

Umweltdaten für Standort-Leistungs-Modelle

Panta rhei – Alles fließt. Auch Standortbedingungen sind nicht statisch. Steigende Temperaturen und veränderte Niederschlagsverteilung durch den Klimawandel wirken sich auf das Wachstum und damit die Produktivität der Baumarten aus. Um diese Veränderungen in Standort-Leistungs-Modellen abschätzen zu können, haben wir die Bundeswaldinventurdaten um Inventurdaten aus wärmeren Regionen Europas erweitert.

Levent Burggraef, Susanne Brandl

Die Umweltdaten zur Bundeswaldinventur (BWI), die in den vorhergehenden Beiträgen dieser Ausgabe

Schneller Überblick

- Um die Produktivität für ein wärmeres Klima vorherzusagen, werden Standort-Leistungs-Modelle auf europaweiter Datenbasis benötigt
- Für Fichte, Kiefer und Buche wird für die meisten Standorte eine steigende Produktivität mit höheren Temperaturen vorausgesagt, solange es nicht zu trocken wird
- Bei der Baumartenwahl muss neben der Produktivität auch das Risiko berücksichtigt werden

beschrieben wurden, machen es möglich, den Zusammenhang zwischen Standort und Produktivität für die Bestände der BWI zu ermitteln. Damit kann das Waldwachstum im Klimawandel besser vorhergesagt werden. Im Projekt WP-KS-KW wurden dazu klimasensitive Standort-Leistungs-Modelle erstellt, die hier für drei der forstwirtschaftlich wichtigsten Baumarten Deutschlands vorgestellt werden: Fichte, Kiefer und Buche. Zielgröße der Standort-Leistungs-Modelle ist die Ertragsfähigkeit, also die mögliche Wuchsleistung oder Produktivität einer Art auf einem gegebenen Standort. Die tatsächliche Wuchsleistung oder Produktivität eines Bestands ist natürlich auch von seinem Alter und seiner Dichte abhängig. In diesem Beitrag beziehen wir uns bei Verwendung des Begriffs Produktivität immer auf die mögliche (potenzielle) Produktivität. Diese orientiert sich in

der Regel an der Höhe eines Bestands, welche relativ behandlungsstabil ist. Das bekannteste Maß ist die Höhenbonität, im Englischen Site Index (SI) genannt: je höher ein Bestand bei gegebenem Alter, umso wüchsiger der Standort.

Die Standort-Leistungs-Modelle sollen einerseits die Frage beantworten, auf welche Weise – positiv oder negativ – sich Klimaänderungen auf die Produktivität der genannten Baumarten auswirken. Zum anderen dienen sie zur Ansteuerung von drei Waldwachstums-simulatoren, mit denen die zukünftige Waldentwicklung Deutschlands über die Bestände der BWI fortgeschrieben werden soll.

Blick nach Europa

Eine wichtige Vorbedingung, um den Zusammenhang zwischen Standort und Produktivität einer Art zu ermitteln, ist eine möglichst gute Datenabdeckung des

