

## 12 Nachhaltige Nutzung und Schutz von Wäldern und Waldböden

*A. Bolte<sup>1</sup>, J. Eichhorn<sup>16</sup>, J. Block<sup>5</sup>*

Der Aufbau von Wäldern, ihr Wachstum und die Möglichkeiten, die vielfältigen Ansprüche an die Erhaltung und Nutzung von Wäldern zu erfüllen, hängen im entscheidenden Maße von den Umweltbedingungen ab. Die mit der Bodenzustandserhebung vorliegenden Ergebnisse zum Zustand und der Entwicklung von Wäldern und Waldböden spiegeln Klima und Witterung sowie das Eintragsgeschehen von Nähr- und Schadstoffen wider. Der Mensch ändert einerseits durch die Emission von Treibhausgasen und Luftschadstoffen die Klima-, Witterungs- und bodenchemischen Bedingungen für das Waldwachstum. Andererseits gestaltet und bewirtschaftet er die Wälder, z.B. durch Änderung der Baumartenzusammensetzung sowie Holznutzung und die Waldböden durch Kalkung und Düngung. Sowohl veränderte Umweltbedingungen als auch Maßnahmen der Waldbewirtschaftung zeigen sich im Bodenzustand. Für eine nachhaltige Nutzung von Wäldern sind der Schutz und die Pflege der Waldböden neben der nachgewiesenen sorgsamem Nutzung nachwachsender Holzvorräte (BMEL 2014, Kroiher & Bolte 2015) zentrale Bestandteile.

Die Bodenzustandserhebung (BZE) untersucht insbesondere morphologische, physikalische und chemische Eigenschaften der Waldböden in Deutschland. Mit ihrer methodisch vergleichbaren Wiederholung nach 15 Jahren ermöglicht sie einen fundierten Blick auf zeitliche Veränderungen des Bodenzustands in einem für Böden vermeintlich kurzen Zeitraum. Da die Bodenzustandserhebung an den gleichen Beobachtungspunkten mit Informationen zum Kronen- und Baumzustand der Wälder, zur Waldernährung sowie zur Vegetation vernetzt ist, stellt sie ein wertvolles und unverzichtbares Instrument zur Darstellung von Leistungen und Risiken der Waldentwicklung dar.

Nachfolgend werden die wichtigsten Ergebnisse der BZE im Hinblick auf eine nachhaltige Bewirtschaftung der Wälder in Deutschland und den Schutz der wichtigen Ressource Boden zusammenfassend diskutiert und bewertet. Dabei wird auf politische Maßnahmen Bezug genommen.

### **Luftreinhaltung und Waldkalkung wirken gegen Bodenversauerung**

Die Diskussionen um die „neuartigen Waldschäden“ ab dem Ende der 1970er Jahren stellte die Wirkungen von versauernden Schwefel (S)- und Stickstoff (N)-Einträgen auf den Waldboden, seine Chemie und die Waldernährung in den Fokus der Betrachtungen. Eine Tiefenversauerung und Entbasung der Waldböden, die Freisetzung von wurzeltoxischen Aluminiumionen und eine Magnesium(Mg)-Mangelversorgung wurden als ernste Gefährdungen für Waldböden und

