

Bauhaus - Universität Weimar
Fakultät Bauingenieurwesen
Professuren Grundbau und Bodenmechanik

Diplomarbeit

Erarbeitung einer Aufgabensammlung Geotechnik

eingereicht von Marco Zimmermann
geboren am 09.01.1977 in Schmalkalden
Seminargruppe B/96/C
Matrikelnummer 950277

Reg.-Nr. B / 2003 / 34

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. K. J. Witt
Professur Grundbau

Zweitprüfer: Dr.-Ing. D. Rütz
Professur Bodenmechanik

Dr.-Ing. R. Wendt
Professur Grundbau

Ausgabedatum: 04.04.2003

Abgabedatum: 04.07.2003


Prof. Dr.-Ing. Rautenstrauch
Vorsitzender des Prüfungsausschusses

Erarbeitung einer Aufgabensammlung Geotechnik

Bedingt durch die Verabschiedung und Einführung neuer Normen (insbesondere DIN 1054) wurde der Wissensspeicher Geotechnik aktualisiert und erweitert (DA Eberwein).

Die bisher vorhandenen Aufgabensammlungen zu den Grundbauklausuren, Bodenmechanikseminaren und Bodenmechanikklausuren sollen in dieser Form in Zukunft nicht mehr weitergeführt werden, da der Umfang – bedingt durch eine Reihe ähnlicher Aufgabenstellungen – inzwischen zu groß geworden ist.

An deren Stelle soll eine Aufgabensammlung Geotechnik treten mit folgenden Zielstellungen:

1. Seminaraufgaben mit Lösungen in Bodenmechanik und Grundbau
2. Kurze einführende theoretische Darlegungen einschließlich Bildmaterialien
3. Aufgaben zum Selbststudium und zur Klausurvorbereitung
4. Weiterführende, praktisch orientierte Aufgabe

Die thematische Gliederung ist in Anlehnung und Abstimmung mit dem Wissensspeicher Geotechnik vorzunehmen.

Die Aufgaben sind so anzulegen, dass sie mit Hilfe des Wissensspeichers lösbar sind. Querverweise sind vorzunehmen.

Die Auswahl der Aufgaben erfolgt in Abstimmung mit den Betreuern.

Allgemeines

Für das Diplomverfahren gilt die Diplomprüfungsordnung der Fakultät Bauingenieurwesen. Es sind zwei Exemplare der Arbeit plus Datenträger abzugeben.

Zusammenstellung der Arbeit:

Titelblatt, Aufgabenstellung, Inhaltsverzeichnis, Textteil, Verzeichnisse, eidesstattliche Erklärung, Anlagen



Prof. Dr.-Ing. K. J. Witt
Erstprüfer

Kurzfassung

Die Geotechnik steht übergeordnet für die Teildisziplinen Bodenmechanik und Grundbau. Während der Grundbau den Entwurf, die Konstruktion, die Bemessung sowie die Ausführungstechnologie von Stützbauwerken und Gründungen behandelt, beschäftigt sich die Bodenmechanik mit den theoretischen Grundlagen zum Verständnis der Wechselwirkungen zwischen Bauwerk und Baugrund. Dabei stehen die Klassifikation und das Verhalten der Lockergesteine, die Begriffe Spannungen und Dehnungen (als Basis für die Definition mechanischer Eigenschaften), Deformations- und Scherfestigkeitsmechanismen, sowie deren zeitabhängige Entwicklung im Vordergrund. In der Vergangenheit ermöglichten die zahlreichen Aufgabensammlungen (Bodenmechanik- und Grundbauklausuraufgaben, Bodenmechanikseminaraufgaben) eine anwendungsorientierte Erschließung dieser Teilgebiete.

Durch die Verabschiedung und Einführung neuer Normen (insbesondere DIN 1054) und durch den bereits aktualisierten Wissensspeicher Geotechnik wurde eine Überarbeitung der Aufgabensammlungen notwendig.

In der Diplomarbeit wurden die vorhandenen Übungshefte in der Aufgabensammlung Geotechnik zusammengefasst und Aufgaben zu Seminaren, zur Klausurvorbereitung und zum Selbststudium nach der gültigen Normung erarbeitet. In Anlehnung an die Gliederung des Wissensspeichers Geotechnik entstanden neue Kapitel wie Baugrund, Stützkonstruktionen, Pfahlgründungen, Wasser im Boden sowie Wasserhaltung und Grundwasserabsenkung. Bereits bestehende Abschnitte wurden ergänzt und dem geltenden Regelwerk angepasst. Kurze theoretische Darlegungen zu Beginn der einzelnen Abschnitte vermitteln Grundlagenwissen und sind zum besseren Verständnis opulent illustriert.

