

Kommt ein Engpass bei der Baumartenwahl im Klimawandel?

Reicht die aktuelle Baumartenpalette aus, um gegen die künftig trockeneren Bedingungen im Klimawandel auch auf kritischen Standorten gewappnet zu sein? Diese Frage konnte nun anhand von Daten der zweiten Bodenzustandserhebung in Deutschland (BZE 2) und Inventuren in Nachbarländern untersucht werden. Eng wird es danach vor allem auf tiefgründig versauerten Standorten.

Karl H. Mellert, Axel Göttlein

Gemessen an der Zahl der in Mitteleuropa heimischen Baumarten können Deutschlands Förster aus einer umfangreichen Palette von 66 Arten schöpfen [7]. Wirtschaftlich bedeutend ist jedoch nur ein Bruchteil dieser Baumarten. Nur etwa zehn Arten gelten als Wirtschaftsbäume im engeren Sinne, fünf davon bilden die forstwirtschaftlichen

„Brotbäume“: Fichte, Kiefer, Buche, Stiel- und Traubeneiche [3]. Die ökologische Bindung von Baumarten an bestimmte

Standorte schränkt die Baumartenwahl stark ein. Bereits Wilhelm Pfeil hatte mit dem „eisernen Gesetz des Örtlichen“ die

Schneller Überblick

- Durch datenbasierte Ökogramme (Nischenmodelle) lassen sich Standorte mit künftig verengter Baumartenpalette identifizieren
- Die Ergebnisse zeigen, dass fast alle heimischen Baumarten mit hoher Trockentoleranz basen- bzw. karbonatreiche Standorte bevorzugen
- Für tiefgründig versauerte Standorte ist die Palette heimischer Baumarten stark eingeschränkt (geeignet nur Kiefer und ggf. Traubeneiche)
- Die Übersicht anhand der Wuchsregionenkarte zeigt, dass es in fast allen Regionen zu Einschränkungen in der Baumartenpalette kommt. Die Engpässe sind in den wärmsten und trockensten Gebieten Deutschlands mit gleichzeitig überwiegend sauren Ausgangsgesteinen am stärksten ausgeprägt
- Allerdings steht für diesen kritischen Standortsbereich eine Reihe bewährter Gastbaumarten zur Verfügung. Diese sollten im Rahmen der notwendigen Risikostreuung im Klimawandel verstärkt berücksichtigt werden

