



# Überlebenschancen der Hauptbaumarten im Uniwald Landshut

Der Klimawandel beeinflusst maßgeblich die Überlebenschancen der heimischen Baumarten und dadurch auch die anfallenden Schadholzmengen. In den letzten Jahren häufen sich Ausfälle durch Trocken- und Hitzeereignisse, sowie Insekten und Pilzbefall. Vor allem unvorhergesehene Schadereignisse bereiten der Forstbranche immer wieder Probleme. Welche Baumarten sind am stärksten davon betroffen und wie lässt sich die zu erwartende Schadholzmenge abschätzen? Mögliche Antworten liefern Modelle der Überlebenszeitanalyse.

TEXT: ELIAS RANK, BENJAMIN GANG

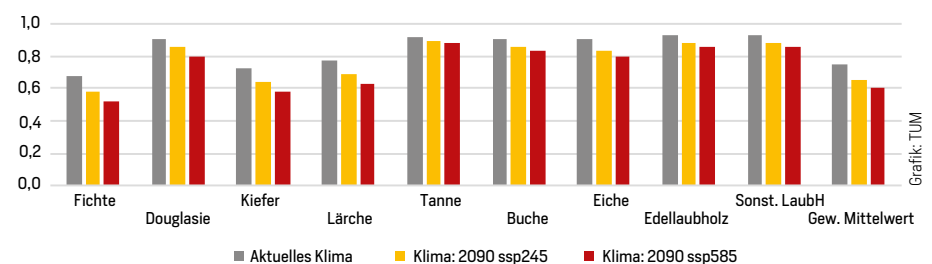
**B**esonders in der Forstbranche sind die Veränderungen durch den Klimawandel und deren Auswirkungen auf die Wälder, wegen der jahrzehntelangen Produktionszeiträume schwer vorherzusehen. Verlässliche Modelle, die die Überlebenschancen von Waldbeständen berechnen, können eine grundlegende Basis für Entscheidungen in der Forstwirtschaft liefern [5].

Basierend auf einem europaweiten Datensatz wurden kürzlich Überlebenszeitmodelle für insgesamt sechs verschiedenen Baumarten von Brandl et al. entwickelt und veröffentlicht [1, 2]. Mit diesen kann der Einfluss verschiedener Klimavariablen auf die Überlebenschancen der Hauptbaumarten Fichte, Tanne, Kiefer, Douglasie, Eiche und Buche in verschiedenen Regionen ermittelt werden. Im Rahmen einer Masterarbeit an der Professur für Waldinventur und nachhaltige Nutzung wurden die beschriebenen Modelle auf die Bestände des Waldes der Ludwig-Maximilians-Universität München angewandt. Ziel der Arbeit war es, die zu erwartenden Schadholzmengen der Hauptbaumarten in diesem Forstbetrieb zu quantifizieren, räumlich darzustellen und über einen Vergleich mit den tatsächlich angefallenen Schadholzmengen die Aussagekraft dieser Modelle zu evaluieren.

## Überlebenszeitmodelle in der Forstbranche

Der prognostizierte Ausfall, den die Überlebensfunktion für einen Forstbe-

## Welche Überlebenschancen bieten sich für die Baumarten?



**Abb. 1: Durchschnittliche aktuelle Überlebenschancen** der Baumartengruppen (BAG) im Universitätswald für drei Klimaszenarien. Die Einteilung in die BAG erfolgte nach dem Schema der Bundeswaldinventur (BWI). Grafik: TUM

trieb möglich machen, bezieht sich auf das Absterben von Bäumen durch biotische oder abiotische Faktoren. Die konkurrenzbedingte Mortalität wird dabei nicht berücksichtigt [8]. Die Zeitvariable entspricht bei den Überlebenszeitmodellen dem Alter des Bestandes und das mögliche Ereignis, das im Beobachtungszeitraum eintreten kann, ist der Tod des Baumes durch Naturereignisse. Das Absterben von Bäumen beruht oft auf komplexen ökologischen Prozessen, denen mehrere Einflussfaktoren zugrunde liegen [4]. Das Klima hat dabei eine prädisponierende Wirkung,

da es z.B. durch starke Trockenheit Bäume schwächt die dann von Pilzen oder Insekten befallen werden und letztendlich absterben [7]. Die Überlebenszeitmodelle haben u.a. das Ziel das Mortalitätsrisiko für ein wärmeres und trockeneres Klima vorherzusagen [6].

