

Ernährungszustand bayerischer Wälder auf Wuchsgebietsebene

Die zweite Bodenzustandserhebung im Wald (BZE2, 2006-2008) gibt einen Überblick über den chemischen Zustand der Waldböden und die Ernährungssituation der darauf stockenden Bestände zu Beginn unseres Jahrhunderts. In Kombination mit der 1987 durchgeführten Waldbodeninventur (WBI) existiert eine wertvolle Datengrundlage für die Bewertung des Ernährungszustandes bayerischer Wälder.

Axel Göttlein, Andre Radman,
Karl-Heinz Mellert

Als Ergänzung zu den Ergebnisdarstellungen von WBI [8] und BZE2 [15] liefert dieser Beitrag für das Bundesland Bayern eine auf Wuchsgebietsebene regionalisierte Darstellung der Ernährungssituation. Dieser kartografische Überblick erlaubt es, schnell ernährungskundliche Problemregionen zu erkennen, wobei Rückschlüsse auf Einzelbestände bei dieser Darstellung logischerweise nicht möglich sind.

Emissionen

Abb. 1 zeigt die Entwicklung der Emissionen der Bundesrepublik Deutschland in den letzten Jahrzehnten. Die vom Umweltbundesamt verfügbaren Daten wurden zu Emissionsgruppen zusammengefasst und auf molare Basis umgerechnet, was die direkte Vergleichbarkeit der dargestellten Werte ermöglicht. Bei SO_2 waren Anfang der 1970er-Jahre mit ca. 60 Gigamol pro Jahr sehr hohe Emissionen zu beobachten. Danach ging die SO_2 -Emission vor allem durch die Rauchgasentschwefelung der Großkraftwerke deutlich zurück, wobei die WBI von 1987 gerade gegen Ende der hohen

Emissionen durchgeführt wurde. Bedingt durch die Wiedervereinigung schnellte die SO_2 -Emission der BRD 1990 in die Höhe, da die Kraftwerke der ehemaligen DDR weitgehend ohne Rauchgasentschwefelung betrieben wurden. Innerhalb von 10 Jahren wurden diese Kraftwerke stillgelegt oder modernisiert, sodass bereits im Jahr 2000 das Niveau von 1989 unterschritten wurde und im Jahr 2010 die SO_2 -Emission auf ca. ein Zehntel der 1970er-Jahre abgesunken war. Die BZE2 wurde in der Zeit geringer SO_2 -Emissionen durchgeführt, wobei in Süddeutschland die durch die Wiedervereinigung bedingte Emissionspitze sicherlich keine große Auswirkungen hatte. Für die zu NO_x zusammengefasste Emission von NO und NO_2 , welche stark vom Verkehrssektor bestimmt wird, sind die höchsten Werte im Bereich der ersten Hälfte der 1980er-Jahre zu beobachten, gerade zu der Zeit, in der auch die WBI durchgeführt wurde. Danach sanken die Werte durch die Einführung des Katalysators im Kfz-Bereich und die Entstickung von

Großkraftwerken allmählich ab, wobei zum Zeitpunkt der BZE2 etwa eine Halbierung des Niveaus der WBI erreicht war. Die weitestgehend aus der Landwirtschaft stammenden Ammoniak-Emissionen sind über die gesamte Zeit annähernd konstant, mit einer kleinen, durch die Wiedervereinigung bedingten Spitze. Addiert man für das Jahr 2010 die Stickstoff-Emissionen, so erhält man einen Gesamtwert von ca. 60 Gigamol pro Jahr, was in der Menge den

