaments, wie das Abgleiten desselben stattfinden.

Um in allen derartigen Fällen die zu errichtenden Gebäude vor der späteren Gefährdung nach Thunlichkeit zu schützen, muß man Konstruktionen 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. An dieser Stelle läßt sich nur allgemein sagen, daß man dem Abgleiten die entsprechenden Massen, dem Bersten des Fundaments Konstruktionen entgegenzusetzen muß, die eine größere Zugfestigkeit haben, als Mörtelmauerwerk.

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

#### e) Gründungstiefe.

384.  
Gründungs-  
tiefe.

Im vorhergehenden war mehrfach Anlaß, von der Größe der Gründungstiefe und von einigen Faktoren, welche dieselbe beeinflussen, zu sprechen. Es dürfte indes

<sup>199)</sup> Vergl. auch: Wochbl. f. Arch. u. Ing. 1880, S. 85. — Zeitschr. f. Bauw. 1886, S. 101. — Centralbl. d. Bauverw. 1886, S. 87; 1887, S. 314.

<sup>200)</sup> Als Beispiele von Bauwerken, welche durch Gleichgewichtstörungen in den obersten Bodenschichten gelitten haben, können die von den Berggrütschen zu Aachen etc. berührten Gebäude genannt werden.

<sup>201)</sup> Der unterhöhlte Baugrund in den Kohlenrevieren Rheinlands und Westfalens hat mehrfach schädliche Veränderungen erlitten. Die Stadt Essen steht auf einem Gelände, das der Steinkohlenformation angehört, von mehreren Kohlenflötzen durchsetzt und von einer Kreidemergelschicht überlagert ist. Durch den Abbau jener Kohlenflötze erfährt die Mergelschicht teils durch Wasserentziehung, teils 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 das Reißen der unteren Mauerfugen und das Klaffen der Stosfugen nach unten oder oben zur Folge hat.

nicht überflüssig fein, die hierbei zu beobachtenden Regeln nochmals zusammenzufassen und durch die noch nicht erwähnten Gesichtspunkte zu ergänzen<sup>202)</sup>.

1) Das Fundament ist, wenn irgend möglich, auf die tragfähige Bodenschicht — sei es unmittelbar oder mittels einzelner Stützen (Fundamentpfeiler, Pfähle, Brunnen, Röhren etc.) — zu setzen. Nur im Notfalle versuche man es, durch die Reibung des Bodenmaterials an den Außenflächen des Fundaments allein die erforderliche Standfestigkeit deselben zu erzielen (vergl. Art. 381, S. 310).

2) Die Aufstanzfläche des Fundaments muß in frostfreier Tiefe gelegen sein (vergl. Art. 382, S. 312).

3) Man wähle eine über das geringste zulässige Maß hinausgehende Gründungstiefe<sup>203)</sup>, wenn man:

a) eine noch festere Bodenschicht erreichen will (vergl. Art. 378, S. 305);

β) wenn man durch eine größere Fundamentverbreiterung den vom Fundament zu übertragenden Druck auf eine größere Fläche verteilen will (vergl. Art. 379, S. 306);

γ) wenn man den Reibungswiderstand zwischen dem Bodenmaterial und den Außenflächen des Fundaments vermehren will (vergl. Art. 379, S. 307);

δ) wenn man das Abgleiten des Fundaments durch den Einfluß des sog. passiven Erddruckes verhüten will (vergl. Art. 381, S. 310);

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 Emporfteigen des Baugrundes verringert werden soll (vergl. Art. 377, S. 304).

4) Man führe das Fundament in eine solche Tiefe hinab, daß es vor dem schädlichen Einflusse des Wassers bewahrt bleibt (vergl. Art. 382, S. 311).

Von der Gründungstiefe hängt zum großen Teile die Konstruktion und Ausführung des Fundaments 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 Baggerarbeit gefenkt) angewendet.

385.  
Einfluß  
der  
Gründungs-  
tiefe.

#### f) Gründungsverfahren.

Die Wahl des Gründungsverfahrens 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 (Bauten für bleibende oder vorübergehende Zwecke, monumentale Bauwerke, einfachen Zwecken dienende Profanbauten etc.);

3) von der Beschaffenheit des Baugrundes;

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

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

6) von der verfügbaren Bauzeit, und

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

386.  
Wahl des  
Gründungs-  
verfahrens.

<sup>202)</sup> Diejenigen Regeln und Gesichtspunkte, von denen bereits ausführlicher die Rede war, sind durch kleineren Druck gekennzeichnet.

<sup>203)</sup> *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 auszuführenden Gebäudes.

387.  
Einfluss  
des  
Baugrundes.

Unter diesen Faktoren sind indes die Beschaffenheit des Baugrundes und der Einfluss des Wassers in erster Reihe leitend bei der Wahl des Gründungsverfahrens.

Bezüglich des Baugrundes ist hierbei entscheidend:

- 1) ob die feste Bodenschicht, worauf das Fundamentmauerwerk 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 Fundamentpfählen, 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.

388.  
Einfluss  
des  
Wassers.

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

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

389.  
Gruppierung  
und  
Einteilung  
der  
Gründungen.

Vereinigt man die eben angeführten sechs Gesichtspunkte untereinander, so kann man die verschiedenen Gründungsweisen nach Art des nebenstehenden Schemas<sup>204)</sup> gruppieren.

Für die nachfolgenden Betrachtungen erscheint es am zweckmäßigsten, die Grundbauten einzuteilen in<sup>205)</sup>:

- 1) aufgebaute Fundamente, welche von unten nach oben hergestellt werden, und
- 2) versenkte 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.

