

Ernährungszustand der Wälder in Deutschland

Die erste und zweite Bodenzustandserhebung (1989 bis 1992 bzw. 2006 bis 2008) geben einen Überblick über den Zustand der Waldböden und die Ernährungssituation des Waldes. Die zusammenfassende Auswertung beider Inventuren ermöglicht eine belastbare Bewertung des Ernährungszustandes deutscher Wälder.

Karl Heinz Mellert, Eckart Kolb,
Nicole Wellbrock, Axel Göttlein

Mit Abschluss der zweiten Bodenzustandserhebung im Wald (BZE2) liegt nun bereits eine wiederholte Inventur zur Nährstoffversorgung der Wälder vor und damit eine ideale Basis für die Bewertung des Ernährungszustandes in Deutschland. Hauptziel vorliegender Untersuchung ist es, für Deutschland eine Übersichtskarte der Waldernährung, integrierend über die Hauptbaumarten (Fichte, Kiefer, Buche, Eiche) für die Hauptnährelemente (Phosphor [P], Kalium [K], Calcium [Ca], Magnesium [Mg]) zu erstellen und Problemelemente bzw. Problemregionen zu identifizieren. Bei unserer Analyse steht der naturräumliche, also der geologische bzw. bodenbürtige Einfluss auf die Nährstoffversorgung von Großlandschaften im Vordergrund. Daher werden die beiden Nährelemente Stickstoff (N) und Schwefel (S) von der Betrachtung ausgeschlossen, da deren Bilanz insbesondere durch atmosphärische Einträge (v. a. Stoffeinträge aus der Verbrennung fossiler Energieträger und Emissionen der Landwirtschaft) geprägt wurde bzw. wird. Auch Bestände der Kalkungskulisse der Länder, durch die bodenchemische Analyse erkennbar gekalkte Bestände sowie Moore wurden als Sonderstandorte nicht in die Auswertung mit einbezogen.

Wuchsregionen Deutschlands

Um einen Überblick über die 82 Wuchsgebiete Deutschlands [4] zu erhalten, haben Kolb & Göttlein [12] aufbauend auf der Wuchsregionengliederung von Wolff & Baritz [27] eine abgewandelte Gliederung erarbeitet, die vor allem bodenkundliche Standortqualitäten stärker berücksichtigt (Abb. 1). Für die Erstellung

