

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
Autorenverzeichnis	VII
Einführung	1
<i>Literatur</i>	3
TEIL I Eigenschaften und Funktionen von Böden	5
1 Böden als Naturkörper	5
1.1 Boden und Böden	5
1.2 Eigenschaften von Böden	7
1.2.1 Ausgangsgestein und Mineralkörper	7
1.2.2 Humuskörper	11
1.2.3 Bodengefüge	13
1.2.4 Bodenluft, Bodenlösung und Austauschsystem	17
1.3 Wärme-, Wasser-, Luft- und Stoffdynamik von Böden	18
1.4 Entwicklung von Böden	20
1.5 Systematik von Bodenhorizonten und Böden	23
1.5.1 Horizontsystematik	23
1.5.2 Bodensystematik	24
1.6 Schutzbedürftigkeit und -würdigkeit	25
<i>Literatur</i>	25
2 Böden als Filter, Puffer und Transformatoren	26
2.1 Einführung und Definitionen	26
2.2 Mechanismen	26
2.2.1 Filterung grobdispenser Stoffe	26
2.2.2 Filterung kolloiddispenser Stoffe	27
2.2.3 Pufferung gelöster Stoffe	28
2.2.4 Transformation von Stoffen	34
2.3 Ermittlung und Bewertung des Filter-, Puffer- und Transformationsvermögens	34
2.4 Schutzbedürftigkeit und Schutzwürdigkeit	35
<i>Literatur</i>	36
3 Modellierung des Chemikalienverhaltens in Boden und Grundwasser	38
3.1 Transport gelöster Chemikalien im Sicker- und Grundwasser	38
3.1.1 Boden-, Hang- und Grundwasser als Transportmedien	38
3.1.1.1 Meso- und makroskalige Modelle der Wasserbewegung in Böden und Lockergesteinen	38
3.1.1.2 Präferenzieller Fluss und <i>piping</i>	39
3.1.1.3 Mehrphasenfließen	40
3.1.2 Stofftransport in der Boden- und Belüftungszone	40
3.1.2.1 Eindimensionale Basismodelle des Chemikalien transports	40
3.1.2.2 Kompartimentmodelle	41
3.1.3 Stofftransport in der gesättigten Bodenzone und im Aquifer	41
3.1.4 Ausgewählte Stofftransportmodelle	42
3.1.4.1 Historischer Rückblick	42
3.1.4.2 Ausgewählte Boden- und Grundwassermodelle	42
3.1.4.3 Modellsysteme für die Landschaftsplanung	44
3.2 Gleichgewichts- und Speziationsmodelle	46
3.3 Schätzmodelle	47
3.4 Human- und ökotoxikologische Expositionsmodelle	48

3.4.1	Multikompartimentmodelle zur Abschätzung des Expositionsrisikos	48
3.4.2	Ökotoxikologische Chemikalienprüfung	48
3.5	Verifizierung, Kalibrierung und Validierung von Modellen	51
	<i>Literatur</i>	53
4	Boden- und Landschaftswasserhaushalt	57
4.1	Wasserkreislauf und Wasserbilanz	57
4.2	Gebietswasserhaushalt und Einzugsgebiet	59
4.3	Komponenten der Wasserbilanz	60
4.3.1	Niederschlag	60
4.3.2	Verdunstung	62
4.3.3	Abfluss und Abflussbildungsprozesse	64
4.4	Stoffpfade in der Landschaft	68
4.5	Bodenwasserhaushalt	70
4.5.1	Wasserbindungskräfte und Wassergehalt in Böden	71
4.5.1.1	Adsorptionswasser	71
4.5.1.2	Kapillarkräfte und Bodenwasserpotenzial	71
4.5.1.3	Wasserretentionsfunktion	72
4.5.1.4	Messung von Bodenwassergehalt und Porenwasserdruck	75
4.5.2	Wasserbewegung in Böden	76
4.5.3	Infiltration	78
4.6	Stoffverlagerung auf und in Böden	82
4.6.1	Stofftransport und -vermischung	83
4.6.1.1	Lateraler Oberflächenstofftransport (erosiver Stofftransport)	83
4.6.1.2	Vertikaler Stofftransport in der ungesättigten Bodenzone	84
4.6.2	Bevorzugte Stoffverlagerung	84
4.6.2.1	Fingerfluss und das Mobil/immobil-Konzept	84
4.6.2.2	Makroporenfluss und präferenzzieller Stofftransport	86
	<i>Literatur</i>	88
5	Böden als Landschaftssegmente	92
5.1	Bodenvariabilität in Forschung und Lehre	92
5.2	Einheiten, Dimensionen und Methoden	92
5.2.1	Topische Einheiten	93
5.2.2	Chorische Einheiten	93
5.2.3	Regionische und globale Einheiten	94
5.2.4	Methodik	95
5.3	Bodenlandschaften Deutschlands und ihr Schutzbedarf	95
5.3.1	Böden holozäner Wattenküsten und großer Flusstäler	97
5.3.2	Böden pleistozäner Glaziallandschaften	97
5.3.3	Böden der Lösshügellandschaften	98
5.3.4	Böden der Schicht- und Bruchstufenlandschaften mesozoischer Gesteine	99
5.3.5	Böden magmatisch-metamorpher Mittelgebirge	99
5.3.6	Böden des Hochgebirges	100
5.3.7	Böden städtisch-industrieller Verdichtungsräume und anthropogener Umlagerungsregionen	100
	<i>Literatur</i>	101
6	Böden als Lebensraum von Organismen	102
6.1	Einführung	102
6.2	Lebensformen im Boden	102
6.2.1	Bindung an den Boden	102
6.2.2	Klassifizierung der Bodenorganismen	102
6.2.2.1	Morphologische Anpassungen an den Lebensraum Boden	103
6.2.2.2	Größenklassen	103
6.2.2.3	Ernährungstypen	103
6.2.3	Biologisch-systematische Übersicht über das Edaphon	103
6.2.3.1	Viren	104
6.2.3.2	Prokaryota	104
6.2.3.3	Eukaryota	104
6.3	Standortanforderungen der Bodenorganismen	104

