



Diplomarbeit

Thema der Diplomarbeit

eingereicht von: Max Mustermann

Matrikel: 123456

Betreuer: Prof. Dr.-Ing. habil. Ivo Herle
 Dr.-Ing. Vorname Name
 Dipl.-Ing. Vorname Name

Kurzfassung der Diplomarbeit

Schlagworte: Standsicherheit
Grundwasser
Grundbruch

Verfasser: Max Mustermann

Titel der Diplomarbeit: Nachweis der Standsicherheit von Böschungen

Standort: TU Dresden
Fakultät Bauingenieurwesen
Institut für Geotechnik

Bibliographische Angaben: 2009, 90 (100) Seiten, 32 Abbildungen, 13 Tabellen

Hinweis für den Diplomanden:

Das TU-Logo kann unter <http://tu-dresden.de/service/cd> herunter geladen werden.

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Die Arbeit wurde bisher weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und ist auch noch nicht veröffentlicht worden.

Dresden, 24.12.2009

.....

Klaus Mustermann

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	II
Tabellenverzeichnis	III
Symbolverzeichnis	IV
Abkürzungsverzeichnis	VI
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung der Arbeit	1
1.2 Ziele und Abgrenzung der Arbeit	1
1.3 Aufbau der Arbeit.....	1
2 Systematik und theoretische Grundlagen.....	3
2.1 Grundlagen der Textgestaltung	3
2.1.1 Fußnoten, Abbildungen, Formeln und Quellenangaben.....	3
3 Textgestaltung.....	6
3.1 Aufzählungen und Nummerierungen	6
4 Schlussbetrachtung.....	8
4.1 Zusammenfassung	8
4.2 Ergebnisse der Arbeit	8
4.3 Ausblick	9
Literaturverzeichnis	10
Anlagenverzeichnis.....	11

Hinweis für den Diplomanden:

[Automatisches Erstellen von Inhaltsverzeichnissen:](#)

Einfügen – Referenz – Index und Verzeichnisse – Inhaltsverzeichnis. Die Formatvorlage für das Inhaltsverzeichnis kann unter „Format – Formatvorlage – Bearbeiten“ geändert werden.

[Anlagen](#)

Umfangreiche Anlagenteile sind in einem gesonderten Anlagenband zusammenzustellen. Das Anlagenverzeichnis ist in diesem Fall sowohl im Text als auch im Anlagenband beizufügen

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1: Tagebau Hambach.	5
--------------------------------------	---

Hinweis für den Diplomanden:

[Automatisches Erstellen von Abbildungs- \(Tabellen- u. ä.\) verzeichnissen:](#)

Einfügen – Referenz – Index und Verzeichnisse – Abbildungsverzeichnis

Die Formatvorlage für das Abbildungsverzeichnis kann unter „Format – Formatvorlage – Bearbeiten“ geändert werden.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1: Tabelle Parameter.	5
--------------------------------------	---

Symbolverzeichnis

Lateinische Buchstaben

Symbol	Bezeichnung	Einheit
R	Resultierende Kraft aus Widerständen	kN/m
W	Wasserdruck	kN/m
	...	

Griechische Buchstaben

Symbol	Bezeichnung	Einheit
β	Neigungswinkel einer Böschung	° (Grad)
φ	Reibungswinkel in einer Gleitfläche	° (Grad)
	...	

Abkürzungsverzeichnis

ATV	Allgemeine Technische Vertragsbedingungen
BAB	Bundesautobahn
HOAI	...

Hinweis für den Diplomanden:

Jedes Verzeichnis auf einer neuen Seite beginnen.

1 Einleitung

1.1 Problemstellung der Arbeit

Bodenmechanik ist die Lehre von den physikalischen Eigenschaften des Bodens und seines Verhaltens als Baugrund (im Unterschied zum Fels: Felsmechanik). Sie untersucht die Bewegungen und Kräfte in Lockergesteinen bzw. Erdstoffen, insbesondere die Vorgänge bei Bauwerken im Boden (Grundbau) und aus Erde (Erdbau).

