

# Anbauempfehlungen – von der Forschung in die Fläche

Eine Herausforderung für die Forstwissenschaft ist es, den Waldbesitzern Handlungsempfehlungen für die Waldbewirtschaftung im Klimawandel zu geben. Doch aus der Vielzahl existierender Anbauten, Anbauempfehlungen und möglicher Baumarten scheint es nicht immer einfach, eine geeignete Auswahl zu treffen. Wir stellen vier Forschungsansätze vor, die zu Anbauempfehlungen führen: Artverbreitungsmodelle, Klima-Analogien, Anbauversuche und Herkunftsversuche.



Foto: Krause

Abb. 1: Luftaufnahme des Schwarzkiefern-Herkunftsversuches Vilseck, Alter 9

Eric Andreas Thurm, Tobias Mette, Gerhard Huber, Enno Uhl, Wolfgang Falk

**D**er Klimawandel stellt heute alle Waldbesitzer vor die Herausforderung, sich über die künftigen Handlungen im und die Erwartung an den Wald Gedanken zu machen. Die Temperatur wird je nach Emissionsverhalten in diesem Jahrhundert in Mitteleuropa um 1 bis 5 °C steigen (Referenzzeitraum 1986 bis 2005 [9]). In bestimmten Regionen Mitteleuropas hat das zur Folge, dass die Wälder an diese Veränderung angepasst werden sollten oder die ökonomische Bewertung dieser Wälder mit höheren Risiken erfolgen muss [6].

Die Forstwissenschaft untersucht intensiv, wie sich Temperaturerhöhungen auf den Wald auswirken und welche Maßnahmen der Risikosteigerung entgegenwirken (bspw. Übergangsstrategie für Fichte [3]). Es zeigt sich, dass zur Risikominimierung

- a) ein Absenken der Bestandesdichte sinnvoll sein kann (für Douglasie [18, 1], für Fichte [12, 21]),
- b) die Umtriebszeit verkürzt werden kann (Fichte [20]) oder
- c) die Mischung von Baumarten zu einer höheren Klimastabilität führen kann

(Tanne gemischt [13]; Douglasie-Buche [24]; Fichte-Buche, [17, 19].

- d) Auch die Wahl des passenden genetischen Materials kann zu einer erhöhten Trockenheitsresistenz der Bäume beitragen (Douglasie [5], Kiefer [23]).

## Schneller Überblick

- Artverbreitungsmodelle können schnelle und kostengünstige Aussagen über die Ansprüche von Arten machen, um zeitnah auf den Klimawandel zu reagieren
- Analogklimate sind in der Lage, auf diese Informationen aufzubauen und reale Anbauregionen zu ermitteln, welche als Anschauungsobjekt und Saatgut-Lieferanten dienen können
- Die Komplexität des Waldstandortes erfordert es dennoch, Anbau- und Herkunftsversuch anzulegen
- Die Integration aller vier Ansätze kann zu einer umfassenderen Baumartenempfehlung beitragen

- e) Für einige Gebiete Deutschlands wird der Klimawandel aber auch eine Veränderung der Baumartenzusammensetzung bedeuten. In diesen Regionen wird der Anbau von trockenoleranten, seltenen heimischen und nicht-heimischen Baumarten eine wichtige Rolle spielen. Aus verschiedenen Datengrundlagen können Informationen über ihre Anbaueignung abgeleitet werden.

Vier statistische Forschungsansätze lassen sich dabei differenzieren: Artverbreitungsmodelle, Klima-Analogien, Anbauversuche oder Herkunftsversuche. Neben den Eingangsdaten unterscheiden sich die vier Ansätze auch in den Kenngrößen, mit denen die Anbaueignung bewertet wird und den Zeitskalen, innerhalb derer die Aussagen getroffen werden.

## Anbauversuche

Anbauversuche wurden schon seit dem Ende des 19. Jahrhunderts für verschiedene Baumarten in Deutschland durchgeführt. Im Mittelpunkt standen hier vor allem Baumarten, die nach Deutschland eingeführt wurden und über die es kaum Erkenntnisse über ihre Anbaueignung gab, z. B. Douglasie (19. Jhd.). Anbauversuche lieferten schnell einen ersten Eindruck über das Anbaupotenzial von Arten. Sie werden dabei möglichst über ein großes Standortsspektrum verteilt, um die Anbaugrenzen einer Art sichtbar zu machen [16]. Gerade in Bayern fehlen aber für die meisten fremdländischen Baumarten, anders als in andern Bundesländern, die systematischen Anbauversuche, v. a. aus der Zeit 1880 bis 1910.

In den früheren Zeiten wusste man wenig über genetisch bedingte Herkunftsunterschiede bei den Baumarten. Teil-

weise scheiterten Anbauversuche durch die Verwendung ungeeigneter Herkünfte und führten zu einer ungerechtfertigten negativen Beurteilung einer Baumart. Mit dem wissenschaftlichen Fortschritt in der Forstgenetik versucht man heute, die Informationen über die Saatherkunft mit einzubeziehen.

