

Situation der Waldernährung in Deutschland

Ergänzend zu den Untersuchungen des Bodenzustandes wurden an allen BZE-Punkten chemische Nadel-/Blattanalysen zur Ernährungsdiagnose der Hauptbaumarten durchgeführt. Sie bilden einen wesentlichen Baustein für die umfassende Waldzustandsdiagnose und leisten einen wichtigen Beitrag zur Interpretation der stofflichen Veränderungen in den untersuchten Waldökosystemen.

Winfried Riek, Ulrike Talkner, Inge Dammann, Martin Kohler, Karl Josef Meiwes, Axel Göttlein

Während die Kennwerte von Humus- und Mineralbodenproben lediglich Hinweise auf potenzielle Nährstoffengpässe und Belastungen an den BZE-Punkten geben, lässt sich anhand der Nadel-/Blattgehalte die tatsächliche Ernährungssituation der Bäume im Jahr der Probenahme beurteilen. Durch den Vergleich der aktuellen Daten mit denen der ersten Bodenzustandserhebung kann die Wirksamkeit von Luftreinhaltmaßnahmen und forstlichen Maßnahmen zur Stabilisierung der Waldökosysteme (z. B. Waldumbau, Bodenschutzkalkung) bewertet werden.

Bewertung der aktuellen Ernährungssituation

Die vorliegenden Ernährungsdiagnosen basieren auf baumartenspezifischen Schwellenwerten eines integrierenden Bewertungssystems, das von Göttlein [1] im Rahmen einer Metaanalyse für die Hauptbaumarten hergeleitet wurde. Als Grenzwerte fungieren die berechneten Mediane aller in der Literatur zur Verfügung stehenden Bewertungssysteme; sie stehen somit für die jeweils „wahrscheinlichsten“ Grenzen der Bewertungsstufen. Nach diesem Bewertungssystem ergeben sich die in Abb. 2 dargestellten Ein-

stufungen der Nadel-/Blattspiegelwerte von Fichten, Kiefern, Buchen und Eichen an den BZE-Punkten.

Bei allen ausgewerteten Baumarten ist häufig eine Luxusernährung mit Stickstoff zu beobachten. Diese kann zu Nährlementungleichgewichten und möglicherweise zu einer Prädisposition gegenüber Schädlingsbefall führen. Hiervon betroffen sind bei Kiefer und Eiche mehr als die Hälfte, bei Fichte und Buche mehr als ein Viertel aller Bestände. Zu beachten ist jedoch auch, dass sich bei Fichte

Schneller Überblick

- Bei allen ausgewerteten Baumarten ist häufig eine Luxusernährung mit Stickstoff zu beobachten, dagegen zeigen sich Defizite beim Phosphor
- Insgesamt treten bei der Buche Ernährungsdefizite häufiger auf als bei Fichte, Eiche und Kiefer
- Mit Blick auf die Calcium- und Magnesiumernährung der Wälder sind die Kalkungsmaßnahmen als Erfolg zu werten



Abb. 1: Entnahme von Nadelproben bei der BZE im Land Brandenburg

8 % und bei Kiefer 5 % der Stichprobe im (latenten) Mangelbereich befinden. Die regionale Verteilung der Bewertungsstufen für Stickstoff geht aus den Kartogrammen in Abb. 3 exemplarisch für die Baumarten Fichte und Kiefer hervor.

Phosphordefizite zeigen sich bei allen Baumarten. Bei der Fichte und der Kiefer befinden sich 20 % bzw. 18 % der Stichprobe im (latenten) Mangelbereich, bei der Eiche sind es mehr als ein Drittel und bei der Buche sogar fast zwei Drittel aller BZE-Punkte. Die Versorgung mit Phosphor bedarf vor allem bei den zuletzt genannten Baumarten in Zukunft erhöhter Aufmerksamkeit [2].