6.3.1	Lebensraum	106
6.3.2	Bodenwasser	106
6.3.3	Bodenluft	107
6.3.4	Bodentemperatur	107
6.3.5	Bodenreaktion	107
6.4	Biodiversität im Boden	107
6.5	Funktionell bedeutende Bodenorganismen	110
6.6	Funktionen der Bodenorganismen	110
6.6.1	Bodenfruchtbarkeit	111
6.7	Schutzbedürftigkeit und Schutzwürdigkeit der Bodenorganismen	112
	<i>Literatur</i>	112
7	Böden als Pflanzenstandorte	115
7.1	Standortanforderungen der Pflanzen	115
7.1.1	Einführung	115
7.1.2	Durchwurzelbarkeit	115
7.1.3	Wasserversorgung der Pflanzen	117
7.1.4	Luftversorgung der Pflanzen	120
7.1.5	Wärmeversorgung der Pflanzen	122
7.1.6	Bedeutung mechanischer Belastungen für Pflanzenstandorte	124
7.1.7	Nährstoffversorgung der Pflanzen	125
	<i>Literatur</i>	129
7.2	Böden und Pflanzengesellschaften	130
7.2.1	Böden und ihre Pflanzengesellschaften	130
	<i>Literatur</i>	133
7.3	Böden als Nutzpflanzenstandorte	134
7.3.1	Ackerstandorte	134
7.3.2	Grünlandstandorte	136
7.3.3	Waldstandorte	137
7.3.4	Obststandorte	137
7.3.5	Rebstandorte	137
7.3.6	Fazit	138
	<i>Literatur</i>	138
8	Böden als erd- und landschaftsgeschichtliche Urkunden	139
8.1	Gliederung von Böden unterschiedlichen Alters	139
8.2	Holozäne Böden	139
8.3	Paläoböden	140
8.3.1	Pleistozäne Paläoböden	140
8.3.2	Präpleistozäne Paläoböden	141
8.4	Schutzwürdigkeit	142
	<i>Literatur</i>	142
9	Böden als Rohstofflieferanten	144
	<i>Literatur</i>	146
10	Böden als Standorte für Siedlung und Verkehr	147
	<i>Literatur</i>	151
TEIL II	Veränderungen und Belastungen von Böden	153
11	Einführung	153
	<i>Literatur</i>	154
12	Bodenüberformung und Versiegelung	155
12.1	Einführung	155
12.2	Definitionen zum Thema	155
12.3	Ausmaß von Bodenüberformung und Versiegelung	156
12.4	Ermittlung von Versiegelungsgraden	157

12.5	Ökologische Eigenschaften versiegelter Standorte.....	158
12.5.1	Physikalisch-hydraulische Eigenschaften.....	158
12.5.2	Wasserhaushalt.....	159
12.5.3	Wärmehaushalt und Klima.....	162
12.5.4	Chemische Eigenschaften versiegelter Böden – Belastungen und Stofftransport.....	164
12.5.5	Biologische Funktionen versiegelter Böden.....	165
12.5.5.1	Wirkungen auf die Fauna.....	167
12.5.5.2	Wirkungen auf Mikroorganismen.....	167
	<i>Literatur</i>	168
13	Bearbeitung und Verdichtung von Böden	170
13.1	Bodenbearbeitung.....	170
13.1.1	Gründe und Ziele.....	170
13.1.2	Bearbeitungsverfahren.....	172
13.1.3	Bedeutung der Standorteigenschaften und des Bodenzustandes für die Bodenbearbeitung.....	174
13.2	Bodenverdichtung.....	175
13.2.1	Ungewollte Veränderungen des Bodengefüges durch mechanische Belastungen.....	175
13.2.2	Ursachen mechanischer Veränderungen.....	175
13.2.3	Folgen der Bodendeformation durch Kompression und Scherung für Bodeneigenschaften, -organismen und -funktionen.....	181
13.2.3.1	Porenvolumen und Porengrößenverteilung.....	181
13.2.3.2	Auswirkungen auf die Bodenfauna.....	182
13.2.3.3	Einige Hinweise auf Erträge.....	183
13.2.3.4	Auswirkung auf Bodenerosion.....	183
13.2.3.5	Auswirkung auf Oberflächenabfluss, Grundwasserbildung und -qualität sowie den Landschaftswasserhaushalt.....	183
13.2.3.6	Auswirkung auf weitere umweltrelevante Prozesse.....	184
13.3	Ausmaß der Bodenverdichtungen.....	186
13.4	Prognose der mechanischen Belastbarkeit von Ackerflächen.....	187
13.4.1	Gegenwärtige Ansätze zur Prognose der mechanischen Belastbarkeit.....	187
13.4.1.1	Das Verfahren: Vorbelastung/Druckfortpflanzung.....	188
13.4.1.2	Das Verfahren: Belastungsquotient.....	188
13.4.1.3	Das Verfahren: Verdichtungsgefährdungsklassen.....	189
13.4.2	Vergleich der vorhandenen Berechnungsansätze.....	189
13.5	Modellierung von Bodendeformationen und Folgen.....	191
13.6	Kombination der bodenmechanischen Kennwerte mit den im Bundesbodenschutz-Gesetz definierten Vorsorge- und Maßnahmewerten.....	191
13.7	Schlussfolgerungen.....	194
	<i>Literatur</i>	196
14	Abtrag von Böden	199
14.1	Bodenerosion durch Wasser.....	199
14.1.1	Der Wassererosionsprozess.....	199
14.1.1.1	Partikelablösung durch Regentropfen (<i>splash, rainsplash erosion</i>).....	200
14.1.1.2	Destabilisierung der Bodenaggregate durch Befeuchtungswirkungen.....	200
14.1.1.3	Infiltration und Oberflächenabfluss.....	202
14.1.1.4	Partikelablösung durch Oberflächenabfluss.....	202
14.1.1.5	Partikeltransport im Oberflächenabfluss.....	203
14.1.2	Erscheinungsformen der Wassererosion.....	203
14.1.3	Folgen der Wassererosion.....	204
14.1.4	Faktoren der Wassererosion.....	206
14.1.4.1	Faktoren der Wassererosion in der Übersicht.....	206
14.1.5	Richtgrößen zur Bewertung der Bodenerosionsgefährdung und der Gefährdung der Bodenfruchtbarkeit.....	207
14.1.6	Mess- und Kartiermethoden zur Wassererosion.....	209
14.1.7	Risikoabschätzung.....	210
	<i>Literatur</i>	213
14.2	Winderosion.....	215
14.2.1	Ausmaß und globale Bedeutung der Winderosion.....	215
14.2.2	Prozesse der Winderosion.....	217