## Methodik

Als Datengrundlage dienen in dieser Studie die Inventurdaten des Universitätswaldes aus dem Jahr 2016, die in einem 100 x 100 m Raster aufgenommen wurden. Konkret wurden dabei pro

## Welche Klimawerte liegen den Untersuchungen zugrunde?

**Tab. 1: Verwendete Klimawerte:** Jahresmitteltemperatur ( $T_{yr}$ ), Maximaltemperatur des wärmsten Monats ( $T_{max\_wm}$ ), Minimaltemperatur des kältesten Monats ( $T_{min\_cm}$ ), Jahresniederschlag ( $P_{yr}$ ) und Niederschlag im wärmsten Quartal ( $P_{wq}$ ).

Klimavariablen	Aktuell (1970 - 2000)	2090 ssp245	2090 ssp585
$T_{yr}$ [°C]	8,3	11,3	13,3
$T_{max\_wm}$ [°C]	23,1	28,4	31,1
$T_{min\_cm}$ [°C]	-4,0	-1,2	0,7
$P_{yr}$ [mm]	809	817	757
$P_{wq}$ [mm]	287	255	215

Inventurpunkt die Baumart, deren Anteil und das Alter benötigt. Zudem wurden Datensätze für das aktuelle Klima und für zukünftige Klimaszenarien aus Worldclim.org verwendet [3, 9].

Die aktuellen klimatischen Verhältnisse wurden aus dem langjährigen Mittel der Daten von 1970 bis 2000 dargestellt. Als zukünftige Klimaszenarien wurden die sogenannten „Shared Social Pathways“ (ssp) verwendet.

Für die Prognosen wurde als mittleres Szenario ssp245 für 2090 (basierend auf RCP 4.5 mit +3 °C bis 2100) und als extremeres Szenario ssp585 für 2090 (basierend auf RCP 8.5 mit +5 °C bis 2100) gewählt. Mit diesen Szenarien soll die Bandbreite möglicher klimatischer Entwicklungen abgedeckt werden.

(Tab. 1) Tabelle 1 zeigt die Klimavariablen, die für die Berechnung der Überlebenswahrscheinlichkeiten im Universitätswald verwendet wurden. Sie wurden den entsprechenden Rasterzellen für den Universitätswald entnommen und nach dem Anteil der Waldfläche, die in die jeweilige Zelle fiel, gewichtet.

Die Überlebenskurven der Baumarten wurden mithilfe der Weibull-Verteilung und der Log-Normal Verteilung modelliert. Der Einfluss von Klimavariablen und Mischungsverhältnissen wurde mithilfe von Koeffizienten in die Modelle integriert. Die aus der Berechnung resultierenden Kurven geben an, mit welcher Wahrscheinlichkeit der Bestand einer Baumart (bzw. einer Baumartenmischung) ein gewisses Alter erreicht.

Die durch die regionalen Klimavariablen ergänzten Modelle der Überlebenswahrscheinlichkeiten wurden im nächsten Schritt mit den Inventurdaten des Universitätswaldes verknüpft.

Die Ausfallwahrscheinlichkeiten für eine Dekade wurden anschließend mit den Vorratswerten und den Zuwachswerten verrechnet. Daraus wurde eine Prognose des Schadholzanfalls für 2017 – 2026 bei unterschiedlichen Klimaszenarien kalkuliert.

## Überlebenswahrscheinlichkeiten der Hauptbaumarten

Abb. 1 zeigt die aktuellen durchschnittlichen Überlebenschancen der Baumartengruppen (BAG) im Universitätswald abhängig vom Klima. Für die einzelnen BAG wurden die Durchschnittswerte

## „Überlebenszeitanalysen ermöglichen Prognosen zu den Ausfallrisiken von Beständen. Damit liefern sie einen wichtigen Beitrag zur forstbetrieblichen Planung“

ELIAS RANK

aus allen Inventurpunkten für das aktuelle Klima, das Szenario 2090 ssp245 und das Szenario 2090 ssp585 dargestellt. Als Gesamtwert für alle BAG wurde der nach Baumartenanteil gewichtete Mittelwert verwendet.

