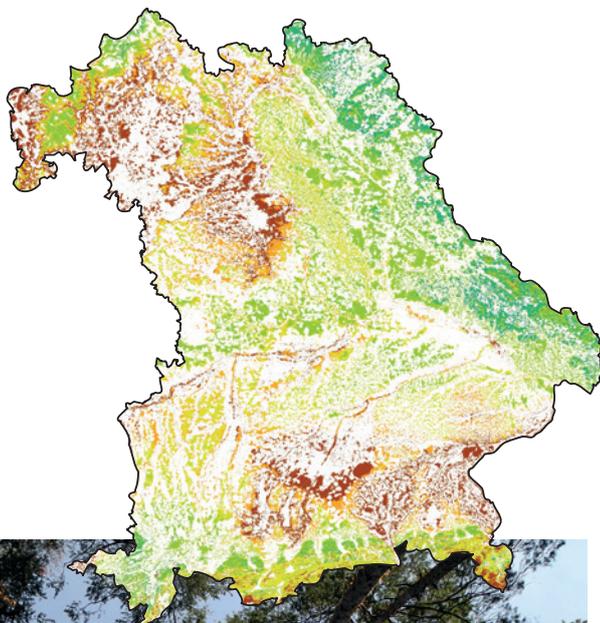


Anbaurisiko-Karten für nichtheimische Baumarten

Modelle zur Unterstützung der Baumartenwahl im Klimawandel

Wolfgang Falk, Eric Andreas Thurm, Tobias Mette, Oliver Schuster und Hans-Joachim Klemmt

Hitzesommer, Schädlingskalamitäten, absterbende Bäume – das Jahr 2018 mit seiner Rekordhitze und Trockenheit in weiten Teilen Bayerns haben noch alle in Erinnerung. Die sich daraus ergebenden Folgen für die Wälder werden immer augenfälliger. Wenn unsere heimischen Waldbäume unter Druck geraten, können die Wälder dann mit nichtheimischen, wärme- und trockenoleranten Baumarten angereichert und stabilisiert werden? Die Frage ist nicht neu, stellt sich aber im Zeichen immer extremerer Witterungsbedingungen umso dringender. Schnell verfügbare Antworten, welche Baumarten eine sinnvolle Ergänzung wären, liefern derzeit vor allem Auswertungen (inter-)nationaler Inventurdatensätze. Durch diese Analysen liegen der Bayerischen Forstverwaltung ab diesem Sommer für neun nichtheimische Arten Anbaurisiko-Karten für die forstliche Beratung vor.



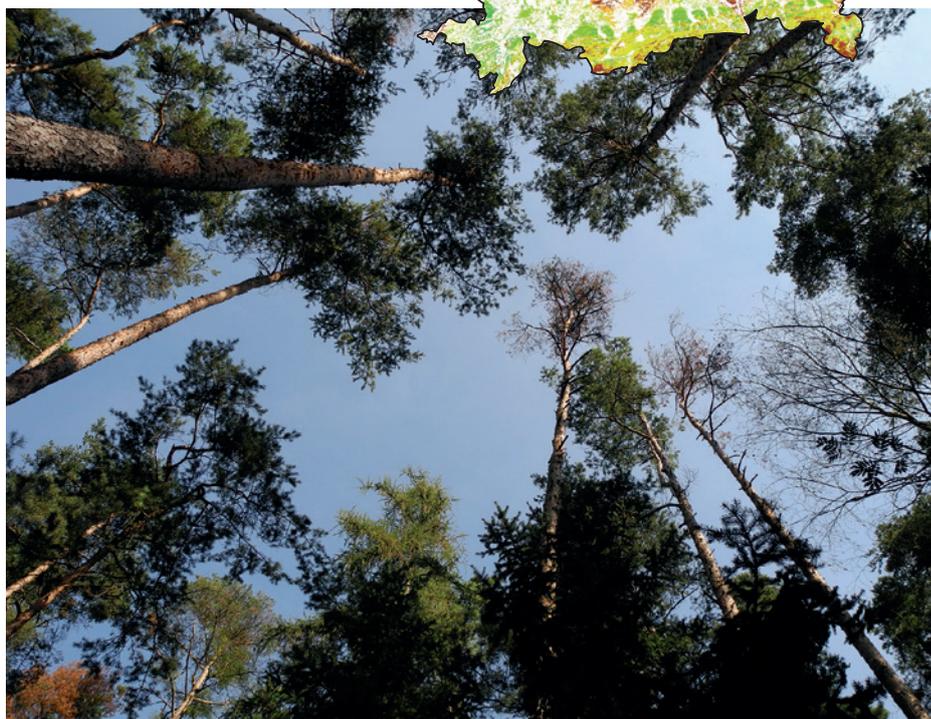
Anders als in anderen Disziplinen standen bei der Einbringung nichtheimischer Baumarten im forstlichen Bereich immer sehr konkrete Nutzungsansprüche im Vordergrund. So waren entweder bestimmte Holzeigenschaften oder auch die Steigerung der Leistung wichtige Gründe für den Anbau. Schon die Römer haben die Edelkastanie nördlich der Alpen angebaut, da sie neben Kastanien unter anderem ihr verwitterungsbeständiges Holz als Rebstecken und Pfähle für den Weinbau nutzten (Lang 2007). Die Anbauten von Douglasien und Roteichen im 19. Jahrhundert erfolgten in erster Linie aufgrund der erwarteten hohen Massenleistung.

Suche nach klimatoleranten Baumarten

Im Zuge des Klimawandels stehen für Bayern bei der Suche nach geeigneten nichtheimischen Baumarten drei Aspekte im Vordergrund:

- Alternativen für Nadelbaumarten
- Alternativen für die Esche
- Alternativen für Baumarten für die allerwärmsten und trockensten Standorte in Nordwest-Bayern.

Im letzten Fall geht es nicht mehr primär um Holzproduktion oder Leistung, sondern teils um Walderhalt und die Sicherstellung der Waldfunktionen.