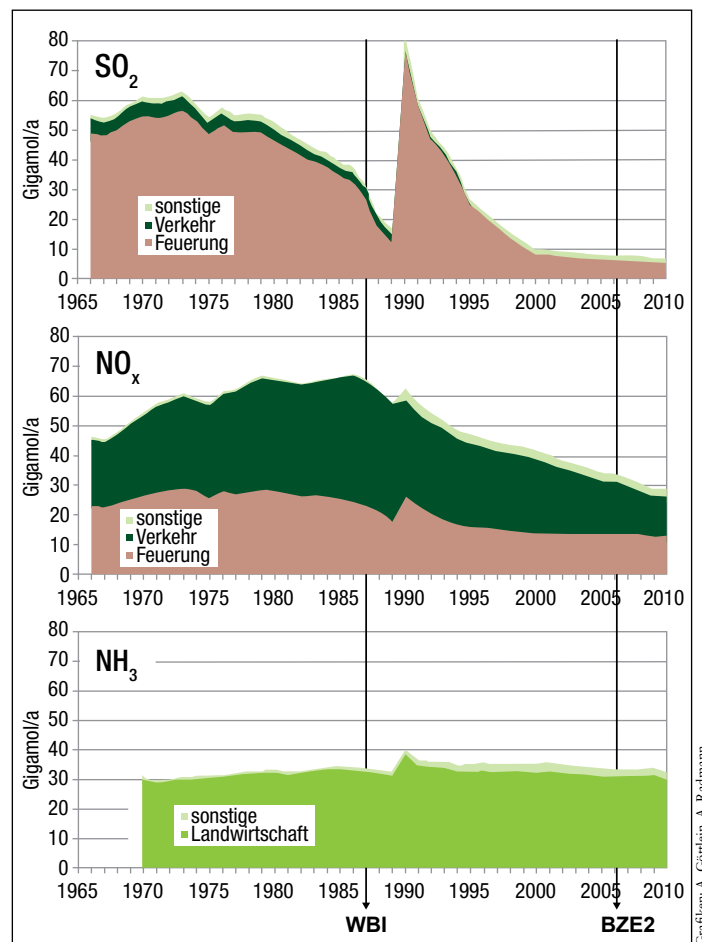


Abb. 1: Entwicklung der Emissionssituation in der BRD (bis 1989 alte Bundesländer); Datengrundlage: UBA [18] sowie www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de

Schneller Überblick

- Die Entwicklung der Emissionen von Stickstoff und Schwefel spiegelt sich in der Ernährungssituation wider
- Phosphor-Mängel sind in Bayern weit verbreitet
- Besonders kritisch ist die Ernährungssituation im Alpenraum

Schwefelemissionen der 1970er-Jahre entspricht. Dies bedeutet, dass anhaltend hohe Stickstoffeinträge in unsere Waldökosysteme zu erwarten sind – mit allen sich hieraus ergebenden Konsequenzen.

Der starke Rückgang der Schwefel-Emissionen und die anhaltend hohen Stickstoff-Emissionen spiegeln sich auch gut in den gemessenen Einträgen an den bayerischen Waldklimastationen wider [13].

Ernährungszustand N und S

Die Auswirkungen der anhaltend hohen Stickstoffemissionen zeigen sich deutlich in der Entwicklung der Ernährungssituation (Abb. 2). Gab es 1987 noch Wuchsgebiete, in denen ca. 50 % der beprobten Bäume Stickstoffmangel zeigten (Rhön, Oberpfälzer Becken, Alpen), so liegt mit Ausnahme der Wuchsgebiete 14 und 15 die Mangelhäufigkeit im Jahr 2006 deutlich unter 10 %. Aber auch im Alpenraum (WG 15) ist die Mangelhäufigkeit deutlich abgesunken, nämlich von 57 % auf 30 %. Im Vergleich von WBI und BZE2 zeigt sich im Boden ein Trend zunehmender N-Vorräte und abnehmender C/N-Verhältnisse, wobei WG 15 bei der BZE2 im Vergleich zu den anderen Wuchsgebieten nicht durch niedrigere N-Vorräte oder weitere C/N-Verhältnisse auffällt [15].

