

1 Einleitung

N. Wellbrock¹, A. Bolte¹, H. Flessa²⁰

Wie steht es heute mit dem Wald und den Waldböden? Wie haben sie sich in den letzten 20 Jahren verändert? Welche Maßnahmen haben sich wie auf den Zustand ausgewirkt? Welche Risiken spielen weiterhin oder zukünftig eine Rolle? Auf diese Fragen antwortet der Bericht zur zweiten Bodenzustandserhebung im Wald und liefert eine bundesweite Bilanz zum Zustand und zur Entwicklung von Wäldern und Waldböden. Die Ergebnisse sollen die Bewertung forst- und umweltpolitischer Maßnahmen und Konzepte wissenschaftlich untersetzen.

1.1 Hintergrund

Waldböden sind die Grundlage produktiver und anpassungsfähiger Wälder und damit einer nachhaltigen und erfolgreichen Forstwirtschaft. Böden liefern Wasser und die Nährstoffe für das Waldwachstum, puffern Schad- und Säureeinträge und gleichen Wassermangel in Trockenphasen aus. Wälder gehören mit ihren Böden zu den naturnahsten Ökosystemen in Deutschland und liefern einen unverzichtbaren Beitrag zur Biodiversität. Waldbestände und Waldböden spielen als Kohlenstoffsенке eine entscheidende Rolle für den Klimaschutz und die Kompensation von Treibhausgas-Emissionen (Leitgeb *et al.* 2013).

Der aktuelle Zustand der Waldböden ist das Ergebnis langfristiger natürlicher Entwicklungen sowie anthropogener Beeinflussung. Weitere bodenbildende Faktoren sind das geologische Ausgangssubstrat, Klima, Relief, sowie die Flora und Fauna (Blume *et al.* 2010).

Die historische Waldnutzung spielt ebenso eine wichtige Rolle für den Bodenzustand europäischer Böden (Härtle 1995, Ludemann 2002, Lüst & Giani 2006, Peters 1990, Rinklebe & Makeschin 2003, Wittich 1951). Infolge jahrhundertelanger menschlicher Nutzungen waren Wälder bis in jüngster Zeit starken Nährstoffausträgen ausgesetzt z.B. durch Entnahme von Brenn- und Leseholz inkl. Rinde, Streunutzung, Waldweide, Kahlschläge und Brandrodung mit nachfolgender Ackernutzung sowie der damit verbundenen Bodenerosion (Ellenberg & Leuschner 2010, Kreuzer 1972). Heute ist dieser Belastungspfad bei der üblichen Beschränkung der forstlichen Nutzung auf das Derbholz von geringerer Bedeutung. Die heutigen Wälder sind zum großen Teil das Ergebnis waldbaulicher Entscheidungen, die mehrere Bestandsgenerationen zurückliegen. Besondere Bedeutung haben dabei die Baumartenwahl, die Mischung von Baumarten sowie die Bestandsstruktur. Diese Faktoren üben einen erheblichen Einfluss auf (1) die Menge und Verteilung der organischen Substanz im Boden, (2) die Stoffkreisläufe, das Depositionsgeschehen und das Säure-Base-Verhältnis sowie (3) das Waldinnenklima und den

Wasserhaushalt aus. Die anthropogen verursachte Klimaänderung beeinflusst zunehmend die Waldökosysteme und deren Waldböden einschließlich der in ihnen ablaufenden Prozesse. Allerdings ist noch offen, welche Entwicklungen der klimawandelbedingten Waldbodenveränderungen sich ergeben und welches Ausmaß diese annehmen werden.