Über alle Baumarten hinweg zeigt sich eine über-

wiegend normale bis luxuriöse Kalium-, Calcium- und Magnesiumernährung. Höhere Anteile im Bereich von (latenter) Unterversorgung sind für Kalium vor allem bei Fichte und Buche, für Calcium bei Buche und Eiche und für Magnesium bei Kiefer, Buche und Eiche zu verzeichnen.

Die Schwefelernährung ist bei Kiefer und Eiche nahezu vollständig im Normalbereich, bei Fichte und Buche an jeweils ca. 40 % der Inventurpunkte (latent) mangelhaft. Möglicherweise sind die Schwellen für Schwefelmangel in der Literatur jedoch tendenziell zu hoch angesetzt, da die Referenzwerte aus Zeiten mit hoher atmosphärischer Schwefelbelastung stammen.

Die Gehalte an den Spurennährstoffen Eisen, Mangan, Zink und Kupfer fallen bei allen Baumarten überwiegend in den Normalbereich. Auffallend ist das gehäufte Auftreten von Überversorgung bei dem Element Mangan.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse der BZE II, dass bei der Buche Ernährungsdefizite häufiger auftreten als bei Fichte, Eiche und Kiefer.

Einfluss des Standorts auf die Ernährungssituation

Auch wenn kausale Zusammenhänge zwischen Standort und Ernährungszustand der Bäume zu vermuten sind, konnten diese anhand der empirischen BZE-Daten nur eingeschränkt nachgewiesen werden. Der vergangene und gegenwärtige Einfluss der atmosphärischen Stoffeinträge sowie die Wirkung von Bodenschutzkalkungen auf die Nährstoffverfügbarkeit überlagern zum Teil die natürlichen trophischen Beziehungen. Zudem sind die Bäume physiologisch in der Lage, die Aufnahme von Nährstoffen zu steuern und somit bestehende Unterschiede in der Nährstoffausstattung der Böden in einem gewissen Maß auszugleichen.

Lediglich für die Elemente Calcium und Magnesium zeigen sich bei allen Baumarten deutliche und plausible Unterschiede der Versorgung in Abhängigkeit von Bodensubstratgruppen, Bodenversauerungstypen und Humusformen. So reduzieren sich die Gehalte dieser Elemente mit steigendem Versauerungsgrad der Böden, ungünstigeren Humusformen und nährstoffärmerem Bodensubstrat.

Auf Standorten mit besseren Humusformen sind tendenziell höhere Phosphorgehalte in Nadeln und Blättern von Fichte, Kiefer und Eiche zu verzeichnen als auf Standorten mit Rohhumusformen. Da für die P-Ernährung die Mineralisierung organischer P-Verbindungen eine bedeutende Rolle spielt, können Rohhumusformen, die auf eine eingeschränkte biologische Aktivität hinweisen, zu ge-

ringer P-Verfügbarkeit führen. Dass sich für die Stickstoffgehalte in Nadeln und Blättern keine entsprechenden Abhängigkeiten nachweisen lassen, belegt den Einfluss atmosphärischer Stickstoffeinträge auf die N-Ernährung der Waldbäume. Die natürlichen Zusammenhänge zwischen Stickstoffverfügbarkeit und Humusform werden durch die N-Deposition überlagert und weitgehend nivelliert.