Mit dem Klimawandel hat sich auch der Blick auf die untersuchten Arten etwas verschoben. Waren es früher wuchsstarke Arten aus Gebieten mit größtmöglicher Klimaähnlichkeit zwischen Herkunfts- und Anbaustandort [14], die getestet wurden, treten aktuell vermehrt Arten aus wärmeren Regionen in den Forschungsschwerpunkt, z. B. Zeder, Esskastanie oder Orientbuche. Dabei wird untersucht, ob diese Arten auch unter unseren standörtlichen Bedingungen (Spätfrost, Dauer der Vegetationszeit) zurechtkommen. Diese Baumarten sollten dann Trockenphasen besser ertragen.

## Herkunfts- oder Provenienzversuche

### Klassische Herkunftversuche

Mit dem Wissen über die Ausbildung von verschiedenen Populationen innerhalb einer Art wurden neben den Anbauversuchen vermehrt Herkunftversuche (Synonym: Provenienzversuche) angelegt.

Dabei unterscheiden wir hier klassische Herkunftversuche, in der eine Vielzahl von Herkünften über etwa 30 Jahre auf kleineren Parzellen untersucht werden und waldwachstumkundliche Herkunftversuche, in denen verschiedene Eigenschaften der Provenienzen und eine Vielzahl von Standorteinflüssen über die gesamte Umtriebszeit untersucht und verglichen werden. Ziel der Herkunftversuche ist es, die Herkunftseignung zu testen und, wenn möglich, auf Anbauregionen zu übertragen.

Herkunftversuche werden heute eingesetzt, um die Anbaueignung von Populationen aus dem Verbreitungsgebiet unter realen Wuchsbedingungen zu überprüfen [7, 10]. Waren es früher vor allem ökonomische Überlegungen, dient die Herkunftsforschung heute verstärkt der Überprüfung der zukünftigen Eignung im Klimawandel [2]. Je nach Baumart und Untersuchungsregion werden in neueren Versuchen bis zu 40 Herkünfte pro Standort untersucht (Abb. 1). Für jede Provenienz gibt es min-

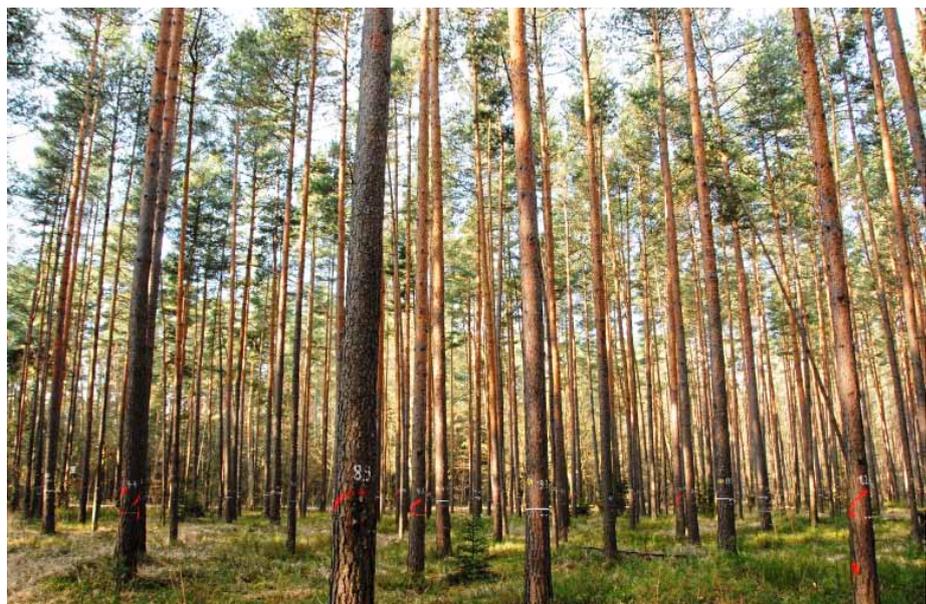


Foto: L. Steinacker

Abb. 2: Waldwachstumkundlicher Herkunftsversuch der Waldkiefer bei Nürnberg, Alter 67 Jahre

destens drei Wiederholungen mit jeweils 49 (7 x 7) oder 50 (5 x 10) Bäumen, sodass die Stichprobe je Herkunft aus bis zu 150 Bäumen besteht.

Neben der Mortalität werden für jeden Einzelbaum die Höhen- und Durchmesserentwicklung zur Ermittlung des Wuchspotenzials, aber auch phänotypische Eigenschaften wie z. B. das Austriebsverhalten und Qualitätseigenschaften erfasst. Die Frost- und Trockenresistenz der Herkünfte sind von besonderem Interesse, da sie großen Einfluss auf das Überleben und die Wüchsigkeit haben [8] und im Klimawandel als Schlüsselfaktoren gelten. Aus den Einzelbaumdaten werden Populations-Kenngrößen abgeleitet.