14.2.3	Erosivität des Klimas	218
14.2.4	Erodierbarkeit des Bodens	219
14.2.5	Ausmaß der Winderosion in Europa und in Deutschland	220
14.2.6	Modellierung und Bewertung der Winderosion	220
14.2.7	Messung der Winderosion	220
14.2.8	Kartierung	222
14.2.9	Staubemissionen durch Bodenbearbeitung	222
14.2.10	Winderosion und Klimawandel	222
	<i>Literatur</i>	223
14.3	Massenversatz am Hang	224
14.3.1	Erscheinungsformen	224
14.3.2	Ursachen und Einflussfaktoren	225
14.3.3	Folgen	226
14.3.4	Erhebungen zum Vorkommen	226
	<i>Literatur</i>	227
15	Bewässerung und Entwässerung von Böden	228
15.1	Bewässerung von Böden	228
15.1.1	Bewässerungsverfahren	228
15.1.1.1	Oberflächenbewässerung	228
15.1.1.2	Mikrobewässerung	230
15.1.1.3	Unterflurbewässerung	230
15.1.2	Bewässerungswasser	231
15.1.2.1	Herkunft des Bewässerungswassers	231
15.1.2.2	Ausmaß der Wasserentnahme	231
15.1.2.3	Wasserqualitätsanforderungen	232
15.1.3	Bewässerungseffizienz und -management	232
15.2	Entwässerung von Böden	233
15.2.1	Geschichte und Verbreitung	233
15.2.2	Verfahren der Entwässerung	233
15.2.2.1	Grabenentwässerung	233
15.2.2.2	Unterirdische Entwässerung	234
15.2.3	Wirkungsweise der Entwässerung	235
15.2.3.1	Wirkung auf bodenphysikalische Eigenschaften	235
15.2.3.2	Bodenchemische und bodenbiologische Wirkung	236
15.2.4	Ökologische Relevanz	236
15.2.4.1	Austrag von Agrochemikalien in Fließgewässer	236
15.2.4.2	Sackung organischer Böden	237
15.2.5	Dränmanagement	237
15.2.5.1	Bedarfsgerechte Steuerung von Dränanlagen	237
	<i>Literatur</i>	240
16	Düngung von Böden	242
16.1	Gründe für die Düngung	242
16.2	Düngerformen	243
16.2.1	Mineraldünger	243
16.2.2	Organische Dünger	244
16.3	Verhalten in Böden	246
16.3.1	Umsetzungen und Immobilisierung	246
16.3.1.1	Stickstoff	246
16.3.1.2	Phosphor	247
16.3.1.3	Kalium	248
16.3.2	Verlagerung	248
16.3.2.1	Nitrat	248
16.3.2.2	Phosphat	252
16.3.2.3	Kalium	254
16.3.3	Gasförmige Stickstoffverluste	254
16.3.3.1	NH ₃ -Verflüchtigung	254
16.3.3.2	Denitrifikation	255
16.3.3.3	Nitrifikation	255

