Der Einfluss des Klimawandels auf die Baumartenwahl

Die langfristige Baumartenwahl ist eine der wichtigsten, aber auch schwierigsten strategischen Entscheidungen eines Forstbetriebs. Unsicherheiten in der zukünftigen Holzpreisentwicklung oder dem Eintreten von Schadereignissen sind seit jeher wichtiger Bestandteil forstlicher Planung. Der Klimawandel stellt die forstliche Produktionsplanung jedoch vor neue Herausforderungen. Aufbauend auf den empirischen Studien von Brandl et al. (S. 10 in dieser Ausgabe) untersucht dieses Teilprojekt des SURVIVAL-KW-Verbundes, finanziert durch den Waldklimafonds, daher die Auswirkungen sich verändernder Mortalitätsrisiken auf ökonomische Erträge und Risiken forstlicher Betriebe.

Carola Paul, Susanne Brandl, Stefan Friedrich, Fabian Härtl, Wolfgang Falk, Thomas Knoke

Als betriebliche Anpassungsstrategien an den Klimawandel werden eine Veränderung der Baumartenwahl hin zu klimatoleranten Arten sowie der Anbau von Mischbeständen empfohlen [1, 11]. Welche ökonomischen Folgen solche Veränderungen der Baumartenzusammensetzung und Mischungsform für Forstbetriebe haben, wurde bisher nur wenig quantifiziert. Ziel dieser Studie war es daher, den Einfluss des Klimawandels auf die ökonomisch ideale Baumartenzusammensetzung und Mischungsform zu untersuchen. Als Mischungsform wird hier unterschieden zwischen der Mischung von Baumarten in Reinbeständen auf Betriebsebene („Blockmischung") oder dem Anbau von Mischbeständen („Mischbestand"), z. B. in gruppenweiser Mischung. Während es in der Blockmischung zu keinen biophysikalischen Interaktionen zwischen den Baumarten kommt, können in Mischbeständen Effekte auf Bestandesstabilität und Wachstum erwartet werden. Weiterhin sollte untersucht werden, ob die Auswahl der ökonomisch idealen Baumartenzusammensetzung die ökonomischen Folgen eines sich verändernden Klimas für den Forstbetrieb abpuffern kann.

Methode: Baumartenwahl unter Risiko

Ein Simulations- und Optimierungsansatz auf Forstbetriebsebene diente zur Untersuchung dieser Fragestellungen [8]. Wir gehen davon aus, dass ein risiko-averser Entscheider den Forstbetrieb steuert. Im Gegensatz zum reinen Profit-Maximierer wägt dieser Entscheidungsträger zwischen Ertrag und Risiko ab. Zur Quantifizierung dieser subjektiven Einstellung wird der Value at Risk (VaR) verwendet. Dieses Maß stammt aus der Finanzwirtschaft und basiert auf der erwarteten Verteilung der Erträge [7], in unserem Fall der Annuitäten, d. h. die in €/(ha*Jahr) ausgedrückten Bodenrenten der verschiedenen Baumartenzusammensetzungen. Der Entscheider erwartet einen durchschnittlichen ökonomischen Ertrag, z. B. den erwarteten Mittelwert (Abb 2, grüne Linie), der (bei der Annahme der Normalver-

Foto: Archivbild

Abb. 1: Kann die Anpassung der Baumartenzusammensetzung sowie der Mischungsform das Risiko klimabedingter Ausfälle kompensieren?

Schneller Überblick

- Empirisch abgeleitete Überlebenswahrscheinlichkeiten unterstützen die ökonomische Baumartenwahl
- Ein bio-ökonomisches Modell berechnet ideale langfristige Baumartenzusammensetzung und Mischungsform unter Klimawandel
- Mischbestände helfen das Risiko ökonomischer Verluste zu reduzieren
- Anpassung von Baumartenzusammensetzung und Mischungsform kann das Risiko der klimabedingten Verluste nicht vollständig kompensieren

teilung) die höchste Eintrittswahrscheinlichkeit hat. Schwankende Holzpreise und Schadereignisse sorgen jedoch dafür, dass die Erträge mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit höher und niedriger ausfallen als erwartet (s. Abb. 2).