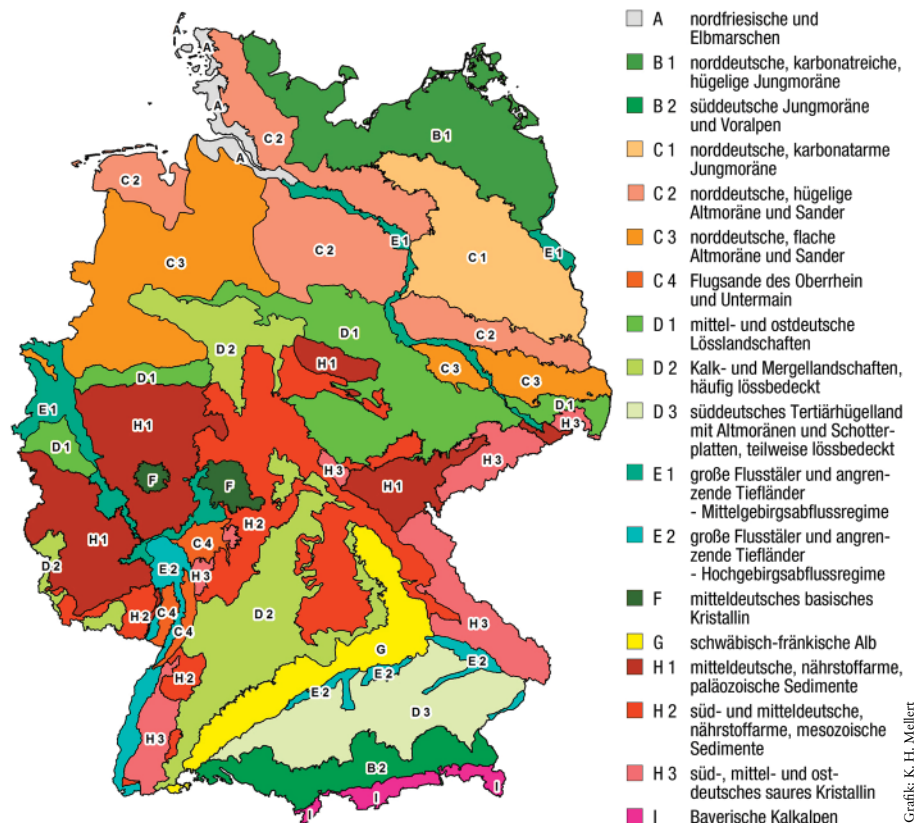


Abb. 1: Wuchsregionen Deutschlands [12]. Die Farben wurden so gewählt, dass die Wuchsräume mit Dominanz ungünstig bewerteter Böden durch rote Farbtöne, die günstigen durch Gelb- und Grüntöne dargestellt sind.

der Wuchsregionengliederung wurden die Bodeneinheiten der Bodenübersichtskarte 1 : 1.000.000 der Bundesanstalt

Schneller Überblick

- Nährstoffmängel hängen großräumig von der Geochemie der Landschaften ab
- Ausgeprägte Mängel finden sich v. a. auf sehr sauren oder carbonatischen Gesteinen
- Die häufigsten Manglelemente sind Phosphor, Magnesium und Kalium

für Geowissenschaften und Rohstoffe (GBR) in vier Klassen hinsichtlich ihres nährstoffnachhaltigen Nutzungspotenzials eingeteilt [11]. Berücksichtigt wurden Phosphor, Kalium, Calcium und Magnesium sowie indirekt Kohlenstoff. Darauf aufbauend folgte ein Aggregierungsschritt, der die Wuchsbezirke und -gebiete zu 18 Wuchsregionen zusammenfasste. Dabei wurden die Wuchsbezirke nicht in ihrem Zuschnitt geändert. Hierdurch wurde gewährleistet, dass die standortkundliche Expertise, die zur Auscheidung der Wuchsbezirke geführt hat, unverändert erhalten bleibt. In einem weiteren Aggregierungsschritt werden die 18

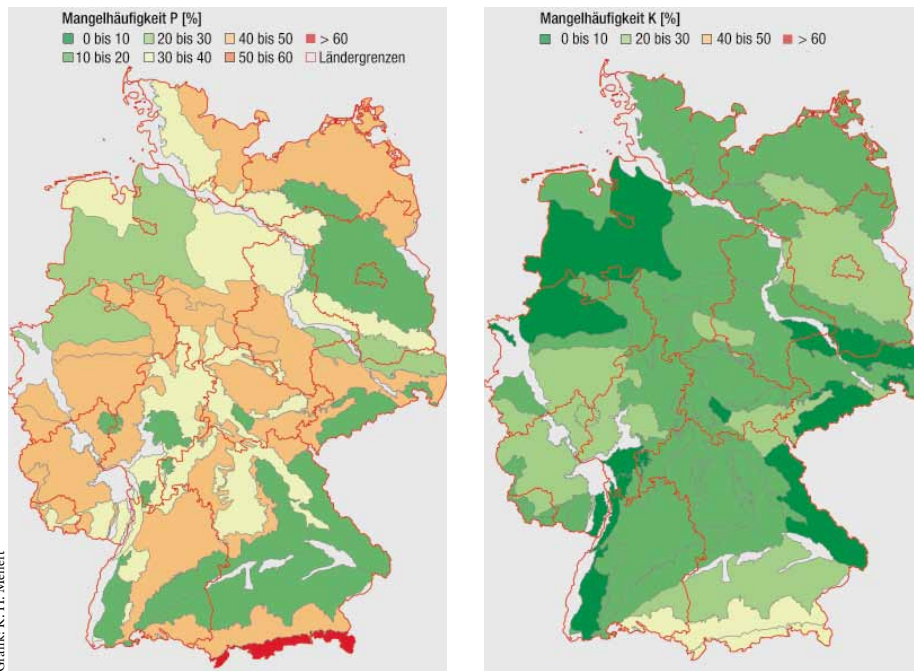


Abb. 2: Mangelhäufigkeit für Phosphor und Kalium in den deutschen Wuchsregionen; gemeinsame Auswertung von BZE1 [28] und BZE2 [26]

Wuchsregionen zu neun Wuchslandschaften zusammengefasst. Die Wuchsregionen mit dem gleichen Anfangsbuchstaben bilden die übergeordnete Einheit der Wuchslandschaft.

