

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. VORWORT .....</b>	<b>1</b>
<b>2. EVAPOTRANSPIRATIONSSCHICHTEN ZUR ABDECKUNG VON ALTABLAGERUNGEN .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1. Stand der Technik und Entwicklungstendenzen .....</b>	<b>3</b>
2.1.1. Funktion eine Evapotranspirationsschicht.....	4
2.1.2. Biologische Methanoxidation.....	13
2.1.3. Aufbau einer Evapotranspirationsschicht.....	15
2.1.4. Modellierung des Wasserhaushaltes von Evapotranspirations- schichten.....	16
<b>2.2. Fallstudien – Evapotranspirationsschicht.....</b>	<b>19</b>
2.2.1. Einleitung und Fragestellung.....	19
2.2.2. Durchgeführte Arbeiten.....	19
2.2.3. Ergebnisse .....	26
2.2.4. Modellierung des Wasserhaushalts von Altablagerungen.....	61
<b>2.3. Schlussfolgerungen.....</b>	<b>67</b>
<b>2.4. Referenzen .....</b>	<b>70</b>
<b>3. STABILISIERUNG ORGANISCHER SUBSTANZ IN ALTABLAGERUNGEN .....</b>	<b>75</b>
<b>3.1. Prozesse zur Stabilisierung organischer Substanz.....</b>	<b>76</b>
3.1.1. Anaerober Abbau .....	77
3.1.2. Aerober Abbau.....	78
3.1.3. Huminstoffaufbau .....	78
3.1.4. Auswaschung .....	80
3.1.5. Komplex- und Aggregatbildung.....	82
<b>3.2. Technologien zur Stabilisierung organischer Substanz in     Altablagerungen .....</b>	<b>82</b>
3.2.1. Bewässerungsverfahren.....	83
3.2.2. Belüftungsverfahren.....	86
<b>3.3. Methoden zur Charakterisierung organischer Substanz .....</b>	<b>89</b>
3.3.1. Gesamtgehalte .....	90
3.3.2. Fraktionen des Kohlenstoff-Pools .....	90

3.3.3.	Biologische Reaktivitätstests.....	92
3.3.4.	Infrarot-Spektroskopie .....	93
3.3.5.	Eluatuntersuchungen .....	95
<b>3.4.</b>	<b>Fallstudie „In-Situ Aerobisierung von Altablagerungen“ .....</b>	<b>96</b>
3.4.1.	Versuchsdurchführung .....	97
3.4.2.	Veränderungen der Feststoffeigenschaften .....	111
3.4.3.	Monitoring der Aerobisierung.....	133
3.4.4.	Definition von Stabilitätskriterien für In-Situ Aerobisierung.....	136
<b>3.5.</b>	<b>Schlussfolgerungen.....</b>	<b>140</b>
<b>3.6.</b>	<b>Referenzen .....</b>	<b>142</b>
<b>4.</b>	<b>IN-SITU SICHERUNG GROßFLÄCHIG SCHWERMETALL-BELASTETER BÖDEN .....</b>	<b>147</b>
<b>4.1.</b>	<b>Methoden der Schwermetallimmobilisierung.....</b>	<b>148</b>
4.1.1.	Gründe für die in-situ Immobilisierung – Was kann dagegen sprechen? .....	149
4.1.2.	Überblick – Welche Materialien sind in Verwendung?.....	150
4.1.3.	Immobilisierungstechniken bereits im Freiland getestet .....	153
<b>4.2.</b>	<b>Methoden der Phytosanierung schwermetallbelasteter Standorte</b>	<b>156</b>
4.2.1.	Phytostabilisierung .....	156
4.2.2.	Phytovolatilisierung .....	156
4.2.3.	Phytodegradation.....	157
4.2.4.	Phytoextraktion .....	157
4.2.5.	Induzierte (oder „chemisch unterstützte“) Phytoextraktion .....	157
4.2.6.	Natürliche (oder „kontinuierliche“) Phytoextraktion mit Hyperakkumulatoren .....	158
4.2.7.	Natürliche (oder „kontinuierliche“) Phytoextraktion <i>mit Weiden</i> ( <i>Salix sp.</i> ).....	160
<b>4.3.</b>	<b>Fallstudie Arnoldstein.....</b>	<b>164</b>
4.3.1.	Versuchsböden aus Arnoldstein .....	165
4.3.2.	Gefäß- und Freilandversuche zur Immobilisierung von Schwermetallkontaminationen .....	168
4.3.3.	Ergebnisse - Sortenauswahl im Nährlösungs- (Hydroponic-) Versuch. .....	169
4.3.4.	Ergebnisse - Batch-Versuch .....	170
4.3.5.	Ergebnisse - Gefäßversuch.....	171
4.3.6.	Bodenadditive im Freilandeinsatz .....	175
4.3.7.	Feldversuche – Ackerland (Boden Af, Bf).....	177

