

# Wachstumspotenziale der Hauptbaumarten

LWF-Projekt zeigt flächendeckend für Bayern das potenzielle Höhenwachstum von Fichte, Kiefer und Buche

Wolfgang Falk, Susanne Brandl, Hans-Joachim Klemmt, Andreas Bender, Georg Stricker, Thomas Rötzer, Christian Kölling, Helmut Küchenhoff und Hans Pretzsch

**Anbauentscheidungen im Wald fußen in der Regel auf einer Abwägung von Risiko und Ertrag. Flächenhafte Darstellungen des standörtlichen Anbaurisikos liegen für Bayern seit 2013 im Standortinformationssystem BaSIS vor. Die LWF hat in einem neuen Projekt das Wachstumspotenzial in Bezug auf die Höhe für drei Hauptbaumarten abhängig vom Standort untersucht und in Kartenform dargestellt. Diese erstmals flächig vorliegende Information ermöglicht eine Betrachtung des aktuellen Zustands und der Veränderungen des Standort-Leistungsbezugs bei den im Klimawandel zu erwartenden erhöhten Temperaturen in Bayern. Die Ergebnisse sind relevant für waldbauliche Steuerungsmaßnahmen aufgrund sich ändernder Wuchsrelationen.**

Für die forstliche Praxis sind die Kenntnisse des Wachstumsverhaltens und des Wachstumspotenzials der Baumarten auf verschiedensten Standorten seit jeher von zentraler Bedeutung. Dieser Zusammenhang zwischen Standort und Leistung (Standort-Leistungsbezug) wird für die forstliche Praxis bisher meist in Form von Baumarteneignungstabellen oder in Form von Ertragstafeln, die auf Auswertungen ertragskundlicher Versuchsflächen zurückgehen, dargestellt. Klassische Ertragstafeln sind statisch, d. h. sie gehen von starren, sich nicht ändernden Standortbedingungen aus, und repräsentieren überdies meist nicht mehr zeitgemäße Behandlungsprogramme. Die bisherige Standortkartierung, die oftmals die Grundlage für die Bewertung des Standort-Leistungsbezugs war, basiert häufig auf einfachen verbalen Einschätzungen der standörtlichen Wuchsbedingungen (z. B. »nährstoffarm« oder »nährstoffreich« etc.).

Ziel des an der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) durchgeführten Projekts »Untersuchung des standortbezogenen Wachstumspotenzials der Hauptbaumarten in Bayern« war es, das Höhenwachstum abhängig von Umweltgrößen allgemeingültig zu beschreiben und flächendeckend für Bayern darzustellen. Dazu wurden neue, metrische Boden- und Klimadaten aus dem digitalen Standortinformationssystem BaSIS (Beck et al. 2013; Hera et al. 2012) und aus Messungen der Bodenzustandserhebung BZE II (Kölling et al. 2010) mit den Daten der aktuellen Bundeswaldinventur 2012 kombiniert (Klemmt 2013). Mit diesem Datensatz wurden verschiedene in der Literatur bekannte Ansätze zur Beschreibung des Standort-Leistungsbezugs (Nothdurft et al. 2012; Albert und Schmidt 2010) auf ihre Anwendungsmöglichkeit in Bayern überprüft und angepasst. Die methodische Gemeinsamkeit dieser Arbeiten besteht darin, aus Höhenmessungen von Großrauminventuren und das Wachstum erklärenden Umweltparametern ein statistisches Modell zu erstellen, das es ermöglicht, die an Inventurpunkten gefundenen Zusammenhänge auf die gesamte Landesfläche auszudehnen. Mit diesen Modellen wird der Einfluss des Klimas und des Bodens auf das Höhenwachstum der Bäume verallgemeinert und damit in die Fläche übertragbar. Die Höhenwuchsleistung wurde ausgewählt, da sie relativ unabhängig von der Dichte des Bestandes und damit der waldbaulichen Behandlung ist. Sie ist ein in der Forstwirtschaft gebräuchliches Maß zum Vergleich der standörtlichen Leistungskraft und gibt einen guten Überblick über aktuelle Wuchspotenziale in Bayern sowie deren mögliche Veränderung im Klimawandel. Die Gesamtwuchsleistung, die ebenfalls von Standortfaktoren abhängig ist, kann methodisch bedingt mit diesem Ansatz nicht untersucht werden.