Diese modifizierte Wuchsregionengliederung zeigt eine klarere Trennung von Regionen mit hohen bzw. geringen Anteilen an Böden mit ausreichendem bis gutem bzw. kritischem bis sehr kritischem Nährstoffnachlieferungsvermögen. Die starke Orientierung der ausgeschiedenen Einheiten an einer nährstoffnachhaltigen Holznutzung ohne Düngung oder Melioration macht ihren Wert als überregionale forstliche Wuchsregionenkarte aus. Damit liefert sie eine ideale Grundlage für eine Übersicht des Ernährungszustands der Wälder in Deutschland.

Ernährungssituation

Phosphor

Mit 806 Fällen erweist sich Phosphor (Abb. 2a) als häufigstes Mangel-element in Deutschland. Das auffälligste P-Mangel-Gebiet sind die Bayerischen Kalkalpen (I, 71 % Mangelfälle). Weiterhin finden sich häufige P-Mängel in den karbonatisch geprägten Wuchsregionen der Jungmoränen und Voralpen B1 (49 %) und B2 (46 %), den lößbedeckten Kalk- und Mergellandschaften (D2, 47 %) sowie den mittel- und ostdeutschen

Lössgebieten (D1, 44 %). Aber auch in den mitteldeutschen Wuchsregionen mit nährstoffarmen paläozoischen Sedimenten (H1, 43 %), den mittel- und süddeutschen Wuchsregionen mit mesozoischen Sedimenten (H2, 32 %) sowie den Alt-moränen und Sandergebieten (C2-C4) tritt vermehrt P-Mangel auf. Das geogra-fische Muster der P-Ernährung zeigt, dass die P-Verfügbarkeit durch den Säure-/Basenstatus der geologischen Großregionen gesteuert wird, d. h. P-Mangel tritt verstärkt auf karbonatreichen Böden un-abhängig vom Nährstoffreichtum des Aus-gangsgesteins, aber auch auf stark sauren und nährstoffarmen Substraten auf. Sind die sauren Substrate auch nur mäßig nährstoffreich, wie bei vielen kristallinen Silikatgesteinen der Grundgebirge, ist die P-Versorgung sogar günstiger. P ist entweder wegen Ausfällung als Ca-Phosphat (Karbonatböden) oder Fe-Phosphat (saure Böden) schwer verfügbar.

Gerade auf sehr sauren oder sehr basi-schen Standorten gilt, dass die P-Gesamtgehalte und -Vorräte die Variation der P-Ernährung meist nur ungenügend erklären können, da häufig nur ein gerin-ger Anteil des Gesamtphosphors pflan-zenverfügbar ist [21]. Mehrere Studien belegen in Europa für die letzten Jahre einen Trend abnehmender P-Versorgung [8], der auch mit den anhaltend hohen N-Einträgen in Verbindung gebracht

wird [1, 24]. Durch die anhaltend hohen N-Einträge gerät Stickstoff vom Mangel-zum Überschusselement [14], wodurch Phosphor zunehmend limitierend wirkt. Negative Effekte eines P-Mangels auf das Fichtenwachstum wurden für Deutsch-land [16] und die bayerischen Kalkalpen [15] bereits nachgewiesen.

Kalium

Kalium (Abb. 2b) ist ebenfalls ein häu-figes Mangel-element (443 Fälle). Als K-Mangel-Gebiete (>30 %) stechen, die Bayerischen Kalkalpen (I, 36 %) sowie die karbonatreiche, süddeutsche Jung-moräne (B2, 30 %) hervor. Aber auch im süddeutschen Tertiärhügelland (D3, 27 %), dem nordeutschen, karbonatar-men Jungmoränengebiet (C1, 28 %) und in der mitteldeutschen Wuchsregion mit nährstoffarmen paläozoischen Sedimen-ten (H1, 23 %) treten häufiger Mängel auf. In den übrigen Wuchsregionen lie-gen Mangelercheinungen im unauffäl-ligen Bereich unter 20 %. Auch bei der K-Verfügbarkeit lässt sich das Wirken der Geochemie von Großlandschaften erkennen. Für die ungünstige K-Ernäh-rung auf Karbonatböden sind ursächlich der geringe Gehalt des Ausgangsgesteins und der Ca/K-Antagonismus verant-wortlich. Bei sehr nährstoffarmen Subs-traten kann K-Mangel ebenfalls gehäuft auftreten. Die Ursache dürfte hier vor allem in der Tonarmut vieler Sandsteine liegen oder auch der Art der Tonmine-rale, wenn es sich um Zweischicht-Ton-minerale aus ehemals tropischer Verwit-terung handelt.

