

Zeitschrift: IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH
Kongressbericht

Band: 11 (1980)

Artikel: Einfluss des Bodenverhaltens auf die Bemessung von Bauwerken

Autor: Veder, Christian

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-11215>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 23.05.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

XIa

Einfluss des Bodenverhaltens auf die Bemessung von Bauwerken

Influence of Soil Behaviour on Structural Design

Influence du comportement du sol sur le dimensionnement de constructions de génie civil

CHRISTIAN VEDER

Dr. Ing. h.c.

Graz-Wien, Österreich

ZUSAMMENFASSUNG

Der moderne Bauingenieur und der Bodenmechaniker betrachten in enger Zusammenarbeit den Baugrund und das Bauwerk als eine Einheit, mit dem Ziel, eine gemeinsame Festigkeitswirkung zu erreichen.

Das Fundament leitet die Lasten des Bauwerks in den Boden ab, und muss, dem Baugrundverhalten entsprechend, als Flach- oder Tiefgründung gestaltet werden. Durch Spezialverfahren kann man, wenn erforderlich, die Bodeneigenschaften verändern.

SUMMARY

The modern civil engineer and the geotechnical engineer consider foundation soil and construction an entirety and cooperate closely with the aim of achieving a combined effect of strength.

The foundation diverts the load of the construction into the soil and therefore it has to be designed according to the properties of the foundation soil, either as deep foundation or as spread foundation. When necessary, the soil properties can be changed through special processes.

RESUME

L'ingénieur civil moderne et l'ingénieur géotechnicien conçoivent le sol et la construction comme une unité, et collaborent étroitement afin d'atteindre un degré de stabilité commun.

La fondation transmet les charges de la construction au sol et doit être formée, selon les qualités du sol, par des constructions plates ou profondes.

Les propriétés du sol peuvent être modifiées, si nécessaire, par des procédés spéciaux.



1. EINLEITUNG UND BEGRIFFSBESTIMMUNG

Vor der Mitte der Zwanzigerjahre betrachtete der Bauingenieur in der Regel das Bauwerk und sein Fundament als von einander unabhängig auszuführende Komplexe. Hie Bauwerk, hie Baugrund hieß es, wobei man dem letzteren, der ja doch die Kräfte und Lasten des Bauwerkes in sich aufzunehmen hat, wenig oder keine Beachtung schenkte.

Damals, 1925, erschien das grundlegende Werk von Karl Terzaghi: "Die Erdbau-mechanik auf bodenphysikalischer Grundlage". Er prüfte erstmals die physi-kalischen Eigenschaften des Bodens wie die anderer Baustoffe, etwa Stein, Beton oder Stahl; damit begann er, den Boden zu beobachten und sein Verhalten unter der Belastung des zu errichtenden Bauwerkes vorausszusehen.

Dies war der Leitgedanke, der dem Umdenken des modernen Bauingenieurs voraus-ging, nunmehr das Bauwerk und den Baugrund als Einheit zu betrachten, mit dem Ziel, eine gemeinsame Festigkeitswirkung zu erreichen. Daraus ergibt sich auch die Notwendigkeit einer überaus engen Zusammenarbeit des Bauingenieurs mit dem Bodenmechaniker. Diese Zusammenarbeit konzentriert sich auf das Fundament, von dessen Richtigkeit und Güte die Stabilität des Bauwerkes abhängt; d.h. das Fundament muß so beschaffen sein, daß die Gegebenheiten des übertägigen Bau-werkes sozusagen verkräftet werden können, und muß diesem speziellen Bauwerk auf diesem speziellen Boden die volle Standsicherheit gewährleisten.

Der Bodenmechaniker hat sich also, eventuell unter Zuziehung eines Ingenieur-geologen, ein klares Bild von der Beschaffenheit des Bodens, nach der Durch-führung aller erforderlichen Untersuchungen in Feld und Laboratorium zu machen. Voraussetzung dafür ist, daß er als Fachmann die Anwendungsmöglich-keiten und Grenzen der vielfältigen Methoden, der Spezialverfahren und Spezial-maschinen, welche bei einer Fundierung in Frage kommen, genau kennt. Der Fachmann, welcher beim Entwurf eines Fundamentes aus seinen besonderen Er-fahrungen und Erkenntnissen schöpft, bürgt auch dafür, daß das bei jedem Bau auf sich zu nehmende Risiko denkbar gering gehalten werden kann.

Sicherlich ergeben sich zunächst gewisse Diskrepanzen zwischen den Wünschen des projektierenden Bauingenieurs und den Möglichkeiten, die der Bodenmechaniker anbieten kann. In diesem Ineinandergreifen und Abgrenzen der Kompetenzen wird es darauf ankommen, in schrittweiser Detailarbeit, in stetem Wechselgespräch, alle möglichen Varianten zu prüfen, bis eine für beide Teile befriedigende Lösung gefunden ist.

