

**Schadstoffaustragungsverhalten von
Chemiealtablagerungen
am Beispiel der Altdeponie „Grube Antonie“
in Bitterfeld**

Untersuchung und Beurteilung der Ergebnisse
einschließlich Ableitung einer Methodik
zur Ermittlung und Bewertung des
Schadstoffaustragsverhaltens

Zusammenfassung und Verallgemeinerung der Ergebnisse
und Bewertungen des Forschungsberichtes:

Wissenschaftlich-technischer Vorlauf
für die Sicherung
von Chemiealtablagerungen
am Beispiel der „Grube Antonie“

Jochen Großmann und Helmut Kerndorff

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	1
Schadstoffaustragsverhalten von Chemiealtablagerungen am Beispiel der Deponie Grube Antonie	1
Untersuchungen zum mikrobiologischen Abbaupotenzial	1
Austragsverhalten von Schadstoffen	3
Transportverhalten der Schadstoffe im Grundwasser	3
Gefahrenbeurteilung und Empfehlungen für die Sanierung der Depo- nie Grube Antonie	4
Empfehlungen für die Sanierung der Deponie Grube Antonie	6
Sanierungsstrategien	8
Ableitung einer Methodik zur Untersuchung des Schadstoffaustrags- verhaltens von Chemiealtablagerungen	10
1 Situationsbeschreibung und Ableitung der Aufgabenstellung	12
1.1 Veranlassung	12
1.2 Aufgaben- und Zielstellung	13
1.3 Kenntnisstand zur Deponie Grube Antonie	14
1.3.1 Standortcharakteristik	14
1.3.2 Geologische und hydrogeologische Standortmerkmale der Grube Antonie	15
1.3.3 Abfallinventar Grube Antonie	17
1.3.4 Bisheriger Kenntnisstand zur Schadstoffverteilung und zum Schadstoffaustrag aus der Deponie Grube Antonie	20
1.3.4.1 Schadstoffaustrag	21
1.3.4.2 Grundwasserbelastung	22
1.4 Kenntnisstandsanalyse zum Schadstoffaustrag und zur Ge- fahrenbeurteilung von Chemiealtablagerungen	23
1.4.1 Schadstoffaustragsverhalten von Chemiealtablagerungen	23
1.4.2 Biologischer Abbau von Chlororganika	25
1.5 Untersuchungsziele	26
1.5.1 Abbaumöglichkeiten von Chlororganika (insbesondere HCH) unter unterschiedlichen Bedingungen am Beispiel der Grube Antonie	27
1.5.2 Schadstoffaustragsverhalten von Deponien am Beispiel der Grube Antonie (Austragsverhalten in das Grundwasser)	27

1.5.3	Zusammenfassende Darstellung der Auswirkungen des Abbauverhaltens und des Schadstoffaustrages auf die Gefahrenbeurteilung der Antonie	28
1.5.4	Methodisches Konzept zur Beurteilung des Schadstoffaustragsverhalten von Chemiealtablagerungen.....	28
2	Ablauf der Untersuchungsarbeiten	29
2.1	Untersuchungen zur Ermittlung des Stoffverhaltens im Deponiekörper	31
2.2	Stofffreisetzung aus Deponien am Beispiel der Grube Antonie (Stofffreisetzung in das Grundwasser)	32
2.3	Festlegung des Untersuchungsumfanges	36
2.3.1	Untersuchungsgebiet für die GW-Untersuchungen	36
2.3.2	Untersuchungsgebiet für die Abbau- und Elutionsuntersuchungen	39
2.3.3	Technische Erkundungsarbeiten	39
2.4	Qualitätssicherung und Arbeitsschutz	43
2.4.1	Qualitätssicherung bei den Grundwasseruntersuchungen.....	43
2.4.2	Qualitätssicherung bei den Lineruntersuchungen	44
2.4.3	Arbeitsschutz	44
3	Darstellung der Untersuchungsergebnisse	45
3.1	Untersuchungen zum Abbaupotenzial der autochthonen Mikroorganismen für Hauptschadstoffe	45
3.1.1	Ergebnisse der Untersuchungen zum Abbaupotenzial.....	45
3.1.1.1	Auswahl und Charakterisierung der Proben.....	45
3.1.1.2	Mikrobielle Besiedlung von Grundwasser (GW)- und Feststoffproben.....	46
3.1.1.3	Abbauexperimente	49
3.1.1.3.1	Angewandte Methoden und eingesetzte Chlororganika.....	49
3.1.1.3.2	Abbauuntersuchungen mit Grundwasser-Mikroorganismen	54
3.1.1.3.3	Abbauexperimente mit Feststoffproben.....	57
3.1.1.4	Nachweis von Stoffwechselprodukten.....	67
3.1.2	Bewertung der Untersuchungsergebnisse	68
3.1.2.1	Einschätzung der mikrobiellen Besiedlung und des Abbaupotenzials in verschiedenen Deponiezonen und im Imprägnationskörper.....	68
3.1.2.2	Einschätzung der mikrobiellen Besiedlung und des Abbaupotenzials im Abstromgebiet	75