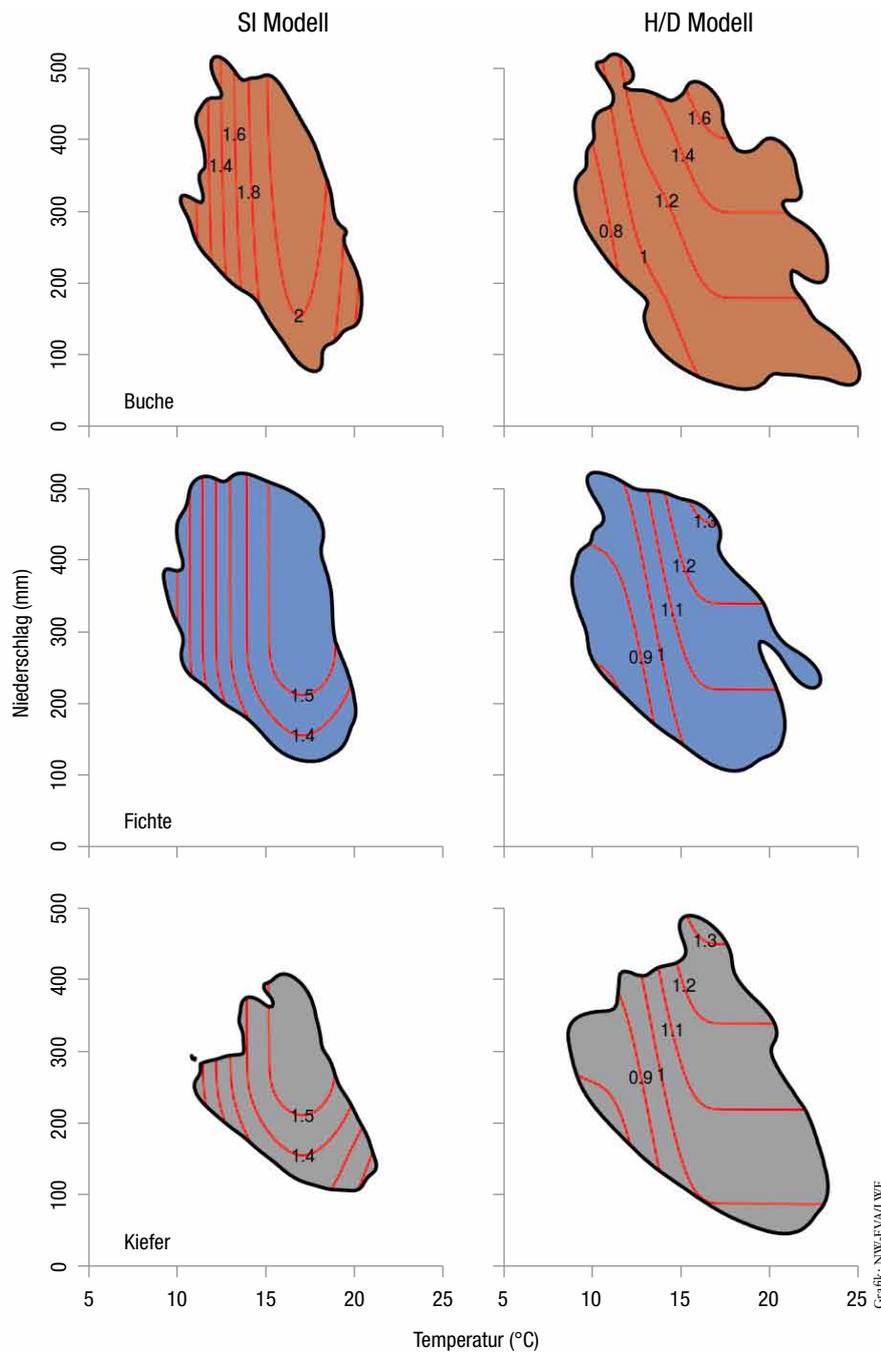


Abb. 1: Relative Effekte von mittlerer Temperatur und Niederschlagssumme des wärmsten Quartals auf die Produktivität der Baumarten Fichte, Kiefer und Buche jeweils für das SI-Modell (links) und das H/D-Modell (rechts). Bereiche des Klimaraums, die nicht durch Daten abgedeckt sind, sind ausgespart. Da das H/D-Modell den BioSoil-Datensatz aus ganz Europa integriert, ist der abgedeckte Klimaraum größer als im SI-Modell. Dies macht sich insbesondere bei Kiefer und Buche bemerkbar.

