

Universität  
Duisburg-Essen

K. Lesny, E. Perau

# **Bodenmechanisches Praktikum**

Auswahl und Anwendung  
von bodenmechanischen Laborversuchen

13. Auflage

**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Copyright Shaker Verlag 2015

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-3578-0

ISSN 0945-067X

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • E-Mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

### **Vorwort zur 13. Auflage**

Die 13. Auflage des Bodenmechanischen Praktikums ist die erste Auflage, die gemeinsam von Eugen Perau und Kerstin Lesny nach dem Ausscheiden von Werner Richwien aus dem aktiven Dienst veröffentlicht wird. Die Autoren haben hierbei bewusst die bewährte Struktur dieses Buches und seine wesentlichen Inhalte beibehalten. Im Vergleich zur 12. Auflage wurden aber sämtliche Normenbezüge aktualisiert. Die 13. Auflage verweist damit konsequent auf das Normenwerk des Eurocode 7 und der einschlägigen ergänzenden DIN- bzw. DIN ES ISO-Normen. Dies erforderte eine vollständige Überarbeitung des Kapitels 3 zum Thema Baugrunderkundungen wie auch des Kapitels 7 zum geotechnischen Nachweisformat. Weiterhin wurden die theoretischen Grundlagen zur Festigkeit von Böden in Kapitel 6 gründlich überarbeitet. Unser Dank gilt unseren studentischen Hilfskräften Frau Hußendörfer und Herrn Willke, die uns bei der Überarbeitung des Manuskripts tatkräftig unterstützt haben.

Wir hoffen, dass auch diese Auflage auf das Interesse der Leserschaft stößt und sind für Korrekturvorschläge und Anregungen dankbar.

Kerstin Lesny

Eugen Perau

### **Vorwort zur 12. Auflage**

Die hiermit vorgelegte 12. Auflage des Bodenmechanischen Praktikums ist hinsichtlich Struktur und Inhalt gegenüber der 11. Auflage von 2004 unverändert. Allerdings haben wir die Normenbezüge aktualisiert und natürlich die zahlreichen Anregungen und Korrekturhinweise aufgegriffen, die uns von aufmerksamen Lesern und Nutzern dieses Handbuchs zugegangen sind. Dafür gilt unser herzlichster Dank, verbunden mit der Hoffnung, dass auch diese 12. Auflage die gleiche wohlwollende Aufnahme findet wie die vorhergehenden. Unser Dank gilt außerdem Frau Gerhold für die Unterstützung bei der Überarbeitung des Manuskripts und Frau Mehl für die Überarbeitung der Abbildungen.

Kerstin Lesny

Werner Richwien

## **Vorwort zur 11. Auflage**

Im Mittelpunkt der Bodenmechanik stehen Modellbildungen, mit denen das mechanische Verhalten von Böden beschrieben werden kann. Es ist Aufgabe des bodenmechanischen Versuchswesens, die hierfür benötigten Parameter zur Beschreibung der Bodeneigenschaften im Rahmen der jeweils geeigneten Modellbildungen bereitzustellen. So behandelt die vorliegende 11. Auflage des Bodenmechanischen Praktikums alle im bodenmechanischen Versuchswesen üblichen Untersuchungen zur Zustandsbeschreibung, zum Formänderungsverhalten und zur Festigkeit von Böden.

Wie bereits in der 10. Auflage war es das vorrangige Anliegen der Autoren, mit diesem Heft einen Leitfaden für Ingenieure und Ingenieurstudenten zur problemorientierten Auswahl von bodenmechanischen Laborversuchen und zur Auswertung der Ergebnisse im Rahmen geotechnischer Fragestellungen zur Verfügung zu stellen. Dem Studierenden soll dieses Heft Zugang zum bodenmechanischen Versuchswesen mit seinen vielen experimentellen Möglichkeiten schaffen. Dem in der Praxis tätigen Ingenieur soll es als Handbuch dienen, mit dessen Hilfe er sein Wissen über die einzelnen Versuchsdurchführungen auffrischen und insbesondere den zweckmäßigen Einsatz von Laborversuchen planen und veranlassen kann.