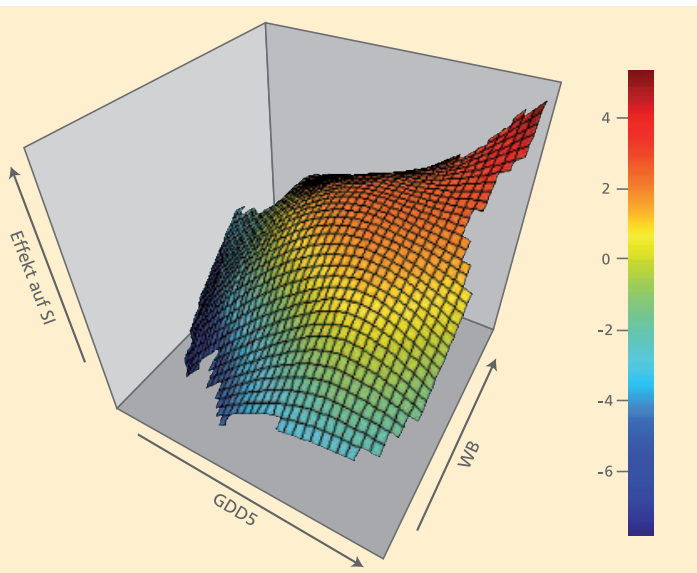


Abbildung 1: Wechselwirkung im Modell zwischen Temperatursumme über 5 °C und der Wasserbilanz in der Vegetationsperiode (Niederschlag minus Evapotranspiration nach Turc plus nutzbare Feldkapazität bis einen Meter Bodentiefe) und ihr Effekt auf das Wachstumspotenzial.

## Daten und Untersuchungsansatz

Grundlegende Daten dieser Untersuchung waren die aktuellen Daten der Bundeswaldinventur (BWI 2012), die mit dem gleichmäßig über ganz Deutschland bzw. Bayern verteilten 4 mal 4 Kilometer-Raster große Umweltgradienten des Vorkommens der jeweiligen Baumart abdecken. Die Raster- oder

auch Stichprobenpunkte werden als Trakte bezeichnet und unterteilt in bis zu vier Traktecken, die im Abstand von 150 m rechteckig um die Traktecke A im Südwesten eines Traktes angelegt sind. An jeder Traktecke werden mit dem Spiegelrelaskop (Winkelzählprobe mit Zählfaktor 4) Probebäume mit einem Brusthöhendurchmesser größer gleich 7 cm ausgewählt. Bei einer bestimmten Anzahl von Bäumen wird die Höhe gemessen: Im Hauptbestand sind dies zwei Bäume aus der häufigsten und ein Baum aus jeder weiteren Baumartengruppe (vgl. BMELV 2011). Die für das beschriebene Projekt relevanten Baumartengruppen sind Fichte, Buche und Kiefer.

Für die Auswertungen der Baumart Fichte wurden lediglich die bayerischen Daten verwendet, da diese Baumart ihre klimatische Verbreitungsgrenze innerhalb Bayerns in den sommerwarmen, niederschlagsarmen kollinen Wuchsorten hat. Für Kiefer und Buche wurden in einem zweistufigen Ansatz der gesamtdeutsche und der bayerische Datensatz gewählt. Da die Höhenmessbäume der BWI Grundlage der Auswertung waren, standen pro BWI-Traktecke bis zu maximal vier Bäume einer Baumart zur Verfügung. Es wurden nur Bäume der Kraft'schen Klasse 1 oder 2 ausgewählt, um Wuchsdepressionen aufgrund von Lichtmangel zumindest in der aktuellen Bestandssituation auszuschließen. Zusätzlich wurden Bäume mit begutachteten Schäden aussortiert.

