



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Konstruktions-Elemente in Stein, Holz und Eisen, Fundamente

Marx, Erwin

Stuttgart, 1901

1. Abschnitt: Fundament und Baugrund.

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

1. Abschnitt.

Fundament und Baugrund.

Der unterste Teil des Bauwerkes, welcher den von letzterem ausgeübten Druck unmittelbar auf den darunter liegenden natürlichen Erdboden — den Baugrund — zu übertragen hat, wird Fundament¹⁵⁴⁾ genannt, und die Konstruktion des Fundaments heißt Gründung oder Fundierung.

335-
Vor-
bemerkungen.

Die untere Begrenzung eines Fundaments ist durch die eben gegebene Begriffsbestimmung genau gegeben; nicht so genau läßt sich die obere Begrenzung desselben festsetzen. Bei unterkellerten Gebäuden hört in der Regel das Fundament mit der Oberkante jenes Fundamentabfatzes auf, der in der Höhe der Kellerfohle, bezw. der Unterkante des Kellerpflasters gelegen ist. Bei nur teilweise oder gar nicht unterkellerten Bauwerken läßt sich im allgemeinen keine so bestimmte Angabe machen; bei Bauwerken ohne unterirdische Räume begrenzt man das Fundament am besten durch den unmittelbar unter der Erdoberfläche gelegenen Fundamentabfatz.

Die Betrachtung der Fundamente soll in der Weise eingeteilt werden, daß zunächst der Baugrund zur Besprechung kommt, hierauf die Grundfätze, die bei der Konstruktion und Ausführung der Fundamente zu beobachten sind, erörtert und schließlich die wichtigeren Gründungsverfahren vorgeführt werden.

Während im übrigen Hochbaukonstruktionswesen in den letzten 30 bis 40 Jahren wesentliche und erfreuliche Fortschritte gemacht worden sind, ist solches auf dem Gebiete der Gründungen in etwas geringerem Maße zuzugeben. Diese Erscheinung ist um so auffälliger, als im Bereiche des neueren Ingenieurbauwesens der Grundbau eine hervorragende Stellung einnimmt. Vielleicht kann neben dem eigentlichen Zwecke der nachfolgenden Betrachtung auch noch erreicht werden, daß einige veraltete Fundamentkonstruktionen verlassen werden und andere neuere, bisher verhältnismäßig wenig ausgeführte Gründungen eine häufigere Anwendung finden.

Litteratur

über »Fundamente im allgemeinen«.

- HAGEN, G. Handbuch der Wasserbaukunst. Theil I, Band 2: Fundirungen. Berlin 1841. — 3. Aufl. 1870.
DOBSON, E. *Foundations and concrete works*. London 1850. — 5. Aufl. 1881.
De quelques procédés employés par les anciens dans la fondation de leurs édifices. Revue gén. de l'arch.
1855, S. 174, 230.
MÜLLER, H. Ueber Fundamentirungen. ROMBERG's Zeitschr. f. pract. Bauk. 1855, S. 121.
SCHÄFFER. Allgemeine Uebersicht der Fundirungen mit besonderer Berücksichtigung der Anwendung des Eisens im Grundbau. ROMBERG's Zeitschr. f. pract. Bauk. 1860, S. 17, 123.

¹⁵⁴⁾ Man hat in neuerer Zeit das Fundament wohl auch »Grundbau« genannt. Da aber mit diesem Wort vor allem diejenige Wissenschaft bezeichnet wird, die sich mit der Theorie, der Konstruktion und der Ausführung der Fundamente befaßt, so wurde das Wort »Fundament« allein beibehalten.

- Allgemeine Uebersicht der Fundirungen mit besonderer Berücksichtigung der Anwendung des Eisens. HAARMANN's Zeitschr. f. Bauhdw. 1862, S. 172.
- SCHWARZ, F. Der Grundbau. Berlin 1865.
- CHLICH-LÖWENSBERG, H. v. Anleitung zum Wasserbau. Abth. 3: Entwässerungen und Bewässerungen, Kanal- und Kammerfleufenbau, Fundirungen, Seebau. Stuttgart 1865. S. 100.
- FOY, J. *Étude générale sur les fondations. Nouv. annales de la const.* 1865, S. 168, 174; 1866, S. 4.
- DEBAUVE, A. *Procédés et matériaux de construction. Tome II: Fondations.* Paris 1865.
- MENZEL, C. A. Die Gründungsarten der Gebäude und die Behandlung des Baugrundes. Herausg. u. verb. von C. SCHWATLO. Halle 1866.
- KNAPP's großes Vorlagwerk aus dem Gesamtgebiete der Bau-, Ingenieur-Wissenschaft und Gewerbskunde. Heft I: Gründungen. Halle 1871.
- MENZEL, C. A. & J. PROMNITZ. Die Gründung der Gebäude. Halle 1873.
- MORANDIÈRE. *Traité de la construction des ponts et viaducs en pierre, en charpente et en métal. 1er fasc.* Paris 1874. S. 57.
- FRAUENHOLZ, W. Bau-Constructions-Lehre für Ingenieure. Band 3: Eisen- und Fundations-Constructions. München 1877. S. 275.
- KLASEN, L. Handbuch der Fundirungs-Methoden im Hochbau, Brückenbau und Wasserbau. Leipzig 1879. — 2. Aufl. 1894.
- FELDEGG, E. v. Allgemeine Constructionslehre des Ingenieurs. Nach Vorträgen von R. BAUMEISTER. Carlsruhe 1879. Theil II: Fundirungen.
- POWELL, G. T. *Foundations and foundation walls for all classes of buildings.* New-York 1879. — Neue Ausg. 1885.
- Handbuch der Ingenieurwissenschaften. Band I. Leipzig 1880. S. 695: Grundbau. — 3. Aufl. Band I, Abth. 3, S. 1: Der Grundbau. Von L. v. WILLMANN. Leipzig 1900.
- BROWN, C. *Healthy foundations for houses.* New-York 1885.
- LYMAN, J. F. *Building foundations.* Building, Bd. 4, S. 45, 87, 140, 183, 283.
- KIDDER, F. E. *Building construction and superintendence. Foundations. Architecture and building.* Bd. 18, S. 208, 231, 255.
- Handbuch der Baukunde. Abth. III, Heft 1: Der Grundbau. Von L. BRENNECKE. Berlin 1887. — Ergänzungen zum Grundbau. Berlin 1895.
- STRUCKEL, M. Der Grundbau etc. Helsingfors 1895.

i. Kapitel.

B a u g r u n d.

a) Beschaffenheit des Baugrundes.

336.
Technische
Anforderungen.

Die Beschaffenheit oder Qualität des Baugrundes, auch Untergrund genannt, ist in erster Reihe vom technischen Standpunkte aus zu beurteilen. Bei solchen Bauwerken, welche zum Aufenthalt von Menschen und Tieren dienen sollen, treten zu den rein technischen auch noch gesundheitliche Anforderungen hinzu.

Die technische Beurteilung eines Baugrundes bezieht sich hauptsächlich auf sein Verhalten gegen den vom Fundament ausgeübten Druck. Die verschiedenen Bodenarten zeigen in dieser Beziehung eine nicht geringe Mannigfaltigkeit, und für die hierdurch bedingte Beschaffenheit des Baugrundes sind insbesondere die nachstehenden Faktoren maßgebend.

337.
Festigkeit.

1) Die Beschaffenheit des Baugrundes hängt in erster Reihe von seiner Festigkeit ab, d. h. von seiner Widerstandsfähigkeit gegen den vom Bauwerk ausgeübten Normaldruck. Bezüglich dieser Eigenschaft der verschiedenen Bodenarten unterscheidet man preßbaren und unpreßbaren Baugrund. Zu letzterem gehören

alle Bodenarten, welche dieselbe oder eine grössere Druckfestigkeit wie das Fundamentmauerwerk besitzen; alle übrigen Bodenarten werden als preßbare bezeichnet.

Zum unpreßbaren Baugrund gehören die massigen Felsarten (Basalt, Granit, Syenit, Porphy, harter Kalk- und Sandstein etc.), ferner geschichtete Felsarten, in denen sich keine Rutschflächen bilden können, und ganz feste Geschiebeablagerungen (von mindestens 4 bis 6^m Mächtigkeit), welche auf anderen guten Bodenschichten aufruhend. Bei den preßbaren Bodenarten ist das gegenseitige Verhältnis zwischen dem vom Bauwerk ausgeübten Normaldruck und dem Mafß der Preßbarkeit für die Beschaffenheit des Baugrundes entscheidend. Ueber die Grenzen, welche in dieser Richtung noch zulässig sind, bezw. welche einen Baugrund als überhaupt noch brauchbar erscheinen lassen, wird später die Rede sein.

2) Die Beschaffenheit des Baugrundes ist nicht allein durch seine Druckfestigkeit, sondern auch durch die Mächtigkeit der betreffenden Bodenschicht bedingt. Ein sonst guter Baugrund, der in geringer Mächtigkeit auf einer lockeren Bodenschicht lagert, ist infolge dessen auch schlecht; ebenso wird eine weniger gute Bodenart dadurch, daß sie in dünner Lage auf einer ganz festen Schicht aufruhet, etwas besser.

Hat die tragfähige Schicht eine genügende Mächtigkeit, ruht sie aber auf einer weicheren Schicht auf, so muß man bei Ausführung des Fundaments die erstere möglichst wenig schwächen, d. h. man muß das Fundament thunlichst wenig in die tragfähige Schicht versenken. Hat man z. B. unter dem zu errichtenden Gebäude Kellerräume anzulegen, so ist man allerdings genötigt, von der tragfähigen Schicht so viel abzugraben, als die gewünschte Kellertiefe es erfordert. Bei geringerer Mächtigkeit dieser Schicht jedoch kann es unter Umständen geboten sein, die Keller so hoch als irgend thunlich zu legen, d. h. dieselben möglichst hoch aus der Erde herauszubauen.

3) Auf die Beschaffenheit des Baugrundes ist auch von Einfluß, welche Neigung die betreffenden Bodenschichten haben. Je mehr durch die vorliegenden Neigungsverhältnisse das Abgleiten einzelner Schichten begünstigt werden kann, desto mehr verliert der fragliche Baugrund an Güte.

4) Durch das Wasser, welches bald als Grundwasser, bald als offen stehendes, als fließendes oder als wellenschlagendes Wasser auftritt, ist die Beschaffenheit des Baugrundes gleichfalls in erheblicher Weise bedingt. Vom Einfluße des Wassers, der im Erweichen des Bodenmaterials, im Auswaschen desselben etc. bestehen kann, wird noch eingehend gesprochen werden. An dieser Stelle soll nur hervorgehoben werden, daß Bodenarten, die sonst einen ganz geeigneten Baugrund abgeben würden, durch das Vorhandensein von Wasser unbrauchbar werden können.

