

**Zeitschrift:** Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse

**Herausgeber:** Schweizerischer Forstverein

**Band:** 171 (2020)

**Heft:** 4

**Artikel:** Wie lässt sich angesichts von zunehmenden Extremereignissen noch planen? (Essay)

**Autor:** Chreptun, Claudia / Härtl, Fabian / Knoke, Thomas

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1097295>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 01.05.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Wie lässt sich angesichts von zunehmenden Extremereignissen noch planen? (Essay)

**Claudia Chreptun** Fachgebiet für Waldinventur und nachhaltige Nutzung, Technische Universität München (DE)\*  
**Fabian Härtl** Fachgebiet für Waldinventur und nachhaltige Nutzung, Technische Universität München (DE)  
**Thomas Knoke** Fachgebiet für Waldinventur und nachhaltige Nutzung, Technische Universität München (DE)  
**Carola Paul** Abteilung Forstökonomie und nachhaltige Landnutzungsplanung, Georg-August-Universität Göttingen (DE)

## Wie lässt sich angesichts von zunehmenden Extremereignissen noch planen? (Essay)

Die zunehmende Häufung und Intensität von Extremereignissen stellt eine grosse Herausforderung für eine geordnete Forstwirtschaft dar. Damit eine mittel- und langfristig ausgerichtete Forstplanung unter diesen unsicheren Bedingungen noch sinnvoll durchgeführt werden kann, müssen die erprobten Instrumente der Forstplanung mit neuen Methoden erweitert werden. Dazu eignen sich computergestützte Verfahren wie die Modellierung und Optimierung unter Unsicherheit sowie Szenarienvergleiche, zum Beispiel mit verschiedenen Klimaprojektionen. Die Erkenntnisse aus den Modellen ersetzen dabei nicht die fachgerechte Planung vor Ort, unterstützen aber die Entscheidungen mit Informationen und ergänzen somit die traditionellen Forstplanungsinstrumentarien. Die Forschungsergebnisse zeigen zum Beispiel, dass die Verringerung des Vorrats, die Diversifizierung bei der Baumartenwahl sowie die zeitliche Verteilung der Holzeinschläge Mittel sind, um mit einem erhöhten Risiko umzugehen. Auch sind Kompromisslösungen für mehrere mögliche Zukunftsszenarien zu bevorzugen, um die Verluste in ungünstigen Varianten zu verringern. So können in einer betrieblich ausgewogenen Mischung auch risikoempfindliche, aber wirtschaftlich einträgliche Baumarten wie die Fichte noch Anteil an der Forstwirtschaft haben.

**Keywords:** forest planning, extreme events, risk, uncertainty, robust optimization, portfolio theory  
**doi:** 10.3188/szf.2020.0184

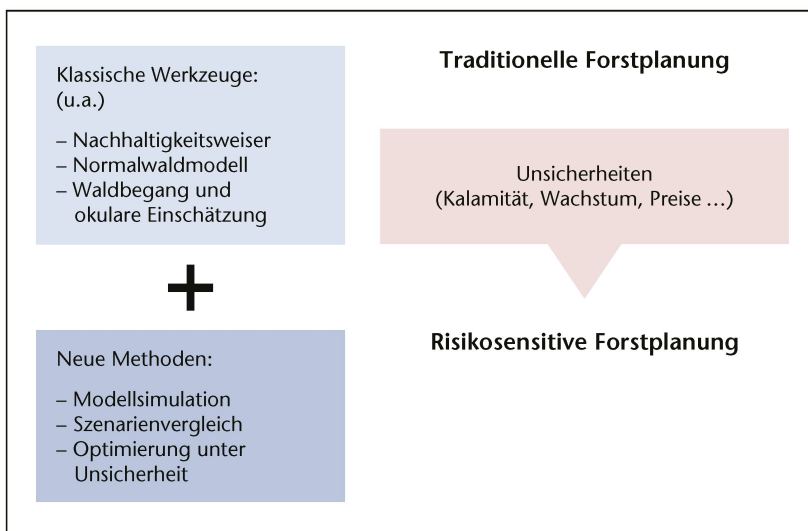
\* Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 2, DE-85354 Freising, E-Mail chreptun@mytum.de