Wälder identifiziert (Hüttl 1991, Ulrich 1981, 1986b). Die seit den 1980er Jahren ergriffenen politischen nationalen und internationalen Gegenmaßnahmen der Luftreinhaltung, die z.B. zur Entschwefelung von Abgasen aus Kraftwerken, zur Einführung geregelter Katalysatoren für Kraftfahrzeuge sowie zu verschärften Bestimmungen von Feuerungsanlagen geführt haben, zeigten insbesondere bei den Schwefeldioxid-Emissionen Wirkung. Die Sulfat-S-Einträge in Wälder haben sich nach den Befunden des forstlichen Umweltmonitorings in den Jahren 1996 bis 2010 deutschlandweit deutlich verringert. Die ebenfalls versauernden Nitrat-N-Einträge haben sich dagegen nur leicht und gebietsweise vermindert (UBA 2013). Eine weitere politisch unterstützte und geförderte Maßnahme der Forstbetriebe ist die Bodenschutzkalkung, die in vielen Regionen Deutschlands seit den 1980er Jahren zum Teil bereits wiederholt erfolgte. Die Ergebnisse der BZE, mit einem signifikanten Anstieg der pH-Werte in der Auflage und den obersten Bodenschichten, zeigen den Erfolg der Maßnahmen bei der Reduzierung der Bodenversauerung auf. Dabei wirkt sich die Kalkung mit Calcium (Ca) und ggf. Mg insbesondere positiv auf die Basensättigung und den Basenvorrat versauerter Waldstandorte aus. Die Notwendigkeit der Bodenschutzkalkung auf säureempfindlichen Standorten wird auch durch die Tatsache unterstrichen, dass auf ungekalkten Standorten im Mineralboden (Tiefe 5-60 cm) eine deutliche Abnahme der Basensättigung festzustellen ist. Im Hinblick auf die Säurebelastung der Wälder zeigen sich Fortschritte bei der Reduktion der S-Belastung der Waldböden, weiterhin sollte aber eine noch deutlichere Reduktion der N-Einträge erreicht werden. Entsprechende Maßnahmen der Luftreinhaltung sollten weiter vorangetrieben und umgesetzt werden. Eine Kalkung von Standorten mit eintragsbedingter Versauerung ist weiterhin empfehlenswert und förderungswürdig, um negative Auswirkungen auf die Waldbodenfunktionen, die Vitalität und das Wachstum von Wäldern auszugleichen.

### **Die Stickstoffeutrophierung der Wälder ist weiterhin eine Herausforderung**

Neben der Bodenversauerung wird die N-Eutrophierung von Wäldern und Waldböden als Hauptverursacher von möglichen Schäden durch Luftverunreinigungen angesehen. In natürlich N-limitierten Waldökosystemen können erhöhte N-Einträge, neben bereits genannten Versauerungseffekten, zu Nährstoffungleichgewichten im Nährstoffangebot, d.h. zu relativer Mangelversorgung anderer Nährelemente führen (Aber *et al.* 1998, Vitousek *et al.* 1997). Hierbei spielen Ammonium-N-Einträge eine wichtige Rolle (Nihlgård 1985). Werden durch stark erhöhte Einträge die Grenzen der Aufnahmefähigkeit der Waldökosysteme erreicht, tritt eine N-Sättigung ein (Agren & Bosatta 1988). Dementsprechend definieren Eichhorn (1995), Cole *et al.* (1992) und van Miegroet *et al.* (1992), dass Waldökosysteme N-gesättigt sind, wenn der Input aus N-Mineralisierung und Atmosphäre die Rückhaltefähigkeit der Systeme übersteigt und regelmäßige Nitratausträge beginnen ( $> 5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ , Block *et al.* (2000). Ein weiterer Effekt des N-Eintrags ist die Veränderung der Artenzusammensetzung der Waldvegetation mit dem Verlust von häufig seltenen Arten, die an N-arme Standorte angepasst sind (Bobbink *et al.* 1998). Hier können bereits die Überschreitung von Raten von 10 bis  $15 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  zur Veränderung der Artenzusammensetzung, erhöhter Anfälligkeit gegenüber Schaderregern und geänderter Mykorrhizierung führen (Bobbink *et al.* 2010). Die Ergebnisse des forstlichen Umweltmonitorings (Level II) in ausgewählten Wäldern zeigen zwar über alle Standorte in Deutschland eine leichte