5) Für die Beschaffenheit des Baugrundes ist endlich noch von Wichtigkeit, ob nachteilige Veränderungen desselben zu erwarten stehen oder ob auf solche Rücksicht genommen werden muß. Indem bezüglich dieses Gegenstandes gleichfalls auf spätere Betrachtungen verwiesen wird, sei hier nur bemerkt, daß mit derartigen Veränderungen in den betreffenden Bodenschichten auch eine Aenderung in ihrer Beschaffenheit als Baugrund eintritt.

Aus dem Gefagten geht hervor, daß die Beschaffenheit eines Baugrundes, insofern sie vom technischen Standpunkt aus zu beurteilen ist, durch eine nicht geringe Zahl von Faktoren beeinflusst wird, und daß es sorgfältiger Vorerhebungen und Bodenuntersuchungen bedarf, bevor man die Beschaffenheit des Baugrundes in genügender Weise beurteilen kann. Obwohl sich solche Untersuchungen mit großer Genauigkeit durchführen lassen, fehlt es doch häufig an einem sicheren Mafßstabe zur genauen Schätzung der Tragfähigkeit des Baugrundes. Man ist deshalb veranlaßt, die verschiedenen Bodenarten zu klassifizieren und sich dadurch allgemeine Anhaltspunkte für die sog. Güte des Baugrundes zu verschaffen.

338.
Mächtigkeit
der
Schichten.

339.
Neigung
der
Schichten.

340.
Wasser.

341.
Ver-
änderungen.

342.
Einteilung
und
Verschieden-
heit.

Mit Rücksicht auf die letztere Bezeichnung kann man den unpreßbaren Baugrund auch als sehr guten Baugrund bezeichnen und den preßbaren Baugrund in nachstehender Weise unterteilen:

1) Guter Baugrund, der sich nur in geringem Maße zusammenpressen läßt, wie grober und fest gelagerter Kies (von mindestens 2 bis 3^m Mächtigkeit), Gerölle, (von gleicher Mächtigkeit), fester Mergel, zerklüfteter Felsen etc., ferner, wenn kein Erweichen durch das Wasser stattfinden kann, fester Lehm und Thon, sowie alle Mischungen von Sand und Thon (in Schichten von mindestens 2 bis 3^m Mächtigkeit).

2) Ziemlich guter Baugrund, der zwar preßbarer als der gute Baugrund ist, dessen Nachgiebigkeit jedoch für den Bestand des Bauwerkes meist unschädlich ist, wie fester Lehm und grober Sand, ersterer jedoch nur, wenn er vom Wasser nicht erweicht werden kann, letzterer nur, wenn er fest gelagert ist, keine thonigen und humosen Teile enthält und wenn er nicht künstlich (durch Wasserschöpfen) oder natürlich (durch Aufheben des Gleichgewichtes im Wasser) in Triebfand verwandelt werden kann¹⁵⁵⁾.

3) Schlechter Baugrund, d. i. solcher Boden, der zwar nicht knetbar ist, aber jedem etwas stärkeren Drucke nachgiebt, dabei zum Teile seitlich ausweicht, wie feiner Sand, nasser Lehm und Thon, Damm- und andere vegetabilische Erde, aufgefüllter Boden etc.

Vegetabilische Erden und aufgefüllter Boden bilden nicht nur ihrer großen Preßbarkeit halber einen schlechten Baugrund, sondern auch wegen ihres bedeutenden Gehaltes an mineralischen und organischen Stoffen, welche das Mauerwerk in schädlicher Weise beeinflussen. Zu den ersteren gehören insbesondere die Chloralze, zu letzteren stickstoffhaltige Beimengungen, welche durch die Bodenfeuchtigkeit in Verwesung geraten und die Bildung des sog. Mauerfraßes veranlassen. Insbesondere ist der Grund und Boden unserer Städte häufig durch eingefickerte Fäkalflüssigkeit ganz verdorben.

4) Sehr schlechter Baugrund oder ganz weicher, meist knetbarer Boden, der seitlich ausweicht, sobald er belastet wird, wie Torf, Moorboden, Humus, Flugfand, Triebfand etc.

343.
Allgemeine
Verhältnisse.

Nur in sehr seltenen Fällen bildet die oberste Erdschicht einen brauchbaren Baugrund; nur vollständig frost- und witterungsbeständiger Felsen gehört hierzu. Sonst hat man es entweder mit einer so lockeren Bodenart zu thun, daß ein Bauwerk überhaupt nicht darauf gesetzt werden kann; oder es liegt eine festere Schicht zu Tage, die jedoch durch Frost und andere atmosphärische Einflüsse gelockert wird und deshalb auch nicht als Baugrund verwendet werden kann.

Auf dem flachen Lande ist es häufig die sog. Mutter- und Ackererde, welche die oberste Erdschicht bildet und die unter allen Umständen als Baugrund ungeeignet ist, nicht nur weil sie zu weich ist, sondern auch deshalb, weil sie infolge ihres starken Humusgehaltes leicht Anlaß zur Schwambildung giebt. In Städten findet man häufig aufgefüllten Schutt, auf den ein Bauwerk gleichfalls nicht gesetzt werden kann.

Findet man an der Baustelle schlechte oder sehr schlechte Bodenarten, so verfährt man, sobald dies möglich ist, am besten in der Weise, daß man die lockeren Bodenschichten abgräbt, bis man auf eine tragfähige Schicht gelangt; in der so gebildeten Baugrube kann alsdann das Fundament unmittelbar ausgeführt werden. Ist dieses Verfahren nicht zulässig, so muß durch entsprechende Konstruktion und Ausführung des Fundaments selbst dem Bauwerk die erforderliche Standfestigkeit

¹⁵⁵⁾ Aller Sand kann Triebfand werden, der feine am leichtesten.

verliehen werden; bisweilen kann schlechter Baugrund auch verbessert werden, wovon noch unter c die Rede sein wird.

Auf ziemlich guten Baugrund können Gebäude ohne weiteres gefetzt werden, wenn sie einen verhältnismäßig nur kleinen Druck ausüben und wenn ein geringes Setzen des Gebäudes für seinen Bestand unschädlich ist. Sonst muß man den Baugrund künstlich zu befestigen suchen.

Der gute Baugrund ist im Stande, die meisten vorkommenden Bauwerke mit Sicherheit zu tragen; bei sehr gutem Baugrund ist die Grenze der Tragfähigkeit noch niemals erreicht worden.

Zu den technischen Bedingungen, welche ein guter Baugrund zu erfüllen hat, treten bei zum Bewohnen bestimmten Gebäuden noch die Anforderungen der Hygiene hinzu. Diese beziehen sich im wesentlichen darauf, daß die von Menschen und Tieren zu benutzenden Räume durch den Baugrund nicht »feucht« gemacht werden sollen und daß der Baugrund an diese Räume auch keine gesundheitschädlichen, von der Verwesung organischer Stoffe hauptsächlich herrührenden Gase abgeben darf¹⁵⁶⁾. In unseren Städten ist es hauptsächlich das Grundwasser, welches Kellerwohnungen und andere unterirdische Räume feucht macht, und im wesentlichen ist es der Inhalt von Abortgruben, Unratskanälen, Stall- und Kehrriechgruben, welcher bei schlechter Konstruktion dieser Anlagen in den umgebenden Boden sickert und denselben dadurch verpestet. Auf dem flachen Lande treten diese Uebelstände infolge der daselbst herrschenden Bauweise weniger stark auf; dort ist namentlich der sumpfige Boden, welchem die bekannten schädlichen Sumpfgase ihre Entstehung verdanken, nachteilig. (Siehe auch Teil III, Band 4 u. 5 dieses »Handbuches«, S. 1 u. ff.¹⁵⁷⁾.

Ohne den Wert und die Bedeutung dieser gesundheitlichen Anforderungen zu verkennen, haben dieselben für den Architekten, sobald er die Beschaffenheit eines Baugrundes als gut oder schlecht zu bezeichnen hat, doch im allgemeinen nur einen akademischen Charakter. In unseren Städten und auch an anderen Orten ist die Baustelle in der Regel so scharf oder doch innerhalb so enger Grenzen gegeben, daß das Gebäude, unbekümmert ob der Baugrund in gesundheitlicher Beziehung entspricht oder nicht, daselbst ausgeführt werden muß. Die Hauptaufgabe des Architekten besteht alsdann nur darin, durch zweckmäßige Konstruktion der Fundamente des Gebäudes und seiner sonstigen Teile den gesundheitschädlichen Einfluß des Baugrundes möglichst unwirksam zu machen¹⁵⁸⁾.

Gegen das Eindringen der Grundluft in die Kellerräume sichert eine unter dem ganzen Gebäude durchgehende Betonschicht; eine Lage von fettem Thon ist nicht so wirksam. Soll auch die das Gebäude umgebende Bodenschicht keine Grundluft an daselbe abgeben, so muß man die Kellermauern nach außen freilegen, was durch Anordnung eines ringsum laufenden Luft- oder Isoliergrabens¹⁵⁹⁾ erreicht wird.

¹⁵⁶⁾ Die Gasmenge, welche die obere Bodenschicht enthält, oder was das Gleiche ist, die Gase, welche die Poren dieser Schicht durchsetzen, heißen Grundluft oder Bodenluft. Dieselbe befindet sich fast unausgesetzt in einem Zustande langsamer Bewegung, hervorgerufen durch die Temperaturschwankungen im Erdboden, durch den einsickernden Regen, durch Luftdruckänderungen etc. Die Grundluft ist weder in ihrer Menge, noch in ihrer Zusammensetzung unveränderlich; die erstere ist hauptsächlich vom Feuchtigkeitsgehalt des Bodens abhängig, letztere insbesondere von der ursprünglichen Beschaffenheit des letzteren und von der Beschaffenheit jener Stoffe, welche ihm durch Luftwechsel, atmosphärische Niederschläge oder aus besonderen Quellen der Verunreinigung (Abortgruben, Unratskanäle, Kehrriech- und Düngergruben etc.) zugeführt werden. (Siehe: PETTENKOPFER, M. v. Der Boden und sein Zusammenhang mit der Gesundheit des Menschen. Berlin 1882.)

Die Grundluft strömt durch die Sohle der Kellerräume in das Innere der Gebäude ein; das Emporsteigen derselben wird schon durch die Gleichgewichtsstörungen befördert, denen die Innenluft durch das Öffnen von Thüren und Fenstern, durch die Verschiedenheit in der Temperatur der einzelnen Innenräume etc. unterworfen ist, am meisten aber durch die Einrichtungen für Heizung und Lüftung des Gebäudes, sowie durch die sonst vorhandenen Feuerstellen, Schornsteine etc.

¹⁵⁷⁾ Siehe auch: Die Hausfundierung in gesundheitlicher Beziehung. Deutsches Bauwksbl. 1892, S. 498, 512 — ferner: PROSKAUER, B. Ueber die hygienische und bautechnische Untersuchung des Bodens auf dem Grundstücke der Charité und des sog. »Alten Charité-Kirchhofes«. Zeitschr. f. Hygiene, Bd. 11, S. 3.

¹⁵⁸⁾ Vergl. HASSELBERG, E. v. Ueber den Baugrund der Wohnhäuser. Deutsche Viert. f. öff. Gesundheitspf. 1870, S. 35.