Anthropogen bedingte atmosphärische Stoffeinträge haben die Wälder in den vergangenen Jahrzehnten in starkem Maße beeinflusst (Ellenberg 1971, Ulrich 1987a). Ende der 1970er bzw. in den frühen 1980er Jahren wurde dies zunächst am Kronenzustand der Bäume festgestellt und als sogenanntes „Waldsterben“, später als neuartige Waldschäden diskutiert (Kauppi *et al.* 1990, Ulrich 1983). Als Gründe hierfür wurden hauptsächlich folgende drei Wirkungspfade von Luftverunreinigungen durch Schwefel- und Stickstoffverbindungen sowie Ozon angesehen und diskutiert: (1) direkte Schädigungen der Assimilationsorgane durch saure Schwefelimmisionen (Wentzel 1979, 1982) und Ozon (Bucher 1984), (2) Wurzelschädigungen sowie Magnesiummangel infolge von Bodenversauerung, Basenauswaschung und Freisetzung von wurzeltoxischen Aluminium- und Schwermetallionen (Ulrich 1986a, 1995) sowie (3) Nährstoffungleichgewichte durch eutrophierende Stickstoffeinträge (Nihlgård 1985). Die „Stresshypothese“ (Manion 1981, Schütt *et al.* 1984) verknüpfte die Wirkungen von Stoffeinträgen mit zusätzlichen biotischen und klimatischen Einflüssen im Sinne von komplexen Wechselwirkungen zwischen prädisponierenden, auslösenden und begleitenden Stressfaktoren. In diesem Sinne lassen sich auch die interaktiven Wirkungen des Klimawandels mit Effekten von Luftverunreinigungen und Stoffeinträgen beschreiben, wobei sich Effekte verstärken, aber auch abschwächen können (Bytnerowicz *et al.* 2007).

In Folge der Waldschadensdiskussion wurde nicht nur ein Kronenzustandsmonitoring etabliert, sondern es fand Ende der 80er bzw. Anfang der 90er Jahre eine bundesweite Bodenzustandserhebung (BZE) an ca. 1.900 Erhebungspunkten im Wald statt. Als eine bundesweite systematische Stichprobeninventur im 8 x 8 km Rasternetz kann die BZE flächenrepräsentative Aussagen zum Zustand der Waldböden treffen. Sie stellt zusammen mit dem intensiven Monitoring (Level II) ein integrales Element des Forstlichen Umweltmonitorings dar. Die Ergebnisse der ersten Bodenzustandserhebung (BZE I) zeigten eine „flächendeckende, weitgehend substratunabhängige Versauerung und Basenverarmung der Oberböden sowie eine Tendenz zur Nivellierung des chemischen Oberbodenzustandes auf niedrigem Niveau“ (Wolff & Riek 1996). Die Akkumulation von Kupfer und Blei im Auflagehumus war erhöht. Unterstützt wurden die Aussagen durch teilweise kritische Ergebnisse zum Ernährungs- und Kronenzustand der Bäume. Als Ursache wurden erhöhte Schwefel- und Stickstoff- bzw. Schwermetalleinträge gesehen, die zu sehr geringen Magnesiumgehalten insbesondere bei der Fichte führten, die auch erhöhte Nadelverluste zeigten.

Seit dieser Zeit sind durch die grenzüberschreitenden Maßnahmen zur Luftreinhaltung (UNECE 1979) vor allem die Schwefeleinträge zurückgegangen. Auch der Eintrag von Flugaschen hat sich stark reduziert, da nach der Wiedervereinigung die Braunkohleverbrennung als deren Hauptquelle deutlich zurückgegangen ist. Im Gegensatz dazu konnten die Stickstoffeinträge aber kaum

gemindert werden (Waldner *et al.* 2014). Die atmosphärische Deposition muss danach weiterhin als bedeutsam angesehen werden (Verstraeten *et al.* 2012). Von Säureeinträgen besonders betroffene Waldbestände wurden in Folge der BZE I gekalkt und viele Länder haben den Waldumbau intensiv betrieben.

Die zweite Bodenzustandserhebung (BZE II) im Erhebungszeitraum 2006 bis 2008 ermöglicht erstmals eine flächenrepräsentative Übersicht über die Veränderung des Waldbodenzustandes über einen Zeitraum von ca. 15 Jahren. Die Verknüpfung mit weiteren Erhebungen zum Kronenzustand, zur Ernährung der Bäume und zur Vegetation ermöglicht eine integrierende Auswertung von Wald- und Bodenzustand.