Bei der Schwefelernährung zeigt sich ein gegenläufiges Bild (Abb. 3). Hier ergibt sich im nordostbayerischen Grenzgebirge (WG 8, 10, 11), im Oberpfälzer Becken (WG 9) und in der Rhön (WG 3) eine deutliche Verschlechterung der Schwefelernährung. Besonders in den WG 8 und 10, die in nächster Nähe zum tschechischen Braunkohlegebiet im Egergraben liegen, haben die Schwefelgehalte in Fichtennadeln durch Immissionsminderungen stark abgenommen [16]. Eine deutliche Verschlechterung der Schwefelernährung ergibt sich auch für den Bereich der Jungmoräne und Molassevorberge (WG 14). In den Alpen (WG 15) ist in beiden Aufnahmen die Schwefelernährung sehr unbefriedigend, mit einer Mangelhäufigkeit von knapp 70 %. Dies ist darin begründet, dass zum einen dort der Anteil von Aufnahmepunkten mit geringer Schwefel Ausstattung im Boden relativ hoch ist [15]. Zum anderen ist die Schwefelverfügbarkeit auf Standorten mit hoch anstehendem freiem Carbonat, wie sie in den Kalkalpen häufig zu finden sind, deutlich eingeschränkt. Lediglich im Tertiärhügel-

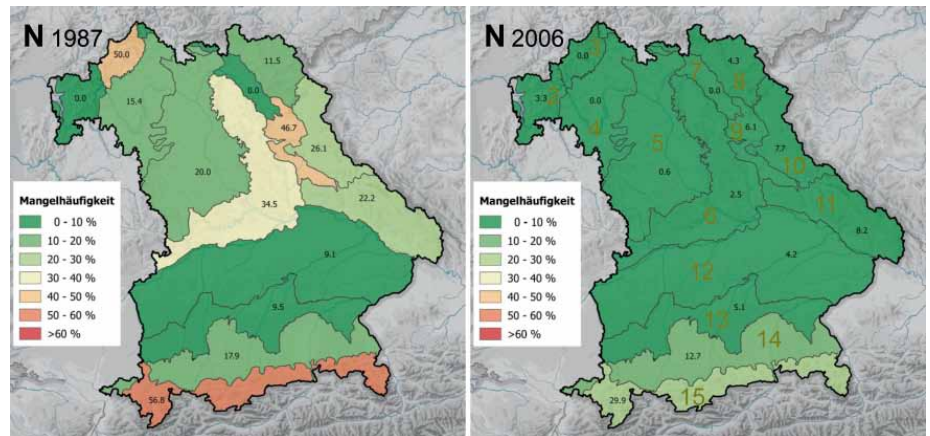


Abb. 2: Stickstoff-Mangelhäufigkeit in den bayerischen Wuchsgebieten, getrennt nach WBI (1987) und BZE2 (2006); in der Abbildung für 2006 sind die Nummern der Wuchsgebiete eingetragen.

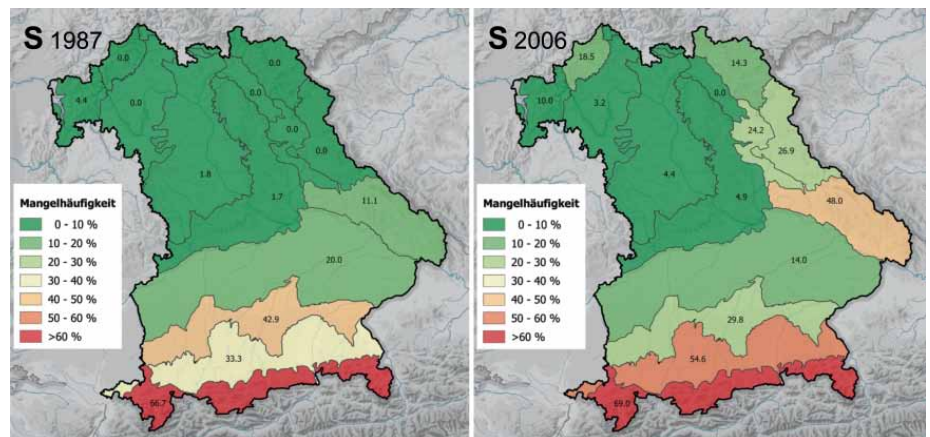


Abb. 3: Schwefel-Mangelhäufigkeit in den bayerischen Wuchsgebieten, getrennt nach WBI (1987) und BZE2 (2006)