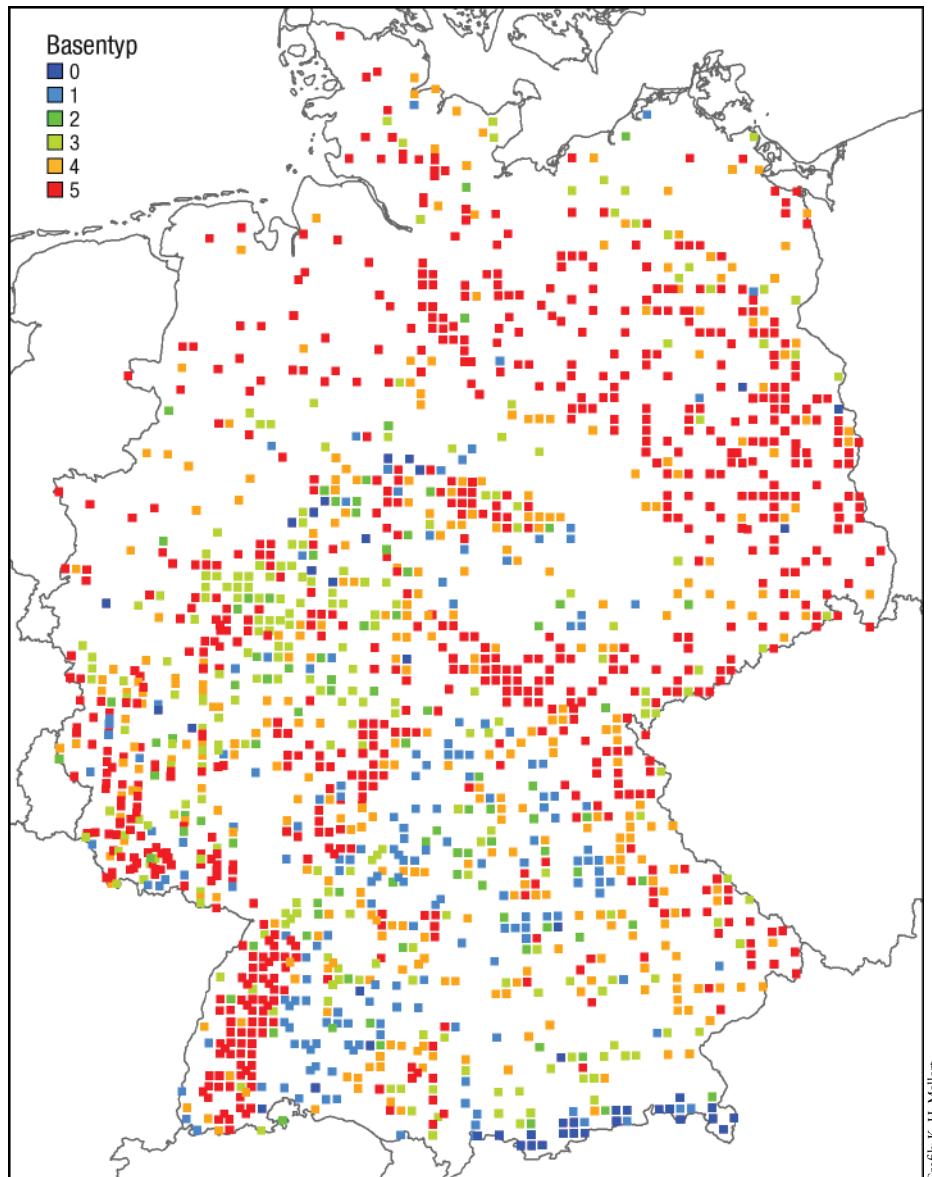


Abb. 1: Basentypen an den Punkten der zweiten Bodenzustandserhebung (nach Osenstetter et al., 2013 [32] bzw. [19]). Typ 0 = sehr basenreich, geringes Kaliumangebot (kalk-oligotroph), Typ 1 = sehr basenreich (eutroph), Typ 2 = basenreich, Typ 3 = mittelbasisch, Typ 4 = basenarm (oligotroph), Typ 5 = sehr basenarm (dystroph)

Grafik: K. H. Mellert

Abhängigkeit der forstlichen Produktion vom Standort zum Ausdruck gebracht. Der Standort ist seitdem eine fundamentale Basis waldbaulicher Entscheidungen. Die geologischen Verhältnisse in Deutschland und die Tatsache, dass Wald i. d. R. auf die schlechtesten Standorte einer Region beschränkt ist, lässt erwarten, dass die Forstwirtschaft auch aus diesen Gründen nicht aus dem Vollen schöpfen kann [15], denn ungünstige Standorte überwiegen. Jede der Wuchsregionen Deutschlands hat ihre spezifischen Problemstandorte [18]. Während in Süddeutschland ungünstige Standorte häufig auf steinigen, meist karbonatreichen Böden angetroffen werden, überwiegen in den Mittelgebirgen und in der norddeutschen Tiefebene saure Böden. In der vorliegenden Arbeit stellen wir uns daher die Frage, wie es mit der Baumarteneignung an den Waldstandorten in Deutschland bestellt ist. Ist die aktuelle Baumartenpalette ausreichend, um gegen die künftig trockeneren Bedingungen im Klimawandel auch auf kritischen Standorten gewappnet zu sein? An welchen Standorten ist am ehesten mit einer „Baumartenlücke“ zu rechnen?

Für die Beantwortung dieser Frage verwenden wir datenbasierte Ökogramme [19]. Hierbei wird ein zweidimensionaler Umweltraum mit einer Trophie- (x-Achse) und einer Wasserhaushaltsachse (y-Achse) aufgespannt. Wir nutzen dazu Präsenz-, Absenz- und Bodendaten von rund 3.300 Plots aus der zweiten deutschen Waldbodenzustandserhebung, kombiniert mit Level-I-BioDiv/Level-I-BioSoil-Daten aus 13 europäischen Nachbarländern sowie Klimadaten aus WorldClim. Für die Achsen wählen wir als bereits in die Praxis eingeführte Kenngröße für den Nährstoffstatus den Basentyp [1]. Der Wärmefaktor geht als Wachstumsgradtage (Growing Degree Days) ein, der Wasserhaushalt als klimatische Wasserbilanz in der forstlichen Vegetationsperiode. Wie in Nischenmodellen üblich, wird die Baumarteneignung aus der Vorkommenswahrscheinlichkeit abgeleitet [19]. Im Ergebnis konnte so die Trockengrenze für neun forstwirtschaftlich wichtige Baumarten spezifiziert werden [19]. Die Zusammenfassung der einzelnen baumartenspezifischen Ökogramme erlaubt es, jene Bereiche im Standortraum zu identifizieren, in denen eine mehr oder weniger breite Baumar-