Verheerende Kalamitätsereignisse wie der Eissturm 2014 in Slowenien, der Sturm Friederike 2018 in Deutschland oder der Hitzesommer 2018 in der Schweiz haben die Forstwirtschaft in den letzten Jahren vor grosse Herausforderungen gestellt. Prognosen gehen leider von keiner Entspannung aus, sondern rechnen eher mit einer Zunahme der Extremereignisse in der Zukunft (Ummenhofer & Meehl 2017). Doch gerade in Zeiten grosser Unsicherheiten sind strategische Planungen und die Abwägung von Handlungsalternativen besonders wichtig. Damit eine mittel- und langfristig ausgerichtete Forstplanung unter diesen Umständen noch sinnvoll durchgeführt werden kann, müssen die erprobten Instrumente der Forstplanung mit neuen Methoden erweitert werden (Abbildung 1). Ein wichtiger Aspekt ist dabei, die Risiken und Unsicherheiten in die Planung zu integrieren. Dabei helfen zum Beispiel Verfahren aus anderen Forschungsdisziplinen

wie der Entscheidungstheorie oder der stochastischen Mathematik. Zudem erlauben die gesteigerten Rechnerkapazitäten auch die Anwendung komplexerer Modelle, die für die Analyse verschiedener Handlungsoptionen und Planungsszenarien nötig sind.

### Das Optimierungsmodell YAFO als Beispiel für eine risikosensitive Nutzungsplanung

Im forstlichen Optimierungsprogramm YAFO wird über die Wahl der Zielgrösse das Risiko in die Planung integriert (Härtl et al 2013). YAFO optimiert auf Betriebsebene die Einschlagsplanung für mehrere Planungsperioden. In jeder Periode kann entweder eine Durchforstung oder die Endnutzung der Fläche oder einer Teilfläche durchgeführt werden. Falls



**Abb 1** Kombination der bewährten Methoden mit neuen Verfahren für eine risikosensitive Forstplanung.

die Endnutzung nur auf Teilflächen durchgeführt wird, also kleinere sowie räumlich und zeitlich gestreute Hiebe durchgeführt werden, verändert sich dadurch auch die Strukturierung des Waldbildes.

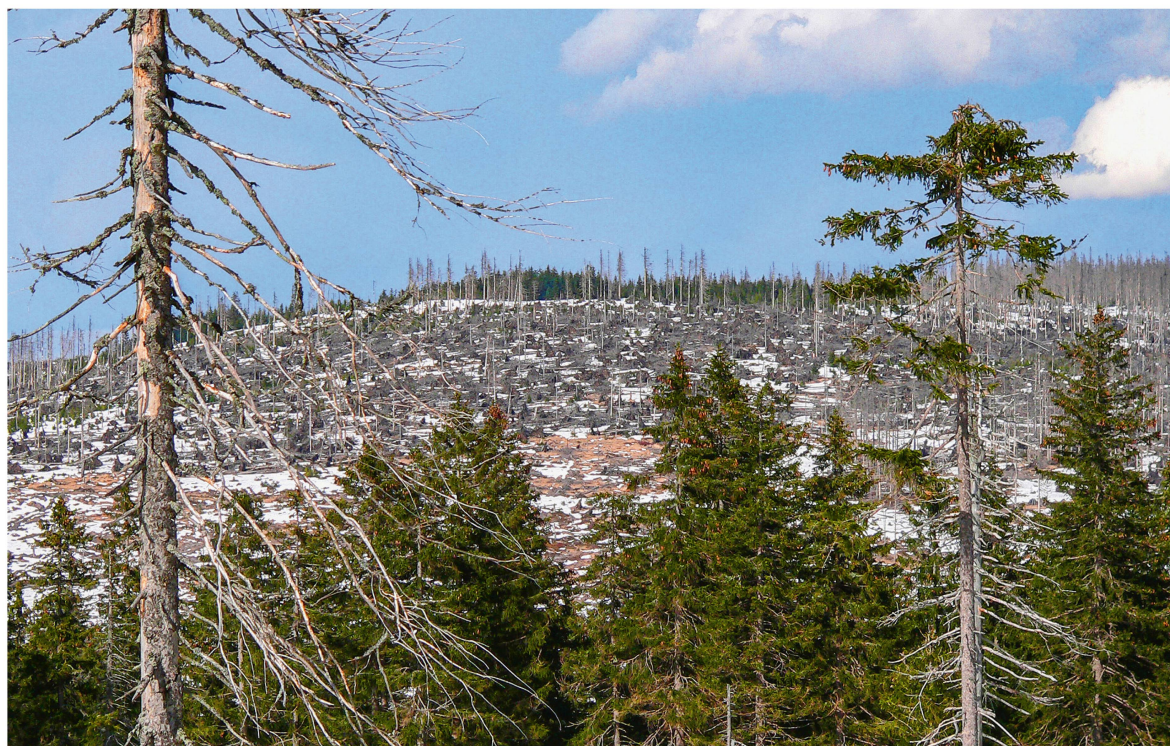
Als Zielgröße für die Optimierung kann zum einen der Barwert aller Aktivitäten gewählt werden. Dabei werden die Erlöse abzüglich der Holzerntekosten über den Planungszeitraum hinweg diskontiert und summiert. Eine Berücksichtigung von Preisschwankungen, Kalamitäten (Abbildung 2) oder anderen forstlichen Risiken findet unter dieser Zielsetzung noch nicht statt. Zum anderen kann aber auch eine Zielgröße gewählt werden, die Risiken in der Optimierung berücksichtigt. Ein bekannter Kenn-

