



Willy H. Bölling

Zusammendrückung  
und Scherfestigkeit  
von Böden

Anwendungsbeispiele  
und Aufgaben

Springer-Verlag  
Wien New York 1971



**Professor Dipl.-Ing. Willy H. Bölling**  
**Universidad de Oriente**  
**Escuela de Geología y Minas**  
**Ciudad Bolívar, Venezuela**

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt.  
Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung,  
des Nachdruckes, der Entnahme von Abbildungen, der Funksendung, der Wiedergabe  
auf photomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen,  
bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten.

© 1971 by Springer-Verlag/Wien  
Library of Congress Catalog Card Number 79-176270  
Softcover reprint of the hardcover 1st Edition 1971

**Mit 103 Abbildungen**

ISBN-13: 978-3-211-81039-2  
DOI: 10.1007/978-3-7091-7121-9

e-ISBN-13: 978-3-7091-7121-9

## Vorwort

Wie die Erfahrung immer wieder zeigt, fällt es dem jungen Ingenieur am Anfang seiner beruflichen Laufbahn schwer, das erworbene Schulwissen zur Lösung von praktischen, technischen Aufgaben anzuwenden. Auch der erfahrene Ingenieur steht in der Praxis oft vor dem Problem, Fragen beantworten zu müssen, die nicht in den Rahmen seiner täglichen Routinearbeit fallen.

Es gehört zur selbstverständlichen Berufspraxis, daß der Ingenieur in solchen Fällen zunächst einmal prüft, wie das Problem an anderer Stelle gelöst worden ist, um sich dann an die Lösung seines Problems zu begeben, indem er den Rechengang dem des Beispiels anpaßt und die Ergebnisse mit denen des Beispiels vergleicht. Eine reichhaltige Auswahl von Anwendungsbeispielen stellt daher für den Ingenieur eine wertvolle Unterstützung dar.

Der Verfasser hat in dem vorliegenden Werk eine große Anzahl typischer Aufgaben und Anwendungen aus allen Gebieten des Grundbaues und der Bodenmechanik ausgesucht und in allen Einzelheiten durchgerechnet. Zu jedem Anwendungsbeispiel wird ein kurzer Überblick über die Kenntnisse und Grundlagen gegeben, die zur Lösung der Aufgabe erforderlich sind. Die Ergebnisse der Berechnungen werden diskutiert, um auf Besonderheiten und wertvolle Deutungen hinzuweisen.

Das Werk gliedert sich in fünf selbständige, voneinander unabhängige Darstellungen, in denen folgende Themen behandelt werden: Bodenkennziffern und Klassifizierung von Böden; Zusammendrückung und Scherfestigkeit von Böden; Sickerströmungen und Spannungen in Böden; Setzungen, Standicherheiten und Tragfähigkeiten von Grundbauwerken; Bodenmechanik der Stützbauwerke, Straßen und Flugpisten.

Es soll keine Erweiterung der großen Liste aller schon veröffentlichten grundlegenden Bücher über Bodenmechanik und Grundbau sein. Es beschränkt sich in voller Absicht auf die Anwendung der Theorien, auf die praktischen Bedürfnisse, und enthält infolgedessen eine Auswahl von Tafeln und Tabellen, die so vollständig wie nur möglich sein soll, um dem Ingenieur die Arbeit zu erleichtern.

Die zur Lösung einer Aufgabe verwendeten Methoden und Formeln wurden aus dem umfangreichen internationalen Schrifttum sorgfältig ausgewählt. Damit soll dem Ingenieur die Möglichkeit gegeben werden, auch ausländische Lösungsverfahren zu verstehen und anzuwenden, auf die er bei der ständig wachsenden Auslandsarbeit mit Sicherheit stoßen muß.

Dieses Werk wird jedoch nicht nur ein Ratgeber für die Praxis sein, sondern wird auch dem Studierenden eine Stütze und Hilfe bedeuten, indem es ihm in anschaulicher Weise erklärt, wie die theoretischen Kenntnisse im praktischen Berufsleben angewendet werden. In vielen Fällen wird ein lebendiges Beispiel mehr zum Verständnis eines Problems beitragen als umfangreiche theoretische Überlegungen. Das praktische Beispiel soll die nüchternen wissenschaftlichen Notwendigkeiten beleben, aber gleichzeitig auch zeigen, wie unerlässlich das eine zum Verständnis des anderen ist.

Es gibt praktisch keine Bauaufgabe, die nicht von bodenmechanischen und grundbaulichen Gegebenheiten beeinflusst wird. In allen jenen Fällen, in denen im Boden oder mit dem Boden gebaut wird, scheint es uns selbstverständlich, daß wir uns mit seinen mechanischen Eigenschaften beschäftigen. Wenn der Boden nur die passive Rolle eines Mediums für die Gründung anderer Ingenieurbauten darstellt, ist die Untersuchung seiner mechanischen Eigenschaften nicht weniger von Bedeutung. Jedem Ingenieur ist heute klar, daß eine falsche Beurteilung der mechanischen Eigenschaften des Untergrundes eine ernsthafte Gefahr für die Standsicherheit des darauf errichteten Bauwerks bedeutet.