Material und Methoden

Als Zielbaumarten wurden für diese Studie die neun wichtigsten Wirtschaftsbaumarten der submontanen Stufe [7, 3] im gemäßigten Klima Mitteleuropas mit Verbreitungsschwerpunkt auf terrestrischen Böden herangezogen (Artenliste siehe Abb. 2). Grundlage für die Herleitung der Vorkommenswahrscheinlichkeit waren Bestandsdaten und Vegetationsaufnahmen des Thünen Instituts (TI) aus der zweiten Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II) [28, 29] sowie Daten aus dem BioSoil Survey auf dem 16-km-Raster des ICP-Forests Level-I-Programms für die europäischen Nachbarländer [4]. Als Zielgröße wurden Präsenz-Absenzdaten einer Baumart aus den Bestands- und Vegetationsaufnahmen verwendet.

Die Bodendaten stammen von der BZE II sowie vom BioSoil-Programm (s. o.). Als Proxy für den Bodennährstoffstatus haben wir den Tiefenverlauf der Basensättigung im Bodenprofil (kurz: BT; [31]) gewählt, der aus den verfügbaren Daten zur Basensättigung aus Tab. 1 in Anlehnung an Hartmann & von Wilpert [11] abgeleitet wurde. Von BT 1 wurden nach dem Vorschlag von Osenstetter et al. [32] basenreiche, aber oligotrophe Böden über das Kriterium austauschbarer Kaliumvorrat $< 400 \text{ kg/ha}$ als BT = 0 abgetrennt. Der Basentyp umfasst dementsprechend sechs ordinale Stufen und rangiert mit abnehmender Basenverfügbarkeit von 0 bis 5: von Typ 0 kalk-oligotroph, Typ 1 basenreich-eutroph bis Typ 5 tiefgründig versauert (dystroph). Grundwasserbeeinflusste Standorte wurden in die Auswertung nicht mit einbezogen.

Für den Wasserhaushalt wurde die klimatische Wasserbilanz (KWB) verwendet. Die KWB ist die Differenz zwischen der Niederschlagssumme (hier

die Niederschlagsumme in der forstlichen Vegetationszeit, Monate Mai bis September, P59) und der potenziellen Evapotranspiration (PET) in derselben Periode. Die Berechnung der potenziellen Evapotranspiration (PET, [10]) erfolgte auf der Basis der monatlichen WorldClim-Daten [13]. Als Proxy für thermale Effekte (Wärmebedarf, Frostgrenze, Kältebedürfnis der Baumarten) wurden die Wachstumsgradtage (Growing Degree Days, GDD) aus dem ENVIRON-Datensatz [25] herangezogen. Dies ist die Summe der mittleren Monatstemperaturen für Monate mit einer Durchschnittstemperatur $> 5^\circ \text{ C}$ multipliziert mit der Anzahl der Tage. Entsprechend dem Konzept von Ökogrammen erstellten wir einfache Nischenmodelle [19] mit drei Einflussgrößen Basentyp (x-Achse des Ökogramms), KWB (y-Achse des Ökogramms), und GDD (Median). Auf der Basis der Nischenmodelle für die neun untersuchten Baumarten wurden die im jeweiligen Ökogrammbereich resultierenden Artenzahlen ermittelt (Abb. 2). Hierbei wurde die Vorkommenswahrscheinlichkeit von 0,4 als Schwellenwert für die Baumarteneignung unterstellt [2]. Zur Darstellung des möglichen Klimawandelleffekts (Abb. 2b) wird eine Erniedrigung der KWB um ca. 100 mm angenommen. Dies ist ein relativ moderates Szenario. Heidt [12] geht beispielweise für N-Deutschland von einer um ca. 150 mm erniedrigten KWB bis zum Ende des Jahrhunderts aus.

Analog zu den Ökogrammen wurden die Karten zum Umfang der Baumartenpalette jeweils für die heutige und künftig zu erwartende Baumartenanzahl auf der Basis der Wuchsregionenkarte [15] erstellt.

tenpalette zur Verfügung steht bzw. nur wenige Baumarten geeignet sind (Baumartenlücke).