wert aus der Finanzmathematik ist der Value at Risk (VAR). Als Input für die Berechnung des VAR wird eine mögliche Verteilung der Ergebnisse in Abhängigkeit verschiedener zukünftiger Entwicklungen erzeugt. In YAFO werden dazu die Schwankungen von Holzpreisen und das Auftreten von Kalamitäten berücksichtigt. Treten zufällig viele Kalamitäten auf, ist das finanzielle Ergebnis schlechter, treten wenige auf oder sind die Holzpreise gut, ist es besser. Wiederholt man diese Simulationen zum Beispiel 1000 Mal, ergibt sich eine Verteilungskurve der möglichen Barwerte. Das Ziel der Optimierung nach VAR ist dann nicht, den Mittelwert dieser Verteilung zu maximieren, sondern einen konservativeren Wert. Ein üblicher Wert ist das 5. Perzentil ( $Q_{0,05}$ ), d.h., in 95% der Fälle sollte das Ergebnis in der Realität über diesem Barwert liegen.

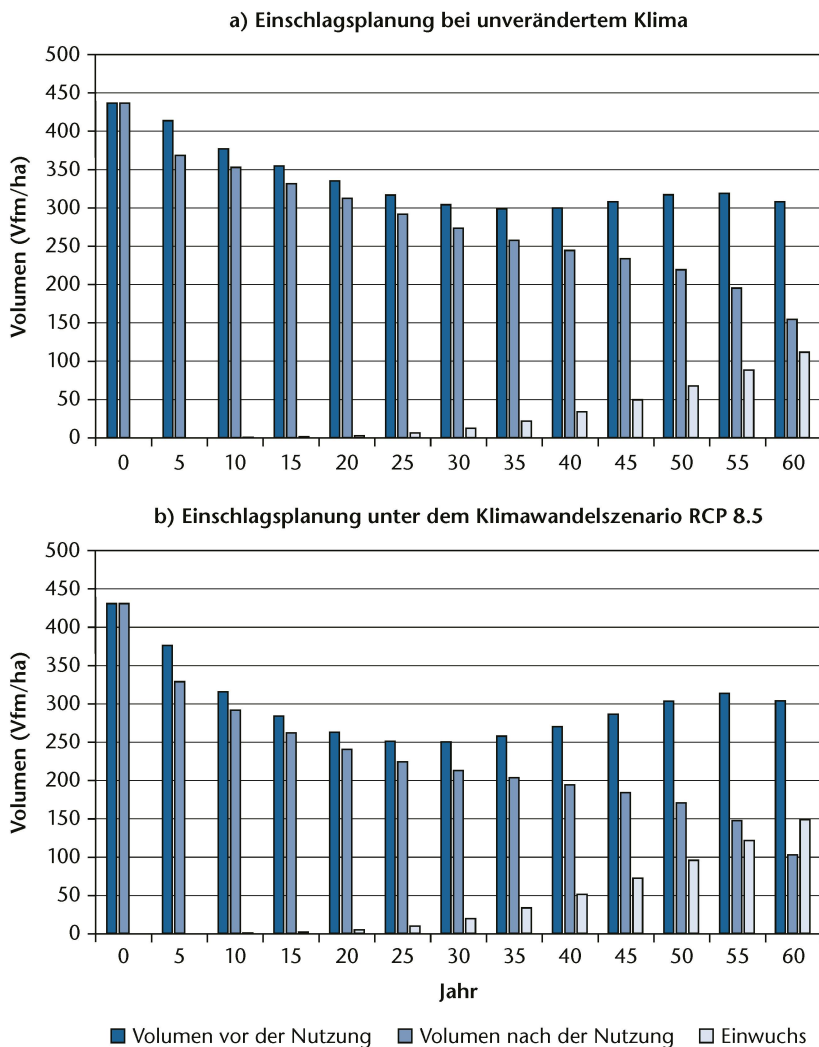
Vergleicht man zum Beispiel in einer Fallstudie die optimierte Einschlagsplanung zum Erhalt multifunktionaler Wälder auf zwei Gebirgsstandorten in Österreich und Slowenien, sieht man, dass YAFO auf beiden Standorten eine Vorratsabsenkung zur Reduktion des Risikos vorschlägt (Projekt ARANGE<sup>1</sup>, Härtl et al 2016).