Die in dieser Untersuchung betrachtete Höhe unterscheidet sich von bekannten Definitionen der Bonität zum Beispiel der Oberhöhenbonität der 100 wüchsigsten Bäume pro Hektar und wird daher als standörtliches Wachstumspotenzial (Synonym in Anlehnung an Nothdurft 2012 auch »Site-Index«) bezeichnet und schätzt die mittlere Höhe der am Inventurpunkt aufgenommenen Bäume der Kraft'schen Klasse 1 oder 2.

Die einbezogenen erklärenden Variablen sind metrische oder kategoriale Standortgrößen, die mittlere Verhältnisse von

Temperatur, Feuchte und Nährstoffen beschreiben: Klimatische Wasserbilanz, Temperatursumme in der Vegetationsperiode, Massenbilanzindex, Basensättigung des Oberbodens oder Tiefengradient der Basensättigung. Anders als bei einem prozessbasierten Modell werden keine funktionalen Zusammenhänge parametrisiert, sondern ein statistischer Zusammenhang mit einem flexiblen Werkzeug abgebildet. In diesem Fall werden generalisierte additive Modelle (GAM) verwendet, die eine abschnittsweise flexible Anpassung an die Daten ermöglichen (Wood 2006). Der Gesamtdatensatz wurde um die Trakte im Alpenraum (Wuchsgebiet Bayerische Alpen) reduziert, da diese Standorte mit geringen Temperaturen und teils schwieriger Ernährungssituation auf entsprechenden Standorten zu einem deutlich gehemmtem Wachstum führen (Klemmt und Ewald 2012; Ewald und Mellert 2013).

Die Modelle für die Baumarten Kiefer und Buche wurden, wie schon erwähnt, in einem zweistufigen Ansatz erstellt. Datengrundlage für die klimatische Bewertung des Wachstums war der bundesweite BWI-Datensatz im 4 mal 4 km-Raster. Mit der Modellvorhersage aus dem bundesweiten Modell wurde nochmals ein bayerisches Modell angepasst, das auch Boden- und Reliefdaten (Tiefengradient der Basensättigung, Bodenfeuchteindex) als erklärende Variablen enthält.

## Ergebnisse

Ein Modellvergleich hat gezeigt, dass die unterschiedlichen in der Literatur beschriebenen Ansätze für die Fichte zu sehr ähnlichen Ergebnisse führen. Es kann daher ein Modell mit nur 100-jährigen Fichten angepasst werden, da für diese Baumart die Datenlage in dem entsprechenden Altersrahmen ausreichend ist. Das Höhenwachstum der Fichte wird als Funktion von Dichte des Bestands, Basensättigung, Reliefparametern wie Massenbilanz- und Bodenfeuchteindex und der Kombination von Temperatursumme und Wasserbilanz beschrieben. Abbildung 1 veranschaulicht das Zusammenwirken von Temperatursumme (GDD5) und Wasserbilanz (WB) auf das potenzielle Höhenwachstum (SI): Je höher die Temperatur und gleichzeitig die Wasserversorgung, desto besser ist das Wachstum. Limitiert einer der Faktoren, so ist das Wachstum insgesamt begrenzt. Entsprechend kann eine Bayern-Karte des potenziellen Höhenwachstums gezeichnet werden (Abbildung 2). Die Begrenzung des Höhenwachstums in den warm-trockenen Gebieten ist genauso zu sehen wie die Limitierung durch geringe Temperaturen im Nordosten. Die wüchsigsten Regionen wie das Tertiärhügelland sind an den dunkelblauen Farben zu erkennen. Bei Verwendung eines Klimaszenarios, also der Annahme bestimmter Temperatur- und Niederschlagsentwicklungen in der Zukunft, verändert sich auch die Leistungsfähigkeit der Standorte (Abbildung 3). Die Veränderungen in dem dargestellten Gebiet nordöstlich von Deggendorf spiegeln die allgemeingültigen Effekte wider: In den Höhenlagen ist eine Verbesserung zu erwarten, in den tieferen Lagen kommt es den Berechnungen nach zu verringertem potenziellen Höhenwachstum. Die Gesamterklärungskraft des Modells ist begrenzt, da zahlreiche Aspekte wie beispielsweise die individuelle Entwicklungs-

