



ALTERNATIVEN ZU FICHTENREINBESTÄNDEN

Kurze Umtriebszeiten und die damit verbundenen ökonomischen Erfolge führten dazu, dass die Fichte zum Brotbaum der mitteleuropäischen Forstwirtschaft wurde. Speziell reine Fichtenbestände in Kahlschlagswirtschaft sind aber durch den Klimawandel gefährdet. Dennoch können Forst- und Holzwirtschaft nicht auf Nadelholz verzichten. Die TU München stellt einen Ansatz vor, bei dem die Eingriffstärken nicht vordefiniert, sondern die Ergebnisse der Optimierung sind. Die erzielten Resultate zu Fichten-Tannen-Buchen- und Douglasien-Tannen-Buchen-Mischwäldern stimmen optimistisch.

F Forstwirtschaft in Mitteleuropa war in der Vergangenheit wirtschaftlich geprägt von reinen Fichtenbeständen. So repräsentieren Fichtenbestände beispielsweise rund 45 % des ökonomischen Wertes der europäischen Wälder, obwohl ihr Flächenanteil in ganz Europa nur 15 % umfasst.

Besonders in den tieferen Lagen werden reine Fichtenbestände aber mittlerweile sehr stark durch Dürre, Borkenkäfer und Wind geschädigt. In solchen Fichtenbeständen maximieren aus ökonomischer

Sicht kurze Umtriebszeiten um die 70 Jahre den ökonomischen Erfolg, wie etwa die Bodenrente. Fichtenreinbestände unterliegen einem enormen Risiko. Selbst wenn wir Extremszenarien ausschließen und nur mit einer milden, zufallsgeprägten Unsicherheit rechnen, kann die pessimistische Bodenrente 58 % unterhalb der optimistischen Bodenrente liegen.

MODELLANSATZ ZUR OPTIMIERUNG ALTERNATIVER BESTANDESTYPEN

Vor dem Hintergrund der sich in Zukunft vermutlich noch verschärfenden Pro-

bleme bei der Wirtschaft mit reiner Fichte lohnt es sich, über Alternativen nachzudenken. Um den Zielfindungsprozess zu unterstützen, wurde an der Professur für Waldinventur und nachhaltige Nutzung der Technischen Universität München ein neuer Optimierungsansatz entwickelt, den wir hier nutzen, um optimale Alternativen zu finden. Dabei werden Baumartenzusammensetzung und Eingriffstärken nicht vordefiniert, sondern sind Ergebnisse der Optimierung.

In unserem Fall unterstellen wir, dass der Waldbesitzer sich gegen Risiken →

ÖKONOMISCHE UND ÖKOLOGISCHE KENNWERTE FÜR DIE DREI BESTANDESTYPEN

| KENNWERT | FICHTE KAHLSCHLAG | TANNE MISCHWALD | DOUGLASIE MISCHWALD |
|---|----------------------|--------------------|------------------------|
| Bodenertragswert [€/ha] (Zinsrate 1,5%) | 9.435 | 8.562 | 11.242 |
| Äquivalente Jahresrente (Deckungsbeitragsäquivalent oder auch Bodenrente) - [€/ha x Jahr] | 141 | 128 | 169 |
| Shannon-Index der vorhandenen Altersklassen | 0 | 3,21 | 2,89 |
| Summe der Deckungsbeiträge über 120 Jahre [€/ha] | 17.870 | 24.070 | 32.972 |
| Durchschnittliche Kohlenstoffspeicherung [t/ha] | 48 | 76 | 96 |
| Spanne zwischen erwarteter optimistischer und pessimistischer Zielerreichung - [%] | 58 | 9 | 7 |

absichern möchte, aber dennoch eine möglichst hohe Bodenrente erzielen will. Grundsätzlich könnte man aber auch andere Zielsetzungen simultan berücksichtigen.

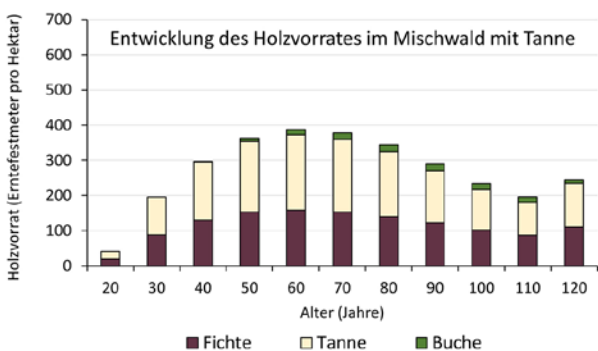
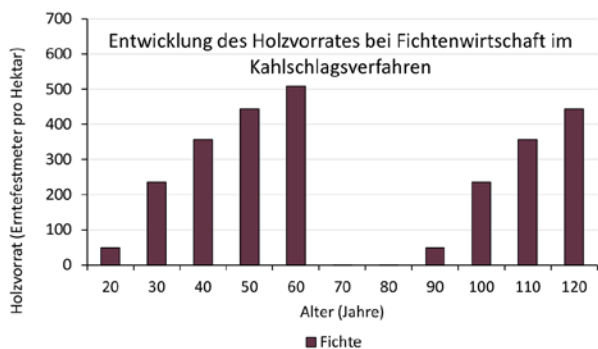
EINBEZIEHUNG VON AUSFALLRISIKEN