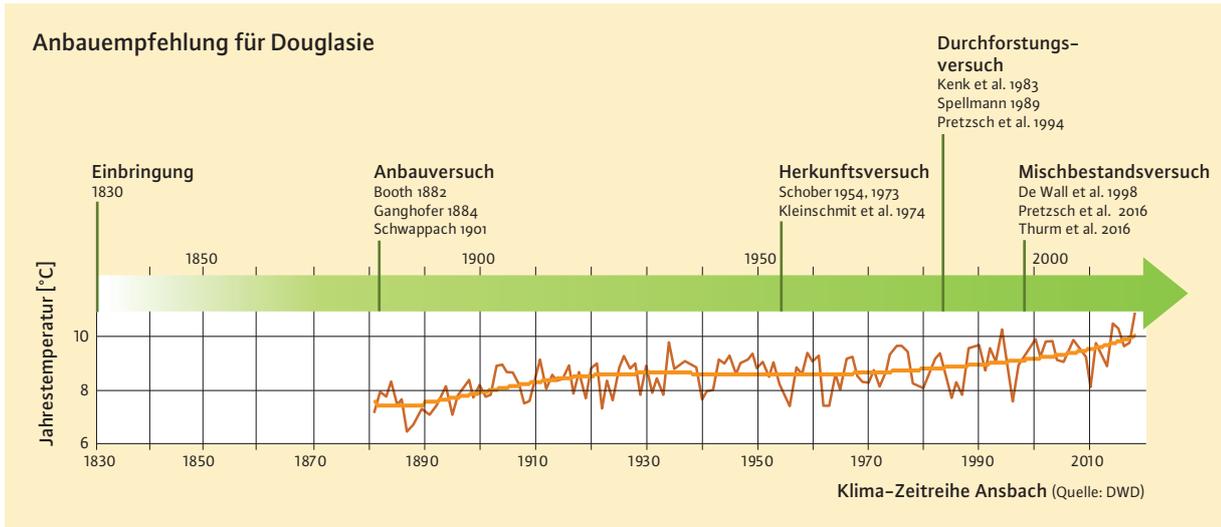


1 Das Foto zeigt geschädigte und abgestorbene Kiefern im Amtsbereich Roth als Folge der Extremjahre 2015 und 2018. Im Zuge der Klimaerwärmung werden immer mehr Waldstandorte auch für die Kiefer zu einem Risikofaktor. Die Anbaurisiko-Karte (o.) für die Kiefer weist für das Jahr 2100 ein hohes bis sehr hohes Risiko im Nordwesten wie auch im Südosten Bayerns aus. Foto: S. Taeger

»Schnelle« Antworten nötig und durchaus möglich

Waldbauliche Handlungsempfehlungen für nichtheimische Arten an einem Standort zu geben, ist keinesfalls trivial. Wie komplex das Thema ist, kann zum Beispiel anhand der Geschichte des Douglasien-Anbaus gezeigt werden: Seit der ersten Einbringung um 1830 über die ersten Anbauversuche Ende des 19. Jahr-

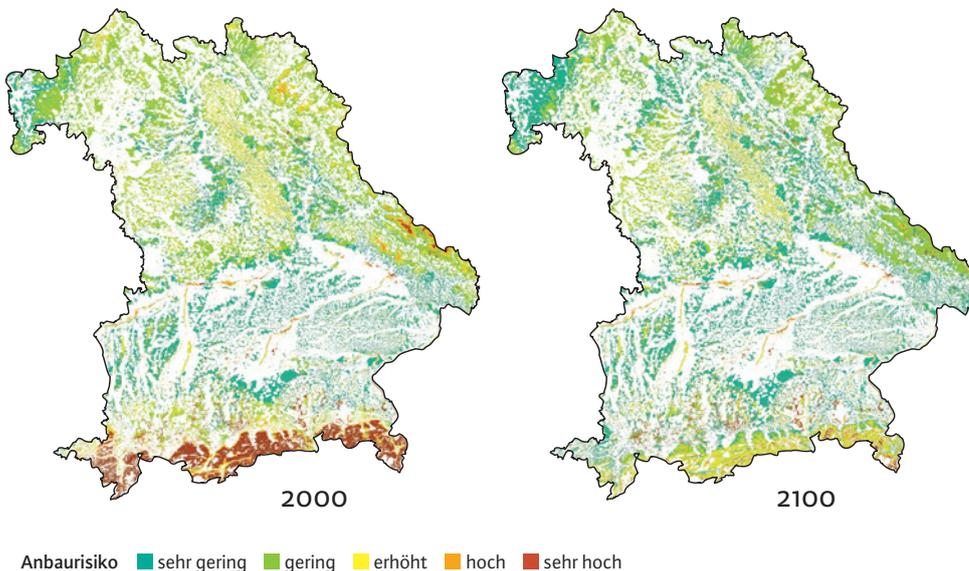
2 Zeitstrahl zum Anbau der Douglasie in Deutschland. Die Abfolge der verschiedenen Versuchsaufbauten zeigt, wie die Forstwissenschaft sich im Laufe der Zeit eine möglichst umfassende Meinung zur Anbauempfehlung zu dieser Baumart erarbeitet hat. Die Klima-Zeitreihe für Ansbach verdeutlicht die Änderungen der Standortbedingungen während dieser langen Zeit. Quelle: verändert nach Thurm & Falk 2018



hundreds hin zu Herkunftsversuchen ab der Mitte des 20. Jahrhunderts, gefolgt von Durchforstungsversuchen ab ca. 1980 bis zu aktuelleren Mischbestandsversuchen sind fast 200 Jahre vergangen (Abbildung 2). Diese Zeit steht uns in einem sich rasch vollziehenden Klimawandel nicht zur Verfügung. Zeitnahe Aussagen werden benötigt, die Fehlversuche minimieren und Grundlagen für weitere klassische Versuche liefern und diese optimieren. Thurm et al. (2017) haben ein Konzept vorgestellt, wie Modellierungen genutzt werden können, um die Zeit für Aussagen zur Anbauwürdigkeit zu verringern. Artverbreitungsmodelle sind ein wichtiger Baustein davon. Mit ihrer Hilfe lassen sich relativ schnell Aussagen zur klimatischen Anbaueignung aus Verbreitungs- bzw. Inventurdaten ableiten.