Die Überlebenswahrscheinlichkeiten der BAG Fichte, Kiefer und Lärche liegen deutlich unter den Werten der übrigen BAG. Auch der Abfall der Überlebenswahrscheinlichkeiten über die drei Szenarien ist besonders deutlich bei den Nadelholzarten, insbesondere der Fichte zu erkennen. Das Ausfallrisiko bis zu einem Alter 100 der Fichte liegt bei einer angenommenen Klimaerwärmung von 5 °C bei 48 %. Die Douglasie

hat unter aktuellen Klimabedingungen eine hohe Überlebenswahrscheinlichkeit von 91 %, diese geht jedoch mit zunehmender Klimaerwärmung bis auf 79 % zurück. Einzig die Tanne zeigt gute Prognosen auch bei extremen Klimaszenarien, ihre Überlebenswahrscheinlichkeit erreicht auch hier noch 88 %.

Die Überlebenswahrscheinlichkeiten der aufgeführten Laubholzarten unterschreiten auch im extremsten Klimaszenario nicht die 79 % und zeigen sich damit nach diesen Modellen robuster gegenüber den Klimaveränderungen als die Nadelholzarten.

## Prognose von Schadholzmengen im Universitätswald

Mithilfe eines Geographischen Informationssystems (ArcGIS) lassen sich die Schadholzprognosen auch räumlich für die beiden Distrikte im Universitätswald darstellen. Dafür wurden den berechneten Schadholzwerten die Koordinaten der jeweiligen Inventurpunkte zugewiesen. Diese Werte wurden mit dem Werkzeug Kriging interpoliert, dadurch entsteht eine flächige Darstellung der Schadholzprognosen.

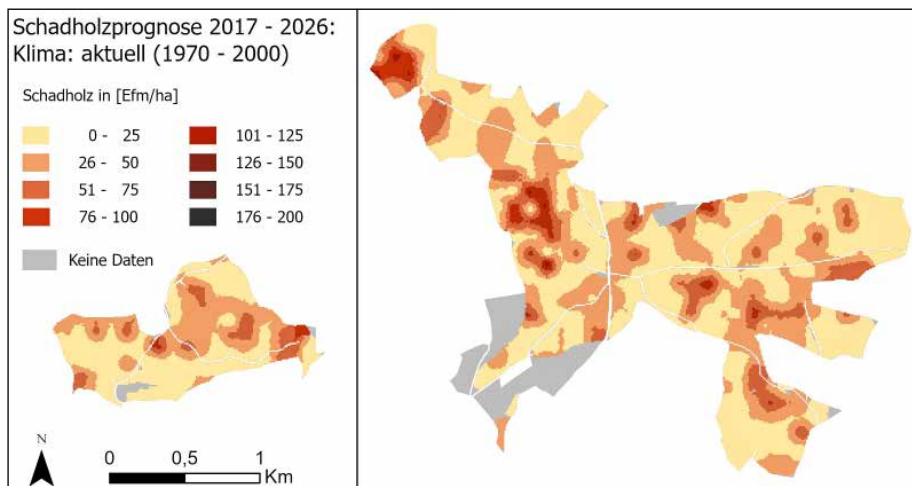
Abb. 2 a-c zeigen die Karten der prognostizierten Schadholzmengen im Universitätswald bei unterschiedlichen Klimaszenarien. Es zeigt sich bei allen Szenarien eine stark heterogene Verteilung, einige Bereiche bleiben stets unter einem ZE von 25 Efm/ha und andere Flächen weisen Werte über 150 Efm/ha auf.

Bei den Flächen mit hohen Schadholzmengen handelt es sich um Fichtenreinbestände, die ein hohes Ausfallrisiko verbunden mit hohen Vorräten haben. Zum Teil sind diese Flächen, z.B. im Nordosten tatsächlich bereits in den letzten Jahren flächig ausgefallen. Die Flächen mit den niedrigsten Schadholzmengen sind meist jüngere laubholzdominierte Bestände mit hohen Anteilen an Buche und Eiche.