3.1.2.3	Einfluss des mikrobiellen Abbaus auf den Schadstoff- austrag über das Sicker- und Grundwasser	75
3.1.2.4	Zur Bildung von dead end products des Stoffwechsels	80
3.1.2.5	Konsequenzen einer Deponieabdeckung.....	83
3.1.2.6	Möglichkeiten zur Abbauförderung	84
3.1.2.7	Zusammenfassung	85
3.2	Feststoffuntersuchungen zum Austragsverhalten von Schadstoffen.....	86
3.2.1	Feststoffuntersuchungen Anorganik	87
3.2.1.1	Anorganische Gesamtgehalte der Mischproben	87
3.2.1.2	Anorganische Gehalte wässriger Eluate der Mischproben.....	91
3.2.2	Feststoffuntersuchungen Organik.....	97
3.2.2.1	Organische „Gesamtgehalte“ der Einzelproben	98
3.2.2.2	Organische „Gesamtgehalte“ der Mischproben	104
3.2.2.3	Organische Gehalte wässriger Eluate der Mischproben	108
3.2.3	Elutionsuntersuchungen zum realitätsnahen Austrags- verhalten anorganischer und organischer Stoffe aus der Deponie Antonie	114
3.3	Grundwasseruntersuchungen zum Austrags- und Trans- portverhalten von Schadstoffen.....	119
3.3.1	Untersuchung anorganischer Inhaltsstoffe im Grundwasser.....	120
3.3.1.1	Konzentrationen anorganischer Inhaltsstoffe (inkl. in situ - und Summenparameter) im Grundwasser (Targets)	120
3.3.1.2	Grundwassergängigkeiten anorganischer Schadstoffe	129
3.3.2	Untersuchungen organischer Inhaltsstoffe im Grundwasser.....	135
3.3.2.1	Konzentrationen organischer Inhaltsstoffe im Grundwasser (Targets / Nontargets).....	135
3.3.2.2	Grundwassergängigkeiten organischer Schadstoffe	141
4	Methodik zur Ermittlung und Bewertung des Schadstoffaus- tragsverhaltens von Chemiealtablagerungen	157
4.1	Zusammenfassende Ergebnisauswertung und Schlussfolge- rungen.....	157
4.1.1	Bewertung der Aussagekraft von Eluaten aus Feststoff- proben	157
4.1.2	Untersuchungen im Grundwasserbereich	158
4.1.3	Ermittlung von Aussagen zum Ausbreitungsverhalten im Grundwasser	160