16.4	Austräge durch Erosion	256
16.5	Ökologische Relevanz	257
16.5.1	Nitrat-Auswaschung	257
16.5.2	Denitrifikation und Nitrifikation	258
16.5.3	NH ₃ -Verflüchtigung	258
16.5.4	Phosphat	259
16.6	Auswirkungen auf Bodenorganismen	259
16.6.1	Bodenreaktion	260
16.6.2	Eintrag organischer Substanz	261
16.6.3	Nährstoffe	261
16.7	Nachweismethoden	261
16.7.1	Nitrat-Auswaschung	261
16.7.1.1	Lysimeter	262
16.7.1.2	Saugkerzen	262
16.7.2	Gasförmige N-Verluste	262
16.7.2.1	NH ₃ -Verflüchtigung	263
16.7.2.2	Denitrifikation und Nitrifikation	263
	<i>Literatur</i>	263
17	Kontamination von Böden	268
17.1	Kontamination mit Stäuben	268
17.1.1	Staubarten und Staubquellen	268
17.1.2	Verhalten und Wirken in Böden	269
	<i>Literatur</i>	270
17.2	Säurebelastung	270
17.2.1	Versauerung und Bodenacidität	270
17.2.2	Ursachen	271
17.2.2.1	Chemie der Bodenlösung und Veränderungen biogeochemischer Kreisläufe	271
17.2.2.2	Atmosphärische Deposition	272
17.2.3	Bodenacidität und Puffer	273
17.2.4	Bedeutungen für Ökosysteme	275
17.2.4.1	Struktur- und Leistungsveränderungen	276
17.2.4.2	Waldschäden	277
17.2.5	Ausmaß der potenziellen Säurebelastung	278
17.2.6	Säure- und Basenzustand der Böden	278
17.2.7	Gewässerversauerung	279
17.2.8	Verfahren zur Erfassung depositionsbedingter Versauerungspotenziale und wichtiger Kenn- größen der Bodenversauerung	280
17.2.8.1	Gesamtdeposition und Teilflüsse	280
17.2.8.2	Säurewirksamkeit der Deposition	281
17.2.8.3	Ökologische Belastungsgrenzen – Critical Loads	281
17.2.8.4	Wichtige Bodenkennwerte und Analysemethoden	282
	<i>Literatur</i>	283
17.3	Metalle	287
17.3.1	Einleitung	287
17.3.2	Definitionen, Eigenschaften und Bindungsformen	287
17.3.3	Vorkommen von Metallen in Gesteinen und Böden	290
17.3.4	Quellen und Wege von Metallen	293
17.3.5	Verhalten von Metallen in Böden	297
17.3.6	Folgen von Metallbelastungen in Böden	302
17.3.7	Ausmaß der Belastung	307
17.3.8	Nachweis von Metallbelastungen	309
	<i>Literatur</i>	310
17.4	Salze	313
17.4.1	Gründe einer Salzzufuhr	313
17.4.2	Veränderung von Bodeneigenschaften	315
17.4.3	Wirkung auf Pflanzen	316
17.4.4	Wirkung auf Bodenorganismen	317
17.4.5	Salzbelastung des Grundwassers	317
17.4.6	Meliorationen salzhaltiger Böden	318

	<i>Literatur</i>	319
17.5	Pflanzenschutzmittel	319
17.5.1	Bedeutung und Ausmaß der Anwendung	321
17.5.2	Eigenschaften, Formulierungen und Ausbringungsformen	322
17.5.2.1	Herbizide	322
17.5.2.2	Insektizide	324
17.5.2.3	Fungizide	324
17.5.2.4	Pflanzenwachstumsregulatoren	324
17.5.2.5	Formulierung und Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln	324
17.5.3	Verhalten in Böden	325
17.5.3.1	Bindung	325
17.5.3.2	Chemische und mikrobielle Umwandlung	329
17.5.3.3	Winderosion und Verflüchtigung	332
17.5.3.4	Mobilität	334
17.5.3.5	Anreicherung	336
17.5.4	Nebenwirkungen von Pflanzenschutzmitteln	337
17.5.4.1	Bodenorganismen und deren Leistung	338
17.5.4.2	Grundwasser- und Gewässerkontaminationen	339
	<i>Literatur</i>	341
17.6	Weitere organische Chemikalien	344
17.6.1	Einleitung	344
17.6.2	Wichtige Verbindungen, Quellen und Pfade	348
17.6.3	Belastungssituation	357
17.6.4	Immobilisierung	359
17.6.4.1	Substanzeigenschaften	360
17.6.4.2	Bodeneigenschaften	361
17.6.4.3	Bindungsmechanismen	362
17.6.4.4	Nicht extrahierbare Rückstände	363
17.6.4.5	Kompetitive Adsorption, Cosolventen, NAPL	363
17.6.4.6	Kinetik	364
17.6.5	Verlagerung	364
17.6.5.1	Wassertransport	364
17.6.5.2	Gasförmiger Transport	366
17.6.5.3	Verlagerung durch Turbationsprozesse	367
17.6.5.4	Verlagerung durch Erosion und Oberflächenabfluss	367
17.6.6	Verflüchtigung	367
17.6.7	Abbau	368
17.6.7.1	Chemischer Abbau	369
17.6.7.2	Fotochemischer Abbau	369
17.6.7.3	Biochemischer Abbau	370
17.6.7.4	Physikochemische Eigenschaften	372
17.6.7.5	Rahmenbedingungen	373
17.6.7.6	Testmethoden und Schätzmodelle	373
17.6.8	Bioverfügbarkeit und Bioakkumulation	374
17.6.9	Pflanzenaufnahme	375
17.6.10	Wirkung	377
17.6.10.1	Mikroorganismen	380
17.6.10.2	Bodentiere	380
17.6.10.3	Pflanzen	380
	<i>Literatur</i>	385
17.7	Cyanide	394
17.7.1	Eigenschaften, Eintragspfade, Gehalte in Böden	394
17.7.2	Prozesse und Verhalten im Boden	395
17.7.3	Analytik und Bodenschutz	396
	<i>Literatur</i>	396
17.8	Radionuklide	397
17.8.1	Natürliche Gehalte	398
17.8.2	Einträge	400
17.8.2.1	Natürliche Radionuklide	400
17.8.2.2	Einträge durch den Betrieb kerntechnischer Anlagen	400