390.  
Kosten.

In Art. 386 wurde gesagt, dass auch die Kosten der Gründungsverfahren bei ihrer Wahl ausschlaggebend sein können. Man wird, zwei gleich gute Fundamentkonstruktionen vorausgesetzt, naturgemäß diejenige wählen, welche unter sonst gleichen Verhältnissen die geringeren Kosten verursacht.

So z. B. wurde bei der Gründung gewisser Teile des neuen Reichstagshauses in Berlin durch eingehende Kostenberechnung das zweckmäßigste Verfahren ermittelt. 1 Quadr.-Meter Beton Gründung unmittelbar auf dem 4,5 bis 5,0 m unter N. W. lagernden festen Kies berechnete sich zu rund 86 Mark, die Herstellung eines Betonpfahlrotes, einschli. 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 Betonpfahlrost wurde deshalb vorgezogen<sup>206)</sup>.

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 teureres ist.

Da, wie im vorstehenden Kapitel gezeigt wurde, eine große Zahl von Faktoren und Einflüssen auf die Konstruktion und Ausführung eines Fundaments einwirken, da, wie das umstehende Schema zeigt, auch die Zahl der verschiedenen Gründungsverfahren eine nicht geringe ist, so sind auch die absoluten Kosten der Fundamente sehr verschieden. Leider liegen brauchbare Angaben darüber nur in geringem Maße vor.

<sup>204)</sup> Dasselbe ist zum Teile dem im »Deutschen Bauhandbuch« (III. Teil, Berlin 1879, S. 26) von *Franzius* aufgestellten Schema nachgebildet.

<sup>205)</sup> Die häufig vorkommende Einteilung in natürliche und künstliche Gründung wurde, da sie jeder fachgemäßen Grundlage entbehrt, hier nicht weiter beachtet.

<sup>206)</sup> Näheres in: Der Bau des Reichstagshauses in Berlin. Centralbl. d. Bauw. 1885, S. 25.

Baugrund:	Wasser nicht vorhanden.	Wasser vorhanden als:		Wasser vorhanden, aber nicht auszuschöpfen.
		Grundwasser.	offenes Wasser, welches sich ausschöpfen läßt.	
in geringer Tiefe fest.	Unmittelbare Ausführung des Fundamentmauerwerkes auf dem festen Baugrund.	1) Abgraben der lockeren Bodenschicht, Ausschöpfen des Wassers und a) Ausführung des vollgemauerten Fundaments; b) Ausführung einzelner massiv gemauerter Fundamentpfeiler mit Erdbogen. 2) Schwache Betonschicht zur Dichtung der Quellen.	1) Herstellung einer wasserfreien Baugrube, Abgraben der lockeren Bodenschicht und 2) hoch liegender Pfahlrost;	1) Steinschüttung. 2) Betonschicht (durch Verfenken ohne Wassererschöpfen hergestellt).
in erreichbarer Tiefe fest.	Abgraben der lockeren Bodenschichten und 1) Ausführung des vollgemauerten Fundaments; 2) Ausführung einzelner massiv gemauerter Fundamentpfeiler, ohne oder mit Erdbogen; 3) Betonschicht.	Abgraben der lockeren Bodenschichten bis unter den Grundwasserspiegel und a) tief liegender Pfahlrost; b) Betonschicht zur Dichtung der Quellen (mit oder ohne Wassererschöpfen).	1) Herstellung einer wasserfreien Baugrube und tief liegender Pfahlrost; 2) hoch liegender Pfahlrost; 3) Gründung mittels eiserner Schraubenspähle.	1) Hoch liegender Pfahlrost; 2) Baggerung und a) Steinschüttung, b) Betonverfenkung. 3) Senkbrunnen; 4) Senkröhren.
nicht in erreichbarer Tiefe fest.	1) Verbreiterung des Mauerwerkes; 2) breite Betonschicht; 3) trockene Steinpackung; 4) Sandschüttung; 5) umgekehrte Gewölbe.	Abgraben der lockeren Bodenschicht auf angemessene Tiefe, jedenfalls bis unter den niedrigsten Grundwasserspiegel, 1) Ausschöpfen des Wassers und a) Schwellrost, b) Sandschüttung, c) breite Betonlage, d) Pfahlrost oder Pfähle zur Dichtung des Baugrundes, e) umgekehrte Gewölbe, f) Steinpackung; 2) breite Betonschicht ohne Wassererschöpfen.	1) Herstellung einer wasserfreien Baugrube, Abgraben der lockeren Bodenschicht in angemessene Tiefe und 2) hoch liegender Pfahlrost; 3) Gründung mittels eiserner Schraubenspähle.	Belastung des Baugrundes um das Fundament herum und 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 & Frommann*, bezw. *Wiethoff*<sup>207)</sup> veröffentlichten »Statistischen Nachweisen, betreffend die vollendeten und abgerechneten Preussischen Staatsbauten« sind auch die Kosten der »künstlichen Fundierungen« für 1 qm überbauter Grundfläche angegeben. Da indes die Angaben über die Gründungstiefen fehlen, so sind Kostenvergleiche nicht gut anzustellen. Geeigneter hierzu wären Angaben über den Preis für 1 cbm Gründungsbau (überbaute Grundfläche  $\times$  Gründungstiefe), weil die Kosten von der Gründungstiefe in hohem Maße abhängig sind; allerdings kommt der Einfluss der letzteren im angewandten Gründungsverfahren einigermaßen zum Ausdruck.

Im folgenden wird mehrfach Gelegenheit sein, der Kosten der verschiedenen Fundamentkonstruktionen Erwähnung zu thun.

<sup>207)</sup> In: *Zeitschr. f. Bauw.* (Auch als Sonderabdruck erscheinend.)