

Inhalt

1	Einleitung	1
2	Sanierungsziele, Untersuchungsstrategie, Richtlinien und Sicherheitsaspekte	3
2.1	Wünschenswerte und erreichbare Sanierungsziele	3
2.1.1	Multifunktionalität oder Einschränkung der Nutzungsmöglichkeiten	3
2.1.2	Nutzungsbezogene Sanierungsziele	7
2.1.3	Technische Sanierungsziele	9
2.2	Untersuchungsstrategie und Projektstruktur	11
2.2.1	Untersuchungsstrategie	12
2.2.1.1	Vorbereitende Untersuchungen	12
2.2.1.2	Sanierungsuntersuchungen	14
2.2.1.2.1	On-site/off-site-Verfahren	14
2.2.1.2.2	In-situ-Verfahren	15
2.2.1.3	Technische Vorplanung	17
2.2.1.4	Monitoring und Erfolgskontrolle	19
2.2.2	Projektstruktur	20
2.3	Technische Sicherheitsaspekte	23
2.3.1	Rechtliche Grundlagen	23
2.3.2	Unfallgeschehen	25
2.3.3	Gefährdungsermittlung	26
2.3.3.1	Beabsichtigter Umgang mit biologischen Agenzien	27
2.3.3.2	Unbeabsichtigter Umgang mit biologischen Agenzien	28
2.3.4	Planung und Arbeitsvorbereitung	29
2.3.4.1	Pflichten des Auftraggebers	29
2.3.4.2	Pflichten des Auftragnehmers	30
2.3.5	Baustelleneinrichtung	31
2.3.5.1	Zonierung der Baustelle	31
2.3.5.2	Schwarz-Weiß-Anlage	33
2.3.5.3	Dekontamination von Geräten und Fahrzeugen	35
2.3.6	Schutzmaßnahmen	36
2.3.6.1	Sanierungsverfahren	37
2.3.6.2	Technische Schutzmaßnahmen	37
2.3.6.3	Einhausungen	38
2.3.6.4	Organisatorische Schutzmaßnahmen	38
2.3.6.5	Persönliche Schutzausrüstungen	40
2.4	Literatur	41
3	Mikrobiologische Charakterisierung kontaminierter Böden	43
3.1	Probennahme, Vorbereitung und Bodenlagerung	44

3.2	Bestimmung des Bodenwassergehaltes und der Trockensubstanz	44
3.3	Bestimmung der maximalen Wasserhaltekapazität (WHK_{max})	45
3.4	Bestimmung mikrobieller Aktivität der Bodenproben	46
3.4.1	Bestimmung der potentiellen Atmungsaktivitäten	46
3.4.2	Weitere Möglichkeiten zur Bestimmung potentieller Aktivitäten	49
3.5	Quantifizierung mikrobieller Populationen	49
3.6	Quantifizierung von Umweltchemikalien abbauenden Mikroorganismen	52
3.6.1	Quantifizierung von Mineralöl abbauenden Mikroorganismen	52
3.6.2	Quantifizierung von polycyclische Kohlenwasserstoffe (PAK) abbauenden Mikroorganismen	54
3.7	Literatur	55
4	Biologischer Abbau von organischen Umweltchemikalien, Anreicherung und Isolierung von Umweltchemikalien abbauenden Mikroorganismen	57
4.1	Mikrobieller Abbau organischer Umweltchemikalien	57
4.1.1	Abbau von Mineralölkohlenwasserstoffen	59
4.1.1.1	Abbau von Aliphaten	60
4.1.1.2	Abbau von Alicyclen	62
4.1.1.3	Abbau von Aromaten	63
4.1.2	Abbau von chlorierten Kohlenwasserstoffen (CKW)	67
4.1.2.1	Abbau von halogenierten Aliphaten	68
4.1.2.2	Abbau von halogenierten Aromaten	69
4.1.2.3	Abbau von halogenierten Benzolen und Benzoesäuren	70
4.1.2.4	Abbau von chlorierten Phenolen	72
4.1.3	Abbau von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK)	73
4.1.4	Abbau von polychlorierten Biphenylen (PCB)	75
4.2	Anreicherung und Isolierung von Umweltchemikalien abbauenden Mikroorganismen	77
4.2.1	Nährstoffansprüche aerober Mikroorganismen	77
4.2.2	Kulturmethoden	79
4.3	Isolierungs- und Anreicherungsverfahren	79
4.3.1	Aliphatische Kohlenwasserstoffe abbauende Mikroorganismen	80
4.3.2	BTEX abbauende Bakterien	83
4.3.3	Chlorphenole abbauende Mikroorganismen	87
4.3.4	PAK abbauende Bakterien	91
4.3.5	Isolierung von Pilzen	96
4.4	Literatur	99
5	Bestimmung von organischen Kontaminationen im Boden	103
5.1	Bestimmung von Kohlenwasserstoffen	103
5.2	Bestimmung von leichtflüchtigen halogenierten und aromatischen Kohlenwasserstoffen	108
5.3	Bestimmung von polychlorierten Biphenylen	113
5.4	Summenbestimmung von organisch gebundenen Halogenen	117
5.5	Bestimmung von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen	122

