

Frank-Michael Lange
Hellmuth Mohr
Andreas Lehmann
Jürgen Haaff
Karl Stahr

Bodenmanagement in der Praxis

Vorsorgender und nachsorgender
Bodenschutz – Baubegleitung –
Bodenschutzrecht

Bodenmanagement in der Praxis

Frank-Michael Lange · Hellmuth Mohr ·
Andreas Lehmann · Jürgen Haaff · Karl Stahr

Bodenmanagement in der Praxis

Vorsorgender und nachsorgender
Bodenschutz – Baubegleitung
– Bodenschutzrecht

Frank-Michael Lange
terra fusca Ingenieure PartG
Stuttgart, Deutschland

Jürgen Haaff
Berghof Umweltanalytik
Tübingen, Deutschland

Hellmuth Mohr
Rechtsanwälte Wesch & Buchenroth
Stuttgart, Deutschland

Karl Stahr
Institut für Bodenkunde
Universität Hohenheim
Stuttgart, Deutschland

Andreas Lehmann
terra fusca Ingenieure PartG
Stuttgart, Deutschland

ISBN 978-3-658-10058-2
<https://doi.org/10.1007/978-3-658-10059-9>

ISBN 978-3-658-10059-9 (eBook)

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Vieweg

© Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH 2017

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften. Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Lektorat: Dr. Daniel Fröhlich

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Vieweg ist Teil von Springer Nature
Die eingetragene Gesellschaft ist Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH
Die Anschrift der Gesellschaft ist: Abraham-Lincoln-Str. 46, 65189 Wiesbaden, Germany

Vorwort des Verlages

Der Verlag bedankt sich bei Herrn Dr. Lange für das Einbringen seines Buchkonzeptes und bei Herrn Dr. Mohr und Herrn Dr. Lange für das Aufgreifen der Publikationsidee aus einem Gespräch heraus.

Wiesbaden, 2016

Der Verlag

Danksagung

Dieses Werk ist das Ergebnis einer interdisziplinären Zusammenarbeit verschiedener Wissenschaftler und Praktiker und wurde im Rahmen begleitender Vorlesungen für das Fach Bodenmanagement an der Universität Hohenheim, Institut für Bodenkunde und Standortlehre, seit 2004 erarbeitet und laufend aktualisiert. In diesem Kontext gebührt herzlicher Dank: Dr. Dietrich Halm (DFG, Bonn), Prof. Sabine Fiedler (Universität Mainz), Dr. Otto Ehrmann (Bildarchiv Boden, Creglingen), Dr. Hans-Georg Edel (Züblin Umwelttechnik GmbH), Prof. Friedrich Rück (FH Osnabrück), Hermann J. Kirchholtes (Amt für Umweltschutz, Stuttgart), Thomas Osberghaus (HPC AG, Rottenburg), Sabine Weissinger (freie Journalistin, Stuttgart) sowie den Vertretern der Altlasten-, Bodenschutz- und technischen Fachbehörden der Länder (stellvertretender Dank an Dr. Rolf Hahn, LfU Baden-Württemberg; Eva Merkel, LfU Sachsen-Anhalt, Dr. Horst Manns LUA, Nordrhein-Westfalen und Peter Börke, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie). Großer Dank gebührt Frau Ariane Vatovac (Leonberg) und Frau Jeannette Krause (Leipzig) sowie den Herren Benjamin Reichelt (Ostfildern) und Martin Reichelt (Karlsruhe) für Recherchen, Korrekturen und Layout. Danken möchte ich an dieser Stelle ausdrücklich in memoriam Herrn Dr. Günter Scholich (Uni Hohenheim, †). Herrn Dr. Fröhlich vom Verlag SpringerVieweg gebührt besonderer Dank für die hervorragende Zusammenarbeit und für die große Geduld während der Produktion. Herzlichen Dank an dieser Stelle an die Mitautoren Herrn Prof. Dr. Karl Stahr, Herrn Dr. Helmuth Mohr, Herrn Dr. Andreas Lehmann und Herrn Jürgen Haaff für die konstruktive und ausgezeichnete Zusammenarbeit.

Frank-Michael Lange – Oktober 2017

Die Autoren

Dr. rer. nat. Frank Michael Lange

für die Kapitel Boden als Abfall (2), Nachsorgender Bodenschutz und Altlasten (7) und Boden als Abfall (8).

Lange ist Lehrbeauftragter am Institut für Bodenkunde und Standortslehre an der Universität Hohenheim. Als Partner eines Ingenieurbüros und Freier Sachverständiger verfügt er über einen umfangreichen Erfahrungsschatz aus Gutachten und umwelttechnischen Beratungs- und Ingenieurdienstleistungen in den Bereichen Bodenschutz, Schadstoffbewertung in Böden und Altlastenerkundung.

Dr. jur. Hellmuth Mohr

für die Kapitel Gesetze und Verordnungen sowie Rechtsprechung (3, 4, 5)

Mohr ist als Rechtsanwalt tätig und war unter anderem am Wirtschafts- und Finanzministerium sowie als Bürgermeister der Stadt Nürtingen tätig. In seiner Promotion beschäftigte er sich ausführlich mit der bodenschutzrechtlichen Haftung des Zustandsstörers bei Verschulden.

Dr. sc. agr. Andreas Lehmann

für das Kapitel Vorsorgender Bodenschutz – Bodenkundliche Baubegleitung – Optimieren von Böden bei Baumaßnahmen (6)

Lehmann arbeitet universitär und außeruniversitär als Bodenkundler und Ökologe, seit 2010 auch als Bodenkundlicher Baubegleiter. Er ist seit 2016 Gesellschafter der terra fusca Ingenieure PartG.

Jürgen Haaff

für das Kapitel Boden als Abfall (8.5)

Haaff ist bei Berghof Analytik + Umweltengineering Abteilungsleiter für Umweltanalytik und Probenahme, weiß um die Notwendigkeit einer ordnungsgemäßen und repräsentativen Probenahme und schult regelmäßig zu den aktuell geltenden Probenahmerichtlinien im Bereich Wasser, Abwasser und Abfall.

Prof. Dr. Karl Stahr

für die Kapitel Boden als Ressource (1) und vorsorgender Bodenschutz – Oberbodenmanagement (2)

Stahr ist Autor zahlreicher Fachaufsätze und wirkt an mehreren bodenkundlichen Büchern, unter anderem an „Scheffer/Schachtschabel Lehrbuch der Bodenkunde“, mit. Er leitete viele Jahre das Institut für Bodenkunde und Standortlehre der Fakultät Agrarwissenschaften an der Universität Hohenheim.

Die Autoren sind in einschlägigen Gremien tätig und haben in zahlreichen Vorträgen und Veröffentlichungen aus ihrem Arbeitsbereich berichtet.

Inhaltsverzeichnis

Teil I Boden – mehr als Dreck

1	Einführung – Boden als Ressource	3
1.1	Böden sind die Haut der Erde	4
1.2	Böden sind eine endliche Ressource	4
1.3	Historischer Umgang mit Böden oder wie die Menschen ihre Böden kennengelernt haben	5
1.4	Leistungen von Böden im Naturhaushalt und für die Gesellschaft	6
1.5	Böden sind das 3. Umweltmedium	8
1.6	Zukünftiger Umgang mit Böden	9
1.7	Unsere Herausforderungen in der Zukunft	10
	Literatur	10
2	Kleine Bodenkunde für Techniker und Ingenieure	13
2.1	Grundsätzliche Informationen zum Thema Boden	13
2.2	Die Bodenfunktion	14
2.2.1	Natürliche Bodenfunktion	15
2.2.2	Archivfunktion des Bodens	21
2.2.3	Nutzungsfunktion von Böden	22
2.3	Beschreibung und Klassifizierung von Böden und Standorten – Wissenswertes zu Böden	25
2.3.1	Die Bodenklassifizierung	25
2.3.2	Böden und Landschaft – Zusammenhänge	28
2.4	Böden als Elemente von Stoffkreisläufen	29
2.5	Bodenbildung	36
2.5.1	Bodenbildende Prozesse und Beschreibung verschiedener natürlicher Bodentypen	36
2.5.2	Typische Bodengesellschaften und Bodentypen in Deutschland	44
2.5.3	Anthropogene Böden	53

