

Innovative Techniken der Bodensanierung

Ein Beitrag zur Nachhaltigkeit

Herausgegeben von **Stefanie Heiden**, Osnabrück
mit Unterstützung von **Markus Veen**, Osnabrück

Beiträge von 33 Fachwissenschaftlern

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	XVII
1 Einführung (<i>F. Brickwedde, St. Heiden</i>)	1
2 Umweltbiotechnologie - ein Beitrag zur Nachhaltigkeit (<i>St. Heiden</i>)	5
2.1 Einleitung: Entwicklung eines Leitbilds	5
2.2 Aktuelle Situation	5
2.3 Bedürfnisse und Konsum	8
2.4 Innovation	10
2.5 Biotechnologie	10
2.5.1 Definitionen	11
2.5.2 Von der Empirie zur modernen Naturwissenschaft - ein geschicht- licher Abriß	12
2.5.3 Moderne Biotechnologie und Umweltschutz	15
2.6 Literatur	20
3 Abbau von Mineralölkohlenwasserstoffen und polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (<i>W. Fritsche</i>)	22
3.1 Problematik der Altlasten-Sanierung	22
3.2 Abbau von Mineralölkohlenwasserstoffen (MKW)	23
3.3 Abbau von PAK: Mineralisierung, Cometabolisierung und Bildung gebundener Rückstände	29
3.4 Ökologische Aspekte der Bioremediation	34
3.5 Verfahren der ex-situ- und in-situ-Bioremediation	36
3.6 Schlußfolgerungen	39
3.7 Literatur	41
4 Perspektiven der biologischen Elimination von Trinitrotoluol (TNT) und Begleitkontaminationen im Boden (<i>H.-J. Knackmuss</i>)	42
4.1 Chemische Struktur und biologische Abbaubarkeit	42
4.2 Aromatische Polynitroverbindungen	44
4.3 Bioverfügbarkeit von TNT und seinen Reduktionsprodukten im Boden	49
4.4 Entwicklung eines technischen Prozesses	51
4.5 Ökotoxikologische Bewertung des Bodens	53
4.6 Forschungsbedarf	54
4.7 Zusammenfassung	55
4.8 Literatur	56

5	Mikrobielles Leaching und Remediation anorganisch kontaminierter Böden (<i>U. Stottmeister, H. Seidel, P. Kuschke</i>)	58
5.1	Einleitung	58
5.2	Schwermetallbeseitigung aus Feststoffen durch biologische Prozesse	60
5.2.1	Mikrobielle Solubilisierungen	60
5.2.2	Bildung unlöslicher Verbindungen	67
5.2.3	Stabilisierungen	69
5.2.4	Phytoremediation	69
5.3	Abschließende Bemerkungen	72
5.4	Literatur	73
6	Konzepte zur ökotoxikologischen Bewertung kontaminierter und sanierter Böden (<i>W. Dott, A. Eisenträger, G. Maxam, H. Scheen</i>)	76
6.1	Funktionsbezogene Ansätze bei der Bodenbewertung	76
6.2	Verfahren zur toxikologischen Bewertung von Böden auf Basis chemisch-analytischer Daten	76
6.2.1	„Niederländische Liste“	76
6.2.2	Weitere in der Bundesrepublik Deutschland gebräuchliche Listen zur Bewertung von Böden auf Basis chemisch-analytischer Daten ..	78
6.3	Ökotoxikologische Bewertung von Böden	79
6.3.1	Konzept der DECHEMA ad-hoc-Arbeitsgruppe „Methoden zur toxikologischen/ökotoxikologischen Bewertung von Böden“	81
6.3.2	Konzept des Arbeitskreises Bodenchemie und Bodenökologie der Fachgruppe Umweltchemie und Ökotoxikologie der Gesellschaft Deutscher Chemiker	85
6.3.3	Bewertung von Böden nach Keddy, Greene und Bonneil	86
6.3.4	Untersuchung von Bodenextrakten zur Erkennung von Bodenkontaminationen	86
6.4	Ökotoxikologische Bewertung des über den Wasserpfad austragbaren ökotoxischen Potentials am Beispiel von zwei Bodenproben	87
6.4.1	Herkunft der Böden	88
6.4.2	Physikalisch-chemische Charakterisierung der Böden	88
6.4.3	Erfassung des über den Wasserpfad austragbaren toxischen/ökotoxischen Potentials der Bodenproben „HTNT1“ und „SPAK1a“ ...	89
6.5	Zusammenfassung und Ausblick	89
6.6	Literatur	91
7	Erfassung und Bewertung von Mobilität und Bioverfügbarkeit bei der Beurteilung kontaminierter und gereinigter Böden (<i>W. Kordel, K. Hund, W. Klein</i>)	93
7.1	Einleitung	93
7.2	Konzepte zur Beurteilung von Bodenkontaminanten	94
7.2.1	Menschliche Gesundheit	94
7.2.2	Grundwasserschutz	95
7.2.3	Lebensraumfunktion	97

