

"Stofftransport von Spurenmetallen im Tiefengrundwasser in Sandstein-Kluftaquiferen"

Von der Fakultät für Georessourcen und Materialtechnik der
Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen

zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Naturwissenschaften

genehmigte Dissertation

vorgelegt von

Herrn Timm Felix Sebastian Reisinger, M.Sc.

aus Aachen

Berichter: Herr Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Thomas R. Rüde
Herr Prof. Dr. rer. nat. Jan Schwarzbauer

Tag der mündlichen Prüfung: 03.11.2020

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	III
Abbildungsverzeichnis.....	V
Tabellenverzeichnis	VII
Anhangsverzeichnis.....	VIII
Abkürzungsverzeichnis.....	IX
Symbolverzeichnis.....	X
Danksagung	XIV
Zusammenfassung	XV
I. Kurzfassung	XX
1 Einführung.....	1
1.1 Veranlassung.....	1
1.2 Zielsetzung und Vorgehensweise.....	3
2 In-situ-Verhältnisse.....	6
2.1 Sandstein	6
2.1.1 Geologie und Stratigraphie	6
2.1.2 Art, Verbreitung und Eigenschaften der Gesteine.....	8
2.1.3 Ruhrsandstein	11
2.1.4 Gestein für Versuche und Modellierungen	12
2.2 Tiefengrundwasser.....	19
2.2.1 Entstehung	19
2.2.2 Chemische Zusammensetzung	21
2.2.3 Tiefenabhängigkeit relevanter Parameter für das Ruhrgebiet.....	25
2.2.4 Tiefengrundwasser für Versuche und Modellierungen	27
2.3 Spurenmetalle	28
2.3.1 Spurenmetalle für Versuche und Modellierungen	28
3 Grundwasserdynamik und Stofftransport	30
3.1 Durchlässigkeit anthropogen geschaffener Hohlräume.....	30
3.2 Natürliche Grundwasserleiter	32
3.3 Strömen durch eine Einzelkluft nach Rose (2010)	32
3.4 Transport relevanter Stoffe	40
3.4.1 Diffusion	41
3.4.2 Advektion	42
3.4.3 Dispersion.....	42
3.4.4 Allgemeine Transportgleichung	43
3.4.5 Sorption.....	43

Inhaltsverzeichnis

3.5	Mobilität von Metallionen.....	46
3.5.1	Sorptionskapazität der Nebengesteine	47
3.5.2	Salzgehalte.....	49
3.5.3	pH-Werte und Pufferbedingungen	53
3.5.4	Temperatur	55
3.5.5	Redoxbedingungen	55
3.6	Mobilität von Oxyanionen	56
4	Experimentelle Laboruntersuchungen	59
4.1	Versuchskonzept	59
4.1.1	Säulenversuche	61
4.1.2	Triaxzellenversuche.....	66
4.1.3	Einzelkluft-Blockversuche.....	69
4.2	Berechnungen und Methoden	80
4.3	Ergebnisse und Auswertung	83
4.3.1	Säulenversuche	84
4.3.2	Triaxzellenversuche.....	106
4.3.3	Einzelkluft-Blockversuche.....	119
5	Modellierungen	146
5.1	Grundsätzliche hydrogeochemische Modellierung	146
5.2	1D-Stofftransportmodellierung.....	156
5.3	3D-Stofftransportmodellierung	173
6	Diskussion	181
7	Literaturverzeichnis	191
8	Anhänge	209