Als weitere Option stellt YAFO ein Verfahren zur robusten Optimierung bereit (Ben-Tal et al 2009). Dabei werden Lösungen gesucht, die akzeptable Ergebnisse für viele mögliche Bedingungen ergeben (Härtl & Knoke 2019). Für die Eingangsdaten werden dazu keine festen Größen angenommen, sondern es wird eine Spannweite möglicher Werte definiert.

<sup>1</sup> [www.arange-project.eu](http://www.arange-project.eu) (20.4.2020)



**Abb 2** Waldfläche im Bayerischen Wald nach einer Borkenkäferkalamität. Foto: Johannes Urban (21. April 2012)



**Abb 3** Optimierte Einschlagsplanung für den Wald der Ludwig-Maximilians-Universität München, a) für ein Klima ohne Änderung und b) für das Klimawandelszenario RCP 8.5, wobei hier eine Veränderung der Überlebenswahrscheinlichkeiten der Hauptbaumarten basierend auf Brandl et al (2020) angenommen wird. Verändert nach Härtl et al 2019

Ein Vorteil der robusten Optimierung ist, dass keine Informationen über die Verteilung der unsicheren Parameter nötig sind. So analysierten Härtl & Knoke (2019) damit die Kosten verschiedener Totholzbereitstellungsstrategien unter einer unsicheren Preisentwicklung (Projekt BioHolz<sup>2</sup>). In einem anderen Beispiel zeigt die optimierte Einschlagsplanung für den Universitätswald der Ludwig-Maximilians-Universität München unter einem Klimawandelszenario eine raschere Vorratsabsenkung und eine Verkürzung der Umtriebszeit zur Risikoreduktion (Härtl et al 2019; Abbildung 3).

### Portfoliooptimierung zum Einbezug von Risiken in die Produktionsplanung

Eine der zentralen Entscheidungen im Forstbetrieb ist die Baumartenwahl. Mit Blick auf die Stabilität gegenüber Extremereignissen gestaltet sich gerade diese Entscheidung als besondere Herausfor-

derung. Eine klare Prognose über die zukünftige Produktivität, Stabilität und Preisentwicklung verschiedener bereits verbreiteter sowie neuer Baumarten war bisher nicht möglich. Doch gerade jetzt ist es wichtig, systematisch zu analysieren, unter welchen Umständen bestimmte Baumarten eine geeignete Alternative sein könnten. Hierbei gilt es, verschiedene Alternativen gleichzeitig zu betrachten und insbesondere auch die Effekte der Mischung unterschiedlicher Baumarten mit einzubeziehen. Denn besonders die Mischung hat das Potenzial, biophysikalische, aber auch ökonomische Risiken abzumildern. Zur Klärung dieser Fragen steht ein Instrument der Finanzwissenschaft zur Verfügung: die Portfoliotheorie. Diese Theorie wurde bereits umfangreich auf die Baumartenwahl angewendet (siehe Überblickartikel von Matthies et al 2019 und Knoke et al 2017). Sie zeigt, dass ökonomische Risiken durch die Mischung verschiedener Anlagen oder Produkte (hier Baumarten) dann reduziert werden können, wenn deren ökonomische Erträge nicht perfekt miteinander korreliert sind. Das ist zum Beispiel der Fall, wenn die Holzpreisverläufe oder die Anfälligkeit für bestimmte Schädlinge nicht gleich sind.