¹⁵⁹⁾ Siehe auch Teil III, Bd. 2, Heft 1 (Abt. III, Abschn. 1, A, Kap. 12: »Schutz der Wände gegen Feuchtigkeit«).

Durchgehende Betonschicht sowohl, als auch Luftgräben dienen gleichfalls dazu, um die Bodenfeuchtigkeit vom Gebäude abzuhalten. Von anderen Mitteln, das Eindringen von Grundwasser in die Kellerräume und das Feuchtwerden des Mauerwerkes etc. zu verhüten, wird noch später die Rede sein.

b) Untersuchung des Baugrundes.

345-
Allgemeines.

Da von der Beschaffenheit des Baugrundes zum großen Teile die Konstruktion und Ausführung der Fundamente abhängt, da ferner der Bestand eines Bauwerkes wesentlich durch die richtige Gründung desselben bedingt ist, erscheint es von großer Wichtigkeit, von vornherein die Bodenbeschaffenheit der in Aussicht genommenen Baustelle genau zu kennen. In manchen Fällen liegen in dieser Beziehung bereits die nötigen Erfahrungen vor, indem z. B. in der unmittelbaren Nähe der Baustelle bereits Gründungen ausgeführt worden sind, oder die geologischen Verhältnisse sind so einfach und untrüglich, daß sie einen zuverlässigen Anhaltspunkt gewähren; alsdann sind besondere Vorarbeiten, welche die eingehende Ermittlung der Bodenbeschaffenheit bezwecken, nicht erforderlich.

Sobald jedoch solche Anhaltspunkte nicht vorliegen, sind besondere Bodenuntersuchungen vorzunehmen; dieselben sollten in solchen Fällen niemals unterlassen und stets auf das sorgfältigste vorgenommen werden. Nur auf Grundlage der genauesten Untersuchungen dieser Art läßt sich das richtige Gründungsverfahren wählen, und nur in solcher Weise lassen sich spätere Rekonstruktionsarbeiten, welche stets sehr zeitraubend und kostspielig sind, vermeiden; unter Umständen kann bloß auf diesem Wege dem baldigen Verfall eines Bauwerkes vorgebeugt werden.

Die Untersuchung des Baugrundes hat die Bodenforten festzustellen, welche auf der Baustelle vorhanden sind. Hierbei genügt es nicht, bloß die Aufeinanderfolge der verschiedenen Bodenschichten zu ermitteln; sondern es müssen auch ihre Mächtigkeit und Neigung festgestellt werden. Auf einer ausgedehnteren Baustelle genügt es ferner nicht, nur zu untersuchen, wie die Bodenschichten übereinander wechseln; vielmehr muß auch ermittelt werden, ob nicht nebeneinander gelegene Teile des Baugrundes gleichfalls von wechselnder Beschaffenheit sind. Es kommt auf größeren Bauplätzen nicht selten vor, daß einzelne Stellen ganz festen, die zunächst liegenden aber schlechten Boden zeigen. Man hat deshalb auf etwas ausgedehnteren Baustellen die Bodenuntersuchung an mehreren Punkten vorzunehmen; man hat dieselbe insbesondere an solchen Punkten auszuführen, wo später die größte Belastung stattfinden wird, also z. B. an den Gebäudeecken, an Stellen, wo stark belastete Freistützen, schwere Maschinen etc. zu stehen kommen.

Bisweilen müssen die Bodenuntersuchungen auch auf die Umgebung der Baustelle ausgedehnt werden; dies wird insbesondere dann erforderlich, wenn nachteilige Veränderungen des Baugrundes durch Wasser, Rutschungen etc. nicht ausgeschlossen sind.

Zu den Bodenuntersuchungen gehört in gewissem Sinne auch die Ermittlung der Grundwasserhältnisse; die Kenntnis des höchsten Grundwasserspiegels ist hauptsächlich für die Ausführung, die Kenntnis des niedrigsten Grundwasserspiegels häufig für die Konstruktion des Fundaments maßgebend. In gleicher Weise ist bei Bauwerken an den Ufern von Flüssen, Seen etc., ebenso bei Bauwerken, welche in solchen Gewässern zu errichten sind, die Kenntnis der höchsten, mittleren und niedrigsten Wasserstände von Wichtigkeit.

Die Tiefe, auf welche im Hochbauwesen Bodenuntersuchungen vorgenommen werden, ist in der Regel keine bedeutende; man wird in dieser Beziehung nur selten

bis 10^m gehen und nur ausnahmsweise die Untersuchungen auf noch grössere Tiefen ausdehnen; doch dürfte man auch dann nicht leicht über 20^m gehen.

Man kennt im wesentlichen sechs Verfahren der Bodenuntersuchung, nämlich: das Aufgraben des Bodens, die Untersuchung mit dem Sondiereisen, das Einschlagen von Probepfählen, die Anlage von Bohrlöchern, die Probelastungen und die Anwendung von *Mayer's* Fundamentprüfer.

1) Aufgraben des Bodens. Dies ist das sicherste und beste Verfahren der Bodenuntersuchung. Indem man auf der Baustelle an verschiedenen, passend gewählten Punkten Vertiefungen ausgräbt, hat man die Lage und Beschaffenheit der Bodenschichten, sowie ihre Mächtigkeit deutlich vor Augen. Die Anwendung dieses Verfahrens ist einerseits durch die hohen Kosten, andererseits durch das etwaige Vorhandensein von Wasser beschränkt. Durch das in letzterem Falle notwendige Wasserschöpfen werden nicht nur die Kosten erhöht; bei manchen Bodenarten (Kies, Sand etc.) wird dadurch auch die Beschaffenheit derselben geändert.

Bei geringerer Tiefe werden einzelne Gruben mit möglichst steilen Wandungen ausgehoben; bei größerer Tiefe ist man genötigt, in bergmännischer Weise sog. Probe- oder Versuchsschächte abzuteufen, nötigenfalls auszubauen. Die Gruben müssen eine so große Sohle erhalten, daß ein bis zwei Arbeiter sich darauf bewegen können; die Schächte erfordern in der Regel eine größere Grundfläche, weil darin auch noch Vorrichtungen zum Emporfchaffen der ausgegrabenen Bodenmassen angebracht werden müssen.

2) Sondieren¹⁶⁰⁾. Das Sondier- oder Visitiereisen, auch Sondiernadel genannt, ist eine Eisenstange von 2,00 bis 3,50^m Länge und 25 bis 45^{mm} Dicke, welche unten mit einer langen Spitze versehen ist und in den Boden eingestossen, eingedreht oder eingerammt wird. Unten, nahe an der Spitze, ist eine Vertiefung angebracht, die mit Talg ausgefüllt wird; am oberen Ende ist das Eisen behufs Handhabung mit einem Knopf (Fig. 643), einem Bügel (Fig. 645) oder einem Drehhebel (Fig. 644) versehen. Bei größerer Tiefe setzt man das Sondiereisen aus zwei oder drei Stücken zusammen, die miteinander verschraubt werden (Fig. 645).

Fig. 643.



Fig. 645.

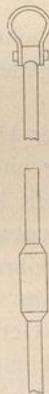
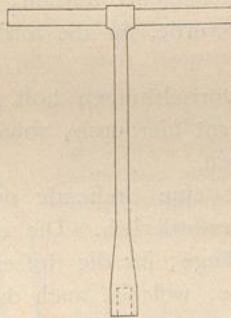


Fig. 644.



Sondiereisen.

Unter Sondierungen versteht man häufig nicht nur Bodenuntersuchungen mit dem Sondier- oder Visitiereisen, sondern jede Art von Bodenuntersuchung.

Stößt man das Eisen in den Boden und fährt es dabei tief hinein, so ist der Baugrund sehr weich; wenn es jedoch nur wenig eindringt, so ist er fest. Knirscht das Eisen beim Eindringen, so hat es sandigen Boden erreicht. Dreht man das Eisen und stößt man mit dem Kopfe desselben gegen das Erdreich, so giebt auch der hierbei erzeugte Ton einigen Aufschluß: ein heller Ton deutet auf feste Bodenschichten; ein dumpfer Ton läßt darauf schließen, daß das Eisen entweder schon auf weiche Schichten gestossen oder doch die nächst tiefere Schicht weich ist.

Die Bodenuntersuchung mit dem Sondiereisen wird in vielen Fällen als einziges Untersuchungsverfahren benutzt; sie kann aber auch mit großem Vorteil Verwen-

¹⁶⁰⁾ Unter Sondierungen versteht man häufig nicht nur Bodenuntersuchungen mit dem Sondier- oder Visitiereisen, sondern jede Art von Bodenuntersuchung.

dung finden, wenn man bereits durch Ausgraben eine feste Bodenschicht gefunden hat und sich von der Mächtigkeit derselben, bezw. von der Beschaffenheit der tiefer liegenden Schichten überzeugen will. Das Sondieren kann auch dann ausgeführt werden, wenn der zu untersuchende Baugrund unter Wasser steht. Man benutzt für diesen Fall wohl auch Sondiernadeln, die in verschiedenen Höhen mit fog. Taschen versehen sind, d. h. mit Oeffnungen, welche durch die ganze Dicke des Eisens hindurchgehen und sich mit den Erdteilchen der durchstoßenen Schichten anfüllen.

348.
Einschlagen
von
Probepfählen.

3) Einschlagen von Probepfählen. Dieses Verfahren ist nur eine etwas abgeänderte Anwendung des Sondiereisens; man erhält durch dieselbe nur über die Widerstandsfähigkeit, nicht aber über die Schichtung des Baugrundes Aufschluss. Aus dem langsamen oder schnellen Eindringen des Pfahles bei einer gewissen Anzahl von Rammschlägen, bei einem bestimmten Gewicht und einer bestimmten Fallhöhe des Rammbaren, urteilt man über die Festigkeit des Baugrundes. Man wendet dieses Verfahren namentlich dann an, wenn man glaubt annehmen zu dürfen, daß eine Pfahlgründung notwendig werden wird; man erfährt alsdann, wie lang die anzuwendenden Pfähle sein müssen, welches Gewicht der Rammbar haben, wie groß seine Fallhöhe etc. sein muß.

349.
Erd-
bohrungen.

4) Erdbohrungen. Bodenuntersuchungen, welche durch Anlage von Bohrlöchern vorgenommen werden, gestatten die größte Tiefe. Sie kommen deshalb namentlich dann zur Anwendung, wenn es auf eine genaue Kenntnis der Beschaffenheit der einzelnen Schichten ankommt, und wenn die Untersuchung auf eine größere Tiefe ausgedehnt werden soll.

Die Bohrlöcher, die mittels der fog. Erdbohrer ausgeführt werden, erhalten 7 bis 15^m Weite und übersteigen, wie schon angedeutet wurde, für die vorliegenden Zwecke selten 20^m Tiefe¹⁶¹⁾.

Mit Hilfe des Bohrers oder mittels anderer Hebevorrichtungen holt man aus dem Bohrloch das gelöste Bodenmaterial hervor und lernt hierdurch, sowie durch die erreichte Bohrlochtiefe die Bodenbeschaffenheit kennen.