Abnahme der Einträge an oxidiertem N ( $\text{NO}_x\text{-N}$ ), die Einträge an reduziertem N (Ammonium,  $\text{NH}_4\text{-N}$ ) aber zeigen an der weit überwiegenderen Anzahl der Messflächen keine Abnahme. Typische regional ausgewählte Flächen weisen in der Summe von oxidierten und reduzierten N-Einträgen ( $\text{NO}_x\text{-N} + \text{NH}_4\text{-N}$ ) Raten von über  $10 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  auf (UBA 2013). An vielen Erhebungspunkten der BZE fanden sich, entsprechend für den Erhebungszeitraum, Überschreitungen der kritischen Eintragsraten für eutrophierenden N (Critical Loads,  $\text{CL}_{\text{nut}}$ ), die auf ein Überangebot an N für die Waldernährung hinweisen. Damit im Einklang steht ein Zusammenhang der Überschreitung von kritischen Eintragsraten der eutrophierenden N-Einträge ( $\text{CL}_{\text{nut}}$ ) und dem zunehmenden Anteil vorkommender Pflanzenarten, die an eutrophe Standorte angepasst sind (Beispiel: Montane Fichtenwälder). Dazu passt, dass der Bodenvorrat an N seit der ersten BZE im oberen Mineralboden angestiegen ist (Tiefenstufe 0-5 cm deutlich, Tiefenstufe 5-10 cm leicht). Die erhebliche Abnahme an N-Vorräten in tieferen Mineralbodenschichten (ab 30 cm Bodentiefe) kann durch eine gesteigerte N-Aufnahme im Baumbestand, höherem Nitrataustrag und bzw. oder gasförmige N-Austräge verursacht worden sein. Auswertungen aus dem Intensiven Forstlichen Umweltmonitoring (ForUmV Level II) zeigen die Gefahr erhöhter Nitrat-N-Austräge mit dem Sickerwasser ( $> 5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ) bei kontinuierlich hohen Ammonium-N-Einträgen (UBA 2013). Eine Bodenschutzkalkung wirkt sich eher günstig auf die Entwicklung der N-Vorräte im Mineralboden aus. Die ernährungskundlichen Ergebnisse der BZE zeigen eine ausgesprochene Überversorgung mit N bei den Baumarten Kiefer und Eiche, etwas schwächer stellt sich die Überversorgung bei Fichte und Buche dar. Zwischen BZE I und BZE II haben die N-Gehalte in den Fichtennadeln und in den Buchenblättern zugenommen. Ein Einfluss der Bodenschutzkalkung auf die N-Ernährung wird nicht festgestellt. Die hohen N-Einträge sind in der Waldernährung auch von Bedeutung, weil für das Pflanzenwachstum die Relation verschiedener Nährstoffe von Bedeutung ist. Hier sind insbesondere Entwicklungen in der Phosphor (P)- und in der Kalium (K)-Ernährung zu nennen. Phosphordefizite treten bei allen Hauptbaumarten auf, besonders bei Buche. Die K-Ernährung von Kiefer und Eiche ist gut, allerdings sind etwa ein Viertel der Fichten und Buchen in der Stichprobe unterversorgt.

Diese Befunde machen deutlich, dass der Eintrag von N in weiten Teilen Deutschlands die Wälder eutrophiert und weiträumig mit ungünstigen Wirkungen von weiterhin hohen N-Einträgen in Wäldern zu rechnen ist. Aus dieser Sicht hat die Reduktion von N-Einträgen, insbesondere auch von Ammonium-N eine besondere Priorität bei weiteren politischen Anstrengungen zur Luftreinhaltung (z.B. Einhaltung und Unterschreitung der Emissions-Höchstmengen laut UN/ECE CLRTAP-Multikomponentenprotokoll; Richtlinie über nationale Emissionshöchstmengen EU-NEC-RL).