Die Bearbeitung gab Gelegenheit, Beispiele mit ähnlichen Aufgabenstellungen zu entnehmen und Unstimmigkeiten in Text und Bildern zu berichtigen.

Inhaltsverzeichnis

Aufgabenstellung	2
I Einleitung	5
1 Motivation / Programmatik	5
2 Umsetzung	5
II Aufgabensammlung	1
1 Baugrund	5
2 Spannungen und Verformungen	40
3 Flachgründungen	65
4 Erddruck	120
5 Stützkonstruktionen	170
6 Pfahlgründungen	267
7 Böschungen	311
8 Wasser im Boden / Standsicherheit	326
9 Wasserhaltung / Grundwasserabsenkung	358
10 Literaturverzeichnis	375
III Fazit	1

I Einleitung

1 Motivation / Programmatik

Die Seminarunterlagen und Klausuraufgaben zur Bodenmechanik und zum Grundbau stellen ein wichtiges Hilfsmittel zur Wissensaneignung und Prüfungsvorbereitung dar.

Im Januar 2003 erschien die neue DIN 1054 „Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau“, die vom NABau – Arbeitsausschuss 05.01.00 „Sicherheit im Erd- und Grundbau“ als Teil eines einheitlichen deutschen Normenwerkes für den konstruktiven Ingenieurbau auf Grundlage des Teilsicherheitskonzeptes erstellt wurde. Ferner wurden die E DIN 4084 „Baugrund – Geländebruchberechnungen“, die E DIN 4085 „Baugrund – Berechnung des Erddrucks“, die E DIN 4017 „Baugrund – Berechnung des Grundbruchwiderstandes von Flächengründungen“, die E DIN 1055, T2 „Einwirkungen auf Tragwerke“ usw. verabschiedet.

Die vorliegende Diplomarbeit dient neben der Anpassung an die neuen Regelungen auch der Umstrukturierung und Zusammenfassung der einzelnen Aufgabensammlungen.

Durch Vielfältigkeit und variierende Aufgabenstellungen soll das Übungsheft dem Leser auch weiterhin die Möglichkeit geben, sich in der Lösung von Problemstellungen zu üben.

Die Beispielaufgaben sind so angelegt, dass sie mit Hilfe des Wissensspeichers lösbar sind.

2 Umsetzung

Im Rahmen der Geotechnik – Ausbildung an der Bauhaus Universität Weimar wurde das Teilsicherheitskonzept schon mit Erscheinen des Wissensspeichers in der 11. Auflage auf Basis der DIN V 1054-100 eingeführt. Das der neuen DIN 1054 zugrunde liegende Konzept der Partialsicherheiten ist demnach bekannt und unterscheidet sich lediglich in der Vorgehensweise bei Nachweisen oder der Größe der Teilsicherheitsbeiwerte.

Als grundlegende Änderung zum alten Konzept der DIN V 1054-100 wird im Grenzzustand GZ 1B keine Unterscheidung mehr zwischen günstigen und ungünstigen Einwirkungen vorgenommen. Ausnahme bilden hierbei Pfähle, die einer Wechselbelastung (Druck und Zug) ausgesetzt sind.

Der Kerngedanke der neuen DIN 1054 ist in den Festlegungen zur Ermittlung der geotechnisch bedingten und von der Materialfestigkeit abhängigen Abmessungen im GZ 1B, und der Bemessungsschnittgrößen zu sehen. Grundsätzlich muss zwischen Einwirkungen und Beanspruchungen unterschieden werden (siehe Kapitel „Erddruck“).

Das Kapitel „Baugrund“ umfasst neben dem theoretischen Abschnitt zur Erddrucktheorie nach Coulomb, den Grenzgleichgewichtszuständen nach Rankine und Versuchen zur Ermittlung des Verformungsverhaltens sowie der Scherparameter eine Menge von praktischen Aufgaben. Diese sind unabhängig vom Sicherheitskonzept, so dass lediglich Fehler in Text und Bild berichtigt werden mussten.

Im Kapitel „Spannungen und Verformungen“ werden neben der Berechnung von Spannungen und Verformungen im Baugrund infolge von Eigenlasten, Auflasten und Grundwasser auch Beispiele zur Konsolidation (zeitabhängige Betrachtung) aufgenommen.