Die genetische Charakterisierung der Populationen mittels molekulargenetischer Methoden gehört heute zum Standard von Herkunftversuchen. Die ermittelten Diversitätsmerkmale oder die genetischen Abstände zwischen Populationen dienen dazu, die Anpassungsfähigkeit der verwendeten Herkünfte einzuschätzen.

Eine neue Form der Herkunftversuche sind die so genannten Transferversuche [11]. Hierzu werden Versuchsflächen in Zielregionen angelegt, die klimatische Bedingungen aufweisen, wie sie zukünftig auf heimischen Standorten erwartet werden (z. B. regelmäßige Trockenperioden im Sommer, höhere Jahresdurchschnittstemperatur + 2 bis + 4 °C). Getestet werden heimische Herkünfte im Vergleich zu Herkünften der Zielregion.

### Waldwachstumkundliche Herkunftversuche

Aufgrund der Erkenntnisse zum Wuchsverhalten und der Anbaueignung aus den klassischen Herkunftversuchen strebt die Ertragskunde an, das Wissen über die langfristige, standortsspezifische Entwicklung prinzipiell geeigneter Herkünfte zu vertiefen. Im Vordergrund steht dabei die Analyse der langfristigen Leistungsfähigkeit, Qualitätsentwicklung und Vitalität der untersuchten Herkünfte (Abb. 2). Dazu werden Versuchsanlagen mit entsprechenden Herkünften konzipiert und mehrere Jahrzehnte beobachtet. Die Entwicklung der einzelbaum- und bestandsbezogenen Dimensionsgrößen (z. B. Durchmesser, Höhe, Vorrat) erfordert eine kontinuierliche Erfassung der Flächen. Häufig beinhalten die Versuchskonzepte definierte Behandlungsregeln für einzelne Versuchspartellen, um die Steuerungsmöglichkeit des Wuchsverhaltens auszuloten und daraus Erkenntnisse für mögliche Pflegekonzepte abzuleiten. Von großer Bedeutung für waldwachstumkundliche Herkunftversuche ist die Wiederholung identischer Versuchsanlagen auf unterschiedlichen Standortseinheiten. Nur so kann das langfristige, standortsbezogene Leistungs- und Qualitätsspektrum verschiedener Herkünfte ermittelt werden. Häufig werden deshalb solche Versuchsanlagen länderübergreifend konzipiert.

Um das Wuchsverhalten nicht-heimischer Baumarten mit heimischen Baumarten vergleichen zu können, wer-