### **Die Standortnachhaltigkeit muss bei der Holzernte und Entnahme von Biomasse beachtet werden**

Stickstoff (N), Phosphor (P), Magnesium (Mg), sowie Kalium (K) sind wachstumsnotwendige und teilweise -begrenzende Nährstoffe terrestrischer Ökosysteme (Ellenberg *et al.* 1986). Nährstoffe, die nicht über die atmosphärische Deposition eingetragen werden, müssen beim Export der Nährstoffe mit Holz- oder Biomassenutzung aus der Mineralverwitterung nachgeliefert werden. Die Ergebnisse der BZE II zeigen für das Nordostdeutsche Tiefland unterdurchschnittliche Nährstoffvorräte in den oberen

10 cm des Mineralbodens. Eine Ausnahme bilden dabei jungpleistozäne Standorte mit höheren Vorräten. Im deutschen Mittelgebirgsraum sind die oberen 10 cm wesentlich reicher an K- und Mg-Vorräten mit Ausnahme des nördlichen Schwarzwalds, der meisten Standorte im Rhein-Main-Gebiet und im Pfälzer Wald. Auch die P-Vorräte sind in 0-10 cm im Nordostdeutschen Tiefland vergleichsweise niedrig mit Werten meist unterhalb des 25. Perzentils. Durch die Verlagerung der organischen Substanz von der Auflage in den Mineralboden wurden seit der BZE I auch viele Nährstoffe in den Mineralboden transportiert. Dort können Sie bevorzugt von den Bäumen aufgenommen werden. Die Auswertung der Baumernährung zeigt eine Abnahme der P- und S-Werte. Auch K-Mangel tritt vereinzelt auf. Viele Waldböden verfügen nach diesen Ergebnissen über nur einen begrenzten Bestand an verwitterbaren Mineralen und dementsprechend eine nur geringe Nachlieferung an Ca, Mg und K aus der Mineralverwitterung. Durch die hohen Austragsraten dieser basischen Kationen in Verbindung mit der Überflutung der Böden durch mobile Anionen (Nitrat und Sulfat) sind die Bilanzen dieser Nährstoffe häufig defizitär. Zudem sind die P-Vorräte in den Böden häufig nur gering. Die Intensität der Holznutzung muss daher insbesondere auf Flächen ohne Bodenschutzkalkung sorgsam an das standortsverträgliche Ausmaß angepasst werden (Block & Meiwes 2013). Vollbaumernten, welche die stark nährstoffhaltige Rinde, Reisig und Nadeln/Blätter entnehmen, sollten daher nur in Betracht gezogen werden, wenn dies auf dem jeweiligen Standort mit der Nährstoffnachhaltigkeit vereinbar ist und nicht zu einer Beeinträchtigung der Standortsproduktivität führen kann.

### **Waldböden binden Schwermetalle**

Die Schwermetallgehalte der Waldböden Deutschlands werden sowohl durch den geogenen Grundgehalt des Ausgangsgesteins als auch durch atmogene Einträge bestimmt, die den geogenen Grundgehalt insbesondere in den Oberböden überprägen können. Der atmogene Eintrag der Schwermetalle hat im Zeitraum zwischen BZE I und BZE II abgenommen, was bei gleichzeitiger Verlagerung der Schwermetalle in den oberen Mineralboden zu einer Abreicherung in den Humusaufgaben geführt hat. Dieser Effekt wird durch die Waldkalkung, die eine Humusverlagerung von der Auflage in den oberen Mineralboden bewirkt, tendenziell verstärkt. Die Befunde der BZE II zeigen, dass lediglich die Elemente Arsen (As) und Blei (Pb) eine nennenswerte Überschreitung der Vorsorgewerte flächenmäßig mit 13,2 % für As und 22,1 % für Pb aufweisen. Diese Belastungen treten vor allem im Erzgebirge (As, Pb) sowie im Harz und dem Rheinischen Schiefergebirge (Pb) auf und haben ihre Ursache sowohl in den Bergbauaktivitäten der zurückliegenden Jahrhunderte als auch in erhöhten atmogenen Einträgen. Generell werden die Schwermetalle im Mineralboden gebunden und vor der Verlagerung in das Grundwasser geschützt. Der Verzicht auf Kahlschläge und Bodenbearbeitung und ein störungsarmer Waldbau hilft eine Verlagerung der organischen Substanz, an die viele Stoffe gebunden sind, zu vermeiden.