1.2 Ziele und Abgrenzung der Arbeit

Die Bodenmechanik hat sich als Übergangsbereich zwischen Geotechnik, Kontinuumsmechanik und Bodenkunde entwickelt. Sie ist die theoretische Grundlage der Erdstatik, welche Berechnungsmethoden für das Verhalten des Bodens liefert, mit der im Gebiet der Baustatik die Belastung der Bauwerke bestimmt wird, und mit deren Hilfe ihre Fundamente bemessen werden.

Der wesentliche Unterschied der Bodenmechanik zur Felsmechanik besteht darin, dass der Boden bei Standsicherheitsberechnungen als Kontinuum behandelt werden kann, der Fels jedoch aufgrund seiner Schicht- und Kluffstruktur nur als ein Diskontinuum. Dieses erfordert völlig verschiedene Ansätze.

Die Notwendigkeit bodenmechanischer Berechnungen ergibt sich aus der Tatsache, dass der Baugrund die Lasten der Bauwerke sicher abtragen muss, um beispielsweise Grundbrüche und damit ein Kippen des Baukörpers sicher zu vermeiden. Der im näheren Umfeld des Bauwerks anzutreffende Baugrund ist damit mechanisch ein Teil des Bauwerks, dessen Versagen es sicher zu vermeiden gilt. Andererseits muss in vielen Fällen der Einfluss des Bodens auf das Bauwerk ermittelt werden, so zum Beispiel die Größe des Erddrucks. Eine wichtige Rolle spielen bodenmechanische Berechnungen bei der Feststellung der Standsicherheit von Erdbauwerken wie etwa Böschungen.

1.3 Aufbau der Arbeit

Ein weiterer Bereich der Bodenmechanik ist die Entwicklung von materialwissenschaftlichen Stoffgesetzen zur Beschreibung des Verhaltens von Böden. Die einfachsten Stoffgesetze, mit denen das Verhalten von Böden beschrieben wird, sind das Hookesche Gesetz (linear Elastisches Verhalten) und die Bruchbedingung von Mohr-Coulomb (starr plastisches Verhalten). Mit diesen kann das mechanische Verhalten von Böden jedoch nur grob angenähert werden, ihr Einsatz ist daher jeweils auf spezielle Fragestellungen beschränkt. Für eine realistischere Beschreibung des Materialverhaltens werden anspruchsvollere Stoffgesetze angewendet.

1. Einleitung

Ein ebenfalls wichtiger Aspekt bei der Beschreibung des mechanischen Verhaltens von Böden ist deren Mehrphasigkeit. Boden besteht aus verschiedenen Phasen: dem Korngewebe (fest), in dessen Poren sich Wasser (flüssig) und Luft (gasförmig) befinden. Die Wechselwirkungen zwischen diesen Phasen zu beschreiben, ist eine Aufgabe der Bodenmechanik. Durch Wechselwirkungen bedingte bodenmechanische Phänomene sind hier z.B. der Auftrieb, die Strömungskraft, die Kapillarität sowie die Durchlässigkeit, die meistens mit dem Darcy-Gesetz beschrieben wird.

2 Systematik und theoretische Grundlagen

2.1 Grundlagen der Textgestaltung

2.1.1 Fußnoten, Abbildungen, Formeln und Quellenangaben

Konsolidation (auch: Konsolidierung) bezeichnet in der Bodenmechanik die zeitlich verzögerte Zusammendrückung des Bodens infolge einer Lasterhöhung. Ursache ist die behinderte Fließbewegung des im Zuge der Verdichtung ausgepressten Porenwassers.

Die Verdichtung von Böden erfolgt im Wesentlichen durch Zusammendrücken der Poren. Sind die Poren mit Wasser gefüllt, kann aufgrund der Inkompressibilität des Wassers eine Verdichtung nur durch Auspressen von Porenwasser erreicht werden. Ist die Wasserbewegung aufgrund geringer Durchlässigkeit und langer Entwässerungspfade behindert, wird die Lasterhöhung zunächst nur vom Porenwasser aufgenommen - es gerät unter Überdruck. Mit Abfließen des Porenwassers wird dieser Überdruck allmählich auf das Korngerüst übertragen, welches sich dann so weit verdichtet, bis es die Lasterhöhung gerade aufnehmen kann.