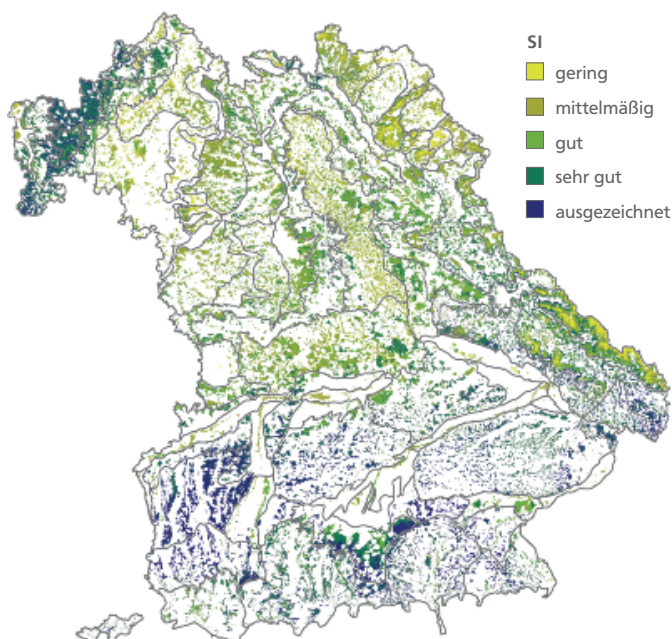


Abbildung 2: Das standörtliche Höhenwachstumspotenzial (SI) der Fichte für die Waldfläche Bayerns ohne Wuchsgebiet »Bayerische Alpen«

