

2777-3022

# VERÖFFENTLICHUNGEN

des Institutes für Bodenmechanik und Felsmechanik  
der Universität Fridericiana  
in Karlsruhe

Herausgeber: G. Gudehus, O. Natau

---

**Heft 144**

## **DER EINFLUSS DES GEBUNDENEN WASSERS AUF DIE LEITFÄHIGKEIT UND DIE MECHANISCHEN EIGENSCHAFTEN FEINKÖRNIGER BÖDEN**

von

Yazhou Zou

---

Karlsruhe 1998

ISSN 0453-3267

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagen und Begriffe</b>	<b>3</b>
2.1	Mineralogische Grundlagen . . . . .	3
2.2	Elektrische Ladung und Kationenaustauschkapazität . . . . .	6
2.3	Wassermoleküle . . . . .	7
2.4	Wässrige Lösung . . . . .	8
2.5	Wechselwirkung zwischen geladener Kornoberfläche und Wasser . . . . .	8
2.6	Elektrische Leitfähigkeit des freien Wassers . . . . .	10
2.7	Platzwechseltheorie und Aktivierungsenergie . . . . .	13
2.8	Diffuse Doppelschicht . . . . .	15
2.9	Van-der-Waals-Kraft und Abstoßungskraft aus Doppelschicht . . . . .	19
2.10	Zusammensetzung und Gefüge . . . . .	21
<b>3</b>	<b>Stand des Wissens</b>	<b>23</b>
3.1	Elektrische Leitfähigkeit . . . . .	23
3.1.1	Empirische Beziehungen . . . . .	23
3.1.2	Drei-Element-Modell . . . . .	23
3.1.3	Zwei-Element-Modell . . . . .	25
3.1.4	Anisotropie von Böden . . . . .	25
3.2	Wasserdurchlässigkeit . . . . .	26
3.2.1	Experimentelle Ergebnisse und Durchlässigkeitsgesetze . . . . .	26

3.2.2	Kapillarrohrmodell . . . . .	27
3.3	Ionenkonzentrationsänderung im freien Wasser . . . . .	30
3.4	Volumenänderung des freien Wassers . . . . .	31
3.5	Eindimensionales Kompressionsverhalten . . . . .	31
3.5.1	Zusammendrückbarkeit . . . . .	31
3.5.2	Kriechen . . . . .	32
3.5.3	Druckrelaxation . . . . .	33
3.6	Scherfestigkeit . . . . .	34
3.6.1	Peak-Scherfestigkeit und Restfestigkeit . . . . .	34
3.6.2	Einfluß von Porenfluid und Mineralzusammensetzung . . . . .	34
3.6.3	Reibungstheorie . . . . .	36
<b>4</b>	<b>Leitfähigkeit</b>	<b>39</b>
4.1	Versuche . . . . .	39
4.1.1	Probenmaterial und -vorbereitung . . . . .	39
4.1.2	Versuchsgerät . . . . .	41
4.1.3	Versuchsprogramm und -durchführung . . . . .	42
4.1.4	Theoretische Basis zur Bestimmung der Leitfähigkeit . . . . .	44
4.1.5	Kalibrierung . . . . .	46
4.1.6	Bestimmung der Leitfähigkeit anisotroper Proben . . . . .	47
4.2	Theoretische Überlegungen . . . . .	48
4.2.1	Modell der Leitfähigkeit . . . . .	48
4.2.2	Ionenkonzentrations- und Potentialverteilung im Porenraum . . . . .	49
4.2.3	Leitfähigkeit des Porenwassers . . . . .	51
4.2.4	Anisotrope Leitfähigkeit und anisotropes Gefüge . . . . .	53
4.3	Versuchsergebnisse und Diskussion . . . . .	54
4.3.1	Leitfähigkeit des freien Wassers mit Ionen . . . . .	54
4.3.2	Leitfähigkeit der Körner . . . . .	55