Calcium und Magnesium

Mit 222 Mangelfällen ist Ca das selten-ste Mangel-element unter den vier darge-stellten Hauptnährelementen (Abb. 3a). In keiner forstlichen Wuchsregion tritt Ca-Mangel häufiger als in 20 % der Fälle auf. Ganz anders sieht die Situation bei Magnesium aus. Mg ist das zweithäu-figste Mangel-element (450 Mangelfälle) unter den betrachteten Hauptnährele-menten (Abb. 3b). Dennoch ist Mg in keiner Wuchsregion sehr häufig im Man-gel (> 30 %), in vielen Regionen tritt Mg-Mangel aber häufig (> 20 %) auf. Auffallend ist die Konzentration der Vor-kommen auf karbonatarmen Substraten. Die Geochemie ist so prägnant, dass sogar

die noch stärker aggregierten Wuchslandschaften (statt Wuchsregionen) zur zusammenfassenden Darstellung genutzt werden können (alle Wuchsregionen mit dem gleichen Anfangsbuchstaben bilden eine Wuchslandschaft). Demnach sind die Wuchslandschaften „C – karbonatarme Moränen, Sander und Flugsande“ (d. h. C1 bis C4, mit bis zu 29 % der Fälle bei C4) sowie „H – nährstoffarme Festgesteinsedimente und saures Kristallin“ (d. h. H1 bis H3, mit bis zu 26 % der Fälle bei H2 und 22 % bei H3) die Landschaften mit häufigem Mg-Mangel. Hingegen zeigen alle karbonat- oder basenreichen Wuchslandschaften eine günstige Mg-Versorgung. Das sind die karbonatreichen Moränen und Voralpen (B), die Bayerischen Kalkalpen (I), die Alblandschaften (G), die lößgeprägten Landschaften (D) sowie die durch basische Kristalline geprägten Landschaften (F).

Hauptproblemgebiete und Gunsträume

Aus der Addition der Mangelprozente der vier dargestellten Hauptnährelemente wird ein Mangelindex gebildet, mit dessen Hilfe die Hauptproblemgebiete (Abb. 4) in Deutschland identifiziert werden können. Zudem werden in Abb. 4 die Nährstoffe angegeben, welche am häufigsten im Mangel (> 30 %) sind. In den Gebieten mit einem Mangelindex über 60 ist Phosphor das Hauptproblemelement. Die höchsten Werte des Mangelindex werden in der mitteldeutschen Wuchsregion H1 mit nährstoffarmen paläozoischen Sedimenten (stark sauer) und in den Kalkalpen (I) (carbonatreich) erreicht. Weiterhin findet sich P-Mangel bei einem recht hohen Mangelindex in den karbonatreichen Jungmoränen und Voralpen (B1 und B2), den häufig lössbedeckten Kalk- und Mergellandschaften (D2), der Wuchsregion der norddeutschen hügeligen Altmoräne und Sander (C2) und den Flugsanden des Oberrheins und Untermain (C4). Ursache hierfür ist bei den ersten drei Wuchsregionen der Karbonatreichtum der Böden, bei den beiden letztgenannten Wuchsregionen das saure Milieu der nährstoffarmen Ausgangsgesteine. In den Kalkalpen kommt als weiteres Problemelement Kalium, aufgrund des Ca/K-Antagonismus hinzu.