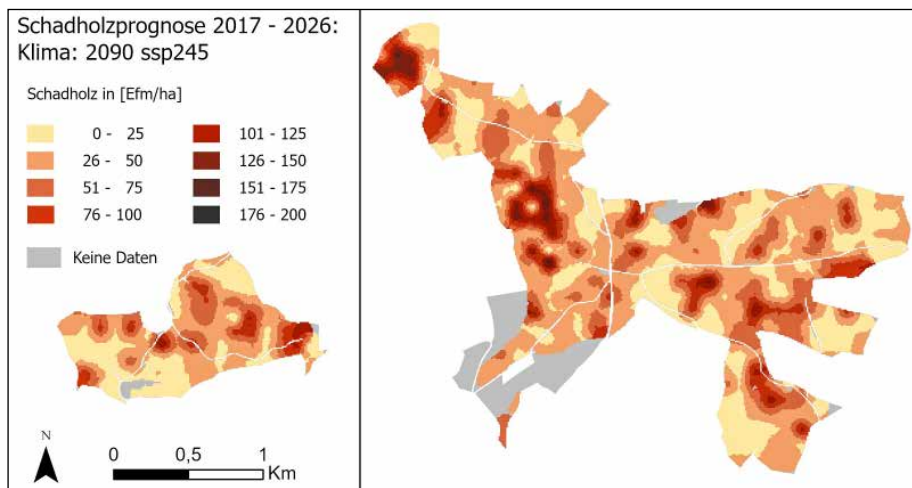
Zwischen den Klimaszenarien ist ein deutlicher Unterschied festzustellen. Ein extremeres Klima führt insgesamt zu einer deutlich höheren Schadholzmenge. Die bereits aktuell stärker betroffenen Bereiche zeigen für die zukünftigen Klimaszenarien einen erhöhten Anstieg der Schadholzmengen im Vergleich zu den übrigen Flächen. Der Vorteil dieser Karten ist, dass sich

## Schneller ÜBERBLICK

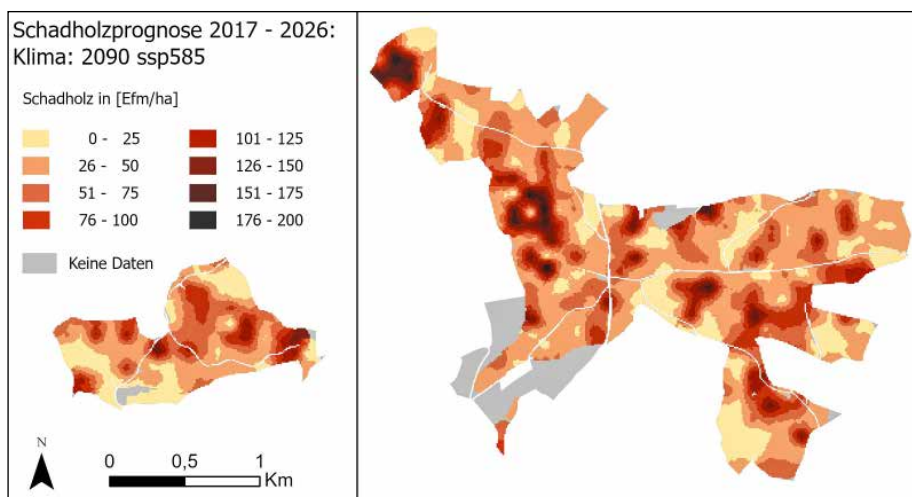
- » **Überlebenszeitmodelle können** einen wichtigen Beitrag zur forstbetrieblichen Planung leisten
- » **Dadurch lassen sich Schadholzmengen** für unterschiedliche Klimaszenarien prognostizieren und räumlich darstellen
- » **Die Schadholzprognose mit dem Klimaszenario** ssp585 entspricht der tatsächlich im Universitätswald angefallenen Schadholzmenge



**Abb. 2a:** Flächige Darstellungen der Schadholzprognosen für den Universitätswald für das aktuelle Klima. Der prognostizierte Schadholzanfall (auch für Abb. 2b und 2c) für die Periode 2017 bis 2026 wird je nach Menge [Efm/ha] farblich hinterlegt.