17.8.2.3	Kernwaffenexplosionen	402
17.8.3	Bodenstrahlung und Strahlenexposition	403
17.8.4	Verhalten in Böden	403
17.8.4.1	Strontium	405
17.8.4.2	Cäsium	406
17.8.4.3	Uran	407
17.8.4.4	Plutonium	407
17.8.4.5	Radon	408
17.8.4.6	Radium	409
17.8.4.7	Iod	409
17.8.4.8	Tritium	409
17.8.4.9	Radiokohlenstoff	410
17.8.5	Übergang von Radionukliden in die Pflanze	411
17.8.6	Auswirkungen auf die belebte Umwelt	412
17.8.7	Böden als Quelle und Senke für Radionuklide	412
	<i>Literatur</i>	416
17.9	Pathogene Agenzien und gentechnisch veränderte Organismen	416
17.9.1	Einführung und Definitionen	416
17.9.2	Quellen und Verbleib in Böden	416
17.9.3	Nematoden	417
17.9.4	Bakterien	417
17.9.5	Viren	417
17.9.6	Prionen	419
17.9.7	Gentechnisch veränderte Organismen (GVO)	419
	<i>Literatur</i>	420
18	Verwertung und Deponierung von Abfällen	422
18.1	Abfallstoffe – Art und Mengen	422
	<i>Literatur</i>	424
18.2	Abfalldeponien	425
18.2.1	Grundsätzliches	425
18.2.2	Deponierung von Abfall	425
18.2.3	Prozesse nach der Abfallablagerung	430
18.2.4	Belastungen durch Sickerwässer und Gase	431
18.2.5	<i>Literatur</i>	432
18.3	Bioabfallkompostanwendung	433
	<i>Literatur</i>	435
18.4	Abwasserverwertung	436
18.4.1	Abwasserbehandlung und -nutzung	437
18.4.2	Vorbehandlung und Ausbringung	437
18.4.3	Wirkungen auf den Boden	439
18.4.4	Wirkungen auf Kulturpflanzen	442
18.4.5	Eignung der Böden	443
18.4.6	Ausmaß landwirtschaftlicher Abwasserverwertung in Deutschland	443
	<i>Literatur</i>	445
18.5	Klärschlammasbringung	446
18.5.1	Vorbehandlung, Anfall, Zusammensetzung von Klärschlamm	446
18.5.1.1	Vorbehandlung	446
18.5.1.2	Anfall	447
18.5.1.3	Zusammensetzung	447
18.5.2	Klärschlammeinsatz in der Landwirtschaft	451
18.5.2.1	Ausbringetechnik und -menge	451
18.5.2.2	Wirkung auf Bodeneigenschaften und -fruchtbarkeit	451
18.5.3	Klärschlammeinsatz im Landschaftsbau	452
	<i>Literatur</i>	453
19	Gase und Wärme	455
19.1	Einführung	455
19.2	Gaskontaminationen der Böden	455
19.2.1	Ursachen	455

19.2.2	Verhalten in Böden	455
19.2.3	Wirkungen auf Böden und Bodenorganismen	455
19.2.4	Nachweis der Bodengase und Lecksuche	457
19.2.5	Leckagegase und Baumsterben	457
19.3	Anthropogene Bodenerwärmung	458
19.3.1	Ursachen	458
19.3.2	Wärmeverhalten im Boden	460
19.3.3	Wärmewirkungen auf Böden und Bodenorganismen	460
19.4	Anthropogene Bodenkühlung	462
19.4.1	Ursachen	462
19.4.2	Kältewirkungen in Böden	463
	<i>Literatur</i>	464
20	Anthropogene Böden	465
20.1	Einführung	465
20.2	Anthropogene Substrate	465
20.2.1	Umgelagertes Substrat natürlicher Lithogenese	465
20.2.2	Technogene Substrate	467
20.3	Böden unter forstwirtschaftlicher Nutzung	469
20.4	Böden unter Acker- und Grünlandnutzung	470
20.5	Böden des Garten- und Weinbaus	473
20.6	Böden entlang der Verkehrswege	473
20.7	Böden städtisch-industrieller Verdichtungsräume	474
20.7.1	Standort- und Bodeneigenschaften	474
20.7.2	Bodenentwicklung	477
20.8	Böden von Militärstandorten	478
20.9	Bodenklassifikation	479
	<i>Literatur</i>	482
21	Wirkungen globaler Klimaveränderung	485
21.1	Einführung	485
21.2	Wirkung auf Landböden	486
21.3	Wirkung auf Küstenböden	487
21.4	Wirkung auf Permafrostböden	488
	<i>Literatur</i>	488
TEIL III Bodeninventur als Grundlage des Bodenschutzes		489
22	Einführung	489
	<i>Literatur</i>	489
23	Bodeninformationssysteme	490
23.1	Warum benötigen wir Informationen zu Böden?	490
23.2	Ziele des Aufbaus und der Verwendung von Bodeninformationssystemen	491
23.3	Informationsgrundlagen	491
23.3.1	Bodenkundlich-geowissenschaftliche Grundlagen	491
23.3.2	Bodenkarten	491
23.3.3	Daten der Bodenschätzung	494
23.3.4	Kataster	494
23.3.5	Stoffdaten	494
23.3.6	Bodenuntersuchungen	494
23.3.7	Bodendauerbeobachtungsflächen (BDF)	494
23.3.8	Messkampagnen	495
23.4	Methoden der Auswertungen	495
23.4.1	Statistik, Geostatistik, Klassenbildung	495
23.4.2	Methodenbanken	496
23.4.3	Auswertungen in Form von Karten	496
23.5	Technik in Bodeninformationssystemen	496
23.5.1	Interne Nutzung	496