jeweiligen Verbreitungsgebietes. Dabei ist für uns gerade der warme bzw. warm-trockene Verbreitungsrand von Interesse. Er zeigt uns an, bis wohin unsere etablierten Arten im Klimawandel angebaut werden können. Im Fall der Fichte wird diese Grenze in Deutschland erreicht und teilweise überschritten, Kiefer und Buche kommen allerdings auch unter wärmeren Bedingungen vor. Für diese beiden

Baumarten reichen die Daten der BWI allein für die Modellanpassung nicht aus. Aus diesem Grund haben wir für unsere Auswertung die BWI-Daten mit französischen nationalen Waldinventurdaten (NFI) und Biodiversitätsaufnahmen der BioSoil-Inventur auf dem europaweiten Level I-Netz kombiniert [1 bis 3]. Für jede der genannten Inventuren sind auch bodenphysikalische- und chemische Daten

erhoben worden. Für die Klimadaten greifen wir auf den weltweit verfügbaren WorldClim-Datensatz zurück [4].

Das konsistente Zusammenführen der verschiedenen Datensätze ist eine wichtige Voraussetzung, um die enthaltenen Parameter vergleichbar zu machen. So werden z. B. zur Herleitung einer einheitlichen nutzbaren Feldkapazität die Texturangaben des französischen Datensatzes in das deutsche Klassifikationssystem übersetzt [5]. Die Heterogenität der Inventurdaten schränkt allerdings auch die Auswahl der Produktivitätsmaße ein. So ist im BioSoil-Datensatz das Baumalter nur in Klassen von zwanzig Jahren angegeben, was eine Bonitierung für den Gesamtdatensatz unmöglich macht. Dennoch ist die Zusammenstellung eines europaweiten Datensatzes aus den vorgenannten Gründen unumgänglich und die Vereinheitlichung der drei Teildatensätze aus BWI, französischer NFI und BioSoil-Aufnahme ist ein wichtiges Ergebnis des Projekts.

Warum zwei Ansätze für die Standortleistung?

Neben der schon oben genannten Höhenbonität (SI-Modell) als klassischem Maß der Ertragsfähigkeit wurde ein zweites sog. Höhen-Durchmesser-Modell (kurz: H/D-Modell) hergeleitet [6, 7]. Das H/D-Modell hat den Vorteil, dass damit in Waldwachstumssimulatoren aus dem Durchmesserwachstum direkt auch das Höhenwachstum abgeleitet werden kann. Des Weiteren benötigt es auch keine Altersinformation, die gerade in den BioSoil-Daten nur in groben Klassen vorhanden ist. Im Gegensatz dazu hat die Höhenbonität den Vorteil, dass sie ein traditionelles und intuitiv verständliches Maß in der Forstwirtschaft ist. Da die BioSoil-Daten aufgrund der groben Altersangaben problematisch sind, wurde die Bonität nur mit den BWI-Daten und den französischen NFI-Daten angepasst. H/D-Modell und SI-Modell ergänzen sich und dienen auch zur gegenseitigen Validierung. Sind die Klimateffekte klar, so sollten sie in beiden Ansätzen ähnlich sein.

Von den europaweiten Klimadaten wurden, basierend auf Erkenntnissen aus früheren Untersuchungen [8, 9], die mittlere Temperatur und die Niederschlags-

summe des wärmsten Quartals (Juni, Juli, August = meteorologischer Sommer) ausgewählt, um Unterschiede in der Produktivität zu erklären. Die beiden Größen lassen sich in einem Temperatur-Niederschlagsdiagramm darstellen – ähnlich den wohl bekannteren „Klimahüllen“ [10] – in dem sich jeder BWI-Punkt Deutschlands klimatisch verorten lässt (Abb. 1). Die klimatischen Wachstumsverhältnisse reichen vom kalt-feuchten Alpenklima mit 10 °C und 500 mm Niederschlag (linke obere Ecke) bis ins warm-trockene Rheintal oder Brandenburg mit einer Temperatur von bis zu 19 °C und Niederschlag von teilweise nur noch 165 mm (rechte untere Ecke).