Standortsverhältnisse

Abb. 1 zeigt das bunte Mosaik der unterschiedlichen Basentypen in Deutschland. Regionale durch die Geochemie der Großlandschaften geprägte Muster [18] sind gut erkennbar. Während in NO-Deutschland und den Mittelgebirgen saure Böden vorherrschen, sind in den Juralschaf-ten basenreiche Böden vertreten, ganz im Süden in den Bayerischen Kalkalpen kommen kalk-oligotrophe Standorte vor.

Nach den Ergebnissen der BZE stellt die extreme Ausprägung saurer Böden, nämlich der tiefgründig versauerte Basen-

bzw. Versauerungstyp (Basentyp = 5) den häufigsten Standortstyp in Deutschland dar (Tab. 1, Abb. 1).

Baumarteneignung

Abb. 2 gibt die summarische Eignung für die untersuchten Baumarten wieder. Während bei grünen Farben die meisten der untersuchten Baumarten geeignet sind, fällt die Baumarteneignung im gelben Bereich auf die Hälfte der Baumarten und in orangefarbenen und roten Bereichen sind nur noch wenige bzw. im Extremfall (dunkelrot) ist gar keine Baumart mehr geeignet. Entlang der y-Achse (KWB) zeichnet sich im trockenen (oberen) Bereich des Ökogramms eine „Trockengrenze“ (orange) ab, bei

der weniger als die Hälfte der Baumarten geeignet ist. Eine entsprechend markante Feuchte- bzw. Frischegrenze ist dagegen nicht erkennbar. Bereits unter heutigen Klimabedingungen sind am basenreichen Ende des Standortsgradienten (Basentypen 0 und 1) im trockenen Bereich deutlich mehr Baumarten geeignet als am sauren Ende (Basentypen 4 und 5) (Abb. 2a). Bei zukünftig trockeneren Verhältnissen (Annahme einer moderaten Absenkung der KWB, vgl. [12]) sinkt die Anzahl geeigneter Baumarten und damit die Optionen der Forstwirtschaft gerade auf den sauren Standorten deutlich ab (Abb. 2b).

Übertragen auf die forstlichen Wuchsregionen in Deutschland (Abb. 3) wird ersichtlich, dass die Anzahl geeigneter Hauptbaumarten in fast allen Wuchsregionen in Zukunft zurückgeht, wobei Norddeutschland wegen der häufig sauren Ausgangsgesteine stärker betroffen ist als Süddeutschland, wo nur Flugsandstandorte des Oberrheins und Untermains betroffen sind. Besonders verengt wird die Baumartenpalette in NO-Deutschland, wo schon heute nur wenige Baumarten für die sandigen und trockenen Standorte zur Verfügung stehen. Am feuchten Alpenrand mit überwiegend ba-

	Basentyp							73
	5	4	3	2	1	0		
KWB <-100	56	11	3	0	1	2		
-100	368	186	102	45	82	4	787	
0–100	233	104	87	33	61	12	530	
100–200	61	31	31	7	23	5	158	
200–300	14	5	7	3	8	16	53	
> 300	0	0	0	0	0	5	5	
	732	337	230	88	175	44		

Tab. 1: Häufigkeit von Standorten in Deutschland nach klimatischer Wasserbilanz (KWB-Klassen) und Basentypen, ermittelt für die Inventurpunkte der zweiten Bodenzustandserhebung: Basentyp abgeleitet nach Hartmann & Wilpert [11] bzw. Osenstetter et al. [32]; KWB basierend auf WorldClim-Daten. In Anlehnung an AK Standortkartierung [1] wurde die KWB in der forstlichen Vegetationsperiode in Klassen von 100 l/m² eingeteilt.

senreichen Böden sind die Baumartenoptionen dagegen schon heute vielfältig und nehmen in Zukunft sogar noch etwas zu.

