

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	IX
Zusammenfassung	1
Abstract	5
1 Überblick: Bewertung und Diskussion der bodenkundlichen Ergebnisse (Uwe Paar, Jan Evers)	9
1.1 Vorbemerkungen und Rahmenbedingungen	9
1.1.1 Ländlicher Versorgungswald und Waldboden	9
1.1.2 Säureeintrag und Waldboden	10
1.1.3 Veränderungen des Stickstoffhaushaltes und Waldboden	11
1.1.4 Klimaveränderungen und Waldboden	11
1.2 Repräsentativität der Bodenzustandserhebungen	12
1.3 Geologie, Boden und Bodenentwicklung	13
1.4 Substratgruppen	13
1.5 Substrat-Lagerungstypen	14
1.6 Bodentypen	14
1.7 Trockenrohdichten und Skelettanteile	15
1.8 Austauschkapazität	15
1.9 Status und Veränderung der Bodenversauerung	16
1.9.1 Kationen-Anteile an der Ake	16
1.9.2 Basensättigung	16
1.9.3 Calcium-, Magnesium- und Kaliumvorrat	18
1.9.4 Pufferbereiche	18
1.9.5 Hinweise auf Prozesse und Bewertung	20
1.10 Wirkungen der Bodenschutzkalkung auf den Waldbodenzustand	20
1.10.1 Umfang durchgeföhrter Bodenschutzkalkungen	21
1.10.2 Vergleichende Bewertung gekalkter und ungekalkter BZE-Punkte	21
1.10.3 Bewertung	23
1.11 Hauptergebnisse zur Bodenchemie für die Substratgruppen	23
1.11.1 Buntsandstein (28 % der Waldfläche in Hessen)	23
1.11.2 Lösslehm (14 % der Waldfläche in Hessen)	25
1.11.3 Basalt/Diabas (14 % der Waldfläche in Hessen)	26
1.11.4 Tonschiefer (12 % der Waldfläche in Hessen)	27

1.11.5 Sande (10 % der Waldfläche in Hessen)	28
1.11.5.1 <i>Unverlehmte Sande</i>	28
1.11.5.2 <i>Schwach verlehmte Sande</i>	28
1.11.6 Grauwacke (5 % der Waldfläche in Hessen)	29
1.11.7 Ton(stein) (5 % der Waldfläche in Hessen)	29
1.11.8 Kalk-Standorte (3 % der Waldfläche in Hessen)	30
1.11.9 Lehm, Quarzit, Zechstein/Rotliegendes, Granit	31
1.11.9.1 <i>Lehm (3 % der Waldfläche in Hessen)</i>	31
1.11.9.2 <i>Quarzit (3 % der Waldfläche in Hessen)</i>	31
1.11.9.3 <i>Zechstein/Rotliegendes (2 % der Waldfläche in Hessen)</i>	32
1.11.9.4 <i>Granit (1 % der Waldfläche in Hessen)</i>	32
1.12 Humusformen	33
1.13 Status und Veränderung der Kohlenstoffspeicherung in den Waldböden	34
1.14 Stickstoffvorräte	36
1.15 C/N-Verhältnis	38
2 Kurzportraits der BZE-Punkte („Steckbriefe“)	39
(Andreas Schulze, Uwe Paar, Jan Evers)	
3 Einleitung	51
3.1 Allgemeine Einführung zum Thema Boden (Uwe Paar, Jan Evers)	51
3.1.1 Bodenbildung	51
3.1.2 Funktionen der Böden	52
3.1.3 Gefährdungen	53
3.2 Geologische und bodenkundliche Verhältnisse in hessischen Wäldern (Uwe Paar, Karl-Josef Sabel, Jan Evers, Thomas Ullrich)	56
3.2.1 Vorherrschende Ausgangssubstrate	56
3.2.2 Prozesse der Oberbodenbildung	63
3.3 Forstliches Umweltmonitoring an der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt (NW-FVA) (Johannes Eichhorn, Uwe Paar, Henning Meesenburg, Jan Evers)	65
3.3.1 Aufgaben	65
3.3.2 Konzept	66
3.4 Wichtige Befunde des Intensiven Forstlichen Umweltmonitorings zur Bewertung und Einordnung der Ergebnisse der BZE (Henning Meesenburg, Uwe Klinck, Birte Scheler, Bernd Ahrends, Uwe Paar)	72
3.4.1 Stoffeintrag – Belastungssituation der Wälder	72
3.4.2 Indikatoren der Azidität von Waldböden	75
3.4.3 Stoffbilanzen ausgewählter hessischer Intensivmonitoringflächen	76
3.4.4 Zusammenfassung der Befunde des Intensiven Forstlichen Umweltmonitorings	79