Durch besonders niedrige Werte des Mangelindex und damit günstige

Material und Methoden

Die gemeinsame Auswertung von BZE1 [28] und BZE2 [26] verbessert die Aussagekraft verfügbarer Übersichtskarten für die Ernährungssituation in forstlichen Wuchsräumen [z. B. 23, 6], da Blatt- und Nadelspiegelwerte durch Faktoren wie Klima und Fruktifikation zeitlichen Schwankungen unterliegen. Grundlage für die Auswertung waren ernährungskundliche Daten des Thünen Instituts, für welche die Proben in den Bundesländern ab 1987 im Rahmen der ersten Bodenzustandserhebung (BZE1) und ab 2006 in der BZE2 genommen worden sind. Für jeden Probepunkt standen Punkt-ID, Baumart, Nadel-/Blattsiegelwerte, Koordinaten, Zuordnung zum Wuchsgebiet und Zusatzinformationen für den Standort zur Verfügung.

Insgesamt konnten 3.257 Ernährungsanalysen der BZE 1 und 2 in die Auswertungen einbezogen werden. Wuchsregionen der großen Flusstäler und der angrenzenden Tiefländer wurden wegen ihrer geringen Größe und des Einflusses durch Grundwasser nicht bewertet. Die Wuchsregion der nordfriesischen Inseln und Elbmarschen wurden auf-

grund ihrer geringen Relevanz für Waldbäume nicht berücksichtigt.

Für alle Baumarten wurde die Untergrenze des Bereichs normaler Ernährung als Klassifikationsgröße verwendet. D. h. die in den Karten der Abb. 2 bis 3 dargestellten Mangelhäufigkeiten beziehen sich auf das über die Hauptbaumarten Fichte, Kiefer, Buche und Eiche berechnete prozentuale Vorkommen von latentem und echtem Mangel im jeweiligen Wuchsgebiet. Die Klassifikation erfolgte anhand der Ernährungsgrenzwerte von Göttlein [5], worin die verschiedenen gutachterlichen Grenzwerte Deutschlands vereinheitlicht wurden, um sie für bundesweite Auswertungen, wie die der BZE2, verwenden zu können. Anhand der Summe der Mangelprozente der vier dargestellten Hauptnährelemente wurde ein Mangelindex gebildet, der Auskunft über die Gesamtsituation gibt (Abb. 4). Alle Statistiken wurden mit dem freien Statistikprogramm gnu R [18], die Karten mit QGIS Version 12.14 (<http://www.qgis.org/>) erstellt.

Nährstoffverhältnisse sind die schwäbisch-fränkische Alb (G), die basischen Kristallingebirge (F), die ost- und mitteldeutschen Lösslandschaften (D1) gekennzeichnet. Diese Wuchsregionen sind durch basenreiche und im Falle von

G, D1 und D3 zusätzlich durch karbonathaltige, aber nicht karbonatreiche, Sedimente gekennzeichnet. Das Karbonat im Oberboden wird im Laufe der Bodenentwicklung relativ rasch gelöst und ausgewaschen, sodass daraus basenreiche Oberböden oft mit karbonathaltigen