2.6	Von der Bodenprobe zur Standortbewertung	55
2.7	Ökologische Bewertung von Böden und Bodenhorizonten	72
	Literatur	73

Teil II Rechtliche Grundlagen beim Umgang mit Boden

3	Rechtliche Grundlagen des vorsorgenden Bodenschutzes	79
3.1	Gesetze, Verordnungen	79
3.1.1	EU	79
3.1.2	Bund	79
3.1.3	Länder	81
3.2	Rechtsprechung	84
3.2.1	Einführung	84
3.2.2	Vorsorgender Bodenschutz im BBodSchG	86
3.2.2.1	Aktuelle Rechtslage	86
3.2.2.2	Die Neufassung der BBodSchV als Teil der geplanten Mantelverordnung	90
3.2.3	Vorsorgender Bodenschutz außerhalb des BBodSchG	94
3.2.3.1	Raumordnungsrecht	94
3.2.3.2	Bauleitplanungsrecht	96
3.2.3.3	Fachplanungsrecht	102
3.2.3.4	Immissionsschutzrecht	103
3.2.3.5	Naturschutzrecht	105
3.3	Weiterführende Literatur	111
4	Rechtliche Aspekte des nachsorgenden Bodenschutzes und von Altlasten	113
4.1	Gesetze, Verordnungen	113
4.1.1	EU	113
4.1.2	Bund	113
4.1.3	Länder	114
4.2	Rechtsprechung	115
4.2.1	Rechtliche Grundlagen außerhalb des BBodSchG	115
4.2.2	Hinweise und Fallstricke beim Umgang mit belastetem Boden	116
4.2.3	Die Adressaten der Pflichten im nachsorgenden Bodenschutz	129
4.2.3.1	Der Verursacher	129
4.2.3.2	Der Gesamtrechtsnachfolger des Verursachers	134
4.2.3.3	Der Eigentümer und der Inhaber der tatsächlichen Gewalt	136
4.2.3.4	Die Haftungsbegrenzung für den Zustandsverantwortlichen	138
4.2.3.5	Der Derelinquent	141
4.2.3.6	Der Alteigentümer	142

4.2.3.7	Der Verantwortliche nach Handels- oder Gesellschaftsrecht	144
4.2.4	Die Auswahl unter mehreren Verpflichteten	145
4.2.5	Die Rückgriffsmöglichkeit nach § 24 Abs. 2 BBodSchG	147
4.2.6	Das Sanierungsverfahren bei schädlichen Bodenveränderungen und Altlasten	152
4.2.7	Der öffentlich-rechtliche Sanierungsvertrag und der Sanierungsplan	161
4.2.8	Ergänzende Länderregelungen zum nachsorgenden Bodenschutz	162
4.3	Literatur	163
5	Boden als Abfall	165
5.1	Gesetze, Verordnungen	165
5.1.1	EU	165
5.1.2	Bund	165
5.1.3	Land	165
5.2	Rechtsprechung	166
5.2.1	Die Abgrenzung zwischen Boden und Abfall	166
5.2.2	Die abfallrechtliche Verantwortung	167
5.2.3	Bodenschutz bei der Planung von Abfalldeponien	174
5.3	Literatur	175

Teil III Bodenschutz und Bodenmanagement – Praxis

6	Vorsorgender Bodenschutz – Bodenkundliche Baubegleitung – Optimieren von Böden bei Baumaßnahmen	179
6.1	Schutz der Lebensgrundlage Boden durch bodenkundliche Baubegleitung	179
6.2	Rechtlicher Rahmen	180
6.3	Das Bodenmanagementkonzept – von der Planung über den Bau bis zur Nachsorge	181
6.4	Möglichkeiten und Chancen des Bodenschutzes beim Bau	184
6.5	Position der bodenkundlichen Baubegleitung	186
6.6	Bodenschutzmaßnahmen	187
6.6.1	Abstimmen der Baumaßnahmen auf die Bodenfeuchte	187
6.6.2	Befahren	188
6.6.3	Oberbodenabtrag	189
6.6.4	Aus- und Einbau von Boden	190
6.6.5	Rückverdichtung	192
6.6.6	Bodenmieten	193
6.6.7	Bodenauftrag	202
6.6.8	Bodenlockerung und Rekultivierung	202

6.6.9	Optimieren von Böden für die dezentrale Versickerung und die Klimaregulation	204
6.7	Perspektiven der bodenkundlichen Baubegleitung	208
	Literatur	209
7	Nachsorgender Bodenschutz und Altlasten	211
7.1	Arten der Erkundung, Untersuchung und Bewertung von Schadstoffen in Böden	211
7.2	Die historische Erkundung: Erfassung altlastenverdächtiger Flächen	212
7.3	Konkrete Durchführung der historischen Erkundung	217
7.3.1	Archivrecherchen	217
7.3.2	Recherche der Standortgegebenheiten	221
7.3.3	Befragung und Ortsbegehung default]Befragung und Ortsbegehung	224
7.3.4	Gutachten und Berichterstellung	226
7.4	Bedeutung und Durchführung der orientierenden Untersuchung	227
7.4.1	Wichtige Vorbetrachtungen und Strategieplanung	227
7.4.2	Praktisches Vorgehen bei der orientierenden Untersuchung	230
7.5	Die Detailuntersuchung	242
7.5.1	Wichtige Vorbetrachtungen und Planung der Erkundungsstrategie	242
7.5.2	Die technische Erkundung default]technische Erkundung	243
7.5.3	Kriterien der Schadstoffbewertung	245
7.6	Professionelle Sicherung und Sanierung von Altlasten	251
7.6.1	Ziele und Sicherung der Altlastensanierung	251
7.6.2	Eine erfolgreiche Sanierungsuntersuchung	251
7.6.3	Detaillierter Ablauf der Sanierungsuntersuchung	253
7.6.4	Vorgehen bei einer Sanierungsplanung und Erstellung eines Sanierungsplans	262
7.6.4.1	Chronologischer Ablauf der Sanierungsplanung	262
7.6.4.2	Definition Sanierungsplanung	262
7.6.4.3	Entwurfsplanung	263
7.6.4.4	Kostenermittlung	264
7.6.4.5	Die Projektablaufplanung	264
7.6.4.6	Genehmigungsplanung	264
7.6.4.7	Genehmigungspflichtige Belange	265
7.6.4.8	Zwingende Inhalte eines Sanierungsplans	265
7.6.4.9	Verbindlichkeitserklärung Sanierungsplan	267
7.6.4.10	Ausführungsplanung	267
7.6.4.11	Leistungsvergaben im Rahmen der Sanierung und Erkundung	268
7.7	Gebräuchliche Sanierungs- und Sicherungsverfahren	271
7.7.1	Die Sanierungsdurchführung	271
7.7.2	Aktueller Stand der Sicherungstechniken	273