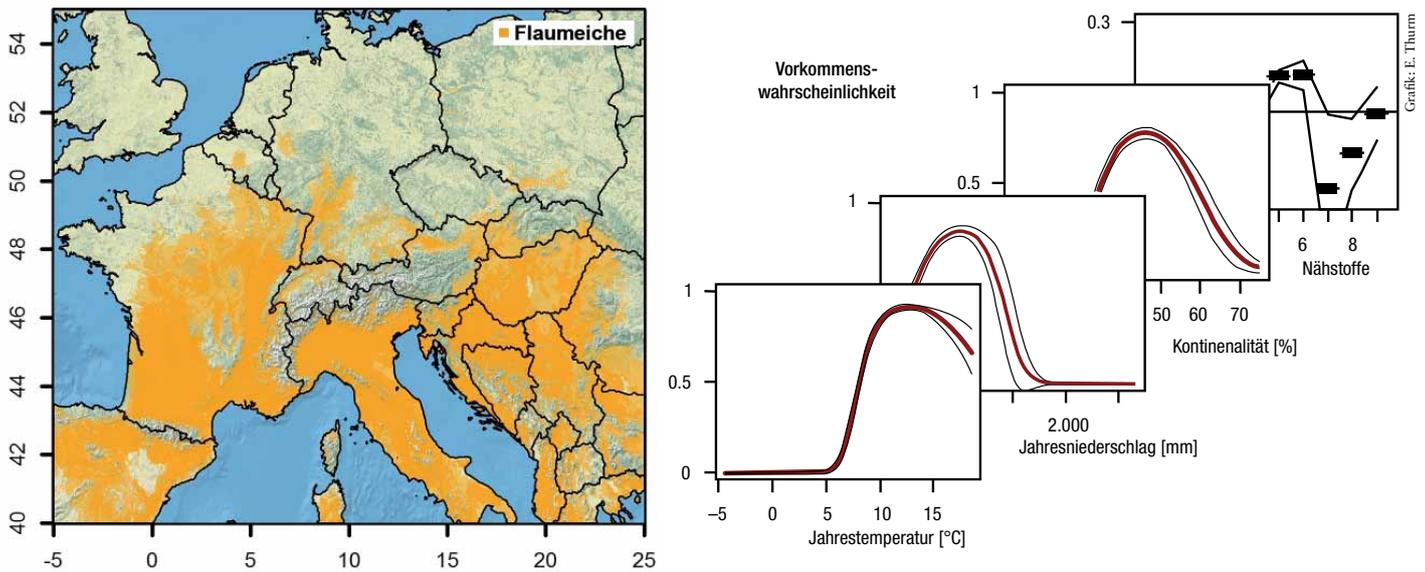


Abb. 3: Vorkommenswahrscheinlichkeit von Flaumeiche (*Quercus pubescens*), basierend auf einem Artverbreitungsmodell. In das Modell fließen Jahrestemperatur, jährlicher Niederschlag, Kontinentalität und Nährstoffgehalt des Bodens mit ein. Die Kurven zeigen, wie wahrscheinlich eine Art bei dem jeweiligen Umweltparameter ist (1 = Art kommt vor, 0 = kommt nicht vor).

den Versuchspartellen mit heimischen Baumarten in waldwachstumskundliche Herkunftsversuche integriert.

Die Größe der Anlage und die Betreuung verursachen einen sehr hohen Planungs- und Kostenaufwand bei den langfristigen Versuchsflächen. Aufgrund der Beobachtungsdauer der Versuchsanlagen können die Provenienzversuche auch standörtlichen Veränderungen unterliegen, beispielsweise durch Klimawandel oder Stoffeinträge. Diese standörtlichen Veränderungen sind nur schwer zu integrieren in die Auswertungen der Provenienzversuche.

### Artverbreitungsmodelle

Neben den Feldversuchen gibt es auch Methoden, die bestehende Inventurdaten auswerten und somit sehr schnell Antworten auf die drängenden Fragen zur Anpassung der Wälder an den Klimawandel geben können. Eine Methode ist die der Artverbreitungsmodelle, welche durch sich stetig verbessernde Leistungsfähigkeit von Computern in den letzten Jahren einen deutlichen Aufschwung erlebt haben. Unter dem Oberbegriff Artverbreitungsmodelle, (species distribution models, SDM), sind verschiedene Modelle zusammengefasst. Sie sind im wissenschaftlichen Bereich der Ökologie nicht mehr wegzudenken und dennoch haben ihre Ergebnisse zurzeit verhältnismäßig wenig Eingang in die praktische Nutzung erhalten (z. B. Baumarten-Risi-

kobewertung im Bayerischen Standortinformationssystem BaSIS [22]).

Die Grundidee der Artverbreitungsmodelle ist es, das Vorkommen von Arten mit Umweltparametern zu beschreiben. Durch die Verknüpfung von Vorkommen mit den dazugehörigen Umweltinformationen wird es möglich, die Vorkommenswahrscheinlichkeit einer Art in Abhängigkeit von den herrschenden Wuchsverhältnissen vorherzusagen (Abb. 3). Die Ableitung des Zusammenhangs von Vorkommen und Standort kann methodisch auf unterschiedlichste Weise berechnet werden (RandomForest, GAM, GLM, Neuronale Netze etc.). Gemeinsam haben diese Methoden jedoch, dass man Informationen über die ökologischen Ansprüche einer Art erhält. An dieser Stelle seien auch noch die Wachstums- und Überlebensmodelle erwähnt. Sie liefern ebenfalls diese Informationen, jedoch mit den Eingangsgrößen Wachstum und Mortalität.

Basis für die erfolgreiche Modellierung sind Aufnahmedaten und die Auswahl physiologisch relevanter Umweltvariablen. Ein großer Vorteil im Bereich der Modellierung von Baumartenverbreitungen sind die heutzutage digital verfügbaren hochwertigen Forstinventuren. Sie decken zum Teil sehr große ökologische Gradienten des Artvorkommens ab. Die gute Datengrundlage und die methodisch recht weit entwickelten Modelle machen es möglich, innerhalb

kürzester Zeit Informationen über die Baumartenansprüche zu ermitteln und Vorkommenswahrscheinlichkeiten in bestimmten Regionen für heute und morgen vorherzusagen („Soforthilfe“).

Ziel ist es, möglichst unvoreingenommen in den Daten zu „schürfen“ und nach relevanten Informationen über die Artansprüche zu suchen (Data mining). Man leitet vereinfachte Regeln aus der Flut von Daten ab. Hierin liegt aber auch eine Schwäche des Ansatzes. Die Komplexität des Systems Wald hängt selbstverständlich von einer Vielzahl an Einflussfaktoren ab. Es können ausgleichende (kompensatorische) Effekte auftreten – zum Beispiel gleichen Standorte mit gutem Grundwasseranschluss geringe Sommerniederschläge aus. Solche Wechselwirkungen müssen in den Daten abgebildet und umständlich in die Modelle integriert werden. Des Weiteren sind die Wälder in Mitteleuropa stark vom Menschen geprägt. So wurden und werden einige Arten an die Grenzen bzw. über die Grenzen hinaus ausgebracht, währenddessen andere Arten zurückgedrängt worden sind. Das beeinflusst natürlich auch ihre klimatische Amplitude in Modellen. Biotische Faktoren (Konkurrenz, Fraßfeinde) wirken ebenfalls auf die räumliche Baumartenverteilung und können derzeit nur schwerlich mit den SDMs von klimatischen Effekten unterschieden werden (Versuchsansatz bei [4]).