7.3	Bioverfügbarkeit - ein Schlüsselfaktor bei der biologischen Sanierung von Böden	99
7.3.1	In-situ-Sanierung	99
7.3.2	Ex-situ-Sanierung	103
7.4	Testung gereinigter Böden	104
7.4.1	Eluatherstellung	104
7.4.2	Durchführung ökotoxikologischer Tests	107
7.5	Literatur	107
8	Marktsituation für die biologische Bodensanierung (V. Schulz-Berendt) ..	110
8.1	Einleitung	110
8.2	Kapazitäten zur biologischen Bodensanierung in Deutschland	111
8.3	Preisentwicklung der biologischen Bodensanierung in Deutschland	112
8.4	Der internationale Markt	114
8.5	Zukünftige Entwicklungen	115
8.6	Literatur	116
9	Mikrobieller Kohlenwasserstoffabbau im Boden in Perkolationssystemen mit Prozeßsteuerung (Ch. Löser, H. Seidel, R. Fischer, U. Stottmeister)	117
9.1	Einleitung	117
9.2	Material und Methoden	118
9.2.1	Boden, Modellschadstoffe, Prozeßwasser, Kultivierungsmedium	118
9.2.2	Aufbau der Perkolationssysteme im Labor- und Pilot-Maßstab	119
9.2.3	Durchführung der Perkulationsversuche	119
9.2.4	Methoden der Tensidcharakterisierung	120
9.2.5	Analytik	120
9.3	Ergebnisse und Diskussion	121
9.3.1	Schadstoffabbau beim Aerob/Anaerob-Wechsel und unter aeroben Bedingungen	121
9.3.2	Untersuchungen zur Bioverfügbarkeit von Kohlenwasserstoffen im Boden	125
9.3.3	Tensideinsatz bei der Bodensanierung	127
9.3.4	Large-scale-Bodensanierungsanlage Hirschfeld	131
9.4	Zusammenfassung	134
9.5	Literatur	135
10	Aerobes Verfahren zur mikrobiellen Eliminierung von Dichlorethen und Vinylchlorid (P. Koziollek, S. Bauer, D. Bryniok, H.-J. Knackmuss)...	137
10.1	Einleitung	137
10.1.1	Stand von Wissenschaft und Technik	137
10.1.2	Zielsetzung der vorliegenden Arbeit	138
10.1.3	Angestrebtes Verfahren	140

10.2	Material und Methoden	141
10.2.1	Anreicherung, Isolierung und Kulturbedingungen	141
10.2.2	Screening nach dehalogenierenden Mikroorganismen	141
10.2.3	Kontinuierliche Kultivierung	141
10.2.4	Analytische Methoden	142
10.2.5	Chemikalien	143
10.3	Ergebnisse und Diskussion	143
10.3.1	Mikroorganismen mit Kooxidationspotential für chloresubstituierte Ethene	143
10.3.2	Beschreibung der Mischkultur K20	144
10.3.3	Wachstum auf Ethen in Gegenwart von cDCE	144
10.3.4	Wachstum auf Ethen in Gegenwart von Vinylchlorid	145
10.3.5	cw-1,2-Dichlorethen-Umsatz in Anwesenheit von Tetrachlor- oder Trichlorethen	146
10.3.6	Versuche im Rührkesselreaktor	146
10.3.7	Versuche in einem 40-Liter-Rieselbettreaktor	148
10.4	Zusammenfassung	149
10.5	Resümee und Ausblick	150
10.6	Literatur	151
11	Thermische in-situ-Bodensanierung unter Einsatz hochfrequenter elektromagnetischer Felder - eine innovative Methode zur Reinigung kontaminierter Böden (P. Jütterschenke)	153
11.1	Einleitung und Zielstellung	153
11.2	Material und Methoden	154
11.2.1	Physikalischer Hintergrund des Verfahrens	154
11.2.2	Auswahl der Betriebsfrequenz	157
11.2.3	Technologischer Aufbau der Sanierungsanlage	157
11.2.4	Energieeintrag in den Boden - Erregersystem und optimale Anpassung	158
11.2.5	Rückhaltung der Schadstoffe	159
11.3	Ergebnisse	160
11.3.1	Labor - und Technikumsversuche	160
11.3.2	Erster Feldversuch Berlin-Oberschöneweide	163
11.3.3	Modell Sanierung Berlin-Friedrichsfelde	164
11.3.4	Sanierung Berlin-Wedding	167
11.4	Diskussion	169
11.5	Zusammenfassung	171
12	Untersuchungen zur Immobilisation von Schadstoffen in Halden des Uranerzbergbaus (H. Saheli, E. Gock)	172
12.1	Einleitung	172
12.2	Halden des Erzreviers Ronneburg	172
12.2.1	Mineralogische Diagnose	173
12.2.2	Biozönosen	175