4 Aufgaben und Ziele der Bodenzustandserhebungen	81
(Uwe Paar, Jan Evers)	
5 Methoden (Uwe Paar, Jan Evers, Inge Dammann, Marcus Schmidt)	83
5.1 Allgemeine Einführung	83
5.2 Merkmalsgruppen	83
5.3 Untersuchungsdesign und -module am BZE II-Punkt	83
5.3.1 Beprobung und Analyse des Auflagehumus und der Mineralbodenproben	84
5.3.2 Blatt- und Nadelernährung	85
5.3.3 Vegetationsaufnahmen	87
5.3.4 Waldwachstumskundliche Aufnahmen	88
6 Ergebnisse der Bodenuntersuchungen	89
6.1 Repräsentativität des Erhebungsnetzes (Uwe Paar, Jan Evers)	89
6.2 Bodenmorphologische Kenngrößen (Jan Evers, Uwe Paar, Jörg Weymar)	93
6.2.1 Substratgruppen	93
6.2.1.1 <i>Kalkung und Substratgruppen</i>	96
6.2.2 Substrat-Lagerungstypen	97
6.2.3 Bodentypen	101
6.2.3.1 <i>Bodentypen nach Substratgruppen</i>	105
6.2.4 Humusformen	105
6.2.4.1 <i>Veränderung des Auflagehumus</i>	108
6.3 Bodenphysikalische Kenngrößen (Jan Evers, Uwe Paar)	110
6.3.1 Trockenrohdichten des Feinbodens	110
6.3.2 Grobbodenanteil	111
6.3.3 Feinbodenvorrat	112
6.3.4 Nutzbare Feldkapazität	113
6.4 Bodenmorphologische und bodenphysikalische Kenngrößen im Ländervergleich (Jan Evers, Uwe Paar)	116
6.5 Bodenchemische Kenngrößen in Hessen (Jan Evers, Uwe Paar, Egbert Schönfelder)	123
6.5.1 Austauschkapazität	124
6.5.1.1 <i>Austauschkapazität nach Substratgruppen</i>	128
6.5.1.2 <i>Verteilung der Kationen an der Austauschkapazität</i>	144
6.5.2 Basensättigung	146
6.5.2.1 <i>Basensättigung nach Substratgruppen</i>	149