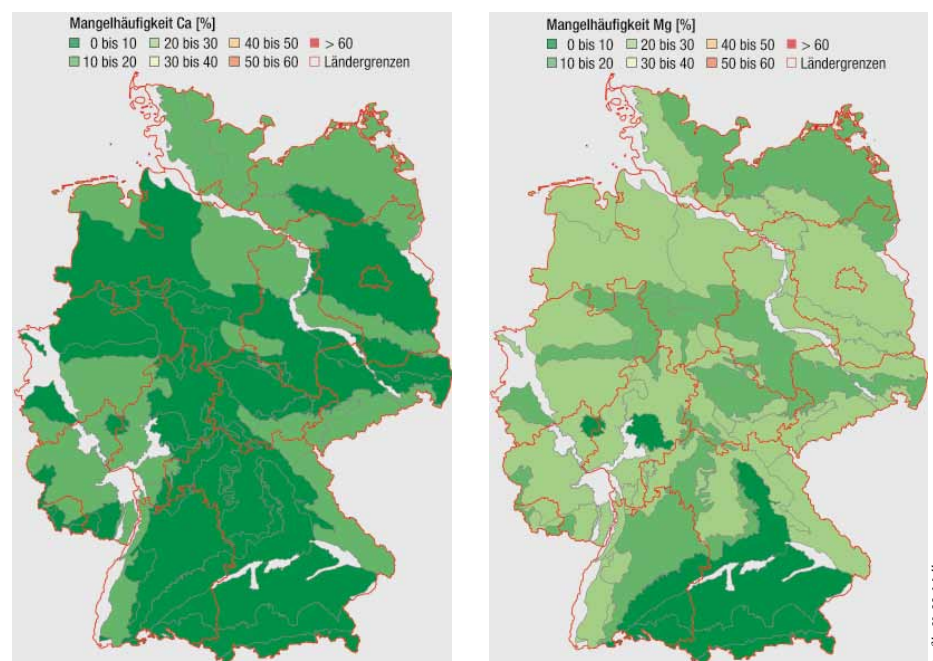


Abb. 3: Mangelhäufigkeit für Calcium und Magnesium in den deutschen Wuchsregionen; gemeinsame Auswertung von BZE1 [28] und BZE2 [26]

Unterböden resultieren. Die daraus sich ergebende vertikale Heterogenität ist für Bäume generell günstig, da es für jeden Nährstoff ein günstiges Milieu für die Wurzel Aufnahme gibt.

Fazit

Nährstoffmängel sind je nach Wuchsregion unterschiedlich stark ausgeprägt, da sie großräumig mit der Geochemie der Landschaften verbunden sind. Die Auswertung erlaubt die Identifizierung von Hauptproblemgebieten und -elementen. Nach dem Schwellenwert für latenten Mangel von Göttlein [2015] erweist sich Phosphor als häufigstes Mangel element unter den betrachteten Hauptnährelementen in Deutschland. Probleme bestehen v. a. in Kalklandschaften, aber auch in Regionen mit nährstoffarmen, paläozoischen und mesozoischen Sedimenten sowie Altmoränen und Sandergebieten. Mg ist das zweithäufigste Mangel element. Verbreitete Mg-Mängel treten in Norddeutschland außerhalb der karbonatreichen Jungmoränen auf,

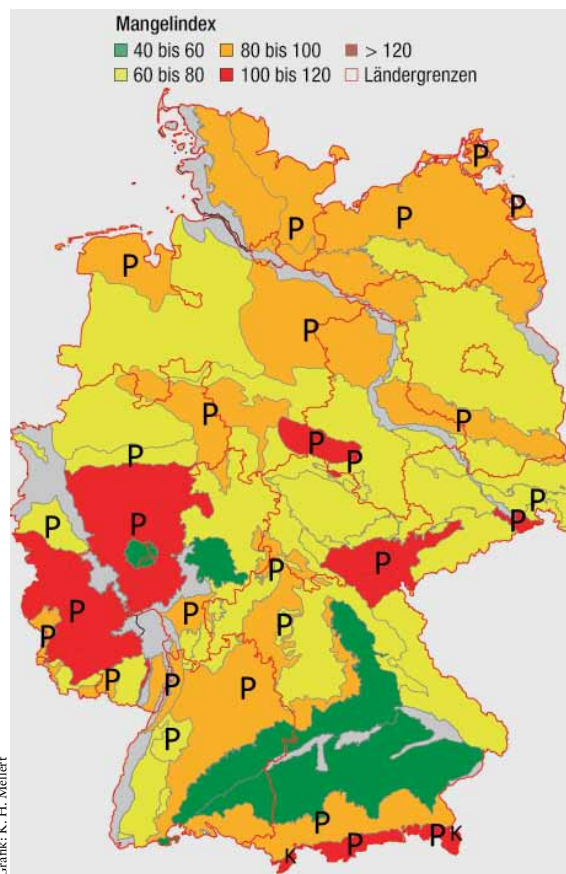


Abb. 4: Problemgebiete und Gunsträume in Deutschland auf der Basis des Mangelindex (Addition der Mangelprozente der vier dargestellten Hauptnährelemente)