Zudem stehen für das basenreiche Ende des Standortsgradienten neben den in die Studie einbezogenen Edellaubbäumen (Esche, Bergahorn und Bergulme) eine ganze Reihe von trockenheitstoleranten Prunus-, Sorbus- und Tilia-Arten zur Verfügung, dagegen sind entspre-

chende Baumarten auf sauren Standorten rar [20]. Denn nur wenige unserer heimischen Waldbaumarten verfügen gleichzeitig über eine hohe Nährstoffmangel- und Trockenheitstoleranz (Toleranz nach Otto [20] ≥ 4). Unter bedeutenden Wirtschaftsbäumen sind dies neben der besonders toleranten Kiefer nur die Lärche und die Traubeneiche. Auch die Pionierbaumarten Aspe, Sandbirke und Eberesche sind sehr tolerant hinsichtlich Trockenheit und Trophie (Toleranz nach Otto [20] = 5). Allerdings zeigen die Kiefer und Traubeneiche mancherorts schon jetzt deutliche Probleme in Trockenjahren (z. B. 30, 34]. Dies zeigt, wie wichtig alternative Baumarten im Klimawandel sind, v. a. für den sauren Standortsbereich.

Die als gute Option im Klimawandel gehandelten trockentoleranten seltenen heimischen Baumarten, wie z. B. die Elsbeere, bevorzugen allerdings, bis auf die genannten Pionierbaumarten, basen- bzw. kalkreiche Böden [24]. Sie stehen daher als waldbauliche Alternative nur für einen vergleichsweise kleinen Anteil der Standorte zur Verfügung und kommen für die große Fläche der sauren Standorte nicht infrage.

Gerade an sauren Standorten ist aber auch die Buche eine wichtige Alternative. Denn Forschungsergebnisse der letzten Jahrzehnte zeigen, dass die Buche entgegen der traditionellen Einschätzung als Baumart mit nur mittlerer Nährstoffmangeltoleranz [20] doch auch sehr saure, sogar sandige Standorte besiedeln kann [16, 7]. Sie wird daher mittlerweile fast in der gesamten standörtlichen Breite als „sichere Bank“ im Klimawandel angesehen [14]. Hierbei ist jedoch zu bedenken, dass der Nährstoffbedarf der Buche vergleichsweise hoch ist [22]. Im Vergleich zur Fichte und zur Kiefer sind die in Buchen gespeicherten Mengen bei den meisten Nährstoffen deutlich höher. So speichert die Buche etwas doppelt so viel Phosphor im Derbholz als die Fichte [8]. Eine nährstoffnachhaltige Forstwirtschaft mit der Buche stellt die Forstbetriebe auf kritischen Standorten daher vor große Herausforderungen. Insgesamt bleibt festzustellen, dass es insbesondere an heimische Alternativen für die Nadelbaumarten Fichte und Kiefer fehlt.

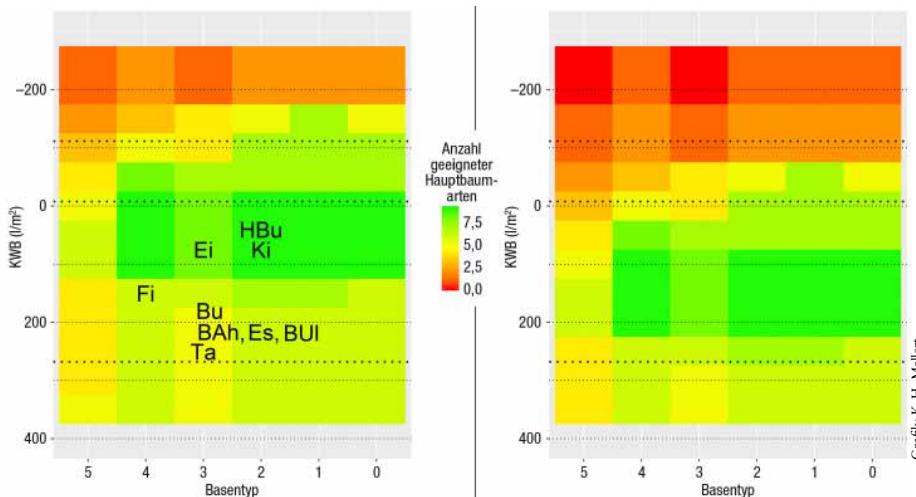


Abb. 2: Anzahl geeigneter Hauptbaumarten in Abhängigkeit von der klimatischen Wasserbilanz (KWB) und vom Basentyp. Abb. 2a (links) basierend auf Baumartenverbreitungsmodellen, die auf der Bodenzustandserhebung und dem BioSoil/BioDiv-Programm beruhen. Der Verbreitungsschwerpunkt der jeweiligen Baumarten wird durch das Baumartenkürzel angezeigt (Bergahorn = BAh, Bergulme = BUL, Buche = Bu, Esche = Es, Fichte = Fi, Hainbuche = HBu, Kiefer = Ki, Tanne = Ta, Traubeneiche = TEi). Die fett gepunkteten horizontalen Linien geben den Wertebereich der KWB der BZE-Punkte an (1., 50. und 99. Perzentil). Das Ökogramm gibt die Baumarteneignung bei mittlerer Temperatur wieder. Abb. 2b (rechts) zeigt die Anzahl geeigneter Baumarten auf gleichen Standorten wie in Abb. 2a, aber in einer wärmeren und trockeneren Zukunft, bei der die KWB um ca. 100 l/m² abnimmt.

