



# Anpassungsstrategien für produktive Fichtenwälder

Der Klimawandel mit großflächigen Schadereignissen stellt den zukünftigen Fichtenanbau selbst in montanen Lagen in Frage. Strategien zur Anpassung an die Ausfallrisiken der Fichte sind dringend gesucht. Dieser Beitrag vergleicht Anpassungsoptionen mit dem Ziel, heutige monetäre Erfolgsaussichten bei montanen Fichtenstandorten zu erhalten.

TEXT: JASPER M. FUCHS, ANIKA HITTEBECK, SUSANNE BRANDL, MATTHIAS SCHMIDT, CAROLA PAUL

**D**er Forstwirtschaft in Deutschland entstanden 2018 bis 2020 ca. 12,7 Mrd. € Schäden [1]. Insbesondere traditionelle Fichtenbetriebe montaner Lagen stehen vor der Frage, mit welchen Strategien produktive Potenziale unter gestiegenen Ausfallrisiken erhalten oder wiederaufgebaut werden können. Diese Studie [2] vergleicht innerhalb eines Simulations-Optimierungsmodells die Optionen Anpassung der Baumartenwahl (mit Mischbeständen aus Fichte, Buche und Douglasie) Anpassung der Umtriebszeit sowie Waldschutzmaßnahmen. Welche Anpassungspotenziale bestehen für das zukünftige forstliche Management aus ökonomischer Sicht?



Foto: J. Fuchs

**Auf bisherigen Fichtenstandorten erscheint eine angepasste Baumartenwahl** in Mischbeständen langfristig ökonomisch vorteilhafter als ein reaktives Borkenkäfermanagement.

## Schneller ÜBERBLICK

- » **Die Studie vergleicht** Strategien zum Erhalt ökonomischer Potenziale (bisher) typischer Fichtenstandorte
- » **Langfristig erscheint** eine angepasste Baumartenwahl in Mischbeständen ökonomisch vorteilhafter als ein reaktives Borkenkäfermanagement
- » **Kombinationen** verschiedener Maßnahmen erhöhen das Anpassungspotenzial
- » **Aus ökonomischer Sicht** ist die Beimischung hochproduktiver Nadelbaumarten mit hohen Erlöserwartungen im Maßnahmenbündel kaum durch andere Optionen zu ersetzen

## Abschätzung der Ausfallrisiken im Klimawandel

Simuliert wird ein Modellbestand im Wuchsgebiet Harz (550 m ü. NN) mit einer Jahresmitteltemperatur von 5,9 °C und einem Jahresniederschlag von 1.052 mm im Referenzzeitraum. Für die Zukunft wird unter dem Klimawandel-szenario RCP 8.5 eine Jahresmitteltemperatur von 9 °C und nahezu unveränderte 1.043 mm Jahresniederschlag angenommen. Mittels Überlebenszeitmodellen [3, 4] werden Ausfallrisiken geschätzt. Dabei erreicht Douglasie unter „heutigem“ Referenzklima (1960-1990) die höchste Überlebenswahrscheinlichkeit bis zum Alter 100 ( $S(100) = 83\%$ ),

Buche vergleichbare 80 % und Fichte deutlich geringere 53 % (durchgezogene Linien, Abb. 1, links). Im Klimawandel-szenario sinken die Überlebenswahrscheinlichkeiten (gestrichelte Linien, Abb. 1), wobei die Überlebenswahrscheinlichkeit der Douglasie unter jene der Buche fällt. Fichte erreicht das Alter 100 nur noch mit einer Wahrscheinlichkeit von 41 %. Die Modelle berücksichtigen, dass Mischbestände (Abb. 1, rechts für einen Mischungsanteil von 50 %) tendenziell stabiler als Reinbestände sind. Die Mischung wird dabei über den Anteil der jeweiligen Baumart selbst im Bestand berücksichtigt. Um Waldschutzmaßnahmen zu analysieren, wurde das Überlebenszeitmodell um ein Borkenkä-

## „Mischbestände mit produktiven Nadelbaumarten sind eine ökonomisch vielversprechende Option der Anpassung an klima-bedingte Ausfallrisiken.“