Bei Lasterniedrigung wird der umgekehrte Prozess durchlaufen. Das Porenwasser gerät unter Unterdruck, wodurch umgebendes Wasser zeitlich verzögert in die Probe gesaugt wird. Dadurch geht der Unterdruck allmählich zurück, das Korngerüst wird entlastet und lockert sich etwas auf. Dieser Vorgang wird auch als negative Konsolidation bezeichnet.

Die Dauer des Porenwasserdruck-Ausgleichs ist theoretisch unendlich, da dessen Rate asymptotisch gegen Null geht. Praktisch legt man als Konsolidierungszeit denjenigen Zeitraum fest, nach dem gerade 98% des Porenwasserdrucks ausgeglichen sind. Der Konsolidierungsbeiwert ergibt sich aus dem Quadrat der Entwässerungslänge bezogen auf die Konsolidierungszeit und ist eine Bodenkonstante. Gemäß diesen Festlegungen hat die Höhe des Porenwasserdrucks also keinen Einfluss auf die Konsolidierungszeit.

Da lediglich bei feinkörnigen Böden eine bemerkenswerte Fließbehinderung des Porenwassers auftritt, ist der Begriff der Konsolidation nur bei bindigen Böden anwendbar. Diese werden in unter-, normal- und überkonsolidiert unterschieden. Im unterkonsolidierten (UC) Fall hat sich das Korngerüst noch nicht so weit verdichtet wie für die Aufnahme der Lasterhöhung erforderlich, d. h. es muss noch weiteres Porenwasser ausgepresst werden. Im normalkonsolidierten (NC) Fall ist das Korngerüst gerade so weit verdichtet wie für die Aufnahme der Lasterhöhung erforderlich. Im überkonsolidierten (OC) Fall ist das Korngerüst durch eine vormals größere Belastung dichter als für die momentane Belastung erforderlich. In den beiden letztgenannten Fällen NC und OC findet also keine Wasserbewegung statt. Beim Übergang von NC nach OC läuft dagegen die negative Konsolidation ab.

2. Grundlagen

Bei unter- und normalkonsolidierten Böden ist die Scherfestigkeit proportional zum Korngerüstdruck (und damit zur Dichte), d. h. der Reibungswinkel ist konstant und der Boden kohäsionslos. Überkonsolidierte Böden haben bei gleichem Korngerüstdruck zunächst eine höhere Scherfestigkeit, welche auf der Tendenz zur Auflockerung dichter Korngerüste bei Scherung (Dilatanz) beruht. Diese wird durch das fließbehinderte Wasser verzögert, wodurch das Porenwasser unter Unterdruck gerät und damit die Kornspannungen erhöht. Gebräuchliche Schergesetze beschreiben diesen Sachverhalt entweder durch Ansatz der (fiktiven) Kohäsion und einem (fiktiven und i.Vgl. zum NC Fall kleineren) Reibungswinkel oder durch Ansatz eines (ebenfalls fiktiven und i.Vgl. zum NC Fall größeren) Reibungswinkel. Mit zunehmender Scherung geht die Tendenz zur Auflockerung verloren und die OC Scherfestigkeit auf den Wert bei NC zurück [1].

Bei einem normal konsolidierten Boden ist die maximale Spannung gleich der aktuellen Spannung. Ein Überkonsolidierten Boden hat in der Vergangenheit größere Spannungen als aktuell erlebt, wie z. B. abgeschmolzenes Inlandeis. OCR (over consolidation ratio) stellt das Ausmaß der Überkonsolidierung dar. Es ist das Verhältnis zwischen der maximalen Vertikalspannung in der Vergangenheit und der aktuellen Vertikalspannung. Bei konsolidierten Böden ist $OCR=1$ ¹. Oft ist die maximale Spannung in der Vergangenheit unbekannt, es gibt aber Laborversuche von Casagrande², die das Kompressionsverhalten normal und überkonsolidierter Böden vergleichen. Die Überkonsolidation hat großen Einfluss auf die Scherfestigkeit von bindigen Böden.