Wir können derzeit maximal drei Baumarten in die Optimierung auf Bestandesebene einbeziehen und betrachten zunächst einen Mischwald aus Fichte und Buche mit Tanne und alternativ mit Douglasie. Die Eingangsdaten wurden aus ertragskundlichen Wachstumsfunktionen abgeleitet, zudem wurden aktuelle Ausfallrisiken einbezogen. Anhand dieser Ausfallrisiken kann man eine Standardabweichung der erwarteten Deckungsbeiträge ableiten. Schließlich wurde für jede Baumart neben dem optimistischen (erwarteten) ein pessimistisches Szenario der Deckungsbeiträge berücksichtigt, das eine Differenz zum optimistischen Szenario von dreimal der Standardabweichung aufweist.

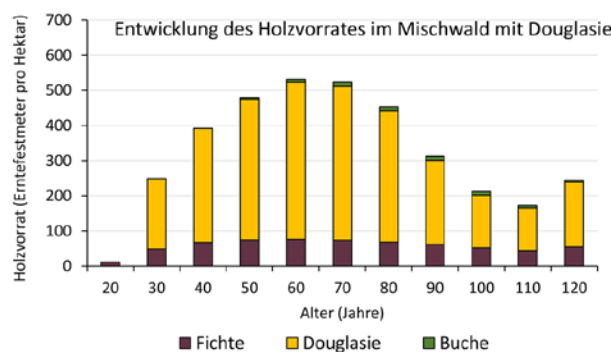
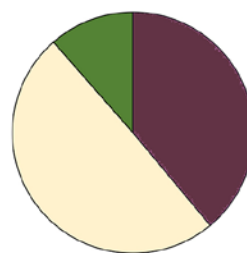
Jede paarweise Kombination zwischen optimistischen und pessimistischen Szenarien wurde schließlich in Form von entsprechenden Eingangskoeffizienten berücksichtigt. Ein mathematischer Algorithmus suchte dann diejenigen Baumartenmischungen und Verteilungen der Holzentnahmen, die den Abstand zwischen der Bodenrente im schlechtesten Szenario zur Bodenrente im bestmöglichen Szenario minimierten (Spanne zwischen erwarteter optimistischer und pessimistischer Zielerreichung in der Tabelle).

VERÄNDERTE BESTANDESZUSAMMENSETZUNG UND BEWIRTSCHAFTUNG

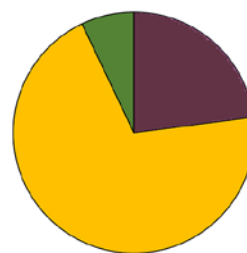
Durch die Vorgabe, eine Risikoabsicherung zu erhalten, kommt es zu einer gänzlich anderen Bestandeszusammensetzung und Bewirtschaftung als im Fichten-Kahlschlagsbestand. Um die pessimistischen Deckungsbeiträge einzelner Baumarten zu bestimmten Eingriffszeitpunkten möglichst gut zu puffern, setzt die Optimierung auf eine Diversifizierung



Flächenanteile der Baumarten (%)



Flächenanteile der Baumarten (%)



Entwicklung des Holzvorrates in Abhängigkeit von Bewirtschaftungsform und Bestandeszusammensetzung

der Baumarten und der Eingriffszeitpunkte, was zu ungleichaltrigen Beständen führt. Diese werden durch früh einsetzende und gestaffelte Verjüngung (Beginn im Alter von 40 Jahren) erreicht, wie die Abbildung zeigt.