4.1.4	Nutzung bereits vorliegender Untersuchungsergebnisse	161
4.1.5	Erfordernis von technischen Erkundungen im Bodenbereich.....	161
4.1.6	Bewertung biologischer Abbauprozesse	162
4.1.7	Zusammenfassende Bewertung der Elemente hinsichtlich der Ableitung einer optimierten Untersuchungsstrategie	163
4.2	Diskussion der Ergebnisse einzelner Untersuchungsele- mente	163
4.2.1	Aussagen zur Entnahme von Feststoffen aus Bohrkernen von Chemiealtablagerungen	163
4.2.2	Aussagen zur Probennahme, -aufbereitung, -transport und -lagerung von Feststoff- und GW-Proben	164
4.2.3	Aussagen zur Verwendung unterschiedlich polarer Elutions- mittel bei Feststoffen und im Grundwasser	165
4.2.4	Aussagen zur Verwendbarkeit wässriger Eluate (S4/pH _{stat} /SV)	165
4.2.5	Aussagen zum Screening (Target mit Nontarget-Screening)	167
4.2.6	Aussagen zur Verwendung von Fingerprints	168
4.3	Vorschlag für eine Methodik zur Ermittlung und Bewertung des Schadstoffaustragsverhaltens von Chemiealtablage- rungen	169
4.3.1	Vorwort zur Methodik	169
4.3.2	Methodik der Historischen Erkundung (Voruntersuchung)	170
4.3.3	Orientierende Erkundung	177
4.3.4	Methoden der weiterführenden Untersuchungen und deren Zielsetzung	187
4.3.5	Aufbereitung, Dokumentation und Methoden der Datenauswertung	194
4.3.6	Bewertungsmethoden für die Erkundungsergebnisse	195
4.4	Allgemeine Methodik für die Ermittlung des Abbaupotenzi- als der autochthonen Mikroorganismen in Chemiealtablage- rungen	201
4.4.1	Auswahl der Proben für mikrobiologische Untersuchungen	202
4.4.2	Rückschlüsse auf mikrobielle Aktivitäten an Hand von Analysendaten	203
4.4.3	Mikrobiologische Voruntersuchungen an Deponiematerial	204
4.4.3.1	Genereller Nachweis von Mikroorganismen (MO) in Fest- stoff- und Wasserproben)	204

4.4.3.2	Bestimmung allgemeiner mikrobiologischer Aktivitätsparameter	204
4.4.4	Ermittlung des Abbaupotenzials der autochthonen MO für die Hauptschadstoffe	205
4.4.4.1	Untersuchungen an Grundwasserproben.....	205
4.4.4.2	Untersuchungen an Feststoffproben	206
4.4.4.3	Hinweise zur Analytik.....	207
4.4.4.4	Abbauversuche mit extrahierten und angereicherten autochthonen Mischkulturen.....	208
4.4.5	Ermittlung der abiotischen Elimination	208
4.4.6	Quantifizierung der Abbauleistung	209
4.4.7	Untersuchungen zur Entstehung neuer Substanzen.....	210
5	Gefahrenbeurteilung von Chemiealtablagerungen	214
5.1	Gefahrenbeurteilung Grube Antonie.....	214
5.1.1	Im Rahmen des Vorhabens gewonnene weitergehende Erkenntnisse zum Deponie- und Untergundaufbau	214
5.2	Im Rahmen des Vorhabens gewonnene Erkenntnisse zur Belastungssituation der Deponie Grube Antonie.....	219
5.2.1	Boden und Abfall	219
5.2.2	Belastungssituation Grundwasser	227
5.3	Transferpfade und Schutzgutsituation	238
5.3.1	Potenzielle Transferpfade.....	238
5.3.2	Vorbemerkungen zur Grundwasserhydraulik	239
5.3.3	Diskussion der einzelnen grundwasserrelevanten Transferpfade.....	244
5.3.3.1	Abfallkörper (ungesättigter Bereich) -> Sickerwasser -> Grundwasser -> Oberflächengewässer (Freisetzung durch Niederschlag)	244
5.3.3.2	Abfallkörper (gesättigter Bereich) -> Grundwasser (quartärer GWL) -> Oberflächengewässer (horizontaler Schadstoffaustrag)	244
5.3.3.3	Imprägnationskörper (tertiärer GWL) -> Grundwasser (tertiärer/quartärer GWL) -> Oberflächengewässer (horizontaler Schadstoffaustrag).....	245
5.3.3.4	Phase auf dem Stauer (gravitative Schadstoffausbreitung auf dem Stauer).....	248