4.3.8.	Feldversuche – Grünland (Boden D).....	181
4.3.9.	Monitoring der Immobilisierung.....	183
4.3.10.	Phytoextraktion von Schwermetallen mit Weiden ( <i>Salix sp.</i> ) ....	185
4.3.11.	Ergebnisse – Metalltoleranz und Metallaufnahme der Weiden..	187
4.3.12.	Ergebnisse – Monitoring der Phytoextraktion.....	190
<b>4.4.</b>	<b>Schlussfolgerungen.....</b>	<b>195</b>
<b>4.5.</b>	<b>Referenzen .....</b>	<b>196</b>
<b>5.</b>	<b>IN-SITU TECHNOLOGIEN ZUR SANIERUNG VON MINERALÖLKONTAMINIERTEN BÖDEN .....</b>	<b>205</b>
<b>5.1.</b>	<b>Begriffsbestimmungen.....</b>	<b>205</b>
5.1.1.	Mineralölkohlenwasserstoffe in der Umwelt .....	206
<b>5.2.</b>	<b>Stand der Technik und Entwicklungstendenzen.....</b>	<b>207</b>
5.2.1.	Mikrobiologischer in-situ Abbau .....	207
5.2.2.	Mikrobiologische in-situ Bodensanierung - Anwendungsverfahren .....	212
5.2.3.	Zusammenschau - Anwendungsverfahren .....	217
5.2.4.	Phytosanierung.....	218
5.2.5.	Chemische Oxidationsmittel .....	221
5.2.6.	Elektrochemische in-situ Verfahren.....	226
5.2.7.	Die Mikroemulsionstechnologie .....	229
<b>5.3.</b>	<b>Fallbeispiele .....</b>	<b>233</b>
5.3.1.	Mikrobieller Abbau von Mineralölkohlenwasserstoffen und Umsetzung unter in-situ Bedingungen .....	234
5.3.2.	Engineeringmaßnahmen am Beispiel eines ehemaligen Raffineriestandorts .....	243
5.3.3.	Grundwasserzirkulationsbrunnen.....	249
5.3.4.	Bio Sparging.....	251
5.3.5.	Phytosanierung von Rohöl im Boden unter Mineraldüngerzugabe.	252
5.3.6.	Chemische Oxidationsmittel .....	255
5.3.7.	Die Mikroemulsionstechnologie .....	261
5.3.8.	Monitoring des Sanierungserfolges.....	267
<b>5.4.</b>	<b>Schlussfolgerungen.....</b>	<b>274</b>
5.4.1.	Mikrobiologischer in-situ Abbau .....	274
5.4.2.	Phytosanierung.....	276
5.4.3.	In-situ chemische Oxidation.....	277
5.4.4.	Mikroemulsionstechnologie .....	278

5.5.	Referenzen .....	279
<b>6.</b>	<b>MONITORING VON ALTABLAGERUNGEN UND ALTSTANDORTEN .....</b>	<b>289</b>
6.1.	Problemstellung und Zielsetzung.....	289
6.2.	Internationale Beispiele zur Systematisierung von Monitoringmaßnahmen .....	291
6.3.	Vorschlag eines Monitoringkonzeptes.....	293
6.3.1.	Vorgehensweise bei Altablagerungen .....	297
6.3.2.	Exkurs: Ökotoxikologisches Monitoring von Altablagerungen .....	304
6.3.3.	Vorgehensweise bei Altstandorten.....	313
6.4.	Referenzen .....	319
<b>7.</b>	<b>STICHWORTVERZEICHNIS .....</b>	<b>322</b>