6.5.3	Austauschbare Calcium-, Magnesium- und Kaliumvorräte	164
6.5.3.1	<i>Calcium</i>	165
6.5.3.2	<i>Magnesium</i>	170
6.5.3.3	<i>Kalium</i>	177
6.5.4	Austauschbare Ma-Kationen-Vorräte	180
6.5.5	pH-Werte und Pufferbereiche	183
6.5.5.1	<i>pH(H₂O)</i>	185
6.5.5.2	<i>pH(KCl)</i>	191
6.5.6	Kohlenstoff	196
6.5.6.1	<i>Kohlenstoffvorräte nach Substratgruppen</i>	200
6.5.7	Stickstoff	204
6.5.7.1	<i>Stickstoffvorräte nach Substratgruppen</i>	208
6.5.8	C/N-Verhältnisse	211
6.5.8.1	<i>C/N-Verhältnisse nach Substratgruppen</i>	213
6.5.8.2	<i>C/N-Verhältnisse im Auflagehumus nach Bestandestypen</i>	214
7	Waldernährung	
	(Inge Dammann, Egbert Schönfelder, Ulrike Talkner, Jan Evers, Uwe Paar)	217
7.1	Einleitung	217
7.2	Material und Methoden	218
7.3	Ergebnisse	223
7.3.1	Buche	223
7.3.1.1	<i>Kalkungsvergleich</i>	227
7.3.1.2	<i>Zeitliche Veränderungen</i>	230
7.3.2	Fichte	232
7.3.2.1	<i>Kalkungsvergleich</i>	235
7.3.2.2	<i>Vergleich 1. und 3. Nadeljahrgang</i>	237
7.3.2.3	<i>Vergleich BZE II (2007) und Bionetz (1982/1983)</i>	238
7.3.3	Kiefer	241
7.3.3.1	<i>Kalkungsvergleich</i>	244
7.3.4	Eiche	246
7.3.4.1	<i>Kalkungsvergleich</i>	249
7.4	Einflussfaktoren auf die Ernährungssituation	251
7.5	Diskussion und Bewertung der Ernährungssituation	254
7.5.1	Buche	254
7.5.2	Fichte	256
7.5.3	Kiefer	258
7.5.4	Eiche	258

7.5.5	Stickstoffeutrophierung und Bodenversauerung	258
7.5.5.1	<i>Stickstoffeutrophierung</i>	258
7.5.5.2	<i>Bodenversauerung</i>	259
7.5.6	Bodenschutzkalkung	262
7.5.7	Vollbaumnutzung	264
8	Vegetation (Marcus Schmidt, Egbert Schönfelder, Uwe Paar, Jan Evers)	267
8.1	Einführung	267
8.2	Methodik	267
8.2.1	Datenerhebung	267
8.2.2	Datenauswertung	268
8.2.3	Darstellung und Anwendung der Ergebnisse	268
8.3	Ergebnisse und Diskussion	271
8.3.1	pH(H ₂ O)	271
8.3.2	Basensättigung	275
8.3.3	C/N-Verhältnis	279
8.3.4	Basische Kationen (Ca, Mg, K)	281
8.3.4.1	<i>Calcium</i>	281
8.3.4.2	<i>Magnesium</i>	285
8.3.4.3	<i>Kalium</i>	287
8.3.5	Ansprache der Nährstoffversorgung mithilfe von Indikatorarten	290
9	Hauptergebnisse, Folgerungen für die Verwaltung und die forstliche Praxis (Uwe Paar, Jan Evers, Johannes Eichhorn, Thomas Ullrich)	293
9.1	Wie repräsentativ sind die Bodenzustandserhebungen? Sind die Ergebnisse auf die gesamte Fläche des Waldes in Hessen übertragbar?	293
9.2	Wie sieht der Waldboden in Hessen aus? Welche Strukturen können unterschieden werden?	293
9.2.1	Geologie, Boden und Bodenentwicklung	293
9.2.2	Substratgruppen und Substrat-Lagerung	294
9.2.3	Bodentypen	295
9.2.4	Trockenrohdichten und Skelettanteile	295
9.3	Sind hessische Waldböden sauer? Versauern sie trotz geringerer luftbürtiger Säurebelastungen weiter?	295
9.3.1	Bewertung	297
9.4	Wie hat sich die Bodenschutzkalkung in Hessen ausgewirkt? Brauchen wir sie auch in Zukunft?	297
9.4.1	Wirkungen der Bodenschutzkalkung auf die Waldernährung	298
9.4.2	Bewertung	299