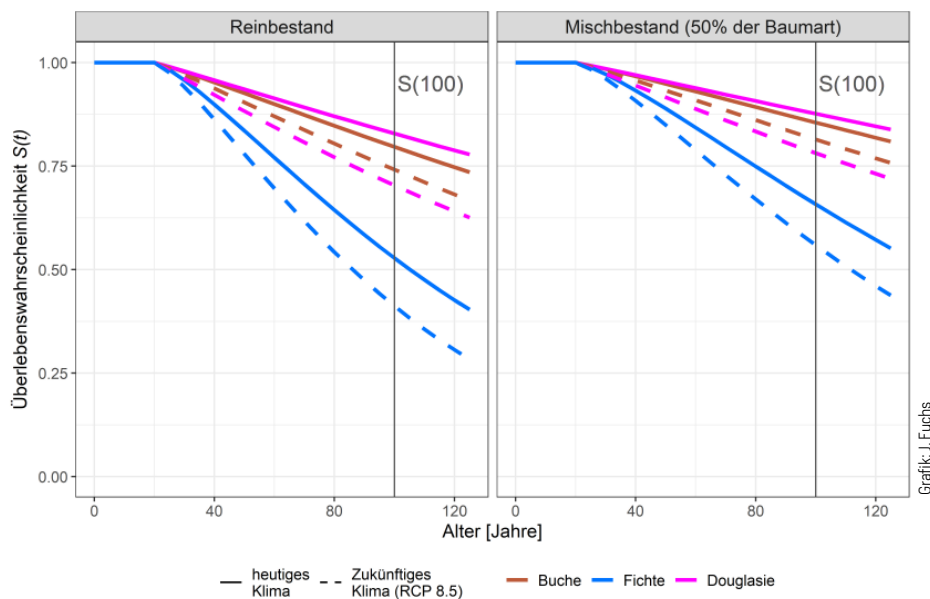
JASPER M. FUCHS

ferbefallsmodell erweitert [2]. Hierfür wird bestimmt, ob Käferholz anfällt [5, 6], und anschließend der befallene Anteil des Bestandes ermittelt [2]. Fällt der Bestockungsgrad nach Sanitätshieben unter 0,3, wird der Bestand vollständig genutzt und verjüngt.