Beide Modellansätze integrieren auch physikalische Bodenparameter. Während im H/D-Modell die nutzbare Feldkapazität direkt als erklärende Variable eingeht, wurden für das SI-Modell Inventurpunkte mit extremen Bodeneigenschaften (Stauwasserböden, Grundwasserböden, Moore, geringmächtige Böden) ausgefiltert, da diese den klimatischen Einfluss überprägen würden.

Ergebnisse: Klimasensitivität des Waldwachstums

In Abb. 1 sind die Entwicklungen der Produktivität von Fichte, Kiefer und Buche abhängig von Mitteltemperatur und Niederschlagssumme des wärmsten Quartals dargestellt, jeweils für das SI- und das H/D-Modell. Für alle drei Baumarten zeigt sich, dass steigende Temperaturen zunächst zu höherer Produktivität führen, solange der Niederschlag nicht limitierend wirkt. Ab einem bestimmten Schwellenwert (ca. 17 °C) führen steigende Temperaturen zu keiner weiteren Erhöhung der Produktivität. Für diese Temperaturen wird je nach Modellansatz entweder eine konstante Produktivität (Sättigungskurve) oder ein Absinken der Produktivität (Optimumskurve) angepasst. Der Effekt des Niederschlags ist deutlich schwächer. Erst ab ca. 250 mm limitiert Trockenheit das Wachstum der Fichte, bei der Kiefer wirkt der Niederschlag ab ca. 190 mm limitierend.

Interessanterweise interpretieren die beiden Modelle den Produktivitäts-Rückgang in warm-trockenen Regionen unterschiedlich: im SI-Modell wirkt die Temperatur stärker, im H/D-Modell der

Niederschlag. Dieser Unterschied ergibt sich aus der Datengrundlage: in Europa weisen wärmere Regionen i. d. R. auch geringe Sommerniederschläge auf (mediterranes Klima); Daten für warm-feuchte Regionen, mit denen sich der Niederschlags-Temperatur-Effekt trennen ließe, stehen kaum zur Verfügung. Insgesamt sind die Effekte aus den zwei Modellen jedoch konsistent: Solange eine ausreichende Wasserversorgung gewährleistet ist, steigt die Produktivität durch höhere Temperaturen bis zu einer bestimmten Temperaturschwelle an.

Neben dem großräumigen Klima spielt der Boden vor allem lokal eine entscheidende Rolle für die Produktivität. Bodeneigenschaften können klimatische Effekte sowohl verstärken als auch kompensieren. Allerdings ist dieser Einfluss schwer zu erfassen. Bodeneigenschaften zeigen oft nur im direkten (lokalen) Vergleich (*ceteris paribus*) starke Effekte.

Trotz der intensiven Datenaufbereitung sind die Vorhersagen der beiden Standort-Leistungs-Modelle mit großen Unsicherheiten behaftet. Dies liegt einerseits an Unsicherheiten der zugrundeliegenden Daten: Höhenmessung und Altersschätzung sind nie ganz exakt, Klimadaten werden über 30 Jahre aggregiert und in die Fläche interpoliert, Unterschiede im Wachstumsverhalten verschiedener Provenienzen können nicht berücksichtigt werden. Daneben setzen sich auch Jahre bis Jahrzehnte zurückliegende Schadereignisse wie Schneebruch, Spätfrost, Kalamitäten etc. in den Daten fort und erhöhen die Streuung im Modell.

Frei nach Kant: Was kann ich wissen? Was soll ich tun?