Ich wünsche mir, daß der Leser eine Fülle von Anregungen für die richtige, schnelle und wirtschaftliche Lösung seiner Aufgaben finden möge. Der Aspekt der Wirtschaftlichkeit ist daher in allen Fällen besonders beachtet worden. Die beste theoretische Lösung hat keinen Sinn, wenn ein anderer den Auftrag zur Ausführung einer Bauaufgabe erhält, obwohl sein Vorschlag weniger wissenschaftlich, dafür aber um so praktischer und billiger ausgefallen ist. Möge dieses Werk den Zweck erfüllen, zu dem es geschrieben wurde, dem Leser jene Sicherheit zu geben, die er benötigt, eine Aufgabe technisch und wirtschaftlich einwandfrei zu lösen, sie in fachlichen Diskussionen wirksam vorzutragen und zu verteidigen und schließlich erfolgreich in die Tat umzusetzen.

Viele Probleme der Bodenmechanik und des Grundbaues lassen sich schnell und sicher mit Hilfe elektronischer Datenverarbeitung lösen. Die Vielfalt der verschiedenen Programme läßt jedoch keine detaillierte Darstellung der Programmierungsarbeit im Rahmen dieses Buches zu. Zahlreiche Aufgaben sind aber so gehalten, daß ein geübter Programmierer die verwendeten Formeln und Rechenschemata unmittelbar in die gewünschte Computersprache umsetzen kann.

Noch wenig erschlossen ist die elektronische Datenspeicherung für Aufgaben der Bodenmechanik und des Grundbaues. Hier bietet sich für die Zukunft ein ausgedehntes Arbeitsfeld, insbesondere für Standsicherheitsprobleme, Setzungsberechnungen, Fundamentbemessungen und Straßengründungen, dar, dessen Grundzüge angedeutet werden.

Bodenmechanik und Grundbau haben sich in der Vergangenheit überwiegend mit dem Baugrund als Dreiphasensystem — Mineral, Flüssigkeit,

Gas — beschäftigt. Mit fortschreitender Erschließung des Meeres und des Seebodens häufen sich die Aufgaben, in denen der Baugrund als Zweiphasensystem — Mineral, Wasser — untersucht und behandelt werden muß. Neue Problemstellungen werden dadurch aufgeworfen, deren wissenschaftliche Behandlung im Ansatz aufgenommen wurde.

Die Entwicklung der Raumfahrt, die Landung und die Konstruktion von Bauten für Menschen und Geräte auf fremden Planeten wird von uns sehr bald in verstärktem Maße eine Lösung der damit verbundenen bodenmechanischen und grundbautechnischen Probleme verlangen. Eines Tages wird sich die Bodenmechanik mit Aufgaben im Bereich einphasiger Systeme, also mit Böden befassen, die kein Gas und keine Flüssigkeit mehr enthalten und außerdem anderen Schweregesetzen unterliegen.

Die stürmische Entwicklung, die Bodenmechanik und Grundbau seit 1930 erlebt haben, wird also nicht nachlassen, sondern eher noch zunehmen. Gute Grundlagen und eine umfassende Schulung sind eine unerläßliche Voraussetzung für ihre Bewältigung. Möge dieses Werk seinen Beitrag dazu leisten.

Von der Idee zu einem technisch-wissenschaftlichen Buch bis zu seiner Veröffentlichung ist es ein langer, mühevoller Weg. Der Autor kann ihn nur dann erfolgreich gehen, wenn er sich auf die verlegerische Erfahrung und den unternehmerischen Mut seines Verlages verlassen kann. Dem Springer-Verlag in Wien sei herzlich gedankt, daß er in dieser Hinsicht stets ein beispielhafter Partner gewesen ist.

Dank sei auch allen jenen Ingenieuren und Wissenschaftlern gesagt, deren Arbeiten verwertet wurden. Es sind Hunderte. Ihre Namen sind jeweils im Text an der Stelle erwähnt, an der ich ihre Arbeit oder Auszüge daraus verwendet oder erläutert habe.

Ich danke meiner Frau, meinen Mitarbeitern und Kollegen an den europäischen und amerikanischen Universitäten für die Hilfe, die sie mir gewährt haben, und für die Kritik, die dazu beigetragen hat, den wissenschaftlichen und praxisorientierten Wert dieses Werkes zu erhöhen.