7.7.3	Sicherungstechniken	274
7.7.4	Sanierungstechniken	276
7.7.4.1	Ex-situ-Verfahren stationärer und mobiler Bodenreinigungsanlagen	276
7.7.4.2	Biologische Ex-situ-Verfahren	278
7.7.4.3	In-situ-Verfahren	278
7.7.4.4	Biologische In-situ-Verfahren	284
7.7.5	Ökobilanzierung der Sanierungsverfahren	286
7.7.6	Sanierungs- und Sicherungsüberwachung einschließlich Nachsorge	287
7.7.7	Sanierungsfinanzierung	291
	Literatur	292
8	Boden als Abfall	295
8.1	Einleitung: Daten und Fakten	295
8.2	Rechtliche Grundlagen	296
8.2.1	Boden	296
8.2.2	Abfall	297
8.2.3	Boden und Abfall	298
8.2.4	Bewertung und Verwertung von mineralischen Abfällen – LAGA M 20	301
8.3	Länderspezifische Regelungen Boden als Abfall	303
8.4	Erkundung und Bewertung von als Abfall eingestuftem Bodenmaterial	309
8.5	Die Probenahme nach LAGA PN 98 ergänzt um Hinweise aus der DIN 19698-1	310
8.5.1	Bedeutung der Probenahme und des Probenehmers auf die Qualität des Untersuchungsergebnisses	310
8.5.2	Anwendung der LAGA PN 98 am Beispiel eines Haufwerks aus der Altlastenbearbeitung	311
8.5.2.1	Vorgaben der LAGA PN 98	311
8.5.2.2	Probenahmestrategien	312
8.5.2.3	Probenahmeplan	313
8.5.2.4	Durchführung der Probenahme	314
8.5.2.5	Fallbeispiel	314
8.5.3	Aktuelle Hinweise zu Haufwerksbeprobungen – besonders Reduzierung der Anzahl von Laborproben	324
8.5.3.1	Baden-Württemberg	324
8.5.3.2	Bayern	326
8.6	Deponierung von Bodenmaterial	328
	Literatur	336

Teil IV Adressteil

9	Wie findet man die zuständigen Bodenschutzbehörden?	339
9.1	Zuständigkeit und Aufgaben der Bodenschutzbehörden	339
9.2	Bodenschutzbehörden in Baden-Württemberg	341
9.3	Bodenschutzbehörden in Bayern	344
9.4	Bodenschutzbehörden in Berlin	347
9.5	Bodenschutzbehörden in Brandenburg	351
9.6	Bodenschutzbehörden in Bremen	353
9.7	Bodenschutzbehörden in Hamburg	354
9.8	Bodenschutzbehörden in Hessen	356
9.9	Bodenschutzbehörden in Mecklenburg-Vorpommern	359
9.10	Bodenschutzbehörden in Niedersachsen	361
9.11	Bodenschutzbehörden in Nordrhein-Westfalen	364
9.12	Bodenschutzbehörden in Rheinland-Pfalz	367
9.13	Bodenschutzbehörden im Saarland	370
9.14	Bodenschutzbehörden in Sachsen	373
9.15	Bodenschutzbehörden in Sachsen-Anhalt	377
9.16	Bodenschutzbehörden in Schleswig-Holstein	379
9.17	Bodenschutzbehörden in Thüringen	382
9.18	Verbände und Behörden im Bereich Bodenschutz	384
9.19	Fachliteratur	390
Anhang: Tabellen zu Kapitel 8		393
Sachverzeichnis		429

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1	Die Stellung der Böden zwischen Atmosphäre, Lithosphäre, Hydrosphäre und Biosphäre	14
Abb. 2.2	Wesentliche Einflüsse auf die Bodenfunktionen	15
Abb. 2.3	Regenwurm <i>L. rubellus</i>	16
Abb. 2.4	Lebewesen in Böden	16
Abb. 2.5	Bodenerosion auf einem Acker	20
Abb. 2.6	Bildungsdauer von Böden	22
Abb. 2.7	Schematische Geomorphologie Deutschlands	28
Abb. 2.8	Wichtige Reliefpositionen von Standorten	29
Abb. 2.9	Der globale Wasserkreislauf mit Vorräten, Flüssen und Mengenbilanzen	30
Abb. 2.10	Der globale Stickstoffkreislauf mit Mengenbilanzen	32
Abb. 2.11	Der globale Kohlenstoffkreislauf mit Mengenbilanzen	33
Abb. 2.12	Der globale Schwefelkreislauf mit Mengenbilanzen	35
Abb. 2.13	Die Entwicklung der atmosphärischen Schwefeleinträge 1991–2015 in Waldbeständen Bayerns	36
Abb. 2.14	Gestein wird zu Boden	38
Abb. 2.15	Parabraunerde – Terra fusca	39
Abb. 2.16	Ranker	45
Abb. 2.17	Braunerde	46
Abb. 2.18	Podsol	47
Abb. 2.19	Pelosol	48
Abb. 2.20	Gley	49
Abb. 2.21	Parabraunerde	50
Abb. 2.22	Rendzina	51
Abb. 2.23	Pseudogley	52
Abb. 2.24	Munsell-Skala	56
Abb. 2.25	Unterschiedliche Bohrverfahren	57
Abb. 2.26	Abschätzung Bodenart und Korngrößenverhältnisse	61
Abb. 2.27	Erosionsanfälligkeit in Abhängigkeit der Textur	62
Abb. 2.28	Abschätzung des Humusgehalts	64
Abb. 2.29	Gefügeformen	65

Abb. 2.30	Beziehung zwischen Saugspannung/Saugspannung und Wassergehalt/Wassergehalt	70
Abb. 6.1	Blick in ein Bodenaggregat von 2–3 mm Durchmesser, bei dem ein Ausschnitt ohne undurchsichtige Bodenmaterie (<i>orange</i>) gezeigt wird. Darin werden Poren mithilfe einer röntgenmikrotomografischen Aufnahme erkennbar, ebenso sind Mineralkörner (<i>gelb</i>) zu sehen. Die Verteilung des Wassers (<i>blau</i>) und der Luft (<i>rot</i> dargestellt) wurde berechnet. Das Bodenaggregat ist bei einer Feuchtigkeit dargestellt, bei der das rasch bewegliche Wasser bereits versickert ist	185
Abb. 6.2	Anlage einer Baustraße auf ausreichend stabilem und breitem Vlies vor einer locker aufgetragenen Unterbodenmiete, die bis auf 10 m Höhe aufgetragen wurde	189
Abb. 6.3	Horizontgerechter Ausbau bei einer Linienbaustelle, beim Ausheben des Rohrgrabens für eine Rohrfernleitung (Pipeline)	191
Abb. 6.4	Rückverdichtung mit übermäßig verdichteten Lagen unter den Laufflächen der Grabenwalze (a) und moderates Rückverdichten mit der Baggerschaufel (b)	192
Abb. 6.5	Belebte Rigole beim Bau	207
Abb. 7.1	Stand der Altlastenbearbeitung in Deutschland	213
Abb. 7.2	Typischer Altlastenverdachtsfall: altes Fabrikgelände	220
Abb. 7.3	Informationsquelle Karten und Luftbilder	223
Abb. 7.4	Typischer Altlastenverdachtsfall alte Tankstelle	241
Abb. 7.5	Verteilung Sicherungs- und Sanierungstechniken am Beispiel NRW	273
Abb. 7.6	Spezialgerät zur biologischen Bodenreinigung	278
Abb. 7.7	Verfahrensschema thermisch unterstützte Bodenluftabsaugung	279
Abb. 7.8	Verfahrensschema Grundwassersanierung: Pump-and-treat	281
Abb. 7.9	Verfahrensschema reaktive Wände	284
Abb. 7.10	Verfahrensschema biologische In-situ-Sanierung	285
Abb. 8.1	Bodenbehandlungsanlage in Recyclinganlage der Fa. Feeß: Träger des Deutschen Umweltpreises 2016 in Kirchheim/Teck	299
Abb. 8.3	Anteil an Gesamtfehlern	311
Abb. 8.4	Bedeutung des Probenehmers	312
Abb. 8.5	Gesamtübersicht vom zu beprobenden Haufwerk	315
Abb. 8.6	Querschnitt von geöffnetem Haufwerk	316
Abb. 8.7	Volumenbestimmung vom trapezförmigen Haufwerk	317
Abb. 8.8	Beispiel für ein Sieb 40 × 40 mm Boden/Bauschuttgemisch	318
Abb. 8.9	Bestimmung des Größtkorns	318
Abb. 8.10	Neun Mischproben je 20 l (Foto: Jürgen Haaff)	321
Abb. 8.11	Probenverjüngung (Foto: Jürgen Haaff)	322
Abb. 8.12	Rest der Sammelprobe und Laborprobe (Foto: Jürgen Haaff)	323
Abb. 8.13	Schlackestücke im Haufwerk, in der Sammelprobe und in der Laborprobe (Foto: Jürgen Haaff)	323