Neue Methode – Artverbreitungsmodelle beschreiben den Zusammenhang von Artvorkommen und Umweltgrößen – meist Klima – am Standort als statistisches Modell. Dieser Zusammenhang kann dann genutzt werden, um Auswirkungen von Temperaturerhöhung oder veränderter Niederschlagsverteilung auf die Vorkommenswahrscheinlichkeit darzustellen. Somit können Vorhersagen für Klimaszenarien gemacht werden. Erste Arbeiten zur Verbreitung von Baumarten mit Hilfe von Artverbreitungsmodellen gibt es aus den 1980er Jahren. Mittlerweile machen steigende Rechenkapazitäten und die zunehmende Offenheit, Inventurdaten auch international zu teilen, diesen Ansatz zunehmend attraktiver. Die Methode ist heute in der Wissenschaft fest etabliert. In der Bayerischen Forstverwaltung wurde bereits im Zeitraum von 2009 bis

2012 in einem Projekt das Anbaurisiko für 21 Baumarten bestimmt und für die Beratung zur Anpassung der Wälder an den Klimawandel als bayernweite Karten aufbereitet. Damals wurde lediglich die Douglasie als nichtheimische Baumart bearbeitet. Bei einer erneuten Nischenmodellierung nichtheimischer und seltener heimischer Baumarten (Projekt B76) im Zeitraum 2016–2018 wurden weitere Baumarten für das Bayerische Standortinformationssystem BaSIS bearbeitet und als Anbaurisiko-Karten bereitgestellt. In Summe liegen derzeit für 32 Baumarten Karten für die forstliche Beratung vor (Abbildungen 3 und 4), darunter – je nach Definition von heimisch – neun nichtheimische Baumarten (Douglasie, Japanische Lärche, Küstentanne, Schwarzkiefer, Edelkastanie, Robinie, Flaumeiche, Roteiche, Zerreiche). Zur Baumhasel wurde im Rahmen des genannten Projekts zusammen mit dem Bayerischen Amt für Waldgenetik eine Einschätzung auf einer wissenschaftlichen Tagung veröffentlicht (Šeho et al. 2018).



3 Exemplarische Darstellung des Anbaurisikos (ABR) der Roteiche (*Quercus rubra*) für die zwei Zeiträume 1971–2000 (links) und 2071–2100 (rechts). Dargestellt ist das Anbaurisiko für die Waldfläche von Bayern. Flächen mit der geringsten ABR-Stufe (dunkelgrün) nehmen im Klimawandel noch weiter zu. Gleichzeitig nimmt die hohe ABR-Stufen (dunkelrot) in den Alpen (Kältelimitierung) weiter ab.

EU-weit einmaliger Datensatz

Nichtheimische Baumarten sind in Bayern selten und daher schwer zu modellieren. Um ihr Vorkommen zu analysieren, benötigt es einen ausreichend großen Datensatz, welcher den klimatischen Gradienten einer Baumart möglichst umfassend abdeckt. Landesinventuren oder gar Forsteinrichtungsdaten aus Deutschland und europäischen Nachbarländern sind hierfür als Datensatz geeignet, wodurch die Arten eine gewisse Häufigkeit erreichen. Wichtig dabei ist, dass Vorkommen in Regionen zu finden sind, deren Klima grob mit den zukünftig erwarteten Bedingungen für Bayern übereinstimmen (sogenannte Analogklimate). Genau das ist im schon erwähnten Projekt zur Nischenmodellierung seltener heimischer und nichtheimischer Baumarten erfolgt: Inventur- und Forsteinrichtungsdaten wurden aus elf europäischen Nachbarländern zusammengetragen. Auch aus der Türkei wurden Daten bereitgestellt. Dieser Datensatz wurde um Daten aus einer Veröffentlichung zu europäischen Inventurdaten (Mauri et al. 2017) ergänzt, so dass der wohl vollständigste Datensatz zu den im Projekt bearbeiteten Arten entstanden ist, der derzeit europaweit verfügbar ist.

Berücksichtigung des Bodens

Da punktgenaue Bodendaten auf europäischer Ebene aktuell nicht verfügbar sind, konnten die Ansprüche an den Boden nicht allein aus den Vorkommensdaten einer Baumart abgeleitet werden. Sie wurden von Experten bewertet und die Meinungen dann zu einem Konsens zusammengeführt (Thurm & Falk 2019) und mit vorhandener Literatur abgeglichen. Diese Bewertungstabelle wurde dann bei der Erstellung der Anbaurisiko-Karten verwendet, um das klimatische Anbaurisiko zu überprägen, wenn das Anbaurisiko aufgrund von besonderen Bodenverhältnissen als höher bewertet wird (»Boden sticht Klima«). Eine Verbesserung durch den Boden gibt es nicht – der Faktor, der am stärksten limitiert, gibt den Ausschlag.

