

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung und Aufgabenstellung	1
2. Grundlagen zur Berechnung von Grundwasserströmungen	4
2.1 Voraussetzungen und Vereinfachungen.....	4
2.2 Die Gültigkeit des Gesetzes von Darcy	9
2.3 Potentialströmung - quasiharmonische Differentialgleichung.....	12
2.4 Randbedingungen	17
2.5 Gespanntes und ungespanntes Grundwasser.....	21
2.6 Möglichkeiten zur Erhaltung der Grundwasserströmung	26
3. Berechnungsverfahren	31
3.1 Vorbemerkung	31
3.2 Analytische Berechnungsverfahren	31
3.2.1 Berechnung nach dem Verfahren von DACHLER	32
3.2.2 Berechnung nach dem Verfahren von SCHNEIDER	34
3.2.3 Berechnung nach dem Verfahren von NENDZA/LEHMANN	39
3.3 Analogmodelle	43
3.4 Numerische Berechnungsverfahren	44
3.4.1 Die Methode der Finiten Differenzen (FDM).....	44
3.4.2 Die Methode der Randelemente (BEM).....	45
3.4.3 Die Methode der Finiten Elemente (FEM)	45
3.5 Bewertung der Verfahren.....	46
4. Eigene Untersuchungen	48
4.1 Entwicklung eines dreidimensionalen isoparametrischen Elements und Implementierung in das FE-Programm BuB-T	48
4.1.1 Theoretische Grundlagen zur Ermittlung der Elementmatrizen und des Belastungsvektors.....	48
4.1.2 Konduktiver Anteil der Elementdurchlässigkeitsmatrix	58
4.1.3 Konvektiver Anteil der Elementdurchlässigkeitsmatrix	59
4.1.4 Konduktiver Anteil des Belastungsvektors.....	60
4.1.5 Konvektiver Anteil des Belastungsvektors.....	60
4.1.6 Numerische Integration.....	61
4.1.7 Berechnung der hydraulischen Gradienten	62
4.1.8 Berechnung der Geschwindigkeiten	63

	Seite
4.1.9	Berechnung der Wassermengen 63
4.1.10	Lage der freien Oberfläche 63
4.1.11	Vergleich Laborversuch - Berechnung 72
4.2	Untersuchungsprogramm 75
4.2.1	Dimensionsanalyse 75
4.2.2	Unter- und umströmte Bauwerke 76
4.2.3	Bauwerke mit Fensteröffnungen 78
4.2.4	Einfluß einer schrägen Bauwerksanströmung 80
4.2.5	Anisotropie 80
4.2.6	Reichweite der Aufstauhöhe/Absenkung 80
5.	Auswertungen 81
5.1	Vorbemerkung 81
5.2	Unter- und umströmte Bauwerke 81
5.2.1	Randbedingungen und Größe des Strömungsgebietes 81
5.2.2	Kontrolle des FE-Netzes - Genauigkeitsbetrachtung 87
5.2.3	Aufstauhöhe in Abhängigkeit der Verhältnisse b/l und a/H 92
5.2.4	Aufstauhöhe in Abhängigkeit des Verhältnisses b/H 99
5.2.5	Vergleich der Berechnungsergebnisse mit den Ergebnissen aus anderen Berechnungsverfahren 101
5.2.6	Überlagerung der Aufstauhöhen aus der reinen Umströmung und der reinen Unterströmung des Bauwerks 104
5.3	Bauwerke mit Fensteröffnungen 106
5.3.1	Berechnung als Kanal- oder Wandströmung 108
5.3.2	Randbedingungen und Größe des Strömungsgebietes 109
5.3.3	Überlagerung der Aufstauhöhen aus der reinen Umströmung und der reinen Unterströmung des Bauwerks durch die Grundwasser- fenster 110
5.3.4	Aufstauhöhen in Abhängigkeit der gewählten Fensteröffnungen 112
5.3.5	Aufstauhöhen bei einer Fensterfläche $A_F = 5\%$ 114
5.3.6	Aufstauhöhen bei einer Fensterfläche $A_F = 15\%$ 117
5.3.7	Aufstauhöhen in Abhängigkeit des Verhältnisses b/H 123
5.3.8	Einfluß des Verhältnisses d/b 125
5.4	Einfluß einer schrägen Bauwerksanströmung 126
5.4.1	Problemstellung 126
5.4.2	Schräge Anströmung bei unter- und umströmten Bauwerken 128
5.4.3	Schräge Anströmung bei Bauwerken mit Fensteröffnungen 133

	Seite
5.5	Einfluß des natürlichen hydraulischen Gefälles..... 133
5.6	Strömungsverhalten bei Anisotropie..... 133
5.7	Strömungsverhalten bei inhomogenem Baugrundaufbau..... 135
5.8	Reichweite der Aufstauhöhe/Absenkung..... 136
5.9	Annäherung des dreidimensionalen Strömungsvorganges durch ein zweidimensionales Horizontalmodell 139
6.	Berechnungsvorschlag 143
6.1	Unter- und umströmte Bauwerke..... 143
6.2	Bauwerke mit Fensteröffnungen..... 145
7.	Sicherheit 149
8.	Zusammenfassung 151
9.	Literatur 153