## Analogklimata

Eine sehr greifbare Methode der Artempfehlung ist natürlich, sich die Baumartenzusammensetzung und deren Wachstum in einem Gebiet anzuschauen, welches die gleichen Bedingungen aufweist, wie sie das Interessengebiet inzwischen hat oder künftig haben könnte (Klimawandel). Bei den Analogklimaten steht daher nicht die Art, sondern das Klima im Zentrum der Betrachtung. Die primäre Frage lautet, welche Regionen Europas (oder der Welt) besitzen ein Klima, welches vergleichbar ist mit dem aktuellen (oder zukünftigen) Klima unseres Interessengebietes? Die Komplexität eines Standortes macht dabei schon deutlich, dass eine Suche nur über eine Reduzierung auf wenige ausschlaggebende Umweltparameter funktioniert.

Bei der Vorgehensweise zur Bestimmung von Analogklimaten (innerhalb Europas) stützt man sich zunächst auf die Temperatur und Niederschläge in den Sommermonaten Juni bis August sowie die Minimumtemperatur im Januar. Ursache dafür ist, dass in Mitteleuropa Dürre- sowie Frostgefährdung die entscheidenden Anbaufaktoren sind. Erst in einem zweiten Schritt werden Geologie und regionale klimatische Besonderheiten in die Betrachtung miteinbezogen.

Daten aus europäischen Waldinventuren machen es möglich, sich die Waldzusammensetzung in diesen Analogregionen anzusehen (vgl. Abb. 4). Doch steckt in diesen Regionen noch wesentlich mehr Information, die sich weniger statistisch, als vielmehr über Recherche vor Ort erschließt – z. B. waldbaulicher Art (Pflege, Umtriebszeit, Verjüngung, Provenienz), ertragskundlicher Art (Zuwachs, Sortimente), marktstruktureller Art (Verwendung, Sägewirtschaft), waldschutztechnischer Art (Schädlinge inkl. Wildbestand) und nicht zuletzt kulturell-traditioneller Art (Waldhistorie, Biodiversität, Nichtholz-Produkte).

Analogregionen machen Optionen für den Waldbau der Zukunft heute schon erleb- und erlernbar und nehmen den Waldbesitzern Unsicherheiten gegenüber notwendigen Anpassungen.

## Synergien der Ansätze

Grundsätzlich kann man die vier Ansätze in die konfirmatorische Analyse und explorative Analyse unterteilen. Konfirmatorischer Natur sind die Anbau- und die Herkunftsversuche, mit denen eine Hypothese getestet wird, z. B. Baumart A wächst besser als Baumart B. Dagegen betreibt man bei den Ansätzen der Artverbreitungsmodelle und der Analogklimata

im weitesten Sinne „Data mining“ und versucht, Strukturen zu finden und daraus neue Regeln abzuleiten (explorativ).

Auf die Forstwissenschaft bezogen, unterscheiden sich die Analysen vor allem dadurch, dass Data-mining-Verfahren im Vergleich zu den Feldversuchen relativ schnell und kostengünstig Informationen über die Eignung einer Baumart bereitstellen können. Dennoch besitzen diese Verfahren auch die schon erwähnten Schwächen.

Es ist daher sinnvoll, die Verfahren in einer zeitlichen Abfolge zu kombinieren. Artverbreitungsmodelle sind der erste Schritt, um zu einer fundierten Baumartempfehlung zu gelangen. Durch die Modellierung der Vorkommenswahrscheinlichkeit liefern sie das potenzielle Artspektrum, das an einem Waldstandort möglich ist. Sie geben Information, wie weit auf einem konkreten Standort eine Baumart von ihren Verbreitungsgrenzen entfernt ist (Buche [15]). Dadurch können bestehende Feldversuche besser interpretiert werden. Gleichzeitig geben sie Hinweise, wie groß das Standortsspektrum im Falle von Versuchsneuanlagen gewählt werden sollte. Des Weiteren geben die Artverbreitungsmodelle Informationen über die generellen standörtlichen Ansprüche einer Art. Dieses Wissen kann