Abb. 8.14	Stabilisation von leicht flüchtigen Substanzen	324
Abb. 8.15	Aufteilung eines Haufwerks in Lose/Segmente/Abschnitte	325
Abb. 8.16	Berechnung der Homogenität von Abfallproben	326
Abb. 8.17	Beurteilung von Analyseergebnissen bei homogener Schadstoffverteilung	327
Abb. A.1	Rheinland-Pfalz. Anwendungsbereich und Abgrenzung des Rundschreibens MUFV/MWVLW vom 12.12.2006 zum § 12 BBodSchV und zu den LAGA Regelwerken „TR Boden“ und „TR Bauschutt“ gem. ALEX-Infoblatt Nr. 24 des LUWG (Stand 05.2007)	419

Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1	Wichtige landschaftsbezogene Gesteine Deutschlands	29
Tab. 2.2	Gasförmige Anteile am anthropogenen Treibhauseffekt	35
Tab. 2.3	Die Wirkung des Klimas auf die Humusakkumulation	41
Tab. 2.4	Einordnung der Neigung	59
Tab. 2.5	Verhältnis Steingehalt/nutzbare Feldkapazität	64
Tab. 2.6	Kalkgehalt	66
Tab. 2.7	Schätzung des Gesamtporenvolumens (GPV), der Luftkapazität (LK), der nutzbaren Feldkapazität (nFK) und der Feldkapazität (FK) steinfreier mitteleuropäischer Böden in Abhängigkeit von Bodenart und Lagerungsdichte bzw. des Substanzvolumens	68
Tab. 6.1	Ausgewählte Eigenschaften von Pflanzenarten mit besonderer Eignung für Mietenbegrünung, Lockerung und Strukturverbesserung sowie zum Befahren und Betreten von Böden. <i>Teil A Leguminosen</i>	194
Tab. 6.2	Ausgewählte Eigenschaften von Pflanzenarten mit besonderer Eignung für Mietenbegrünung, Lockerung und Strukturverbesserung sowie zum Befahren und Betreten von Böden. <i>Teil B Nicht-Leguminosen-Kräuter</i>	196
Tab. 6.3	Ausgewählte Eigenschaften von Pflanzenarten mit besonderer Eignung für Mietenbegrünung, Lockerung und Strukturverbesserung sowie zum Befahren und Betreten von Böden. <i>Teil C Gemenge</i>	198
Tab. 6.4	Ausgewählte Eigenschaften von Pflanzenarten mit besonderer Eignung für Mietenbegrünung, Lockerung und Strukturverbesserung sowie zum Befahren und Betreten von Böden. <i>Teil D Gräser</i>	200
Tab. 6.5	Anteile der Lockerungsansaat für süddeutsches Grünland auf trockenen bis feuchten Standorten	205
Tab. 6.6	Verbleibende Probleme und Lösungsansätze für den Bodenschutz bei Baumaßnahmen	208
Tab. 7.1	Analogie der Altlastenbearbeitung in Baden-Württemberg	216
Tab. 7.2	Flächeneinteilung Wirkungspfad Boden-Mensch	227
Tab. 7.3	Aufschlussmethoden	231
Tab. 7.4	Güteklassen von Bodenproben	232
Tab. 7.5	Probenmengen in Abhängigkeit der Korngrößen	233

Tab. 7.6	Probenparameter	235
Tab. 7.7	Analytikpreisspannen (Quelle: Recherche terra fusca Ingenieure, Mai 2017)	237
Tab. 7.8	Geophysikalische Feldmethoden	243
Tab. 7.9	Möglichkeiten der Vor-Ort-Analysen für ausgewählte Schadstoffe und Parameter	244
Tab. 7.10	Prüfwerte nach BBodSchV Wirkungspfad Boden-Grundwasser	246
Tab. 7.11	Vergleich von Grenzwerten bei der Schadstoffbewertung	248
Tab. 7.12	Auswahl potenzieller Sicherungstechniken	257
Tab. 7.13	Auswahl potenzieller Sanierungstechniken – Ex-situ-Verfahren	258
Tab. 7.14	Auswahl potenzieller Sanierungstechniken – In-situ-Verfahren inkl. Grundwassersanierung	259
Tab. 7.15	Genehmigungsrechtliche Belange bei Erkundungen und Sanierungen	266
Tab. 7.15	Genehmigungsrechtliche Belange bei Erkundungen und Sanierungen	267
Tab. 7.16	Leistungen im Zusammenhang mit der Altlastenproblematik	269
Tab. 7.17	Reinigungsverfahren für kontaminierte Grundwässer	281
Tab. 7.18	Beispielhafter Kostenvergleich zwischen einer Pump-and-treat-Maßnahme und einer Reinigungswand zur Sanierung eines LCKW-Schadens, jeweils mit Aktivkohle als Sorbens bzw. sorptivem reaktivem Material	283
Tab. 8.1	Orientierungswerte für Schüttdichten verschiedener Abfälle (Mg/m^3)	317
Tab. 8.2	Mindestanzahl der Einzel-/Misch-/Sammel- und Laborproben in Abhängigkeit des Prüfvolumen	319
Tab. 8.3	Vergleich des Mindestvolumens einer Einzelprobe nach LAGA PN 98 und DIN 19698-1	321
Tab. 8.4	Anhang 4 Nr. 4 DepV – mögliche Abweichungen Kontrollanalyse	327
Tab. 8.5	Zuordnungswerte von Abfällen und Deponieersatzbaustoffen zu Deponien und Deponieabschnitten der Klasse 0, I, II oder III gemäß Tab. 2 der DepV vom 27.04.2009, Stand 04.03.2016	329
Tab. 8.6	Länderspezifische Regelungen oder Ergänzungen für Spiegeleinträge	332
Tab. 8.7	Ländereigene Behörden/Sonderabfallagenturen	334
Tab. A.1	Zuordnungswerte für Feststoffe und Eluate von mineralischen Abfällen für Boden (gem. Tab. II.1.2-2 + 3) und für Recyclingbaustoffe bzw. nicht aufbereiteten Bauschutt (gem. Tab. II.1.4.5 + 6) der LAGA M 20 1997 (Stand 06.11.2003)	393
Tab. A.2	Zuordnungswerte für Feststoffe und Eluate von mineralischen Abfällen für die Verwertung in bodenähnlichen Anwendungen (gem. Tab. II 1.2.-2 + 3) und für den eingeschränkten Einbau in technischen Bauwerken (gem. Tab. II 1.2.-4 + 5) der LAGA M 20 (Stand 05.11.2004)	396
Tab. A.3	Zulässige Obergrenzen für den Verbleib im Straßenseitenraum im Rahmen der Reprofilierung gem. Tab. 4 der „Richtlinie zum Umgang mit Bankettschälgut“ des BMVBS (Stand 20.03.2010)	398

