

Inhalt

1 Chemische und humantoxikologische Grundlagen (Kerndorff)	1
1.1 Chemische Aspekte bei der Altlastenproblematik	1
1.1.1 Zeitliche Entwicklungen in der Altlastenproblematik	1
1.1.2 Kriterien für Verdachtsflächen: Genese, Stoffcharakteristik und Emissionspfade	2
1.1.2.1 Altablagerungen	2
1.1.2.2 Altstandorte	4
1.2 Schadstoffe gemäß ihrem Auftreten und Reaktionsverhalten	5
1.2.1 Altablagerungen - typische Schadstoffe im Sickerwasser	5
1.2.2 Altstandorte - branchentypische Kontaminanten	8
1.2.3 Rüstungs- und Militäraltlasten - spezifische Substanzen	12
1.3 Kontaminanten im Boden und Grundwasser	16
1.3.1 Hydrophile und hydrophobe Kontaminanten	16
1.3.2 Hauptkontaminanten	22
1.3.3 Humantoxikologische Bewertung von Kontaminanten	27
1.3.4 Prioritätskontaminanten	27
1.3.5 Parameterlisten	30
1.4 Erfassen/Bewerten mit "pfadspezifisch" und humantoxikologisch prioritären Parametern	31
1.4.1 Feldtests und Screening-Tests	31
1.4.2 Erseinstufung nach Kerndorff et al.	32
1.4.3 Perspektiven für die Stoffbewertung	34
1.4.3.1 Das stoffspezifische Transferpotential von Grundwasser- kontaminanten	35
1.4.3.2 Das stoffspezifische Persistenzpotential von Grundwasser- kontaminanten	36
1.4.3.3 Das stoffspezifische Grundwassergängigkeitspotential von Grundwasserkontaminanten	37
1.5 Literatur	40
2 Biologische und ökotoxikologische Grundlagen (Obst/Seibel)	43
2.1 Biologischer Abbau und biologische Umsetzung von Xenobiotika	43
2.1.1 Mikrobieller Abbau	43
2.1.2 Milieufaktoren	46
2.1.2.1 Temperatur und pH-Wert	47
2.1.2.2 Nährstoffangebot	48

2.1.2.3 Sauerstoff	49
2.1.2.4 Feuchte	51
2.1.3 Chemische Struktur und Abbauverhalten	51
2.1.4 Bioverfügbarkeit	53
2.1.5 Anpassungen von Mikroorganismen	55
2.1.6 Mikrobiologische Umsetzungen ausgewählter Stoffgruppen	56
2.1.6.1 Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW)	56
2.1.6.2 Aromatische Kohlenwasserstoffe	58
2.1.6.3 Aromatische Nitroverbindungen (Rüstungsaltslasten)	61
2.1.6.4 Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)	63
2.1.6.5 Leichtflüchtige Chlorkohlenwasserstoffe (LCKW)	68
2.1.6.6 Phenolverbindungen	73
2.1.6.7 Chlorphenole und schwerflüchtige Chlorverbindungen	74
2.1.6.8 Polychlorierte Biphenyle, Dioxine und Furane	75
2.1.6.9 Ammonium und Cyanide	76
2.1.6.10 Schwermetalle	78
2.2 Toxizität und Erbgutschädigung	78
2.2.1 Biologische Mechanismen toxischer Einwirkungen	79
2.2.1.1 Prokaryonten und Einzeller	80
2.2.1.2 Pflanzen	81
2.2.1.3 Tiere	82
2.2.2 Angriffspunkte im Organismus und mögliche Testansätze	83
2.2.3 Mögliche Teststrategien	83
2.2.3.1 Kartierung	84
2.2.3.2 Bewertung der (gen)toxischen Wirkung	84
2.3 Literatur	86