Forstliche Standortbedingungen werden durch den Klimawandel auf zwei Arten beeinflusst. Auf der einen Seite steht die globale und regionale Veränderung von Mittelwerten von Temperatur und Niederschlag. Für Europa wird bis Ende des 21. Jahrhunderts je nach Modell eine um 1,0 bis 5,5 °C höhere Jahresmitteltemperatur vorausgesagt, wobei der Anstieg im Winter stärker ist als im Sommer [11]. Niederschläge sind schwerer zu prognostizieren, jedoch werden hier eine Abnahme im Sommer und eine Zunahme im Winter ange-

Methodik

SI-Modell

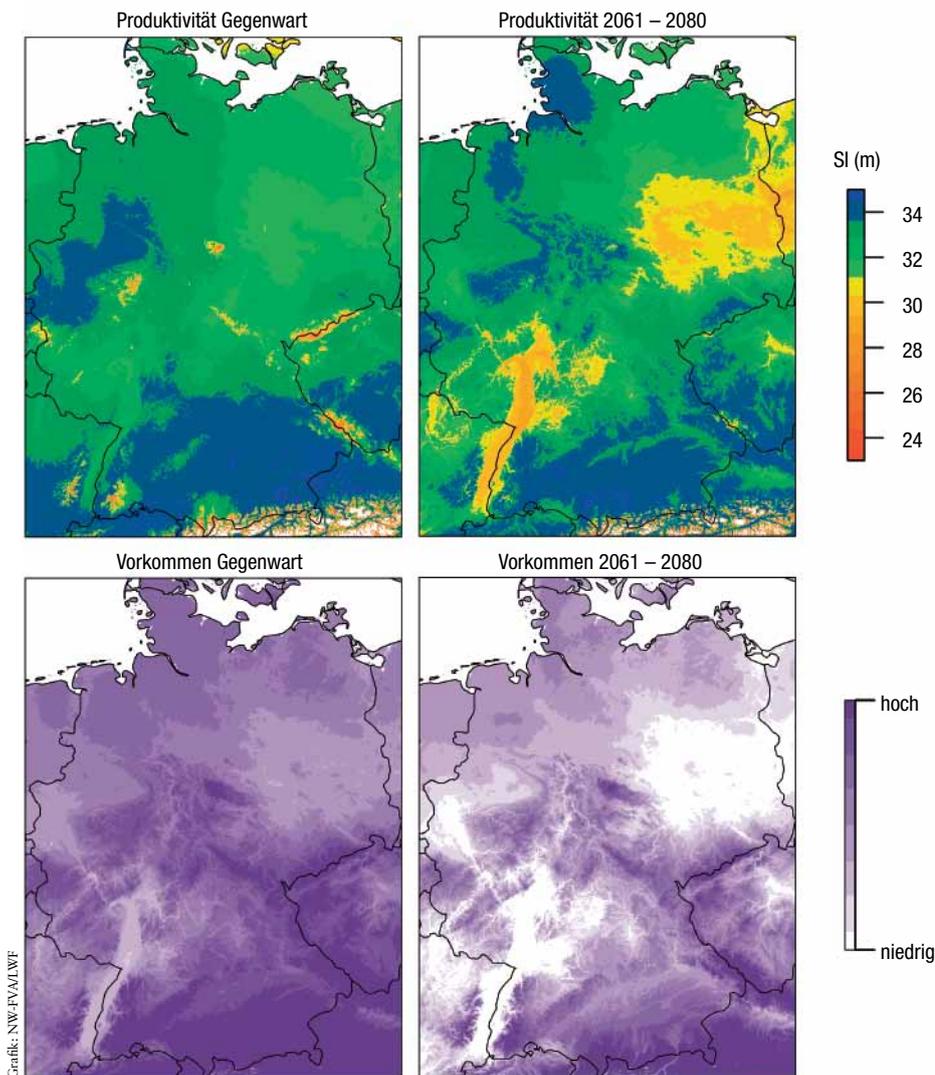
- Datengrundlage: BWI und französische NFI, Grundflächenanteil der Baumart $\geq 70\%$
- Berechnung der Weise'schen-Oberhöhe (Höhe des Grundflächenmittelstamms der obersten 20 % der Bhd-Verteilung)
- Anpassen von Höhen-Alters-Funktionen an das 5 %- und 95 %-Quantil der Höhen (Chapman-Richards-Funktion oder semi-Log-Funktion)
- Statische Bonitierung: Position der Weise-Höhe zwischen den Höhen-Alters-Kurven im Alter i wird auf das Alter 100 übertragen \rightarrow SI
- Filterung des Datensatzes: extreme Böden (Stauwasserböden, Grundwasserböden, Moore, geringmächtige Böden)
- Modell: SI = Funktion (Temperatur, Niederschlag)