Die neue E DIN 4017 macht die Überarbeitung des Kapitels „Flachgründungen“ erforderlich. Dabei ist festzustellen, dass die Sohlneigungsbeiwerte um den Fall ($\varphi = 0$ und $c > 0$) erweitert wurden und die Lastneigungsbeiwerte gemäß EC 7 mit i bezeichnet werden. Ein Vorzug der E DIN 4017 ist die Möglichkeit, negative Lastneigungen zu berechnen, d.h. der Bruchkörper kann sich in diesem Fall entgegen der am Fundament angreifenden Horizontalkomponente ausbilden. Der Abschnitt behandelt geotechnische Nachweise (Ausmitte, Sohlrücke, Gleiten, Grundbruch, Setzungen) für mittig und ausmittig belastete Einzelfundamente, zweiachsig belastete Blockfundamente und Streifenfundamente mit gerader und geneigter Sohlfläche. Ergänzend ist ein Einzelfundament an einer Böschung untersucht worden. Zum Nachweis der Gleitsicherheit ist anzumerken, dass der Teilsicherheitsbeiwert (TSB) für den Gleitwiderstand γ_{GL} von 1,50 im LF1 auf 1,10 in allen Lastfällen verringert wurde.

Nach der überarbeiteten E DIN 4085 ist der Erddruckansatz in Abhängigkeit von der Konstruktion (Dauerbauwerk oder temporäre Stützkonstruktion) und der Nachgiebigkeit der Stützung (nachgiebig bis unnachgiebig) zu ermitteln. Im Fall der unnachgiebigen Stützung muss gewährleistet sein, dass sich der Boden hinter der Wand nicht entspannen kann.

Die Formel für den Mindesterdruddruck in tiefer liegenden Schichten musste anhand von Gleichgewichtsbetrachtungen hergeleitet werden. Neben der klassischen Erddruckermittlung aus Eigenlast-, Verkehrs- und Kohäsionsanteilen wurde die Berechnung des Verdichtungserdruddruckes in Abhängigkeit von den verwendeten Verdichtungsgeräten untersucht.

Im Kapitel „Stützkonstruktionen“ werden der Entwurf, die Berechnung und die Konstruktion von Baugrubenwänden, Verankerungen bzw. Abstufungen und die erforderlichen Nachweise für Stützwände erläutert. Bei der Schnittgrößenermittlung und der Bemessung wird dabei folgendermaßen vorgegangen:

Zuerst werden die charakteristischen Einwirkungen $F_{k,i}$ auf das statische System angesetzt und somit die charakteristischen Beanspruchungen $E_{k,i}$ in Form von Schnittgrößen oder Spannungen in den maßgebenden Schnitten, getrennt nach Ursachen, ermittelt. Durch Multiplikation der charakteristischen Beanspruchungen $E_{k,i}$ mit den TSB für Einwirkungen erhält man die Bemessungswerte $E_{d,i}$ der Beanspruchungen. Danach werden die Bemessungswerte $R_{d,i}$ der Widerstände des Baugrundes durch Division der charakteristischen Widerstände $R_{k,i}$ mit den TSB für Bodenwiderstände ermittelt und bei der Formulierung der Grenzzustandsbedingung den Bemessungswerten $E_{d,i}$ der Beanspruchungen gegenübergestellt. Da mit charakteristischen Größen in die Berechnung gegangen wird, können die Nachweise der Gebrauchstauglichkeit (GZ2) ohne weitere Durchrechnung ausgeführt werden.

Weiter werden die Nachweise der Tragfähigkeit von Ankern und der Standsicherheit in der tiefen Gleitfuge gezeigt. Ein Unterfangungsbeispiel und eine Bodenvernagelung schließen das Kapitel ab.

Das Tragverhalten von Pfählen unter axialer und horizontaler Belastung, Pfahl-Platten-Gründungen und Probelastungen werden im Kapitel „Pfahlgründungen“ behandelt. Neben der Berechnung von Bohr- und Rammpfahlgründungen steht die Ermittlung der Schnittgrößen und Verformungen von horizontal belasteten Pfahlgruppen im Vordergrund. Am Ende des Abschnittes werden die Pfahlkräfte eines Pfahlrostes analytisch und nach dem Verfahren von Culmann ermittelt. Der TSB für den Pfahlwiderstand aus Erfahrungswerten wurde in allen Lastfällen auf den Wert $\gamma_P = 1,40$ erhöht.