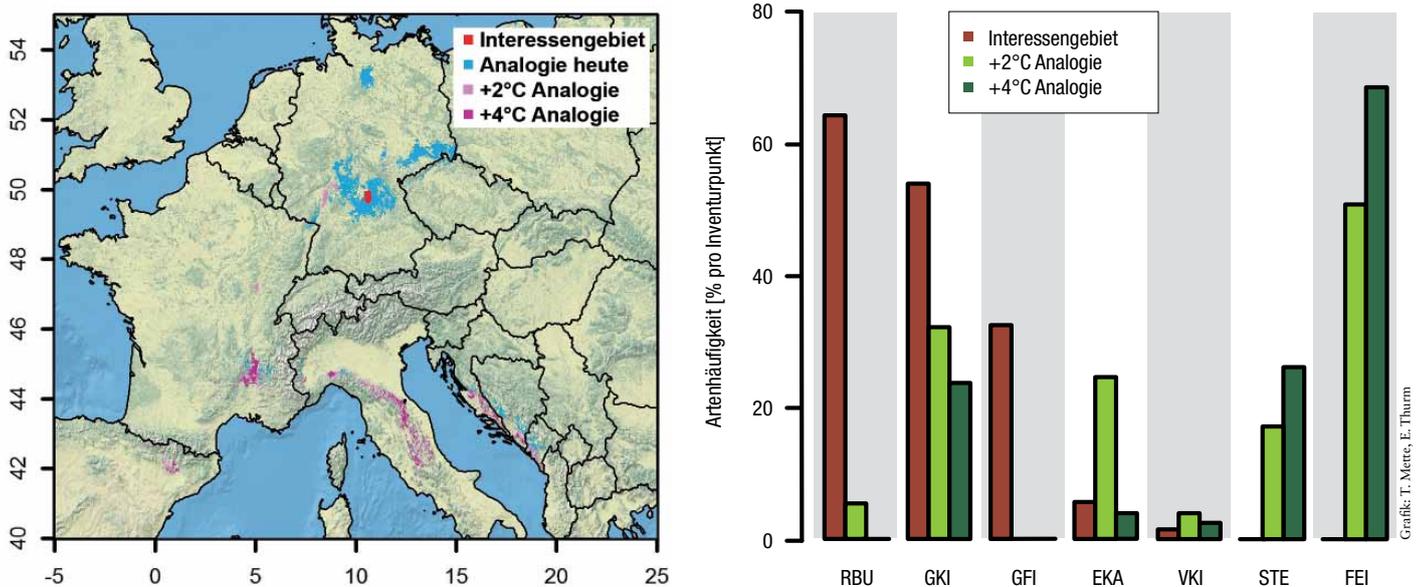


Abb. 4: Karte des Analog-Klimas (links) für das Interessengebiet- Steigerwald (rot), heutige Analoggebiete (hellblau), zukünftige Analoggebiete bei einem Temperaturanstieg von 2 °C (rosa) und 4 °C (lila); Arthäufigkeiten (rechts) in dem Interessengebiet im Vergleich zu einem Analoggebiet der Zukunft, dem Rhonetal bei Valence (Frankreich). Dort dominieren heute schon Flaumeichen (FEI). Waldkiefern (GKI) sind stark vertreten, ebenso wie Esskastanien (EKA). Sie nehmen aber mit zunehmender Temperatur ab. Die Häufigkeit von Steineiche (STE) nimmt mit zunehmender Temperatur eher zu. Buchen (RBU) spielen eine untergeordnete oder gar keine Rolle mehr. Die Fichte (GFI) ist in diesem Analoggebiet gar nicht vertreten. Die Vogelkirsche (VKI) hat im Vergleich zum Interessengebiet eine größere Bedeutung.

Kriterium	Artverbreitungsmodelle	Klima-Analogien	Anbauversuche	Herkunftsversuche
Fragestellung	Ökologische Ansprüche einer Art, räumliche und zeitliche Vorhersage der Verteilung	Artzusammensetzung, Herkunft, Waldbau, Wirtschaftlichkeit	Artempfehlungen (Überleben und Leistungsvermögen, Resistenzen)	Herkunftseignung, (Überleben und Leistungsvermögen, Resistenzen)
Eingangsgrößen	Forstinventuren, Klima- & Bodenparameter, Klimaszenarien	Forstinventuren, Klima- & Bodenparameter, Klimaszenarien	Versuchsflächendaten	Versuchsflächendaten, Herkunftsinformationen
Zielvariable	Vorkommenswahrscheinlichkeit einer Art	Regionen, Klimaähnlichkeitsindizes	Überlebensraten, Wachstum, phänotypische Eigenschaften, Resistenzen	Überlebensraten, Wachstum, phänotypische Eigenschaften, Resistenzen
Zeitlicher Horizont der Analyse	kurzfristig (1 bis 3 J.)	kurzfristig (1 bis 3 J.)	mittel- bis langfristig (5 bis 80 J.)	mittel- bis langfristig (5 bis 80 J.)
Räumlicher Horizont der Ergebnisse	kontinental	regional	lokal – regional	lokal – regional
Stärken	Ökologische Ansprüche einer Art; räumliche und zeitliche Vorhersage der Verteilung	weiterführende, praxisrelevante Informationen zu einer Art	einfacher Versuchsaufbau; konkrete Standortsaussagen	Aussagen über einen konkreten Standort möglich; größte Informationsqualität über Provenienz und Leistung sowie Anbaueignung
Grenzen	Abbildung von unterschiedlichen Ansprüchen innerhalb einer Art (Provenienzen); anthropogener und biotischer Einfluss schwer von klimatischem unterscheidbar	ökologische Besonderheiten der Arten	Aussagekraft wird vermindert durch die Vernachlässigung der Provenienz; Standortveränderung durch Klimawandel	sehr planungsintensiv, hoher Flächenbedarf und teuer; erste gesicherte Aussage nach 10 Jahren bis mehreren Jahrzehnten; Standortveränderung durch Klimawandel