23.5.2	Öffentliche Nutzung	496
23.5.3	Datenbanken	496
23.5.4	GIS-orientierte Systeme	497
23.5.5	Web-orientierte Systeme	497
23.5.6	Portale	497
23.5.7	Portal U	497
23.5.8	EUGRIS	497
23.6	Datenaustausch und Berichterstattung	497
23.6.1	National	497
23.6.2	Europäische Union	498
23.6.3	Netzwerke	498
23.7	Ausblick	498
	<i>Literatur</i>	498
24	Bodenkartierung und Auswertung von Bodenkarten	500
24.1	Einführung	500
24.2	Grundlagen der Bodenkartierung	500
24.3	Flächeninventur, Bodenkarte und Bodenvergesellschaftung	501
24.4	Arbeitsschritte der Bodenkartierung	503
24.5	Technische Durchführung von Bohrungen und Anlage von Schürfgruben	505
24.6	Arbeitsgeräte und Unterlagen der Bodenkartierung	505
24.7	Auswertungs- und Anwendungsmöglichkeiten von Bodenkarten	506
	<i>Literatur</i>	507
25	Precision Farming	509
25.1	Precision Farming – standortangepasste teilschlagspezifische Bewirtschaftung	509
25.2	Geodaten zur Beschreibung der Bodenheterogenität	509
25.2.1	Vorhandene Geodaten	509
25.2.2	Fern- und Naherkundung	511
25.3	On site-Erhebungen	512
25.4	Geodateninfrastrukturbasierte Datenerhebung	513
	<i>Literatur</i>	514
TEIL IV Schutz von Böden		515
26	Einführung	515
	<i>Literatur</i>	516
27	Bodenschutzrecht	517
27.1	Einführung	517
27.2	Europarecht	519
27.3	Bodenschutz im Völkerrecht	520
27.4	Deutschland	521
27.4.1	Überblick über die gesetzlichen Regelungen des Bodenschutzes	521
27.4.2	Verfassungsrecht	522
27.4.3	Qualitativer Bodenschutz nach Bundes-Bodenschutzgesetz	522
27.4.3.1	Grundlagen	522
27.4.3.2	Behördliche Eingriffsermächtigungen	523
27.4.3.3	Vermeidung und Begrenzung von Bodenbelastungen	524
27.4.3.4	Sanierung	524
27.4.3.5	Altlasten	524
27.4.3.6	Gefährdungsabschätzung und Untersuchung	524
27.4.3.7	Nutzungsabhängigkeit der Sanierung	525
27.4.3.8	Verhältnismäßigkeit und Prioritätensetzung	525
27.4.3.9	Adressaten	525
27.4.3.10	Adressatenauswahl	526
27.4.3.11	Kosten von Sanierungs- und Untersuchungsmaßnahmen	527
27.4.3.12	Ausgleich zwischen Verantwortlichen	527
27.4.3.13	Wertausgleich	527

27.4.3.14	Sanierung durch Behörden	527
27.4.3.15	Bodenschutzrechtliche Anordnungen und Vorhabenzulassungsrecht	527
27.4.3.16	Bodensanierung bei Bauvorhaben	528
27.4.3.17	Sanierungsplan	528
27.4.3.18	Überwachung	528
27.4.3.19	Amtshaftung	528
27.4.3.20	Planung	528
27.4.4	Qualitativer Bodenschutz außerhalb des BBodSchG	528
27.4.4.1	Immissionsschutzrecht	528
27.4.4.2	Fachplanungsrecht	529
27.4.4.3	Umweltverträglichkeitsprüfung	529
27.4.4.4	Stoffrecht (Pflanzenschutz, Chemikalien, Düngemittel)	529
27.4.5	Quantitativer Bodenschutz	530
27.4.5.1	Naturschutz	530
27.4.5.2	Planungsrecht (Raumordnung/Bauleitplanung)	530
27.4.5.3	Bauleitplanung	530
27.4.5.4	Entsiegelung	531
27.5	Österreich	531
27.5.1	Überblick über die gesetzlichen Regelungen des Bodenschutzes	531
27.5.2	Altlasten	531
27.5.3	Andere Bodenbelastungen	531
27.5.4	Quantitativer Bodenschutz	532
27.5.5	Weitere Vorschriften mit Bedeutung für den Bodenschutz	532
27.6	Schweiz	532
27.6.1	Überblick über die gesetzlichen Regelungen des Bodenschutzes	532
27.6.2	Belastete Standorte	532
27.6.3	Bodenbelastungen	533
27.6.4	Quantitativer Bodenschutz	533
27.6.5	Weitere Vorschriften mit Bedeutung für den Bodenschutz	533
	<i>Literatur</i>	533
28	Bodenschutzrelevante Planungen	535
28.1	Einführung	535
28.2	Vorsorgeorientierte Planungsinstrumente	535
28.2.1	Landschaftsplanung	535
28.2.2	Räumliche Gesamtplanung	538
28.3	Bodenschutz im Rahmen von Verträglichkeitsprüfungen	539
28.3.1	Strategische Umweltprüfung SUP	540
28.3.2	Umweltverträglichkeitsprüfung UVP	540
28.4	Naturschutzrechtliche Eingriffsregelung und landschaftspflegerische Begleitplanung	541
28.5	Bodenrelevante landwirtschaftliche Fachplanungen	542
	<i>Literatur</i>	542
29	Bodenschutzrelevante Planungen im urbanindustriellen und suburbanen Raum	544
29.1	Einleitung	544
29.2	Generelle Regelung des Bodenschutzes	544
29.3	Spezieller Bodenschutz in der Stadtplanung	544
29.3.1	Bedarf bodenkundlicher Daten in der urbanen Planung	544
29.3.2	Aufgaben der Stadtplanung	545
29.3.2.1	Stadtentwicklungsplanung	545
29.3.2.2	Bauleitplanung	545
29.3.2.3	Flächennutzungsplan (vorbereitender Bauleitplan)	547
29.3.2.4	Bebauungsplan (verbindlicher Bauleitplan)	547
29.3.2.5	Zulässigkeit von Vorhaben und das Bauen im Außenbereich	548
29.4	Datenbedarf zum Bodenschutz für Fachplanungen	548
29.5	Anforderungsprofil an Bodendaten	549
29.6	Probleme der Funktionsbewertung	550
29.7	Klassifizierung von Bodenfunktionen	551
29.8	Zielsysteme des Bodenschutzes	551
29.9	Umsetzung im urbanen und suburbanen Bereich	553

