Inhaltsverzeichnis

Vorwort XI

Dank XIII

Abkürzungsverzeichnis XV

Parameterverzeichnis XIX

1	Einleitung	1
1.1	Das Erbe der Industrialisierung	1
1.2	Historische Entwicklung der <i>In-situ</i> -Verfahren	2
1.3	Gesetzliche Rahmenbedingungen	6
1.4	Verfahrensübersicht	8
2	Schadstofftransport	15
2.	Zusammenfassung	15
2.1	Bodeneigenschaften	17
2.2	Phasen: Übersicht	21
2.3	Absinken der Schadstoffphase	25
2.4	Residualsättigung	28
2.5	Leichtphasen (LNAPL)	29
2.6	Schwerphasen (DNAPL)	35
2.7	Phasenmobilität	38
2.8	Phasenalterung	40
2.9	Phasennachweis und Phasencharakterisierung	41
2.10	Solubilisierung	45
2.11	Schadstofffahne	51
2.11.1	Einleitung	51
2.11.2	Sorption	53
2.11.3	Abbau	55
2.12	Matrixdiffusion	56

3	Konzeptionelles Standortmodell	63
4	Sanierungsstrategie	67
4.	Zusammenfassung	67
4.1	Verfahrensauswahl	69
4.2	Sanierungsziele	72
4.3	Treatment Trains	76
4.4	Sanierungsdauer	78
4.5	Vorversuche im Labor und im Feld	80
4.6	Sanierungssteuerung	81
4.7	Nachhaltigkeit	83
5	Quellensanierung	87
5.	Zusammenfassung	87
5.1	Erreichbares Ausmaß der Quellensanierung und der Einfluss auf die Fahne	88
5.2	Sanierungsverfahren	94
5.2.1	Übersicht	94
5.2.2	Mehrphasenextraktion	96
5.2.3	Spülungen mit Tensiden oder Lösungsvermittlern	103
5.2.4	<i>In situ</i> thermische Sanierung	109
5.2.5	<i>In situ</i> Vitrifikation	117
5.2.6	STAR-Verfahren	117
5.2.7	ZVI-Clay-Verfahren	119
5.2.8	Weitere neue Verfahren	119
6	Injektionstechniken	123
6.	Zusammenfassung	123
6.1	Einteilung	124
6.2	Einfluss auf die hydraulische Durchlässigkeit (Verblockung)	127
6.3	Injektion	133
6.3.1	Injektionsbrunnen	133
6.3.2	Reaktion des Grundwasserleiters auf injizierte Fluide	134
6.3.3	Maximaler Injektionsdruck	137
6.3.4	Injektionsversuche	139
6.4	Rezirkulation	140
6.5	<i>Direct Push</i>	143
6.6	Druckpuls-Injektion	145
6.7	<i>Fracturing</i>	146
6.8	Hochdruckinjektionen	153
6.9	Hydraulische Verdrängung	153
6.10	Dichteeffekte	154

7	Grundlagen des mikrobiellen Schadstoffabbaus	157
7.	Zusammenfassung	157
7.1	Wachstum von Mikroorganismen	159
7.2	Nährstoffe	161
7.3	Stoffabbau	162
7.4	Terminale Elektronenakzeptoren	167
7.5	Anaerobe Abbaukette	173
7.6	Abbauraten	175
7.7	Aerober Abbau von nicht chlorierten organischen Schadstoffen	177
7.7.1	Überblick	177
7.7.2	Mineralölkohlenwasserstoffe	177
7.7.3	(Mono-) Aromaten	179
7.7.4	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe	180
7.7.5	Abbau weiterer Stoffe	187
7.8	Anaerober Abbau nicht chlorierter Schadstoffe	190
7.9	Abbau von chlorierten organischen Schadstoffen	197
7.9.1	Einleitung	197
7.9.2	Dehalorespiration	198
7.9.3	Die Rolle des Wasserstoffs	202
7.9.4	cDCE-Akkumulierung	203
7.9.5	Anaerober cometabolischer Abbau	204
7.9.6	Cometabolischer aerober Abbau	204
7.9.7	Produktiver aerober Abbau	208
7.9.8	Abiotischer Abbau	212
7.10	Metabolitenbildung	214
7.11	Abbauendprodukte	217
7.12	Engpässe – <i>Bottlenecks</i>	220
7.13	Nachhaltige Behandlung	222
7.14	Abbau von anorganischen Schadstoffen	224
7.15	(Bio-) Transformation von Metallen	226
7.15.1	Mechanismen	226
7.15.2	Arsen	230
7.15.3	Quecksilber	231
7.15.4	Chrom	232
7.15.5	Uran	234
8	Mikrobielle Sanierungsverfahren	241
8.	Zusammenfassung	241
8.1	Einteilung	243
8.2	Biogeochemisches Baseline-Monitoring	244
8.3	Anaerober Abbau von LCKW	245
8.3.1	Biogeochemische Prozesse	245
8.3.2	Substratauswahl	248
8.3.3	Wasserstoff als Elektronendonator	254
8.3.4	Einfluss des pH-Wertes	257