Ergebnisse für Bayern

Baumarten, die derzeit bayernweit ein sehr geringes Anbaurisiko haben, sind *Douglasie*, *Küstentanne*, *Robinie* und *Roteiche* (Abbildung 3). Für die letzten beiden sind auch die Zukunftsaussichten bis

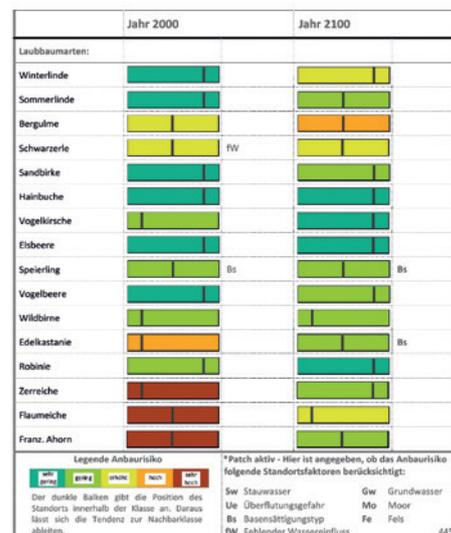
Gemeinde	Ansbach	Rechtswert	4397XXX																																																																															
Gemarkung	Ansbach	Hochwert	5462XXX																																																																															
Flurstück	---																																																																																	
Anbaurisiko																																																																																		
Klima																																																																																		
	Klimareferenzperiode	1971 - 2000	2000 - 2100																																																																															
Niederschlagssumme	Jahr [mm]	650 - 700	600 - 650																																																																															
	Vegetationsperiode [mm]	300 - 325	250 - 275																																																																															
Mitteltemperatur	Jahr [°C]	8,2 - 8,4	10 - 10,2																																																																															
	Vegetationsperiode [°C]	15 - 15,2	16,6 - 16,8																																																																															
Boden																																																																																		
Bodenart	lehmiger Sand über mildem Ton	Basenausstattung	Typ 2 (basenreich)																																																																															
Fels	-	Wasserhaushalt	4 (Torr 21-30)																																																																															
Gegebenenfalls am Standort zusätzlich zu berücksichtigen																																																																																		
Stauwasser	-	Moore	-																																																																															
Grundwasser	-	Überflutungsgefahr	-																																																																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Jahr 2000</th> <th>Jahr 2100</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="4">Nadelbaumarten:</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Patch aktiv*</td> <td>Patch aktiv*</td> </tr> <tr> <td>Fichte</td> <td>[Barren]</td> <td>[Barren]</td> <td>[Barren]</td> </tr> <tr> <td>Tanne</td> <td>[Barren]</td> <td>[Barren]</td> <td>[Barren]</td> </tr> <tr> <td>Kiefer</td> <td>[Barren]</td> <td>[Barren]</td> <td>[Barren]</td> </tr> <tr> <td>Lärche</td> <td>[Barren]</td> <td>[Barren]</td> <td>[Barren]</td> </tr> <tr> <td>Douglasie</td> <td>[Barren]</td> <td>[Barren]</td> <td>[Barren]</td> </tr> <tr> <td>Jap. Lärche</td> <td>[Barren]</td> <td>[Barren]</td> <td>[Barren]</td> </tr> <tr> <td>Schwarzkiefer</td> <td>[Barren]</td> <td>[Barren]</td> <td>[Barren]</td> </tr> <tr> <td>Küstentanne</td> <td>[Barren]</td> <td>[Barren]</td> <td>[Barren]</td> </tr> <tr> <td colspan="4">Laubbaumarten:</td> </tr> <tr> <td>Buche</td> <td>[Barren]</td> <td>[Barren]</td> <td>[Barren]</td> </tr> <tr> <td>Stieleiche</td> <td>[Barren]</td> <td>[Barren]</td> <td>[Barren]</td> </tr> <tr> <td>Traubeneiche</td> <td>[Barren]</td> <td>[Barren]</td> <td>[Barren]</td> </tr> <tr> <td>Roteiche</td> <td>[Barren]</td> <td>[Barren]</td> <td>[Barren]</td> </tr> <tr> <td>Bergahorn</td> <td>[Barren]</td> <td>[Barren]</td> <td>[Barren]</td> </tr> <tr> <td>Spitzahorn</td> <td>[Barren]</td> <td>[Barren]</td> <td>[Barren]</td> </tr> <tr> <td>Feldahorn</td> <td>[Barren]</td> <td>[Barren]</td> <td>[Barren]</td> </tr> <tr> <td>Esche</td> <td>[Barren]</td> <td>[Barren]</td> <td>[Barren]</td> </tr> </tbody> </table>					Jahr 2000	Jahr 2100	Nadelbaumarten:						Patch aktiv*	Patch aktiv*	Fichte	[Barren]	[Barren]	[Barren]	Tanne	[Barren]	[Barren]	[Barren]	Kiefer	[Barren]	[Barren]	[Barren]	Lärche	[Barren]	[Barren]	[Barren]	Douglasie	[Barren]	[Barren]	[Barren]	Jap. Lärche	[Barren]	[Barren]	[Barren]	Schwarzkiefer	[Barren]	[Barren]	[Barren]	Küstentanne	[Barren]	[Barren]	[Barren]	Laubbaumarten:				Buche	[Barren]	[Barren]	[Barren]	Stieleiche	[Barren]	[Barren]	[Barren]	Traubeneiche	[Barren]	[Barren]	[Barren]	Roteiche	[Barren]	[Barren]	[Barren]	Bergahorn	[Barren]	[Barren]	[Barren]	Spitzahorn	[Barren]	[Barren]	[Barren]	Feldahorn	[Barren]	[Barren]	[Barren]	Esche	[Barren]	[Barren]	[Barren]
	Jahr 2000	Jahr 2100																																																																																
Nadelbaumarten:																																																																																		
		Patch aktiv*	Patch aktiv*																																																																															
Fichte	[Barren]	[Barren]	[Barren]																																																																															
Tanne	[Barren]	[Barren]	[Barren]																																																																															
Kiefer	[Barren]	[Barren]	[Barren]																																																																															
Lärche	[Barren]	[Barren]	[Barren]																																																																															
Douglasie	[Barren]	[Barren]	[Barren]																																																																															
Jap. Lärche	[Barren]	[Barren]	[Barren]																																																																															
Schwarzkiefer	[Barren]	[Barren]	[Barren]																																																																															
Küstentanne	[Barren]	[Barren]	[Barren]																																																																															
Laubbaumarten:																																																																																		
Buche	[Barren]	[Barren]	[Barren]																																																																															
Stieleiche	[Barren]	[Barren]	[Barren]																																																																															
Traubeneiche	[Barren]	[Barren]	[Barren]																																																																															
Roteiche	[Barren]	[Barren]	[Barren]																																																																															
Bergahorn	[Barren]	[Barren]	[Barren]																																																																															
Spitzahorn	[Barren]	[Barren]	[Barren]																																																																															
Feldahorn	[Barren]	[Barren]	[Barren]																																																																															
Esche	[Barren]	[Barren]	[Barren]																																																																															

zum Ende des Jahrhunderts bei einer angenommenen Erwärmung von circa 1,5 °C gegenüber der mittleren Jahrestemperatur von 1971–2000 sehr gut.