$$k_{HF} = \frac{1}{F} \cdot B_s \cdot p_R^3 \quad (1)$$

Durch die Vorbelastung erhalten nichtbindige Böden zusätzlich zu den Reibungskräften eine Kohäsion. In der Natur entsteht durch die Überkonsolidation oft eine harte Kruste, wo die Scherfestigkeit größer ist, als im normal konsolidierten Boden unterhalb der Kruste. Der Grund liegt in der abnehmenden aktuellen Vertikalspannung mit zunehmender Tiefe, wodurch der OCR Wert in geringen Tiefen immer größer ist. Überkonsolidierte Böden sind in der Regel auch steifer und setzungsärmer. Der Erdruchdruckbeiwert, also das Verhältnis von Vertikalspannungen zu Horizontalspannungen ist überdies auch von OCR abhängig³. Dies hat weitreichende Konsequenzen für die Erddruckermittlung und die Bemessung von Bauwerken.

¹ siehe <http://www.tu-dresden.de/biwibb/Forschung/Forschungsschwerpunkte/Projekte.html>, Forschungsprojekte des Instituts für Baubetriebswesen der TU Dresden, Stand 8. 6. 2008

² siehe Müller/Meier/Schulze, 2006, S. 213 – 216

³ siehe Gebrüder Grimm, 2001, S. 28

2. Grundlagen



Abbildung 2.1: Tagebau Hambach. ⁴

Die Bodenkunde etablierte sich als eigene wissenschaftliche Disziplin im 19. Jahrhundert, wozu der russische Geograph und Geologe Wassili Wassiljewitsch Dokutschajew und auch Charles Darwin entscheidend beitrugen. Im 20. Jahrhundert wurde in Europa die nach Bodentypen gegliederte Bodenkartierung zu einer weithin anerkannten staatlichen Aufgabe und wird heute auch im Zusammenhang mit den Problemkreisen Gewässer- und Umweltschutz, gezielte (sparsame) Düngung und Förderung von standortgerechter (naturnaher) Vegetation gesehen. Seit etwa 1985 wurde deshalb in den deutschsprachigen Ländern begonnen, amtliche geographische Bodeninformationssysteme zu etablieren (siehe GeoLIS und Raumbezogenes Informationssystem, RIS).

Der Begriff Boden wird in den einzelnen Geowissenschaften recht unterschiedlich verwendet. Die Bodenkunde definiert den Begriff (nach W. Blum 1986, Hochschule für Bodenkultur Wien) als oberste, durchschnittlich etwa einen Meter starke Schicht der Erdoberfläche folgendermaßen:

Tabelle 2.1: Tabelle Parameter.

Radius	Sicherheit	Porenwasserdruck	Wichte	Kohäsion
R=3 m	$\eta=0,95$		25 kN/m ³	

Hinweis für den Diplomanden:

[Automatische Beschriftung von Abbildungen:](#)

[Einfügen – Referenz – Beschriftung – Kategorie wählen oder selbst definieren.](#)

[Die Abbildungen in Formatvorlage *Bild*, die Bildunterschrift in Formatvorlage *Bildunterschrift*.](#)

⁴ siehe Schlau, 2000a, S. 15

3 Textgestaltung

3.1 Aufzählungen und Nummerierungen

Die Bodenkunde ist eine interdisziplinäre Wissenschaft, die Erkenntnisse und Methoden verschiedener Fachgebiete verwendet. Hierzu zählen die grundlegenden Naturwissenschaften Physik, organische Chemie und Biochemie, die Biowissenschaften Botanik, Zoologie und Mikrobiologie, die Geowissenschaften Geographie, Geologie, Mineralogie und Hydrologie, sowie die Forst- und Agrarwissenschaften, insbesondere Ackerbau, Pflanzenbau, Pflanzenernährung und Düngung, Forstwirtschaft und Kulturtechnik.