**Abb. 2b:** Flächige Darstellungen der Schadholzprognosen für den Universitätswald für das Klimawandelszenario ssp245 (basierend auf RCP 4.5 mit +3 °C bis 2100).



**Abb. 2c:** Flächige Darstellungen der Schadholzprognosen für das Klimawandelszenario ssp585 (basierend auf RCP 8.5 mit +5 °C bis 2100).

risikoreiche Bestände eines Betriebes auf einen Blick schnell identifizieren lassen. Die Entwicklung bei verschiedenen Klimaszenarien zeigt zusätzlich, welche Bereiche am anfälligsten gegenüber klimatischen Veränderungen sind.

### Vergleich mit Echtdateien

In Abb. 3 werden die prognostizierten Schadholz mengen mit dem realen ungeplant eingeschlagenen-Holz mengen aus dem Universitätsforstbetrieb verglichen. Als Vergleichswert wurde aus den realen Schadholz mengen von 1991 bis 2020 ein Mittelwert für eine Periode von 10 Jahren gebildet.

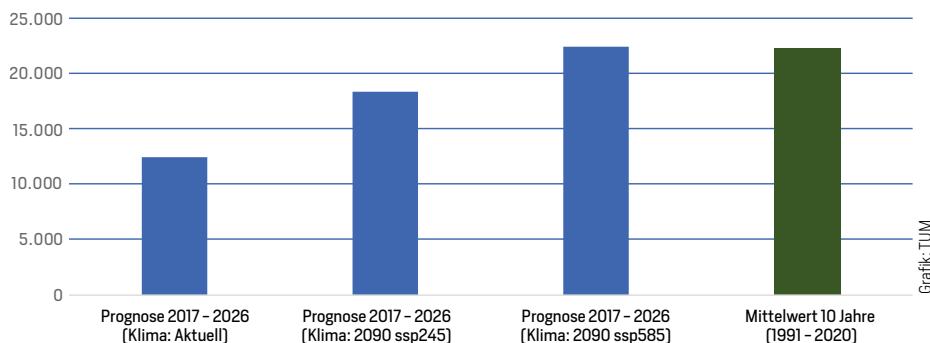
Die Prognose für das aktuelle Klima ist verglichen mit den tatsächlich angefallenen Schadholz mengen für 10 Jahre um 9.777 Efm geringer. Die prognostizierte Schadholzmenge für das Klimaszenario ssp585 deckt sich mit einer geringen Abweichung von lediglich 177 Efm sehr gut mit dem realen Wert. Die simulierten Schadholz mengen werden mit unserer Methode tendenziell unterschätzt, da die klimatische Veränderung während des Prognosezeitraums nicht berücksichtigt wird. Würde man miteinbeziehen, wie sich Temperatur, Niederschlag, etc. während dieses Zeitraums verändern, wären die prognostizierten Schadholz mengen höher.

Diese Ergebnisse zeigen, wie die Überlebenszeitmodelle auf regionale Flächen angewendet werden können. Mit einer Prognose der Schadholz mengen, wie sie hier durchgeführt wurde könnte man langfristig planen, welcher Anteil des Hiebsatzes bei bestimmten Szenarien durch Schadholz erreicht wird. Damit kann man die Auswirkungen verschiedener Klimaänderungen auf einzelne Bestände bis hin zum kompletten Betrieb modellieren. Größere Waldflächen mit mehr Inventurdaten führen grundsätzlich zu keinem Mehraufwand mit dieser Methodik. Die einzige Anpassung, die für sehr große Waldflächen (über mehrere Wuchsgebiete hinweg) durchgeführt werden muss, ist die Auswahl regional geeigneter Klimaparameter.