5.3.3.5	Kontaminierter Grundwasserbereich -> horizontaler Schadstoffaustrag mit dem Grundwasser (tertiärer GWL) -> Grundwasser (quartärer GWL) -> Oberflächengewässer	248
5.3.3.6	Kontaminierter Grundwasserbereich -> Bodenluft -> Gebäudeluft -> Mensch (Ausgasung).....	248
5.3.4	Verifizierung der Aussagen zu den Transferpfaden anhand der vorliegenden Ergebnisse der analytischen Untersuchungen und der Clusteranalyse.....	253
5.3.5	Schutzgutsituation	256
5.3.5.1	Schutzgutsituation Luft	258
5.3.5.2	Schutzgutsituation Grundwasser	258
5.4	Gefahrenbeurteilung Grund- und Oberflächengewässer.....	261
5.4.1	Bewertungsgrundlagen.....	261
5.4.1.1	Bewertungsmethodik bei eingetretenem Grundwasserschaden	261
5.4.1.2	Abgrenzung Grundwasserschaden	263
5.4.1.3	Bewertung Betonaggressivität.....	265
5.4.2	Schadstoffaustragsverhalten	265
5.4.2.1	Schadstoffbelastung	265
5.4.2.2	Wasserzutritt.....	267
5.4.3	Abgrenzung Grundwasserschadensbereich Antonie.....	268
5.4.4	Gefahrenbeurteilung für die einzelnen Transferpfade	273
5.4.4.1	Abfallkörper -> Schadstoffaustrag mit Sickerwasser	273
5.4.4.2	Abfallkörper -> horizontaler Schadstoffaustrag mit dem Grundwasser (Bereich quartärer GWL) -> Oberflächengewässer	275
5.4.4.3	Imprägnationskörper -> horizontaler Schadstoffaustrag mit dem Grundwasser (tertiärer GWL) -> Oberflächengewässer	276
5.4.4.4	Phase auf dem Stauer -> gravitative Schadstoffausbreitung auf dem Stauer	280
5.4.4.5	Kontaminierter Grundwasserbereich -> horizontaler Schadstoffaustrag mit dem Grundwasser (tertiärer GWL) -> Grundwasser -> Oberflächengewässer.....	282
5.4.4.6	Kontaminierter Grundwasserbereich -> Ausgasung -> (Gebäude) -> Mensch.....	282
6	Empfehlungen für die Sicherung der Grube Antonie	283
6.1	Anforderungen, die sich aus der Standortentwicklung ableiten	283

6.2	Definition Sanierungsziele	285
6.2.1	Vorbemerkungen zur Systematik der Ableitung der Sanierungsziele bei eingetretenem Grundwasserschaden	285
6.2.1.1	Sanierungsziele für die Beseitigung des Grundwasserschadens	288
6.2.1.2	Bewertung der Verhältnismäßigkeit der Schadensbeseitigung	290
6.2.1.3	Sanierungsziele Grundwasser zur Verhinderung weitergehender Gefahren	291
6.2.1.4	Sanierungsziele in der ungesättigten Zone im Grundwasserschadensbereich (3G-Bereich).....	292
6.2.2	Ableitung von Sanierungszielvorschlägen für die Grube Antonie	293
6.2.2.1	Sanierungsziele für die Beseitigung des eingetretenen Schadens.....	295
6.2.2.2	Maßnahmeableitung für die Beseitigung des eingetretenen GW-Schadens	299
6.2.2.3	Verhältnismäßigkeitsprüfung der Beseitigung des GW-Schadens.....	308
6.2.3	Sanierungsziele für die Beseitigung weitergehender Gefahren.....	309
6.2.3.1	Gefahren im Grundwasserschadensbereich	309
6.2.3.2	Gefahren für im Grundwasserabstrom liegende Schutzgüter ...	310
6.3	Diskussion und Bewertung von Sanierungsstrategien für die Grube Antonie	311
6.3.1	Maßnahmen zur Verhinderung von Gefahren im Grundwasserschadensbereich	311
6.3.2	Maßnahmen zur Verhinderung von Gefahren für im Grundwasserabstrom liegende Schutzgüter	312
6.3.2.1	Maßnahmen zur Verhinderung/Reduzierung des Schadstoffaustrages	313
6.3.2.2	Hydraulisch gesteuerter biologischer Schadstoffabbau.....	320
6.4	Vorzugsvariante für die Sanierung der Deponie Grube Antonie.....	321
6.5	Kenntnisdefizite und weiteres Vorgehen	323
	Literaturverzeichnis	324
	Anlagen	330