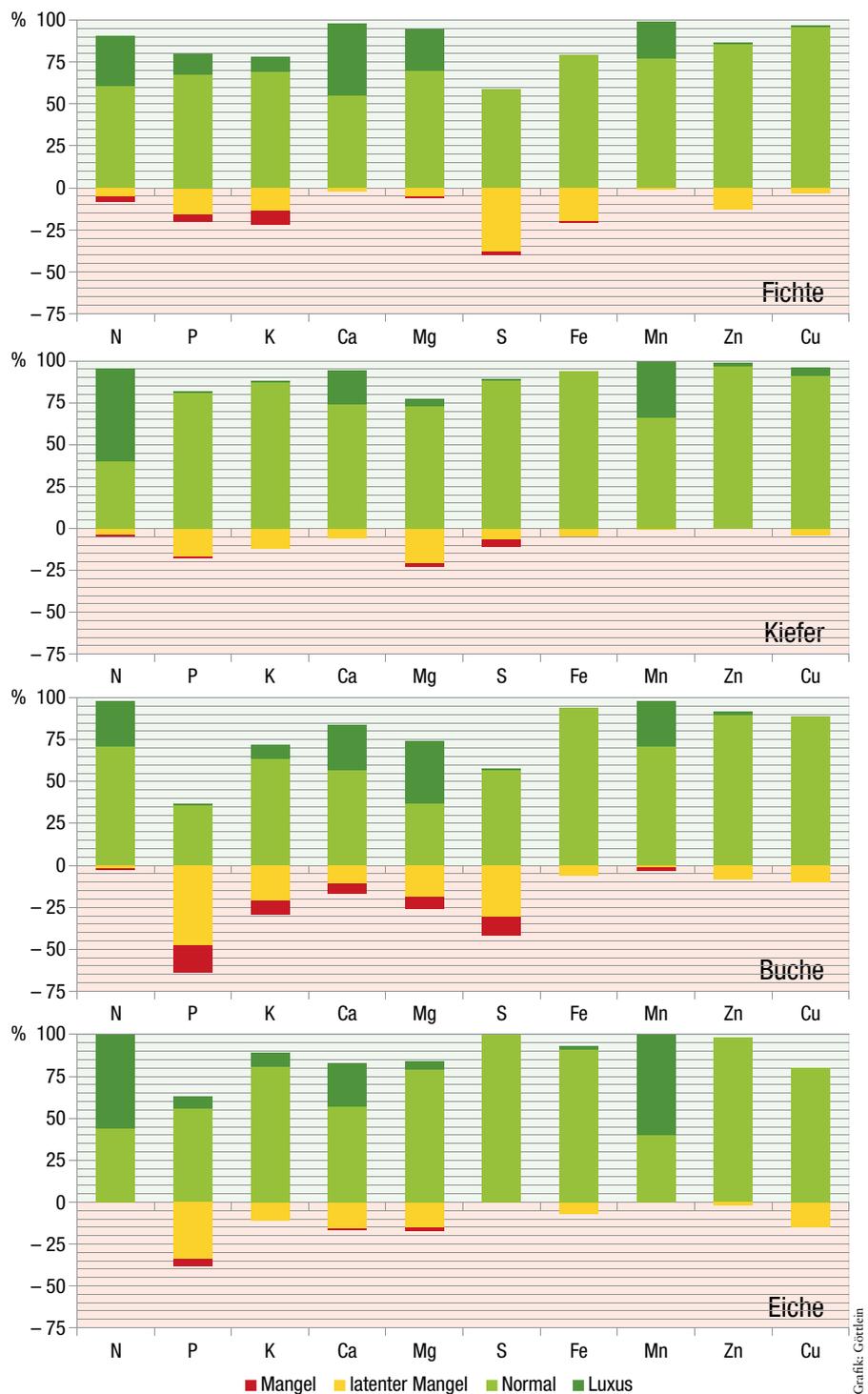


Abb. 2: Prozentuale Anteile der Bewertungsstufen von Haupt- und Spurennährstoffen nach Göttlein [1] für die Baumarten Fichte, Kiefer, Buche und Eiche in der BZE II-Stichprobe

Veränderungen zwischen BZE I und BZE II

Sehr deutlich ist ein Rückgang der Schwefel(über)ernährung bei allen Baumarten zu beobachten – ein Indiz für die erfolgreiche Umsetzung der Luftreinhaltepolitik im Bereich der Schwefelemissionen. Durch den Einsatz von Entschwefelungsanlagen seit den späten 1980er-Jahren haben sich die Schwefelemissionen auf ca. ein Zehntel reduziert [3], was die Waldernährung als Bioindikator deutlich widerspiegelt. Auch für das Schwermetall Blei bestätigen verringerte Gehalte in Nadeln und Blättern die Wirksamkeit von Maßnahmen zur Reduktion von Bleiemissionen.