12.3	Reaktionskinetische Untersuchungen zur Mobilisierung von Uran	175
12.3.1	Einfluß des pH-Werts bei silikatischem Haldenmaterial	177
12.3.2	Einfluß des pH-Werts bei karbonatischem Haldenmaterial	179
12.4	Reaktionskinetische Untersuchungen zur Immobilisierung von Uran	181
12.4.1	Mischungen von silikatischem und karbonatischem Haldenmaterial	182
12.4.2	Mischungen von silikatischem Haldenmaterial mit gebranntem Kalk	184
12.4.3	Untersuchungen zur Immobilisierung von Uran bei karbonatischem Haldenmaterial	185
12.5	Schlußfolgerungen für die Sanierung	187
12.6	Zusammenfassung	188
12.7	Literatur	189
13	Kalorimetrische Quantifizierung der Schwermetallmobilisierung in Laugungsbiotopen (<i>W. Sand, H. von Rege, Th. Rohwerder, A. Schippers, S. Wentzien</i>).	190
13.1	Einleitung	190
13.2	Material und Methoden	191
13.2.1	Kalorimetrie	191
13.2.2	Chemische Analytik	191
13.2.3	Laugungsexperimente	192
13.2.4	Bestandsaufnahmen	193
13.3	Ergebnisse	194
13.3.1	Entwicklung des kalorimetrischen Aktivitätstests in Laborversuchen	194
13.3.2	Einsatz des Aktivitätstests in Perkolatorexperimenten zur Hemmung der biologischen Laugung	199
13.3.3	Einsatz des Aktivitätstests zur Charakterisierung einer Laugungs-biozönose im Simulationsexperiment	201
13.3.4	Einsatz des Aktivitätstests im Rahmen mikrobiologischer Bestandsaufnahmen von Bergbaualtlasten am Beispiel Ronneburg (Thüringen)	202
13.3.5	Rückstandshalde der Rohkupferhütte in Helbra (Sachsen-Anhalt)	206
13.4	Diskussion	208
13.5	Zusammenfassung	210
13.6	Literatur	211
14	Entwicklung neuer Tensidformulierungen für den Einsatz in der Bodenreinigung (<i>T. Sobisch</i>).	213
14.1	Einleitung und Zielstellung	213
14.2	Material und Methoden	214
14.2.1	Charakterisierung der verwendeten Böden	214
14.2.2	Eingesetzte kontaminierte Böden	216
14.2.3	Untersuchungen zur Reinigung kontaminierter Böden	219
14.3	Ergebnisse und Diskussion	220
14.3.1	Waschversuche an mineralölkontaminierten Proben	220
14.3.2	Waschversuche an Teer-/PAK-kontaminierten Böden	223

14.3.3	Extraktion PAK-kontaminierter Feinstkornfraktionen	225
14.3.4	Säulenversuche mit Schwelereiboden	227
14.4	Ausblick und Anwendbarkeit	230
14.5	Zusammenfassung	231
14.6	Literatur	232
15	Weiterführende Untersuchungen zur Biologischen Ölschlamm- aufbereitung im Mietenverfahren und im Suspensionsreaktor <i>(B. Gallenkemper, A. Kötter, G. Janikowski)</i>	234
15.1	Einleitung	234
15.2	Material und Methoden	235
15.2.1	Ölschlamm	235
15.2.2	Vorbehandlung der Ausgangsschlämme	235
15.2.3	Mikrobiologische Ölschlamm-aufbereitung im Mietenverfahren (LASU)	236
15.2.4	Mikrobiologische Ölschlamm-aufbereitung im Suspensionsreaktor (ITU)	237
15.3	Ergebnisse	238
15.3.1	Ergebnisse der mikrobiologischen Ölschlamm-aufbereitung im Mietenverfahren (LASU)	238
15.3.2	Ergebnisse der mikrobiologischen Ölschlamm-aufbereitung im Suspensionsreaktor (ITU)	239
15.4	Diskussion	241
15.4.1	Diskussion der Ergebnisse der mikrobiologischen Ölschlamm- aufbereitung im Mietenverfahren (LASU)	241
15.4.2	Diskussion der Ergebnisse der mikrobiologischen Ölschlamm- aufbereitung im Suspensionsreaktor (ITU)	244
15.4.3	Vergleich beider Verfahren (LASU/ITU)	245
15.4.4	Ausblick	246
15.5	Zusammenfassung	246
15.6	Literatur	247
16	Entwicklung und Anwendung miniaturisierter automatisierter Testver- fahren zur human- und ökotoxikologischen Bewertung von Schadstoffen in Umweltproben <i>(W. Dott, A. Eisenträger, W. G. Hanstein, P. H. Ross)</i>	248
16.1	Einleitung	248
16.2	Aquatische Ökotoxizitätstests	249
16.2.1	Einleitung	249
16.2.2	Miniaturisierung und Automatisierung der Testverfahren	251
16.2.3	Methodische Aspekte zu den miniaturisierten Testverfahren	256
16.3	Genotoxizitätstests	258
16.3.1	Einleitung	258
16.3.2	Testdurchführung	259
16.3.3	Testvalidierung	260
16.3.4	Ausblick	262

16.4	„Biological Effect Monitoring" durch Induktion von CYP1A-Isoenzymen...	262
16.4.1	Einleitung.....	262
16.4.2	Testprinzip.....	262
16.4.3	Spezifität des Tests.....	263
16.4.4	Detektionsmethoden.....	263
16.4.5	Ziele und erste Resultate.....	264
16.5	Literatur.....	265
	Register.....	267