4.3.3	Abhängigkeit zwischen den Leitfähigkeiten des Bodens und des freien Wassers . . . . .	56
4.3.4	Leitfähigkeit und Gefügeänderung . . . . .	59
4.3.5	Veränderung der Leitfähigkeit des Porenwassers mit der Porenzahl . . . . .	62
4.3.6	Gefügefaktor . . . . .	65
4.3.7	Anisotropiefaktor . . . . .	67
4.4	Anwendung des theoretischen Modells . . . . .	68
4.4.1	Bestimmung des Faktors $c$ . . . . .	68
4.4.2	Abschätzung der Ionenbeweglichkeit im Porenwasser . . . . .	70
4.4.3	Abschätzung der Porenzahl . . . . .	71
4.4.4	Abschätzung der Gefügeänderung und der Leitfähigkeit gesättigter Böden . . . . .	72
4.5	Zusammenfassung . . . . .	73
<b>5</b>	<b>Ionenkonzentrations- und Volumenänderung</b>	<b>75</b>
5.1	Ionenkonzentrationsänderung im freien Wasser . . . . .	75
5.1.1	Versuchsgerät und -durchführung . . . . .	75
5.1.2	Versuchsergebnisse . . . . .	77
5.1.3	Theoretische Analyse . . . . .	81
5.1.4	Abschätzung der Ionenkonzentrationsänderung . . . . .	85
5.1.5	Zusammenfassung . . . . .	87
5.2	Volumenänderung des gesamten Wassers . . . . .	88
5.2.1	Versuchsgerät und -durchführung . . . . .	88
5.2.2	Versuchsergebnisse und Auswertung . . . . .	89
5.2.3	Physikochemische Grundlagen . . . . .	91
5.2.4	Analyse der mischungsbedingten Volumenänderungen . . . . .	95
5.2.5	Abschätzung der Volumenänderung des gesamten Wassers . . . . .	96
5.2.6	Zusammenfassung . . . . .	101

<b>6</b>	<b>Wasserdurchlässigkeit</b>	<b>103</b>
6.1	Theoretische Vorüberlegungen . . . . .	103
6.2	Durchlässigkeitsbeziehung . . . . .	107
6.3	Bestimmung der Parameter und Anwendung . . . . .	111
6.4	Folgerungen . . . . .	115
<b>7</b>	<b>Eindimensionales Kompressionsverhalten</b>	<b>117</b>
7.1	Versuche . . . . .	117
7.1.1	Versuchsprogramm . . . . .	117
7.1.2	Versuchsgeräte und -durchführung . . . . .	119
7.2	Visuelles Gefüge (mikroskopische Aufnahme) . . . . .	121
7.3	Kräfte zwischen den Körnern und Druckanteile . . . . .	125
7.4	Gefüge und Porenzahl der Suspension . . . . .	126
7.5	Verdichtungsmechnismen . . . . .	128
7.6	Versuchsergebnisse und Diskussion . . . . .	130
7.6.1	Druckkontrollierte Kompression . . . . .	130
7.6.2	Kompressionskriechen . . . . .	137
7.6.3	Verschiebungkontrollierte Kompression . . . . .	141
7.6.4	Druckrelaxation . . . . .	145
7.6.5	Quelldruck . . . . .	150
<b>8</b>	<b>Scherfestigkeit</b>	<b>153</b>
8.1	Versuchsstand . . . . .	153
8.1.1	Versuchsgerät . . . . .	153
8.1.2	Versuchsprogramm und -durchführung . . . . .	154
8.2	Versuchsergebnisse und Auswertung . . . . .	156
8.2.1	Ionenkonzentrationsänderung während der Scherung . . . . .	156
8.2.2	Scherfestigkeit . . . . .	158
8.3	Diskussion . . . . .	162
8.4	Folgerungen . . . . .	165

<b>9 Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>167</b>
<b>Summary and Outlook</b>	<b>171</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>173</b>