1.2 Die Bodenzustandserhebung als Teil des Forstlichen Umweltmonitorings

Die BZE ist ein Teil des Forstlichen Umweltmonitorings. Die im Rahmen der BZE gewonnenen Daten werden für integrierende Auswertungen genutzt. Gleichzeitig ermöglicht die Berücksichtigung von Ergebnissen aus anderen Teilen der forstlichen Umweltbeobachtung auch eine wesentlich umfassendere Interpretation der BZE-Daten. Entsprechend der föderalen Struktur der Bundesrepublik erheben die Bundesländer die Daten. Diese werden am Thünen-Institut zur bundesweiten Auswertung zusammengestellt. Die Auswertung der BZE II erfolgt in Kooperation zwischen dem Thünen-Institut, Vertretern der forstlichen Versuchsanstalten der Länder oder Umweltbehörden und externen Experten. Spezialauswertungen zu Schwermetallen und organischen Schadstoffen erfolgen durch die Bundesanstalt für Geologie und Rohstoffe bzw. das Umweltbundesamt.

Die Arbeitsanleitung für die zweite bundesweite Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II) wurde durch die Bund-Länder-Arbeitsgruppe BZE II erarbeitet (Wellbrock *et al.* 2006). Ziel der Arbeitsanleitung ist es, für die Geländeaufnahmen zur BZE II eine zusammenfassende Arbeitsunterlage zur Verfügung zu stellen. Aufbauend auf der Arbeitsanleitung zur ersten Bodenzustandserhebung (BZE I) im Wald (BMELF 1994) wurden Anpassungen und Erweiterungen an neue Erkenntnisse und Anforderungen eingeführt. Dabei wurden die Vereinbarungen der BZE I bestmöglich berücksichtigt.

Die Vergleichbarkeit der Methoden und deren Harmonisierung ist in einem separaten Band dargestellt (Höhle *et al.* 2016).

Die Arbeitsanleitung für die Geländeaufnahme wird ergänzt durch das vom BMEL-Gutachterausschuss „Forstliche Analytik“ (GAFA) erarbeitete „Handbuch Forstliche Analytik“ (HFA), welches die abgestimmte Methodik der Laboranalysen beschreibt.

1.3 Rechtliche Grundlagen

Die zweite bundesweite BZE wurde im Jahr 2001 durch einen Beschluss der Forstchefkonferenz (FCK) initiiert. Seit der Gesetzesnovelle im Jahr 2010 sieht das Bundeswaldgesetz im § 41a (Walderhebungen) vor, dass das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft Daten zur Nährstoffversorgung und Schadstoffbelastung der Waldböden durch Rechtsverordnung mit Zustimmung der Länder erheben kann. Eine entsprechende Rechtsverordnung für eine weitere BZE liegt allerdings bisher nicht vor. Daten und Auswertungen der BZE bilden eine wesentliche Grundlage für die nationale Treibhausgasberichterstattung unter der Klimarahmen-Konvention (UNFCCC) und dem Kyoto-Protokoll bzw. Nachfolgeregelungen in der Quellgruppe „Land-use, Land-use-change and Forestry“ (LULUCF) im Bereich Boden und Streu. Die BZE liefert Informationen für eine Umsetzung des Bodenschutzgesetzes (insb. §9) im Sinne einer Gefahrenabwehr bei schädlichen Bodenveränderungen. Eine wichtige Verbindung besteht zum internationalen forstlichen Umweltmonitoring unter dem Übereinkommen über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigungen (sog. Genfer Luftreinhaltkonvention, CLRTAP) der UNECE. Daten der BZE sind Teil des nationalen Beitrags Deutschlands zum „International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests“ (ICP Forests) als waldspezifisches Programm der CLRTAP.