Tab. 1: Übersicht über die vier Forschungsansätze

dann in die Suchraster der Analogklimate einfließen. Nachgeschaltet können dann die Analogklimate Informationen über mögliche, vergleichbare Anbaubereiche liefern. Aus den Gebieten kann praktisches Wissen übermittelt werden. Für Anbauversuche kann dann aus diesen Regionen

passendes Saatgut beschafft und waldbauliche Behandlungskonzepte können in die Überlegungen miteinbezogen werden.

Die Erkenntnisse aus Artverbreitungsmodellen, Analogklimate und Anbauversuchen erhöhen schließlich die Effizienz von Herkunftsversuchen durch

eine präzise Vorauswahl der Baumarten und Herkunftsgebiete. Mithilfe der Herkunftsversuche wird dann die langfristige, standortsbezogene Wuchsdynamik einer Baumart ermittelt. Die Herkunftsversuche legen letztlich die Wichtigkeit der Provenienz dar. Bei Berücksichtigung dieses Schemas können Rückschläge, wie sie in der Vergangenheit teils aufgetreten sind, vermieden werden.

Um auf die Rasanz des Klimawandels zu reagieren, sind Analysen durch Artverbreitungsmodelle und Analogklimate dringend erforderlich. Dennoch sind Feldversuche unverzichtbar, um die vielfältigen Einflüsse auf Baumpopulationen unter realen Bedingungen zu testen. Die Kombination der verschiedenen Methoden bildet eine gute Voraussetzung, um Erfolgversprechende Anbauempfehlungen zu geben. Daher sollten zukünftige Forschungsprojekte – und damit die Beratung der Forstleute und Waldbesitzer – alle vier Ansätze stärker integrieren.

Literaturhinweise:

[1] AUSSENAC, G.; GRANIER, A. (1988): Effects of thinning on water stress and growth in Douglas-fir. *Can. J. For. Res.*, 18, (1), S. 100–105. online: <http://www.nrcresearchpress.com/doi/pdf/10.1139/x88-015>.  
 [2] BAIER, R.; FUSSI, B.; CREMER, E.; SCHIRMER, R.; HUBER, G. (2017): Zehn Jahre praxisnahe Forschung am bayerischen ASP. *AFZ-DerWald*, Nr. 10, S. 39–43.  
 [3] BIERMAYER, G.; TRETTER, S. (2016): Wie viel Fichte geht noch im Klimawandel? Vorschlag für eine Übergangstrategie für Hochleistungsstandorte. *LWF aktuell*, Nr. 1, S. 44–49.  
 [4] DOLOS, K.; METTE, T.; WELLSTEIN, C. (2016): Silvicultural climatic turning point for European beech and sessile oak in Western Europe derived from national forest inventories. *Forest Ecology and Management*, 373, S. 128–137. DOI: 10.1016/j.foreco.2016.04.018.  
 [5] EILMANN, B.; DE VRIES, S. M. G.; DEN OUDEN, J.; MOHREN, G. M. J.; SAUREN, P.; SASS-KLAASSEN, U. (2013): Origin matters! Difference in drought tolerance and productivity of coastal Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) provenances. *Forest Ecology and Management*, 302, (0), S. 133–143. DOI: 10.1016/j.foreco.2013.03.031.  
 [6] HANE-WINKEL, M.; CULLMANN, D. A.; SCHELHAAS, M.-J.; NABUURS, G.-J.; ZIMMERMANN, N. E. (2012): Climate change may cause severe loss in the economic value of European forest land. *Nature Climate Change*, 3 (3), S. 203–207. DOI: 10.1038/nclimate1687.  
 [7] HUBER, G. (2011): Neue Tests für Schwarzkiefern-Herkünfte in Bayern im Hinblick auf den Klimawandel. *Forstarchiv* 82, S. 134–141.  
 [8] HUBER, G.; SEHO, M. (2016): Die Schwarzkiefer – eine Alternative für warm-trockene Regionen; Erste Ergebnisse des bayerischen Herkunftsversuchs bestätigen Trockenresistenz. *LWF aktuell*, Nr. 3, S. 17–20.  
 [9] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2014): *Climate Change 2014. Synthesis Report*.  
 [10] KONNERT, M. (2013): Die Herkunft im Blick. ASP betreibt seit mehr als 40 Jahren Herkunftsforschung bei nichtheimischen Baumarten. *LWF aktuell*, Nr. 96, S. 13.  
 [11] KONNERT, M.; HUBER, G. (2008): Buchen und Tannen proben den Klimawandel. *LWF aktuell*, Nr. 66, S. 54–55.  
 [12] LAURENT, M.; ANTOINE, N.; JOËL, G. (2003): Effects of different thinning intensities on drought response in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). *Forest Ecology and Management*, 183 (1-3), S. 47–60. DOI: 10.1016/S0378-1127(03)00098-7.  
 [13] LEBOURGEOIS, F.; GOMEZ, N.; PINTO, P.; MÉRÉAN, P. (2013): Mixed stands reduce *Abies alba* tree-ring sensitivity to summer drought in the Vosges