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] EITTL, R.; GÖTTLEIN, A. (2007): Waldhackschnitzelproduktion in Fichtenreinbeständen – Monetäre Bewertung des Nährstoffexportes bei Biomassennutzung. *AFZ-DerWald*, Nr. 14, S. 756-758. [3] EITTL, R.; WEIS, W.; GÖTTLEIN, A. (2007): Holz verbrennt, Asche bleibt – Entwicklung des Energieholzverbrauches und des Ascheaufkommens in Bayern sowie Konsequenzen für die stoffliche Nachhaltigkeit der Waldbewirtschaftung. *AFZ-DerWald*, Nr. 2, S. 74-77. [4] GAUER, J.; ALDINGER, E. (2005): Waldökologische Naturräume Deutschlands – Forstliche Wuchsgebiete und Wuchsbezirke Deutschlands. Forstl. Standortsk. u. Forstpfl.züchtung, 43, Freiburg. [5] GÖTTLEIN, A. (2015): Grenzwertbereiche für die ernährungsdiagnostische Einwertung der Hauptbaumarten Fichte, Kiefer, Eiche, Buche. *Allg. Forst- u. J.-Ztg.*, 186, S. 110-116. [6] GÖTTLEIN, A.; RADMANN, A.; MELLERT, K. H. (2016): Ernährungszustand bayerischer Wälder auf Wuchsgebietsebene. *AFZ-DerWald*, Nr. 19, S. 41-44. [7] JACOB, F.; ANDREAE, H. (2012): Der Ernährungszustand von Waldbäumen als Werkzeug der Kalkungsqualifizierung in Sachsen. *www.waldwissen.net*. [8] JONARD, M. et al. (2015): Tree mineral nutrition is deteriorating in Europe. *Global Change Biology*, 21.1, S. 418-430. [9] KÖLLING, C. (2010): Maß halten – Biomassennutzung kann Produktionskapital verzehren. *LWF aktuell*, 78. [10] KÖLLING, C.; GÖTTLEIN, A.; ROTHE, A. (2007): Energieholz nachhaltig nutzen – Biomassennutzung und Nährstoffentzug. *LWF aktuell* 61, S. 32-36. [11] KOLB, E.; GÖTTLEIN, A. (2012): Nährstoffnachhaltige Nutzung von Landschaften – Regionale Bewertung erntebedingter Nährstoffentzüge. *AFZ-DerWald* 15/2012. [12] KOLB, E.; GÖTTLEIN, A. (2014): Vorschlag zur Anpassung der Forstlichen Wuchsregionengliederung Deutschlands an das Nutzungspotential der Böden. *AFJZ*, 185. Jg., 11/12, 249-260. [13] MEIWES, K. J.; ASCHKE, N.; BLOCK, J.; KALLWEIT, R.; KÖLLING, C.; RABEN, G.; V. WILPERT, K. (2008): Potenziale und Restriktionen der Biomassennutzung im Wald. *AFZ-DerWald*, 63. Jg., S. 598-603. [14] MELLERT, K. H. (2010): Zuviel des Guten – über die Gefährdung der Waldböden durch Stickstoffeinträge. *Der kritische Agrarbericht* 2010. S. 196-200 (www.kritischer-agrarbericht.de/fileadmin/Daten-KAB/KAB-2010/Mellert.pdf). [15] 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 (DOI 10.1007/s10342-013-0775-1). [16] MELLERT, K. H.; GÖTTLEIN, J. (2013): Identification of nutrient thresholds and limiting nutrient factors of Norway spruce by applying new critical foliar nutrient concentrations and modern regression. *AFJZ*, 184, S. 197-203. [17] PRETZSCH, H.; BLOCK, J.; DIELER, J.; GAUER, J.; GÖTTLEIN, A.; MOSHAMMER, R.; SCHUCK, J.; WEIS, W.; WUNN, U. (2014): Nährstoffentzüge durch die Holz- und Biomassennutzung in Wäldern. Teil 1: Schätzfunktionen für Biomasse und Nährelemente und ihre Anwendung in Szenariorechnungen. *AFJZ*, 185. Jg., Nr. 11/12, S. 261-285. [18] R Core Team (2015). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Wien, Österreich (www.R-project.org/). [19] REHFUESS, K.E. (1990): Waldböden – Entwicklung, Eigenschaften und Nutzung. Parey Verlag, Hamburg, Berlin. 294 S. [20] REIF, A.; SCHULZE, E.-D.; EWALD, J.; ROTHE, A. (2014): Waldkalkung – Bodenschutz contra Naturschutz? *Waldökologie, Landschaftsforschung und Naturschutz*, 14, S. 5-29. [21] RUMPF, S.; KHANNA, P. K.; BAUHUIS, J.; MEIWES, K. J.; KOHLER, M.; SCHÖNFELDER, E. (2008): Phosphor-Versorgung – Zustand und Tendenzen sowie ihre Bedeutung für die Energieholznutzung. *Forst u. Holz*, 63. Jg., Nr. 9, S. 37-40. [22] STETTER, U. (2010): Bodenschutzalkung? Fraget die Bäume. *LWF aktuell* 78. S. 25-28. [23] STIMELF (1987): Grundsätze für die Düngung im Wald – Düngerechtlehre für den bayerischen Staatswald. Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.), München, 29 S. und Anhang. [24] TALKNER, U.; MEIWES, K. J.; POTOCIC, N.; SELETKOVIC, I.; COOLS, N.; 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. [25] WEIS, W.; GÖTTLEIN, A. (2012): Nachhaltige Biomassennutzung. *LWF aktuell*, 90, S. 44-47. [26] WELLBROCK, N.; BOLTE, A.; FLESSA, H. (2016): Dynamik und räumliche Muster forstlicher Standorte in Deutschland – Ergebnisse der Bodenzustandserhebung im Wald 2006 bis 2008. *Thünen Report* 43 (DOI:10.3220/REP1473930232000). [27] WOLFF, B.; BARITZ, R. (1999): www.pik-potsdam.de/topikitscs/safe/home/waldstudie/waldintern/w991zwb99_5ma.pdf. [28] WOLFF, B.; RIEK, W. (1997): *Deutscher Waldbodenbericht 1997. Ergebnisse der bundesweiten Bodenzustandserhebung im Wald 1987–1993 (BZE)*, Bd. 1, Bd. 2. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (BML) (Hrsg.), Bonn.