Bei den Nährelementen haben sich vor allem die Calciumgehalte bei allen vier Hauptbaumarten sowie die Magnesiumgehalte bei Fichte und Buche bedeutsam verbessert. Dies wird auf verringerte Säureinträge und den Einfluss von Bodenschutzkalkungen zurückgeführt.

Die Stickstoffernährung ist im Zeitraum zwischen BZE I und BZE II insgesamt luxuriöser geworden, was als weiterer Beleg

für die anhaltend hohe atmogene Stickstoffbelastung der Waldökosysteme interpretiert wird.

Nährstoffungleichgewichte durch Stickstoffüberernährung

Das durch N-Eintrag angeregte Wachstum hat zur Folge, dass auch die sonstigen essenziellen Nährelemente in größeren Mengen aufgenommen werden müssen. Dieser erhöhte Bedarf kann nicht auf allen Standorten gedeckt werden, so dass mit N-bedingter Wachstumssteigerung oftmals Ernährungsungleichgewichte z. B. hinsichtlich der N/Mg-, N/K-, N/Ca- oder N/P-Relationen einhergehen. Disharmonische Nährelementverhältnisse infolge hoher N-Einträge deuteten sich bereits bei der ersten bundesweiten Bodenzustandserhebung für Fichte, Kiefer und Buche insbesondere im nördlichen Teil Deutschlands an [4].

In Abb. 4 ist beispielhaft für die Baumart Buche die N/Mg-Relation zum einen dem Mg-Gehalt und zum anderen dem N-Gehalt der Blätter gegenübergestellt. Die

horizontalen Linien markieren jeweils den Bereich der normalen Ernährung nach Göttlein [1]. Werte unterhalb der unteren Linie weisen auf latenten Elementmangel hin. Analoge Auswertungen wurden für alle Hauptnährstoffe und Baumarten durchgeführt. Stets zeigte sich dabei, dass unausgewogene Stickstoffquotienten nicht in unmittelbarem Zusammenhang mit hohen N-Gehalten stehen, sondern vor allem durch niedrige Gehalte an Phosphor, Kalium, Calcium bzw. Magnesium bedingt sind. Diese Befunde belegen für Stickstoff eine relativ geringe Variabilität auf hohem Niveau sowie vergleichsweise große Streuungen der anderen Nährelemente. Somit sind zwar keine unmittelbaren Zusammenhänge zwischen N-Überernährung und Störungen der Aufnahme von Nährstoffkationen erkennbar; die Ergebnisse weisen aber dennoch auf eine Stickstoffübersorgung hin, in deren Folge auf Standorten mit geringer Calcium-, Magnesium-, Kalium- oder Phosphorversorgung Ernährungsungleichgewichte auftreten.

