

Untergrundhydraulische Berechnungen
an Flußdeichen auf bindigen
Deckschichten

T 2056

T 2056

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

LEICHTWEISS — INSTITUT FÜR WASSERBAU
der Technischen Universität Braunschweig
—Wasserwirtschaft, Wasserbau und Kulturtechnik —

Prof. Dr.-Ing. Dr. SC. hc. Günther Garbrecht

UNTERGRUNDHYDRAULISCHE BERECHNUNGEN
AN FLUSSDEICHEN AUF
BINDIGEN DECKSCHICHTEN

Prof. Dr.-Ing. Dr. SC. hc. Günther Garbrecht

Dr.- Ing. Joachim Schmidt

Dipl.-Ing. Johann Buß

Braunschweig, Februar 1987

Inhaltsverzeichnis

Abschnitt 1:	Problemstellung	1
Abschnitt 2:	Potentialtheorie	6
2.1	Grundlegende Gleichungen	6
2.2	Lösungsmöglichkeiten	11
Abschnitt 3:	Bisherige Arbeiten	13
3.1	Allgemeines	13
3.2	Vereinfachende Berechnungsverfahren	13
3.3	Numerische Verfahren	18
3.3.1	Allgemeines	18
3.3.2	Zweidimensionale Systeme (vertikal eben)	20
3.3.3	Zweidimensionale Systeme (horizontal eben)	21
3.3.4	Dreidimensionale Systeme	22
Abschnitt 4:	Arbeitsziele	24
Abschnitt 5:	Eindimensionale Systeme	27
5.1	Stationäre Fließvorgänge	27
5.1.1	Differentialgleichung	27
5.1.2	Analytische Behandlung der Differentialgleichung	29
5.1.2.1	Allgemeines	29
5.1.2.2	Rand- und Übergangsbedingungen	31
5.1.2.3	Berechnung der Sickerwassermengen	36
5.1.2.4	Sonderfall $\alpha = 0$	38
5.1.2.5	Fehlerbetrachtung (Fehlstellen)	42
5.1.2.6	Fehlerbetrachtung (geringe Durchlässigkeitsunterschiede)	45
5.1.3	Numerische Lösung mit der Finiten-Element-	

	Methode	48
5.1.3.1	Allgemeines	48
5.1.3.2	Grundbeziehungen	49
5.1.3.3	Randbedingungen und Sickerwassermengen . . .	53
5.1.4	Vergleich FEM-Lösung - analytische Lösung . . .	55
5.2	Instationäre Fließvorgänge	59
5.2.1	Allgemeines	59
5.2.2	Gesättigte Systeme mit inkompressiblen Medien .	60
5.2.3	Gesättigte Systeme mit kompressiblen Medien . .	61
5.2.3.1	Differentialgleichung	61
5.2.3.2	Numerische Lösung mit der Finiten-Element- Methode	62
5.2.3.3	Überprüfung der FEM-Lösung	65
5.2.3.4	Einfluß der Kompressibilität	67
5.2.4	Ungesättigte Systeme mit inkompressiblen Medien	72
5.2.4.1	Differentialgleichung	72
5.2.4.2	Numerische Lösung mit der Finiten-Element- Methode	75
5.2.4.3	Überprüfung der FEM-Lösung	79
5.2.4.4	Einfluß des speicherwirksamen Porenraums (ungesättigte Systeme)	82
5.2.5	Teilgesättigte Systeme mit kompressiblen Medien	84
5.2.5.1	Differentialgleichung	84
5.2.5.2	Numerische Lösung mit der Finiten-Element- Methode	86
5.2.5.3	Überprüfung der FEM-Lösung	90
5.2.5.4	Einfluß des speicherwirksamen Porenraums (teilgesättigte Systeme)	90
5.2.6	Sonderformen der Randbedingungen bei instationären Berechnungen	96
5.2.7	Berücksichtigung von Qualmpoldern	97
5.3	Übersicht	98
Abschnitt 6: Zweidimensionale Systeme (horizontal eben)		100
6.1	Stationäre Fließvorgänge	100

6.1.1	Differentialgleichung	100
6.1.2	Numerische Lösung mit der Finiten-Element- Methode	101
6.1.3	Randbedingungen und Sickerwassermengen	104
6.1.4	Sonderfall $\alpha = 0$	105
6.1.5	Fehlerbetrachtungen	105
6.1.6	Überprüfung der FEM-Lösung	105
6.1.7	Beispiel	107
6.2	Instationäre Fließvorgänge	110
6.2.1	Differentialgleichung	110
6.2.2	Numerische Lösung mit der Finiten-Element- Methode	110
6.2.3	Beispiel	112
Abschnitt 7: Zweidimensionale Systeme (vertikal eben)		116
7.1	Stationäre Fließvorgänge	116
7.1.1	Differentialgleichung	116
7.1.2	Numerische Lösung mit der Finiten-Element- Methode	117
7.1.3	Randbedingungen und Sickerwassermengen	121
7.1.4	Überprüfung der FEM-Lösung	122
7.1.5	Beispiel	123
7.2	Instationäre Fließvorgänge	127
7.2.1	Differentialgleichung	127
7.2.2	Numerische Lösung mit der Finiten-Element- Methode	128
7.2.3	Überprüfung der FEM-Lösung	132
7.2.4	Beispiel	133
Abschnitt 8: Dreidimensionale Systeme		135
8.1	Stationäre Fließvorgänge	135
8.1.1	Differentialgleichung	135
8.1.2	Numerische Lösung mit der Finiten-Element- Methode	136
8.1.3	Randbedingungen und Sickerwassermengen	139
8.1.4	Lösung des Gleichungssystems	139
8.1.5	Überprüfung der FEM-Lösung	143