3 Hydrogeologische und geochemische Grundlagen 89

3.1 Hydrogeologische Einflußfaktoren auf die Ausbreitung von Schadstoffen <i>(Engelmann)</i>	90
3.1.1 Aufbau und Struktur des Untergrundes	90
3.1.1.1 Gesteinszusammensetzung und Schichtfolge des Untergrundes	90
3.1.1.2 Hydraulische Eigenschaften des Untergrundes	92
3.1.1.3 Grundwasserleiter, Grundwassernichtleiter	94
3.1.1.4 Flurabstand, Grundwassermächtigkeiten	95
3.1.2 Sickerwasserbildung, Grundwasserneubildung	96
3.1.3 Grundwasserbewegung	97
3.1.3.1 Speisungs- und Entlastungsgebiete	97
3.1.3.2 Grundwasserfließrichtung	98
3.1.3.3 Grundwasserfließgeschwindigkeit	99

3.2 Verhalten von Schadstoffen im Untergrund	100
3.2.1 Physikalische und geochemische Randbedingungen für die Bewertung des Verhaltens von Schadstoffen in Böden und Grundwasser (<i>Peiffer</i>) ...	100
3.2.1.1 Physikalische Randbedingungen	100
3.2.1.2 Chemische Randbedingungen	102
3.2.2 Physikalisch-chemische Reaktionen von Sickerwasserinhaltsstoffen (<i>Schöttler</i>)	104
3.2.2.1 Filtration	105
3.2.2.2 Adsorption	105
3.2.2.3 Ionenaustausch	106
3.2.2.4 Fällung	106
3.2.2.5 Hydrolyse	107
3.2.2.6 Biotische Akkumulation	108
3.2.3 Chemische und biologische Prozesse im Grundwasser (<i>Förstner</i>)	108
3.2.3.1 Verhalten der Hauptwasserinhaltsstoffe	109
3.2.3.2 Biologische Umsetzungen im oberen Grundwasserbereich	110
3.2.4 Wechselwirkungen zwischen gelösten und festen Substanzen (<i>Förstner</i>) ..	111
3.2.4.1 Mobilität von Spurenmetallen im Grundwasser	111
3.2.4.2 Organische Schadstoffe unter realen Untergrundbedingungen ...	114
3.2.4.3 Schadstofftransport durch Kolloide im Grundwasser	115
3.2.5 Frühwarnsysteme für Veränderungen der Grundwasserqualität (<i>Förstner</i>)	116
3.3 Ausbreitung von Schadstoffen (<i>Wienberg/Schneider</i>)	117
3.3.1 Aufgabenstellung und Ziele für Schadstofftransportmodelle	117
3.3.2 Mathematische Beschreibung des Schadstofftransportes	118
3.3.3 Lösungen der Transportgleichung	120
3.3.3.1 Analytische Lösungen	120
3.3.3.2 Halbanalytische Lösungen	128
3.3.3.3 Numerische Lösungen	129
3.4 Die Oxidation von Eisensulfiden und ihre Auswirkung auf die Umwelt (<i>Peiffer</i>)	131
3.4.1 Problemstellung	131
3.4.2 Biogeochemische Grundlagen	131
3.4.2.1 Ungepufferter Bereich	131
3.4.2.2 Gepufferter Bereich	133
3.4.3 Umweltproblematik	133
3.4.3.1 Pyrihaltige Abraumhalden in der ungesättigten Zone	134
3.4.3.2 Pyrihaltige Abraumhalden in der gesättigten Zone	135
3.4.3.3 Sedimente	136
3.4.4 Sanierungsstrategien	138