H/D-Modell

- Datengrundlage: BWI, BioSoil Level 1 Aufnahmen und französische NFI
- Modellierung der Höhe des Einzelbaums anhand von Durchmesser, Dg und Umwelvariablen mittels einer linearisierten Form der Korf-Funktion [6]

nommen. Auf der anderen Seite stehen das häufigere Auftreten und die höhere Intensität von Klimaextremen, z. B. Hitze- und Dürreperioden, Stürme oder Starkniederschläge, und ein dadurch verändertes Risiko von biotischen und abiotischen Kalamitäten.

Zur Einschätzung zukünftiger waldbaulicher Bedingungen müssen beide Aspekte betrachtet und das Verhältnis von Ertrag zu Risiko abgewogen werden [12]. Die hier vorgestellten Standort-Leistungs-Modelle setzen eher an den Mittelwerten an, auch wenn die Klimaextreme (wenigstens teilweise) inhärent damit verknüpft sind. Die Ergebnisse zeigen, dass die Produktivität unserer Wälder auf den meisten Standorten von höheren Temperaturen im Klimawandel profitiert, solange eine ausreichende Wasserversorgung gewährleistet ist. Die Kehrseite ist das Risiko, das am warmen bzw. warm-trockenen Verbreitungsrand stark an-



Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft erforscht [8, 9, 13, 14]. Gerade dieses Projekt hat gezeigt, dass in der europaweiten Betrachtung ein großes Potenzial für neue Erkenntnisse zu Artverbreitung, Produktivität und Risiko steckt. Die Methodik zur Vereinheitlichung verschiedener Inventuren, wie sie hier entwickelt wurde, ist eine Grundvoraussetzung dafür und kann auf eine Vielzahl weiterer Inventuren übertragen werden.

Literaturhinweise:

[1] BASTRUP-BIRK, A.; NEVILLE, P.; CHIRICI, G.; HOUSTON, T. (2007): The BioSoil Forest Biodiversity Field Manual. Working Group on Forest Biodiversity. [2] VIDAL, C.; BÉLOUARD, T.; HERVÉ, J.-C.; ROBERT, N.; WOLSACK, J. (2005): A New Flexible Forest Inventory in France. Proceedings of the Seventh Annual Forest Inventory and Analysis Symposium. [3] DE VOS, B.; COOLS, N. (2011): Second European Forest Soil Condition Report. Volume I: Results of the BioSoil Soil Survey. Research Institute for Nature and Forest, Brussel. [4] HIJMANS, 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, S. 1965–1978. [5] Ad-Hoc AG Boden (2006): Bodenkundliche Kartieranleitung. KA5. Schweizerbart Science Publishers, Stuttgart, Germany. [6] LAPPI, J. (1997): A Longitudinal Analysis of Height/Diameter Curves. Forest Science, 43, S. 555–570. [7] PYA, N.; SCHMIDT, M. (2016): Incorporating shape constraints in generalized additive modelling of the height-diameter relationship for Norway spruce. Forest Ecosystems, 3, S. 1–14. [8] BRANDL, S.; FALK, W.; KLEMMT, H.-J.; STRICKER, G.; BENDER, A.; RÖTZER, T.; PRETZSCH, H. (2014): Possibilities and limitations of spatially explicit site index modelling for spruce based on national forest inventory data and digital maps of soil and climate in Bavaria (SE Germany). Forests, 5, S. 2626–2646. [9] ALBERT, M.; SCHMIDT, M. (2010): Climate-sensitive modelling of site-productivity relationships for Norway spruce (Picea abies (L.) Karst.) and common beech (Fagus sylvatica L.). Forest Ecology and Management, 259, S. 739–749. [10] KÖLLING, C. (2007): Klimahüllen für 27 Waldbaumarten. AFZ-Der Wald, 23, S. 1242–1245. [11] JACOB, D.; BÜLOW, K.; KOTOVA, L.; MOSELEY, C.; PETERSEN, J.; RECHID, D. (2012): Regionale Klimaprojektionen für Europa und Deutschland: Ensemble Simulationen für die Klimafolgenforschung. Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Climate Service Center (CSC). [12] KÖLLING, C.; METTE, T. (2016): Anbau- und Ertragschancen im Klimawandel. AFZ-Der Wald 14/2016, 38–41. [13] ALBERT, M.; HANSEN, J.; NAGEL, J.; SCHMIDT, M.; SPELLMANN, H. (2015): Assessing risks and uncertainties in forest dynamics under different management scenarios and climate change. Forest Ecosystems, 2, S. 1–21. [14] SPELLMANN, H.; ALBERT, M.; SCHMIDT, M.; SUTTMÖLLER, J.; OVERBECK, M. (2011): Waldbauliche Anpassungsstrategien für veränderte Klimaverhältnisse. AFZ-DerWald, 11, S. 19–23.