Wichtige trockenheitstolerante Gastbaumarten tolerieren saure Standorte und haben dies in Mitteleuropa bereits unter Beweis gestellt [z. B. 33, 3]. Dies gilt insbesondere für die Douglasie, die Küstentanne, die Schwarzkiefer und mit Einschränkungen für die Libanonzeder [z. B. 17, 6]. Eine aktuelle Studie, welche die potentielle Wuchsleistung berücksichtigt, sieht unter den säuretoleranten Arten besonders gute Zukunftsaussichten für die Rot- und die Zerreiche, die Robinie sowie die Edelkastanie [26]. Unter dem Gesichtspunkt der Betriebssicherheit sollten bewährte Gastbaumarten, insbesondere auf sauren Standorten neben den heimischen Baumarten als ergänzende Option dringend beachtet werden. Auf diese Weise können Engpässe vermieden werden, die bei Ausfällen der wenigen heimischen Baumarten im sauren Standortsbereich drohen können.

Um die Kenntnisse und praktischen Erfahrungen mit Baumarten aus an-

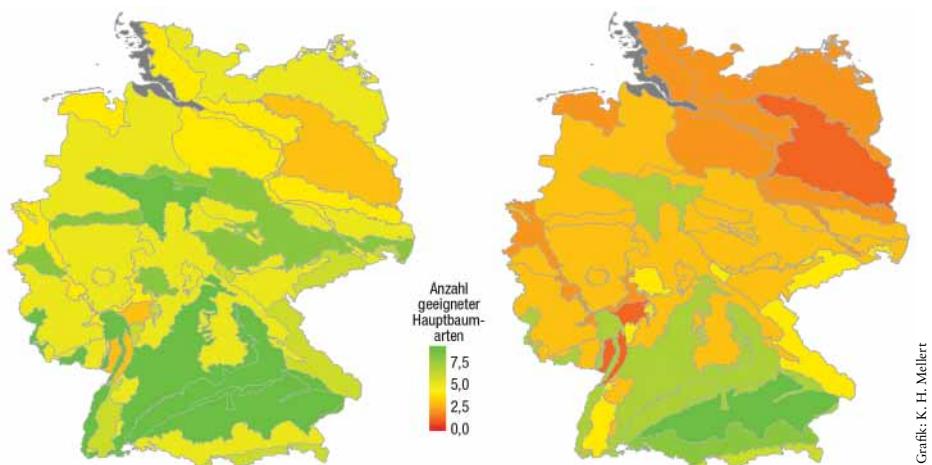


Abb. 3: Anzahl geeigneter Baumarten in den Wuchsregionen Deutschlands heute (links) und in Zukunft (rechts); Datengrundlage wie Abb. 2

Grafik: K. H. MELLERT

deren biogeografischen Regionen für Waldbesitzer und Förster zugänglich und bekannt zu machen, sammelt der AK Standorterkundung entsprechende Informationen. Diese Daten können dann eine wichtige Grundlage für einen fachlichen Erfahrungsaustausch sein.

Schlussfolgerungen

Die Erweiterung der heimischen Baumartenpalette mit Arten hoher Trockenheits- und Nährstoffmangeltoleranz ist für die Forstwirtschaft in Deutschland von erheblicher Bedeutung, da ein großer Teil der Waldflächen auf sauren Standorten stockt. Insbesondere auf extrem sauren und trockenen Standorten müssen jedoch auch mit den meisten Gastbaumarten noch weitere Erfahrungen im Rahmen eines adaptiven Managements gesammelt werden. Ein erster Schritt ist hierbei der gezielte Erfahrungsaustausch über den Anbau von Gastbaumarten in Mitteleuropa. Neben den bewährten Gastbaumarten können auf der Grundlage von Nischenmodellen [9], basierend auf Daten der Herkunftsgebiete, weitere potenzielle Ersatzbaumarten identifiziert werden [26]. Systematische, wissenschaftlich begleitete Anbauten sind der beste Weg, um die Baumarteneignung in den Zielgebieten zu verifizieren [21]. Durch den Naturschutz begründete Einschränkungen (Naturschutzgesetze, Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie) – die jedoch nur einen kleinen Bruchteil der sauren Waldstandorte betreffen – sind beim Anbau von Gastbaumarten selbstverständlich zu berücksichtigen [23].