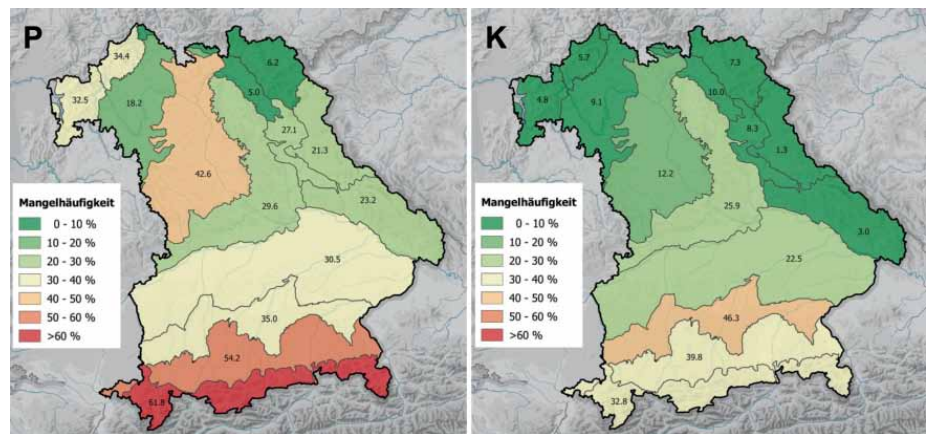


Abb. 4: Mangelhäufigkeit für Phosphor und Kalium in den bayerischen Wuchsgebieten; gemeinsame Auswertung von WBI und BZE2.

land (WG 12) und in der Schotterplatten- und Altmoränenlandschaft (WG 13) hat sich von WBI zu BZE2 die Schwefel-Ernährungssituation um 6 % bzw. um 13 % verbessert, wobei man bei all den Aussagen zum Vergleich von WBI und BZE2 berücksichtigen muss, dass die Probenkollektive beider Aufnahmen nicht identisch sind.

Ernährung P, K, Ca, Mg

Phosphor

Die Phosphorernährung zeigt in Bayern insgesamt das unbefriedigendste Bild (Abb. 4 links). Lediglich in den Wuchsgebieten 7 und 8 und auf der fränkischen Platte (WG 4) liegt die Mangelhäufig-

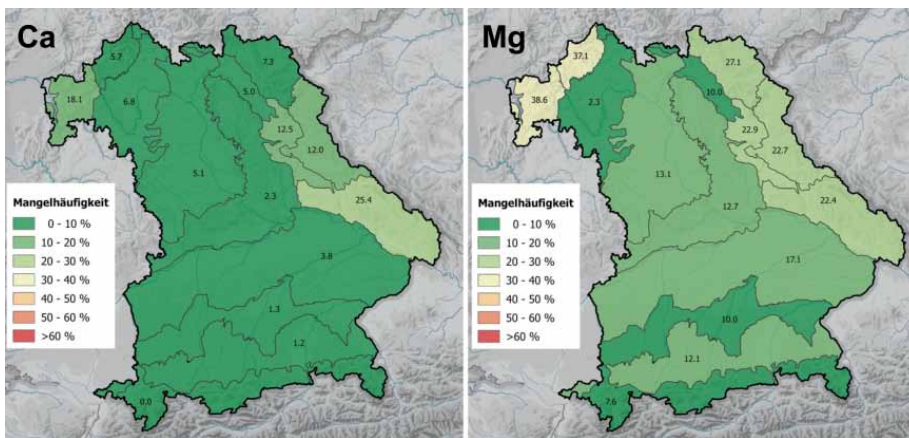


Abb. 5: Mangelhäufigkeit für Calcium und Magnesium in den bayerischen Wuchsgebieten; gemeinsame Auswertung von WBI und BZE2.