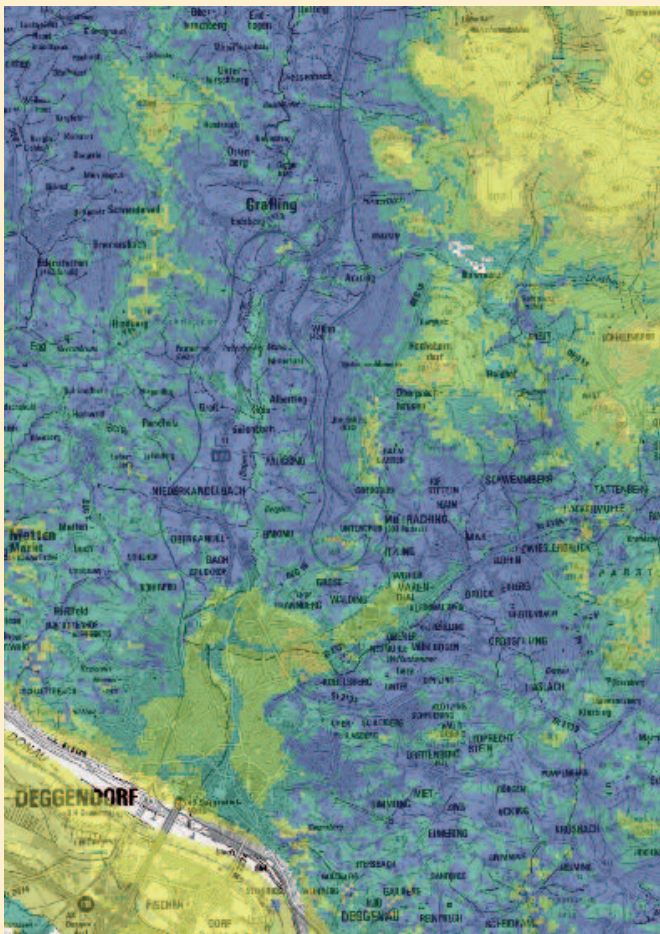
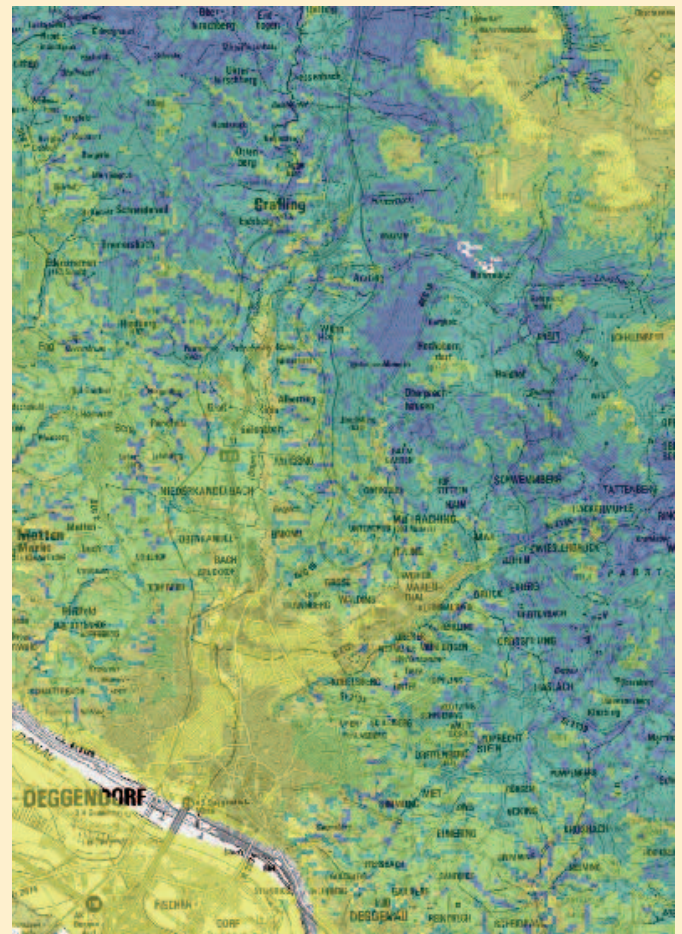


Abbildung 3: Höhenwachstumspotenzial (SI) der Fichte in der Gegenwart (li.) und Zukunft (WETTREG B1 2071–2100) (re.) eines Landschaftsausschnitts nordöstlich von Deggendorf



SI ■ gering ■ mittelmäßig ■ gut ■ sehr gut ■ ausgezeichnet

geschichte der Messbäume, genetische Unterschiede, Phosphorversorgung oder kleinstandörtliche Besonderheiten nicht berücksichtigt werden können. Die modellierten Zusammenhänge zwischen Standort und Leistung sind aber plausibel. Daher können die Ergebnisse, die flächenmäßig in Kartenform verfügbar sind, in forstliche Entscheidungen einfließen. Aufbauend auf den Ergebnissen des Projektes können waldbauliche Handlungsempfehlungen, die sich aufgrund sich ändernder Wuchsrelationen ergeben, in Anlehnung an Klemmt und Bachmann (2012) erarbeitet werden.

Für Kiefer und Buche wurde der bundesdeutsche Datensatz verwendet, da beide Baumarten keine klaren Wachstums-limitierungen durch Wärme und Trockenheit in Bayern zeigen. Allerdings liegen derzeit noch keine Bodenparameter für die BWI-Traktecken vor, sodass der Einfluss von Boden und Relief erst durch das zweistufige Verfahren abgeschätzt werden konnte. Dies unterstreicht die Bedeutung eines bundesweiten Umweltvektors an den BWI-Traktecken, wie er, von der LWF initiiert, derzeit im Rahmen eines bundesweiten, vom Waldklimafonds geförderten Projektes, erstellt wird (LWF 2015). Die Modellanpassungen sind nicht so gut wie im Fall der Fichte,

allgemeine Trends lassen sich aber erkennen. Wasserversorgung und Temperatur wirken sich bei beiden Baumarten ähnlich wie bei der Fichte aus: Beide Faktoren können limitierend wirken, höchstes Wachstum wird erreicht, wenn sowohl Temperatur als auch Wasserversorgung hoch sind. Das klimatisch mögliche Wachstum wird durch den Einfluss des Bodens modifiziert. So wirkt sich eine ausreichende, ausgewogene Basenausstattung positiv auf das Höhenwachstum aus.