Ein risiko-averser Entscheider wird danach streben, den Ertrag (hier Annuität pro ha und Jahr) zu maximieren, der mit einer vorgegebenen Wahrscheinlichkeit mindestens erreicht wird (s. rote Linie in Abb. 2). In unserer Studie wurde die Annuität maximiert, die mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % nicht unterschritten wird.

Die dafür notwendige Verteilung der erwarteten Annuitäten aus der Etablierung verschiedener Baumarten oder -mischungen ist normalerweise unbekannt. Sie kann jedoch durch Monte-Carlo-Simulationen unter Berücksichtigung von heutigen oder möglichen zukünftigen Risiken generiert werden. In dieser Studie gingen als stochastische Elemente historische Holzpreisschwankungen und die von Brandl et al. (s. S. 10) abgeleiteten empirischen Überlebenswahrscheinlichkeiten (konvertiert in Ausfallwahrscheinlichkeiten [10]) für Fichte und Buche im Reinbestand und mit verschiedenen Mischungsanteilen in die Simulation ein. So können (unter anderem) die ökonomischen Konsequenzen einer eintretenden Kalamität und die daraus folgende ungeplante Verkürzung der Umtriebszeit (und verfrühte Neubegründung), die verringerten Erträge aus der Holznutzung und die Kosten für die Reetablierung einbezogen werden. In unserer Studie wurden damit Verteilungen für jede Baumart und jede Mischung von Reinbeständen oder Mischbeständen ermittelt.

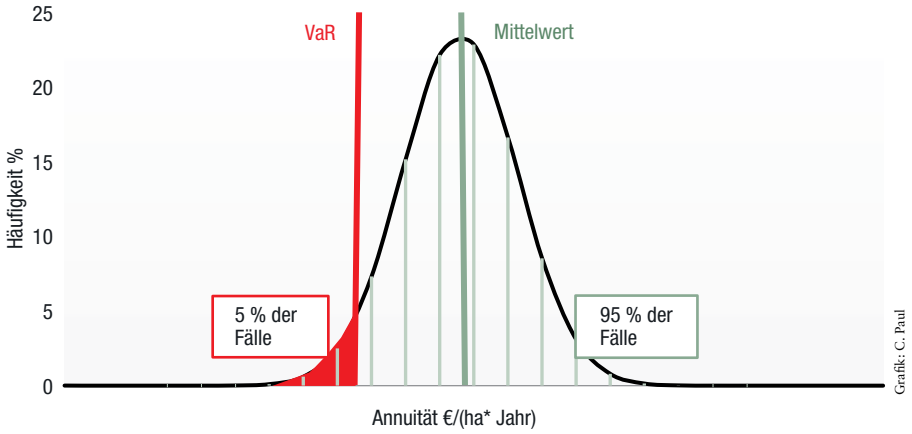

Abb. 2: Schematische Darstellung des Value at Risks (VaR), basierend auf der simulierten, normalverteilten Annuität einer Baumart