Tab. A.4	Baden-Württemberg. Gesteine bzw. deren Böden, die geogene Schwermetallgehalte über Z 0, Z 0* und Z 1.1 aufweisen können gem. Tab. 6-2 der „VwV des UM für die Verwertung von als Abfall eingestuftem Bodenmaterial“ (Stand 01.2016; gültig bis 2019)	399
Tab. A.5	Baden-Württemberg. Zuordnungswerte für die Verwertung von Bodenmaterial gem. der „VwV des UM für die Verwertung von als Abfall eingestuftem Bodenmaterial“ (Stand 01/2016; gültig bis 2019)	400
Tab. A.6	Baden-Württemberg. Zuordnungswerte gem. der „Vorläufigen Hinweise zum Erlass zur Verwertung von Baustoffrecyclingmaterial vom 13.04.2004“ des UM BW (Stand 12.10.2015, gültig bis 31.12.2017)	402
Tab. A.7	Baden-Württemberg. Zuordnungswerte für Gleisschotter gem. Anhang 4 der „Handlungshilfe für die Verwertung von Gleisschotter“ des UM BW (Stand 03.2008)	403
Tab. A.8	Bayern. Zuordnungswerte für Eluate und Feststoffe nach Anhang 2 u. 3 des Eckpunktepapiers „Anforderungen an Verfüllung von Gruben, Brüchen und Tagebauen“ des LfU (Stand 09.12.2005)	404
Tab. A.9	Bayern. Zuordnungswerte für Feststoffe und Eluate gem. Anlage 1 des Leitfadens „Anforderungen für die Verwertung von Recyclingbaustoffen in technischen Bauwerken“ des StMUV (Stand 15.06.2005).	406
Tab. A.10	Bayern. Zuordnungswerte für Feststoffe und Eluat gem. Anhang 2 des Abfall-Merkblatts Nr. 3.4/2 „Verwertung und Beseitigung von Gleisschotter“ des StMUV (Stand 01.08.2010)	407
Tab. A.11	Hessen. Verwertung von Bodenmaterial, Bauschutt und Straßenaufbruch gem. Abb. 1 u. Anhang 1 der Richtlinie „Verwertung von Bodenmaterial, Bauschutt und Straßenaufbruch in Tagebauen und im Rahmen sonstiger Abgrabungen“ des MULKV (Stand 17.02.2014)	408
Tab. A.12	Hessen. Verwertungsmöglichkeiten und Bewertungskriterien von Bodenmaterial und Bauschutt nach Anhang 1 des Merkblatts „Entsorgung von Bauabfällen“ der Regierungspräsidien Darmstad, Gießen, Kassel (Stand, 10.12.2015).	413
Tab. A.13	Hessen. Zuordnungswerte für Boden und Bauschutt gem. Tab. 1.1, 1.2, 1.3 und 2, Anhang 1 des Merkblatts „Entsorgung von Bauabfällen“ der Regierungspräsidien Darmstad, Gießen, Kassel (Stand, 10.12.2015)	414
Tab. A.14	Zuordnungswerte Boden – Eluatgehalte. Bodenähnliche Verwendung und eingeschränkter Einbau in technischen Bauwerken	416
Tab. A.15	Bauschutt – Feststoff- und Eluatgehalte. Eingeschränkter Einbau in technischen Bauwerken	417
Tab. A.16	Nordrhein-Westfalen. Im Rahmen des Eignungsnachweises und der Güteüberwachung einzuhaltende wasserwirtschaftliche Merkmale (Eluat- und Feststoffwerte) sowie zulässige Überschreitungen (für mineralische Stoffe im Straßen- u. Erdbau) gem. Anlage 4, 5a + b und 6 des RdErl. des MWMEV u. MUNLV (vom 13.12.2001)	418

Tab. A.17	Rheinland-Pfalz. Herbizidwerte (nach Umrechnung) nach Merkblatt „Entsorgung von Gleisschotter, Analytik, Abfalleinstufung, Deponierung, Verwertung“ des LUWG (Stand 10.05.2007)	419
Tab. A.18	Zuordnungswerte von Abfällen und Deponieersatzbaustoffen zu Deponien und Deponieabschnitten der Klasse 0, I, II oder III gem. Tab. 2 der DepV vom 27.04.2009, Stand 04.03.2016	420
Tab. A.19	Baden-Württemberg. Orientierungswerte und Ablagerungshinweise nach Tab. 1 der „Handlungshilfe organische Schadstoffe auf Deponien“ des UM BW (Stand 05.2012)	424
Tab. A.20	Bayern. Richtwerte für Deponien der DK I und DK II nach DepV vom 27.04.2009 gem. LfU (Stand 09.2016)	425
Tab. A.21	Nordrhein-Westfalen. Orientierungswerte für die Ablagerung in Deponien der DK 0 bis II (max. zulässige Schadstoffkonz. im abzulagernden Abfall) sowie Orientierungswerte für die Rekultivierungsschicht gem. „Ablagerungsempfehlung für Abfälle mit organischen Schadstoffen – Vollzugshilfe –“ des MKULNV (Stand 06.12.2011)	426
Tab. A.22	Rheinland-Pfalz. Werte zur Abgrenzung der Gefährlichkeit bei belastetem Boden/Bauschutt – Feststoff-Zuordnungswerte der LAGA neue TR Boden sowie Zuordnungswerte für die Deponieklasse II gem. des Schreibens „Belasteter Boden und Bauschutt – Vollzug der Abfallverzeichnisverordnung“ des MUFV vom 12.10.2009.	427

Teil I

Boden – mehr als Dreck

► **Definition** Böden sind vierdimensionale Ausschnitte aus der oberen Erdkruste, in denen sich Gestein, Wasser, Luft und Lebewelt durchdringen. Immer da, wo die vier Komponenten Lithosphäre, Hydrosphäre, Atmosphäre und Biosphäre gleichzeitig zu beobachten sind, reden wir von Böden, die die Pedosphäre aufbauen. Definitionsgemäß fangen deshalb alle Böden an der Erdoberfläche an. Aber wie tief reichen sie? Da Böden Naturkörper sind, finden wir sie nur in der Landschaft und nicht in Gefäßen oder auf künstlich geschaffenen Oberflächen. Setzt die Besiedlung auf solchen Oberflächen aber ein, so können wir mit Algen und Bakterien oder später Flechten und Moosen, die hier leben, von Boden reden. Dieser Boden ist nur wenige Millimeter oder gar nur Mikrometer mächtig. Böden reichen typischerweise bis in Tiefen von ein bis zwei Meter. Sie umfassen dabei den Wurzelraum der höheren Pflanzen. Die Belebung in Böden und in Hohlräumen reicht aber oft wesentlich tiefer, zum Beispiel in Karstökosystemen oder in tief verwitterten saprolitischen Bereichen tropischer Regionen. Hier können 30, 50 oder auch mal 100 m erreicht werden. Eine besondere Betrachtung verdient dabei die in Böden oder Gestein mit Wasser erfüllte Zone des Grundwassers. Nach allgemeingültiger Meinung ist das Grundwasser außerhalb des Bodenbereichs und muss deshalb getrennt betrachtet werden. Andererseits enthält Wasser oft gelöste Gase und ist auch als Grundwasserkörper meist belebt. Es erfüllt also doch den Bodenbegriff. Trotzdem hat sich in der Praxis eingebürgert, dass wir da, wo das Ende des Lebens oder wo die Wassersättigung beginnt, die Definition Boden enden lassen. Wichtig ist für uns auch zu betrachten, dass die Naturkörper Böden sich in Raum und Zeit ändern, d. h., ein Boden wird nicht zweimal in vollständig der gleichen Form beobachtet werden können, da sich alle Böden im Laufe der Zeit ändern.

1.1 Böden sind die Haut der Erde

Nach der oben gegebenen Definition von Böden überziehen diese den gesamten Erdenball, insbesondere aber die Festländer, vollständig. Bodenlose Bereiche gibt es prinzipiell nicht oder nur sehr kurzfristig, bis sich das System nach Eingriffen wieder etabliert hat. Die Haut bildet Schutz vor spontanen Eingriffen, zum Beispiel bei der Einstrahlung oder Ausstrahlung schützt sie die darunterliegenden Bereiche der Erdkruste vor Frost und Hitze. Wegen der hohen Wärmekapazität des Bodenwassers geschieht dies sehr effektiv und so haben wir schon in wenigen Metern Tiefe etwa die Jahresmitteltemperatur erreicht. Die Haut ist auch verantwortlich für viele Wechselwirkungen, zum Beispiel die Einstrahlung und Ausstrahlung, die Wasserinfiltration und die Verdunstung oder das Aufnehmen von Sauerstoff und der Abgabe von Kohlendioxid. Die Haut der Erde ist auch an einer Vielfalt von Austausch und Transformationsprozessen beteiligt. Dies gilt besonders für die Wasserphase, von der man behaupten kann, dass sich weder abwärts sickendes noch aufsteigendes Wasser ohne Veränderungen durch den Boden bewegen kann.

