

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung	1
1.1 Problemstellungen	1
1.2 Modelle	3
1.2.1 Ebenen der Modellierung	3
1.2.2 Modelltypen	4
1.3 Programme	7
1.4 Vorgehensweise bei der Modellierung	11
1.4.1 Schritt 1: <i>Wahl des Modelltyps</i>	12
1.4.2 Schritt 2: <i>Wahl des Modellgebiets</i>	15
1.4.3 Schritt 3: <i>Eingabedaten für das Strömungsmodell</i>	16
1.4.4 Schritt 4: <i>Programmlauf Strömungsmodell</i>	18
1.4.5 Schritt 5: <i>Strompfadsimulation</i>	20
1.4.6 Schritt 6: <i>Eingabe von Daten für das Ausbreitungsmodell</i>	21
1.4.7 Schritt 7: <i>Programmlauf Transportmodell</i>	22
1.4.8 Schritt 8: <i>Ergebnisaufbereitung, Eichung und Auswertung</i>	24
2 Strömungen in porösen Medien	25
2.1 Allgemeines	25
2.2 Porosität	27
2.3 Sättigung und Feuchte	30
2.4 Geschwindigkeit	31
2.5 Druck und Druckhöhe	32
2.6 Piezometerhöhe	33
2.7 Saugspannung und Kapillardruck	33
3 Analytische Beschreibung von Strömungen	35
3.1 Das Darcy-Gesetz und Verallgemeinerungen	35
3.2 Das Prinzip der Massenerhaltung	43
3.3 Zustandsgleichungen	45
3.4 Differentialgleichungen	49
3.5 Randbedingungen	53
3.6 Anfangsbedingungen	57

4 Numerische Verfahren für Strömungen	59
4.1 Diskretisierung des Raums	60
4.1.1 Finite Differenzen (FD)	60
4.1.2 Finite Volumen (FV)	67
4.1.3 Finite Elemente (FE)	71
4.2 Diskretisierung der Zeit	78
4.2.1 Instationäre Simulation	78
4.2.2 Fehlerfortpflanzung und Stabilität	84
4.3 FAST-A	86
5 Beispiele von Strömungsmodellen	89
5.1 Anströmung von Brunnen	89
5.2 Potentialströmung in einem Trog	94
5.3 Konstanter Durchfluß in der Aerationzone	98
5.4 Wall-Durchströmung	104
5.5 Oberflächennahe Deponie	107
6 Ausbreitungsprozesse	111
6.1 Konzentration	111
6.2 Advektion	113
6.3 Diffusion	114
6.4 Dispersion	115
6.5 Sorption	117
6.6 Abbau, Zerfall, Degradation	119
6.7 Produktion	119
6.8 Reaktion	120
7 Analytische Beschreibung von Ausbreitung	121
7.1 Einleitung	121
7.2 Energieerhaltung	122
7.3 Massenerhaltung einer Komponente	122
7.4 Fourier's Gesetz	125
7.5 Fick'sches Gesetz	126
7.6 Differentialgleichungen	127
7.7 Allgemeine Quell- bzw. Senkenterme	129
7.8 Randbedingungen	132
7.9 Anfangsbedingungen	133
8 Numerische Verfahren für Ausbreitungsprozesse	135
8.1 Diskretisierung des Raums	136
8.1.1 Finite Differenzen (FD)	136
8.1.2 Finite Volumen (FV)	142
8.1.3 Finite Elemente (FE)	144

8.1.4 Finite Zellen	145
8.2 Diskretisierung der Zeit	148
8.2.1 Verfahren der Simulation	148
8.2.2 Diskretisierungsfehler und numerische Dispersion	151
8.2.3 Stabilität und Diskretisierungskriterien	153
8.3 Particle Tracking	154
8.3.1 Euler-Verfahren	156
8.3.2 Verfahren höherer Ordnung	158
8.3.3 FASTpath	158
8.3.4 Verwendung der Stromfunktion	161
8.4 Charakteristikenverfahren und Lagrange-Ansatz	162
8.5 Random Walk	165
8.6 FAST-B(2D)	167
9 Beispiele von Ausbreitungsmodellen	171
9.1 Zerfall und schnelle Sorption	171
9.2 Advektion und Dispersion (1D)	173
9.3 Advektion, Diffusion und Zerfall	179
9.4 Langsame Sorption	182
9.5 Zweidimensionale Ausbreitung im 1D-Strömungsfeld	185
10 Numerische Lösung von Gleichungssystemen	191
10.1 Lineare Gleichungssysteme	191
10.1.1 Überblick	191
10.1.2 Verfahren der Konjugierten Gradienten (CG)	194
10.2 Nichtlineare Gleichungen	197
10.2.1 Überblick	197
10.2.2 Picard Iterationen	198
10.2.3 Newton Verfahren	198
Literatur	201
Sachverzeichnis	210
Anhang H: Handbücher	
Anhang I: In/Output-Dateien	