



Mitteilungen

des Lehrstuhls und Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft

der Rheinisch-Westfälischen
Technischen Hochschule Aachen

herausgegeben von

Univ.-Professor Dr.-Ing. Jürgen Königeter

Band 125

Christoph Jansen

**Numerische Untersuchung
des Dichteeinflusses
auf das Dispersionsverhalten
in heterogenen porösen Medien**

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Notation	XII
Abbildungsverzeichnis	XV
Tabellenverzeichnis	XIX
1 Einleitung	1
1.1 Einführung in die Problemstellung.....	1
1.2 Ziele und Vorgehensweise.....	3
2 Mathematische Formulierung dichteabhängiger Strömungs- und Stofftransportvorgänge in porösen Medien	6
2.1 Grundlagen.....	6
2.2 Allgemeines Gleichungssystem.....	8
2.2.1 Strömungsgleichung.....	8
2.2.2 Stofftransportgleichung.....	9
2.2.3 Zustandsgleichungen.....	11
2.3 Vereinfachungen des gekoppelten Differentialgleichungssystems.....	13
2.3.1 OBERBECK-BOUSSINESQ-Annahme	13
2.3.2 Diskussion der OBERBECK-BOUSSINESQ-Annahme.....	14
2.4 Verwendetes Gleichungssystem.....	18
3 Stochastische Betrachtung heterogener poröser Medien	19
3.1 Motivation.....	19
3.2 Stochastische Ansätze.....	21
3.2.1 Hydraulische Durchlässigkeit.....	21
3.2.2 Stofftransport.....	21
3.3 Analytische Auswertung der stochastischen Ansätze.....	23
3.4 Numerische Lösung der stochastischen Differentialgleichungen.....	25

4 Dichteabhängigkeit des Dispersionsverhaltens	27
4.1 Stabilität einer Dichteströmung.....	27
4.2 Beeinflussung der Querdispersion in einer stabil geschichteten Salzwasser-Süßwasserströmung.....	29
4.3 Beeinflussung der longitudinalen Dispersion in einer stabilen, vertikalen Dichteströmung.....	32
4.4 Beeinflussung der longitudinalen Makrodispersion.....	34
5 Numerisches Modell	40
5.1 Allgemeines.....	40
5.2 Entkopplung des Differentialgleichungssystems.....	41
5.3 Modellierung der dichteabhängigen Strömungsgleichung.....	43
5.4 Modellierung der dichteabhängigen Stofftransportgleichung.....	46
5.5 Programmtechnische Umsetzung.....	49
5.5.1 Partikelverwaltung.....	49
5.5.1.1 Anfangsbedingungen.....	49
5.5.1.2 Instationäre Dirichlet-Randbedingung.....	50
5.5.1.3 Partikel an Modellrändern.....	52
5.5.2 Zeitschrittsteuerung.....	53
5.5.3 Ergebnisauswertung.....	57
6 Verifikationsstudie.....	59
6.1 Verifikation der Dirichlet-Randbedingung des Stofftransports.....	59
6.2 Verifikationsstudie zu konzentrationsabhängigen Dichteströmungen.....	62
6.2.1 HENRY-Problem.....	64
6.2.1.1 Problemdefinition.....	64
6.2.1.2 Ergebnisse aus der Literatur.....	66
6.2.1.3 Verifikationsrechnungen mit DISTGW.....	68
6.2.2 ELDER-Problem	70
6.2.2.1 Problemdefinition.....	70
6.2.2.2 Ergebnisse aus der Literatur.....	72

6.2.2.3	Verifikationsrechnungen mit DISTGW.....	73
6.2.3	Salzdom-Problem.....	76
6.2.3.1	Problemdefinition.....	76
6.2.3.2	Ergebnisse aus der Literatur.....	77
6.2.3.3	Verifikationsrechnungen mit DISTGW.....	84
6.3	Zusammenfassende Bewertung.....	89
7	Numerische Untersuchungen	91
7.1	Untersuchungsziel und Simulationskonzept.....	91
7.2	Aspekte der Untersuchungsmethodik.....	93
7.2.1	Einschränkungen bei der Wahl der Modellgeometrie.....	93
7.2.2	Generierung der räumlichen Durchlässigkeitsverteilung.....	94
7.2.3	Randbedingungen.....	95
7.2.3.1	Strömungsfeld.....	95
7.2.3.2	Stofftransport.....	96
7.2.4	Ergebnisinterpretation.....	97
7.3	Numerische Untersuchung des dichteabhängigen Dispersionsverhaltens.....	98
7.3.1	Modellaufbau.....	98
7.3.2	Serie 1 – Vergleich einer dichteunabhängigen mit einer dichteabhängigen Betrachtung.....	100
7.3.2.1	Geschwindigkeitsfelder.....	101
7.3.2.2	Ausbreitung des Wasserinhaltsstoffs.....	103
7.3.2.3	Entwicklung der räumlichen Momente.....	108
7.3.3	Serie 2 – Variation der Dichte.....	114
7.3.4	Serie 3 – Variation der Viskosität.....	118
7.3.5	Serien 4 bis 6 – Variation der statistischen Parameter des Aquifers.....	121
7.4	Bewertung.....	126
8	Zusammenfassung und Ausblick	128
	Literaturverzeichnis	131