### Erfolg aus Holzproduktion unter Berücksichtigung der Risiken

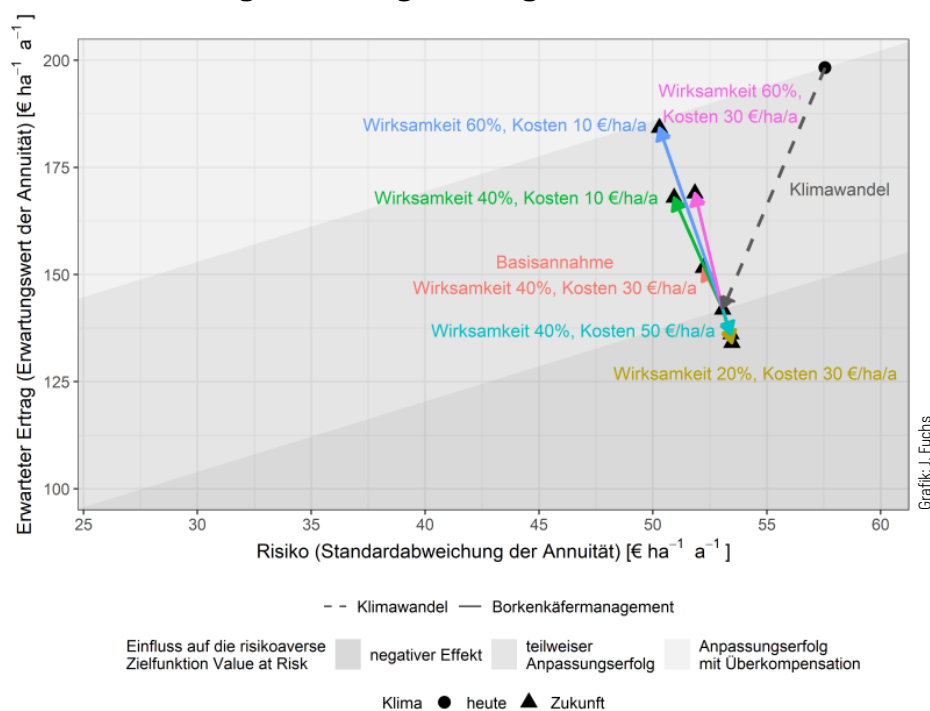
Zur Herleitung einer Kennzahl, die das Ziel des monetären Erfolgs aus Holzproduktion unter Risiko beschreibt, werden 10.000 Wachstumssimulationen eines Bestandes mit zufälligen Schadergebnissen durchgeführt und monetär bewertet [7]. Für das Wachstum wird ein dGZ max von 8,6 Vfm/ha/a für Buche, 12,2 Vfm/ha/a für Fichte und 13,6 Vfm/ha/a für Douglasie unterstellt. Der Zuwachs wird im Mittel über die Umtriebszeit mit 41 €/Vfm, 44 €/Vfm bzw. 28 €/Vfm (Douglasie, Fichte bzw. Buche) bewertet. Die Simulationen berücksichtigen vollständige Bestandesausfälle (z. B. durch Stürme), den teilweisen wie vollständigen Befall durch Borkenkäfer sowie verminderte Nettoerlöse für Schadholz und Preisschwankungen auf dem Holzmarkt. Aus den resultierenden Zahlungsströmen wird der finanzielle Ertrag als Bodenbruttorente (Annuität) hergeleitet [2]. Diese beschreibt den durchschnittlichen jährlichen Holzproduktionswert [8]. Die Simulationen werden für verschiedene Managementoptionen (Baumarten, Mischbestände, Umtriebszeiten, Borkenkäfermanagement) wiederholt. Durch die Berücksichtigung zufälliger Ausfall-

### Überlebenswahrscheinlichkeit steigt im Mischbestand



**Abb. 1:** Überlebenswahrscheinlichkeiten der Baumarten [4] im „heutigen“ Referenzklima (1960 bis 1990) und im zukünftigen Klima unter Annahme des starken Klimawandelszenarios RCP 8.5 (2050 bis 2080, MPI-ESM-LR) [21], wie in [2] hergeleitet. Links für Reinbestände, rechts für stabilere Baumartenmischungen mit einem Anteil der jeweiligen Baumart von 50 %. S(100): Wahrscheinlichkeit, dass ein Bestand das Alter 100 erreicht.

### Borkenkäfermanagement steigert Ertrag



**Abb. 2:** Negativer ökonomischer Effekt des Klimawandels (grau) und Anpassungserfolg durch Borkenkäfermanagement (Basisannahme in Orange) im Risiko-Ertrag-Diagramm. Die weiteren Pfeile illustrieren, wie der Anpassungserfolg auf Änderungen der Wirksamkeit und Kosten des Borkenkäfermanagements reagiert. Die Hintergrundschattierung zeigt den Anpassungserfolg bezüglich des Value at Risk als Zielgröße der risikoaversen entscheidenden Person.

und Marktrisiken erhält man nicht nur den erwarteten Ertrag, sondern auch dessen Streuung – im positiven wie im

negativen Sinne [9]. Intuitiv berücksichtigen risikoablehnende Personen in ihren Entscheidungen besonders die



negativen Abweichungen. Um die Präferenz einer solchen (moderat) risiko-ablehnenden Person nachzuahmen, nutzt der hier vorgestellte Ansatz den sogenannten Value at Risk (5%-Quantil): Das Modell sucht die Kombination aus Baumartenzusammensetzung und anderen Managementoptionen, die den in 95 % aller simulierten Fälle mindestens erreichten Ertrag maximiert. Es werden Diversifikationseffekte in zwei unterschiedlichen Ansätzen der Baumartenmischung berücksichtigt:

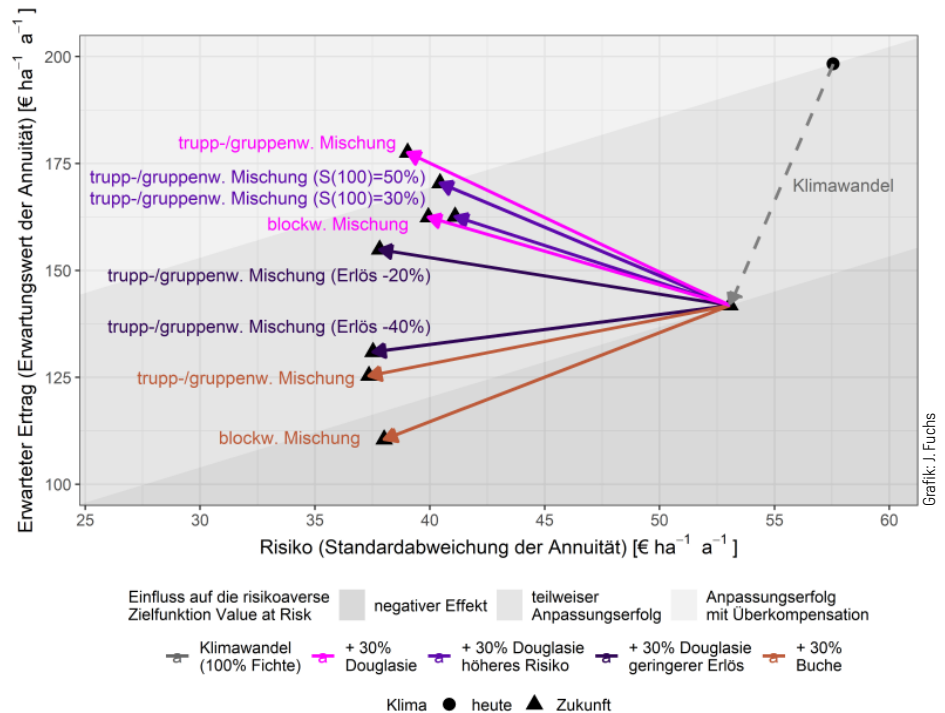
1. In der blockweisen Mischung kann der „Portfolioeffekt“ [10, 11, 12] zu einem geringeren ökonomischen Risiko führen, da die Ausfallrisiken und Preisschwankungen bei den Baumarten nicht vollständig korreliert sind und sich (teilweise) gegenseitig ausgleichen.
2. In der trupp- bis gruppenweisen Mischung können darüber hinaus biophysikalische Stabilisierungseffekte (Abb. 1, rechts) das ökonomische Risiko weiter reduzieren.

Als Referenz verwenden wir im Folgenden die Blockmischung und untersuchen das Potenzial, durch Mischbestände ökonomische Risiken im Klimawandel abzupuffern.

### Ökonomischer Effekt des Klimawandels

Unter Berücksichtigung des Referenzklimas (1960 bis 1990) und aus rein monetärer Ertragsperspektive wählt das Modell aus allen möglichen Blockmischungen von Fichte und Buche einen Fichtenreinbestand für den montanen Modellstandort aus. Für das zukünftige Klima (RCP 8.5) erreicht dieser Reinbestand allerdings nur noch einen Value at Risk von 53% des heutigen Wertes (grauer, gestrichelter Pfeil, Abb. 2-4). Von diesem Ertragsniveau aus suchen wir nun Managementoptionen, die den negativen Effekt des Klimawandels ausgleichen. Erzielt eine Option einen höheren Value at Risk als der Fichtenreinbestand (s. Grauschattierungen), bezeichnen wir dies als ökonomischen Anpassungserfolg – ausgedrückt als prozentualer Ausgleich des ökonomischen Klimaeffekts. Ein höherer Value at Risk kann dabei sowohl durch eine Reduktion des ökonomischen Risikos als auch durch eine Erhöhung des erwarteten Ertrags erreicht werden.