### **Die Kohlenstoffspeicherung der Waldböden leistet einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz**

Die Wälder und Waldböden in Deutschland tragen mit einer Festlegungsrate von jährlich etwa 52 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten (Zeitraum 1990-2012) zum Klimaschutz bei (UBA 2014, Wellbrock *et al.* 2014). Bei der Einbeziehung der Klimaschutzwirkung von Holz aus Waldnutzung erhöht sich

der Beitrag nochmal um ca. 36 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten für den Ersatz fossiler Brennstoffe und fast 57 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten durch die Substitution von energieintensiven Materialien durch Holzprodukte (Zeitraum 2005-2009, Rüter 2011). Dies ist ein bemerkenswerter Gegensatz zur Situation in vielen anderen Regionen der Welt, in denen Abholzung und Entwaldung zu einer globalen Netto-Emission von 4,9 Mill. t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten (Stichjahr 2010) geführt haben (Tubiello *et al.* 2015). Allein der Auflagehumus und die oberen 30 cm des Mineralbodens speicherten zum Zeitpunkt der BZE II ca. 850 Mio. t C, was nach der Biomasse des Bestands den zweitgrößten C-Pool der Wälder ergibt. Mit der deutschlandweiten Hochrechnung anhand der BZE II-Daten von Grüneberg *et al.* (2014) wurde für den Mineralboden bis in eine Tiefe von 30 cm eine jährliche Zunahme der C-Vorräte zwischen 1990 und 2006 von 0,41 t ha<sup>-1</sup> abgeschätzt. Im Auflagehumus nahm der C-Vorrat im gleichen Zeitraum jährlich um 0,02 t ha<sup>-1</sup> ab. Hieraus lässt sich für den Waldboden (Auflagehumus und 0-30 cm des Mineralbodens) eine Senkenleistung in der Größenordnung von jährlich rund 15 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten ableiten. Auch der hier dargestellte direkte Standortvergleich auf Gesamtprofilebene (Auflagehumus und 0-90 cm des Mineralbodens) ergibt im bundesweiten Mittel eine jährliche signifikante Zunahme (0,75t C ha<sup>-1</sup>). Allerdings bestehen zwischen der flächigen Hochrechnung und dem Mittelwert des Standortvergleichs methodische Unterschiede.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass die bestehende nachhaltige Bewirtschaftung der Wälder in Deutschland in den letzten gut 20 Jahren sowohl zur Festlegung von C in den Wäldern und den Waldböden als auch zur Erzeugung klimaschonender Holzprodukte beigetragen hat. Dieser Zweiklang von bewusster, nachhaltiger Waldnutzung mit doppelter Klimaschutzwirkung sollte daher unbedingt weiter gefördert werden. Bewirtschaftungseinschränkungen und Aufgabe der Holznutzung führen durch die geminderte oder entgangene Substitutionswirkung von Holzprodukten zu einer geringeren Klimaschutzwirkung von Wäldern (Rock & Bolte 2011). Die Waldbewirtschaftung mit den in der BZE untersuchten Komponenten Baumartenwahl und Kalkung haben keinen deutlichen Einfluss auf die Menge an in Auflage und Mineralboden gespeichertem C. Allerdings tragen Kalkung und Erhöhung der Laubwaldanteile zu einer Verlagerung von C-Vorräten aus der Auflage in den Mineralboden bei. Dies kann eine stabilisierende Wirkung auf die C-Speicherung haben. Die Vorteile einer Laubwalderhöhung müssen aus Klimaschutzsicht aber mit den Nachteilen einer geringeren Nachfrage von Laubholz bei der stofflichen Verwertung und daraus resultierender Nachteile für den Klimaschutz abgewogen werden (Frühwald & Knauf 2013). Die Intensität der derzeit praktizierten Waldbewirtschaftung ohne Kahlschläge hat nach Ergebnissen von Einzelstudien keinen deutlichen Einfluss auf die Speicherfähigkeit der Waldböden für C (Grüneberg *et al.* 2013, Jandl *et al.* 2011, Mund & Schulze 2006, Wäldchen *et al.* 2013). Insgesamt ist ersichtlich, dass die bestehenden Normen und Regeln einer nachhaltigen Forstwirtschaft zu einer positiven Klimaschutzwirkung der Wälder in Deutschland geführt haben. Dies sollte so weitergeführt werden und Einschränkungen in der Holznutzung sollten auf ein absolut notwendiges Maß beschränkt bleiben.