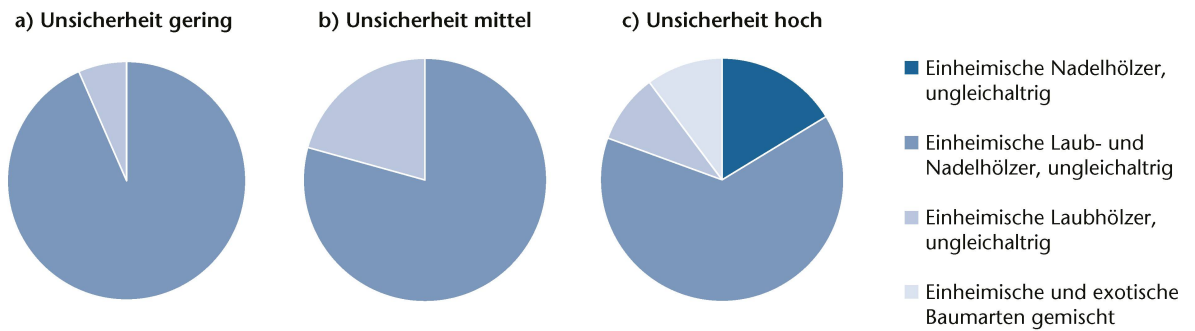
Im Projekt SURVIVAL-KW<sup>3</sup> (Paul et al 2019a) konnte gezeigt werden, dass die Stabilität von Nadelbaumarten wie Fichte und Douglasie durch eine Mischung deutlich erhöht werden kann (Brandl et al 2020). Diese Studie liefert mithilfe eines statistischen Ansatzes Hinweise darauf, dass die Mortalität dieser wirtschaftlich bedeutenden Baumarten auch bei steigenden Temperaturen durch eine geschickte Mischung der Baumarten reduziert werden kann. Werden diese statistischen Erkenntnisse in die ökonomische Analyse integriert, zeigt sich für eine Fallstudie im Bayerischen Wald, dass Mischbestände unter einem Klimawandelszenario ökonomisch vorteilhafter gegenüber Reinbeständen (in diesem Fall aus Fichte und Buche) sind. Aber auch gegenüber dem Anbau von Reinbeständen mit jeweils verschiedenen Baumarten auf Betriebsebene (grossflächige Mischungen) sind Bestände mit einer kleinflächigen Mischung die bessere Alternative (Paul et al 2019b).

Auch die Zusammensetzung der gesamten Waldlandschaft kann als Portfolio robust optimiert werden. Im Projekt FOREXCLIM<sup>4</sup> wurde dazu eine Umfrage zu acht Waldtypen und deren Fähigkeit, fünf Ökosystemleistungen bereitzustellen, durchgeführt (Chreptun 2019). Aus den Angaben der über 600 Teilnehmer für den Wald in Deutschland wurden die Mittelwerte und der Standardfehler berechnet. Diese Werte bestimmen die Bandbreite der möglichen Szenarien, für die die optimierten Mischungen

2 [www.bioholz-projekt.de](http://www.bioholz-projekt.de) (20.4.2020)

3 [www.ifm.wzw.tum.de/projekte](http://www.ifm.wzw.tum.de/projekte) > Veränderte Überlebenszeit von Waldbeständen (20.4.2020)

4 [www.forexclim.eu](http://www.forexclim.eu) (20.4.2020)



**Abb 4** Optimierte Zusammensetzung der Waldlandschaft für Deutschland für die simultane Bereitstellung von fünf Ökosystemleistungen und drei Unsicherheitsniveaus. Aufgeführt sind nur die vier Waldtypen, die Teil des optimierten Portfolios sind.

die bestmöglichen Ergebnisse liefern sollen. Diese optimierte Zusammensetzung der Waldlandschaft berücksichtigt nicht nur eine, sondern alle fünf in der Umfrage verwendeten Ökosystemleistungen. Das Ziel sind also multifunktionale Wälder. Die Ergebnisse zeigen eine Mischung von Waldtypen mit einer Präferenz für einheimische Baumarten in ungleichaltrigen, gemischten Beständen (Abbildung 4).