1.2 Böden sind eine endliche Ressource

Wenn wir die Bodendecke als Ganzes betrachten, so müssen wir sagen, dass sie in der Tat endlich ist. Sie hört in der Regel am Ufer der Ozeane auf. Im Prinzip ist sie dort auch nicht vermehrbar. Wir kennen zwar Gebiete wie die Marschenflächen um die Nordsee, wo Land gewonnen wird. Wir kennen aber andere Gebiete, wie zum Beispiel die Steilküsten in der Normandie, wo Land verloren geht. An einer Stelle gewinnen die Menschen bescheidene Bereiche, die zur Bodendecke hinzugezählt werden können, an anderer Stelle verlieren sie diese wieder durch Abtrag. Die Flächenbilanz ist also ausgeglichen. Betrachtet man den Anstieg des Meeresspiegels, der immer noch weitergeht, so ist die Flächenbilanz sogar negativ. Die Tatsache der endlichen Ressourcen der Böden haben die Menschen über fast 2 Mio. Jahre nicht wahrgenommen. Das Umfeld eines Menschen oder einer Familie ist begrenzt und in diesem Umfeld gehen oder gingen die Böden immer weiter.

Gerade im 19. und 20. Jahrhundert hat aber die Gesellschaft an verschiedenen Stellen der Erde die Endlichkeit gespürt. Dazu gibt es viele Beispiele: Als in den USA die Steppegebiete des Mittleren Westens nach und nach besiedelt wurden, ist man schließlich auf die Siedler gestoßen, die an der Westküste der USA schon Jahrhunderte vorher ansässig waren, und am Schluss blieb keine Fläche mehr zur Neubesiedlung übrig. Ähnliches ist in Südamerika in der argentinischen Pampa passiert, dort breitete sich von den Hauptstädten wie Buenos Aires die landwirtschaftliche Nutzung nach Süden und Westen aus, bis schließlich die Wüstengebiete, welche zu landwirtschaftlicher Nutzung nicht mehr geeignet sind, erreicht wurden. Auch in Osteuropa und Mittelasien ist mit der fortschreitenden Nutzung der russischen Steppe und der mittelasiatischen Steppen und Halbwüsten die Grenze der Nutzbarkeit der Bodendecke, wenn auch erst in den Siebzigerjahren des 20. Jahrhunderts, erreicht worden. Auch in China, wo Mao den langen Marsch ausge-

rufen hat, wurde die Westgrenze erreicht und damit das Gebiet der landwirtschaftlichen Nutzbarkeit inzwischen vollständig ausgeschöpft. Erstaunlicherweise ist das auf vielen verschiedenen Kontinenten praktisch in der gleichen Generation passiert. Wir können das auf die Explosion der Weltbevölkerung im 20. Jahrhundert zurückführen und müssen konstatieren: Wir haben keine Reserveflächen mehr auf der Erde für landwirtschaftliche Nutzung und damit für die Sicherstellung der Ernährung der Menschheit. – Die Bodenressourcen sind endlich.

1.3 Historischer Umgang mit Böden oder wie die Menschen ihre Böden kennengelernt haben

Seit etwa viereinhalb Millionen Jahren gibt es Menschen auf der Erde. Die längste Zeit haben diese Menschen zwar von den Böden gelebt, indem sie Früchte bzw. Kräuter geerntet und gegessen und Tiere gejagt haben. Der Bezug zu den Böden dürfte für sie aber keine Rolle gespielt haben. Erfahrungswissen muss es gegeben haben, denn man musste bestimmte Standorte von Pflanzen wiederfinden und auch bevorzugte Aufenthaltsorte von Tieren, die sich nach den Standortgegebenheiten richten. Erstes Bodenwissen haben sich die Menschen in der Mittelsteinzeit (vor ca. 10.000 Jahren) erworben. Hier haben sie begonnen Pflanzen anzubauen. Das Wichtigste war dabei, dass die Böden, die sie nutzten, leicht bearbeitet werden konnten. Deshalb waren es Sandböden, diese mussten die Menschen erkennen, weil sie sonst nicht hätten pflanzen können. Gleichzeitig war das aber auch die Begrenzung für eine Sesshaftigkeit, da sie Böden nutzten, welche schnell ihre Fruchtbarkeit verloren.

Ein sehr großer Einschnitt in der Beziehung der Menschheit zu den Böden geschah mit der jungsteinzeitlichen Revolution. Jetzt wurden Wälder gerodet oder abgebrannt und die Menschen bauten Getreide und andere Kulturen systematisch an. Das muss die Entdeckung der Bodenfruchtbarkeit gewesen sein. Schließlich wollte man möglichst lange einen Boden nutzen und sesshaft werden. Aus dieser Zeit finden wir viele Zeichen der Nutzung von Böden, insbesondere in den Bördenlandschaften und den anderen Lössgebieten. Die Nutzung der Böden hat diese aber kaum verändert. Nur mit dem Grabstock oder mit Steinwerkzeugen konnte die Oberfläche geritzt werden. Tief greifende Eingriffe hat es nicht gegeben. Diese Zeit war bei uns in Mitteleuropa vor 5000–7000 Jahren, d. h., etwa 99 % der Menschheitsgeschichte haben die Menschen nicht in die Böden eingegriffen. Die Eingriffe wurden etwa 2000 Jahre später wesentlich stärker, als der Mensch in der Bronzezeit und dann in der Eisenzeit die Nutzung von Metall und damit auch die Nutzung von Metallwerkzeugen kennengelernt hat. Die Bodenbearbeitung mit Metallwerkzeugen hat dazu geführt, dass jetzt durch Fehlnutzung Bodenabtrag (Erosion) möglich war.

Etwa zur gleichen Zeit haben in Ägypten oder im Zweistromland weitergehende vielfältige Eingriffe in Böden begonnen. Von den Flüssen, die über ihre Ufer traten, nachgeahmt, begannen die Menschen systematisch zu bewässern und damit ihre Erträge zu steigern. Dies hat später dann auch zu weiteren Bodenschäden zum Beispiel durch Versal-

zung geführt. Vor 3000 Jahren begannen die Menschen auch ingenieurmäßig in die Böden einzugreifen, indem Bewässerungskanäle und Dämme gebaut und Terrassen angelegt wurden. Teilweise war dies bereits eine Reaktion auf verlorengegangene Bodenfruchtbarkeit durch Abtrag, der durch die Terrassen aufgehalten werden sollte.

Insbesondere bei dem Erstellen der Behausung hat sich die Beziehung zwischen den Menschen und den Böden wesentlich geändert. Während der Jungsteinzeit und der Bronzezeit wurden Hütten erstellt, die direkt im Boden mit Pfosten verankert waren und die mit Stroh und Lehm verkleidete Wände hatten. Wurde ein solches Haus verlassen, so war nach kurzer Zeit dieses Gebiet wieder ganz normal landwirtschaftlich nutzbar. Auf den Fildern bei Stuttgart zum Beispiel finden wir etwa 20 jungsteinzeitliche Dörfer, die heute in den Ackerflächen hinsichtlich des Wachstums nicht auffallen. Dieser Umgang mit Naturstoffen hat sich über lange Zeit kaum verändert. So finden wir mittelalterliche Wüsteneien, in denen Häuser aus Naturstein und Ziegeln gebaut waren, die zwar in den Äckern durch verändertes, meist verschlechtertes Wachstum noch erkennbar sind, ansonsten aber kaum Einflüsse auf die Bodendecke haben.

Dies hat sich in den letzten 200–300 Jahren systematisch und rasant geändert. Die Vielfalt der baulichen und die Landschaft verändernden Eingriffe hat die Bodendecke wesentlich verändert. Leider sind viele dieser Veränderungen sehr langfristig bzw. auch vollständig irreversibel. In dieser Beziehung ist wohl einer der schwerwiegendsten Schritte die Erfindung von Stahlbeton. Dieses seit etwa 100 Jahren verwendete Verfahren/Material schafft Oberflächen auf und in den Böden, die praktisch irreversibel die Bodendecke versiegeln und ein Zurückkommen in naturnahe Verhältnisse über extrem lange Zeiten (bis Jahrmillionen) bedingen. Wir folgern: Bodenbewusstsein ist erforderlich, da die Möglichkeiten der anthropogenen Bodenzerstörung zunehmen und zunehmend auch genutzt werden.