Damit wird sich auch die Frage der Haftung klar beantworten. Es sei hier be-merkt, daß der Wirksamkeit der Ziviltechnikerhaftpflichtversicherung (Berufs-haftpflichtversicherung) Schranken gesetzt sind. Die Prämien erreichen, bei den im Spiele stehenden meist großen Bausummen, geradezu irrealen Höhen.

2. AUFGABENSTELLUNG

Die folgenden Ausführungen beruhen auf der mehr als 45-jährigen theoretischen und praktischen Erfahrung des Verfassers als Tiefbauingenieur in 12 verschie-denen Ländern der Welt.

Die Bodenmechanik stellt ein Fachgebiet des Bauingenieurwesens dar, und sie gründet sich selbstverständlich auf die anerkannten Regeln der Mathematik



und Physik. Man muß sich vor Augen halten: noch nie war der Boden und sein Verhalten so wichtig wie heute. Das hängt zusammen mit dem Ausverkauf der guten, verformungsarmen und tragfähigen Böden einerseits, und der Errichtung von in stets höherem Grade setzungsempfindlichen Bauwerken andererseits. Daher auch das erhöhte Augenmerk auf das zu erwartende Verhalten des Bodens, auf dem gebaut werden muß, daher auch die Wichtigkeit der Erforschung seiner Eigenschaften.

Das Bodenverhalten wird durch die in Feld und Labor ermittelten Bodenparameter beschrieben; diese bilden die Grundlage für die Bemessung der Fundamente, genau so wie die Angaben etwa über zulässige - und Bruch - Spannungen oder Dehnungen bei Stahl, Beton, Stein und Holz, sowie ihr plastisches und elastisches Verhalten die Bemessung von Bauwerken ermöglichen.

Die hierfür notwendigen Parameter des Bodens sind viel zahlreicher als jene von Stahl, Beton, Stein oder Holz, haben wir es beim Boden doch mit einem sogenannten Dreiphasensystem - Feststoff, Wasser und Luft zu tun, bei welchem z.B. aufgebrachte Belastungen einander entgegengesetzte Spannungen im Feststoff und im Porenwasser erzeugen, oder die Werte des inneren Reibungswinkels, der Kohäsion und des Verformungsmoduls von der Geschichte und Art der Vorbelastung abhängig sind, um nur ganz wenige Besonderheiten der Bodenparameter anzuführen.

Es soll die nach den heutigen modernen Gesichtspunkten rationellste Bemessung von Bauwerken in Funktion des Bodenverhaltens, aber auch unter Berücksichtigung der rasanten Entwicklung der maschinellen Einrichtungen besprochen werden; ältere, heute weniger gebräuchliche Methoden werden eventuell kurz erwähnt.

Im folgenden werden einfachheitshalber die Böden ihrem Verhalten nach eingeteilt in:

- wenig verformbare Böden, gut tragfähigen Baugrund, bzw. stark verformbare Böden, die wenig tragfähigen Baugrund darstellen. Die dem Bodenmechaniker geläufige Unterteilung in bindige (kohärente) und nicht bindige (kohäsionslose) Böden wird vermieden, da bei ungestörter Lagerung auch sogenannte nicht bindige Böden, solange nicht aufgelockert, eine sehr wirksame Kohäsion aufweisen können. (Verzahnungskohäsion)

3. WAS ERWARTET DER BODENMECHANIKER VOM BAUINGENIEUR? UND WAS KANN DER BAUINGENIEUR DEM BODENMECHANIKER BIETEN?

Angaben über:

- Die Größe, Richtung und Angriffspunkte der wirkenden Kräfte; also Bauwerkslasten, Schnee- und Windlasten, Beanspruchung durch Erdbeben oder andere Erschütterungen, ob sie vertikal, nach unten oder nach oben oder in anderer Richtung wirken, z.B. Erddruck und zwar sowohl für die Zeit nach Bauende aber auch für die einzelnen Bauphasen, welche ev. Zwischenlösungen wie provisorische Abstützungen etc. erfordern, z.B. für eine Baugrube.
- Die Möglichkeit, die Baugrubenumschließung in das fertige Bauwerk einzubeziehen.
- Die Verteilung der Lasten durch die einzelnen Komplexe des Bauwerkes wie Stiegenhäuser, Aufzüge, schwere Maschinen etc., sowie über eventuelle Veränderung dieser Lastverteilung infolge von Umlagerungen z.B. bei Magazinen, Silos etc.; ob also die Lasten ständig oder nur zeitweise wirken.