Im Fall des von Tannen dominierten Bestandes wird eine Art Prämie zur Risikominderung fällig, was sich in einem rund 9 % niedrigeren, unter optimistischen Bedingungen erwarteten Bodenertragswert äußert. Allerdings fällt eine Reihe anderer Indikatoren deutlich besser aus als im reinen Fichtenbestand mit Kahlschlag. So sind der Shannon-Index (der die Diversität der Altersklassen auf Bestandesebene charakterisiert), die Summe der über 120 Jahre erzielten Deckungsbeiträge, die durchschnittliche Kohlenstoffspeicherung in der oberirdischen Biomasse des Bestandes und die erwartete Differenz zwischen optimistischer und pessimistischer Zielerreichung deutlich besser im ungleichaltrigen Mischbestand als im gleichaltrigen Reinbestand.

Der ungleichaltrige Mischbestand mit Douglasie ist der reinen Kahlschlagsfichte in allen Zielkriterien überlegen. Nicht nur Bodenertragswert und Summe der Deckungsbeiträge fallen deutlich höher aus; die Kohlenstoffspeicherung des Bestandes ist doppelt so hoch wie im reinen Fichtenbestand. Die Buche nimmt in unserem Modell nur geringen Raum ein, da sie

KURZGEFASST

- ▶ Reine Fichtenbestände in Kahlschlagsbewirtschaftung sind besonders in tiefen Lagen durch Dürre, Stürme und Schädlinge gefährdet.
- ▶ Forst- und Holzwirtschaft wollen nicht auf Nadelholz verzichten.
- ▶ Ungleichaltrige Mischwälder verringern das Ausfallrisiko und erhöhen die durchschnittliche Kohlenstoffspeicherung.
- ▶ Ungleichaltrige Mischbestände mit Douglasie sind im Modell der reinen Kahlschlagsfichte auch in ökonomischer Hinsicht überlegen.

zwar stabile, allerdings im Vergleich zum Nadelholz deutlich geringere Erträge liefert. Dies könnte sich bei anderen Rahmenbedingungen auf dem Holzmarkt auch ändern.

LOHNENDE UND RELATIV NATURNAHE BESTANDESTYPEN

Somit scheinen sehr lohnende und noch dazu relativ naturnahe Bestandestypen zu existieren, die in unsicheren Zeiten attraktive Alternativen zu traditionellen Fichten-Altersklassenbeständen darstellen. Die beschriebenen Bestandestypen resultieren dabei aus rein ökonomischen Zielsetzungen. Ihre Zusammensetzung

und Struktur ändert sich allerdings, wenn andere Zielkriterien in die Optimierung einbezogen werden. Beispielsweise steigt bei multiplen Zielsetzungen der Buchenanteil auf bis zu 27 %, aber eben auch nicht höher. ■

▶ **Thomas Knoke, Technische Universität München, knoke@tum.de**

▶ **Stefan Friedrich, Technische Universität München**

Literatur:

Brandl, S., Paul, C., Knoke, T., Falk, W. 2020. The influence of climate and management on survival probability for Germany. *Forest Ecol. Manage.* 458, 117652.

Hanewinkel, M., Cullmann, D.A., Schelhaas, M.-J., Nabuurs, G.-J., Zimmermann, N.E., 2013. Climate change may cause severe loss in the economic value of European forest land. *Nat. Clim. Chang.* 3 (3), 203–207.

Knoke, T., Kindu, M., Jarisch, I., Gosling, E., Friedrich, S., Bödeker, K., Paul, C., 2020. How considering multiple criteria, uncertainty scenarios and biological interactions may influence the optimal silvicultural strategy for a mixed forest. *For. Policy Econ.* 118, 102239.

Knoke, T., Gosling, E., Thom, D., Chreptun, C., Rammig, A., Seidl, R., 2021. Economic losses from natural disturbances in Norway spruce forests – A quantification using Monte-Carlo simulations. *Ecol. Econ.* 185, 107046.

SCHADHOLZ-MONITORING MITTELS SATELLITEN

Deutschland verlor in den vergangenen drei Jahren fast 50.000 ha Laubwald und mehr als 200.000 ha Nadelwald. Eine Kombination aus Schädlingen, Trockenheit sowie großen Sturmereignissen und die schleichenden Auswirkungen des Klimawandels sorgten Jahr für Jahr für teils riesige Kalamitätsmengen in der Bundesrepublik. Mittels Satellitentechnologie gelingt es nun erstmals, die deutschen Waldflächen genau zu kartie-

ren, um somit valide Aussagen über die Zustandsveränderungen treffen zu können. Die hochauflösenden Kameras des sich seit 2016 im Orbit befindenden Erdbeobachtungssatelliten können neben der Baumdicke auch den dominierenden Blatttyp einer Waldfläche identifizieren, um so zwischen Laub- und Nadelholz zu differenzieren. Die dabei entstandene und frei einsehbare Karte verdeutlicht große regionale Unterschiede. ■