29.10	Bodenschutzplanung – eine Fallstudie	554
29.10.1	Ziel und Gebietsauswahl	554
29.10.2	Datensituation	554
29.10.3	Bodenformenkarte von Eckernförde	554
29.10.4	Nutzungsentwicklung, anthropogene Überformung und relative Naturnähe	555
29.10.5	Oberflächennaher Bodenwasserhaushalt	557
29.10.6	Zielsystem des Bodenschutzes für die Stadt Eckernförde	558
29.10.7	Die kartografische Umsetzung der Bewertung	558
29.10.8	Zusammenfassende planerische Empfehlungen	561
	<i>Literatur</i>	563
30	Schutz vor Versiegelung	565
30.1	Einführung	565
30.2	Gesetzliche Regelungen	565
30.2.1	Bundesbodenschutzgesetz	565
30.2.2	Raumordnung und Bauleitplanung	565
30.2.3	Umweltverträglichkeitsstudie (UVS) und -prüfung (UVP)	566
30.3	Beispiele für die Vermeidung von Versiegelung auf kommunaler Ebene	566
30.3.1	Planungsvorgaben	566
30.3.2	Bodenversiegelungsausgleichsverordnung	566
30.3.3	Biotopflächenfaktor	566
30.4	Finanzielle Anreize	567
	<i>Literatur</i>	567
31	Schutz vor Verdichtung und negativen Bearbeitungsfolgen	568
31.1	Schutz vor Verdichtung und deren Folgen	568
31.1.1	Technische Maßnahmen	568
31.1.2	Betriebswirtschaftliche und pflanzenbauliche Maßnahmen	570
31.2	Vermeidung und Verminderung negativer Folgen der Bodenbearbeitung	571
31.3	Möglichkeit der Vorhersage der mechanischen Belastbarkeit	573
	<i>Literatur</i>	574
32	Schutz vor Bodenabtrag und dessen Folgen	575
32.1	Schutz vor Wassererosion	575
	<i>Literatur</i>	578
32.2	Schutz vor Winderosion	578
32.2.1	Maßnahmen zur Reduzierung der bodennahen Windgeschwindigkeit	578
32.2.2	Maßnahmen zur Erhöhung der Widerstandsfähigkeit der Bodenoberfläche	580
	<i>Literatur</i>	581
32.3	Schutz vor Massenversatz am Hang	582
32.3.1	Einleitung	582
32.3.2	Lebendverbau	582
32.3.3	Maßnahmen mit technogenen Baustoffen	584
32.3.4	Kombinierte Bauweisen	585
	<i>Literatur</i>	585
33	Schutz vor stofflichen Belastungen und deren Folgen	586
33.1	Schutz vor Überdüngung	586
33.1.1	Düngebedarfsermittlung	586
33.1.2	Maßnahmen zur Verminderung von Überdüngung	587
33.1.2.1	Bemessung der Stickstoffgabe	587
33.1.2.2	Administrative Maßnahmen	590
	<i>Literatur</i>	590
33.2	Schutz der Böden vor verstärkter Versauerung	591
33.2.1	Prinzipielles	591
33.2.2	Umsetzung der Umweltpolitik zur Reinhaltung der Luft	591
33.2.3	Eingriffe in Stoffkreisläufe	591
33.2.4	Kalkung von Wäldern	591
33.2.5	Düngung und Kalkung von Agrarstandorten	592
	<i>Literatur</i>	593
		594