### **Wechselwirkungen von Klimawandel und Luftverunreinigung sind erkennbar**

Wirkungen von Luftverunreinigungen und Stoffeinträgen auf Wälder können mit Extremwitterung und -wetterlagen wie z.B. Hitze und Trockenheit interagieren (Paoletti *et al.* 2007). Bytnerowicz *et al.* (2007) sprechen in diesem Zusammenhang eine erhöhte Empfindlichkeit von N-übersorgten Bäumen gegenüber Spätfrost, Schaderregern und Trockenheit an. Auch eine geringere Wurzelerschließung durch Bodenversauerung kann die Trockenheitsempfindlichkeit erhöhen (Ulrich 1986a). Die Kronenansprache der Waldzustandserhebung (WZE) stellt auf den Flächen der Bodenzustandserhebung einen wichtigen Bestandteil in der Risikobewertung der Waldentwicklung gegenüber Umweltbedingungen wie Immissionen und Witterung dar. So zeigen Fichten mit überhöhten N-Gehalten in den Nadeln deutlich erhöhte Nadelverluste. Auch sind Fichtenbestände in Regionen, die von hoher Verdunstung betroffen sind und gleichzeitig auf Böden mit geringer Wasserhaltekapazität stehen, besonders von hohen Nadelverlusten betroffen. Es lässt sich feststellen, dass Risiken für die Fichte heute vor allem durch N-Einträge und durch Klimaveränderung bestehen, die sich gegenseitig verstärken können. In diesem Zusammenhang ist von Bedeutung, dass im Zuge der Waldzustandserhebung jährlich eine Bonitur biotischer Faktoren wie Pilze und Insekten erfolgt. Die Mortalität von Fichten in der Stichprobe steigt häufig nach extrem warm-trockenen Jahren in Folge von Borkenkäfervermehrungen für mehrere Jahre. Die Beobachtung verdeutlicht die Empfindlichkeit der Fichte gegenüber Trockenstress und Luftverunreinigungen. Für die Kronenverlichtung der Buche spielen ähnliche Einflussgrößen eine Rolle wie für die Fichte, wobei biotische Schaderreger eine untergeordnete Rolle spielen. Auch die Eiche kann bundesweit nicht als Hoffnungsträger im Klimawandel angesehen werden: Sie stellt die Hauptbaumart mit den bundesweit höchsten Kronenverlichtungen dar und zeigte sich ebenfalls empfindlich nach der extremen Trockenheit des Jahres 2003. Wie bei der Fichte, kommt auch bei der Eiche wärmebegünstigten Schaderregern, hier der Eichenfraßgesellschaft, eine Schlüsselrolle in der Stabilitätsentwicklung zu. Die Ergebnisse machen deutlich, dass eine Verminderung der Treibhausgasemissionen dringend erforderlich ist, um den laufenden Klimawandel auf ein Ausmaß (2 °C-Ziel) zu begrenzen, an den sich die Wälder in Deutschland anpassen können. Dies ist umso wichtiger, da viele Wälder durch die zurückliegenden und aktuellen Wirkungen von Luftverunreinigungen vorbelastet sind.

