

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 durchgeführter 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“) | |
| | (Andreas Schulze, Uwe Paar, Jan Evers) | 39 |
| 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 |