1.4 Leistungen von Böden im Naturhaushalt und für die Gesellschaft

Wir haben oben gelesen, dass Böden Naturkörper sind. Naturkörper können auch im Sinne des Naturschutzes bewahrt werden. Ein solches Bewahren ist dann nötig, wenn bestimmte Böden besonders selten geworden sind. Auch enthalten Böden oft Informationen über die Erd- und Landschaftsgeschichte. Dazu gehören jungsteinzeitliche Tonscherben, römische Münzen oder Merkmale einer jahrhundertelangen Plaggenwirtschaft. Die Seltenheit der Böden gehört in diesen Bereich. Bei den aktuellen Problemen, die wir mit Bodengradierung und Bodenbelastung, also „schädlichen Bodenveränderungen“, haben, mutet es schon fast grotesk an, wenn man sich um den Bodenschutz als Naturschutz Gedanken macht. Trotzdem sind wir auch hier für die Natur verantwortlich und müssen etwa ein Prozent der Bodenfläche für solche Zwecke, die nicht eine direkte Nutzung bedingen, reservieren.

In der Tat ist es aber wichtig, dass wir uns über die Leistungen der Böden, ihre Funktionen oder über die möglichen Leistungen der Böden – ihre Potenziale – Gedanken machen.

Aus Böden gewinnen wir unsere wichtigsten Nahrungs- und Futtermittel. Viele notwendige Werkstoffe werden aus Böden gewonnen. Dazu gehören Baumwolle, Hanf, Kork und Öle sowie verschiedenste Arten von Hölzern. Über die Speicherung von Sonnenenergie dienen Böden auch als Energiespeicher. Bis zu 6 % der eingestreuten Sonnenenergie können wir in der Biomasse wiederfinden und können sie auch als nachwachsende Energie nutzen. Das wichtigste biotische Potenzial bzw. die wichtigste Funktion unserer Böden ist die Arterhaltung. Viele Arten, insbesondere Mikroorganismen, können bis heute nicht erhalten werden, wenn sie nicht in den Böden Lebens- und Fortpflanzungsmöglichkeiten geboten bekommen. Dies ist besonders für zukünftig mögliche Nutzungen solcher Organismen und für die Aufrechterhaltung von Stoffkreisläufen notwendig. Eine äußerst interessante Funktion/Potenzial ist die der *Transformation*. Stoffe, auch synthetisch hergestellte, können in Böden umgewandelt werden und werden dabei meist zu bodeneigener organischer Substanz: *Humus*. Diese sehr interessante Abbau-, Aufbau- und Ausgleichsfunktion in den Stoffhaushalten ist von zentraler Bedeutung und kann in vielen Fällen bis heute *technisch* nicht ersetzt werden.

- **Potenziale** Die hier erwähnten biotischen Potenziale und Funktionen sind allesamt im Prinzip dauerhaft angelegt. Sie können also immer wieder genutzt werden, ohne dass die Böden darunter Schaden nehmen.

Dasselbe gilt zum Teil auch noch für abiotische Funktionen, die Böden innewohnen. So filtern und puffern sie im Wasserkreislauf: Böden speichern Wasser, geben Wasser ans Grundwasser meist in gereinigter Form weiter, regulieren den Verbrauch des Wassers durch Pflanzen und sind Puffer hinsichtlich der Witterung. Die Eigenschaften von Böden im Bereich der *Luftreinhalung* sind technisch praktisch unübertroffen. Böden binden Gase, Flüssigkeiten und Feststoffe oft irreversibel, sodass Landschaften mit hoher Bodenfeuchte und hoher Pflanzenbedeckung keine staubbelasteten Landschaften sind.

Probleme mit der Nachhaltigkeit ergeben sich bei der Funktion der Böden als Rohstofflagerstätte. Ob Lehm für Ziegel oder Töpferton, ob als Kieselgur oder Eisenerz – in Anspruch genommene Funktionen von Böden im Bereich der Rohstoffe sind nur einmal möglich. Eine Ausnahme gäbe es hier bei der Nutzung von Torfen, da Torfe Jahr für Jahr nachwachsen können. Das Wachstum von Torfen ist aber gegenüber möglichen Nutzungsansprüchen generell so niedrig, dass eine nachhaltige Bewirtschaftung bei gleichzeitiger Nutzung der Torfe bis heute nicht gefunden wurde.

In der Gesellschaft die wichtigste Funktion von Böden ist nach wie vor die Flächenfunktion. Wir können Böden besitzen und können dann mit ihnen vielfältige Dinge anstellen. Böden sind Standplätze, sind industrielle Produktionsstandorte, sind Bauplätze, sind Siedlungsflächen und so weiter. Im öffentlichen Bereich brauchen wir Böden als Verkehrsflächen. Und wir müssen uns immer wieder fragen: Wie viel Verkehrsfläche brauchen wir wirklich? Böden sind Entsorgungsflächen. Dies hat glücklicherweise in den letzten Jahrzehnten abgenommen, aber wir wissen, dass es in Deutschland zigtausend Altablagerungsflächen gibt. Schließlich brauchen wir unsere Böden auch als Erholungsflächen. Dies

beginnt bei einem kleinen Kinderspielplatz und reicht über Tennisplätze, Fußballfelder, Golfplätze oder Segelflugstandorte. Wir können beobachten, dass die Flächenpotenziale diejenigen sind, welche den höchsten Preis erzielen. Ein Golfplatz bringt dem Besitzer mehr Ertrag und weniger Arbeit als ein gleich großer Kartoffelacker. Wir merken uns: Böden haben sehr verschiedene Funktionen und sie können auch verschiedene Funktionen gleichzeitig wahrnehmen, so zum Beispiel zur Nahrungsproduktion, als Filter und Puffer im Wasserkreislauf, zur Luftreinhaltung und als Erholungsflächen. Auch eine Mehrfachnutzung von Funktionen bedarf eines sorgsamem Umgangs mit den Ressourcen.

1.5 Böden sind das 3. Umweltmedium

Beobachten wir die historische Entstehung von Umweltgesetzen, Verordnungen und Regelungen, so können wir feststellen, dass dem Wasser die Priorität eingeräumt wurde, da sehr früh festgestellt werden musste, dass Trinkwasservorkommen zum Beispiel als Uferfiltrate oder als Quellwässer gefährdet sein können. Auch die Luftreinhaltung war früh im industriellen Zeitalter von Bedeutung. Krankheiten durch Luftverschmutzung erzeugt oder einfach Unwohlsein in staubigen und rauchigen Gebieten erforderten Regelungen. Selbst der Naturschutz entwickelte sich im frühen 20. Jahrhundert und erhielt Gesetzeskraft. Alle diese Eingriffe in Rechte waren für die Gesellschaft nicht von so großer Bedeutung, da keine oder nur wenige Flächen in ihrer Nutzung eingeschränkt werden mussten, um den Vollzug der Erhaltung der Umweltmedien Wasser und Luft zu garantieren. Anders war das bei den Böden. Hier können wir beobachten, dass alle Böden irgendjemandem gehören und wenn es die Stadt, das Land oder der Bund ist. Es existieren jeweils individuelle Ansprüche, die für den Boden belastend sein könnten. Sie bringen aber oft dem Eigentümer (wirtschaftliche) Vorteile. Erst zwischen 1960 und 1975 kam es in Deutschland und auch weltweit zu Aufforderungen, die Böden nachhaltiger zu nutzen. Weltweit war dies insbesondere durch die Nahrungsmittelknappheit bedingt. In Deutschland selbst war dies hauptsächlich aufgrund von Bodenbelastungen durch Schwermetalle bewusst geworden. Es wurde aber immer klarer, dass für das 3. Umweltmedium – die Böden – auch Gesetze und Verordnungen notwendig sind. Folgerichtig ist 1991 in Baden-Württemberg das weltweit erste Bodenschutzgesetz erlassen worden. Es war kein zaghafter Versuch, sondern es hatte sehr moderne Züge, nahm den Kenntnisstand über Böden direkt auf und ist in seiner stringenten Art, Böden zu schützen, bis heute unübertroffen. Dieses Gesetz hat Wesentliches angestoßen. So wurde in der Bundesrepublik Deutschland die Diskussion über Böden, die bereits 15 Jahre geführt wurde, intensiviert und 1998 wurde das Bundesbodenschutzgesetz verabschiedet. Dieses Gesetz ging hinter das baden-württembergische zurück. Dies geschah insbesondere dadurch, dass bodenzerstörende Funktionen wie Rohstofflagerstätte und Siedlungsfläche als schutzwürdig eingestuft wurden. Deshalb sind bis heute Probleme des Bodenschutzes nicht eindeutig durch das Gesetz geregelt und bedürfen komplizierter Abstimmungen. Beide Gesetze, das baden-württembergische wie auch das Bundesbodenschutzge-