- 8.3.5 Schadstoffmobilisierung 259
- 8.3.6 Injektionsregime 262
- 8.3.7 Stoffkonzentration der Injektionen und Injektionshäufigkeit 269
- 8.3.8 Nebenreaktionen 275
- 8.3.9 Labor- und Pilotversuche 276
- 8.3.10 Sanierungserfolg 278
- 8.3.11 Monitoring 279
- 8.3.12 Nachwirkungen der DOC-Injektionen und *Rebound* 280
- 8.3.13 Unvollständige Dechlorierung 282
- 8.3.14 Emulgiertes nullwertiges Eisen 283
- 8.4 Abbauforcierung durch Zugabe von Elektronenakzeptoren 285
 - 8.4.1 Genutzte Redoxprozesse 285
 - 8.4.2 Sulfatreduktion 286
 - 8.4.3 Denitrifikation 292
- 8.5 Aerober Abbau 295
 - 8.5.1 Übersicht der Verfahren zur Sauerstoffzufuhr 295
 - 8.5.2 Sauerstoffangereichertes Wasser 296
 - 8.5.3 Wasserstoffperoxid 297
 - 8.5.4 Sauerstoffreisetzende partikuläre Substrate 298
 - 8.5.5 Gasdiffusionsverfahren 299
 - 8.5.6 Wachstumssubstrate 301
 - 8.5.7 Nachweis des aeroben Abbaus 302
- 8.6 Air Sparging 303
 - 8.6.1 Verfahrensprinzip 303
 - 8.6.2 Einsatzbereiche 311
 - 8.6.3 Verfahrensführung 312
 - 8.6.4 Sanierungsdauer 314
 - 8.6.5 Auslegungskriterien 314
 - 8.6.5.1 Druckmessungen 314
 - 8.6.5.2 Helium-Tracer-Test 316
 - 8.6.5.3 *Push-Pull*-Test 318
 - 8.6.5.4 SF₆-Tracer-Test 318
 - 8.6.5.5 Sonstige Tests 321
 - 8.6.6 Pilotversuch 322
 - 8.6.7 Monitoring 323
 - 8.6.8 Sonderverfahren 325
 - 8.6.8.1 Übersicht 325
 - 8.6.8.2 Methan-Biostimulationsverfahren 326
 - 8.6.9 *Biosparging* und Gasspeicherwand 328
- 8.7 Bioaugmentation 329

- 9 Chemischer Abbau 335
 - 9. Zusammenfassung 335
 - 9.1 Einleitung 336
 - 9.2 Abbaubarkeit von Schadstoffen und Metabolitenbildung 339

9.3	Chemische Reaktionen	342
9.3.1	Permanganat	342
9.3.2	Wasserstoffperoxid	347
9.3.3	Persulfat	349
9.3.4	Andere Oxidationsmittel	353
10	<i>In situ</i> chemische Oxidation (ISCO)	357
10.	Zusammenfassung	357
10.1	Einleitung	359
10.2	Einschränkungen der Anwendbarkeit	359
10.3	Sanierbare Bereiche	364
10.4	Auswahl des Oxidationsmittels	365
10.5	Vorversuche	367
10.5.1	Laborversuche	367
10.5.2	Pilotversuch	370
10.6	Verfahrensführung	370
10.6.1	Auslegungskriterien	372
10.6.2	Schadstoffmobilisierung	376
10.6.3	Schwermetallmobilisierung	377
10.6.4	Salzfracht	378
10.6.5	Veränderung der hydraulischen Durchlässigkeit	379
10.6.6	Bromatbildung	380
10.6.7	Betonaggressivität	380
10.6.8	Einfluss auf Mikroorganismen	382
10.7	ISCO-Anwendung in Problembereichen	383
10.7.1	Langsame Freisetzung	384
10.7.2	S-ISCO	385
10.7.3	<i>In situ</i> geochemischen Stabilisierung (ISGS™)	387
10.8	Überwachung (Monitoring)	388
11	Arbeitsschutz und Arbeitssicherheit	395
11.1	Vorgehensweise	395
11.2	Besondere Anforderungen biologischer Sanierungsverfahren	395
11.3	Besondere Anforderungen chemischer Sanierungsverfahren	397
12	Schlussbemerkung und Ausblick	399
	Index	403