8.2	Instationäre Fließvorgänge	144
8.2.1	Differentialgleichung	144
8.2.2	Numerische Lösung mit der Finiten-Element- Methode	145
8.2.3	Überprüfung der FEM-Lösung	145
8.3	Beispiel	145
Abschnitt 9: Zusammenfassung		151
Abschnitt 10: Literaturverzeichnis		152

Bilder

1.1	Prinzipieller Wasserdruckverlauf	1
1.2	Intermittierende Kornverteilungslinie	3
1.3	Qualmpolder	4
1.4	Ungesättigter Bereich	4
1.5	Fehlstellen	5
2.1	Bezeichnungen für das Fließgesetz von Darcy	6
2.2	Wassermengen am Einheitsvolumen (dx.dy,dz)	8
2.3	$k_r = f(u)$	9
2.4	$n_w = f(u)$	10
3.1	Undurchlässiger Deich auf durchlässigem Untergrund	14
3.2	System mit Deckschicht im Deichvorland	15
3.3	Verfahren von ERB 1964	16
3.4	System Verfahren von BENNETT	17
4.1	Eindimensionales Teilsystem	25
4.2	System zweidimensionales Verfahren	25
5.1	Bezeichnungen eindimensionaler Ansatz	27
5.2	Wasserstände über der Deckschicht	30
5.3	Rand- und Übergangsbedingungen	34
5.4	Sickerwassermenge q_v bzw. Q_v	36
5.5	Sickerwassermenge q_h	37
5.6	Teilsystem 'Deichvorland'	39

5.7	Fehlerabschätzung	41
5.8	Potentiallinien und Drucklinien	43
5.9	Potentiallinien und Drucklinien	44
5.10	Fehler im Bereich von Fehlstellen	45
5.11	Teilsystem für Grenzkriterium	46
5.12	Fehler bei geringen k-Wertunterschieden	47
5.13	Ansatzfunktionen allgemein	50
5.14	Ansatzfunktionen für ein Element	51
5.15	System	56
5.16	Vergleich der hydraulischen Druckhöhen h	56
5.17	Vergleich der Sickerwassermengen q_{hi}	57
5.18	Vergleich der Sickerwassermengen q_{vi}	57
5.19	Treppenfunktion	61
5.20	Definition Zeitgrößen	63
5.21	System zur Überprüfung der FEM-Lösung	66
5.22	System Einfluß der Kompressibilität	68
5.23	Verlauf der hydraulischen Druckhöhe	70
5.24	Fehler bei Vernachlässigung der Kompressibilität (S_s)	71
5.25	Ungesättigtes System	72
5.26	Ungesättigter Bereich	73
5.27	Speicherwirksamer Porenraum n_{sp}	74
5.28	Bezeichnungen am infinitesimalen Element	74
5.29	Flußdiagramm Iterationsprozeß Transmissivität	77
5.30	Flußdiagramm Iterationsprozeß Transmissivität ($\partial h/\partial t=0$)	79
5.31	Funktionsverlauf	80
5.32	Ganglinien bei $x=5m$	82
5.33	Veränderung des Grundwasserspiegels	83
5.34	Entwicklung des Grundwasserspiegels	85
5.35	Ungesättigtes System mit Überstau	87
5.36	System Einfluß I	91
5.37	Beispiel Einfluß I	93
5.38	Vergleich FEM - analytisches Verfahren	94
5.39	System Einfluß II	95
5.40	Beispiel Einfluß II	95
6.1	Ansatzfunktionen Dreieckselement	102
6.2	System und FE-Netz	106
6.3	Vergleich FEM-Lösung - exakte Lösung	107

6.4	System	108
6.5	Hydraulische Druckhöhen ohne Entspannungsbrunnen	109
6.6	Hydraulische Druckhöhen mit Entspannungsbrunnen	109
6.7	System	113
6.8	Entwicklung ungesättigter Bereich	115
6.9	Potentiallinien im stationären Zustand	116
7.1	Flußdiagramm $k_r = f(u)$	119
7.2	Sickerfläche	121
7.3	Vergleich FEM-Lösung - exakte Lösung	123
7.4	System I (durchgehende Deckschicht)	124
7.5	System II (Fehlstelle in der Deckschicht)	125
7.6	System III (ohne Deckschicht)	125
7.7	Ermittlung $k_r^0 + \Delta k_r$	129
7.8	Ermittlung $M^0 + \Delta M$	130
7.9	Topfmodell	132
7.10	Vergleich FEM-Lösung - exakte Lösung	133
7.11	Ganglinie des Flußwasserstandes	134
7.12	Anstieg des Wasserspiegels im Deich	135
8.1	Tetraederelement	136
8.2	8-Eckelement aus 5 Tetraederelementen	139
8.3	Iterationsverlauf für eine Knotengröße	141
8.4	FEM-Netz	144
8.5	System	146
8.6	Horizontalschnitte	147
8.7	Vertikalschnitte	148
8.8	Potentiallinien nach Abschnitt 6 (Horizontalschnitt)	149
8.9	Potentiallinien nach Abschnitt 7 (Vertikalschnitt)	150