

# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	1
1.1	Problemstellung.....	1
1.2	Untersuchungsziele und Vorgehensweise .....	2
2	Standortbeschreibung .....	4
2.1	Lage des Untersuchungsgebietes.....	4
2.2	Geologischer und Hydrogeologischer Überblick .....	4
2.3	Eintragsquellen und Ausbreitung der Kontaminanten .....	5
2.4	Durchgeführte und aktuelle Sanierungsmaßnahmen.....	8
3	Hydrogeochemische Prozesse in einem mit gaswerksspezifischen Stoffen kontaminierten Aquifer .....	9
3.1	Eintrag und Ausbreitung gaswerksspezifischer Schadstoffe.....	9
3.1.1	Charakterisierung der gaswerksspezifischen Schadstoffe.....	9
3.1.2	Freisetzungsprozesse in das Grundwasser .....	10
3.1.3	Natürliche Selbstreinigungsprozesse.....	11
3.2	Redoxgesteuerte Stoffumsetzungen .....	12
3.2.1	Entwicklung von Redoxzonen .....	12
3.2.2	Mikrobiologische Abbaubarkeit der aromatischen Kohlenwasserstoffe unter verschiedenen Redoxmilieubedingungen .....	15
3.2.2.1	Aerober Schadstoffabbau .....	16
3.2.2.2	Anaerober Schadstoffabbau .....	18
3.2.2.3	Bewertung der Abbaubarkeit gaswerksspezifischer Schadstoffe im Hinblick auf natürliche und stimulierte Abbauprozesse.....	20
3.2.3	Folgereaktionen in einem eisenreduzierenden Milieu.....	21
3.2.4	Folgereaktionen in einem sulfatreduzierenden Milieu.....	21
3.3	Isotopengeochemische Stoffumsetzungen .....	23
3.3.1	Isotopengeochemische Grundlagen.....	23
3.3.2	Isotopenfraktionierung .....	24

3.4 Nachweis des mikrobiologischen Schadstoffabbaus in kontaminierten Grundwasserleitern.....	25
4 Stimulierung natürlicher Abbauprozesse durch Oxidationsmittelzugabe.....	27
4.1 Grundlagen zur mikrobiellen In-situ Sanierung.....	27
4.2 Oxidierende Reaktionen in einem kontaminierten Aquifer .....	29
4.2.1 Oxidation der aromatischen Kohlenwasserstoffe.....	29
4.2.2 Oxidation der reduzierten Eisen- und Schwefelverbindungen.....	30
4.3 Modellvorstellung der hydrogeochemischen und der isotopengeochemischen Prozesse bei einer mikrobiellen In-situ Sanierung .....	32
5 Methoden und Untersuchungstechniken.....	35
5.1 Probenahmetechnik.....	35
5.1.1 Tiefenorientierte Grundwasserprobenahme .....	35
5.1.2 Sedimentprobenahme.....	36
5.2 Chemische Analytik.....	36
5.2.1 Grundwasser.....	36
5.2.2 Sedimente.....	37
5.3 Bestimmung der Schwefel- und Sauerstoffisotopenverhältnisse.....	38
5.3.1 Grundwasser.....	38
5.3.2 Sedimente.....	38
5.4 Modellierung und Bilanzierung der hydrogeochemischen Prozesse .....	39
5.4.1 Aktivitätskoeffizienten und Ionenaktivitätsprodukt.....	39
5.4.2 Sättigungsberechnungen .....	39
5.4.3 Stofftransportmodellierung.....	40
5.4.3.1 Formulierung der Transportgleichung .....	40
5.4.3.2 Kationenaustausch .....	41
5.4.3.3 Reaktionskinetische Modellierung.....	42
5.4.3.4 Schwefelisotopenverhältnis .....	42
5.4.4 Mischwasserberechnungen .....	43

6 Natürliche Selbstreinigungsprozesse im Bereich des Testfeldes vor Beginn des Feldversuches.....	45
6.1 Beschreibung des Testfeldes .....	45
6.1.1 Lage und Ausbau der Messstellen im Testfeld .....	45
6.1.2 Grundwasserhydraulik und Untergrunddurchlässigkeit.....	47
6.2 Hydrogeochemische Situation vor Beginn der Bodensanierung durch Bodenaushub .....	48
6.2.1 Grundwasserchemie .....	48
6.2.2 Sedimentchemie .....	52
6.2.3 Isotopengeochemische Auswirkungen der Stoffflüsse.....	57
6.2.4 Modellvorstellung der durch den natürlichen Abbau ausgelösten Stoffflüsse .....	60
6.3 Hydrogeochemische Auswirkungen der Bodensanierung durch Aushub im Testfeld vor Beginn des Feldversuches.....	63
6.3.1 Zeitliche Entwicklung der Belastungssituation.....	63
6.3.2 Zeitliche Entwicklung der natürlichen Abbauprozesse.....	65
6.3.3 Zeitliche Entwicklung der Sättigungsindizes der relevanten Mineralphasen .....	66
6.4 Bewertung der nachgewiesenen Prozesse vor und nach der Bodensanierung durch Bodenaushub.....	67
6.5 Möglichkeiten der weiterführenden Sanierung .....	69
7 Feldversuch zur Stimulation der natürlichen Abbauprozesse unter denitrifizierenden Bedingungen .....	71
7.1 Versuchsbeschreibung.....	71
7.1.1 Hydrogeochemische Situation vor Beginn der Nitratinfiltration .....	71
7.1.2 Versuchsablauf.....	73
7.1.2.1 Beschaffenheit des Infiltrationswassers .....	73
7.1.2.2 Hydraulisches Strömungsfeld und Infiltrationsbereich.....	75
7.1.2.3 Änderung der Grundwasserbeschaffenheit im Zuge der Infiltration.....	77
7.2 Hydrogeochemische Transportmodellierung zur Identifizierung der Stoffflüsse .....	81
7.2.1 Räumliche und zeitliche Diskretisierung der Transportmodellierung .....	82
7.2.2 Kalibrierung des konservativen Stofftransportes .....	83

7.2.3 Modellierung der Kationenaustauschprozesse .....	86
7.2.4 Oxidation reduzierter Eisensulfidverbindungen .....	87
7.2.5 Schwefelisotopenverhältnis .....	91
7.2.6 Oxidation von Fe(II) .....	94
7.2.7 Lösung und Fällung von Karbonaten.....	95
7.2.8 Oxidation von AKW .....	98
7.3 Mischwasserberechnung für die stationäre hydrogeochemische Situation.....	100
7.4 Darstellung der ermittelten Abbauprozesse .....	102
7.5 Bewertung der Versuchsergebnisse .....	104
8 Zusammenfassung und Ausblick auf die weiterführende Sanierung.....	106
9 Literaturverzeichnis .....	110