Die überarbeitete DIN 4084 ist Grundlage des Kapitels „Böschungen“. Im Vergleich zur alten DIN 4084-100 ist der Sicherheitsbeiwert μ (früher f) nun kleiner als 1. Da simultan die Formel auch angepasst wurde, verändern sich die Ergebnisse nicht. Als wesentliche Änderung zur DIN 4084-100 wird der Teilsicherheitsfaktor γ_c unabhängig vom Zustand (dräniert, undräniert) mit 1,25 im Lastfall 1 angegeben. Der TSB γ_ϕ für den Reibungswinkel hingegen bleibt unverändert. Durch den verringerten TSB für Kohäsion ergeben sich größere Sicherheiten (Division der Widerstände durch einen kleineren Wert).

Ebenso kann die Böschungsstandsicherheit mittels zusammengesetztem Bruchmechanismus mit geraden Gleitflächen (grafisches Verfahren) berechnet werden.

Zusätzlich wurde ein Beispiel zur Ermittlung der Böschungsstandsicherheit nach Taylor eingefügt.

Im Kapitel „Wasser im Baugrund“ wird zunächst die Auftriebsicherheit von Trogbauwerken nachgewiesen. Dabei ist zu beachten, dass die TSB im GZ 1A für ungünstig veränderliche Einwirkungen im LF 1 von 1,05 auf 1,50 und im LF 2 von 1,0 auf 1,30 erhöht wurden. Neben der Überprüfung von Filterkriterien beschäftigt sich das Kapitel mit der Berechnung von hydrostatischen (Wasserdruck auf Bauwerke) und hydrodynamischen (Grundwasserströmung aufgrund eines hydraulischen Gefälles) Wasserdrücken. Im letzteren Fall wird die Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch überprüft und die zuströmende Wassermenge berechnet (Spundwandbaugrube mit Tunnel). Abschließend wird die Auftriebssicherheit von einer unverankerten und einer verankerten Unterwasserbetonsohle untersucht.

Das Kapitel „Wasserhaltung / Grundwasserabsenkung“ handelt die unterschiedlichen Methoden der Grundwasserhaltung und die grundlegenden Arten der Wasserhaltung mit einer Zusammenstellung von Vor- und Nachteilen ab. In Abhängigkeit vom anstehenden Boden, der Durchlässigkeit k und der erforderlichen Absenktiefe s , ist aus dem eingefügten Diagramm das geeigneteste Verfahren zur Grundwasserabsenkung zu ermitteln. Die Grundwasserabsenkung mit Hilfe von Sickerbrunnen, die Auswertung eines Pumpversuches, die Berechnung eines vollkommenen / unvollkommenen Brunnens und die Konzeption einer Mehrbrunnenanlage bilden den praktischen Teil dieses Abschnittes.

III Fazit

Durch die Verabschiedung und Einführung der neuen DIN 1054 ist die Umstellung vom Global-sicherheitskonzept auf das Partialsicherheitskonzept vollzogen worden.

Dieses wurde im Rahmen der Geotechnik – Ausbildung an der Bauhaus Universität Weimar schon mit Erscheinen des Wissensspeichers in der 11. Auflage eingeführt. Da das Partial-sicherheitskonzept demnach bekannt ist, dürften keine Schwierigkeiten bei der Umstellung des Lehrbetriebes auftreten.

Es bleibt abzuwarten, ob die neue EAB im Bereich der Stützkonstruktionen die im Wissensspeicher auf Grundlage der DIN 1054 formulierten Ansätze liefern kann.

Aufgrund der sprachlichen und formalen Diskrepanzen in der E DIN 4017 ist damit zu rechnen, dass diese bis zur endgültigen Fassung grundlegend überarbeitet wird. Da auch die E DIN 4084 und die E DIN 4085 nur als Entwurfsnormen verabschiedet wurden, sind in nachfolgenden Auflagen eventuell Modifikationen vorzunehmen.

Neben der inhaltlichen Anpassung an Änderungen im bestehenden Normenwerk wurden theoretische Darlegungen einschließlich Bildmaterial eingefügt, die Grundzusammenhänge darstellen und einen Beitrag zur Veranschaulichung des Lehrstoffes leisten.

Im Zuge einer weiteren Bearbeitung der Aufgabensammlung Geotechnik ist zu überlegen, ob eine Trennung in ein Grundfach- und ein Vertieferskript nicht sinnvoll ist.

Gesamte Diplomarbeit kann bei der:

Bauhaus-Universität Weimar
Fakultät Bauingenieurwesen
Professur Grundbau
Cudraystraße 7
99421 Weimar

zur Ausleihe angefordert werden.