In diesem Sinne haben wir die bereits an der gleichen Zielsetzung orientierte 10. Auflage grundlegend überarbeitet. Dabei wurde jeweils der aktuelle Stand der Normung übernommen. Dies gilt insbesondere für die DIN 1054, die im Januar 2003 erschienen ist und gegenüber der Vorgängernorm grundlegend verändert wurde. Überarbeitet wurden auch die Ausführungen zu den Baugrunderkundungen in Kapitel 3, zu der Festlegung charakteristischer Bodenkennwerte und ihrer Bemessungswerte in Kapitel 7 sowie zu den Korrelationen in Kapitel 8. Die Autoren bedanken sich für die zahlreichen zur 10. Auflage eingegangenen Korrekturhinweise und Anregungen. Unser Dank gilt auch Frau Gerhold und Frau Gadomski, die uns bei der Überarbeitung des Manuskripts wirkungsvoll unterstützt haben.

Kerstin Lesny

Werner Richwien

## Inhaltsverzeichnis

<b>1.</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>Baugrunduntersuchung, Geotechnischer Untersuchungsbericht</b> .....	<b>3</b>
2.1.	Zielsetzung und Festlegung von Art und Umfang der Baugrunduntersuchungen .....	3
2.2.	Normative Vorgaben .....	4
2.3.	Arten der Baugrunduntersuchungen .....	6
2.3.1.	Vorerkundungen.....	6
2.3.2.	Baugrunderkundungen .....	9
2.3.3.	Bodenmechanische Laboruntersuchungen.....	12
2.4.	Geotechnischer Untersuchungsbericht.....	17
2.4.1.	Zwecke und Inhalt des Geotechnischen Untersuchungsberichts .....	17
2.4.2.	Wiedergabe der Ergebnisse von Feldversuchen.....	17
2.4.3.	Wiedergabe der Ergebnisse von Laborversuchen.....	18
2.4.4.	Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse .....	18
<b>3.</b>	<b>Baugrunderkundungen</b> .....	<b>20</b>
3.1.	Allgemeine Anforderungen .....	20
3.2.	Richtwerte für die Anordnung von Baugrunderkundungen.....	20
3.3.	Baubegleitende Untersuchungen und Messungen .....	25
3.4.	Schürfe.....	26
3.5.	Bohrungen .....	27
3.5.1.	Bohrverfahren und Probengewinnung .....	27
3.5.2.	Erkundung von Grundwasserständen, Grundwassermessstellen .....	32
3.5.3.	Feldbericht .....	37
3.5.4.	Ergebnisbericht.....	45
3.6.	Sondierungen.....	46
3.6.1.	Allgemeines .....	46
3.6.2.	Drucksondierungen mit elektrischen Messwertaufnehmern.....	46
3.6.3.	Standard Penetration Test.....	51
3.6.4.	Rammsondierungen.....	53
3.7.	Flügelscherversuche .....	59

3.8.	Plattendruckversuch .....	61
<b>4.</b>	<b>Zustandsbeschreibung von Böden .....</b>	<b>64</b>
4.1.	Zuordnung der Versuche .....	64
4.2.	Korngrößenverteilung.....	65
4.2.1.	Siebanalyse.....	65
4.2.2.	Schlämmanalyse.....	68
4.2.3.	Kombinierte Sieb- und Schlämmanalyse .....	71
4.2.4.	Zusammenfassung von Körnungslinien zu Körnungsbändern.....	73
4.2.5.	Benennung von Böden anhand der Korngrößenverteilung.....	74
4.2.6.	Zeichnerische Darstellung der Ergebnisse .....	76
4.2.7.	Kennziffern der Körnungslinie .....	80
4.3.	Wassergehalt .....	83
4.4.	Zustandsgrenzen bindiger Böden.....	86
4.4.1.	Fließ- und Ausrollgrenze .....	86
4.4.2.	Schrumpfgrenze .....	91
4.5.	Dichte des Bodens.....	92
4.5.1.	Korndichte.....	92
4.5.2.	Feucht- und Trockendichte des Bodens, Wichte .....	96
4.5.3.	Lagerungsdichte nichtbindiger Böden .....	100
4.5.4.	Verdichtbarkeit von Böden (Proctordichte) .....	108
4.6.	Kalkgehalt .....	114
4.7.	Glühverlust.....	118
4.8.	Wasserdurchlässigkeit .....	121
4.8.1.	Allgemeines .....	121
4.8.2.	Wasserdurchlässigkeit grobkörniger Böden.....	124
4.8.3.	Wasserdurchlässigkeit feinkörniger Böden.....	127
4.8.4.	Anwendung .....	130
4.9.	Kapillare Steighöhe .....	130
4.10.	Wasseraufnahmefähigkeit.....	132
<b>5.</b>	<b>Untersuchung des Formänderungsverhaltens von Böden.....</b>	<b>134</b>
5.1.	Theoretische Grundlagen.....	134
5.1.1.	Spannungs-Dehnungs-Verhalten .....	134