### Modellergebnisse als Entscheidungsunterstützung für die Praxis

Wie die Auswahl der vorgestellten Modelle zeigt, ist es möglich, Entscheidungen unter Unsicherheit mit verschiedenen Zielkriterien zu erproben und die Konsequenzen einzelner Handlungsalternativen zu vergleichen. Dabei können den Simulationen veränderte Einflussfaktoren, zum Beispiel unterschiedliche Klimaszenarien oder Ausfallwahrscheinlichkeiten der Baumarten, hinterlegt werden. Dadurch bekommt man Informationen, die sich so mit echten Versuchen im Wald angesichts der langen Entwicklungszeiträume und der vergleichsweise schnellen klimatischen Änderung nicht gewinnen lassen. Die Modellergebnisse können die fachkundigen Entscheidungen in der Praxis nicht ersetzen, aber mit ihnen kann die Planung entscheidend unterstützt werden.

Folgende Ergebnisse lassen sich bisher aus den Modellen für eine risikosensitive, mittel- bis langfristige forstliche Planung ableiten:

- 1) Durch eine strategische Planung mit Berücksichtigung verschiedener Zukunftsszenarien lassen sich Kompromisslösungen finden, die für viele mögliche Bedingungen ein akzeptables Ergebnis liefern. Diese Denkweise kann auch mit weniger komplexen Modellen im operativen Geschäft umgesetzt werden. Damit werden die Auswirkungen besonders schlechter Szenarien reduziert, während gleichzeitig die Opportunitätskosten zur Verringerung dieser Risiken möglichst niedrig gehalten werden.
- 2) Durch Diversifikation lassen sich die möglichen betriebswirtschaftlichen Konsequenzen klima-

wandel- und marktbedingter Risiken abfangen. Hierzu gehört nicht nur die Baumartenmischung, sondern auch die Verteilung der geplanten Einschläge im zeitlichen Verlauf und die vorsichtige Reduktion der Umtriebszeit und des Vorrats (Härtl et al 2019). Auch die Streuung der betrieblichen Einkommensquellen sollte eine wichtige strategische Überlegung im Management von Forstbetrieben sein. Zum Beispiel kann, falls möglich, das Holzgeschäft mit anderen Sparten kombiniert werden.

3) Unsicherheit besteht nicht nur hinsichtlich betriebswirtschaftlicher Auswirkungen des Klimawandels, sondern auch bezüglich der Bereitstellung verschiedener Ökosystemleistungen. Die Modelle verdeutlichen auch hier die Bedeutung der Diversifikation von Bestandestypen für eine sichere Versorgung in unsicheren Zeiten.

4) Trotz der aktuell kritischen Lage auf dem Nadelholzmarkt zeigen die Modelle, dass die nachgefragten Nadelholzarten wie die gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels besonders anfällige Fichte in Mischung weiterhin eine Rolle spielen können (Friedrich et al 2019).

5) Betriebswirtschaftliche Grundzusammenhänge gelten auch für eine unsichere Zukunft: Zum Beispiel können hohe Pflanzkosten die Effekte der höheren Stabilität in der Baumartenmischung ausbremsen (Paul et al 2019b, Paul & Benfer 2019).

Langfristig sollen solche Modellbetrachtungen die klassischen Werkzeuge der Forstplanung nicht ersetzen. Um eine fundierte und transparente Entscheidungsgrundlage zu schaffen, können sie aber als zusätzliche Weiser die Betrachtung erweitern. Denn gerade in Zeiten grosser Veränderung ist eine solide Informationsgrundlage wichtig, um die Planung dynamisch und nachvollziehbar durchführen und anpassen zu können. ■

*Eingereicht: 16. April 2020, akzeptiert (ohne Review): 17. April 2020*

### Dank

Die Ergebnisse der vorgestellten Projekte wären ohne die freundliche Finanzierung verschiedener

Institutionen nicht möglich gewesen: Europäische Union (EU), Siebtes Forschungsrahmenprogramm für ARANGE; Bundesministerium für Bildung und Forschung für BioHolz; Waldklimafonds (Förderkennzeichen: 22WC4088) für Survival-KW; Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung und EU FP7 ERA-NET Sumforest für FOREXCLIM.