mountains, western Europe. *Forest Ecology and Management*, 303, S. 61–71. DOI: 10.1016/j.foreco.2013.04.003.  
 [14] MAYER, H. (1992): *Waldbau auf soziologisch-ökologischer Grundlage*. 4., teilw. neu bearb. Aufl., G. Fischer, Stuttgart.  
 [15] MELLERT, K. H.; EWALD, J.; HORNSTEIN, D.; DORADO-LIÑÁN, I.; JANTSCH, M.; TAEGER, S. et al. (2016): Climatic marginality. A new metric for the susceptibility of tree species to warming exemplified by *Fagus sylvatica* (L.) and Ellenberg's quotient. *Eur J Forest Res*, 135 (1), S. 137–152. DOI: 10.1007/s10342-015-0924-9.  
 [16] PRETZSCH, H. (2002): *Grundlagen der Waldwachstumsforschung*. Parey Verlag, Berlin.  
 [17] PRETZSCH, H.; SCHÜTZE, G.; UHL, E. (2013): Resistance of European tree species to drought stress in mixed versus pure forests: evidence of stress release by inter-specific facilitation. *Plant Biology*, 15 (3), S. 483–495. DOI: 10.1111/j.1438-8677.2012.00670.x.  
 [18] RAIS, A.; VAN DE KUILLEN, J.-W. G.; PRETZSCH, H. (2014): Growth reaction patterns of tree height, diameter, and volume of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco) under acute drought stress in Southern Germany. *Eur J Forest Res*, 133 (6), S. 1043–1056. DOI: 10.1007/s10342-014-0821-7.  
 [19] SCHÄFER, C.; GRAMS, T.; RÖTZER, T.; FELDERMANN, A.; PRETZSCH, H. (2017): Drought stress reaction of growth and  $\Delta^{13}C$  in tree rings of European beech and Norway spruce in monospecific versus mixed stands along a precipitation gradient. *Forests*, 8 (6), S. 177.  
 [20] SEIDL, R.; RAMMER, W.; LEXER, M. J. (2011): Adaptation options to reduce climate change vulnerability of sustainable forest management in the Austrian Alps. *Can. J. For. Res.*, 41 (4), S. 694–706. DOI: 10.1139/x10-235.  
 [21] SOHN, J. A.; KOHLER, M.; GESSLER, A.; BAUJHUS, J. (2012): Interactions of thinning and stem height on the drought response of radial stem growth and isotopic composition of Norway spruce (*Picea abies*). *Tree Physiology*, 32 (10), S. 1199–1213. DOI: 10.1093/treephys/tps077.  
 [22] TAEGER, S.; KÖLLING, C. (2016): Standortinformationssystem BaSIS. *AFZ-DerWald*, Nr. 4, S. 10–13.  
 [23] TAEGER, S.; ZANG, C.; LIESEBACH, M.; SCHNECK, V.; MENZEL, A. (2013): Impact of climate and drought events on the growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) provenances. *Forest Ecology and Management*, 307, S. 30–42. DOI: 10.1016/j.foreco.2013.06.053.  
 [24] THURM, E. A.; UHL, E.; PRETZSCH, H. (2016): Mixture reduces climate sensitivity of Douglas-fir stem growth. *Forest Ecology and Management*, 376, S. 205–220. DOI: 10.1016/j.foreco.2016.06.020.

**Dr. Eric Andreas Thurm**, [Eric.Thurm@lwf-bayern.de](mailto:Eric.Thurm@lwf-bayern.de), ist Mitarbeiter der Abt. Boden und Klima der Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF). **Dr. Tobias Mette** und **Wolfgang Falk** sind ebenfalls Mitarbeiter dieser Abt. der LWF. **Gerhard Huber** leitet das Sachgebiet 3: Herkunfts-forschung im Klimawandel beim Bayerischen Amt für forstliche Saat- und Pflanzenzucht (ASP). **Enno Uhl** ist Mitarbeiter beim Lehrstuhl für Waldwachstumskunde an der TU München.