Bei der Ausführung der Bohrarbeit ist entweder eine drehende oder eine stoßende, bezw. frei fallende Bewegung des Bohrers erforderlich. Die drehende Bewegung erfordert immer ein steifes und starkes Gestänge; für die stoßende und frei fallende Bewegung genügt ein schwächeres Gestänge, welches auch durch ein Seil ersetzt werden kann. Das Freifallbohren kommt nur bei größeren Bohrloch-tiefen in Frage, wird deshalb im nachstehenden nicht weiter berücksichtigt werden.

Die Erdbohrtechnik hat sich in so mannigfaltiger Gestalt entwickelt und eine so große Bedeutung im Bergbau und im Bauwesen erreicht, daß sie sich zu einem selbständigen Fache ausgebildet hat. Im vorliegenden »Handbuch« können nur einige Grundzüge derselben wiedergegeben werden; im übrigen muß auf die einschlägige Literatur¹⁶²⁾ verwiesen werden.

¹⁶¹⁾ Für andere Zwecke, wie z. B. für artesische Brunnen, bergmännische Zwecke etc., werden viel weitere (50^m und darüber) Bohrlöcher angewendet und sehr bedeutende Tiefen (1200^m und mehr) erreicht.

¹⁶²⁾ FROMMAN, C. W. Die Bohrmethode der Chinesen oder das Seilbohren. Coblenz 1835.

KIND, C. G. Anleitung zum Abteufen der Bohrlöcher. Luxemburg 1842.

ROST, G. H. A. Deutsche Bergbohrer-Schule. Thorn 1843.

BEER, A. H. Erdbohrkunde. Prag 1858.

DEGOUSSÉE, M. & CH. LAURENT. *Guide du fondeur ou traité théorique et pratique des fondages*. 2. Aufl. Paris 1861.

GÄTZSCHMANN. Die Aufführung und Untersuchung von Lagerstätten nutzbarer Materialien. 2. Aufl. Leipzig 1866.

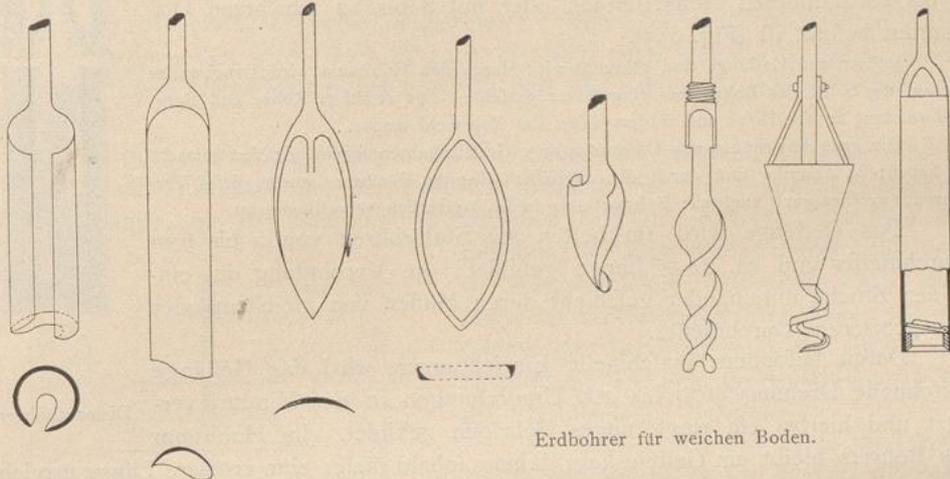
SERLO, A. Bergbaukunde. 2. Aufl. Bd. 1, Berlin 1873. S. 50.

α) Drehbohren in weichem Boden. Für weichere und lockere Bodenarten werden meist Bohrer verwendet, welche eine cylindrische, schaufelförmige oder löffelartige Gestalt haben; feltener kommen becherförmige, pumpenartige und anders gestaltete Bohrer in Benutzung. Ihr Durchmesser beträgt 10 bis 15 cm.

350.
Drehbohren
in weichem
Boden.

Das Gestänge besteht meist aus im Querschnitt quadratischen Stangen von geschmiedetem Eisen, die nur selten über 6 m Länge erhalten; die einzelnen Stangen

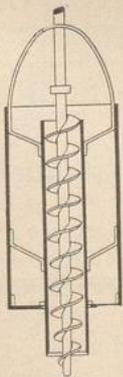
Fig. 646. Fig. 647. Fig. 648. Fig. 649. Fig. 650. Fig. 651. Fig. 652. Fig. 653.



Erdbohrer für weichen Boden.

werden durch Verschraubung oder mittels Schwalbenschwanz miteinander verbunden. Man hat aber auch hölzerne Gestänge und solche aus gezogenen Eisenrohren angewendet.

Fig. 654.



Der Schaufelbohrer (Fig. 646 u. 647) besteht aus einem hohlen, seitlich aufgeschlitzten Cylinder, der, je nach dem Zusammenhange der zu erbohrenden Bodenart, mehr oder weniger geschlossen ist und dessen Boden, bezw. dessen Unterkante schraubenartig gestaltet ist. Der Bohrlöffel (Fig. 648 u. 649) hat eine löffelartige Gestalt und wird in fettem Boden verwendet, aus welchem er beim Drehen dünne Schalen abschneidet. Aehnlich, jedoch vorteilhafter wirkt der Schneckenbohrer (Fig. 650), ist aber schwerer herzustellen. Der mit steileren oder flacheren Schraubenwindungen versehene Schlangenbohrer (Fig. 651) wird nach dem Eindrehen lotrecht emporgehoben, wobei er etwas Bodenmaterial mitnimmt. Ist in nassem Sande zu bohren, so verwendet man entweder den nach Fig. 653 gestalteten Sandlöffel oder aber Sandpumpen, welche ebenso wie die gewöhnlichen Kolbenpumpen eingerichtet sind; feltener kommen der Sandbecher (Fig. 652), in welchen der erbohrte, nasse Sand von oben hineinfällt, und die Sandschraube (Fig. 654) zur Anwendung.

Das Drehen des Gestänges geschieht in der Regel durch einen hölzernen oder eisernen Drehhebel, der am obersten Stück des Gestänges mittels Schrauben oder Keile befestigt wird.

- STOZ, W. Bohrapparat für jedes Gebirge, jede Tiefe und Weite der Bohrversuche bei Gewinnung von fortlaufenden Gebirgskernen. Stuttgart 1876.
 FAUCK, A. Anleitung zum Gebrauche des Erdbohrers. Leipzig 1877.
 STRIPPELMANN, L. Die Tiefbohrtechnik im Dienste des Bergbaus und der Eisenbahntechnik. Halle 1877.
 GEISENDORFER, *Appareils de sondage*. Paris 1881.
 ROMAIN, A. *Nouveau manuel du sondeur etc.* Paris 1881.
 FAUCK, A. Fortschritte in der Erdbohrtechnik. Leipzig 1885.
 TECKLEBURG, TH. Handbuch der Tiefbohrkunde. Leipzig. 1886 ff.

In lockerem Boden müssen die Bohrlochwandungen durch Ausfütterung gegen das Zusammenstürzen gesichert werden. In demselben Maße, als das Bohrloch vorwärts schreitet, treibt man sog. Futterrohre (durch Einrammen oder durch toten Druck) ein. Dies sind bisweilen hölzerne gebohrte Rohre oder hölzerne Kastenrohre; häufiger sind es gusseiserne, meistens aber aus Eisenblech zusammengeklebte Rohre.

351.
Drehbohren
in feinigem
Boden.

β) Drehbohren in feinigem Boden. Für feinigem Baugrund kommen Röhrenbohrer zur Anwendung, deren Krone entweder mit 8 bis 10 stählernen Meißelzähnen oder mit 8 bis 12 schwarzen Diamanten besetzt ist (Fig. 655).

Bohrer und Gestänge sind röhrenförmig; durch den Hohlraum wird Druckwasser bis auf die Sohle des Bohrloches eingeführt; dasselbe steigt zwischen Röhre und Bohrlochwandung in die Höhe und fördert dabei das Bohrmehl empor.

Die erste Anwendung von Diamanten zum Gesteinsbohren scheint *Leschot* gemacht zu haben; in Amerika und durch den englischen Kapitän *Beaumont* wurde dieses Verfahren, welches auch englische Bohrmethode heißt, wesentlich vervollkommenet.

Das Gestänge wird am besten aus Stahlrohren von 5 bis 6 cm Durchmesser und ca. 2,5 m Länge gebildet; die Verbindung der einzelnen Stücke miteinander geschieht durch Muffen von gleichem oder von größerem Durchmesser.

Durch besondere maschinelle Einrichtungen wird das Gestänge in schnelle Drehung (100 bis 200 Umdrehungen in der Minute) versetzt und hierbei ein ringförmiges Bohrloch gebildet. Im Hohlraum des Bohrers bleibt ein Gesteinskern stehen; sobald dieser eine größere Länge erreicht hat, läßt man das Gestänge leer laufen, wobei der Kern vom letzteren, infolge der Zentrifugalkraft, abgebrochen wird. Alsdann kann man denselben hervorholen.

Ein großer Vorzug dieses Bohrverfahrens ist in der Gewinnung fortlaufender Gesteinskern zu suchen, aus denen man nicht nur ganz genau die Gebirgsart, sondern auch das Einfallen der Schichten erkennen kann. Diefem Vorteile stehen die hohen Kosten des Bohrbetriebes gegenüber.

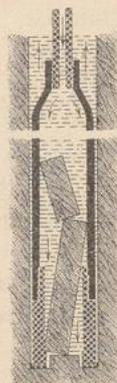
352.
Stofsbohren.

γ) Stofsbohren. In felsigem und anderem steinigem Boden können Bohrlöcher auch in der Weise hergestellt werden, daß man meißelartig gestaltete Bohrer stofsweise auf das Gestein einwirken läßt; die losgelösten Stein splitter, der sog. Bohrschmand, wird mittels besonderer Vorrichtungen (Bohrlöffel) hervorgeholt.

Am häufigsten wird der einfache Meißelbohrer (Fig. 656) angewendet; doch werden auch der Kreuzbohrer und der Kolbenbohrer mit mehreren sich kreuzenden Schneiden (Fig. 657 u. 658) und der Kronenbohrer nicht selten benutzt, namentlich wenn einzelne festere und größere Steine zertrümmert werden sollen.

Das Gestänge ist ähnlich wie das unter α beschriebene eingerichtet; nur kann es hier etwas schwächer gehalten werden. Die Schläge werden in der Weise ausgeführt, daß man über Tag das Gestänge um ein bestimmtes Stück hebt und alsdann fallen läßt. Nach jedem Schläge wird der Bohrer etwas gedreht (gesetzt), damit er stets neue Stellen des Gesteines trifft.

Fig. 655.



Diamantbohrer.

Fig. 656.

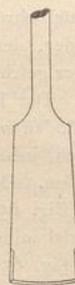
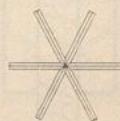


Fig. 657.



Stofsbohrer.

Fig. 658.



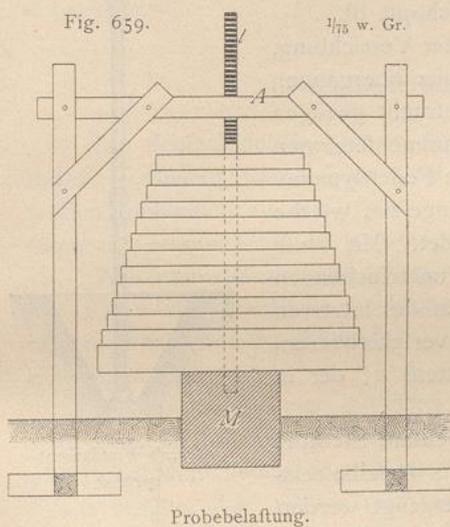
Zu diesem Ende muß über Tag ein besonderes Bohrgertüß errichtet werden, welches das Hervorholen und Hinablassen des Gestänges, sowie das Ausführen der Schläge gestattet; letzteres kann durch Menschenhand oder durch Maschinen geschehen.

Bei der sog. dänischen Bohrmethode wird mit hohlem Gestänge unter Wasserzufluß von oben gebohrt, und zwar mit kleinen Meißelbohrern von 5 bis 7 cm Durchmesser.

δ) Seilbohren. Das Bohren mit steifem Gestänge hat den großen Nachteil, daß bei jedesmaligem Hervorholen und Hinablassen des Bohrers das Gestänge in seine einzelnen Teile zerlegt, bezw. aus denselben zusammengesetzt werden muß; hierdurch ist ein großer Zeitverlust bedingt. Infolgedessen hat man mehrfach statt des steifen Gestänges ein Seil angewendet, welches auf einer wagrechten Welle auf- und abgewunden wird; doch ist auch die Seil- oder jenenfische Bohrmethode mit wesentlichen Uebelständen behaftet, so daß sie keine allgemeine Verbreitung gefunden hat.

5) Probelastungen dienen zur Ermittlung der Tragfähigkeit einer Bodenschicht. Nach Ausschachtung der Baugrube belastet man die Sohle in geeigneter Weise so lange, bis der Baugrund nachzugeben anfängt. Alsdann läßt man die

353-
Probe-
belastungen.



Belastung so lange darauf ruhen, bis kein weiteres Einfinden stattfindet. Aus dem Maß des beobachteten Einfindens, aus der Größe der Belastung und der Größe der Druckfläche läßt sich die Beanspruchung für die Flächeneinheit berechnen.

Die Belastung wird meist in der Weise durchgeführt, daß man Bohlen oder größere, regelmäßig bearbeitete Steine auf die Sohle der Baugrube legt und darauf schwere Gegenstände, wie Baumaterial, Eisonschienen, Bleibarren etc., aufbringt. *Lehmann* empfiehlt¹⁶³⁾, um sichere Ergebnisse zu erzielen, nachstehendes Verfahren. Man schachte auf der den Baugrund voraussichtlich bildenden Bodenschicht eine quadratische Grube von etwa 1 m Seitenlänge und 40 bis 50 cm Tiefe aus, ebne die Grube sorgfältig ein und stelle darin einen Mauerklotz *M* (Fig. 659) von Klinkern oder lagerhaften, möglichst großen Bruchsteinen in Zementmörtel her mit thunlichst ebenen Flächen und so hoch, daß derselbe etwa 40 bis 50 cm aus der mit fest

zu stampfendem Boden wieder gefüllten Grube hervorragte. In der obersten Schicht mauere man eine im oberen Teile mit einer Skala versehene Latte *l* ein und errichte über dem Mauerkörper ein Gerüst nach Fig. 659, an dessen wagrechtem Querstück *A* man das Maß des Einfindens beobachten kann. Ueber den Mauerkörper strecke man Bahnschienen oder starke Bauhölzer, auf welche die Belastung vorsichtig aufgebracht wird. Durch das Hinabgehen der Lattenkala wird das Einfinden in den Boden deutlich ersichtlich.

Eine Probelastung kann auch zu dem Zwecke vorgenommen werden, um zu ermitteln, ob ein bestimmter Baugrund eine gewisse Last mit Sicherheit zu tragen imstande ist. Man bringt das Anderthalbfache bis Zweifache der künftigen Last auf, läßt die Probelast möglichst lange ruhen, etwa einen Winter, und beobachtet während dieser Zeit genau die eintretenden Senkungen. Aus dem Maß der letzteren, aus ihrer allmählichen Abnahme etc. gewinnt man Anhaltspunkte zur Beurteilung der Tragfähigkeit des fraglichen Baugrundes.

Indes sind solche Untersuchungen niemals ganz zuverlässig, am allerwenigsten

163) In: Deutsche Bauz. 1881, S. 403.

bei elastischem Boden. Nimmt man noch hinzu, daß ein derartiges Verfahren auch zeitraubend und kostspielig ist, so ist Grund genug vorhanden, diese Untersuchungsweise nur wenig in Anwendung zu bringen¹⁶⁴⁾.

6) *Mayer's* Fundamentprüfer gestattet die Untersuchung von aus plastischen oder sandigen Stoffen bestehendem Baugrund nach einem Verfahren, welches mit dem eben beschriebenen in gewissem Sinne verwandt ist.

Die gedachten Bodenarten haben die durch zahlreiche Versuche festgestellte Eigenschaft, sich bei einer allmählich und gleichmäßig gesteigerten Belastung innerhalb gewisser Grenzen ähnlich zu verhalten, wie feste elastische Stoffe. Ein gleichmäßig gesteigerter Druck auf einen Pressstempel führt zunächst der Belastung proportionale Einenkungen der letzteren herbei. Uebersteigt jedoch diese Belastung eine gewisse, jeder Bodenart eigentümliche Grenze, so sinkt der überlastete Stempel ununterbrochen so rasch in den Boden ein, daß sich die Einenkungen einer weiteren Beobachtung entziehen. Naturgemäß ist dies ein Zeichen, daß die Tragfähigkeit des betreffenden Baugrundes erschöpft ist.

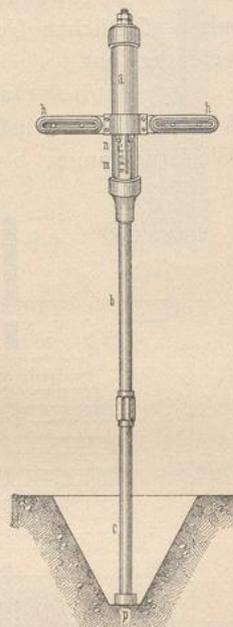
Wenn die ursprüngliche Konstruktion dieser Vorrichtung, die sich als nicht zweckmäßig erwiesen hat, hier übergangen und nur die neuere Anordnung derselben in Betracht gezogen wird, so besteht sie nach Fig. 660 aus 3 zusammensetzbaren Hauptteilen: aus dem Pressstempel *p*, aus einem Federdynamometer *a* von 25 kg Tragkraft und aus einer Stange *bc*, welche die beiden Teile *p* und *a* miteinander verbindet. Mit Hilfe des Federdynamometers wird gegen den zu untersuchenden Baugrund der Druck ausgeübt, und das Ablefen des letzteren (in Kilogr.) findet an der Skala *m* mittels des verschiebbaren, bloß durch Reibung festgehaltenen Indexschlittens *n*, der in jeder Lage stehen bleibt, statt.

Zu jeder Vorrichtung gehören 8 auswechselbare Stempel von 1, 2, 3, 4, 5, 10 und 15 qcm Fläche, so daß derselbe relative Druck mit verschiedenen großen Stempeln erzeugt werden kann; man ist hierdurch in der Lage, die Ergebnisse der angestellten Versuche miteinander zu vergleichen.

Die Handhabung dieser Vorrichtung erfolgt in der Weise, daß der am Fuße derselben angebrachte Pressstempel *p* mittels der beiden Handhaben *h, h*, durch Vermittelung des Federdynamometers *a* und der Stange *bc*, lotrecht gegen den zu untersuchenden Baugrund gedrückt wird, bis ein merkbarer, die ganze Fläche des Pressstempels umfassender Eindruck erfolgt. Alsdann wird der Stempel bis zur ersten, dann bis zur zweiten, weiter bis zur dritten u. s. w. bis zur fünften Marke eingedrückt und werden die zugehörigen Belastungen an der Skala abgelesen.

In gleicher Weise wird mit anderen Pressstempeln verfahren, und aus dem Vergleiche der Größe des ausgeübten Druckes mit der bekannten Querschnittsfläche des Pressstempels ergibt sich alsdann unmittelbar die zulässige Belastung des Baugrundes für die Flächeneinheit. Um die Sicherheit des Prüfungsverfahrens zu er-

Fig. 660.



Mayer's Fundamentprüfer.

¹⁶⁴⁾ Ueber eine interessante Probebelastung, welche in Amerika für ein Bibliothekgebäude vorgenommen wurde, siehe: *American architect*, Bd. 23, S. 59, 71.

höhen, wird man eine gröfsere Reihe von Versuchen anstellen, und aus den Beobachtungsergebnissen, aus denen man auffallend abweichende auszufcheiden hat, den Mittelwert nehmen.

Aus den zusammengehörigen fünf Ablefungen wird sich in der Regel ergeben, dafs meist schon von der ersten Marke an (bei einer Einfenkung von 1 mm Tiefe) die Abweichungen zwischen den einzelnen Ablefungen immer kleiner werden; unter Umständen können sie ganz verschwinden, ein Zeichen, dafs bei diesem Druck die Tragfähigkeit des unterfuchten Baugrundes erschöpft ist.

Die Versuche sind, wenn die Ergebnisse Anspruch auf Zuverlässigkeit machen sollen, nur an frisch ausgegrabenen Baugruben, deren Sohle an den Messungstellen möglichst abzuebnen ist, vorzunehmen. Die Stempel sind dabei thunlichst lotrecht zu stellen.

Da die Pressstempel eine verhältnismäfsig kleine Aufstanzfläche besitzen, ist unter Umständen das seitliche Ausweichen des Baugrundes und dadurch die Beeinträchtigung der Messungsergebnisse zu befürchten. Es ist auch nicht ganz leicht, von Menschenhand aus den Druck stets genau gleichmäfsig und stetig zunehmend, ferner denselben völlig lotrecht auszuüben. Aus diesen Gründen hat der Gebrauch des Fundamentprüfers in seiner gegenwärtigen Gestalt in durchaus vorsichtiger Weise von fachkundiger Hand zu geschehen¹⁶⁵⁾.

c) Verbesserung schlechten Baugrundes.

Ein schlechter Baugrund, der infolge zu grofser Pressbarkeit oder infolge starken seitlichen Ausweichens nicht geeignet ist, dem Druck eines darauf zu errichtenden Gebäudes zu widerstehen, kann unter Umständen und innerhalb gewisser Grenzen verbessert¹⁶⁶⁾, d. h. weniger nachgiebig gemacht werden.

Will man die zu grofse Pressbarkeit einer Bodenart herabmindern, so wird in der Regel die künstliche Dichtung derselben vorgenommen; nur selten kommen andere Mittel zur Anwendung. Die wichtigsten hierher gehörigen Verfahren sind die folgenden.

1) Man bringt eine gröfsere tote Last auf die Baugrubensohle. Die letztere wird zunächst mit einer Bohlenlage bedeckt, und auf diese werden grofse Steine, alte Eisenbahnschienen oder andere schwere Gegenstände in thunlichst gleichmäfsiger Weise ausgebreitet. Wenn auch auf diese Weise ein geringes Zusammenpressen des Baugrundes erzielt werden kann, so ist der Erfolg im allgemeinen doch ein wenig nennenswerter. (Vergl. auch das in Art. 353 über Probelastungen Gefagte.)

2) Etwas besser wirkt bei gewissen Bodenarten das Abrammen der Sohle der Baugrube. Dazu dient die gewöhnliche Handramme, die je nach dem Gewichte von 2 bis 4 Mann gehandhabt wird. Wirkfamer, wenn auch teurer, würde das Abwalzen der Baugrubensohle sein, welches mit Hilfe von schweren Steinwalzen oder von mit Sand, unter Umständen mit Wasser gefüllten Eisenwalzen (ähnlich wie im Strafsenbau)

354.
Tote Last.

355.
Rammen.

¹⁶⁵⁾ Ueber den fraglichen Fundamentprüfer siehe auch: Deutsches Bauwksbl. 1896, S. 487. — Wiener Bauind.-Ztg., Jahrg. 14, S. 41. — Deutsche Bauz. 1897, S. 291. — Centralbl. d. Bauverw. 1897, S. 427, 439, 452. — Oest. Monatschr. f. d. öff. Baudienst 1897, S. 126. — Bauwks.-Ztg. 1897, S. 583. — Zeitschr. d. öst. Ing.- u. Arch.-Ver. 1900, S. 673.

¹⁶⁶⁾ Unter »Verbesserung schlechten Baugrundes« sollen im vorliegenden nicht etwa dieselben Einrichtungen und Verrichtungen verstanden werden, die man in einigen Teilen Deutschlands und in manchen Büchern und Zeitschriften unter dem Namen »künstliche Befestigung des Baugrundes« zusammenfaßt. Unter der letzteren, wenig zweckmäfsigen Bezeichnung werden nicht nur die Mittel verstanden, die dazu dienen, stark nachgiebigen Baugrund weniger nachgiebig zu machen, sondern auch Fundamentkonstruktionen, wie Schwellroste, Pfahlroste etc. Letztere sollten indes niemals als Mittel zur Befestigung des Baugrundes angesehen werden; vielmehr sind dies entweder die Fundamente selbst oder doch der wesentlichste Teil derselben. — Vergl. die Begriffsbestimmung des »Fundaments« in Art. 335 (S. 283).

vorgenommen werden könnte. Allein auch der Erfolg des Rammens, bezw. Walzens ist ein verhältnismäßig geringer, da die Dichtung des Bodens nur auf eine sehr geringe Tiefe hervorgebracht wird; in der Tiefe des Grundwasserspiegels ist die Wirkung ganz abgeschwächt. Durchweichter Lehm- und Thonboden, lockerer Sandboden etc. können auf diese Weise niemals gedichtet werden.

356.
Begießen
mit
Wasser.

3) Lofe aufgeschüttete Schichten von groberem Sand oder feinerem Kies können dadurch widerstandsfähiger gemacht werden, daß man denselben in vorsichtiger und ausgiebiger Weise Wasser zuführt. Hierdurch werden die einzelnen Körner näher aneinander geschoben und die Zwischenräume kleiner.

357.
Einrammen
von
Schutt etc.

4) Bei den meisten weichen Bodenarten, selbst bei durchweichtem Lehm- und Thonboden und bei Triebfand, läßt sich ein nennenswertes Ergebnis erzielen, wenn man in den Baugrund mehrere Lagen von BauSchutt oder Steinschlag einrammt. Dies geschieht mit Hilfe schwerer Handrammen oder besser mit einfachen Zugrammen, deren Gerüst auf dem Gelände, zu beiden Seiten der Baugrube, aufgestellt wird und deren Rammklotz ein Gewicht von 100 bis 150 kg hat.

Zunächst wird eine 25 bis 30 cm dicke Schicht von BauSchutt, Steinschlag, Wacken etc. auf der Sohle der Baugrube ausgebreitet und diese so lange gerammt, bis zwischen den Steinbrocken das lockere Bodenmaterial hervorquillt. Hierauf wird eine zweite, erforderlichenfalls noch eine dritte, ebenso dicke Schicht aufgebracht und gleichfalls festgerammt. Man hat für eine auf diese Weise gebildete Schicht wohl auch die wenig glückliche Bezeichnung »Rambbeton« gewählt.

Bei Gründungen am und im Wasser darf dieses Verfahren niemals angewendet werden, selbst dann nicht, wenn das Fundament von einer Spundwand umschlossen wird.

358.
Einrammen
von
Steinen.

5) Das eben beschriebene Verfahren führt zu einem noch günstigeren Ergebnis (namentlich bei durchweichtem Lehm- und Thonboden), wenn man statt kleinerer Steinbrocken grössere (mindestens faußgroße) Steine in den Boden einrammt. Am besten ist es, die Steine hochkantig auf die Sohle der Baugrube zu stellen und dieses Rollschichtpflaster mit Hilfe einer Zugramme festzustoßen.

359.
Anderweitiges
Ramm-
verfahren.

6) In Paris wird neuerdings ein Rammverfahren in Anwendung gebracht, welches mit der Herstellung einer »Rambbeton«-Schicht und den unter 4 und 5 beschriebenen Verfahren nahe verwandt ist.

Daselbe kam u. a. auch beim Bau des Verwaltungsgebäudes für die Weltausstellung daselbst 1900 zur Anwendung. Man ließ einen 1000 kg schweren Rammklotz von 70 cm Durchmesser aus einer Höhe von 10 cm unmittelbar auf den zu verbessernden Boden so lange herabfallen, bis die Rammtiefe (oder die Zusammendrückung des sehr weichen und stark pressbaren Bodens) das Maß von ca. 3 m erreicht hatte. In die so entstandene Vertiefung wurde eine Mischung von Kalkmilch und Eisenschlacke gebracht, die nun ebenfalls abgerammt wurde. Man setzte dieses Verfahren so lange fort, bis die Sohle der Baugrube wieder auf die frühere Tiefe gebracht war. Der so verbesserte Baugrund hatte eine solche Festigkeit erreicht, daß man das Bauwerk, welches einen Druck von 4 kg für 1 qm ausübte, darauf gründen konnte¹⁶⁷⁾.

360.
Einrammen
von
Pfählen.

7) Die Dichtung des Baugrundes kann in erheblichem Maße erzielt werden, wenn man Pfähle von etwa 1 bis 2 m Länge in denselben einschlägt. Je näher die einzelnen Pfähle aneinander gestellt werden, desto ausgiebiger wird die Dichtung des Bodenmaterials; man kann dieselbe so lange steigern, als nicht durch das Einrammen eines neuen Pfahles andere herausgetrieben werden. Hierbei ist darauf zu achten, daß die Pfähle stets unter dem Grundwasserspiegel bleiben.

Dieses Verfahren ist zwar in seinem Erfolge günstig, verursacht jedoch große Kosten.

¹⁶⁷⁾ Siehe auch: Zeitschr. d. öst. Ing.- u. Arch.-Ver. 1898, S. 85. — HAARMANN'S Zeitschr. f. Bauhdw. 1898, S. 31.

8) Die Kosten des eben beschriebenen Verfahrens lassen sich etwas herabmindern, wenn man den Pfahl, nachdem man ihn eingerammt hat, wieder herauszieht und den zurückgebliebenen Hohlraum mit reinem Sande ausfüllt. Obwohl durch derlei Füll- oder Sandpfähle gleichfalls eine nicht unbedeutende Dichtung des Baugrundes erlangt werden kann, so sind doch die Kosten dem unter 6 angeführten Verfahren gegenüber nicht wesentlich geringer, weil das Ausziehen der eingerammten Pfähle einen grossen Kraftaufwand erfordert.

361.
Sandpfähle.

Füll- oder Sandpfähle lassen sich auch als mit Sand gefüllte Bohrlöcher auffassen; sie unterscheiden sich jedoch von den gewöhnlichen Bohrlöchern dadurch, dass der Inhalt eines Loches nicht herausgefördert, sondern seitlich verdrängt und an seine Stelle reiner Sand eingebracht wird. Man hat wohl auch statt der Holzpfähle eiserne Röhrenpfähle angewendet, wenn der Boden so locker ist, dass beim Herausziehen des Holzpfahles das Loch sich wieder schließt. Derlei Pfähle werden aus Blechröhren gebildet, die am unteren Ende einige Schraubengänge tragen. Mit Hilfe der letzteren wird der Pfahl in den losen Boden eingedreht. Nunmehr führt man in den Hohlraum des Pfahles Wasser ein, das durch eine unten angebrachte Klappe ausfliesst. Beim Zurückdrehen des Pfahles füllt das Wasser das Bohrloch aus und verhindert den Rücktritt des verdrängten Bodens.

Ueber eine hier einschlägige Ausführung aus der letzten Zeit siehe in der unten genannten Quelle¹⁶⁸⁾.

Wasserhaltiger Sand und lockerer Kies oder Sand und Kies unter Wasser können durch Einführen eines staubförmigen Bindemittels verfeinert, d. i. in eine feste und vollkommen tragfähige Bodenschicht verwandelt werden.

362.
Verfeinerung.

Nach *Neukirch's* patentiertem Verfahren¹⁶⁹⁾ wird Zement in Staubform durch einen starken Luftstrom in den Sand hineingeblasen. Zum Einführen des Luftstromes in den Sandboden dient ein eisernes Rohr, welches so lang ist, dass damit die Sohle des beabzielten Fundaments erreicht wird. Durch das Einblasen des Zementes entsteht eine kochende Bewegung des Wassers und Sandes, wodurch eine innige Vermischung zwischen Zement und Sand stattfindet; das vollständige Erhärten des ersteren unter Wasser dauert, wie beim Beton, mehrere Wochen¹⁷⁰⁾.

Bei der Gründung einer steinernen Brücke bei Ebingen auf lockerem Kiesgrund wurde dünnflüssiger Zement durch 4 cm weite *Mannsmann-Rohre* eingepumpt. Durch allmähliches Hochziehen der Rohre wurde der Zement in verschiedenen Höhen eingeführt, so dass sich ein grosser Betonklotz bildete¹⁷¹⁾.

Nach *Lauter's* Mitteilungen¹⁷²⁾ ist der Erfolg der Zementeinspritzung nicht immer ein guter. Bei einem besonders bezeichneten Versuche zeigte es sich, dass das Eindringen des flüssigen Zementmörtels in das umliegende Erdreich nur in ganz geringem Masse stattfand und dass sich sehr schnell über der Einspritzöffnung ein kurzer, kegelförmiger Zementkörper mit stumpfer Spitze bildete, der das weitere Eindringen der Einspritzungen verhinderte. *Lauter* ist der Ansicht, dass bei festgelagertem und insbesondere bei feinem sandigen Boden ein guter Erfolg nicht erwartet werden darf.

Um Triebfand tragfähig zu machen, ist auch schon der Gedanke angeregt worden, durch Zuführen geeigneter Flüssigkeiten den Sandboden auf chemischem Wege in eine steinartige Masse zu verwandeln.

Man könnte in den Triebfand durchlöchernde Eisenrohre einfenken und die betreffende Flüssigkeit einpressen; man könnte in solcher Weise unbrauchbaren Baugrund mittels Einspritzens einer erhärtenden Flüssigkeit in Stein verwandeln¹⁷³⁾.

9) Nass Lehm- und Thonschichten lassen sich am besten durch eine vollständige und dauernde Entwässerung tragfähig machen. Meistens wird eine solche Entwässerung mittels der sog. Drainage vorgenommen.

363.
Entwässerung.

168) HOFFMANN, F. Dichtung und Tragbarmachung lockeren, aufgeschütteten Baugrundes. Centralbl. d. Bauverw. 1899, S. 485.

169) D. R.-P. Nr. 46842.

170) Näheres: Gesundh.-Ing. 1890, S. 609.

171) Siehe auch: BRAUN. Befestigung von sandigem und kiefigem Untergrund durch Einführen von flüssigem Cement. Zeitfchr. f. Arch. u. Ing., Wochausg., 1898, S. 445.

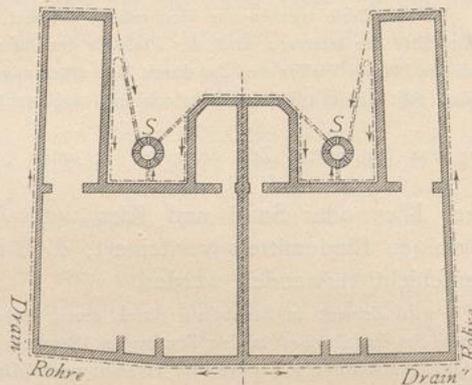
172) Zur Frage des Einspritzens von Cement in wasserhaltigem Boden. Centralbl. d. Bauverw. 1898, S. 599.

173) Siehe hierüber: Centralbl. d. Bauverw. 1884, S. 344.

Letztere geschieht mit Hilfe von Sickergräben oder mittels der bekannten, zur Wiefendrainage verwendeten Drainrohre oder durch beide Mittel zugleich.

Die Sickergräben (auch Drains genannt) sind oben geschlossene Gräben, welche das Wasser aus dem Boden aufzufangen und abzuführen haben. Man füllt diese Gräben entweder mit rundlichen Steinen (von 5 bis 6 cm Durchmesser) aus, wodurch die sog. Steinfilter entstehen; oder man verwendet die bekannten Drainrohre (Thonrohre von etwa 25 cm Länge, die ohne weitere Verbindung stumpf aneinander gelegt werden), wie sie zur Wiefendrainage benutzt werden. Die Steinfilter erhalten ein Sohlengefälle von mindestens 1 : 150; besser ist es bis 1 : 100 zu gehen; die Sohlenbreite, welche von der Menge des abzuführenden Wassers abhängt, beträgt 25 bis 30 cm. Die Drainrohre müssen ein um so stärkeres Gefälle

Fig. 661.

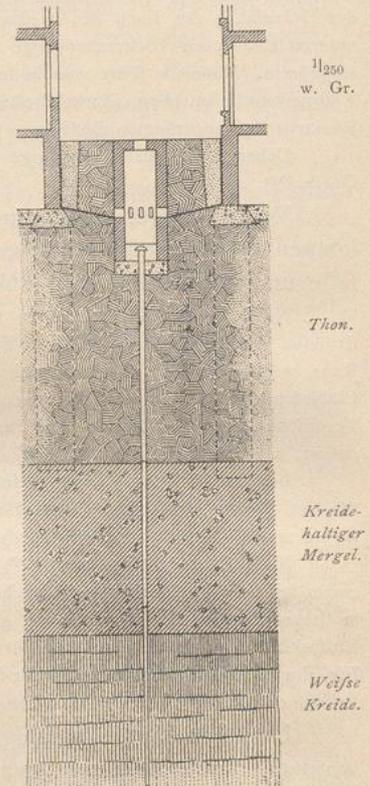


Grundplan. — $\frac{1}{500}$ w. Gr.

Entwässerung des Baugrundes beim Bau zweier Häuser zu Passy¹⁷⁴⁾.

Arch.: Lethorel.

Fig. 662.



Schnitt durch einen Entwässerungschacht.

erhalten, je enger sie sind; daselbe ist mit 1 : 200 bis 1 : 50 zu wählen. Die Weite der Drainrohre, die sich gleichfalls nach der abzuführenden Wassermenge richtet, beträgt 2,5 bis 10 cm; doch genügt meist eine Weite von 5 cm.

Drainrohre sind dort besonders zweckmäßig, wo der Boden durchlässig ist; bei weniger durchlässigem Boden faugt ein Steinfilter mehr Wasser auf. Wenn die wasserführende Schicht eine größere Mächtigkeit hat, so kann man auch Steinfilter und Drainrohre gleichzeitig in Anwendung bringen; das Steinfilter führt alsdann den Drainrohren das Wasser zu.

Ist der Boden nur wenig nass, so genügen einzelne Sickergräben, die in angemessener Entfernung voneinander angeordnet und hauptsächlich längs der Außen- (Fundament-) Mauern des betreffenden Gebäudes angelegt werden. Ist ein größeres Grundstück, dessen Boden stark durchnässt ist, zu entwässern, so ordnet man einen Hauptdrain an, von dem Seitendrainen ausgehen; von den letzteren können unter Umständen wiederum Saugdrainen abzweigen. Der Hauptdrain folgt entweder der Richtung der stärksten Durchnässung oder der Richtung des stärksten Gefälles.

Das durch die Drainrohre gefammelte und nach einem passend gewählten, tiefgelegenen Punkte geleitete Wasser wird, wenn ein geeigneter natürlicher Sammler vorhanden ist, nach diesem geführt; sonst muß man Brunnen anlegen, welche das gefammelte Wasser aufnehmen¹⁷⁵⁾.

¹⁷⁴⁾ Nach: *La femme des const.*, Jahrg. 9, S. 90, 91.

¹⁷⁵⁾ Vergl. auch: Die in Amerika gebräuchliche Praxis der Drainierung von Wohnhäusern. Wiener Bauind.-Ztg. 1885, S. 456. — Die Hausfundierung in gesundheitlicher Beziehung. Deutsches Bauwksbl. 1892, S. 498, 512.

Zur Erläuterung des Gefagten sei¹⁷⁴⁾ hier die von *Lethorel* bei der Gründung von zwei Häusern in Paffy angewendete, durch Fig. 661 u. 662 veranschaulichte Entwässerungsanlage vorgeführt.

365.
Beispiel.

Der tragfähige Baugrund besteht in diesem Falle aus einer undurchlässigen Thonschicht; sobald dieselbe vom Wasser erreicht wird, wird sie vollständig nachgiebig. Deshalb mußten das einsickernde Meteorwasser und das Wasser der Umgebung von der Thonschicht ferngehalten werden.

Zu diesem Ende ist für jedes der beiden auf Senkbrunnen gegründeten Häuser je ein Entwässerungsfachschacht *S* angelegt worden, der in seinem oberen Teile wasserdicht gemauert ist; von der gleichfalls wasserdichten Sohle dieses gemauerten Vorfachschachtes sind eiserne Röhre von 20, 16 und 12 cm abgelenkt, und zwar bis in die Kreideschicht; die untersten Rohrstücke sind durchlöchert, und das Wasser versickert im Boden. Das oberste Rohrstück ragt über der Vorfachschachtsohle hervor, so daß rings um dasselbe eine Art Schlammfang entsteht. Sämtliche Außenmauern der beiden Häuser sind, soweit sie vom Erdreich begrenzt sind, durch einen wasserdichten Mörtelputz geschützt. An letzteren anschließend wurde ringsum ein 40 cm weiter Entwässerungsgraben angelegt, dessen Sohle von einer Hammerschlag-Betonschicht gebildet wird; auf letztere kommen die das ganze Gebäude umziehenden Drainrohre zu liegen; schließlich ist der Graben mit trockenem Hammerschlag zugefüllt. Die Drainrohre sind im Gefälle von 1:50 verlegt und nach den beiden Entwässerungsbrunnen geführt.

Das von der Straßens- und Hofoberfläche einsickernde, ebenso das von den Hausgärten zufließende Wasser wird durch die beschriebene Anlage abgefangen, bevor es an die Kellermauern gelangt. Um auch das Eindringen des Wassers durch die Kellersohle zu verhüten, ist auf derselben zunächst ein 25 cm dickes Sandbett ausgebreitet und über diesem eine 40 cm dicke Betonschicht ausgeführt.

Die Drainierung des Baugrundes ist auch in größeren Städten das vorteilhafteste Mittel, wenn man einen zu hohen Grundwasserspiegel senken, bzw. einen wechselnden Grundwasserstand fixieren will. Am vollkommensten erreicht man den beabsichtigten Zweck, wenn man diese Drainierung an die Kanalisation der betreffenden Stadt anschließt, bzw. mit Hilfe derselben vornimmt.

366.
Städtische
Kanalisation.

In den meisten Fällen genügt die Anlage eines fachgemäßen unterirdischen Kanalnetzes mit entsprechenden Hausanschlüssen allein, um das Fundamentmauerwerk der Häuser und die Kellerräume derselben trocken zu erhalten und dem die Verwesung organischer Stoffe begünstigenden Schwanken des gesenkten Grundwasserstandes ein Ende zu machen. Wenn man die Baugruben, in denen die Kanäle ausgeführt werden, in einer gewissen Höhe mit Kies oder grobem Sande verfüllt, so entsteht längs der Kanalwände ein zusammenhängendes Netz von durchlässigen Sickeranlagen, welche Wasser aufnehmen, dasselbe, indem sie dem Gefälle der Kanäle folgen, abführen und es schließlich an die Kanäle selbst oder an andere Sammler abgeben. Näheres über diesen Gegenstand ist in Teil III, Band 5 dieses »Handbuches« (Abt. IV, Abschn. 5, B, Kap. 7, unter a) zu finden.

Ist eine Quelle vorhanden, welche die Durchnässung des Bodens bewirkt, so ist es am besten, dieselbe oberhalb des zu errichtenden Gebäudes zu fassen und so abzuleiten, daß ihr Abfluß keine Störung erleidet. Ist dies nicht möglich, so muß die Quelle auf der Baustelle selbst in einer fog. Quellentube gefaßt werden, aus der das Wasser mittels eines Kanals abgeleitet wird.

367.
Quellen.

10) Bei Torf- und Moorboden läßt sich bisweilen durch Beseitigung des lockeren Bodenmaterials und Ersatz durch besseres Material, wie Kies, Sand etc., ein tragfähiger Baugrund schaffen. Indes ist dieses Mittel weniger unter die »Verbefferung schlechten Baugrundes« einzureihen, bildet vielmehr den Uebergang zu den Fundamentkonstruktionen.

368.
Ersatz
durch besseren
Boden.

Wenn ein Baugrund unter dem auf ihn ausgeübten Druck stark feitlich ausweicht, so läßt sich dies durch Umschließung mit Spund- und Pfahlwänden oder durch Belastung des Bodens um das Fundament herum verhüten. Bei breiigem Boden kann man indes durch Anwendung solcher Mittel keineswegs auf einen fichereren Erfolg zählen.

369.
Mittel
gegen
Ausweichen.

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 Erschütterungen¹⁷⁶⁾.

a) Lage, Form und Gröfse der Fundamentbasis.

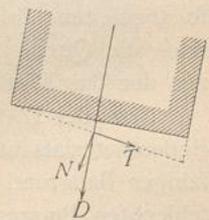
371.
Lage.

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.



¹⁷⁶⁾ 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: α) die Fundamente recht tief und mäßig herzustellen und dadurch den Schwerpunkt der Mauern möglichst weit nach unten zu verlegen; β) so weit als thunlich die Gründung unmittelbar zusammenhängend zu bewirken; γ) da, wo Senkgründung erforderlich, die Röhren näher als sonst üblich zu stellen und die Pfeilerquerschnitte über das gewöhnliche Maß zu vergrößern; δ) 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; ϵ) die ganze Gebäudegruppe mit einem 1 m breiten Isoliergraben von der Tiefe der benachbarten Umfassungsmauern zu umziehen; ζ) 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.

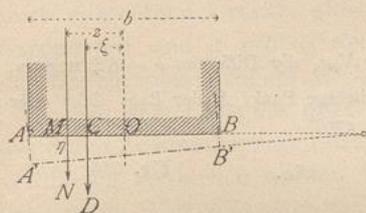
Da die Fundamente der meisten Hochbauten im wesentlichen nur lotrechte Kräfte auf den Baugrund zu übertragen haben, so ist ihre Aufständerfläche meist wagrecht angeordnet. Wenn es sich jedoch um die Gründung von Konstruktionsteilen handelt, welche auch wagrechten Kräften (Schüben) zu widerstehen haben, 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 Druck¹⁷⁷⁾

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

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. nach¹⁷⁸⁾

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

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 wird¹⁷⁹⁾

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

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. 275¹⁸⁰⁾ 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 η ; dieselbe wird dem daselbst herrschenden Drucke N nahezu proportional sein, also

$$\eta = \mu N.$$

¹⁷⁷⁾ 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«.

¹⁷⁸⁾ Siehe Gleichung 364 (S. 448) ebendaf.

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

¹⁸⁰⁾ 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 η 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 η 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, ξ 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.

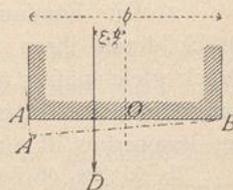
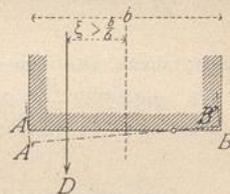


Fig. 666.



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 ¹⁸¹⁾,
- 2) infolge seitlichen Ausweichens des Baugrundes ¹⁸²⁾,
- 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 unschädlich, 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.

¹⁸¹⁾ 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.

¹⁸²⁾ 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 biegsamen Kräften 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«¹⁸³⁾ 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 *Schnoll*) 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 einfallen¹⁸⁴⁾.

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

¹⁸³⁾ 2. Aufl.: S. 53. — 3. Aufl.: S. 64.

¹⁸⁴⁾ 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, γ das Gewicht der Raumeinheit Erde und φ 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 zunimmt¹⁸⁵⁾.

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 Gleichgewichtsstörungen 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

¹⁸⁵⁾ 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 Auflandfläche 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 Auflandfläche fast stets einen gröfseren Flächeninhalt, als der zur Basis parallele Querschnitt des aufgehenden Mauerwerkes hat. Dies geschieht einerseits deshalb, um dem Mauerkörper durch die gröfsere Auflandfläche auch gröfsere 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 gröfsere Fläche verteilt werden, mit anderen Worten eine Fundamentverbreiterung eintreten. Derlei Fundamentverbreiterungen werden nur selten stetig, meistens abatzweise ausgeführt, wodurch man zur Anordnung der sog. Fundamentabätze, Grundbänke oder Bankette (Fig. 667) gelangt.

Durch Anbringen eines, erforderlichenfalls auch mehrerer Fundamentabätze kann man die Auflandfläche 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 Fundamentabätze vornehmen.

Bezüglich der Breiten- und Höhenabmessungen der Fundamentabätze wird in der Praxis vielfach gefehlt. Die Verteilung des Normaldruckes von einem kleineren Querschnitt auf einen tiefer gelegenen, gröfseren 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.

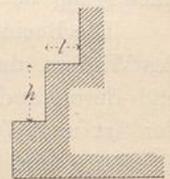


Fig. 668.

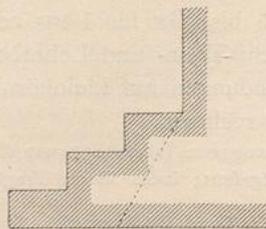
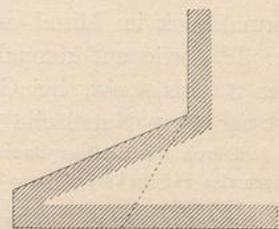


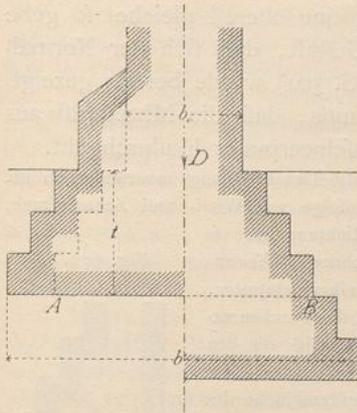
Fig. 669.



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. 669¹⁸⁶).

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

¹⁸⁶ 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 ω 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 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 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 geringer¹⁸⁷⁾.

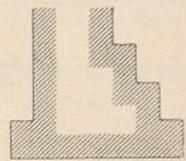
380.
Gleichmäßiges
Setzen.

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 Aufstehfläche des Fundaments eine solche Gestalt, daß sich der Normaldruck gleichmäßig über dieselbe verteilt. In Art. 372 (S. 301) wurde bereits gezeigt, daß die Aufstehfläche alsdann so geformt werden muß, daß die Mittelkraft aus sämtlichen daselbst wirkenden Kräften durch den Basischwerpunkt hindurchgeht.

Diese Bedingung läßt sich indes nur dann erfüllen, wenn die Druckrichtung unveränderlich ist. Wenn jedoch die Mittelkraft aus sämtlichen wirkenden Kräften infolge von Wind- und Schneedruck, infolge wechselnder zufälliger Belastungen etc. eine veränderliche Richtung hat, so läßt sich die Aufstehfläche 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 Aufstehfläche 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 Aufstehfläche des Fundaments oder vergrößert die Gründungstiefe¹⁸⁸⁾, 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 Grundrisanordnung 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 auftritt¹⁸⁹⁾.

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.

¹⁸⁷⁾ 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.

¹⁸⁸⁾ 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.

¹⁸⁹⁾ 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 Eiseneinlagen 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 — Senkbrunnen¹⁹⁰⁾.

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 Betonpfahlrost¹⁹¹⁾.

c) Sicherheit gegen seitliches Verschieben.

Das seitliche Verschieben oder das Abgleiten des Fundaments kann eintreten:

- 1) durch unzweckmäßige Lage der Aufstehfläche 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 Aufstehfläche 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 denselben nur lotrechte Lasten zu tragen hat, so ist auch auf den Baugrund nur ein lotrechter Druck zu übertragen, und die Aufstehfläche 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

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

¹⁹¹⁾ 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 Fundamentkörpers¹⁹²⁾.

δ) Man bringt an der am tiefsten gelegenen Stelle des Bauwerkes einen so großen Mauerkörper an, daß dieser durch sein Maffe 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.

¹⁹²⁾ Nach Ol'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.

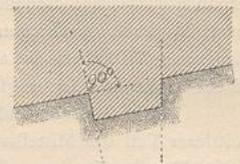
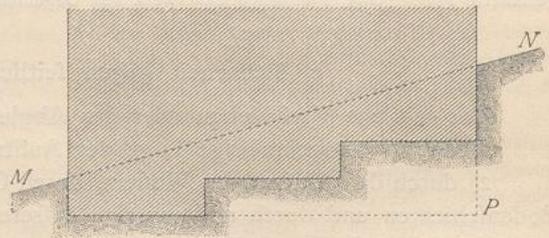


Fig. 674.



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 Verbande geschehen, 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 eintreten¹⁹³⁾.

Quellen und anderes den Boden durchfließendes Wasser¹⁹⁴⁾ können auch das Unterpülen des Fundaments und dieses wieder eine beträchtliche Senkung des letzteren zur Folge haben¹⁹⁵⁾.

¹⁹³⁾ 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.)

¹⁹⁴⁾ 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.

¹⁹⁵⁾ 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 eintritt¹⁹⁶⁾.

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 Aufstanzfläche 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 Betonschichten¹⁹⁷⁾, 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.

¹⁹⁶⁾ Als Beispiel kann u. a. ein in Oberhessen erbautes Bahnwärterhaus der Main-Weser-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.

¹⁹⁷⁾ 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 γ). 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 δ). 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 werden¹⁹⁸⁾. 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 ϵ). 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 Wassersäule (die Wassertiefe) und γ das Gewicht der Raumeinheit des betreffenden Baukörpers bezeichnet. Indes erhält man auf diese Weise stets eine zu grosse

¹⁹⁸⁾ 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 Raumeinheit Wasser, γ_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 genügen¹⁹⁹⁾.

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 Wasseranammlung 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 kann²⁰⁰⁾.

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 werden²⁰¹⁾.

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

¹⁹⁹⁾ 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.

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

²⁰¹⁾ 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 Kohlenflözen durchsetzt und von einer Kreidemergelschicht überlagert ist. Durch den Abbau jener Kohlenflöze 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 ergänzen²⁰²⁾.

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 Gründungstiefe²⁰³⁾, 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 Emporfsteigen 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.

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

²⁰³⁾ *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 Schemas²⁰⁴⁾ gruppieren.

Für die nachfolgenden Betrachtungen erscheint es am zweckmäßigsten, die Grundbauten einzuteilen in²⁰⁵⁾:

- 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 Betongründung 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 vorgezogen²⁰⁶⁾.

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.

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

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

²⁰⁶⁾ 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; 3) Gründung mittels eiserner Schraubenspähle. | 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. |
| Bemerkungen: | 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*²⁰⁷⁾ 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.

²⁰⁷⁾ In: *Zeitschr. f. Bauw.* (Auch als Sonderabdruck erscheinend.)