zudem auf Flugsanden des Oberrheins und Untermain und in Regionen mit mesozoischen Sedimenten oder sauren kristallinen Gesteinen. K-Mangel wird am dritthäufigsten angetroffen v. a. in Kalklandschaften. Bei Ca sind Mangelerscheinungen am seltensten.

Diese Übersicht zeigt, dass die Waldernährung heute ganz andere Prioritäten setzen muss als noch vor wenigen Jahrzehnten, als Stickstoffdüngung und Leguminosenansaat ein wesentlicher Bestandteil der Standortmelioration waren [19]. Die heute an vielen Stellen propagierte, aber auch umstrittene Bodenschutzalkung [20, 26] erscheint aus Sicht der Kalziumernährung nicht – zumindest nicht großflächig – notwendig zu sein. Vielmehr legen die Waldernährungsbefunde vieler Wuchsgebiete stark differenzierte Nährstoff-Rückführungskonzepte [z. B. 22, 7] und eine humuspfleghche Wirtschaftsweise zur Erhaltung pflanzenverfügbarer Vorräte v. a. an P [16, 15], aber auch K und Mg nahe.

Dies gilt wahrscheinlich auch für Gebiete, die überwiegend durch forstliche Hochleistungsstandorte gekennzeichnet sind und in denen dennoch Nährstoffmangelerscheinungen v. a. bei P auftreten (z. B. in der Wuchsregion B2, süddeutsche Jungmoräne und Voralpen). Der dortige Mangelbefund sollte als Frühwarnung begriffen werden, da aufgrund der heute höheren, durch eine vermehrte energetische Nutzung des Kronenmaterials bedingten Nährstoffentzüge [2, 3, 11, 10, 17, 25] potenziell negative Auswirkungen auf Wachstum und Vitalität der Folgebestände eintreten [9, 13], wenn die verfügbaren P-Vorräte einmal empfindlich geschmälert werden. Gerade auf leistungsstarken Standorten dürften solche nutzungsbedingten Wachstumseinbußen dann besonders deutlich ausfallen.

Dr. Karl Heinz Mellert, karl.mellert@tum.de, und Dr. Eckart Kolb sind wissenschaftliche Mitarbeiter von Prof. Dr. Axel Göttlein am Fachgebiet Waldernährung und Wasserhaushalt der TU München. Dr. Nicole Wellbrock ist Leiterin für Boden- und Waldzustandserhebungen am Thünen Institut für Waldökosysteme.