Im Zuge moderner Auswerte- und Analyseverfahren spielen auch Geographische Informationssysteme sowie die agrar- und geowissenschaftlichen Methoden der Fernerkundung eine wachsende Rolle.

Die Erkenntnisse der Bodenkunde sind in der Ökologie, der Landwirtschaft und der Forstwirtschaft von grundlegender Bedeutung. Letztere befassen sich mit dem Kulturboden, der seit den Anfängen des Ackerbaus in der Jungsteinzeit das Fundament menschlichen Überlebens bildet [2].

Auf Basis der traditionellen Bodenklassifizierung hat sich in der Forstwissenschaft eine Sicht des Bodens als Geoökosystem entwickelt. Die Prognosen über die Auswirkungen anthropogen bedingter Elementeträger auf den Bioelement-Haushalt von Böden sind durch Langzeituntersuchungen bestätigt worden.

Die Bodenkunde liefert – im Rahmen der Materialwissenschaften – auch bodenmechanische, erdstatische und hydrometrische Grundlagen für die Geotechnik und Baustatik, wie sie im Grundbau benötigt werden.

Erddruck ist ein Begriff der Geotechnik und ist insbesondere für die Gründung (das Fundament) von Bauwerken bedeutungsvoll. Hinsichtlich der Größe des Erddruckes unterscheidet man zwei Extremfälle:

- Der **aktive Erddruck** ist der kleinste Druck, den ein Boden vorgegebener Eigenschaften auf ein Bauwerk (z. B. eine Stützmauer oder eine Gabionenwand) vorgegebener Geometrie ausüben kann. Dieses Minimum wird nur erreicht, wenn das Bauwerk dem Druck in gewissen Grenzen nachgeben kann. Anderenfalls sind die Belastungen höher, man spricht vom **erhöhten aktiven Erddruck**.
- Der **passive Erddruck** ist der größte Erddruck, mit dem ein Boden eine Bauwerkswand stützen kann. Dieses Maximum tritt im Allgemeinen erst bei einer Bewegung des Bauwerkes im Zentimeter- bzw. Dezimeterbereich auf.

3. Textgestaltung

Aktiver Erddruck und passiver Erddruck hängen u. a. von folgenden Parametern ab: Dichte, Konsistenz bzw. innerer Reibungswinkel des Bodens, Abstand von der Oberfläche und Neigung des Geländes, Auflasten (z. B. Gebäude und Fahrzeuge), Neigung der Bauwerkswand und Reibungsbeiwert zwischen Boden und Wand.⁵

⁵ gesamter Text: <http://www.wikipedia.de>

4 Schlussbetrachtung

4.1 Zusammenfassung

Bodenverdichtung wird gesprochen, wenn es durch Aufbringen von Last zu einer Verformung und somit zu einer Veränderung des Drei-Phasen-Systems Boden kommt.

Bei relativ geringer Auflast stellt sich eine reversible (elastische) Verformung ein, die nach dem Beenden der Belastung wieder in den Ausgangszustand zurückfedert. Kommt es zu einer Belastung über den Punkt der Vorbelastung, so zeigt sich eine plastische Verformung die nicht reversibel und somit nicht vollständig in den Ausgangszustand zurückfedert. Somit kommt es vor allem bei dem Überschreiten der Vorbelastung zu einer Scherung der Bodenpartikel gegeneinander und einer Einregelung dieser mit einer Zunahme der festen Phase mit gleichzeitiger Abnahme der flüssigen und gasförmigen Phase.