Abb. 2: Modellvorhersagen für Produktivität (SI-Modell) und Vorkommen der Fichte, links für das Klima der Gegenwart, rechts für das Klimaszenario RCP 2.6 im Periodenmittel 2061 bis 2080 (WorldClim MPI-ESM). Die Modelle sind rein klimatisch getrieben, Bodeneigenschaften können Produktivität und auch Vorkommen lokal stark modifizieren.

steigt – im Fall der Fichte insbesondere durch den Borkenkäfer.

Abb. 2 stellt die Modellvorhersagen für Produktivität und Vorkommen exemplarisch für die Fichte dar, links für das Klima der Gegenwart, rechts für das Klimaszenario RCP 2.6 im Periodenmittel 2061 bis 2080 (WorldClim MPI-ESM). Da das Zukunfts-Szenario keine starken Veränderungen des Niederschlags prognostiziert, sind Veränderungen in der Produktivität v.a. temperaturgetrieben. Mit Einbußen ist in den sehr warm-trockenen Regionen zu rechnen (Rheintal, Brandenburg). In bisher eher temperatur-limitierten mittleren und höheren Lagen der Mittelgebirge nimmt die Produktivität hingegen zu (z. B. Bayerischer Wald). Im Gegensatz zur Produktivität nimmt

die prognostizierte Vorkommenswahrscheinlichkeit der Fichte mit steigender Temperatur stetig ab, und es ist anzunehmen, dass sich der Umbau-Trend zu wärme- und dürrerotoleranteren Baumarten fortsetzt (s. a. Mette AFZ-DerWald 15/2017, S. 21). Bei der Interpretation der Modelle muss berücksichtigt werden, dass es sich um ein rein klimatisch bedingtes mittleres Leistungspotenzial handelt. Bodeneigenschaften können Produktivität (und auch Vorkommen) stark modifizieren.

Die gemeinsame Betrachtung von Standort-Leistungs- und Risiko-Modellen ist daher unabdingbar zur Beurteilung, ob eine Art auch in Zukunft anbaueeignet ist. Beide Ansätze werden an der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt und an der Bayerischen

Levent Burggraef,
Levent.Burggraef@NW-FVA.de,
ist wissenschaftlicher Mitarbeiter
der Abt. Waldwachstum an der
NW-FVA in Göttingen. **Susanne
Brandl** ist wissenschaftliche Mitar-
beiterin an der LWF in Freising in
der Abt. Boden.