33.3	Schutz vor Metallen und deren Folgen	595
33.3.1	Einleitung	595
33.3.2	Vermeidung des Metalleintrags	595
33.3.3	Nutzungsbeschränkungen bei stärkerer Belastung	595
33.3.4	Prognose der Empfindlichkeit von Böden gegenüber Metallbelastungen	596
33.3.5	Verbesserung der Bodenpufferung	600
	<i>Literatur</i>	600
33.4	Schutz vor Salzen und Sanierung	601
33.4.1	Einleitung	601
33.4.2	Grundwasserregulation durch Dränage und Vorflut	601
33.4.3	Salzauswaschung mit salzarmem Bewässerungswasser	602
33.4.4	Meliorationsdüngung	603
33.4.5	Bodenlockerung	603
33.4.6	Chemomelioration	604
33.4.7	Biomelioration	604
33.4.8	Vermeidung von Streusalzschäden in Böden arider und humider Klimate	604
	<i>Literatur</i>	605
33.5	Schutz vor Pflanzenschutzmittelbelastung	606
33.5.1	Gesetzliche Normen für umweltschonenden Einsatz	606
33.5.2	Umweltschonender Einsatz	608
33.5.3	Alternative Maßnahmen gegen Verunkrautung	612
33.5.3.1	Vorbeugende Maßnahmen	612
33.5.3.2	Thermische Unkrautbekämpfung	612
33.5.3.3	Mechanische Unkrautbekämpfung	612
33.5.3.4	Einsatz von Düngemitteln mit herbizider Wirkung	614
33.5.4	Biotechnische Verfahren der Schädlingsbekämpfung	614
33.5.5	Biologische Maßnahmen der Schädlingsbekämpfung	614
33.5.6	Konzept des integrierten Pflanzenbaus	616
	<i>Literatur</i>	617
33.6	Schutz vor weiteren anthropogenen Organika-Einträgen	618
33.6.1	Einleitung	618
33.6.2	Vorsorge durch Überwachung und Bewertung von Schadstoffbelastungen	619
33.6.3	Vorsorge durch Abschätzen der Bodenempfindlichkeit	619
33.6.4	Vorsorge-, Richt- oder Grenzwerte	619
	<i>Literatur</i>	622
33.7	Schutz vor Kontaminationen durch Deponien	624
	<i>Literatur</i>	625
33.8	Schutz vor Kontaminationen bei Reststoffverwertung	625
33.8.1	Einführung	625
33.8.2	Gesetzliche Grundlagen	625
33.8.2.1	Abfallrecht	625
33.8.2.2	Klärschlammverordnung	626
33.8.2.3	Bioabfallverordnung	626
33.8.2.4	Bodenschutzgesetzgebung	628
33.8.3	Verbringung von Abfällen auf Böden	628
33.8.4	Grundsätzlicher Schutz vor Kontamination	630
	<i>Literatur</i>	630
34	Schutz durch Erziehung	632
34.1	Notwendigkeit, Schwierigkeiten und Möglichkeiten	632
34.1.1	Notwendigkeit	632
34.1.2	Schwierigkeiten	632
34.1.3	Möglichkeiten	633
34.2	Bodenschutz im Schul- und Hochschulbereich	634
34.3	Bodenschutz in der außerschulischen Bildungsarbeit	636
34.4	Unterrichtsmaterialien zum Bodenschutz	637
34.4.1	Bücher, Artikel und Arbeitshilfen	638
34.4.2	Diaserien, Filme, Videos und Multimediaerzeugnisse	638
34.4.3	Internet	639
	<i>Literatur</i>	639

TEIL V Sanierung, Sicherung und Renaturierung von Böden	643
35 Einführung	643
<i>Literatur</i>	644
36 Entsiegelungspotenziale und Entsiegelung von Böden	645
36.1 Einleitung	645
36.2 Nutzen und Risiko von Entsiegelungsmaßnahmen	645
36.3 Erfassung von Entsiegelungspotenzialen	646
36.4 Entsiegelungstechniken	646
36.4.1 Teilversiegelung und Belagsänderung	647
36.4.2 Versickerung von Regenwasser	647
<i>Literatur</i>	648
37 Kultivierung aufgetragener Böden	649
37.1 Kultivierung von Abgrabungsflächen am Beispiel der drei Braunkohlentagebaureviere Rheinisches Revier, Mitteldeutsches Revier und Lausitzer Revier	649
37.2 Kultivierung von Hafenschlick-Spülflächen am Beispiel Emden	651
37.3 Kultivierung von Deponieflächen	651
<i>Literatur</i>	653
38 Renaturierung von Feuchtgebieten	654
38.1 Definition und Bedeutung der Feuchtgebiete	654
38.2 Verluste an Feuchtgebieten	654
38.3 Begriffe, Ziele, Strategien	655
38.4 Einzelne Feuchtgebiete	655
38.4.1 Moore	655
38.4.2 Bach- und Flussauen	657
38.4.3 Kleine Stillgewässer	658
38.4.4 Quellen	658
38.4.5 Weitere stau- und grundwasservernässte Flächen	659
38.4.6 Salzwiesen	659
<i>Literatur</i>	660
39 Sanierung verdichteter Böden	662
39.1 Behebung von Verdichtungen in der Krume	662
39.2 Beseitigung von Unterbodenverdichtungen und -verfestigungen	663
39.3 Auflockerung von Verdichtungen durch natürliche Faktoren und Prozesse	665
39.4 Dauer der Auflockerung	665
<i>Literatur</i>	666
40 Sanierung und Sicherung kontaminierter Böden und Substrate	667
40.1 Einleitung	667
40.2 Dekontaminationsverfahren	668
40.2.1 Ex situ-Sanierungsverfahren (Substratsanierungen)	670
40.2.2 In situ-Sanierungsverfahren	672
40.2.2.1 Verfahren zum physikalischen Schadstoffaustrag	673
40.2.2.2 Verfahren mit hydraulischem Wirkprinzip	676
40.2.2.3 Verfahren mit chemischem Wirkprinzip	679
40.2.2.4 Verfahren mit biologischem Wirkprinzip	681
40.3 Sicherungsverfahren	684
40.3.1 Verfahren gegen äußere Einflüsse, die eine Ausbreitung der Schadstoffe bewirken können	685
40.3.2 Verfahren, die unmittelbar einer Ausbreitung der Schadstoffe entgegenwirken	685
40.3.3 Reaktive Wände, Funnel und Gates	686
40.3.4 Biologische Reinigungswände	687
40.4 Monitored Natural Attenuation	687
40.5 Sanierung versalzter Böden und nach Belastung mit Radionukliden	688
<i>Literatur</i>	689

TEIL VI Farbtafeln und Anhänge	691
Farbtafeln	691
Anhang A: Abkürzungen	717
Anhang B: Maßeinheiten	718
Stichwortverzeichnis	719