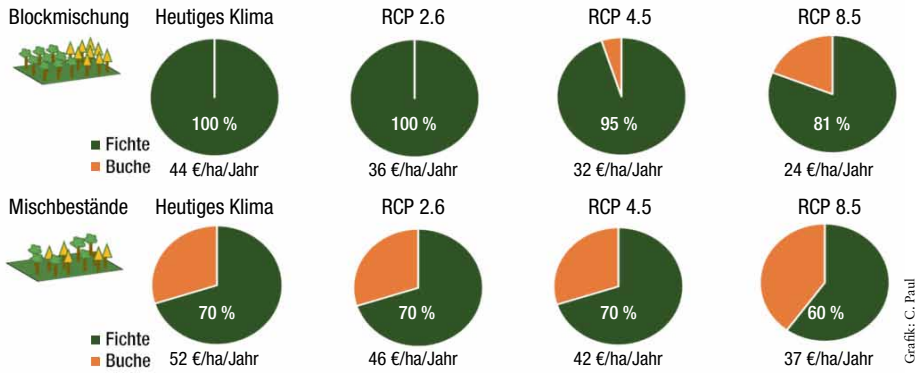

Abb. 3: Ökonomisch ideale Baumartenzusammensetzung für einen Beispielbetrieb im Bayerischen Wald unter heutigem Klima (linke Spalte) und erwarteten zukünftigen Klimaszenarien (RCP Szenarien) in Blockmischung (ohne biophysikalische Interaktionen, wie Stabilisierungseffekte, oben) und Mischbeständen (mit Stabilisierungseffekten nach Brandl et al. [s. S. 10 in dieser Ausgabe], unten). Die Prozentzahlen in den Torten zeigen den Anteil der Fichte im optimierten Portfolio. Die Werte unter den Tortendiagrammen zeigen den Wert der Zielfunktion (Value at Risk), also der Annuität, die in unserer Simulation mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % nicht unterschritten wurde.

Beispielanwendung des Modellansatzes im Bayerischen Wald

Wir wenden das für diese Fragestellung entwickelte bio-ökonomische Modell beispielhaft auf eine „Kolle"-Schadfläche eines imaginären Forstbetriebs im Bayerischen Wald (Wuchsbezirk Innerer Bayerischer Wald) an. Zu Beginn der Simulation wird daher von unbestocktem Waldboden ausgegangen. Die Baumartenwahl beschränkt sich zunächst auf die beiden Hauptbaumarten Buche und Fichte und alle Mischungsanteile in Rein- oder Mischbeständen. Das Waldwachstum wurde hierzu mit dem Waldwachstumssimulator SILVA 2.0 simuliert (s. Datensatz [2, 3]). Die Annahmen zu Kosten und Erlösen wurden aus Clasen et al. [2] für den Standort übernommen. Diese erwarteten Deckungsbeiträge weichen jedoch durch schwankende Holzpreise (für den Zeitraum 1975 bis 2017 [9]) und das mögliche Eintreten einer Kalamität ab. Der Eintritt einer Kalamität (abgeleitet aus der Überlebenszeitanalyse von Brandl et al.) führt zum ungeplanten Abtrieb des Bestandes, der Halbierung der Deckungsbeiträge [4] und zur schadensbedingten Wiederaufforstung im gleichen Jahr (zu Begründungskosten von 2.000 €/(ha*Jahr) für Fichte und 3.000 €/(ha*Jahr) für Buche). Für die hier dargestellten Ergebnisse wurde ein Kalkulationszins von 1,5 % unterstellt. Die Eintrittswahrscheinlichkeit der Kalamität hängt von Baumart, Mischungsanteil und Klimaszenario ab. Die Klimaszenarien basieren auf den heutigen Klimadaten (nach [12]) und den aus dem Klimamodell des Max-Planck-Institutes (MPI-ESM-LR) [6] abgeleiteten zukünftigen Klimadaten am Beispielstandort für die Konzentrationspfade RCP 2.6, 4.5 und 8.5. Die Zahlen beziehen sich auf die vom Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) angenommenen Szenarien für den zukünftigen Strahlungsantrieb und die Treibhausgaskonzentration. Eine Erhöhung ist nach heutigem Wissensstand für unsere Breiten mit einer Erhöhung der Temperatur und Verringerung der Niederschläge verbunden [12].