5.1.2.	Zeitsetzungsverhalten .....	135
5.1.3.	Setzungsanteile.....	136
5.1.4.	Quellen.....	137
5.2.	Kompressionsversuch.....	137
5.3.	Kennwerte .....	143
5.3.1.	Steifemodul $E_s$ .....	143
5.3.2.	Ermittlung der Setzungsanteile und der Konsolidierungsdauer .....	144
5.3.3.	Kompressionsbeiwert, Rekompansionsbeiwert und Schwellbeiwert.....	148
5.3.4.	Vorbelastung des Bodens .....	149
5.3.5.	Konsolidierungsbeiwert.....	151
5.3.6.	Kriechbeiwert.....	153
5.3.7.	Wasserdurchlässigkeitsbeiwert.....	154
<b>6.</b>	<b>Festigkeit von Böden .....</b>	<b>155</b>
6.1.	Theoretische Grundlagen.....	155
6.1.1.	Prinzip des Direkten Scherversuchs.....	155
6.1.2.	Grenzbedingung .....	157
6.1.3.	Dehnungsverhalten im Grenzzustand .....	159
6.1.4.	Fließregel .....	160
6.1.5.	Effektive Spannungen .....	160
6.1.6.	Undrännierter Zustand.....	161
6.2.	Hinweise zur Auswahl der Versuchsart .....	162
6.2.1.	Auswahl nach der geotechnischen Fragestellung.....	162
6.2.2.	Direkter Scherversuch oder Triaxialversuch.....	163
6.2.3.	Verfügbarkeit von Bodenproben.....	164
6.3.	Versuche zur Festigkeitsbestimmung .....	165
6.3.1.	Einaxialer Druckversuch (Zylinderdruckversuch) .....	165
6.3.2.	Laborflügelsondierung .....	169
6.3.3.	Direkter Scherversuch .....	170
6.3.4.	Triaxialversuch (Zylindrische Kompression bei Seitendruck).....	179
<b>7.</b>	<b>Festlegung von Bodenkenngrößen für geotechnische Nachweise .....</b>	<b>194</b>
7.1.	Grundprinzip geotechnischer Sicherheitsnachweise .....	194
7.2.	Charakteristische Werte bodenmechanischer Kenngrößen.....	195

7.3.	Bemessungswerte für geotechnische Nachweise .....	197
<b>8.</b>	<b>Erfahrungswerte und Korrelationen.....</b>	<b>201</b>
8.1.	Tabellenwerte für charakteristische Bodenkennwerte .....	201
8.1.1.	Charakteristische Bodenkennwerte, Bodengruppen und Bodenklassen.....	201
8.1.2.	Erfahrungswerte für die scheinbare Kohäsion (Kapillarkohäsion) .....	206
8.1.3.	Korndichte, Porenanteil und Porenzahl.....	206
8.1.4.	Konsistenzgrenzen und Plastizitätszahl .....	207
8.1.5.	Glühverlust.....	208
8.1.6.	Wasserdurchlässigkeitsbeiwert.....	209
8.1.7.	Verdichtungsfähigkeit, Proctordichte und Porenanteil.....	210
8.1.8.	Kapillare Steighöhe .....	212
8.2.	Korrelationen.....	213
8.2.1.	Korrelationen zwischen den Konsistenzgrenzen.....	213
8.2.2.	Korrelationen zwischen den Konsistenzgrenzen und den Kennwerten des Proctorversuchs .....	214
8.2.3.	Korrelationen zu den Kompressionseigenschaften.....	215
8.2.4.	Korrelationen zur Festigkeit von Böden .....	216
8.2.5.	Korrelationen zwischen dem Wasserdurchlässigkeitsbeiwert bindiger Böden und den Konsistenzgrenzen .....	217
<b>9.</b>	<b>Literatur.....</b>	<b>218</b>
<b>Anhang</b>	<b>.....</b>	<b>228</b>