Literaturhinweise:

- [1] AK Standorterkundung (2016): Forstliche Standortaufnahme. 7. Auflage, IHW-377, Verlag Eching, 400 S.
- [2] AUSTIN, M. P.; VAN NIEL, K. P. (2011): Impact of landscape predictors on climate change modelling of species distributions: a case study with *Eucalyptus fastigata* in southern New South Wales, Australia. *Journal of Biogeography*, 38 (1), S. 9-19.
- [3] BURSCHEL, P.; HUSS, J. (1997): Grundris des Waldalben. Paul Parey, Berlin, 497 S.
- [4] CANULLO, R.; STARLINGER, F.; GIORDANI, P. (2013): Diversity and composition of plant and lichenspecies. Forest monitoring: Methods for terrestrial investigations in Europe with an overview of North America and Asia. *Developments in Environmental Science*, 12, S. 237-250.
- [5] COOLS, N.; VOS, B. de (2013): Forest soil: characterization, sampling, physical, and chemical analyses. Forest monitoring: Methods for terrestrial investigations in Europe with an overview of North America and Asia. Elsevier, Oxford, S. 267-300.
- [6] DE AVILA, A. L.; ALBRECHT, A. (2017): Alternative Baumarten im Klimawandel: Artenschreibbriefe – eine Stoffsammlung. Eigenverlag der FVA, Freiburg, 124 S.
- [7] ELLENBERG, H.; LEUSCHNER, C. (2010): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen: in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht. Utb, Stuttgart.
- [8] FÄTH J.; WEIS, W.; MELLERT, K. H.; KOHLPAINTRER, M.; MANGHABATI, H.; ETTL, R.; GÖTTLIEB, A. (2018): Mit der Biomasse verschwindet der Phosphor. AFZ-DerWald, eingereicht.
- [9] FALK W.; MELLERT K. H. (2011): Species distribution models as a tool for forest management planning under climate change: risk evaluation of Abies alba in Bavaria. *Journal of Vegetation Science* 22 (4), S. 621-634 (DOI: 10.1111/j.1654-1103.2011.01294.x).
- [10] HARGRAVES, G. H.; ALLEN, R. G. (2003): History and evaluation of Hargreaves evapotranspiration equation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 129 (1), S. 53-63.
- [11] HARTMANN, P.; VON WILPERT, K. (2016): Statistisch definierte Vertikalgradienten der Basensättigung sind geeignete Indikatoren für den Status und die Veränderungen der Bodenversauerung in Waldböden. *Allg. Forst- u. J.-Ztg.*, (187), S. 61-69.
- [12] HEIDT, L. (2010): Auswirkungen des Klimawandels auf die potenzielle Beregnungsbedürftigkeit Nordost-Niedersachsens. *STR*, 10/10, S. 60.
- [13] HUMANS, R. J.; CAMERON, S. E.; PARRA, J. L.; JONES, P. G.; JARVIS, A. (2005): Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25 (15), S. 1965-1978.
- [14] KÖLLING, C.; WALENTOWSKI, H.; HELGE, B.; BORCHERT, H. (2005): Die Buche in Mitteleuropa. AFZ-DerWald, Nr. 13, S. 696-701.
- [15] KOLB, E.; GÖTTLIEB, A. (2014): Vorschlag zur Anpassung der Forstlichen Wuchsregionengliederung Deutschlands an das Nutzungspotential der Böden (2014): Allg. Forst- u. J.-Ztg., 185, S. 249-260.
- [16] LEUSCHNER, C.; RODE, M. W.; HEINKEN, T. (1993): Gibt es eine Nährstoffmangel-Grenze der Buche im nordwestdeutschen Flachland? *Flora*, 188, S. 239-249.