Douglasie und *Küstentanne* weisen zukünftig ein differenziertes Anbaurisiko auf: Sommerwarme Niederungen haben ein erhöhtes Anbaurisiko (Untermainebene, Fränkische Platte, Keuperabdachung, Oberpfälzer Jura und Donau-niederung). Das Anbaurisiko sinkt dort, wo es bisher eine klimatisch bedingte Höhengrenze gab, da sich diese kältelimitierte Grenze nach oben verschiebt.

Das klimatische Anbaurisiko der *Schwarzkiefer* hingegen wird in Gebieten mit höheren Temperaturen (tiefere Lagen) mit geringem Risiko bewertet. Deutlich sind die sehr hohen Risiken in den Höhenlagen aller Mittelgebirge und der Alpen. Bei einer moderaten Erwärmung bis 2100 entspricht das künftige Klima der derzeitigen Schwarzkiefernverbreitung, wodurch das Anbaurisiko flächig als gering bis sehr gering eingestuft wird. Die *Japanische Lärche* wird nach den Modellen derzeit vor allem in den Wuchsgebieten Spessart-Odenwald, Rhön (außer Hochlagen), höhere Lagen der Fränkischen Platte, Frankenalb, Oberpfälzer Jura, dem Mittelschwäbischen und Oberbayerischen Tertiärhügelland sowie dem Vorallgäu mit geringem Anbaurisiko be-

4 Exemplarischer »Durchstich« aus dem Bayerischen Standortinformationssystem im warm-trockenen Westen Bayerns bei Ansbach (vgl. Zeitreihe Klima Abbildung 2) durch alle Anbaurisiko-Karten. Die Einschätzung des ABR wird für alle 32 Baumarten aufgeführt.



wertet. Bei einer Temperaturerhöhung würden sämtliche warmen Niederungen (Untermain, Fränkische Platte, Keuper, Donau-niederungen) negativ, die übrigen Regionen Bayerns als positiv bewertet.

Die *Flaumeiche* zeigt in der Gegenwart fast das umgekehrte Muster zur Karte der Japanischen Lärche in der Zukunft: Alle warmen Niederungen haben ein relativ geringes Anbaurisiko, ansonsten sind die Temperaturen für diese Art noch zu niedrig und ganz Bayern sieht »rot« aus. Lediglich das sehr kleine Wuchsgebiet Untermainebene ist jetzt schon für die Flaumeiche geeignet. Künftig verbessert sich die Anbaueignung für diese Art deutlich. Nur noch kühle Hochlagen bleiben ungeeignet.

Besser als die Flaumeiche wird die *Zerreiche* bewertet. Sowohl in der Gegenwart als auch in der Zukunft sehen die Modelle deutlich geringere Anbaurisiken in Bayern. Für 1971–2000 ist in den sommerwarmen Niederungen über ganz Bayern ein geringes Anbaurisiko modelliert, für die Periode 2071–2100 sind nur noch die Hochlagen des Frankenwaldes, des Fichtelgebirges, des Bayerischen Waldes und der Alpen risikobehaftet.

Das Anbaurisiko für die *Edelkastanie* zeigt gegenwärtig für Bayern ein differenziertes Bild: Neben einem gewissen Temperatur- und Niederschlagsanspruch

limitiert die Edelkastanie vor allem die Ausschlussregel »Freier Kalk im Oberboden«. Gebiete mit geringem Anbaurisiko sind auch bei der Edelkastanie die wärmegetönten Tieflagen (Untermainebene etc.). Die Einschätzung für eine wärmere Zukunft sieht allerdings sehr positiv für Bayern aus: Flächendeckend geringes Anbaurisiko mit Ausnahme der Standorte, die Kalk im Oberboden haben (Jurabogen, Schotterebene und Kalkalpen). Hochlagen der Rhön, des Fichtelgebirges, des Bayerischen Waldes und der Alpen bleiben weiterhin klimatisch ausgeschlossen.

Grenzen der Aussagen

Im Vergleich zu vielen derzeit in BaSIS abgebildeten heimischen Baumarten (z. B. Fichte, Kiefer, Lärche) zeigen die meisten im Projekt »Nischenmodellierung« untersuchten Baumarten zukünftig ein relativ niedriges Anbaurisiko. Das liegt vor allem daran, dass die Baumarten ihren Verbreitungsschwerpunkt in südlicheren Ländern haben und im Zuge des Klimawandels zunehmend auch in Bayern günstige Anbaubedingungen vorfinden (Thurm et al. 2018).