C i u d a d B o l i v a r, im Sommer 1971

**Willy H. Bölling**

## Inhaltsverzeichnis

1. Zusammendrückung von Böden . . . . .	1
1.1 Aufgaben . . . . .	1
Aufgabe 1 Ermittlung der Zeitsetzungslinie . . . . .	1
Aufgabe 2 Drucksetzungslinie und Druckporenzifferlinie . . . . .	7
Aufgabe 3 Sofortsetzung, primäre und sekundäre Setzung . . . . .	27
Aufgabe 4 Der Verfestigungsbeiwert $c_v$ . . . . .	34
Aufgabe 5 Steifezahl $E_s$ , mittlere Setzungsziffer $\Delta S'_m$ , Verdichtungsziffer $a$ und $C_c$ -Wert . . . . .	37
Aufgabe 6 Ermittlung des Durchlässigkeitsbeiwertes im Kompressionsversuch . . . . .	42
Aufgabe 7 Vorbelastung und Verdichtungsverhältnis des Bodens . . . . .	43
Aufgabe 8 Zusammendrückung einer Tonschicht . . . . .	50
Aufgabe 9 Größe und zeitlicher Verlauf der Setzung einer Tonschicht auf einer wasserdurchlässigen Schicht . . . . .	53
Aufgabe 10 Eindimensionale Entwässerung eines Tones auf einer wasserundurchlässigen Schicht . . . . .	55
Aufgabe 11 Dreidimensionale Entwässerung durch vertikale Sanddrainagen . . . . .	61
Aufgabe 12 Zusammendrückung einer Tonschicht bei nichtkonstantem anfänglichem Porenwasserüberdruck . . . . .	68
Aufgabe 13 Zeitlicher Setzungsverlauf eines im Spülverfahren hergestellten Planums . . . . .	70
Aufgabe 14 Zusammendrückung bindiger Böden bei Berücksichtigung linearer Lastzunahme während der Bauarbeiten . . . . .	72
Aufgabe 15 Porenwasserüberdruck und intergranularer Druck . . . . .	75
Aufgabe 16 Zeitliche Änderung der Porenziffer während der Konsolidierung . . . . .	78
Aufgabe 17 Zusammendrückung bindiger Böden bei Berücksichtigung beliebig veränderlicher Lastzunahme während der Bauarbeiten . . . . .	80
1.2 Berechnungstabeln und Zahlenwerte . . . . .	91
1.3 Literatur . . . . .	97
2. Scherfestigkeit kohäsionsloser Böden . . . . .	100
2.1 Aufgaben . . . . .	100
Aufgabe 18 Reibung zwischen festen Körpern . . . . .	100
Aufgabe 19 Mohrscher Spannungskreis . . . . .	103

Aufgabe 20	Reibungswinkel und Reibungswiderstand . . . . .	109
Aufgabe 21	Bestimmung des wirksamen Reibungswinkels $\rho'$ eines Sandes im direkten Scherversuch mit kontrollierter Verschiebung . . . . .	115
Aufgabe 22	Bestimmung des wirksamen Reibungswinkels $\rho'$ eines Sandes im dreiaxialen Druckversuch bei kontrollierter Verschiebung . . . . .	124
2.2	Berechnungstabeln und Zahlenwerte . . . . .	135
2.3	Literatur . . . . .	138
3.	Scherfestigkeit kohäsiver Böden . . . . .	143
3.1	Aufgaben . . . . .	143
Aufgabe 23	Porenwasserdruckbeiwerte A und B . . . . .	143
Aufgabe 24	Bestimmung der Kohäsion $c_u$ und des Reibungswinkels $\rho_u$ aus UU-Versuchen mit einem wassergesättigten sandigen Ton . . . . .	149
Aufgabe 25	Bestimmung der Kohäsion $c'$ und $c_u$ und der Reibungswinkel $\rho'$ und $\rho_u$ aus UU-Versuchen mit einem ungesättigten sandigen Ton . . . . .	153
Aufgabe 26	Zylinderdruckfestigkeit $q_u$ , Sensitivität S und Elastizitätsmodul E . . . . .	159
Aufgabe 27	Bestimmung des wirksamen Reibungswinkels $\rho'$ und der wirksamen Kohäsion $c'$ aus CU-Versuchen mit einem wassergesättigten Lehm . . . . .	163
Aufgabe 28	Bestimmung des wirksamen Reibungswinkels $\rho'$ und der wirksamen Kohäsion $c'$ in D-Versuchen mit gestörten Bodenproben aus wassergesättigtem überkonsolidiertem Ton . . . . .	170
Aufgabe 29	Bestimmung von $\rho$ und c aus der Gleichung der Schergeraden für bindige Böden . . . . .	175
Aufgabe 30	Anwendung der Scherparameter $\rho$ und c in praktischen Fällen . . . . .	179
3.2	Berechnungstabeln und Zahlenwerte . . . . .	181
3.3	Literatur . . . . .	186
	Sachverzeichnis . . . . .	191