### Folgerungen

Nach Automatisierung der Schritte der Datenaufbereitung, könnte man die hier verwendete Methodik mit geringem Auf-

## Prognostizierte und tatsächliche Schadholzmengen



**Abb. 3: Darstellung der prognostizierten Schadholzmengen** und die tatsächlich angefallenen Schadholzmengen als Mittelwert für 10 Jahre, berechnet aus den realen Werten von 1991 bis 2020.

wand für andere Forstbetriebe anwenden. Damit ließen sich die Schadholzprognosen deutschlandweit mit in die Planungen von Forstbetrieben integrieren. Für künftige Studien ist es interessant, das hier verwendete Modell weiter zu verfeinern. Dabei könnte man für die Prognose von Überlebenschancen und Schadholzmengen modellierte Bestände verwenden. Auch würden aktuellere Klimadaten (bisher Daten von 1970 bis

2000) zu noch besseren Ergebnissen und Prognosen führen. Dynamische Klimavariablen, die sich während des Prognosezeitraums verändern wären zudem eine Möglichkeit die Prognose der Schadholzmengen zu verbessern.

Hilfreich für spätere Arbeiten sind auch Modelle für weitere Baumarten. Dabei sind vor allem Baumarten interessant die gut an das zukünftige Klima angepasst sein könnten. Darunter fallen beispielsweise die Edelkastanie, die Libanonzeder, die Schwarzkiefer oder die Schwarznuss. Voraussetzung dafür ist eine ausreichende Datenbasis in passender Qualität.

Abschließend lässt sich sagen, dass Überlebenszeitmodelle in der Forstbranche ein großes Potential haben und für die Praxis wertvolle Werkzeuge für die langfristige Planung sein können.

### Literaturhinweise:

[1] BRANDL, S.; FALK, W. (2019): Mortalität von Fichte und Buche - Einfluss von Klima und Mischung. In: AFZ-DerWald 2, S. 10-13. [2] 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. In: Forest Ecology and Management 458, S. 117652. DOI: 10.1016/j.foreco.2019.117652. [3] FICK, S. E.; HIJ-MANS, R. J. (2017): WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. In: Int. J. Climatol 37 (12), S. 4302-4315. DOI: 10.1002/joc.5086. [4] FRANKLIN, J. F.; SHUGART, H. H.; HARMON, M. E. (1987): Tree Death as an Ecological Process. In: BioScience 37 (8), S. 550-556. DOI: 10.2307/1310665. [5] GRIESS, V. C.; ACEVEDO, R.; HÄRTL, F.; STAUPENDAHL, K.; KNOKE, T. (2012): Does mixing tree species enhance stand resistance against natural hazards? A case study for spruce. In: Forest Ecology and Management 267, S. 284-296. DOI: 10.1016/j.foreco.2011.11.035. [6] KÖLLING, C.; METTE, T.; KNOKE, T. (2016): Waldertrag und Anbaurisiko in einer unsicheren Klimazukunft. In: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 167 (1), S. 29-38. DOI: 10.3188/szf.2016.0029. [7] NOTH-DURFT, A. (2013): Spatio-temporal prediction of tree mortality based on long-term sample plots, climate change scenarios and parametric frailty modeling. In: Forest Ecology and Management 291, S. 43-54. [8] STAUPENDAHL, K.; ZUCCHINI, W. (2011): Schätzung von Überlebensfunktionen der Hauptbaumarten auf der Basis von Zeitreihendaten der Rheinland-Pfälzischen Waldzustandserhebung. In: Allg. Forst-Jagdztg 182 (5), S. 6. [9] XIN, X.; ZHANG, J.; ZHANG, F.; WU, T.; SHI, X.; LI, J. et al. (2018): BCC-CSM2MR model output prepared for CMIP6 CMIP. Unter Mitarbeit von Xiaoge Xin.



### Elias Rank

[elias\\_rank@web.de](mailto:elias_rank@web.de)

hat seine Masterarbeit im Studiengang Forst- und Holzwissenschaften an der Professur für Waldinventur und nachhaltige Nutzung der Technischen Universität München geschrieben und ist aktuell Forstreferendar in der Bayerischen Forstverwaltung. **Benjamin Gang** ist Forstbeamter der Bayerischen Forstverwaltung und abgeordnet an die Professur.