keit unter 20 %. In Spessart (WG 2) und Rhön (WG 3) sowie im Tertiärhügelland (WG 12) und in der Schotterplatte/Altmoränenlandschaft (WG 13) zeigen 30 bis 40 % der beprobten Bäume Phosphormangel. In Nordbayern sticht der fränkische Keuper (WG 5) mit 43 % Mangelhäufigkeit hervor, in Südbayern Jungmoräne, Molassevorberge und Alpen (WG 14, 15) mit über 50 % P-Mangel. Betrachtet man die Verteilung der Bodenvorräte an Gesamtphosphor in Bayern, so finden sich im Alpenraum und im Bereich der Jungmoräne besonders niedrige Werte [15]. Ferner ist dort aufgrund des hochanstehenden Carbonats die P-Verfügbarkeit zusätzlich erschwert. Da in der Regel nur ein geringer Anteil des Gesamtphosphors pflanzenverfügbar ist [14], geben die P-Gesamtgehalte jedoch kaum Erklärungshinweise für die Variation der P-Versorgung in den übrigen bayerischen Wuchsgebieten. Mehrere Studien belegen in Mitteleuropa für die letzten Jahre einen Trend abnehmender P-Versorgung [1, 17]. Durch die anhaltend hohen N-Einträge gerät Stickstoff vom Mangel- zum Überschusselement, vor allem Phosphor gerät dagegen zunehmend in den Mangel, mit entsprechenden Folgen für das Waldwachstum [2]. Neuere Studien legen eine zunehmende P-Limitierung der Fichte auch in Deutschland [12] und in den bayerischen Kalkalpen [11] nahe.

Kalium

Mit einer Häufigkeit von über 30 % ist Kaliummangel nur in Südbayern zu finden (Abb. 4 rechts), wobei die Schotterplatten- und Altmoränenlandschaft (WG 13) schlechtere Werte zeigt als die Jung-

moräne und die Alpen (WG 14, 15). Obwohl neben den genannten Wuchsgebieten auch im Spessart (WG 2) und im nordostbayerischen Grenzgebirge (WG 8, 10, 11) verbreitet geringe austauschbare Kalium-Bodenvorräte gemessen wurden [16], zeigen in diesen Gebieten die Bäume keinen Kaliummangel. Eine Erklärung hierfür ist der Calcium/Kalium-Antagonismus [5], der bei knappem Kaliumangebot dessen Aufnahme bei hoher Calciumionenverfügbarkeit zusätzlich erschwert, was auf den genannten nord- und nordostbayerischen Standorten nicht der Fall ist.

Calcium

Mit Ausnahme des Bayerischen Waldes (WG 11) liegt in ganz Bayern die Mangelhäufigkeit für Calcium unter 20 % (Abb. 5 links). Die austauschbaren Calciumvorräte sind nahezu in ganz Bayern im mittleren bis hohen Bereich, lediglich im Spessart (WG 2) und im nordostbayeri-

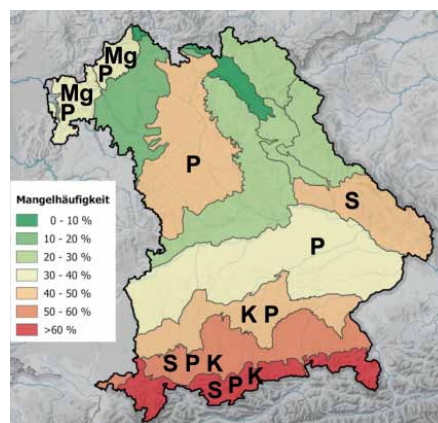


Abb. 6: Manglelemente (Mangelhäufigkeit >30%) in den einzelnen Wuchsgebieten; die jeweils höchste Mangelüberschreitung bestimmt die Farbgebung.

schen Grenzgebirge (WG 8, 10, 11) finden sich mehrere Aufnahmepunkte mit geringen und sehr geringen austauschbaren Calciumvorräten [16].

Magnesium

Die räumliche Verteilung der austauschbaren Magnesiumvorräte in Bayern ähnelt stark der des Calciums [16]. Bei Magnesium ergeben sich daher zwei Mangelschwerpunkte (Abb. 5 rechts), nämlich das nordostbayerische Grenzgebirge (WG 8, 10, 11) zusammen mit dem Oberpfälzer Becken- und Hügelland (WG 9) mit einer Mangelhäufigkeit von 20 bis 30 % und Spessart/Rhön (WG 2, 3) mit einer Mangelhäufigkeit von knapp 40 %. Während Calcium in der Pflanze eher eine strukturelle Bedeutung hat (Zellwandstabilität, Zellteilung und -streckung, Membranstabilität und -selektivität), ist Magnesium als funktionelles Kation zu bezeichnen, mit zentraler Bedeutung bei der Photosynthese und der Aktivierung von Enzymen [10]. Wie Abb. 5 zeigt, reagieren die Bäume aus diesem Grund deutlich sensibler bei Magnesium.