## Literatur

- BEN-TAL A, EL GHAOUI L, NEMIROVSKII AS (2009)** Robust optimization. Princeton: Princeton Univ Press. 542 p.
- BRANDL S, PAUL C, KNOKE T, FALK W (2020)** The influence of climate and management on survival probability for Germany's most important tree species. *For Ecol Manage* 458: 117652.
- CHREPTUN C (2019)** Praxiswissen für die Forschung: Umfrage zu Waldtypen und Risiko. *AFZ/Der Wald* 74 (15): 18–20.
- FRIEDRICH S, PAUL C, BRANDL S, BIBER P, MESSERER K ET AL (2019)** Economic impact of growth effects in mixed stands of Norway spruce and European beech – a simulation based study. *For Pol Econ* 104: 65–80.
- HÄRTL F, BARKA I, HAHN A, HLÁSNY T, IRAUSCHEK F ET AL (2016)** Multifunctionality in European mountain forests – an optimization under changing climatic conditions. *Can J For Res* 46: 163–171.
- HÄRTL F, HAHN A, KNOKE T (2013)** Risk-sensitive planning support for forest enterprises. The YAFO model. *Comput Electron Agric* 94: 58–70.
- HÄRTL F, KNOKE T (2019)** Coarse woody debris management with ambiguous chance constrained robust optimization. *Forests* 10: 504.
- HÄRTL F, PAUL C, KNOKE T (2019)** Entwicklung des Universitätswaldes der LMU im Klimawandel. *AFZ/Der Wald* 75 (2): 28–31.
- KNOKE T, MESSERER K, PAUL C (2017)** The role of economic diversification in forest ecosystem management. *Curr For Rep* 3 (2): 93–106.
- MATTHIES BD, JACOBSEN BREDAHL J, KNOKE T, PAUL C ET AL (2019)** Utilising portfolio theory in environmental research – new perspectives and considerations. *J Environ Manage* 231: 926–939.
- PAUL C, BENFER N (2019)** Risiko und Risikomanagement in Theorie und Praxis. *AFZ/Der Wald* 74 (22): 31–34.
- PAUL C, HÄRTL F, KNOKE T (2019A)** Das Waldklimafonds-Verbundprojekt SURVIVAL-KW. *AFZ/Der Wald* 74 (2): 9.
- PAUL C, BRANDL S, FRIEDRICH S, FALK W, HÄRTL F ET AL (2019B)** Climate change and mixed forests. How do altered survival probabilities impact economically desirable species proportions of Norway spruce and European beech? *Ann For Sci* 76: 14.
- UMMENHOFER CC, MEEHL GA (2017)** Extreme weather and climate events with ecological relevance. A review. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 372: 1723.

## Comment pouvons-nous encore planifier face au nombre croissant d'événements extrêmes? (Essai)

La fréquence et l'intensité croissantes des événements extrêmes représentent un défi majeur pour la sylviculture raisonnée. Pour que la planification forestière à moyen et long terme puisse encore être réalisée de manière sensée dans ces conditions incertaines, les instruments éprouvés de la planification forestière doivent être complétés par de nouvelles méthodes. Les méthodes assistées par ordinateur, telles que la modélisation et l'optimisation dans des conditions d'incertitude et la comparaison de scénarios, par exemple avec différentes projections climatiques, sont particulièrement appropriées à cette fin. Les connaissances acquises grâce aux modèles ne remplacent pas la planification professionnelle sur place, mais soutiennent les décisions par des informations et complètent ainsi les instruments traditionnels de planification forestière. Les résultats de la recherche montrent, par exemple, que la réduction du matériel sur pied, la diversification dans le choix des espèces d'arbres et la répartition temporelle de l'exploitation forestière sont des moyens de gérer un risque accru. Il est également préférable de trouver des solutions de compromis pour plusieurs scénarios futurs possibles afin de réduire les pertes dans les variantes défavorables. Ainsi, dans un mélange équilibré sur le plan opérationnel, même les espèces d'arbres sensibles aux risques mais économiquement rentables, telles que l'épicéa, peuvent encore avoir une place dans la sylviculture.

## How can we still plan in view of the increasing number of extreme events? (Essay)

The increase in the number and the intensity of extreme events is a serious challenge for sustainable forestry. In order to be able to carry out forest planning oriented to the medium- and long-term under these uncertain conditions, the tried and tested forest planning instruments have to be supplemented with new methods. Computer-based approaches like simulation, optimization under uncertainty and scenario analyses comparing e.g. different climate change projections may offer suitable tools. The findings from such models do not replace the expert planning on-site, but may support informed and transparent decisions by complementing traditional methods of forest planning. The results of recent research show for example that strategies, such as a careful reduction of the growing stock and the diversification of tree species as well as stretching the harvest schedule over times, may help to deal with an increased risk. Compromise solutions for several possible future scenarios are also preferred, as they reduce the worst-case losses. Within such a balanced strategy, it might still be possible to include risky but economically attractive tree species in the enterprise's portfolio such as spruce.