9.5	Wie ist der Zustand von Humus und organischer Substanz in hessischen Waldböden? Haben hohe Stickstoffeinträge Auswirkungen auf den Stoffhaushalt und auf die Waldernährung?	299
9.5.1	Humusformen	299
9.5.2	Stickstoffvorräte	300
9.6	Tragen Waldböden zum Klimaschutz bei? Stellen hessische Waldböden eine Senke für Kohlendioxid dar?	300
9.7	Auf welchen Standorten ist Trockenstress bei Waldbäumen zu erwarten?	301
9.8	Welche Folgerungen ergeben sich für die Energieholznutzung in hessischen Wäldern?	301
9.9	Welche Folgerungen ergeben sich aus den Ergebnissen der Bodenzustandserhebung II für die hessische Standortskartierung?	302
9.10	Wer nutzt die Information der Bodenzustandserhebung (BZE als Informationsplattform)? Braucht die forstliche Umweltbeobachtung (Monitoring) eine Bodenzustandserhebung?	302
9.10.1	Informationen aus der Bodenzustandserhebung als Teil des Forstlichen Umweltmonitorings	302
9.10.2	Nationale/Internationale Partner	303
9.10.3	Gesellschaft, Politik und Verwaltung	303
9.10.4	Forstliche Betriebe verschiedener Waldbesitzarten	304
9.10.5	Wissenschaft	304
10	Qualitätssicherung (Nils König)	305
10.1	Probenvorbereitung und -analyse	305
10.2	Methodendokumentation und Qualitätssicherung in den beteiligten Laboren	393
10.2.1	Umweltlabor der Nordwestdeutschen (früher: Niedersächsischen) Forstlichen Versuchsanstalt Göttingen	393
10.2.2	Landesanstalt für Forstplanung Brandenburg, Labor Eberswalde (Frank Gutwasser)	394
10.2.3	Landesbetrieb Hessisches Landeslabor (LHL), Standort Kassel (und Vorläufer-Einrichtungen) (Rolf Ellinghaus)	394
10.2.4	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover (Levke Godbersen)	395
10.3	Bundesweites BZE II-Qualitätssicherungsprogramm	397
10.4	Bedeutung methodisch bedingter Streuungen und Fehlerquellen	403
10.4.1	Probleme der Probennahme	403
10.4.1.1	<i>Vergleichbarkeit von Beprobungen der Profilgrube und Satelliten-Bohrungen</i>	403
10.4.1.2	<i>Räumliche Variabilität chemischer und physikalischer Kenngrößen</i>	403
10.4.1.3	<i>Nullpunktdefinition</i>	414

10.4.1.4 <i>Verschleppung</i>	416
10.4.1.5 <i>Veränderung der Trockenrohdichte in oberen Bodenschichten („Soufflé-Effekt“)</i>	416
10.4.2 Probleme der Probenanalyse	416
10.4.2.1 <i>Abschätzung der Streuung chemischer Parameter durch kontinuierliches Mitmessen von Kontrollstandards</i>	416
10.4.2.2 <i>Eingeschränkte Repräsentativität von Teilproben</i>	418
11 Aspekte des BZE-Datenmanagements (Andreas Schulze, Jan Evers)	421
11.1 Anforderungen	421
11.1.1 Integration der Merkmalsgruppen	421
11.1.2 Integration der Datenbestände der Bundesländer	422
11.1.3 Integration von BZE I und II	423
11.1.4 Integration von Methodeninformationen	423
11.1.5 Externe Fachinhalte	424
11.2 Umsetzung	425
11.2.1 Identifizierung von Informations-Kategorien	426
11.2.2 Integration der Fach-Arbeitsanleitung	426
11.2.3 Projektübergreifende Listen mit projektspezifischen Kodierungen	427
11.2.4 Differenzierung von Fehlwerten	428
11.2.5 Methodendokumentation der Laboranalytik	428
11.2.6 Anwendungsprogrammierung	429
11.3 Praktische Erfahrungen	432
11.4 Fazit	434
Literatur	437
Glossar und Abkürzungen	449
Danksagung	453
Autoren	455