Fazit

Abb. 6 fasst die Ernährungssituation in Bayern in der Form zusammen, dass pro Wuchsgebiet das Nährelement mit der höchsten Mangelhäufigkeit die Farbgebung bestimmt und in die Wuchsgebiete jeweils die Nährelemente eingetragen sind, deren Mangelhäufigkeit die Schwelle von 30 % überschreiten. Für Stickstoff und Schwefel wurden für diese Einwertung jeweils nur die Daten der BZE2 verwendet.

Besonders kritisch stellt sich die Ernährungssituation in den Bayerischen Alpen (WG 15) und der Jungmoräne (WG 14) dar, da hier sogar drei Nährelemente (S, P und K) eine hohe Mangelhäufigkeit zeigen. In der Altmoränenlandschaft (WG 13) sind die Nährelementmängel etwas abgeschwächt, als hier nur noch für P und K eine erhöhte Mangelhäufigkeit zu beobachten ist. In Spessart und Rhön (WG 2 und 3) sind mit Mg und P ebenfalls zwei Nährelemente mit erhöhter Mangelhäufigkeit vertreten. Jeweils ein Element mit erhöhter Mangelhäufigkeit ergibt sich mit Schwefel für den Bayerischen Wald (WG 11) sowie für Phosphor in den Wuchsgebieten Tertiärhügelland

Material und Methoden

Grundlage für die Auswertung waren ernährungskundliche Daten der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF), für welche die Proben 1987 im Zuge der Waldbodeninventur (WBI) und 2006 im Rahmen der Bodenzustandserhebung (BZE2) genommen worden sind. Der Datenauszug enthielt für jeden Probepunkt Punkt-ID, Baumart, Nadel-/Blattspiegelwerte, Koordinaten, Zuordnung zum Wuchsgebiet und Zusatzinformationen für den Standort. Der Datensatz wurde zunächst überprüft und bereinigt, da einige Stationen nicht aufgenommen wurden bzw. Lücken aufwiesen. Insgesamt wurden 402 Ernährungskennwerte der WBI und 1.071 Ernährungskennwerte der BZE2 in die Auswertungen einbezogen (Aufteilung auf die einzelnen Wuchsgebiete in Tab. 1). Für das kleine Wuchsgebiet 1 ist kein Aufnahmepunkt vorhanden. Durch die kleinere Stichprobenzahl ist die Repräsentativität der WBI insgesamt geringer als die der BZE2, besonders in den Wuchsgebieten 3 und 7, in denen weniger als 10 Ernährungskennwerte vorliegen.

Für alle Baumarten wurde die Untergrenze des Bereichs normaler Ernährung als Klassifikationsgröße verwendet. D. h. die in den Karten der Abb. 3 bis 6 dargestellten Mangelhäufigkeiten beziehen sich auf das über alle Baumarten berechnete prozentuale Vorkommen von latentem und echtem Mangel im jeweiligen Wuchsgebiet. Für die Hauptbaumarten Fichte, Kiefer, Buche und

Eiche erfolgte die Klassifikation anhand der Ernährungsgrenzwerte von Göttlein [6], welche auch für die bundesweite Auswertung der BZE2 Verwendung finden. Für die in geringem Umfang vorhandenen Nebenbaumarten wurden die Grenzwerte aus Göttlein et al. [7] verwendet.

Für die Elemente Stickstoff (N) und Schwefel (S) wurden die Datensätze von WBI und BZE2 jeweils getrennt ausgewertet, während für Phosphor (P), Kalium (K), Calcium (Ca) und Magnesium (Mg) eine gemeinsame Auswertung der WBI- und BZE2-Daten vorgenommen wurde. Für Stickstoff und Schwefel kann davon ausgegangen werden, dass der Ernährungszustand vor allem von den emissionsbedingten Einträgen gesteuert wird, welche von den punktuellen Standortseigenschaften eher unabhängig sind. Der Ernährungszustand für die anderen betrachteten Nährelemente wird vor allem von der jeweiligen Nährelementverfügbarkeit im Boden gesteuert. Da die Inventurpunkte von WBI und BZE2 in ihrer räumlichen Lage nicht identisch sind, ist eine getrennte Auswertung der beiden Inventuren im Hinblick auf die zeitliche Entwicklung des Ernährungszustandes von P, K, Ca und Mg wenig zielführend. Die gemeinsame Auswertung von WBI und BZE2 verbessert vielmehr die Aussagekraft der generierten Übersichtskarten für diese Elemente.

