



---

## 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
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>1</b>
1.1 Einführung in die Problemstellung.....	1
1.2 Ziele und Vorgehensweise.....	3
<b>2 Mathematische Formulierung dichteabhängiger Strömungs- und Stofftransportvorgänge in porösen Medien .....</b>	<b>6</b>
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
<b>3 Stochastische Betrachtung heterogener poröser Medien .....</b>	<b>19</b>
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

<b>4 Dichteabhängigkeit des Dispersionsverhaltens .....</b>	<b>27</b>
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
<b>5 Numerisches Modell .....</b>	<b>40</b>
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
<b>6 Verifikationsstudie.....</b>	<b>59</b>
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
<b>7</b>	<b>Numerische Untersuchungen .....</b>	<b>91</b>
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
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>128</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>131</b>