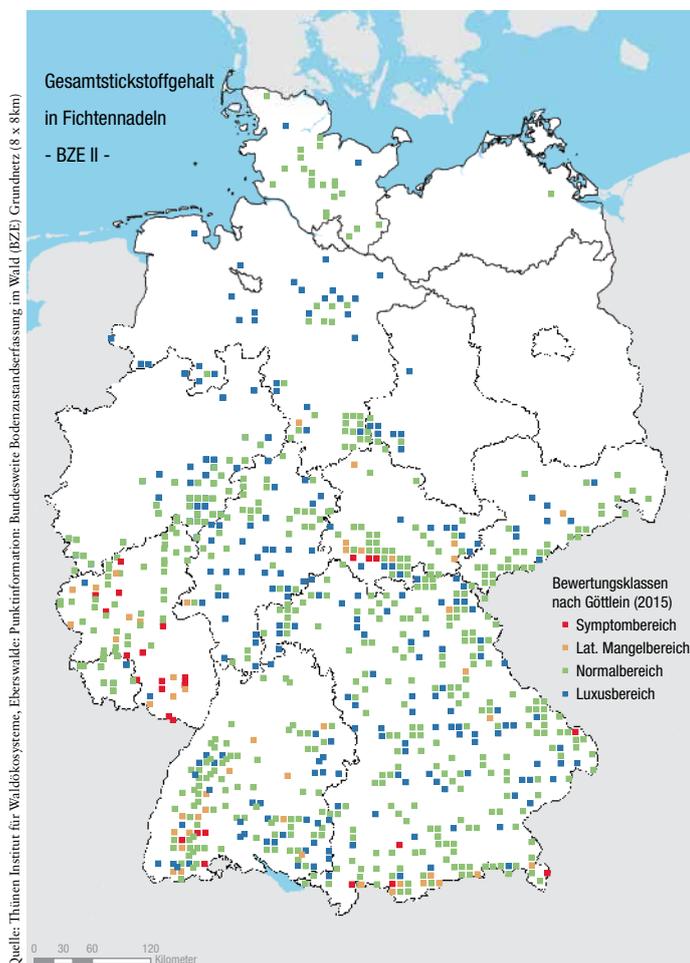


Abb. 3a: Kartogramm der Stickstoffernährung von Fichte

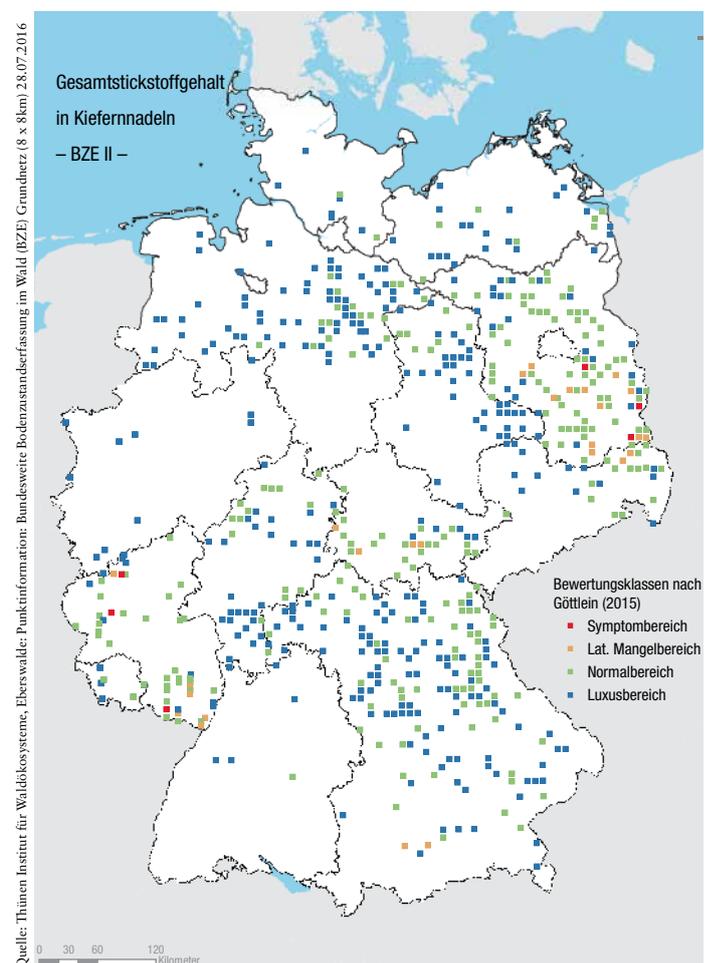


Abb. 3b: Kartogramm der Stickstoffernährung von Kiefer

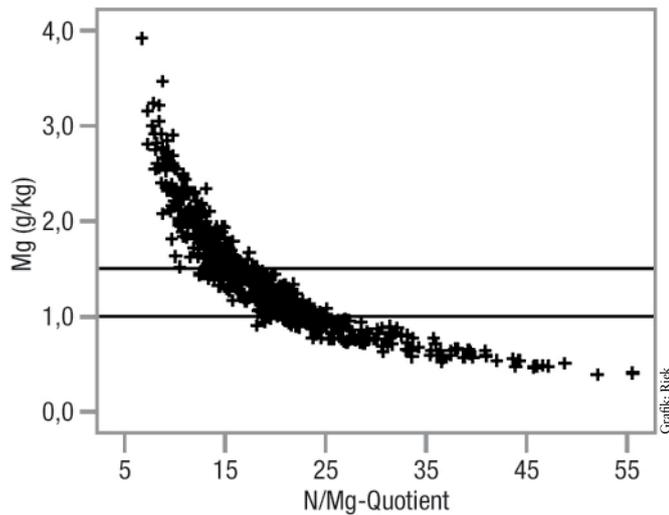


Abb. 4a: Beziehung zwischen N/Mg-Quotient und Magnesiumgehalt am Beispiel der Baumart Buche (horizontale Linien = Normalbereich nach Göttlein [1])

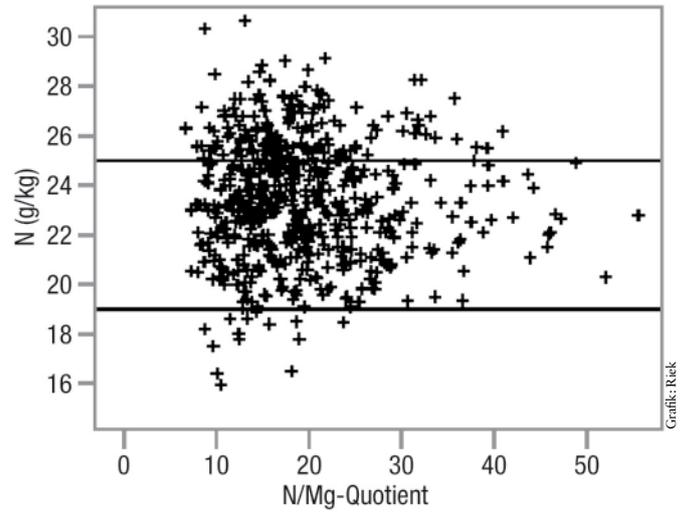


Abb. 4b: Beziehung zwischen N/Mg-Quotient und Stickstoffgehalt am Beispiel der Baumart Buche (horizontale Linien = Normalbereich nach Göttlein [1])

Einfluss von Bodenschutzkalkungen auf die Ernährungssituation

Für den Vergleich von gekalkten und ungekalkten Flächen wurden alle BZE-Punkte berücksichtigt, die zu den bundeslandspezifischen Kulissen versauerungsempfindlicher Standorte gehören, d. h. in den verschiedenen Bundesländern für eine Kalkung vorgesehen sind. Die gekalkten BZE II-Punkte wurden zudem in die Straten „einmal gekalkt“ und „mehrmals gekalkt“ aufgeteilt, um festzustellen, inwieweit sich mit der Anzahl der durchgeführten Kalkungen die Kalkungseffekte verstärken.

Mit Blick auf die Calcium- und Magnesiumernährung der Wälder bestätigen die Untersuchungsergebnisse, dass die Kalkungsmaßnahmen erfolgreich waren. Alle vier Baumarten reagieren auf Kalkung mit verbesserten Mg-Gehalten in den

Nadeln und Blättern, sodass bestehende Defizite ausgeglichen werden konnten. Mit der Kalkungshäufigkeit steigen die Mg-Gehalte weiter an. Die Calciumernährung verbesserte sich nach Kalkung bei Buche und Eiche, nicht jedoch bei Fichte und Kiefer. Es ist davon auszugehen, dass an den BZE-Punkten innerhalb der Kulisse versauerungsempfindlicher Standorte vermutlich bevorzugt diejenigen mit den geringsten Nährstoffvorräten für die Kalkung ausgewählt worden sind. Diese Ungleichheit innerhalb des betrachteten Kollektivs der versauerungsempfindlichen Standorte muss bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden.