### Ergebnisse in der Diskussion

Die im Projekt erarbeiteten Karten zeigen erstmals flächendeckend für Bayern (ohne Wuchsgebiet 15 »Bayerische Alpen«) die standörtlichen Wuchspotenziale für Fichte, Kiefer und Buche. Die modellhaft bestimmten Potenziale spiegeln die großräumigen Trends von Klima und Nährstoffausstattung wider. Durch die Verwendung von abgeleiteten Größen aus einem Geländemodell – zum Beispiel bei der Karte für die Fichte – ist zusätzlich eine Abschätzung der Tiefgründigkeit und Bodenfeuchte eingearbeitet. In der klimatischen Wasserbilanz

(Fichte) kommt die Abschätzung der nutzbaren Feldkapazität aus dem Standortinformationssystem BaSIS mit in die Betrachtung. Insgesamt sollte beachtet werden, dass der Ansatz eine Grenze bei der räumlichen Auflösung hat, die in etwa bei einem Maßstab von 1:25.000 liegt, also nicht mit der hohen räumlichen Auflösung einer Standortkarte vergleichbar ist. Der entscheidende Vorteil ist die Möglichkeit, Veränderungen der Höhenwuchsleistung mit der Verwendung anderer Klimaszenarien analysieren zu können.

Der Ansatz hat methodisch bedingte Grenzen. Zum einen ist der erklärte Anteil der Wuchsleistung begrenzt, es gibt noch zahlreiche Faktoren, die nicht berücksichtigt werden können, da die Datengrundlage dafür fehlt (genetische Effekte, individuelle Bestandsgeschichte, nicht betrachtete Nährstoffe wie Phosphor, Unsicherheit bei der Altersabschätzung der Bäume etc.). Geschätzt wird also ein Potenzial, das sich aus den im Modell erfassten Umweltvariablen ergibt. Aufgrund der nicht berücksichtigten Prädiktoren wird das Wachstum im Einzelfall davon abweichen. Zum anderen ist die Höhenwuchsleistung nur ein Aspekt des Wachstumspotenzials. Die mögliche Bestockungsdichte und damit die gesamte Biomasseproduktion, die ebenfalls vom Standort abhängt, ist derzeit noch nicht abgebildet und kann mit dem zugrundeliegenden Datenmaterial der BWI nur bedingt hergeleitet werden. Dadurch, dass der Mittelwert geschätzt wird und die Erklärungskraft der Modelle begrenzt ist, entsprechen die Klassengrenzen nicht der Bandbreite an Höhen, die in der Wirklichkeit gemessen werden. Entscheidend ist daher die relative Abstufung der Wuchspotenziale zueinander. Eine Einteilung des Wachstumspotenzials in Klassen ermöglicht einen Vergleich verschiedener Standorte, d. h. es können im bayerischen Vergleich Gebiete mit »größtem« oder »geringstem« Potenzial erkannt werden. Ebenso ist die Veränderung der Potenziale in der Zukunft beschrieben.