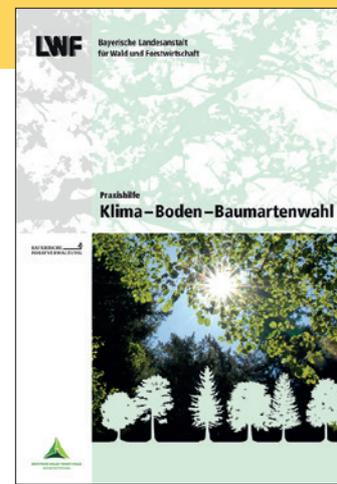
Spätfrost und Kontinentalität

Dennoch wird der Klimawandel keine einfache Verschiebung von Süd nach Nord sein. Auch wenn in Zukunft die Spätfrostgefahr wahrscheinlich abnehmen wird, wird es sie weiterhin geben (KLIWA 2006). Eingeführte Baumarten müssen mit diesem Risiko ebenfalls zu-recht kommen bzw. daran angepasst sein. Es besteht daher die Frage, inwieweit die verwendeten Klimaszenarien (im Fall von BaSIS eine geringe Erwärmung) und die angewandten Artverbreitungsmodelle diese Zusammenhänge berücksichtigen können. Wir haben versucht, der auch weiterhin vorhandenen Spätfrostgefahr dahingehend Rechnung zu tragen, dass wir die Klimavariablen »Kontinentalität« verwendet haben. Die Spätfrostresistenz von Baumarten ist mit dieser Variable hoch korreliert (Muffler et al. 2016). Des Weiteren ist die Kontinentalität im Gegensatz zu anderen Klimavariablen im Klimawandel verhältnismäßig konstant. Dadurch sind die Anbaurisiko-Karten von einer Größe beeinflusst, die die Spätfrostresistenz abbildet.

Klima und Boden und – »Herkunft«

Das Anbaurisiko beantwortet die Frage nach der standörtlichen Anbaueignung bayernweit und standortsensitiv. Es berücksichtigt sowohl das Klima, meist in Form von drei bis vier Variablen wie Wintertemperatur, Sommertemperatur und Sommerniederschläge sowie Kontinentalität, als auch den Boden und damit besondere Standortfaktoren in Form von Ausschlussregeln. Janßen et al. (2019) kategorisieren nichtheimische Baumarten bezüglich Anbaumöglichkeiten in Bayern unter anderem danach, ob Aussagen zur standörtlichen Eignung ableitbar sind. Sind Anbaurisiko-Karten vorhanden, ist das klar zu bejahen. Darüber hinaus sind aber noch zahlreiche weitere Aspekte in die Kategorisierung eingeflossen, die über die Aussagen der Anbaurisiko-Karten hinausgehen. Unter anderem kann die Frage nach der richtigen Herkunft und dem waldbaulichen Umgang mit nichtheimischen Arten in Mischung mit unseren heimischen Arten nur bedingt von Artverbreitungsmodellen beantwortet werden. Diesen Fragen widmen sich zahlreiche Forschungsprojekte, insbesondere Anbau- und Herkunftsversuche. Für die in BaSIS als Anbaurisiko-Karten enthaltenen nichtheimischen Arten gilt bezüglich Herkunftsempfehlungen: Mit Ausnahme von Flaum- und Zerreiche sind Herkunftsgebiete für Bayern definiert. Allerdings wurde bisher nur für die Douglasie eine Differenzierung für Bayern vorgenommen. Die Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) hat im Sommer 2019 eine Praxishilfe herausgegeben, die die Ökologie, Natur- und Waldschutzaspekte, Leistung, Holzeigenschaften und waldbauliche Informationen in Form von Steckbriefen für 16 der 32 Baumarten in BaSIS beschreibt. In einem aktuellen Folgeprojekt werden die noch ausstehenden 16 Baumarten (inklusive der nichtheimischen) ergänzt. Die erweiterte Praxishilfe »Klima – Boden – Baumartenwahl« wird in der zweiten Jahreshälfte 2020 den Forstpraktikern zur Verfügung stehen.

Die Aussagen bezüglich der Intensität des Klimawandels sind derzeit auch dadurch begrenzt, dass wir aus Gründen der Darstellbarkeit nur eine mögliche klimatische Zukunft nutzen, die eher am politischen Zwei-Grad-Ziel orientiert ist. Die Bandbreite der möglichen künftigen Temperaturen und Niederschlags-



5 Die 2019 von der LWF herausgegebene Broschüre »Klima – Boden – Baumartenwahl« beschreibt für 16 Baumarten die wichtigsten Punkte für die richtige Baumartenwahl.

änderungen, insbesondere die wesentlich wärmeren Szenarien, werden in wissenschaftlichen Veröffentlichungen (Falk & Hempelmann 2013; Mellert et al. 2015; Thurm et al. 2018) abgebildet, derzeit aber nicht im Beratungssystem. Eine technische und inhaltliche Weiterentwicklung des Bayerischen Standortinformationssystems BaSIS soll diese Restriktion grundlegend beheben.

Für die Privatwaldberatung gilt: Die Einschätzung des Anbaurisikos nichtheimischer Baumarten soll die konkrete Einschätzung der Situation vor Ort durch den Beratungsförster unter Berücksichtigung und Kombination aller vorliegenden Einflussfaktoren (Wild, Waldbesitzer, Waldbau) unterstützen – keineswegs ersetzen.

Chancen und Risiken

Die behutsame Einbringung der Douglasie in heimische Wälder hat sich aus heutiger Sicht als Glücksgriff herausgestellt. Selbst diese Baumart hatte aber mit Rückschlägen zu kämpfen (z. B. Douglasienschütte an den Inlandsherkünften). Die Hoffnung besteht, dass sich im Portfolio der als Anbaurisiko-Karten neu implementierten Baumarten ähnliche Kandidaten befinden. Dennoch muss betont werden, dass jeder Baumart nur begrenzt Ressourcen zur Verfügung stehen. Diese Ressourcen werden beispielsweise vermehrt in die Konkurrenzfähigkeit um Licht (Höhenwachstum) oder in Resistenz von Trockenstress (z. B. Ausbildung kleiner, ledriger Blätter) investiert. Insofern kann nicht von einem »Super-Baum« ausgegangen werden, der alle Wünsche erfüllt. Ein tendenziell günstiges Verhältnis aus Leistung und künftiger Anbaufläche in Europa – und damit niedrigem klimatischen Anbaurisiko – zeigen die nichtheimischen Baumarten Robinie, Rot- und

Zerreiche, gefolgt von Schwarzkiefer und Edelkastanie (Thurm et al. 2018).