3.5 Ingenieurgeochemische Konzepte für Altlasten (Förstner)	140
3.5.1 Gekoppelte geochemische Stoffkreisläufe	141
3.5.1.1 Stoffströme in Altablagerungen	141
3.5.1.2 Geochemische Steuerprozesse	142
3.5.1.3 Konzept der kapazitätsbestimmenden Eigenschaften	142
3.5.1.4 Mobilitätskonzept	143
3.5.2 Meßparameter für langfristige Prognosen	144
3.5.3 Ingenieurgeochemische Behandlungstechniken	147
3.5.3.1 Untersedimentdeponie - subaquatische Lagerung	147
3.5.3.2 Endlagerqualität und Verwertung	148
3.5.3.3 Gefährdungsabschätzung aus geochemischer Sicht	148
3.6 Literatur	149
4 Gefährdungsabschätzung	155
4.1 Stoffspezifisches Gefährdungspotential (Kerndorff)	155
4.1.1 Grundsätzliches zur Gefährdungsabschätzung bei Kontaminationen	155
4.1.2 Die Stoffproblematik bei Altlasten	155
4.2 Bewertungsprinzipien (Kerndorff)	156
4.2.1 Allgemeines zu Bewertungsprinzipien bei kontaminierten Standorten	156
4.2.2 Beispiele für eine direkte Exposition	159
4.2.3 Beispiel für eine indirekte Exposition	164
4.2.4 Schlußfolgerungen	168
4.3 Umfeldanalyse	169
4.3.1 Die Bedeutung des Umfeldes der Kontamination für die Gefährdungsabschätzung (Kerndorff)	169
4.3.2 Geochemische Untersuchungen - Methodenpaket (Wienberg)	171
4.3.2.1 Einleitung. Zum Schadstoffrückhaltepotential des Untergrundes	171
4.3.2.2 Untersuchungskonzept für das Methodenpaket zur Bestimmung des Schadstoffrückhaltepotentials	172
4.3.2.3 Kritischer Ausblick	177
4.3.3 Biologische Untersuchungen (Stottmeister)	177
4.3.3.1 Zielstellung	177
4.3.3.2 Biologische Methoden der Schadstofferkennung und -bestimmung	179
4.3.3.3 Zukünftige Entwicklungen	188
4.4 Untersuchungsstrategie (Reichert/Roemer)	190
4.4.1 Ziele und Anforderungen einer Untersuchungsstrategie	190
4.4.2 Struktur der Untersuchungsstrategie	193
4.4.3 Probenahmestrategie (Übersicht)	196

4.4.4 Analytisches Untersuchungsprogramm	196
4.4.4.1 Übersicht	196
4.4.4.2 Auswahl der Analysenproben bei Feststoffen	196
4.4.4.3 Auswahl der Analysenproben bei Grundwasser	197
4.4.5 Bezugsgrößen und Parameterauswahl	197
4.4.5.1 Auswahlkriterien	199
4.4.5.2 Stufenkonzept	200
4.4.6 Zusammenstellung einiger Untersuchungsprogramme	202
4.5 Literatur	206

5 Probenahme- und Untersuchungsmethoden *(Reichert/Roemer)* 211

5.1 Probenahmestrategien	211
5.1.1 Einfluß der Probenahme auf das Untersuchungsergebnis	211
5.1.2 Probenahme	212
5.1.2.1 Anforderungen	212
5.1.2.2 Übersicht	212
5.1.3 Bestandteile der Probenahmestrategie	213
5.1.3.1 Vorgehensweise	213
5.1.3.2 Urteilsbegründete Probenahme	215
5.1.3.3 Statistische Strategien	215
5.1.3.4 Positionierung der Beprobungsstellen	217
5.1.3.5 Probenahmetiefen	219
5.1.3.6 Anzahl der Beprobungsstellen	221
5.1.3.7 Probenmenge	230
5.1.4 Behandlung der Feldprobe	231
5.1.4.1 Probenauswahl	231
5.1.4.2 Probenverfälschung	232
5.1.4.3 Probenkonservierung	232
5.1.4.4 Probenvorbereitung	233
5.2 Grundwasserproben	234
5.2.1 Charakter von Grundwasserkontaminationen	234
5.2.2 Einstufung in Grundwasserregionen	235
5.2.3 Auswahl und Einrichtung der Grundwassermeßstelle	236
5.2.4 Anforderungen an ein Meßstellennetz	239
5.2.5 Randbedingungen der Probenentnahme	240
5.2.5.1 Repräsentanz	240
5.2.5.2 Beprobungstechniken	240
5.2.6 Auswahl der Untersuchungsparameter bei Verdachtsflächen	246
5.2.6.1 Stoffeigenschaften	246
5.2.6.2 Anorganische Parameter	246
5.2.6.3 Organische Verbindungen	247