Während die Verbesserung der Ca- und Mg-Ernährungssituation durch Kalkungsmaßnahmen zu den erwünschten Effekten gehört und auch durch zahlreiche Fallstudien bestätigt wird, sind Literaturbefunde zur Verringerung der K-Gehalte in Nadeln und Blättern nach Bodenschutzkalkungen eher widersprüchlich. Die für Buche und Fichte im BZE II-Kollektiv vorgefundene Abnahme der K-Gehalte nach Kalkung ist bedeutsam, da sich ein Teil der Buchen- und Fichtenpunkte im Bereich latenten K-Mangels befindet. Da eine Absenkung der K-Gehalte in der BZE II-Stichprobe nur nach mehrfacher Kalkung auftrat, gilt dies insbesondere für Wiederholungskalkungen. Guckland et al. [5] führen die Abnahme der K-Gehalte bei Buche und Fichte nach Kalkungsmaßnahmen auf Ionenkonkurrenz zurück. Möglich ist aber auch, dass einige pflanzenphysiologische

Funktionen des Kaliums durch Magnesium übernommen werden können [6].

Ausblick

Über die hier dargestellten Befunde hinaus, bietet der BZE-Datenpool weitere Auswertungsmöglichkeiten, beispielsweise zur Ernährungssituation weiterer Baumarten, wie Douglasie oder Tanne, die ebenfalls untersucht worden sind. Auch integrierende Kausalanalysen zu prozessualen Zusammenhängen zwischen Ernährungs-, Boden- und Kronenzustand sollten anhand der vorliegenden Daten noch vertieft werden. Letztlich könnte die weitergehende Auswertung der BZE auch Kenntniszugewinne bezüglich der ernährungskundlichen Zusammenhänge zum Baumwachstum und zur nachhaltigen Produktivität der Bestände erbringen. Dieses Wissen kommt insbesondere auch der Forstpraxis zunutze, beispielsweise für Entscheidungen zur Intensität der Biomassenutzung.

Literaturhinweise:

- [1] GÖTTLEIN, A. (2015): Grenzwertbereiche für die ernährungsdiagnostische Einwertung der Hauptbaumarten Fichte, Kiefer, Eiche, Buche. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, 186 (5/6), 110-116. [2] TALKNER, U.; MEIWES, K.J.; POTOČIĆ, N.; SELETKOVIĆ, I.; COOLS, N.; VOS, B.D.; RAUTIO, P. (2015): Phosphorus nutrition of beech (*Fagus sylvatica* L.) is decreasing in Europe. *Annals of Forest Science* 1–10. doi:10.1007/s13595-015-0459-8. [3] GÖTTLEIN, A.; RADMAN, A.; MELLERT, K.H. (2016): Ernährungszustand bayerischer Wälder auf Wuchsgebietsebene. *AFZ-DerWald* 19/2016, 41-44. [4] RIEK, W.; WOLFF, B. (1998): Verbreitung von Nährstoffmangel bei Waldbäumen in Deutschland – Ergebnisse der Nadel-/ Blattanalysen im Rahmen der BZE. *AFZ-DerWald* 53 (10), 507-510. [5] GUCKLAND, A.; PAAR, U.; DAMMANN, I.; EVERS, J.; MEIWES, K. J.; MINDRUP, M. (2011): Am Beispiel von Fichte und Buche: Einfluss der Kalkung auf die Bestandesernährung. *AFZ-DerWald*, 66 (6), 23-25. [6] GREVE, M. (2014): Langfristige Auswirkungen der Waldkalkung auf Boden Zustand, Sickerwasser und Nadelspiegelwerte von drei Versuchsanlagen in Rheinland-Pfalz. *Forstarchiv* 46, S. 35-46.

Prof. Dr. Winfried Riek, Winfried.Riek@LFB.Brandenburg.de, leitet die Bodenzustandserhebung im Land Brandenburg. Dr. Ulrike Talkner und Dr. Inge Dammann sind wissenschaftliche Mitarbeiterinnen an der NW-FVA, Dr. Karl Josef Meiwes ist ehemaliger wissenschaftlicher Mitarbeiter dieser Abteilung. Dr. Martin Kohler ist wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Professur für Waldbau der Universität Freiburg. Prof. Dr. Dr. Axel Göttlein leitet das Fachgebiet Waldernährung und Wasserhaushalt am Wissenschaftszentrum Weihenstephan der TU München.