### **Waldumbau hat positive Wirkungen auf die Waldböden**

Der Umbau von Nadelbaum-Reinbeständen mit Fichte und Kiefer zu Laub- und Mischwaldbeständen hat den Waldaufbau in den letzten 20 Jahren in vielen Regionen verändert. Ausdruck hiervon ist die Abnahme der Waldflächen mit Fichte und Kiefer um 329.000 ha (rechnerischer Reinbestand) und die Zunahme derer mit Buche, Eiche und anderen Laubwaldarten (ALH, ALN) um 315.000 ha im Zeitraum zwischen 2002 und 2012 (Kroiher & Bolte 2015). Dieser Waldumbau hat insgesamt positive Wirkungen auf die Waldböden, da Laubwälder insgesamt eine geringere Versauerung und höhere Basensättigung als Nadelwälder aufweisen sowie mehr organische Substanz und C im Mineralboden binden. Diese Bindung in tieferen Bodenschichten führt zu einer Stabilisierung der C-Festlegung gegenüber Störungen der Auflage und des Oberbodens und zur leichteren Verfügbarkeit der organisch gebundenen Nährstoffe. Im

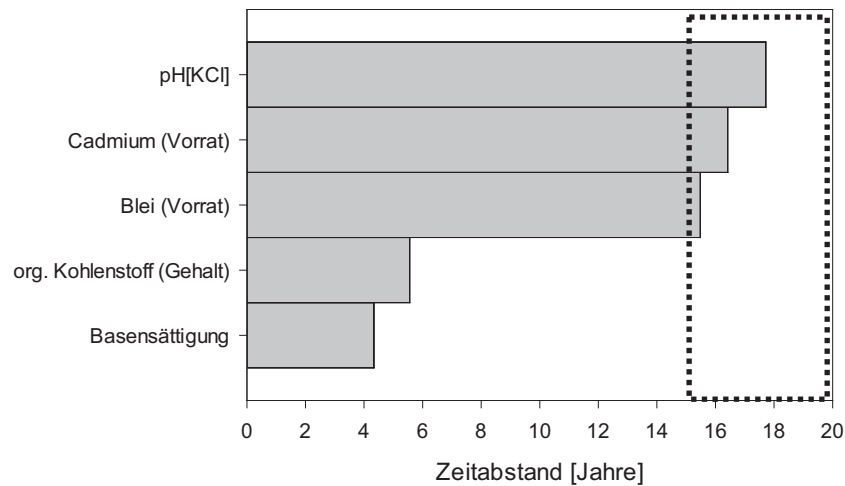
Zusammenhang mit der überragenden wirtschaftlichen Bedeutung von Nadelholz für die holznutzenden Unternehmen (Dieter & Janzen 2015) und einer notwendigen Risikostreuung gegenüber Risiken des Klimawandels (Bolte *et al.* 2009) sollte ein Fokus allerdings auf dem Aufbau von Mischwäldern und der Erhaltung eines ausreichenden Anteils von Nadelbaumarten sein, die an zukünftige Klimabedingungen angepasst sind. Hier sollten politische Maßnahmen darauf abzielen, diese Mischwald-Mehrung auch unter Einbeziehung toleranter heimischer wie auch eingeführter Baumarten wie der Weißtanne, Douglasie und Küstentanne gezielt zu fördern. Dabei sind die berechtigten Belange des Naturschutzes zu wahren.

## 12.1 Fazit und Ausblick

Anthropogene Umweltveränderungen wie Säure- und N-Einträge sowie der Klimawandel modifizieren die Eigenschaften der Waldböden rascher als dies noch vor wenigen Jahren zu erwarten war. Mit veränderten Bodeneigenschaften entstehen veränderte Wälder mit Leistungen und Risiken.