- Die erforderliche Tiefenlage der Fundamente unter Geländeoberfläche und unter dem Fundament angrenzender Bauwerke.
- Ob das Bauwerk als schlaff (im allgemeinen alle normalen Bauwerke, seien sie aus Ziegeln gemauert oder als Stahl- oder Stahlbetonskelett-hochbauten errichtet), oder als starr anzusehen ist (z.B. Silos, Reaktoren etc.). Danach richtet sich die Druckverteilung im Baugrund.
- Ist das Bauwerk definitiv oder provisorisch, d.h. ob es nach einiger Zeit demontiert werden muß.
- Die Lage des Bauwerks im Gelände, z.B. ob die Geländeoberfläche eben oder geneigt ist.
- Die allgemeinen Bodenverhältnisse, also ob es sich um einen festgelagerten Boden oder um eine junge Aufschüttung, um homogenen oder stark geschichteten Untergrund handelt.
- Den geologischen und hydraulischen Aufbau des Untergrundes, Grundwasserverhältnisse im näheren und weiteren Bereich der Baustelle. Die Lage der frostfreien Tiefe.
- Das Vorhandensein von alten Einbauten, wie alte Fundamente, alte Kanäle, etc.
- Das bisherige Verhalten eventuell in der Nähe befindlicher ähnlicher Bauwerke. Zulässige Gesamt- und differentielle Setzungen in vertikaler und schräger Richtung. In der Regel sind differentielle Setzungen von weniger als 1:1000 unbedenklich, geringer als 1:300 gerade noch zulässig, und bei 1:150 und darüber sind katastrophale Schäden zu erwarten.
- Das Ausmaß der gestatteten Beeinflussung der umliegenden Bauwerke durch zu erwartende Bodenbewegungen, Lärm, Staubentwicklung.
- Die notwendige Gestaltung der Isolierungen gegen das Grundwasser, ob diese absolute Trockenheit der Keller garantieren müssen oder ob eine gewisse Feuchtigkeit zulässig ist.
- Die Ableitung der Abwässer, herrührend von Regen, Küchen, Waschräumen, Drainagen etc. in den Vorfluter.
- Bewegliche Anschlüsse der allgemeinen Zu- und Ableitungen, welche infolge von starken Setzungsdifferenzen nötig werden können.
- Die Beeinflussung des zu projektierenden Bauwerkes durch spätere Um- oder Zubauten sowie durch geplante Nachbarbauten inklusive U-Bahnen, welche unter Umständen das projektierte Bauwerk unterfahren müssen etc.
- Die vorgesehene Bauzeit
- Die Möglichkeit, moderne Baumaschinen einzusetzen.
- Das Vorhandensein von geschulten Arbeitskräften z.B. bei Arbeit in Entwicklungsländern.
- Die möglichen und zulässigen Varianten.

Zudem erwartet der Bodenmechaniker selbstverständlich schon vor und während



der Projektierung zur Behandlung aller ihn betreffenden Probleme des Bodens und der Fundamentgestaltung herangezogen zu werden.

Der Bodenmechaniker muß die Möglichkeit haben, die Qualität der Fundierungsarbeiten zu kontrollieren.

4. WAS ERWARTET DER BAUINGENIEUR VOM BODENMECHANIKER, UND WAS BIETET DER BODENMECHANIKER DEM BAUINGENIEUR?

Angaben über:

- Die Sicherheit gegen schädliche Verformungen des Bauwerks, wie Setzungen, Gleiten, mechanischer Grundbruch.
- Die Sicherheit gegen schädliche Einflüsse des Wassers im Boden durch Frost, Feuchtigkeit, hydraulischen Grundbruch, Grundwasserabsenkung.
- Die Möglichkeiten der Ausführung verschiedener Varianten mit entsprechenden Vergleichen in technischer und wirtschaftlicher Hinsicht.
- Die Berechnungen, welche zur Bemessung der Fundamente führen.
- Die zweckmäßigsten Baumethoden 4.3.1 - 4.3.3.
- Den zweckmäßigsten Bauablauf (die Aufeinanderfolge der einzelnen Bauphasen).
- Die eventuell nötige Wasserhaltung durch Pumpen in der Baugrube, durch Grundwasserabsenkung mittels Brunnen außerhalb oder innerhalb der Baugrube.
- Vorzusehende Sicherheitsmaßnahmen für den Fall, daß plötzlich gefährliche Erd- oder Wasserbewegungen eintreten, z.B. Einbau von provisorischen Stützmaßnahmen, wie Spundwände, Schüttungen von Sand und Kies, provisorisches Fluten der Baugrube.
- Einzubauende Meßgeräte wie Erddruckmesser, Extensometer, Porenwasserdruckgeber etc. unter der Fundamentsohle und im darunterliegenden Boden zur Beobachtung des Verhaltens der Fundamente während und nach der Fertigstellung des Baues.
- Die Möglichkeit, im Falle von unvorhergesehenen Verformungen einzelne Gebäudeteile einrichten zu können, z.B. durch hydraulische Pressen.