setz, hatten die erfreuliche Folge, dass Maßnahmen zur Umsetzung nachgereicht wurden. So gab es verschiedene Bodenschutzverordnungen in Baden-Württemberg und schließlich die umfassende Bundesbodenschutzverordnung ein Jahr nach dem Gesetz auch im Bund. Diese Verordnung hat bis heute Bestand, bedarf aber dringend einer Überarbeitung, die von allen parlamentarischen und fachlichen Gremien seit Jahren betrieben wird. Wie in den Gesetzesbereichen ist auch bei den Verordnungen die Tatsache, dass Bodenschutz als 3. Umweltmedium subsidiarisch betrachtet wird, ein grundsätzliches Hindernis. Gleichwohl können wir feststellen: In den letzten 100 Jahren ist unheimlich viel passiert, was unsere Böden belastet, in den letzten 30 Jahren aber auch, was unsere Böden schützt.

1.6 Zukünftiger Umgang mit Böden

Glücklicherweise sind einige generelle Regeln zum Umgang mit Böden bereits in Gesetzen und Verordnungen festgeschrieben. Wichtig scheint besonders der Begriff „gute fachliche Praxis“ zu sein. Das Verständnis mit Böden sorgfältig umzugehen, sollte nicht nur im land- und forstwirtschaftlichen Bereich, sondern insbesondere bei den zivilisatorischen Nutzungen der Böden beachtet werden.

Eine übergeordnete Regel sollte sein: zu verändernde Fläche zu minimieren. Beim Bau eines Hauses sollte die Baugrube selbst nur so groß sein, wie die Grundfläche des Bauwerks es verlangt. Umliegende Flächen sollten nicht belastet werden, d. h., Transport, Befahrung, Lagerung, all das sollte innerhalb der Grundfläche des Gebäudes stattfinden.

Eine weitere Regel sollte sein, den Transport von Bodenmaterialien zu minimieren. Die relativ geringen Transportkosten verleiten dazu, dass immer mehr Stoffe umgelagert werden. Um die Materialeigenschaften möglichst zu erhalten und auch Energie zu sparen, sollte deshalb bei der Planung von Eingriffen in Böden die *Maxime, Transport minimieren*, beachtet werden. Böden sind horizontalisiert; d. h., die Eigenschaften ändern sich mit der Tiefe. Es ist sinnvoll, bei einem Eingriff die verschiedenen Horizonte getrennt zu behandeln, insbesondere gute Oberböden und gut strukturierte Unterböden können auch nach einer Maßnahme wieder ihre Funktionen übernehmen, wenn sie entsprechend sorgfältig behandelt wurden. Zeitweise zwischenzulagernde Bodenmaterialien dürfen nicht verdichtet werden. Sie verlieren dadurch wichtige Eigenschaften, die kaum wiederhergestellt werden können. Generell beachtet werden sollte auch das *Vermischungsverbot*. Belastete und unbelastete Bodenmaterialien sollten nicht vermischt werden, sondern es sollte insbesondere Bodenmaterial unterschiedlicher Eigenschaften – also sandiges, steiniges oder toniges sowie humoses Bodenmaterial – unvermischt gelagert, getrennt betrachtet und wiederverwendet werden. Bei allen Maßnahmen, die Eingriffe in Böden notwendig machen, sollte in der Planung geklärt werden, für welchen Zeitraum die Maßnahme gelten soll. Vor allem bei Maßnahmen, die nur auf wenige Jahre oder weniger als 100 Jahre angelegt sind, ist es wichtig, dass die Wiederherstellbarkeit des vorhergegangenen Zustandes geprüft und berücksichtigt wird.

Oberstes Kriterium für allen Umgang mit Boden sollte die Nachhaltigkeit sein. Nachhaltigkeit bedeutet, dass Dinge auf Dauer nutzbar sind und nicht durch die Nutzung eine Verschlechterung des eigenen Zustandes und dessen der Umgebung eintritt. Eine einfache Regel könnte sein, dass ein Standort so genutzt werden muss oder kann, dass auf jeden Fall die 2. Generation danach diesen noch in gleicher Weise nutzen kann.

1.7 Unsere Herausforderungen in der Zukunft

Böden sind in alle globalen und regionalen Kreisläufe miteinbezogen. Deshalb ist die Sache unserer Böden auch die Sache der globalen Herausforderungen in der Zukunft. Wir müssen auch im Kleinen, Lokalen beachten, dass wichtige Ansprüche der menschlichen Gesellschaft hier und dort befriedigt werden können.

Das vorrangige Problem ist und wird in Zukunft noch mehr die Versorgung mit sauberem Trinkwasser sein; das heißt, bei allen Eingriffen und Veränderungen von Böden ist zu beachten, dass Trinkwasserressourcen erhalten bleiben und die Trinkwasserneubildung nicht gestört, sondern gefördert werden muss. Abzuleitende Wässer sind im guten Zustand dem Grund- oder Oberflächenwasser zuzuführen.

Die Ernährung der immer weiter steigenden Weltbevölkerung muss sichergestellt werden. Es ist deshalb in vielen Fällen unvermeidbar, landwirtschaftliche Nutzflächen anderweitig zu nutzen. Dies gilt gerade auch dort, wo durch Versorgung über Zukauf aus der Dritten Welt oder aus Nachbarstaaten die Ernährung zurzeit mehr als gesichert ist. Biomasseerzeugung ist automatisch immer auch Energiegewinn. Deshalb muss Biomasse auch da, wo sie nicht primär für Energiezwecke erzeugt wird, in Energiekreisläufe einfließen können. Dies ist in Zukunft wesentlich stärker als heute zu berücksichtigen. Klimawandel und Zunahme der Weltbevölkerung sind globale Probleme. Als Bodenkundler müssen wir lernen diese regional und lokal zu lösen.

In diesem Buch finden Sie viele praktische Anregungen, Böden zu beschreiben, Gefahren zu erkennen und vorzusorgen wie auch zu reparieren. Nutzen Sie die Ihnen sich bietenden Werkzeuge, aber vergessen Sie nicht, dass es übergeordnete Ziele gibt.

Literatur

- ad hoc Arbeitsgruppe Boden (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung (KA 5). 5. Auflage, Bundesanstalt für Geowissenschaften, Hannover.
- Arbeitskreis Standortkartierung, Herausgeber (2016): Forstliche Standortsaufnahme. 400 S., 7. Auflage, I H W Verlag, Eching.
- Bachmann, J., Horn, R., Peht, S. (2014): Hartge/Horn Einführung in die Bodenphysik. 4. Auflage, Schweizerbarth, Stuttgart.
- Blume, H. P., Guggenberger, G., Felix Henningsen, P., Frede, H. G., Horn, R., Stahr, K. (1995 ff.): Handbuch der Bodenkunde.– Lose Blattsammlung, Wiley, Weinheim.