4.2 Ergebnisse der Arbeit

Was der Frosch gesagt hatte, das geschah, und die Königin gebar ein Mädchen, das war so schön, dass der König vor Freude sich nicht zu lassen wusste und ein großes Fest anstellte. Er lud nicht bloß seine Verwandte, Freunde und Bekannte, sondern auch die weisen Frauen dazu ein, damit sie dem Kind hold und gewogen wären. Es waren ihrer dreizehn in seinem Reiche, weil er aber nur zwölf goldene Teller hatte, von welchen sie essen sollten, so musste eine von ihnen daheim bleiben. Probleme der Bodenverdichtung ergeben sich vor allem in der Landwirtschaft, wie auch in der Forstwirtschaft, wo sich besonders negative Aspekte zeigen. Verursacht werden können diese Bodenverdichtungen einerseits durch den Einsatz sehr schwerer Maschinen bei ungünstigen (feuchten) Bodenverhältnissen. Abnahmen der Luftleitfähigkeit, Wasserleitfähigkeit sowie Zunahmen der Vorbelastung, der Scherparameter, Lagerungsdichte lassen sich nachweisen.

Andererseits liegen die Ursachen für die zunehmende Verdichtung landwirtschaftlich genutzter Böden nicht nur in der Belastung durch die Achslasten, im Überfahren oder in der falschen Reifenwahl begründet. Das zeigen die geringen Erfolge, die heute mit der mechanischen Lockerung oder dem Einsatz von Breitreifen erzielt werden. Die Böden verdichten sehr schnell wieder. In vielen Fällen sind Humusschwund und ein stark reduziertes Bodenleben aufgrund von immer enger werdenden Fruchtfolgen, fehlenden Zwischenfrüchten und fehlender organischer Substanz (SOM) (z. B. Mist oder Kompost- Gaben) der Grund für eine zunehmende Verdichtung des Bodens.

Als besonders schwerwiegend hat sich das Problem der Unterbodenverdichtung unterhalb der Pflugsohle auf landwirtschaftlichen Flächen gezeigt. Neben der verminderten Wasser- und Luftversorgung (aszendent wie auch dezendent) für Pflanzen und Mikroorganismen macht auch ein erhöhter Eindringwiderstand für die

4. Schlussbetrachtung

Pflanzenwurzeln eine Bewirtschaftung zunehmend problematischer. Zwar gibt es geeignete Maßnahmen um diesen Verdichtungen entgegenzuwirken, wie die Verwendung von Terrareifen, Direktsaat oder mechanische Lockerungsmaßnahmen, doch eine Regeneration von Bodenschäden findet unter natürlichen Bedingungen, wenn überhaupt, nur sehr langsam statt.

Als Folge einer Bodenverdichtung kann es zu einem verstärkten Oberflächenabfluss bei starkem Niederschlag und hierdurch zur Steigerung der Erosion des Bodens kommen. Die verringerte Speicherfähigkeit des Bodens begünstigt Hochwasserereignisse. Der Eintrag von Regenwasser in den Grundwasserkörper wird verringert, wodurch die Gefahr einer Absenkung des Grundwasserspiegels entsteht. Staunässe kann zu einem erheblichen Verlust von Stickstoff im Boden führen, da in nassen Böden verstärkt das so genannte Treibhauseffekt-Gas Distickstoffmonoxid gebildet wird. Die insgesamt verschlechterten Wachstumsbedingungen können an den Kulturpflanzen schließlich auch zu einer Steigerung des Pilzbefalls und des Aufschießens von Unkraut führen, was den verstärkten Einsatz chemischer Bekämpfungsmittel nach sich ziehen kann. Zudem kann sich die Wachstumsperiode der Pflanzen in nassen und daher relativ kühlen Böden verkürzen und die schwerer zu bearbeitenden Böden erfordern einen höheren Treibstoffeinsatz bei landwirtschaftlichen Maschinen.

4.3 Ausblick

Bei der Rekultivierung alter Tagebaue müssen die Randbereiche der Böschungen manchmal verdichtet werden, um das Setzungsfließen zu vermeiden. Dies dient der dauerhaften Böschungssicherung bei Grundwasserwideranstieg und ist vor allem im Lausitzer Revier verbreitet [3].

In der Regel wird mit Bohrgeräten ein Loch in die zu verdichtenden Schichten gebohrt und eine definierte Sprengstoffladung gezündet. Diese bewirkt eine lokale Änderung der Lagerungsdichte [4].

Literaturverzeichnis

Anlagenverzeichnis