Die vielfältigen Ergebnisse der zweiten bundesweiten Bodenzustandserhebung (BZE II) im Wald bieten herausragende, neue Möglichkeiten, die Wirkungen von Umwelteinflüssen und Bewirtschaftung auf Wälder und Waldböden zu bewerten. Mit den Auswertungen der BZE II im Wald können zum ersten Mal Veränderungen im Zustand der Waldböden und korrespondierender Waldmerkmale systematisch und repräsentativ für Deutschland auf nationaler und regionaler Ebene dargestellt werden. Sowohl die Anzahl der untersuchten ca. 1900 Standorte als auch der Umfang der Erhebungsgrößen zu den Bereichen Kronenzustand, Bestand, Vegetation, Ernährung und Boden sind einzigartig. Die Vernetzung der BZE Wald mit der laufenden Bodenzustandserhebung Landwirtschaft und anderen Erhebungen des Forstlichen Umweltmonitorings ermöglicht einen Überblick über alle Landnutzungen in Deutschland und verknüpft Informationen zur nachhaltigen Nutzung unserer Wälder mit den ökologischen Grundlagen des Waldwachstums. Damit wird ein umfassender Blick sowohl auf den Schutz unserer Ressourcen und auch deren nachhaltige Nutzungsmöglichkeit geworfen.

Mit der Wiederholungsinventur hat sich die BZE von einer Boden-Inventur zu einem wertvollen Instrument im Forstlichen Umweltmonitoring entwickelt, das als integraler Bestandteil der im Bundeswaldgesetz normierten Walderhebungen (§ 41a BWaldG) von sehr hoher Bedeutung ist. Ausmaß und Geschwindigkeit sowie die Veränderungen der räumlichen Muster lassen sich nur durch methodisch vergleichbare Zeitreihen aufzeigen. Die Bedeutung der Ergebnisse für die Politikberatung und die Berichtspflichten der Bundesregierung sowie die zurückliegenden Änderungen für ausgewählte Bodenparameter (Abb. I-12-1) spricht für eine Wiederholung (BZE III) im Zeitraum von 15 bis 20 Jahren nach dem Erhebungszeitraum der BZE II. Entsprechende Weichen sollten mit einer Bundesverordnung in Abstimmung mit den Ländern gestellt werden.



**Abb. I-12-1: Zeitabstand zur BZE II für die Wahrscheinlichkeit einer signifikanten Veränderung verschiedener Parameter in den Waldböden Deutschlands. Die Cadmium- und Bleivorräte entstammen der Humusauflage, während sich der pH[KCl]-Wert, der organische Kohlenstoffgehalt und die Basensättigung auf die Tiefenstufe 0-10 cm beziehen. Der gestrichelt umrahmte Bereich (15 bis 20 Jahre Zeitabstand) zeigt das Wiederholungsintervall an, in dem signifikante Veränderungen für alle gezeigten Bodenparameter erfasst werden können.**

Die vorliegenden Ergebnisse der BZE II zeigen, dass weitere Anstrengungen zur Luftreinhaltung, insbesondere bei der Emission von N-Verbindungen, und die konsequente Beibehaltung einer nachhaltigen und bodenschonenden Waldwirtschaft wichtig für die Erhaltung und weitere Entwicklung leistungsfähiger Wälder und fruchtbarer Waldböden sind. Hier sind die Weiterentwicklung und konsequente Umsetzung politischer Maßnahmen von großer Bedeutung. Die Erfolge bei der Reduktion der Säurebelastung durch Luftreinhaltung und Waldkalkung zeigen dabei die Möglichkeiten von konzertiertem politischem Handeln auf und werden durch bodenschützendes adaptives Management der Forstbetriebe unterstützt. Ohne die BZE II wären diese Erfolge nicht nachweisbar gewesen.

Die Bodenzustandserhebung ist auch Beispiel für eine erfolgreiche Zusammenarbeit von Bund und Ländern. Aber nicht alle Fragen können mit dem Verfahren systematischer Stichproben geklärt werden. Weitere Fragen werden gestellt. Wichtige Aspekte, wie die Erhaltung der Nährstoffnachhaltigkeit der Böden durch Begrenzung der Vollbaumernte auf Standorte mit ausreichender Nährstoffnachlieferung und die Vermeidung von Bodenverdichtung durch schwere Erntetechnik, erfordern ergänzende Forschungsanstrengungen. Letztlich entsteht der Wert der Bodenzustandserhebung durch die Umsetzung der Ergebnisse in Politik, Verwaltungsabläufen und in Betrieben.