### Mischung senkt das Betriebsrisiko



**Abb. 3:** Negativer ökonomischer Effekt des Klimawandels (grau) und Anpassungserfolg durch Beimischung von 30 % Buche (braun) oder Douglasie (pink) im Risiko-Ertrag-Diagramm. Lila Pfeile illustrieren, wie der Anpassungserfolg durch Douglasiebeimischung vom zukünftigen Douglasienenerlös und von der Überlebenswahrscheinlichkeit bis zum Alter 100  $S(100)$  abhängt. Die Hintergrundschattierung zeigt den Anpassungserfolg bezüglich des Value at Risk als Zielgröße der risikoaversen entscheidenden Person.

### Wann ist ein intensives Borkenkäfermanagement sinnvoll?

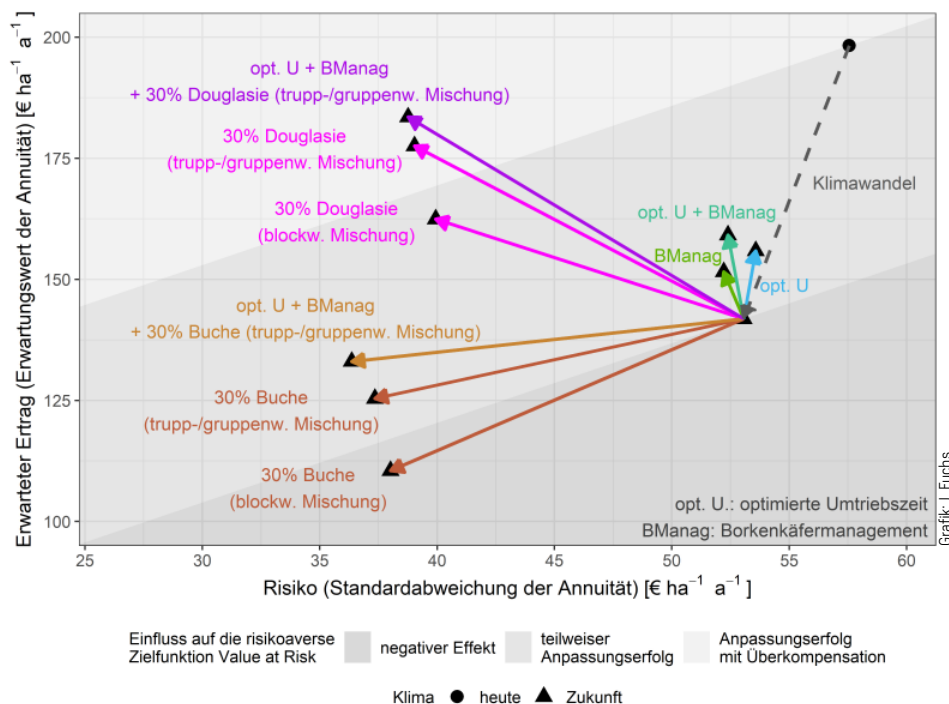
Wir untersuchen eine hypothetische Waldschutzmaßnahme, da belastbare Zahlen zu Kosten und Wirksamkeiten fehlen. Überschlägig kalkuliert wurden Kontrollgänge durch forstliche Assistenten während der Flugzeit des Buchdruckers (Kosten: 30 €/ha/a). Bei Befall erfolgt ein zeitnaher Sanitätshieb mit anschließender Polterbehandlung (Mehrkosten von 7,5 €/m<sup>3</sup>). Das Basiszenario nimmt als Wirksamkeit, eher optimistisch, eine Verminderung des befallenen Volumens um 40 % an [13, 14]. Ein solches Borkenkäfermanagement gleicht 22 % des negativen Effekts des Klimawandels aus (oranjer Pfeil, Abb. 2). Können vergleichbare Wirksamkeiten nicht zu moderaten Kosten erreicht werden, schwindet der Anpassungserfolg (gelber, türkiser Pfeil). Wird in der Kostenkalkulation neben der Arbeitszeit vor Ort beispielsweise auch der Zeitbedarf für Koordination berücksichtigt, rechtfertigen die durch die Maßnahme gesicherten Erlöse die Kosten ggf. nicht mehr (türkiser Pfeil).