5.6	Literatur	128
6	Optimierung der Abbauparameter im Labor	131
6.1	Die Fragestellung der Optimierung	131
6.2	Abbauparameter und Limitierungen	133
6.3	Optimierungsprogramm	133
6.3.1	Schnelltests	133
6.3.1.1	Respirometrischer Test	134
6.3.1.2	Hemmtests	137
6.3.2	Boden-Bioreaktoren	142
6.3.2.1	Technische Aspekte	142
6.3.2.2	Optimierungsprozeß	145
6.3.2.2.1	Nährsalzbedarf	145
6.3.2.2.2	Belüftung, Sauerstoffeintrag	147
6.3.2.2.3	Alternative Elektronenakzeptoren	153
6.3.2.2.4	Adsorption, Desorption und Bioverfügbarkeit	154
6.3.2.2.5	Temperatur und pH-Wert	160
6.3.2.2.6	Cosubstrate	162
6.3.2.2.7	Spezielle Mikroorganismen	163
6.3.3	Bodensäule	164
6.3.4	Lysimeter, Testmieten	166
6.4	Literatur	170
7	Ökotoxikologische Verfahren	171
7.1	Herstellung von Bodeneluatn	172
7.2	Leuchtbakterientest	173
7.3	Grünalgentest (Hemmung der Zellvermehrung)	176
7.4	Daphnientest	178
7.5	Fischttest	180
7.6	Pflanzenwachstumstest	181
7.7	Regenwurmtest	181
7.8	Literatur	185
8	Mikrobiologische Sanierungsverfahren	187
8.1	On/off-site-Verfahren	187
8.1.1	Verfahrenstypen	187
8.1.1.1	Landfarming	188
8.1.1.2	Regenerationsmieten	188
8.1.1.3	Reaktortechnik	189
8.1.2	Sanierungsdurchführung	189
8.1.2.1	Mechanische Aufbereitung	189
8.1.2.2	Bodenverbesserung	191
8.1.2.3	Mikrobielle Population	192
8.1.2.4	Sauerstoffversorgung	192
8.1.2.5	Wassergehalt	193
8.1.2.6	Nährstoffe	193
8.1.2.7	Verfügbarkeit der Schadstoffe	194
8.1.2.8	Temperatur	194
8.1.2.9	pH-Wert	194

8.1.3	Kontrolluntersuchungen	194
8.2	Der Einsatz von Weißfäulepilzen bei der on/off-site-Sanierung .	195
8.2.1	Abbaufähigkeit der Pilze	195
8.2.2	Substratherstellungsverfahren	195
8.2.2.1	Substratvorbereitung	195
8.2.2.2	Autoklavieren des Substrates	196
8.2.2.3	Partielle Sterilisation	196
8.2.2.4	Xerotherm-Verfahren	197
8.2.2.5	Substratherstellung durch aerobe Fermentation (von nassem Substrat)	197
8.2.2.6	Substratherstellung durch semianaerobe Fermentation	198
8.2.3	Anzucht des Austernpilzes	198
8.2.4	Verfahrensbeschreibungen	198
8.2.4.1	Laborversuche	198
8.2.4.2	Klassisches Mietenverfahren	199
8.2.4.3	Sanierung in „big bags“	200
8.2.4.4	Dynamisches Mietenverfahren	200
8.3	In-situ-Verfahren	202
8.3.1	Voraussetzungen für in-situ-Verfahren	204
8.3.1.1	Schadstoffinventar, Mikrobiologie	204
8.3.1.2	Geologie und Hydraulik	204
8.3.2	Schadstoffelimination	204
8.3.2.1	Kinetik	204
8.3.2.2	Mikrobiologischer Abbau	205
8.3.3	Elektronenakzeptoren (Zuschlagstoffe)	206
8.3.3.1	Sauerstoff (O ₂)	207
8.3.3.2	Wasserstoffperoxid (H ₂ O ₂)	207
8.3.3.3	Nitrate (NO ₃)	208
8.3.3.4	Elektronenakzeptor-Konzentrationen	208
8.3.4	In-situ-Sanierungsverfahren	209
8.3.4.1	Schadstoffe in Phase	209
8.3.4.2	Kombinierte Verfahren	209
8.3.4.3	Biox®-S-Verfahren	211
8.3.4.4	UVB-Verfahren (Unterdruck-Verdampfer-Brunnen)	211
8.3.4.5	Verockerung	212
8.3.5	Monitoring	213
8.3.6	Sanierungsziele	213
8.3.7	Kosten	214
8.4	Bioreaktoren	215
8.4.1	Motive für den Einsatz von Bioreaktoren	215
8.4.2	Prozeßsteuerung	215
8.4.3	Einteilung der Bioreaktorverfahren	216
8.4.4	Trockenverfahren	217
8.4.5	Suspensionsverfahren	217
8.4.6	Extraktionsverfahren	222
8.5	Literatur	223

9 Biologische Sanierung schwermetallkontaminierter Böden mit Pflanzen 227

9.1	Pflanzenverfügbarkeit von Schwermetallen im Boden	228
-----	---	-----

9.1.1	Bestimmung des Gesamtgehaltes der Schwermetalle im Boden	229
9.1.2	Sequentielle Extraktionsverfahren von Schwermetallen im Boden	230
9.2	Auswahl geeigneter Pflanzen für die Bodensanierung	234
9.2.1	Wachstums- und Schadstoffaufnahmeigenschaften	234
9.2.2	Verfahren zur Auswahl und Adaption von Pflanzen	234
9.3	Möglichkeiten der züchterischen Optimierung ausgewählter Pflanzen	236
9.3.1	Die Erhöhung der genetischen Variabilität	237
9.3.1.1	Selektion <i>in vitro</i>	237
9.3.1.2	Hybridisation	237
9.3.1.3	Massenvermehrung über Gewebekultur	238
9.3.2	Optimierungsversuche im Gewebekulturlabor	239
9.3.3	Ermittlung der Schwermetallaufnahme bei Pflanzen in der Pflanzengewebekultur	240
9.4	Technologie der Bodensanierung	243
9.4.1	Bodenvorbereitung und Aussaat oder Pflanzung	243
9.4.2	Düngung und Pflege	245
9.4.3	Ernte und Verwertung	246
9.5	Möglichkeiten der Nutzung nachwachsender Rohstoffe für die Dekontaminierung belasteter Böden	247
9.6	Zusammenfassung	248
9.7	Literatur	249
10	Wiederverwertung biologisch sanierter Böden	251
10.1	Rekultivierungsmaßnahmen	252
10.1.1	Standortrekultivierung	252
10.1.2	Bodenrekultivierung	252
10.1.2.1	Gefäßversuche	253
10.1.2.2	Rekultivierung von Flächen	253
10.2	Humifizierung	254
10.3	Rechtliche Grundlagen	255
10.4	Literatur	258
Anhang		259
Register		261