Es konnten aus den BWI-Daten, insbesondere für die Fichte, plausible Modelle erstellt werden (Brandl et al. 2014). Modelle für Kiefer und Buche sind möglich, sie sind allerdings mit größeren Unsicherheiten behaftet und sollten entsprechend vorsichtig interpretiert werden. Die Projektergebnisse sind ein weiteres Beispiel, wie als Ergänzung zu Erkenntnissen aus langjährigen ertragskundlichen Versuchsflächen großräumige Inventurdaten für allgemeine Beschreibungen des Wachstumspotenzials genutzt und dabei große Umweltgradienten des Anbaus einer Baumart abgedeckt werden können. Viele andere ertragskundliche Fragestellungen wie beispielsweise Mischungseffekte können nur auf Basis der als Experimente konzipierten Versuchsflächen bearbeitet werden. Auf der Haben-seite bleibt aber festzuhalten: Mit Hilfe der erstellten Karten in Kombination mit Risikoeinschätzungen z. B. aus BaSIS, kann eine waldbauliche Entscheidung im Spannungsfeld von Risiko und Ertrag vor dem Hintergrund sich ändernder klimatischer Bedingungen getroffen werden (vgl. Kölling et al. 2013).

## Literatur

- 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
- Beck, J.; Kölling, C. (2013): Das bayerische Standortinformationssystem. *LWF aktuell* 194, S. 4–7
- BMELV – Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2011): Aufnahmeanweisung für die dritte Bundeswaldinventur (BWI<sup>3</sup>). Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (Hrsg.). 2. geänderte Auflage, Mai 2011, 107 S.
- 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 (11), S. 2626–2646
- Ewald, J.; Mellert, K. H. (2013): Wachstum der Fichte im Bayerischen Alpenraum. *LWF aktuell* 94, S. 39–41
- Hera, U.; Rötzer, T.; Zimmermann, L.; Schulz, C.; Maier, H.; Weber, H.; Kölling, C. (2012): Klima en détail. *LWF aktuell* 86, S. 34–37
- Klemmt, H.-J.; Bachmann, M. (2012): Numerische Bewertung der Entnahmenotwendigkeit bei Pflegeeingriffen. *LWF aktuell* 86, S. 11–13
- Klemmt, H.-J.; Ewald, J. (2012): Wachstumskundliche Unterschiede der Waldtypen in den Bayerischen Alpen. *LWF aktuell* 87, S. 18–19
- Klemmt, H.-J. (2013): Die Bundeswaldinventur - verlässliche Daten zur nachhaltigen Bewirtschaftung bayerischer Wälder. *LWF Wissen* 72, S. 100–103
- Kölling, C.; Blum, U.; Dietz, E.; Falk, W.; Schubert, A.; Stetter, U. (2010): Daten für den Bodenschutz. *LWF aktuell* 78, S. 4–6
- Kölling, C.; Binder, F.; Falk, W. (2013): Risiko und Ertrag in ungewisser Zukunft: Der Klimawandel fordert die Generationengerechtigkeit heraus. *LWF Wissen* 72, S. 54–58
- LWF (2015): <http://www.lwf.bayern.de/boden-klima/069651/index.php>
- Nothdurft, A.; Wolf, T.; Ringeler, A.; Böhner, J.; Saborowski, J. (2012): Spatio-temporal prediction of site index based on forest inventories and climate change scenarios. *Forest Ecology and Management* 279, S. 97–111
- Wood, S.N. (2006): Generalized additive models – an introduction with R. Chapman & Hall, Boca Raton, FL, US. 392 S.

---

Wolfgang Falk arbeitet an der LWF in der Abteilung Boden und Klima und leitete das vom Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten finanzierte Projekt »Untersuchung des standortbezogenen Wachstumspotenzials der Hauptbaumarten in Bayern«, das von Susanne Brandl bearbeitet wurde. Dr. Christian Kölling leitet die Abteilung. Dr. Hans-Joachim Klemmt ist Landesinventurleiter der BWI und an der LWF in der Abteilung Waldbau und Bergwald beschäftigt. Georg Stricker ist Masterand, Andreas Bender Doktorand bei Prof. Helmut Küchenhoff am Institut für Statistik der LMU. PD Dr. Thomas Rötzer ist Assistent am Lehrstuhl für Waldwachstumskunde, der von Prof. Hans Pretzsch an der TUM geleitet wird.

---

Korrespondierender Autor: Wolfgang Falk,  
[Wolfgang.Falk@lwf.bayern.de](mailto:Wolfgang.Falk@lwf.bayern.de)