Andererseits lassen Innovationen im Bereich der Käferbaumdetektion mittels Fernerkundung [15-17] auf künftig geringere Monitoringkosten [18] (grüner Pfeil) und höhere Wirksamkeiten (rosa Pfeil) hoffen. Nur im optimistischsten Fall, einer höheren Wirksamkeit zu geringeren Kosten (blauer Pfeil), gelingt ein nahezu vollständiger ökonomischer Anpassungserfolg (96 %). Ein intensives Borkenkäfermanagement scheint nur begrenzt geeignet, die ökonomischen Ertragspotenziale der Fichte unter steigenden klimatischen Risiken zu erhalten. In bereits bestehenden Fichtenbeständen mögen jedoch auch höhere Kosten gerechtfertigt sein. Ziele können hier die Vermeidung eines vorzeitigen Zwangsabtriebs mit Schadholzabschlägen und Hiebsunreifeverlusten oder die Sicherung der Nachbarbestände sein.

### Welche Eigenschaften sollten alternative Baumarten haben?

Eine langfristige Alternative zum Borkenkäfermanagement ist der Waldumbau, beispielsweise die Beimischung

## Kombinationen von Anpassungsoptionen



**Abb. 4:** Negativer ökonomischer Effekt des Klimawandels (grau) und Anpassungserfolg durch verschiedene (Kombinationen von) Anpassungsoptionen im Risiko-Ertrag-Diagramm. Die Hintergrundschattierung zeigt den Anpassungserfolg bezüglich des Value at Risk als Zielgröße der risikoaversen entscheidenden Person.

von 30 % Buche oder Douglasie in Fichtenbeständen. Sensitivitätsanalysen zeigen auf, welche Eigenschaften der Mischbaumart (bei Standortseignung) für den Anpassungserfolg bedeutsam sind. Die Beimischung von 30 % einer anderen Baumart zur Fichte (ohne Borkenkäfermanagement) reduziert vor allem das ökonomische Risiko (Abb. 3). Die Buchenbeimischung (braune Pfeile, Abb. 3) reduziert das Risiko durch einen höheren Produktdiversifikationseffekt etwas stärker als die Douglasienbeimischung (pinke Pfeile, Abb. 3). Die Buchenbeimischung reduziert jedoch auch die erwarteten Erträge, während die Beimischung der hochproduktiven Douglasie diese erhöht. Stabilere trupp- bis gruppenweise Mischungen sind der blockweisen Mischung vorzuziehen. Dies ermöglicht bezüglich des Value at Risks einen ökonomischen Anpassungserfolg von 19 % durch Buchen- und eine Überkompensation (120 %) durch Douglasienbeimischung. Aus allen möglichen Mischbeständen wählt das Modell einen Bestand mit 65 % Douglasie und 35 % Fichte - dieser erreicht einen Anpassungserfolg von 163 % [2]. Die Douglasie scheint als produktive

Nadelbaumart eine wichtige Rolle zur Abpufferung ökonomischer Risiken zu spielen. Unter anderem die Annahmen zu zukünftigen Ausfallrisiken und Holzerlösen unterliegen jedoch hohen Unsicherheiten. Unsere Sensitivitätsanalyse zeigt, dass der Anpassungserfolg durch Douglasienbeimischung stärker von den erwarteten Holzerlösen als von den Ausfallrisiken abhängt. Erzielt Douglasie um 20 % bzw. 40 % geringere Erlöse, fällt der Anpassungserfolg durch Douglasienbeimischung von 120 % auf 78 % bzw. 30 % (oberer pinke Pfeil vs. dunkellila Pfeile, Abb. 3). Das optimale Baumartenportfolio bei einer Reduktion des Douglasienenerlöses um 40 % ist ein Mischbestand aus 70 % Fichte, 20 % Buche und nur 10 % Douglasie [2]. Bei weiterer Erlösreduktion entfällt Douglasie zugunsten der Buche vollständig [2]. Unter steigenden Ausfallrisiken, beispielsweise durch Einschleppung angepasster Schadorganismen, bleibt der Anpassungserfolg durch Douglasienbeimischung hoch (violette Pfeile, Abb. 3). Fällt die Wahrscheinlichkeit der Douglasie, das Alter 100 zu erreichen, von 70 % (Abb. 1) auf 50 %, wäre hier noch ein vollständiger Ausgleich

