

# VERÖFFENTLICHUNGEN

des Institutes für Bodenmechanik und Felsmechanik  
der Universität Fridericiana  
in Karlsruhe

Herausgeber: G. Gudehus

---

**Heft 164**

## **Instationäre Durchfeuchtung quasi-homogener Erddeiche**

von

Alexander Scheuermann

---

Karlsruhe 2005

ISSN 0453-3267

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Problemstellung und Vorgehensweise</b> .....	<b>5</b>
2.1	Problemstellung .....	5
2.2	Vorgehensweise .....	7
<b>3</b>	<b>Sickerströmungen in homogenen Deichen</b> .....	<b>9</b>
3.1	Allgemeines .....	9
3.2	Stationäre Durchströmung .....	10
3.3	Instationäre Durchfeuchtung .....	10
3.3.1	Allgemeines .....	10
3.3.2	Halbempirischer Ansatz nach <i>Dvinov</i> .....	12
3.3.3	Eindimensionaler Lösungsansatz ( <i>Brauns, Szalay, Davidenkoff, Kézdi</i> ) .....	14
3.3.4	Kontinuitätsbetrachtung nach <i>Erb</i> .....	18
3.3.5	Methode der instationären Sickernetze ( <i>Cedergren, Huang</i> ) .....	20
3.3.6	Vergleich der Näherungsverfahren für instationäre Durchfeuchtung .....	22
3.4	Einfluß von Niederschlag .....	25
<b>4</b>	<b>Wasserhaushalt von Deichen – bodenphysikalische und hydraulische Grundlagen</b> <b>31</b>	
4.1	Maßgebende Einflußgrößen .....	31
4.2	Boden als poröses Medium .....	32
4.2.1	Grundsätzliches .....	32
4.2.2	Bodengefüge .....	33
4.2.3	Porenstruktur .....	33
4.3	Niederschlag und Prozesse an der Bodenoberfläche .....	35
4.3.1	Niederschlag .....	35
4.3.2	Infiltration und oberflächennaher Abfluß .....	36
4.3.3	Verdunstung .....	38
4.4	Wasser im Boden .....	41
4.4.1	Erscheinungsformen des Wassers im Boden .....	41
4.4.2	Kapillarität .....	42
4.4.3	Potentialkonzept .....	44
4.4.4	Zusammenführung der Erkenntnisse .....	46
4.5	Bodenhydraulische Eigenschaften .....	49

4.5.1	Allgemeines .....	49
4.5.2	Charakterisierung der Kurvenverläufe im $\psi$ - $\theta$ Diagramm .....	50
4.5.3	Methoden zur Messung der bodenhydraulischen Eigenschaften .....	57
4.5.4	Parametrisierung der bodenhydraulischen Eigenschaften .....	61
4.5.5	Pedotransferfunktionen (PTF).....	71
4.5.6	Nutzen von Porositätsfunktionen zur Beschreibung der ungesättigten Durchlässigkeit.....	75
4.6	Wasserbewegung im Boden.....	79
4.6.1	Allgemeines .....	79
4.6.2	Die Gleichung nach <i>Richards</i> zur Beschreibung der ungesättigten Strömung.....	79
4.6.3	Anisotrope Wasserbewegung in heterogenen und homogenen Erdstoffen .....	82
4.7	Abschließende Bemerkungen .....	86
<b>5</b>	<b>Eigene Untersuchungen zur Ermittlung bodenhydraulischer Parameter .....</b>	<b>87</b>
5.1	Allgemeines .....	87
5.2	Säulenversuchsstand zur Bestimmung bodenhydraulischer Parameter .....	88
5.2.1	Konzeption des Versuchsstandes .....	88
5.2.2	Inverse Modellierung zur Bestimmung bodenhydraulischer Parameter.....	89
5.2.3	Das numerische Modell HYDRUS-2D.....	90
5.2.4	Die Time Domain Reflectometry (TDR) zur Bestimmung örtlich verteilter Wassergehalte .....	91
5.2.5	Versuchsaufbau.....	96
5.2.6	Untersuchte Materialien .....	100
5.2.7	Experimentelle Untersuchung eines schwach kiesigen Sandes .....	101
5.2.8	Experimentelle Untersuchungen eines schwach kiesigen schwach schluffigen Sandes .....	114
5.2.9	Schlußbemerkungen zu den Säulenversuchen .....	120
5.3	Ermittlung der bodenhydraulischen Eigenschaften aus der Korngrößen verteilung .....	121
5.3.1	Allgemeines .....	121
5.3.2	Bestehende Pedotransferfunktionen auf Basis der Korngrößenverteilung .....	122
5.3.3	Vorgehensweise bei der Berechnung der bodenhydraulischen Parameter .....	124
5.3.4	Berechnungsbeispiele.....	132
5.3.5	Schlußbemerkungen und Ausblick .....	147
5.4	Zusammenfassende Bewertung der eigenen Ermittlungsmethoden .....	148
<b>6</b>	<b>Untersuchungen an einem naturmaßstäblichen Deichmodell .....</b>	<b>149</b>
6.1	Ziele der Untersuchungen am Deichmodell .....	149
6.2	Aufbau und Instrumentierung des Deichmodells .....	150

6.3	Durchgeführte Untersuchungen am Deichmodell .....	153
6.3.1	Grundsätzliches .....	153
6.3.2	Einstauversuche unter Variation der Vorbedingungen .....	154
6.3.3	Analyse und numerische Nachrechnung der Einstauversuche sowie Vergleich mit analytischen Näherungslösungen .....	160
6.3.4	Langzeitbeobachtungen am Deichmodell und numerische Nachrechnung..	166
6.3.5	Besondere Beobachtungen am Deichmodell .....	171
6.4	Zusammenfassung der Erkenntnisse .....	179
<b>7</b>	<b>Umsetzung der Erkenntnisse auf Erfordernisse in der Praxis.....</b>	<b>183</b>
7.1	Allgemeines.....	183
7.2	Entwicklung einer Methode zur Abschätzung der instationären Durch- feuchtung homogener Deiche.....	184
7.2.1	Konzeption .....	184
7.2.2	Vorgehensweise.....	185
7.2.3	Handhabung der Berechnungsmethode und Datengrundlage .....	190
7.2.4	Berücksichtigung von Niederschlägen bei der Abschätzung der Deich- durchfeuchtung .....	195
7.2.5	Zusammenfassende Bewertung und Ausblick.....	199
7.3	Ansätze zur Ermittlung der Versagenswahrscheinlichkeit von Deichen infolge Durchfeuchtung auf Basis stochastischer Bemessung .....	200
7.3.1	Grundsätzliches .....	200
7.3.2	Konzeption und Vorgehensweise .....	200
7.3.3	Definition des Beispieldeiches und Datengrundlage .....	202
7.3.4	Langzeitsimulation auf Basis natürlicher und generierter Zeitreihen .....	204
7.3.5	Ableitung einer Verteilungsdichtefunktion für die Belastbarkeit eines Deiches gegen Durchfeuchtung.....	207
7.3.6	Fazit .....	211
7.4	Zusammenfassung der Praxisumsetzung.....	212
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>215</b>
<b>9</b>	<b>Summary .....</b>	<b>219</b>
<b>10</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>223</b>
<b>11</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>240</b>
<b>12</b>	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>283</b>
<b>13</b>	<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>289</b>