5.2.7	Untersuchungskonzepte	247
5.2.8	Plausibilitätsprüfungen	252
5.2.9	Probenveränderungen	253
5.3	Feststoffproben	255
5.3.1	Anlaß und Ziel	255
5.3.2	Methoden der Feststoffprobenahme	256
5.3.2.1	Auswahlkriterien für Bohrverfahren	256
5.3.2.2	Verfahren der Probengewinnung	257
5.3.2.3	Vor- und Nachteile einiger Verfahren	261
5.4	Bodenluftproben	263
5.4.1	Definition und Zusammensetzung der Bodenluft	263
5.4.2	Wechselbeziehungen zwischen den Bodenmatrizes	266
5.4.3	Einflußfaktoren auf die Schadstoffkonzentration	267
5.4.4	Beprobungskonzept	268
5.4.4.1	Vorarbeiten	268
5.4.4.2	Lage der Meßpegel	269
5.4.4.3	Tiefenlage der Probenahme	271
5.4.4.4	Zeitpunkt der Probenahme	271
5.4.5	Ausbauart einer Bodenluftmeßstelle	272
5.4.6	Methoden der Bodenluftprobenahme	273
5.4.6.1	Übersicht	273
5.4.6.2	Direktmethoden	276
5.4.6.3	Anreicherungsmethoden	276
5.4.6.4	Farbreaktionsröhrchen	280
5.4.6.5	Arbeitsablauf der Probenahme	281
5.4.6.6	Probenahmeprotokoll	283
5.4.7	Auswertung der Bodenluftmessung	285
5.4.7.1	Darstellung der Meßwerte	285
5.4.7.2	Direkte Aussage	285
5.4.7.3	Indirekte Aussage	286
5.4.8	Vorteile und Nachteile der Bodenluft-Untersuchung	290
5.4.9	Erfassung von Oberflächenausgasungen	291
5.5	Eluatuntersuchungen	292
5.5.1	Ziel einer Eluatuntersuchung	292
5.5.2	Einflußfaktoren auf das Elutionsverhalten	295
5.5.2.1	Zusammenstellung der Auslaugmechanismen	295
5.5.2.2	Korngröße	297
5.5.2.3	Abmessungen von Prüfkörpern	298
5.5.2.4	Elutionsflüssigkeit	299
5.5.2.5	pH-Wert	300
5.5.2.6	Gesamtfeststoffgehalt	301

5.5.3	Einteilung der Elutionsverfahren	302
5.5.3.1	Anorganische und organische Komponenten	302
5.5.3.2	Charakteristische Merkmale von Elutionsverfahren	302
5.5.3.3	Übersicht von Elutionsverfahren	303
5.5.3.4	Ablaufschema von Elutionsversuchen	304
5.5.3.5	Einteilung nach Art der Versuchsdurchführung und Versuchstechnik	306
5.5.3.6	Experimenteller Aufwand	306
5.5.3.7	Flaschentests	307
5.5.3.8	Säulentests	308
5.5.4	Beschreibung und Bewertung spezieller Elutionsverfahren	311
5.5.4.1	Schütteltest DIN 38414-S4	311
5.5.4.2	pH _{stat} -Versuch	314
5.5.4.3	Verfügbarkeitstest für anorganische Stoffe	318
5.5.4.4	Mobilisierbarkeit mit Ammoniumnitrat	319
5.5.4.5	Kaskadentest	320
5.5.4.6	Trogverfahren	322
5.5.4.7	Schweizer CO ₂ -Test (BUS-Test)	323
5.5.4.8	Sequentielle Extraktion	324
5.5.4.9	Schnellelution mit Ultraschall	325
5.5.4.10	Perkolationssäulen	325
5.5.4.11	Kreislaufelution	326
5.5.4.12	Soxhletapparatur	331
5.5.4.13	Triaxialzelle	332
5.5.4.14	Laborlysimeter	333
5.5.4.15	Halbtechnische Modelldeponie	334
5.5.4.16	Großlysimeter	335
5.5.4.17	Diffusionsmeßzelle	335
5.5.4.18	Diffusionstest für Prüfkörper	336
5.5.4.19	Sättigungswasserextraktion	337
5.5.4.20	Druckfiltration zur Porenwasserbestimmung	338
5.5.5	Auswertung von Elutionsversuchen	338
5.5.5.1	Kenngrößen zur Beschreibung des Elutionsverhaltens	338
5.5.5.2	Kontrolle und Bilanzierung der Meßwerte	346
5.5.5.3	Dokumentation	346
5.5.5.4	Ergebnisdarstellung	347
5.5.6	Aussagekraft der Verfahren und Übertragbarkeit der Untersuchungsergebnisse	349
5.5.6.1	Zeitraffung	349
5.5.6.2	Organische Stoffe	349
5.5.6.3	Übertragbarkeit der Untersuchungsergebnisse	350
5.5.7	Tendenzen der Eluatuntersuchung (<i>Blankenhorn</i>)	354
5.5.7.1	Stand der europäischen Normung	354
5.5.7.2	Entwicklungen auf nationaler Ebene	355