des negativen Klimaeffekts möglich - selbst bei  $S(100) = 30\%$  würde der Effekt noch zu 83 % ausgeglichen (helllila Pfeile, Abb. 3). Dies ist auf zwei Faktoren zurückzuführen: Einerseits eine geringe optimale Umtriebszeit von Douglasie (hier 90 vs. 125 Jahre bei Buche), sie ist kürzer dem Ausfallrisiko ausgesetzt. Andererseits erreicht Douglasie bereits ab dem Alter von 45 auch bei Kalamitätsnutzung einen positiven Nettobarwert (Buche ab 90). Bei der Wahl einer alternativen Baumart sollten folglich neben ihrem Zuwachs vor allem die erwarteten Holzerlöse, und somit auch die mögliche Holzverwendung, bedacht werden. Bei Holzerlösen und Umtriebszeiten, die mit denen der Fichte vergleichbar sind, ist dann aus monetärer Sicht auch ein vergleichsweise hohes Ausfallrisiko noch akzeptabel.

## Wo der Wind weht, ist Erntezeit

Es liegt Zukunft in der Luft:

Sichern Sie sich langfristig lukrative Einnahmen durch Verpachtung oder Beteiligung. Unabhängig von Marktpreisen Wasser oder Wetter.

Tel: +49 5971-8608 49  
mhlady@cpc-germania.com



Wald, Weide, Acker...  
Wir suchen Ihre Fläche



land-check.cpc-germania.com



### Wie könnte ein geeignetes Maßnahmenbündel aussehen?

Weder ein intensiveres Borkenkäfermanagement (grüner Pfeil, Abb. 4) noch angepasste Umtriebszeiten (blauer Pfeil) oder die blockweise Beimischung von 30 % Buche (unterer brauner Pfeil) oder Douglasie (unterer pinker Pfeil) vermochten einzeln in den Simulationen die negativen ökonomischen Effekte des Klimawandels vollständig auszugleichen. Innerhalb der Einzelmaßnahmen senkt die blockweise Beimischung alternativer Baumarten das ökonomische Risiko am stärksten (Abb. 4). Im Gegensatz zur Beimischung von Buche führt die Beimischung von Douglasie dabei auch zu höheren erwarteten Erträgen.

Die Kombination verschiedener Managementoptionen erscheint dagegen als vielversprechende Strategie, um produktive Potenziale auf heute typischen Fichtenstandorten zu erhalten. Durch eine trupp- bis gruppenweise Beimischung von 30 % Douglasie kombiniert mit weiteren Optionen (lila Pfeil) wird bereits eine deutliche Überkompensation des Klimaeffekts erreicht (133 %). Es zeigt sich jedoch auch, dass die Beimischung von Douglasie in den Modellrechnungen kaum durch Kombinationen anderer Optionen (z. B. Anpassung der Umtriebszeit mit Borkenkäfermanagement [türkiser Pfeil], auch mit zusätzlicher Buchenbeimischung [hellbrauner Pfeil]) zu ersetzen ist.

### Grenzen des Modells

Die gezeigten Modellergebnisse haben keinen Anspruch auf Allgemeingültigkeit. Vielmehr sollen sie zur Diskussion der Risiko-Ertrag-Zusammenhänge in der Produktionsplanung beitragen.

Die zukünftigen Überlebenswahrscheinlichkeiten der Baumarten unterliegen hohen Unsicherheiten [4]. Sie basieren auf Mortalitätsdaten des europäischen ICP-Inventurnetzes für eine relativ kurze Zeitreihe von 2010 bis 2017. Eine Neukalibrierung mit dem Datensatz einschließlich der Fichten-

### Literaturhinweise:

Download des Literaturverzeichnisses in der digitalen Ausgabe von AFZ-Der Wald (<https://www.digitalmagazin.de/marken/afz-derwald/hauptheft/2023-3>) sowie unter [www.forstpraxis.de/downloads](http://www.forstpraxis.de/downloads)

kalamitäten ab 2018 würde vermutlich zu geringeren Überlebenswahrscheinlichkeiten führen. Ebenso würden häufigere Dürreereignisse vermutlich die Relationen zwischen Fichte und Douglasie verschieben. Da auch Buche zunehmend unter Trockenheit leidet [19], erscheinen die grundsätzlichen Unterschiede zwischen den Nadelhölzern und der Buche dennoch weiter konsistent. Stärkere negative Klimaeffekte, z. B. durch Trockenstress, könnten jedoch möglicherweise durch die diskutierten Managementoptionen nicht mehr vollständig ausgeglichen werden.