Ergebnisse

Fichtenanteil unter Klimawandel nur moderat reduziert

Für unseren Beispielstandort, an dem die Fichte standortheimisch ist, ist die Etablierung Nadelholz-dominierter Bestände aus ökonomischer Sicht weiter vorteilhaft. Dies galt sogar für das extremste Klimaszenario (RCP 8.5 Szenario). Der ökonomisch ideale Fichtenanteil wurde in unserem Modell in der Blockmischung von 100 % (unter heutigem Klima) auf 80 % (RCP 8.5 Szenario) reduziert (s. obere Tortendiagramme in Abb. 3). Im Mischbestand läge der ökonomisch ideale Fichtenanteil mit 70 % auch unter heutigem Klima niedriger und würde unter dem extremsten Szenario auf 60 % (RCP 8.5) absinken (s. untere Tortendiagramme in Abb. 3). Dieser niedrigere Anteil erklärt sich durch den positiven Effekt der Mischung auf die Überlebenswahrscheinlichkeit der Fichte (vgl. Brandl et al., S. 10). Die Überlebenswahrscheinlichkeit der Fichte im Alter von 100 Jahren lag am Beispielstandort unter heutigem Klima bei 50 % im Reinbestand, aber bei bis zu 74 % im Buchen-Fichten-Mischbestand (10 % Fichte und 90 % Buche). Im extremsten Klimaszenario (RCP 8.5) lag die Überlebenswahrscheinlichkeit der Fichte bei 37 % im Reinbestand und 65 % im Mischbestand mit 90 % Buche. Im Vergleich dazu lag die niedrigste Überlebenswahrscheinlichkeit der Buche im Alter 100 in unserem Modell bei 69 % (Reinbestand, RCP 8.5 Szenario). Daher erscheint es auch aus ökonomischer Sicht vorteilhaft, die beiden Baumarten zu mischen und den stabilisierenden Effekt für die Fichte zu nutzen.

Mischbestände unter Klimawandel vorteilhaft

Die gruppenweise Mischung war unter allen Klimaszenarien ökonomisch sämtlichen Blockmischungen überlegen. Bezugsgröße für diesen Vergleich war stets der VaR. Dieser war im idealen Mischbestand um bis zu 54 % höher als in der idealen Blockmischung (s. Werte unter den Tortendiagrammen in Abb. 2). Die Vorteilhaftigkeit stieg mit zunehmender Intensität des unterstellten Klimawandels, repräsentiert durch die RCP-Szenarien. Der Mischbestand war auch für alle Fichtenanteile der Blockmischung überlegen. So hatte ein Mischbestand mit 90 % Fichte im strengsten Klimaszenario immer noch einen VaR von 30 €/(ha*Jahr), lag also um 25 % über dem der ökonomisch idealen Blockmischung (vgl. Abb. 3). Ist das strategische Produktionsziel eine Beibehaltung hoher Fichtenanteile, erscheint nach unseren Modellergebnissen die Etablierung von Mischbeständen vorteilhaft.

Modellierte Klimawandeleffekte führen zu ökonomischen Verlusten

Unsere Ergebnisse zeigen auch, dass man selbst unter der Annahme, dass der Forstbetrieb den zukünftigen Klimazustand kennt und seine Baumartenzusammensetzung entsprechend anpasst, mit ökonomischen Verlusten rechnen muss. In unserem Modell verringerte sich die Annuität, die mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % mindestens erreicht wird, unter Klimawandel um bis zu 28 % (Abb. 3). Dies zeigt, dass die Anpassung des Baumartenportfolios die ökonomischen Konsequenzen des Klimawandels zwar puffern, aber nicht komplett auffangen kann.

Schlussfolgerungen

Das bio-ökonomische Modell zeigt, dass klimabedingte Änderungen der Überlebenswahrscheinlichkeiten bei der Neubegründung von Beständen berücksichtigt werden sollten. Mischbestände scheinen durch die stabilisierende Wirkung finanzielle Risiken besser abzupuffern. Doch selbst bei einer theoretisch idealen Bestandeszusammensetzung unter bekanntem zukünftigem Klima erleidet der Forstbetrieb in unserer Simulation ökonomische Verluste. An unserem Beispielstandort schlug das Modell jedoch keine drastische Absenkung des Fichtenanteils vor, trotz der sehr hohen unterstellten Ausfallrisiken. Die vorgestellte Beispielrechnung konzentriert sich auf den Effekt der sich ändernden Überlebenswahrscheinlichkeiten. Unberücksichtigt bleiben mögliche Wachstumseffekte und langfristige Verschiebungen in den Verbreitungsarealen [5], aber auch ein Umbau mit anderen Baumarten als Buche. Unter Einbeziehung der, nach heutigem Wissen, wahrscheinlichen Wachstumsveränderungen in einer Sensitivitätsanalyse, wurde der Fichtenanteil zwar reduziert, es kam aber nicht zur Auswahl buchendominierter Bestände. Dies wäre nur unter extremen klimatischen Veränderungen denkbar. Eine moderate Fichten-Buchen-Mischung bietet eine robuste Kompromisslösung zur Abwägung von Risiko und Ertrag.