Neben den Chancen auf gute Zuwächse (erfolgreiche Holzproduktion) können nichtheimische Arten zu einer Stabilisierung von Beständen und damit des Ökosystems Wald führen und die Biodiversität in unseren Wäldern erhöhen. Auch das stärkt die ökonomische und ökologische Seite der Forstwirtschaft. Der Anbau nichtheimischer Arten wird besonders dort wichtig sein, wo bedingt durch Klimawandel oder Waldschutzprobleme heimische Arten im größeren Stil ausfallen.

Es bleibt aber immer auch ein ökologisches »Restrisiko« zum Beispiel in Form von Waldschutzproblemen (Stroben-Blasenrost, Douglasenschütte, *Diplodia-Triebsterben* bei der Schwarzkiefer) oder nicht absehbaren Invasivitätsentwicklungen. Und selbst bei »alten Bekannten« sind wir nicht vor Überraschungen gefeit: Die Douglasie hat auf machen Standorten Probleme mit einer schwachen Wurzelbildung im Unter- bzw. Voranbau bei hohen Pflanzdichten oder hohem Überschiebungsgrad (Briggs et al. 2012; Kuehne et al. 2015). Auf speziellen Standorten zeigt sich ein Phänomen, das als Mangan-Toxizität beschrieben wird (Block et al. 2016; bei Untersuchungen in Rheinland-Pfalz: manganreiche Lösslehme, Schichtlehme, eutrophe Tonschiefer und Standorte des Rotliegenden). Diesem Restrisiko kann nur dadurch begegnet werden, dass nichtheimische Baumarten immer nur in Mischung mit heimischen Arten angebaut werden sollten. Waldbauliche Praktiken und Herkunftsgebiete können – sofern es noch keine besseren Untersuchungen gibt – aus klimatisch analogen Gebieten abgeleitet werden (vgl. Thurm et al. 2017).

Es gilt beim Anbau nichtheimischer Arten Chancen und Risiken abzuwägen, auf Erfahrungen aufzubauen, aber auch eine gewisse Vorsicht walten zu lassen. Schnelle und umsetzbare Aussagen lassen sich derzeit vor allem mit den hier vorgestellten oder vergleichbaren Methoden ableiten. Gleichzeitig müssen klassische Anbauversuche angelegt oder neu ausgewertet (Chakraborty et al. 2015; Fréjaville et al. 2019) und mit weiteren Modellierungen begleitet werden, um Aussagen an den Klimawandel anzupassen und mit dem hohen Tempo der Erwärmung Schritt halten zu können.

Zusammenfassung

Im Bayerischen Standortinformationssystem BaSIS liegen Anbaurisiko-Karten zu 32 Baumarten vor. Darunter sind neun nichtheimische Arten. Die Karten beruhen auf der Beziehung von Vorkommen und Standort, insbesondere Klima. Der Boden wird in Form von starren Bewertungsregeln mit eingebunden. Die Methode erlaubt einen vorsichtigen Blick in eine wärmere Zukunft und ist daher ein schon derzeit vorliegender Baustein für die Anpassung der Wälder an den Klimawandel. Karten liegen für die nichtheimischen Baumarten Douglasie, Edelkastanie, Flaumeiche, Japanische Lärche, Küstentanne, Robinie, Roteiche, Schwarzkiefer und Zerreiche vor. Die Einschätzungen für die Zukunft sind tendenziell positiv. Ein günstiges Verhältnis im Hinblick auf Leistung und Anbaurisiko zeigen die Arten Robinie, Rot- und Zerreiche, gefolgt von Schwarzkiefer und Edelkastanie. Die Methode hat Grenzen unter anderem in Bezug auf Aussagen zu Herkünften. Beim Anbau von nichtheimischen Arten müssen Chancen und Risiken abgewogen werden. Risiken können durch Anbau in Mischung mit heimischen Arten reduziert werden. Die Anbaurisiko-Karten unterstützen die konkrete Einschätzung der Situation vor Ort durch den Beratungsförster unter Berücksichtigung und Kombination aller vorliegender Einflussfaktoren (Wild, Waldbesitzer, Waldbau).

Literatur

- Arbeitskreis KLIMA (Hrsg.) (2006):** Regionale Klimaszenarien für Süddeutschland. Abschätzung der Auswirkungen auf den Wasserhaushalt (Heft 9), 102 S.
- Block, J.; Greve, M.; Schröck, H.W.; zum Hingste, F.-W. (2016):** Mangantoxizität bei Douglasie (*Pseudotsuga Menziesii* [Mirb.] Franco). Mitteilung FAWF, Trippstadt Nr. 78/16, 120 S.
- Booth, J. C. (1882):** Die Naturalisation ausländischer Waldbäume in Deutschland. Springer Berlin Heidelberg
- Briggs, N.A.; Kuehne, C.; Kohnle, U.; Bauhus, J. (2012):** Root system response of naturally regenerated Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) after complete overstorey removal. *Canadian Journal of Forest Research* 42 (10), S. 1858–1864. DOI: 10.1139/x2012-123
- Chakraborty, D.; Wang, T.; Andre, K.; Konnert, M.; Lexer, M. J.; Matulla, C.; Schueler, S. (2015):** Selecting populations for non-analogous climate conditions using universal response functions: The case of Douglas-fir in central Europe. *PLoS one*, 10(8), e0136357
- Falk, W.; Hempelmann, N. (2013):** Species favourability shift in Europe due to climate change: a case study for *Fagus sylvatica* L. and *Picea abies* (L.) Karst. based on an ensemble of climate models. *Journal of Climatology*, Volume 2013, 18 S. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/787250>
- Fréjaville, T.; Fady, B.; Kremer, A.; Ducousso, A.; Benito Garzón, M. (2019):** Inferring phenotypic plasticity and population responses to climate across tree species ranges using forest inventory data. *Global Ecology and Biogeography*.
- Ganghofer, A. v. (1884):** Das forstliche Versuchswesen. Bd. II. Schmid'sche Verlagsbuchhandlung, Augsburg. 477 S.
- Kenk, G.; Weise, U. (1983):** Erste Ergebnisse von Douglasien-Vorbandsversuchen in Baden-Württemberg. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 154, S. 41–55
- Kleinschmit, J.; Racz, J.; Weisgerber, H.; Dietze, W.; Dietrich, H.; Dimpfleier, R. (1974):** Ergebnisse aus dem internationalen Douglasien-Herkunftsversuch von 1970 in der Bundesrepublik Deutschland. *Silvae Genetica* 23, S. 167–176
- Kuehne, C.; Karrié, C.; Forrester, D.J.; Kohnle, U.; Bauhus, J. (2016):** Root system development in naturally regenerated Douglas-fir saplings as influenced by canopy closure and crowding. *Journal of Forest Science* 61 (9), S. 406–415. DOI: 10.17221/53/2015-JFS
- Lang, W. (2007):** Die Edelkastanie – wiederentdeckt im Zeitalter des Klimawandels. *AFZ-DerWald* 17, S. 923–925
- Janßen, A.; Šeho, M.; Schirmer, R.; Tretter, S.; Pratsch, S. (2019):** Praxisanbauversuche: Bewertung alternativer Baumarten in Bayern. *AFZ-Der Wald* 5, S. 24–27
- Mauri, A.; Strona, G.; San-Miguel-Ayanz, J. (2017):** EU-Forest, a high-resolution tree occurrence dataset for Europe. *Nature Scientific data* 4, Artikel-Nr. 160123