5.6 Chemische Analytik	356
5.6.1 Probenvorbereitung	356
5.6.1.1 Ziel der Probenvorbereitung	356
5.6.1.2 Zerkleinerung	356
5.6.1.3 Beanspruchungsmechanismen	357
5.6.1.4 Aufschlußverfahren	357
5.6.1.5 Reinigungs- und Anreicherungsverfahren	358
5.6.2 Analysenmethoden	360
5.6.2.1 Qualitätsmerkmale von Analysenmethoden	360
5.6.2.2 Verfahrensübersicht	362
5.6.2.3 Physikalische oder instrumentelle Methoden	363
5.6.2.4 Spektrometrische Verfahren	364
5.6.2.5 Chromatographische Verfahren	365
5.6.2.6 Detektoren	366
5.6.2.7 Vor-Ort-Messungen	368
5.6.2.8 Analysenverfahren: Vorgaben und Beispiele	372
5.6.3 Qualitätssicherung	380
5.6.4 Perspektiven	382
5.7 Literatur	383
6 Sicherungs- und Sanierungspraxis	397
6.1 Sanierungsziele (<i>Reichert/Roemer</i>)	397
6.1.1 Übersicht	397
6.1.2 Schutzziele	398
6.1.3 Sanierungsziel	399
6.1.3.1 Zielfindung	399
6.1.3.2 Bodenkontamination	401
6.1.3.3 Grundwasserkontamination	403
6.1.4 Sanierungszielwerte	403
6.2 Sicherungsmaßnahmen	406
6.2.1 Umlagerungen (<i>Förstner</i>)	406
6.2.2 Barriersysteme (<i>Wienberg</i>)	407
6.2.2.1 Abdeckung der Deponie	408
6.2.2.2 Sohlabdichtungen	408
6.2.2.3 Dichtwände	410
6.2.3 Verfestigung und Stabilisierung (<i>Förstner</i>)	415
6.2.3.1 Demobilisierung von Schadstoffen in Gewässern	415
6.2.3.2 Verfestigungs- und Stabilisierungsmittel	416
6.2.3.3 Stabilisierung von kontaminierten Feststoffen	419
6.2.3.4 On site/off site-Verfahren mit Schadstoffeinbindung	423

6.3 Sanierungsmaßnahmen	423
6.3.1 Verfahrensübersicht (<i>Reichert/Roemer</i>)	423
6.3.2 Biologische Verfahren (<i>Stottmeister</i>)	427
6.3.2.1 Mikrobiologische in situ-Sanierungsprozesse	427
6.3.2.2 Mikrobiologische ex situ-Sanierungsprozesse	430
6.3.2.3 Ex situ Sanierungsverfahren unter Nutzung kombinierter umweltbiotechnologischer Prinzipien	432
6.3.3 Wasch- und Extraktionsverfahren (<i>Reichert/Roemer</i>)	436
6.3.3.1 Bodenwaschverfahren	436
6.3.3.2 Extraktionsverfahren	439
6.3.4 Bodenluftverfahren (<i>Reichert/Roemer</i>)	444
6.3.5 Thermische Verfahren (<i>Reichert/Roemer</i>)	447
6.4 Literatur	449
Anhang: Anschriften der Autoren	455
Sachverzeichnis	457