Weiterhin ist nicht berücksichtigt, dass Mischungen funktional ähnlicher Arten (z. B. Fichte und Douglasie) einen geringeren Stabilisierungseffekt erzielen dürften als die Beimischung von Laubhölzern in Fichten- oder Douglasienbestände. Dies könnte die relative Vorteilhaftigkeit der Mischungsform und Mischbaumarten beeinflussen. Unser Fokus liegt daher auf der Interpretation der Sensitivitätsanalyse, in der bei hohem Erlösniveau die Vorteilhaftigkeit der Douglasien- gegenüber der Buchenbeimischung aus ökonomischer Sicht recht robust erscheint.

Im Zentrum der Fragestellung steht hier der Erhalt des monetären Erfolgs aus der Holzproduktion auf Fichtenstandorten. Der Ansatz ist jedoch auf eine multifunktionale Zielsetzung erweiterbar. Dann würde das Modell voraussichtlich ein wesentlich diverseres Baumartenportfolio mit geringeren Nadelholzanteilen auswählen [20].

Die Analyseebene des Bestands ist nur bedingt auf einen Betrieb übertragbar. Räumlich korrelierte Schadereignisse bedeuten für einen lokalen Betrieb weit größere Herausforderungen als der hier untersuchte Ausfall eines einzelnen Bestandes. Eine vollständige Absicherung gegen solche Risiken einzig durch die Beimischung anderer Baumarten in frühere Fichtenbestände dürfte nur begrenzte Erfolgsaussichten haben. Bei großräumigen Kalamitäten kommen zudem weitere Restriktionen wie die Investitionsvolumina der Folgejahre oder Pflanzgutknappheit hinzu.

### Folgerungen für die Forstplanung

Forstliches Management scheint gegenüber negativen Klimaeffekten

nicht grundsätzlich machtlos zu sein. Kombinierte Anpassungsoptionen können vermutlich zumindest Teile der heute anzunehmenden Klimaeffekte ausgleichen. Eine proaktive Begründung stabilerer Mischbestände erscheint vielversprechender als reaktive Waldschutzmaßnahmen. Dabei senkt die Baumartendiversifikation insbesondere das ökonomische Risiko. Bei der Auswahl alternativer Baumarten ist der erwartete Holzerlös von besonderer Bedeutung. Somit ist die Beimischung einer hochproduktiven Nadelbaumart wie der Douglasie ökonomisch attraktiv, ggf. noch verstärkt durch eine zukünftige Verknappung des Nadelholzangebotes. Der Anpassungserfolg durch Douglasienbeimischung lässt sich kaum durch andere der untersuchten Anpassungsoptionen erreichen. Bemerkenswert ist, dass in Kombination mit anderen Anpassungsoptionen bereits geringe Douglasienanteile den Klimaeffekt in den Simulationen vollständig ausgleichen – dies verspricht Potenzial für Kompromisslösungen hinsichtlich der Berücksichtigung weiterer Waldfunktionen unter Erhalt aktueller Erfolgspotenziale aus Holzproduktion.



**Jasper M. Fuchs**

[jasper.fuchs@uni-goettingen.de](mailto:jasper.fuchs@uni-goettingen.de)

ist Doktorand an der Abteilung Forstökonomie und nachhaltige Landnutzungsplanung der Georg-August-Universität Göttingen, die **Prof. Dr. Carola Paul** leitet. **Anika Hittenbeck** war wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Abteilung Waldwachstum der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt, an der **Dr. Matthias Schmidt** das Sachgebiet Wachstums- und Risikomodellierung leitet. **Dr. Susanne Brandl** ist wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Abteilung Boden und Klima der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft.