INHALTSVERZEICHNIS

Vorwort		5
Inhaltsverzeichnis		7
Abkürzungsverzeichnis		11
1	Einleitung	21
2	Handlungsstrategie	27
2.1	Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG)	27
2.2	Bezüge zur EU-Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRR)	33
2.3	Praxis in den USA	41
2.3.1	ASTM RNA Standard	44
2.3.2	EPA MNA Directive	45
2.4	Natürliche Selbstreinigung und Immobilisierung	47
2.5	Maßnahmenziele	59
2.6	Prinzip der Hot-Spot- und Quellensanierung	67
2.6.1	Hot-Spot-Sanierung	70
2.6.2	Quellensanierung	73
3	Stoffausbreitung im Untergrund	79
3.1	Wasserungesättigte Bodenzone	81
3.2	Wassergesättigte Bodenzone	84
3.3	Rückhalte- und Abbauprozesse	89
3.3.1	Verdünnung	92
3.3.2	Verflüchtigung	93
3.3.3	Mechanische Filterung	94
3.3.4	Lösung in Wasser	94
3.3.4.1	Aus- bzw. Mitfällung	96
3.3.4.2	Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht	96
3.3.5	Adsorption und Desorption	96
3.3.5.1	Ionenaustausch	104
3.3.5.2	Metallbindung	104
3.3.5.3	Humifizierung	105
3.3.6	Oxidation und Reduktion	106
3.3.7	Schadstoffabbau	109
3.3.7.1	Abiotische Transformation	110

3.3.7.2	Mikrobiologischer Abbau	111
3.3.7.3	Mikrobielle Abbaumechanismen	117
3.3.7.4	Milieuverhältnisse und Grundwasserchemismus	123
3.3.7.5	Art und Verteilung der Mikroorganismen	124
4	Schadstoffinventar	131
4.1	Boden	132
4.2	Grundwasser	132
4.2.1	Geogener Stoffgehalt des Grundwassers	132
4.2.1.1	Grundwassertypisierung	132
4.2.1.2	Geogene abbaurelevante Parameter	133
4.2.2	Anthropogener Stoffgehalt des Grundwassers	135
4.2.2.1	Flächenhafter Stoffeintrag	135
4.2.2.2	Stoffeintrag aus Altlasten und sonstigen Punktquellen	137
4.2.2.2.1	Stoffcharakteristik	138
4.2.2.2.2	Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW)	141
4.2.2.2.3	Methyl-Tertiär-Butyl-Ether (MTBE)	152
4.2.2.2.4	Leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe (LCKW)	162
5	Untersuchungsmaßnahmen	179
5.1	Untersuchungsmethoden	181
5.2	Grundlagenermittlung	183
5.2.1	Standort- und Nutzungscharakteristik	183
5.2.2	Schadstoffmenge und -verteilung	187
5.3	Indikatoren der NA-Prozesse	189
5.3.1	Wasserungesättigte Bodenzone	190
5.3.1.1	Boden	190
5.3.1.1.1	Chemisch-physikalische Parameter	193
5.3.1.1.2	Geotechnisch-mineralogische Parameter	193
5.3.1.1.3	Mikrobiologische Parameter	196
5.3.1.1.4	Labormethoden nach DECHEMA	206
5.3.1.2	Bodenluft	208
5.3.1.3	Sickerwasser	210
5.3.2	Wassergesättigte Bodenzone	215
5.3.2.1	Mikrobiologische Parameter	215
5.3.2.2	Redoxparameter	218
5.3.2.3	Reaktionsparameter	224
5.3.2.4	Schadstoffe und Metabolite	234
5.3.2.5	Isotopenfraktionierung	238
5.3.2.6	Basis-Untersuchungsprogramm Grundwasser	242
5.4	Qualitätssicherung	243
5.4.1	Probennahme und Probenlagerung	244
5.4.2	Probenvorbehandlung und Analytik	245
5.4.3	Plausibilitätsprüfung der Messergebnisse	246
5.4.4	Interpretation von Grundwasseruntersuchungen	249

6	Bewertung der Untersuchungsergebnisse	253
6.1	Wasserungesättigte Bodenzone	254
6.1.1	Bewertungsansätze	254
6.1.1.1	Qualitative Bewertung der NA-Prozesse	257
6.1.1.2	Sickerwasserrate und Stoffverlagerungsrisiko	258
6.1.1.3	Porenwassergeschwindigkeit und Rückhaltekapazität	259
6.1.2	Sickerwasserprognose gemäß BBodSchV	261
6.1.2.1	Ort der Beurteilung	263
6.1.2.2	Abschätzung des Stoffeintrags in das Grundwasser	265
6.2	Wassergesättigte Bodenzone	280
6.2.1	Bewertungsansätze	281
6.2.2	Änderung des Schadstoffspektrums (Fingerprint)	283
6.2.3	Hydrochemische Zonen	285
6.2.4	Stationarität von im Grundwasser gelösten Schadstofffahnen	289
6.2.4.1	Abstandsgeschwindigkeit (v_a)	294
6.2.4.2	Retardation (R)	296
6.2.4.3	Rückhaltefaktor (R_f)	302
6.2.4.4	Abbaupotenzial (P)	303
6.2.4.5	Gesamtabbaurate (k)	304
6.2.4.6	Biologische Abbaurate (λ)	307
6.2.4.7	Monitoring und Grundwasserfrachten	309
6.2.4.8	Stofftransport- und Reaktionsmodelle	313
6.2.5	Grundwasserprognose	317
6.2.6	Datenmanagement Grundwasser	320
7	Umsetzung und systematische Einordnung	323
7.1	Gefahrenbeurteilung und Sanierungsuntersuchung	324
7.2	Sanierungsplan nach BBodSchG	327
7.3	Überwachung und Eigenkontrolle	329
7.3.1	Rechtliche Grundlagen	330
7.3.2	Kontrolluntersuchungen in der ungesättigten Zone	332
7.3.3	Grundwassermonitoring	332
7.3.3.1	Messstellenanordnung und -ausbau	333
7.3.3.2	Monitoringintervalle	337
7.3.3.3	Beendigung des Monitorings	339
7.3.4	Notfallplanung	340
7.4	Maßnahmen zur Unterstützung des natürlichen Abbaus	341
7.4.1	Biologische Grundwassersanierung	342
7.4.2	Ausgewählte In-situ-Verfahren	346
7.4.2.1	Reaktive Wände	346
7.4.2.2	Nano-Eisen-Technologie	354
7.4.2.3	Chemische Oxidations–Verfahren	358
7.4.2.4	Einsatz von „Slow Release Compounds“ (SRC)	361
7.4.2.5	Methan-Biostimulationsverfahren	363
7.4.2.6	Bioaugmentation	365

Literaturverzeichnis 369

Stichwortverzeichnis 379

Anhang
Gesetz zum Schutz des Bodens –
Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) vom 17. März 1998 389
Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV)
vom 12. Juli 1999 (ohne Anhang 1 bis 4) 404