Autoren

Wolfgang Falk, Dr. Eric Andreas Thurm, Dr. Tobias Mette und Oliver Schuster sind Mitarbeiter in der Abteilung »Klima und Boden« der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF). Arbeitsschwerpunkte der Autoren sind die Anpassung der Wälder an den Klimawandel sowie die Betreuung und Weiterentwicklung des Bayerischen Standortinformationssystems. Dr. Hans-Joachim Klemmt leitet die Abteilung »Klima und Boden«.

Kontakt: Wolfgang.Falk@lwf.bayern.de

- Mellert, K.H.; Deffner, V.; Küchenhoff, H.; Kölling, C. (2015):** Modeling sensitivity to climate change and estimating the uncertainty of its impact: A probabilistic concept for risk assessment in forestry. *Ecological Modelling*, 316, S. 211–216
- Muffler, L.; Beierkuhnlein, C.; Aas, G.; Jentsch, A.; Schweiger, A.H.; Zohner, C.; Kreyling, J. (2016):** Distribution ranges and spring phenology explain late frost sensitivity in 170 woody plants from the Northern Hemisphere. *Global Ecology and Biogeography* 25 (9), S. 1061–1071. DOI: 10.1111/geb.12466
- Pretzsch, H.; Schütze, G. (2016):** Effect of tree species mixing on the size structure, density, and yield of forest stands. *European Journal of Forest Research* 135 (1), S. 1–22. DOI: 10.1007/s10342-015-0913-2
- Pretzsch, H.; Spellmann, H. (1994):** Leistung und Struktur des Douglasien-Durchforstungsversuchs Lonau 135. *Forst und Holz* 49 (3), S. 64–69
- Schober, R. (1973):** Ergebnisse von Douglasien-Provenienzversuchen in Deutschland. In: *Proceedings of IUFRO WP meeting* 5, Vol. 2, S. 2–5
- Schwappach, A. (1901):** Die Ergebnisse der in den Preussischen Staatsforsten ausgeführten Anbauversuche mit fremdländischen Holzarten. *Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen*, 33, S. 137–169, 195–225 und 261–292
- Šeho, M.; Čokeša V. & Thurm, E.A. (2018):** Bewertung der Anbau-eignung von Baumhasel (*Corylus colurna* L.) im Klimawandel. Tagungsband der Forstwissenschaftliche Tagung 2018 in Göttingen. Hrsg.: Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie der Georg-August-Universität Göttingen, S. 315
- Spellmann, H.; Nagel, J. (1989):** Zum Einfluß von Ausgangspflanzenzahl und Pflanzverband auf die Jugendentwicklung von Douglasienbeständen. *Forst und Holz* 17, S. 455–459
- Thurm, E.A.; Pretzsch, H. (2016):** Improved productivity and modified tree morphology of mixed versus pure stands of European beech (*Fagus sylvatica*) and Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) with increasing precipitation and age. *Annals of Forest Science* 73 (4), S. 1047–1061. DOI: 10.1007/s13595-016-0588-8
- Thurm, E.A.; Hernandez, L.; Baltensweiler, A.; Ayan, S.; Raszto-vits, E.; Bielak, K. et al. (2018):** Alternative tree species under climate warming in managed European forests. *Forest Ecology and Management* 430, S. 485–497. DOI: 10.1016/j.foreco.2018.08.028
- Thurm, E. A.; Falk, W. (2018):** Potential seltener Baumarten im Klimawandel unter Verwendung von Artverbreitungsmodellen. Tagungsband der Forstwissenschaftlichen Tagung 2018 in Göttingen, S. 50. Hrsg.: Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie der Georg-August-Universität Göttingen, S. 315
- Thurm, E.A.; Falk, W. (2019):** Standortansprüche seltener Baumarten: Wie Expertenwissen Artverbreitungsmodelle ergänzt. *AFZ DerWald*, eingereicht.
- de Wall, K.; Dreher, G.; Spellmann, H.; Pretzsch, H. (1998):** Struktur und Dynamik von Buchen-Douglasien-Mischbeständen. *Forstarchiv* 69 (5), S. 179–191

Projekt

Das Projekt B 76 »Nischenmodelle – Seltene heimische Baumarten und nichtheimische Baumarten im Klimawandel« wurde vom 1.9.2016 bis 30.11.2018 an der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft unter der Leitung von Wolfgang Falk und der Bearbeitung durch Dr. Eric Thurm durchgeführt. Das Projekt wurde durch das Bayerische Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten finanziert.

Link

www.lwf.bayern.de/boden-klima/baumartenwahl/144538/index.php