Die Karten wurden mit QGIS Version 12.14 erstellt, der Kartenhintergrund ist eine Graustufenkarte, die auf

Wuchsgebiet		n WBI (1987)	n BZE2 (2006)
1	Unterrainebene	0	0
2	Spessart-Odenwald	23	60
3	Rhön	8	27
4	Fränkische Platte	13	31
5	Fränkischer Keuper und Albvorland	55	182
6	Frankenalb und Oberpfälzer Jura	58	162
7	Fränkisches Triashügelland	8	12
8	Frankenwald, Fichtelgebirge und Steinwald	26	70
9	Oberpfälzer Becken- und Hügelland	15	33
10	Oberpfälzer Wald	23	52
11	Bayerischer Wald	36	98
12	Tertiäres Hügelland	44	143
13	Schwäbisch-Bayerische Schotterplatten- und Altmoränenlandschaft	21	59
14	Schwäbisch-Bayerische Jungmoräne und Molassevorberge	28	55
15	Bayerische Alpen	44	87

Tab.1: Ausgewertete Ernährungskennwerte von Waldbodeninventur (WBI) und Bodenzustandserhebung (BZE2) in den bayerischen Wuchsgebieten

der Basis der orohydrographischen Karte des Bundesamtes für Geodäsie erstellt wurde.

(WG 12) und Fränkischer Keuper (WG 5). Besonders in den in diesem Absatz genannten Wuchsgebieten ist eine über das reine Stammholz hinausgehende Biomassenutzung sehr kritisch zu sehen, da ein zusätzlicher Export von Kronenmaterial aufgrund dessen erhöhter

Nährstoffgehalte die Nährstoffmangelsituation weiter verschärfen kann, was ältere und neuere Untersuchungen vielfach belegen (z. B. [9, 3, 19]). In diesem Zusammenhang ist anzumerken, dass bei einer Auswertung des Datensatzes der Bundeswaldinventur auch für Ge-

biete mit hoher Nährstoffmangelwahrscheinlichkeit (WG 2, 3, 11, 12, 13, 14) für die Fichte ein hohes Wuchspotenzial berechnet wurde [4]. Dies ist vor allem darin begründet, dass das Prognosemodell stark von klimatischen Parametern getrieben wird. In der Zusammenschau legt dies den Schluss nahe, dass auch in gutwüchsigen Regionen Nährstoffmangel eine Rolle spielen können und dass besonders dort aufgrund der hohen Biomasseproduktion hohe erntebedingte Nährstoffentzüge eintreten können, mit entsprechenden potenziell negativen Auswirkungen auf Wachstum und Vitalität der Folgebestände.

Literaturhinweise:

- [1] BRAUN, S.; THOMAS, V. F. D., QUIRING, R.; FLÜCKIGER, W. (2010): Does nitrogen deposition increase forest production? The role of phosphorus. *Environmental Pollution*, 158, S. 2043-2052. [2] BRAUN, S.; FLÜCKIGER, W. (2013): Wir brauchen den Wald – der Wald braucht uns. 29 Jahre Waldbeobachtung. Institut für Angewandte Pflanzenbiologie, Schönenbuch/Ch. [3] EITL, R.; WEIS, W.; GÖTTLEIN, A. (2007): Holz verbrennt, Asche bleibt – Konsequenzen für die stoffliche Nachhaltigkeit in Bayern. *AFZ-DerWald*, Nr. 2, S. 74-77. [4] FALK, W.; BRANDL, S.; KLEMMT, H. J.; BENDER, A.; STRICKER, G.; RÖTZER, T.; KÖLLING, C.; KÜCHENHOFF, H.; PRETZSCH, H. (2015): Wachstumspotenziale der Hauptbaumarten. *LWF aktuell*, 106, S.53-56. [5] FIEDLER, H. J.; NEBE, W.; HOFFMANN, F. (1973): Forstliche Pflanzenernährung und Düngung. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart. [6] GÖTTLEIN, A. (2015): Grenzwertbereiche für die ernährungsdiagnostische Einwertung der Hauptbaumarten Fichte, Kiefer, Eiche, Buche. *Allg. Forst- u. J.-Ztg.*, 186, S. 110-116. [7] GÖTTLEIN, A.; BAIER, R.; MELLERT, K. H. (2011): Neue Ernährungskennwerte für die forstlichen Hauptbaumarten in Mitteleuropa – Eine statistische Herleitung aus VAN DEN BURG's Literaturzusammenstellung. *Allg. Forst- u. J.-Ztg.*, 182, S. 173-186. [8] GÜLDER, H.; KÖLBEL, M. (1993): Waldbodeninventur in Bayern. Forstliche Forschungsberichte München, Band 132, Zentrum Wald-Forst-Holz, Freising. [9] KREUTZER, K. (1979): Ökologische Fragen der Vollbaumernie. *Forstw. Cbl.*, 98, S. 298-308. [10] MARSCHER, H. (1995): Mineral nutrition of higher plants. 2. Aufl., Academic Press, London. [11] MELLERT, K. H.; EWALD, J. (2014): Nutrient limitations and site-related growth potentials of Norway spruce in the Bavarian Alps. *European Journal of Forest Research*, 133, S. 433-451. [12] MELLERT, K. H.; GÖTTLEIN, A. (2013): Identifikation von Schwellenwerten und limitierenden Ernährungsfaktoren der Fichte unter Anwendung neuer Ernährungskennwerte und moderner Regressionsverfahren. *Allg. Forst- und Jagdzeitung*, 184, Jg., 9/10, S. 197-203. [13] RASPE, S.; DIETRICH, H. P.; ZIMMERMANN, L. (2013): Stoffeinträge sind ein Standortsfaktor. *LWF aktuell*, 94, S. 18-22. [14] RUMPF, S.; KHANNA, P. K.; BAUHUS, J.; MEWES, K. J.; KOHLER, M.; SCHÖNFELDER, E. (2008): Phosphor-Versorgung – Zustand und Tendenzen sowie ihre Bedeutung für die Energieholznutzung. *Forst u. Holz*, 63, Nr. 9, S. 37-40. [15] SCHUBERT, A.; FALK, W.; STETTER, U. (2015): Waldböden in Bayern – Ergebnisse der BZE II. *Forstliche Forschungsberichte München*, Band 213, Zentrum Wald-Forst-Holz, Freising. [16] STETTER, U. (2015): Waldernährung in Bayern – Ergebnisse der BZE II. In: Schubert, A.; Falk, W.; Stetter, U. (2015): Waldböden in Bayern – Ergebnisse der BZE II. *Forstliche Forschungsberichte München*, Band 213, Zentrum Wald-Forst-Holz, Freising. [17] TALKNER, U.; MEWES, K. J.; POTOCIC, N.; SELETKOVIC, I.; COOLS, B.; DE VOS, B.; RAUTIO, P. (2015): Phosphorus nutrition of Beech (*Fagus sylvatica* L.) is decreasing in Europe. *Annals of Forest Science*, 72, S.919-928. [18] Umweltbundesamt (1994): Daten zur Umwelt 1992/93. Umweltbundesamt, Schmidt Verlag Berlin. [19] WEIS, W.; KÖLLING, C.; SCHÄFF, T. (2016): Kronennutzung aus nährstoffkundlicher Sicht. *LWF aktuell*, 1/2016, S. 16-19.

Prof. Dr. Dr. Axel Göttlein, goettlein@forst.tu-muenchen.de, leitet das Fachgebiet Waldernährung und Wasserhaushalt der TU München. Der Beitrag ist ein Auszug aus der Masterarbeit von Andre Radmann, der um die Emissionsdaten erweitert worden ist. Karl-Heinz Mellert ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet. Die Daten von WBI und BZE2 wurden den Autoren von der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) zur Verfügung gestellt.