1.4 Erhebungsparameter

Wie innerhalb der Bund-Länderarbeitsgruppe abgestimmt, werden folgende Objektgruppen bei der BZE II erfasst (Wellbrock *et al.* 2006):

- Allgemeine Beschreibung der Aufnahmepunkte: Punktdaten, Georeferenzierung, Daten zur Aufnahmesituation, forstliche Daten und bodenverändernde Einflüsse
- Boden: Profilbeschreibung, Bodenchemie (inkl. Schwermetalle und Organika) sowie Bodenphysik getrennt nach Mineralboden und Auflagehumus
- Nadel-/Blattproben
- Waldwachstumskundliche Erhebung (Zusatzaufnahme nach Hilbrig *et al.* (2014))
- Kronenzustand
- Bodenvegetation

1.5 Zielstellung und Kernfragen

Die BZE soll zuverlässige, flächenrepräsentative und bundesweit vergleichbare Informationen zum aktuellen Zustand und der Veränderung von Waldböden und ausgewählter Waldmerkmale liefern. Um Veränderungen festzustellen, ist ein Vergleich zwischen mehreren, zu unterschiedlichen Zeitpunkten durchgeführten Erhebungen erforderlich. Das flächenrepräsentative Netz der BZE kann genutzt werden, um Schlüsselparameter, die in dem intensiven Monitoring oder anderen Erhebungen identifiziert wurden, auf die Bundesrepublik zu übertragen. Der Zustand und die Veränderungen werden regional differenziert in den Auswertungen betrachtet. Auf der Grundlage der regionalen Auswertung können besondere Risikogebiete erkannt werden. Die BZE kann also zur Einschätzung von Gefahren, die sich für den derzeitigen Waldbestand und für die nächste Waldgeneration aus dem Bodenzustand ergeben, genutzt werden. Darauf aufbauend kann die BZE die Planung und Durchführung von notwendigen Maßnahmen zur Erhaltung und Verbesserung des Bodenzustandes sowie des Nährstoffangebotes im Boden und der Nährstoffaufnahme durch den Bestand unterstützen sowie der Kontrolle von Maßnahmen wie der Kompensationskalkung dienen.

Die Ergebnisse sollen die Bewertung forst- und umweltpolitischer Maßnahmen und Konzepte wissenschaftlich untersetzen. Der Bericht gliedert sich in einen Textband (I) und einen Kartenband (II). Der Textband stellt die Ergebnisse dar und der Kartenband beinhaltet punktbezogene Bewertungen, Summenkurven sowie statistische Kenngrößen. Der Bericht beschäftigt sich im Einzelnen mit Fragen

- (1) zur Versauerung des Bodens,
- (2) zum Stickstoffstatus von Waldböden und ihrer Empfindlichkeit gegenüber weiteren Stickstoffeinträgen,
- (3) zur aktuellen Kohlenstoffspeicherung und Änderungen des Kohlenstoffvorrats in Waldböden (Klimarahmenkonvention und Kyoto-Protokoll),
- (4) zur Hintergrundbelastung von Böden mit Schwermetallen und organischen Spurenstoffen,
- (5) zum Zusammenspiel von Bodeneigenschaften und Waldernährung, Kronenzustand und Vegetation,
- (6) zum Risiko der negativen Veränderungen wie Nährstoffentzug oder Bodenversauerung in Bezug zum Schutz und zur nachhaltigen Nutzung der Wälder,
- (7) zur bodenchemischen und ernährungskundlichen Wirkung von Maßnahmen zur Stabilisierung der Waldökosysteme (Erfolgskontrolle, v.a. der Bodenschutzkalkungen und des naturnahen Waldbaues) sowie
- (8) zum Ausmaß von Veränderungen des Boden- und Waldzustandes und zur Notwendigkeit einer Wiederholung der Inventur.

Dynamik und räumliche Muster forstlicher Standorte in Deutschland

Ergebnisse der Bodenzustandserhebung im Wald 2006 bis 2008

Nicole Wellbrock, Andreas Bolte, Heinz Flessa (eds)

Thünen Report 43