Schlussendlich unterstreicht unsere Studie die Bedeutung langfristiger und europaweiter Inventurdaten, wie dem ICP Forest-Netzwerk. Der Klimawandel führt zu deutlichen Änderungen der Überlebenswahrscheinlichkeiten und infolgedessen zu ökonomischen Einbußen. Eine verbesserte Schätzung der Risiken auf großräumiger Datenbasis unterstützt die angepasste Planung unter Klimawandel.

Literaturhinweise:

[1] BOLTE, A.; AMMER, C.; LÖF, M.; MADSEN, P.; NABUURS, G.-J.; SCHALL, P. et al. (2009): Adaptive forest management in central Europe: Climate change impacts, strategies and integrative concept. Scan. J. For. Res., 24(6), 473-482. [2] CLASEN, C. (2015): Der Verlust von Baumarten in Mischbeständen durch Schalenwildverbiss. Dissertation. München. [3] CLASEN, C.; GRIESS, V.; KNOKE, T. (2011): Financial consequences of losing admixed tree species: A new approach to value increased financial risks by ungulate browsing. For. Pol. Econ., 13(6), 503-511. [4] DIETER, M.; MOOG, M.; BORCHERT, H. (2001): Considering Serious Hazards in Forest Management Decision-Making. In: GADOW, K. von, editor. Risk Analysis in Forest Management. Dordrecht: Springer Netherlands, 201-232. [5] DYDERSKI, M.; PAZ, S.; FRELICH, L.; JAGODZINSKI, A. (2017): How much does climate change threaten European forest tree species distributions? Glob. Change Biol. [6] HIJMANS, R.; CAMERON, S.; PARRA, J.; JONES, P.; JARVIS, A. (2005): Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. Int. J. Climatol., 25(15), 1965-1978. [7] JORION, P. (2009): Value at risk: The new benchmark for managing financial risk. 3rd ed. New York, NY: McGraw-Hill. [8] KNOKE, T.; SEIFERT, T. (2008): Integrating selected ecological effects of mixed European beech – Norway spruce stands in bioeconomic modelling. Ecol. Modell., 210(4), 487-498. [9] MESSERER, K.; PRETZSCH, H.; KNOKE, T. (2017): A non-stochastic portfolio model for optimizing the transformation of an even-aged forest stand to continuous cover forestry when information about return fluctuation is incomplete. Ann. For. Sci., 74(2), 45. [10] STAUPENDAHL, K. (2011): Modellierung der Überlebenswahrscheinlichkeit von Waldbeständen mithilfe der neu parametrisierten Weibull-Funktion. Forstarchiv, 82(1), S. 10-19. [11] TEUFFEL, K.; BAUMGARTEN, M.; HANEWINKEL, M.; KONOLD, W.; SAUTER, U.; SPIECKER, H. et al. (2005): Waldumbau: Für eine zukunftsorientierte Waldwirtschaft: Springer-Verlag. [12] WorldClim. (Februar 20, 2018): WorldClim – Global Climate Data – Free climate data for ecological modeling and GIS; Available from: www.worldclim.org.

Prof. Dr. Carola Paul, carola.paul@uni-goettingen.de, ist Leiterin der Abteilung Forstökonomie und nachhaltige Landnutzungsplanung der Georg-August-Universität Göttingen und ehemalige Koordinatorin des SURVIVAL-KW Projektes. **Susanne Brandl** und **Wolfgang Falk** forschen an der Abteilung Boden und Klima an der Bayerischen Landesanstalt für Wald- und Forstwirtschaft. **Stefan Friedrich** und **Dr. Fabian Härtl** sind Mitglieder der Professur Waldinventur und nachhaltige Nutzung an der Technischen Universität München, welche von **Prof. Dr. Thomas Knoke** geleitet wird.