Von besonderer Bedeutung sind folgende Kapitel:

4.1. Bodenverhalten in Abhängigkeit von der Bodenstruktur

Einteilung der Böden in zwei Hauptgruppen:

4.1.1 relativ tragfähige Böden von hoher Festigkeit und geringer Verformbarkeit

4.1.2 relativ wenig tragfähige Böden von geringer Festigkeit, stark verformbar

ad 4.1.1 Hoch sind Raumgewicht, Verformungsmodul, der Wert des inneren Reibungswinkels und die Kohäsion. (Wichtig: Verzahnungskohäsion bei Sand-Kiesböden).

- Gut abgestufte Kornverteilung



- Geringer Kolloidgehalt, geringe Tixotropie, geringe Neigung zu Verflüssigung
- Der Durchlässigkeitsbeiwert k_f ist relativ groß, dadurch keine zeitliche Veränderung des Wertes γ^o und der Kohäsion durch Porenwasserdruck
- Keine Neigung zu Bodenbewegungen infolge Frosteinwirkung

ad 4.1.2 Sie weisen sozusagen die "reziproken" Merkmale der tragfähigen, homogenen unter 4.1.1 genannten Böden auf.

Unter nicht-homogenen Böden versteht man in erster Linie solche, welche im Falle von Ton- und Schluffböden von relativ dünnen wasserführenden, stark durchlässigen Sandschichten durchzogen sind; im Falle von Felsgestein sind es Klüfte, im Falle von Sand- Kies oder Felsgestein sind es relativ dünne hochplastische kolloidale Tonschichten.

Die ersteren können unerwartet hohe Porenwasserdrücke, und damit plötzliche Gleitbewegungen bewirken, die letzteren stellen häufig vorgebildete, anfangs oft unbeachtete Gleitflächen dar. In beiden Fällen sind Drainagen, bzw. Konsolidierungsmaßnahmen vorzusehen.

4.2. Hinweise für Bodenuntersuchungen

Obwohl die Bodenuntersuchungen das ureigenste Gebiet des Bodenmechanikers sind, kommt es immer wieder vor, daß lange vor Beginn der Bauarbeiten z.B. Bohrungen ohne Beiziehung eines Bodenmechanikers durchgeführt werden. Wird er später doch als Gutachter zugezogen, scheut er sich oft, neue Bodenaufschlüsse zu verlangen, und "bastelt und zaubert" in seiner Not so gut es geht, auf Grund der vorliegenden und oft lückenhaften Ergebnisse, die Grundlagen für die heiklen Bemessungen zusammen. Diese können durch irreführende Angaben über die wichtigsten Kennziffern und Parameter zu grob fehlerhaften Beurteilungen und Voraussetzungen über das Baugrundverhalten führen, und sehr teure Mißerfolge zur Folge haben.

Die wichtigsten Grundlagen für Forschungen und Berechnungen sind noch immer die Beobachtungen und Prüfergebnisse aus den ungestört entnommenen Bodenproben, gewonnen aus Bohrungen und Schürfungen.

Zusammenstellung der wichtigsten Bodenuntersuchungen im Feld, bei welcher der Bodenmechaniker oder sein Vertreter stets persönlich anwesend sein sollen.

- Schürfen in Röschen (Gräben) oder Schächten
- Bohrungen und Entnahme von gestörten und ungestörten Bodenproben.
- Sondierungen (Druck- oder Schlagsondierungen von der Bodenoberfläche oder von der Sohle des Bohrloches aus)
- Seismische Untersuchungen
- Geoelektrische Untersuchungen



- Messung der natürlichen elektrischen Bodenpotentiale in Schächten oder Bohrungen
- Bestimmung der Dichte des natürlichen Bodens in situ
- Bestimmung des Wassergehaltes des natürlichen Bodens in situ
- Bestimmung des Durchlässigkeitskoeffizienten k_f durch Probeabsenkungen des Grundwasserspiegels oder Wasserabpreßversuche
- Lastplattenversuche
- (bei Felsgestein) Bestimmung des inneren Reibungswinkels und der Kohäsion durch Versuche in situ.

Es ist die Meinung der Fachleute, daß es heute nicht so wichtig ist, neue, oft nur theoretisch verfeinerte Methoden auszuarbeiten, vielmehr bei der Anwendung der bisher verwendeten bewährten Verfahren die bekannten Regeln zu befolgen, und ihre Ergebnisse mittels modernen Methoden aufzuzeichnen, um möglichst brauchbare Bemessungsgrundlagen zu gewinnen.

Im folgenden möchte ich, auf Grund meiner über 45-jährigen Erfahrung, die wichtigsten dieser Regeln anführen:

- Schon vor Beginn der Schürfarbeiten, die nicht unter Zeitdruck stehen sollten, an den Einbau der Meßgeräte (Extensometer, Erddruckgeber, Piezometerrohre etc.) denken
- Der Bodenmechaniker oder sein Vertreter sollte möglichst während der ganzen Dauer der Bohrung anwesend und das Fachpersonal langjährig geschult sein.
- Grundsätzlich: Kerndurchmesser $\geq \phi 15$ cm; Bohrgeschwindigkeit, Druck am Gestänge und Spülung sind den Bodenverhältnissen anzupassen
- Die Kernkisten müssen die gesamte gestörte Kernentnahme möglichst lückenlos, in allen Details dokumentieren, die ungestörten Bodenproben müssen bis zum Eintreffen im Labor sorgfältigst geschützt werden. Farbphotos sind unerläßlich
- Die Vertikalität des Bohrloches ist durch Messungen zu überprüfen (die Bohrkronen und das Gestänge weicht harten Blöcken aus!)
- Die Tiefe des Grundwasserspiegels ist zu prüfen. Artesisches Wasser ist zu beobachten
- Der Wasserspiegel im Bohrloch muß gleich hoch oder höher als der Grundwasserspiegel sein; Beobachtung der Schwankungen durch Piezometer
- Die Beobachtung der Bodenspannungen durch den Erddruckgeber
- Gefährlich sind Bohrungen dort, wo später etwa mit Druckluft gearbeitet wird; (Gefahr von Ausbläsern z.B. bei U-Bahnbauten) auch kann durch ein Bohrloch in der Baugrube später Wasser eintreten.



4.2.1 Neuere Methoden für Bodenaufschlüsse und Berechnungen

- Messung der Felsauflockerung mittels Multikanaldiffraktometer
- Messung der elektrischen Potentialdifferenz mittels einer Bohrlochsonde
- Beobachtung der Veränderung des Porenwasserdruckes mit der Zeit
- Beobachtung der Veränderung der elektrischen Potentialdifferenz mit der Zeit
- Bestimmung der mineralogischen Zusammensetzung von Tonböden mittels Röntgendiffraktometer. Vorbehandlung mit Ionenbeladung zur besseren Bestimmung des Montmorillonits.
- Fotografische Dokumentation der Aufzeichnung durch den Oszillografen
- Neue Berechnungsmethoden des mechanischen Grundbruches nach ÖNORM
- Neue Berechnungsmethoden mittels finiter Elemente

4.3. Aussagen des Bodenmechanikers: Wie beeinflusst das Baugrundverhalten den Entwurf des Fundamentes

- Wichtiger Grundsatz: Sogenannte gemischte Gründungen, also eine Kombination von z.B. Flach- und Pfahlgründungen, sind zu vermeiden.

4.3.1 Das Baugrundverhalten gestattet ohne besondere Maßnahmen Flachgründungen

Unter Flachgründungen versteht man Fundamente, welche direkt auf den tragfähigen, zu geringer Verformung neigenden Boden aufgesetzt werden. Hierbei ist folgendes zu beachten: Für eine möglichst gleichmäßig verteilte Belastung des Fundamentes durch das Bauwerk ist zu sorgen. Die Gründungssohle kann dabei, um das teure Baugelände möglichst auszunützen, auch mehrere Stockwerke unter der Bodenoberfläche liegen. In diesem Falle sind Baugrubenumschließungen zu bauen, welche zweckmäßigerweise zugleich einen Teil des Bauwerkes bilden, wobei der Boden durch die Baumaßnahmen möglichst wenig entspannt werden darf.

Falls kein Grundwasser vorhanden und der Boden nicht eben breiig ist, verwendet man aufgelöste Bohrpfahlwände, bei Grundwasserzudrang und praktisch in Böden jeder Konsistenz, dichte Schlitzwände. Heute baut man die Baugrube auch bei Auflasten unmittelbar neben der Baugrubenumschließung meist ohne provisorische Verpölung, also mittels Verankerung, als vorgespannte Wand oder mit T-förmigen Versteifungsrippen. Ferner Verwendung der "cover and cut"-Methode, d.h. man betoniert vor dem Aushub des jeweiligen Kellergeschosses die korrespondierende Decke, diese dient gleichzeitig als Aussteifung und kann eventuell auf provisorischen oder definitiven Stützen ruhen. Die Gründung dieser Stützen reicht unter die Fundamentsohle, was bei dem angenommen guten Baugrund kein Problem ist. Wenn Keller staubtrocken sein sollen, muß die Baugrubenwand und -sohle durch eine Isolierung oder mittels Sperrbeton gedichtet werden. Beide muß man gegen Auftrieb sichern, entweder durch Verankerung, durch das Eigengewicht oder durch Einspannen der Sohlplatte in die Seitenwände. Ist der Boden etwas aber nicht zu stark wasserdurchlässig, Wasser unter der Bodenplatte über einen Filter dauernd abpumpen und so sehr wirtschaftlich die Platten vom Auftrieb entlasten. Statt Isolierung der Seitenwände Errichtung eines Verkleidungsmauerwerks, und das durch die Wand tropfende Wasser über einen Sohlkanal

abpumpen.

Die unter der Fundamentsohle in den Boden geleiteten Spannungen bewirken Verformungen, welche, was die Vertikalverformung betrifft, nach den heute meist verwendeten Berechnungsverfahren relativ gut vorausszusagen sind.

Dabei ist folgendes zu berücksichtigen:

Den Verformungsmodul bei seitlich behinderter und unbehinderter Ausdehnung im Labor, an sorgfältig aus Schürfungen entnommenen und in die Geräte (Ödometer, Triachsalapparat etc.) eingebauten Bodenproben bestimmen.

Falls in der näheren Umgebung noch keine entsprechenden, immer sehr wichtig zu nehmenden regionalen Erfahrungen vorliegen, sind Großbelastungsversuche im Feld ratsam. Da die Probeflächen meist kleiner sind als jene des Gebäudes, ist Rücksicht darauf zu nehmen, daß der Verformungsmodul mit der Tiefe meist größer wird; die zu erwartende Setzung wird also kleiner sein als errechnet.

Durch Beobachtung der Verformungen, Risse etc. an Bauten im fraglichen Bereich kann man Schlüsse ziehen auf die Verformbarkeit des Bodens und das Verhalten des zu errichtenden Bauwerks.

Es müssen nicht nur die Gesamtsetzungen, welche im allgemeinen für die Mitte des Gebäudes gelten, berechnet werden, sondern auch die Setzungsdifferenzen zwischen Mitte und Randzonen.

Ein normaler Stahl- oder Stahlbetonskelettbau auf normaler Gründung (Einzel-, Streifen- oder Plattenfundamenten) verhält sich als schlaffes Bauwerk, d.h. theoretisch müßte sich der Boden, und damit das Bauwerk, unter den aufgebauten Spannungen in Gestalt einer (berechenbaren) Setzungsmulde verformen. Der äußere Rand der Setzungsmulde reicht theoretisch beträchtlich über die Gebäudeflucht hinaus. In diesem Falle beträgt die Setzungsdifferenz zwischen Gebäudemitte und Gebäudeflucht etwa die Hälfte der Gesamtsetzung. Theoretisch müßte sich der Boden, bzw. die nahe dem neuen Gebäude befindlichen Altbauten ebenfalls setzen.

Nach neuen Beobachtungen, vor allem beim Bau der Frankfurter Hochhäuser, entsteht zwischen dem Neubau und den bestehenden Gebäuden ein sog. Setzungssprung, d.h. die Setzungsmulde ist auf den Neubau beschränkt, und die umliegenden Häuser setzen sich so wenig, daß keine Schäden auftreten. Offenbar wird der Boden unter dem Neubau während der vertikalen Zusammendrückung auch seitlich verdrängt und dadurch die Setzungsmulde am Rande stark "versteilt".

Bezüglich des Schutzes gegen Fundamentbewegungen infolge Unterfahrungen z.B. durch U-Bahnen (siehe 4.3.3. Injektionen, Grundwasserabsenkung, Gefrieren des Bodens).

4.3.2 Das Bodenverhalten erfordert Tiefgründungen

Tiefgründungen übertragen die Bauwerkslasten auf tieferliegende, weniger verformbare Schichten. Dadurch wird die Tragfähigkeit des Fundamentes im Vergleich zu Flachgründungen erhöht oder bei gleicher Last die Setzung vermindert.

- Pfähle: Grundvoraussetzungen für das Gelingen einer Pfahlgründung:
Geschultes, verantwortungsbewußtes Fachpersonal, ständige Kontrolle durch die Bauführung

Lastübertragung in den Boden teils über Mantelreibung teils über Widerstand der Sohle. (Bei Zugpfählen nur über die Mantelreibung). Die Pfahlsohle soll zuverlässig in den tragfähigen Boden einbinden



Die Tragfähigkeit kann erhöht werden durch Einstampfen oder Einrütteln von Kies in den Boden, oder Einpressen von Zementmörtel unter der Pfahlsohle. Knickgefahr bei Pfählen auch in weichen Schichten, besteht nicht

Die Wahl des Pfahldurchmessers richtet sich nach der aufzunehmenden Last. Man zieht einen Pfahl mit größerem Durchmesser einer Pfahlgruppe aus zahlreichen Pfählen mit kleinem Durchmesser vor

Ein Pfahl oder Schlitzwandelement mit großem Trägheitsmoment ist einer Gruppe geeigneter Pfähle zur Aufnahme von Horizontalkomponenten vorzuziehen

Die Bemessung von Pfahlgründungen erfolgt entweder auf Grund von Probelastungen, Erfahrungswerten oder vorsichtig zu wählenden Tabellenwerten

- Ramppfähle: Durchmesser zwischen ca. ϕ 10 und 90 cm sind anzuwenden:
Wenn zu durchfahrende Schichten besonders weich sind; wenn Bodenoberfläche unter Wasser liegt; wenn lockere Sandschichten durch das Einrammen von Pfählen verdichtet werden können.
- Bohrpfähle: Durchmesser ϕ ca. 10 - 250 cm und darüber. Sie sind dort anzuwenden, wo die Umgebung möglichst wenig durch Erschütterung, Lärm und Bodeneintrüttelung gestört werden darf.
Kleinbohrpfähle bis $\phi \sim 20$ cm vor allem für Unterfangungsarbeiten, als Stabwände und Baugrubenumschließung etc.
Bei verrohrten Bohrpfählen: Achtung auf die Gefahr der "Einschnürung" der Betonsäule und der Verschiebung der Stahlbewehrung während des Ziehens der Bohrröhre.
Bei unverrohrten Bohrpfählen muß sofort nach Fertigstellung der Bohrung betoniert werden, um eine Verdickung des Bentonitkuchens, welcher erfahrungsgemäß durch die aufsteigende Betonsäule verdrängt wird, zu vermeiden.
- Schwimmkästen
Schwimmkästen werden auf die vorher planierte Bodenoberfläche unter der Wasseroberfläche gesetzt. Der Boden muß gut tragfähig sein, der Schwimmkasten kann auch durch seitlich angebrachte Pfähle gesichert werden (für Quaimauern "Offshore" - Bohrinselfn, - Öltanks, etc.).
- Senkkästen: Sie wurden vor der Einführung von Pfählen mit großer Tragfähigkeit und von Schlitzwänden für die Gründung von Brückenpfeilern, Tiefgaragen etc. verwendet; heute verwendet man sie, wenn der Boden unter Grundwasserspiegel relativ weich ist oder große Blöcke vorhanden sind. Sie können unter freiem Wasserspiegel auf vorher in den Untergrund eingebaute Pfähle gesetzt werden.
- Offener Aushub: Falls die Gründung auf Pfählen zu unsicher erscheint (z.B. in Erdbebengebieten) und kein oder nur wenig Grundwasser angetroffen wird, werden steil geböschte, mit Spritzbeton gesicherte Baugruben durch die oberen wenig tragfähigen Schichten so hergestellt, daß das Bauwerk direkt auf den darunterliegenden tragfähigen Boden aufgesetzt werden kann.

4.3.3 Das Baugrundverhalten kann durch Spezialverfahren so verändert werden, daß technisch und wirtschaftlich vertretbare Gründungen ermöglicht werden.

Spezialverfahren, welche bei Setzungs- und Grundbruchgefahr den Boden



tragfähig machen:

Dynamische Intensivverdichtung: Verdichtung von locker gelagerten Sand- und Kiesböden.

Brantkalk: das Beimischen von Brantkalk kann die Oberfläche von Tonen und Schluffen für leichtere Bauten tragfähig machen.

Belastung mit einer Lockergesteinsschicht für weichen, tonig-schluffigen Sandboden mit Torfzwischenlagen bei hoch liegendem Grundwasserspiegel; die Spannung auf die Bodenoberfläche muß dabei mindestens 1 1/2 - 2 mal so groß sein wie die spätere Nutzlast. Nach der Entlastung keine weiteren Setzungen. Beschleunigung und Vergrößerung der Konsolidierung durch Vertikaldrainagen.

Tiefenrüttelverfahren: Für die Aufnahme schwerer Bauten auf Böden bei Korngrößen zwischen Sand und Steinen erhöht das Verfahren das Tragvermögen beträchtlich.

Verfahren der bewehrten Erde oder Bodenvernagelung, verwendet an Stelle von normalen Verankerungen von Stützbauwerken in Lockergestein.

Ersatz durch Sand und Kies: Für weiche Böden geringer Konsistenz; der Aushub erfolgt bis ~10 m Tiefe, wird durch Sand und Kies ersetzt und befähigt den Boden zur Aufnahme großer Lasten (Dock- und Hafenanlagen).

Injektionen mit Zement und chemischen Produkten zur Stabilisierung von Lockeren, stark wasserführenden Böden (meist Schwimmsand).

Grundwasserabsenkung mit Hilfe von Brunnen oder Wellpoints. Die auftretenden Setzungen können zwischen wenigen Zentimetern (Stuttgart) und vielen Dezimetern (Venedig) liegen.

Gefrieren des Bodens (sehr wirksam aber relativ teuer): Vermeidung von Wassereinbrüchen, Stabilisierung jeder Bodenart, Ermöglichung einfacher Aushubarbeiten für den Tunnel- bzw. Schachtvortrieb, Baugrubenumschließungen und Verschließung von Lücken in Umschließungswänden unter Grundwasserspiegel.

4.3.4 Einfluß des Bodenverhaltens auf die Bemessung von Bauwerken in von Erdbeben betroffenen Gebieten.

Allgemeine Richtlinien für Bauten in Erdbebengebieten siehe DIN 4149 und ÖNORM B 4015. Was insbesondere das Bodenverhalten anlangt, gilt folgendes:

- Bei Felsgestein: Hauptsächlich Longitudinalwellen mit relativ kleinen Amplituden relativ großer Frequenz (Hertz), daher Achtung auf horizontale Verschiebungen; max. horizontale Beschleunigungen ~ 0,19 g.
Lockere äußere Felspartien durch Verankerung und Injektionen befestigen.
- Bei Kies und Sand Erdbebenwirkung umso intensiver, je dicker die Schichten über Felsoberfläche. Dicht gelagerte wassergesättigte Kiese und Sande nicht durch Einbauten wie Pfähle, Senkkästen etc. auflockern. Relativ junge Sedimente sind sehr erschütterungsgefährdet, Erhöhung der Dichte eventuell durch Verdichtungspfähle, Tiefenrüttler. Vermeidung von frei aufgelagerten Bauteilen z.B. bei Brücken.
- Bei Schluff, Ton, Torf: relativ starker Einfluß von Transversalwellen.



relativ große Amplituden
relativ kleine Frequenz

Auftreten von wellenförmigen Verformungen der Bodenoberfläche, welche umso größer sind je größer die Schichtdicke über dem festen Fels oder der dichtgelagerten Sand-Kiesoberfläche ist. Die Wellenbewegung kann zur Ausbildung von charakteristischen Scherrissen (unter 45° geneigt) führen und im Extrem zum Umfallen von hohen Gebäuden (Erdbeben in Mexiko City, 1959) und zum Abheben von nicht nach unten verankerten Auflagern von Brücken, leichten Bauwerken etc.

Einige grundsätzliche Bemessungsrichtlinien: Es soll:

- die Baugrube möglichst nach Aushub der weichen Schichten auf die darunterliegenden, festen Schichten (Sand, Kies, Fels) geführt werden (siehe 4.3.2)
- die Bauwerkslasten auf Pfähle mit großem Durchmesser oder Schlitzwandelemente abgeleitet werden (ev. Schrägpfähle). Vertikal nach oben gerichtete Erdbebenkraft durch Verankerungen aufgenommen werden (z.B. bei Brücken, leichten Hallenbauten etc.)
- das Bauwerk so in den Untergrund eingefügt werden, daß das Gewicht des Bauwerkes nur um wenig größer ist als jenes des ausgehobenen Bodens; (siehe kompensierte Gründung z.B. die 140 m hohe Torre Latina Americana in Mexico City.

L i t e r a t u r

- Terzaghi, K., Peck, R., B., Soil Mechanics in Engineering Practice
- Auswirkungen des Erdbebens vom 6. Mai 1976 (Friaul) H. Litscher u. B. Strobl
- Semih S. Tezcan, Proceed. of ASCE "Structural Div. Sept. 1971"
- Sitzungsberichte der Internationalen Kongresse für Bodenmechanik und Grundbau (ICSMFE) (alle 4 Jahre, insgesamt bisher 9 Kongresse) letzter Kongreß in Tokyo 1977.
- Sitzungsberichte der Europäischen Kongresse für Bodenmechanik und Grundbau (alle 4 Jahre, insgesamt bis 6 Kongresse), letzter Kongreß in Wien 1976
- Sitzungsberichte der Baugrundtagungen der Deutschen Gesellschaft für Erd- und Grundbau e.V. (alle 1 1/2 Jahre), letzte Tagung in Berlin, 1978
- Mitteilungen der Schweizerischen Gesellschaft für Boden- und Felsmechanik (jährlich 2 Tagungen).
- Sitzungsberichte der Donaueuropäischen Kongresse für Bodenmechanik und Grundbau (alle 3 Jahre, insgesamt bisher 5 Kongresse), letzter Kongreß in Bratislava, 1977
- Periodisch erscheinende Fachzeitschriften wie z.B. Geotechnik, Zeitschrift für Bodenmechanik, Felsmechanik, Grundbau, Ingenieurgeologie, herausgegeben von der Deutschen Gesellschaft für Erd- und Grundbau e.V.
- Géotechnique, herausgegeben von "The Institution of Civil Engineers", London.
- Journal of the Geotechnical Engineering Division, herausgegeben von "The American Society of Civil Engineers" (ASCE)
- Seed H., B., Design Provisions for Assessing the Effects of Local Geology and Soil Conditions on Ground and Building Response During Earthquakes. Struktural Engin. Ass. of Southern California, Earthquake Symposium, June 1975, Los Angeles.