- [17] LÉVESQUE, M.; SAURER, M.; SIEGWOLF, R.; EILMANN, B.; BRANG, P.; BUGMANN, H.; RIGLING, A. (2013): Drought response of five conifer species under contrasting water availability suggests high vulnerability of Norway spruce and European larch. *Global change biology* 19. DOI: 10.1111/gcb.12268.
- [18] MELLERT, K. H.; KOLB, E.; WELLBROCK, N.; GÖTTLIEB, A. (2017): Ernährungszustand der Wälder Deutschlands. AFZ-DerWald, Nr. 19, S. 41-44.
- [19] MELLERT, K. H.; CANULLO, R.; METTE, T.; ZICHE, D.; GÖTTLIEB, A. (2018): Klimatische Trockengrenze wichtiger Baumarten hängt vom Bodennährstoffstatus ab. Schweiz. Z. Forstwes. 169/6.
- [20] OTTO, H.-J. (1994): Waldökologie. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- [21] PLUESS, A. R.; AUGUSTIN, S.; BRANG, P. (2016): Wald im Klimawandel. Grundlagen für Adaptionsstrategien. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL). Haupt-Verlag, Bern, Stuttgart, Wien.
- [22] PRETZSCH, H.; BLOCK, J.; DIELER, J.; GAUER, J.; GÖTTLIEB, A.; MOSHAMMER, R. et al. (2014): Nährstoffentzüge durch die Holz- und Biomassenutzung in Wäldern. Teil 1: Schätzfunktionen für Biomasse und Nährelemente und ihre Anwendung in Szenariorechnungen. Allg. Forst Jagdztg. 185, S. 261-285.
- [23] REIF, A.; AAS, G.; ESSL, F. (2011): Braucht der Wald in Zeiten der Klimaveränderung neue, nicht heimische Baumarten. Nat. u. Landsch., 6, S. 256-260.
- [24] ROLOFF, A.; GRUNDMANN, B. M. (2008): Waldbauarten und ihre Verwendung im Klimawandel. Arch. Forstw. 42, S. 97-109.
- [25] TITLE, P. O.; BEMMELS, J. B. (2018): ENVREM: An expanded set of bioclimatic and topographic variables increases flexibility and improves performance of ecological niche modeling. *Ecography*, 41, S. 291-307.
- [26] THURM, E.; METTE, T.; HUBER, G.; UHL, E.; FALK, W. (2017): Anbauempfehlungen – von der Forschung in die Fläche. AFZ-DerWald, Nr. 22, S. 19-23.
- [27] THURM, E. et al. (2018): Alternative tree species under climate warming in managed European forests. *Forest Ecol., Man.* akzeptiert.
- [28] WELLBROCK, N.; BOLTE, A.; FLESSA, H. (2016): Dynamik und räumliche Muster forstlicher Standorte in Deutschland: Ergebnisse der Bodenzustandserhebung im Wald 2006 bis 2008. Thünen Reports, 43, 495 S.
- [29] ZICHE, D.; MICHLER, B.; FISCHER, H.; KOMPA, T.; HÖHLE, J.; HILBRIG, L.; EWALD, J. (2016): Boden als Grundlage biologischer Vielfalt. Thünen Report 43, 292-342.
- [30] GÖSSWEIN, S.; LEMME, H.; BURAS, A.; SCHUNK, C.; MENZEL, A.; STRAUB, C.; METTE, T.; TAEGER, S. (2017): Kiefernšäden in Bayern. LWF aktuell 112:12-13.
- [31] KÖLLING, C.; HOFFMANN, M.; GULDER, H. (1996): BODENCHEMISCHE VERTIKALGRADIENTEN ALS CHARAKTERISTISCHE ZUSTANDSGRÖSSEN VON WALDÖKOSYSTEMEN. *JOURNAL OF PLANT NUTRITION AND SOIL SCIENCE* 159: 69-77.
- [32] OSENSTETTER, S.; FALK, W.; REGER, B.; BECK, J. (2013): Wasser, Luft und Nährstoffe – alles, was ein Baum zum Leben braucht. LWF-aktuell 94: 12-17.
- [33] SCHÜTT, P.; SCHUCK, H. J.; STIMM, B. (1992): Lexikon der Forstbotanik, ecomed, 581 S.
- [34] WOLF, M.; PETERCORD, R. (2012): Eichenschäden in Nordbayern. LWF aktuell 88: 4-8.

Dr. Karl Heinz Mellert,
karl.mellert@tum.de,
ist wissenschaftliche Mitarbeiter
von Prof. Dr. Dr. Axel Göttlein am
Fachgebiet Waldernährung und
Wasserhaushalt der TU München.

