

## Optimierung der Hiebsatzplanung zur Quantifizierung von finanziellen Ertragseinbußen durch den Klimawandel am Beispiel des Forstbetriebes der Stadt Zittau

*Optimization of the prescribed cut planning to quantify financial yield losses like the climate change at the example of the municipal forest enterprise Zittau*

Sebastian Stang, Thomas Knoke

### Abstract

*This paper shows how to identify and estimate financial losses in the forest production. As an example, the consequences of a potential climate change and the influence by biophysical risk for stands, as well as limitations of annual harvest and high afforestation costs on the net present value of forest enterprises are demonstrated. Taking the results from a case study for the forest owned by the town Zittau, we show that the deviation of harvest from the optimal age under financial aspects and the costs for afforestation could have a significantly higher importance on the yield than climate change and hazard risks.*

*Keywords: Zittau, Forest Management Planning, Optimization, Climate Change, Risk*

### Zusammenfassung

Im vorliegenden Beitrag wird den Fragen nach der Identifikation und der finanziellen Bewertung von Ertragseinbußen in der forstlichen Produktion nachgegangen. Am Beispiel wird auf die Folgen von möglicherweise durch den Klimawandel zu erwartenden Wachstumseinschränkungen, von Ausfallrisiken der Bestände sowie von Hiebsatzbeschränkungen und Kulturkosten auf den Ertragswert von Forstbetrieben eingegangen. Anhand von für den kommunalen Forstbetrieb der Stadt Zittau erzielten Ergebnissen wird gezeigt, dass die Abweichung vom finanziell optimalen Einschlagzeitpunkt sowie hohe Kulturkosten, weit größeren Einfluss haben können als Klimawandel und Ausfallrisiko.

Schlüsselwörter: Zittau, Hiebsatzplanung, Optimierung, Klimawandel, Risiko, Forstplanung

### 1. Einleitung

Das Landschaftsbild in Deutschland wird durch das rund ein Drittel der Gebietskulisse (BMELV 2005) einnehmende Ökosystem Wald geprägt. Es verwundert daher kaum, dass die von uns Menschen an diesen Teil der Kulturlandschaft gestellten Ansprüche zum Teil sehr umfangreich sind. Hierbei sehen sich die Landbesitzer im Spannungsfeld der per Gesetz bereitzustellenden allgemeinen Wohlfahrtsleistungen

des Waldes und ihren eigenen individuellen, zumeist ertragsorientierten, Ansprüchen. Damit es zu keiner Schiefelage im Rahmen eventuell divergierender Anspruchserfüllungen kommt, bedarf es einer vorausschauenden Betriebssteuerung und -planung. Durch die in der Forstwirtschaft üblichen langen Produktionszeiträume und die damit verbunden Risiken, wiegen die heute von der Betriebsführung zu treffenden Entscheidungen um so schwerer. Es ist daher unabdingbar, sich über die zukünftigen Folgen einer heute getroffenen Entscheidung Klarheit zu verschaffen. Traditionell versucht die Forstbetriebsplanung die Leitplanken für eine nachhaltige Bereitstellung von Waldleistungen aus dem Wald zu gewährleisten. Historisch eher eindimensional auf die Erfüllung einer fortwährenden Holzbereitstellung für die Salinen- und Grubenbetriebe ausgerichtet, muss die Forstbetriebsplanung heute die nachhaltige mehrdimensionale Bereitstellung aller Waldfunktionen bei der Waldbewirtschaftung sicherstellen. Zugleich nimmt die Komplexität der Folgenabschätzung von Entscheidungen zu. Für die Planung wird es daher nötig, neue Planungsmethoden und Instrumente zu finden, welche dieser mehrdimensional ausgerichteten Zielsetzung der Forstwirtschaft gerecht werden und zugleich forstbetriebliche Risiken berücksichtigen.

Im Rahmen des vom BMBF geförderten Verbundprojektes ENFORCHANGE, welches den Einfluss des Flugascheeintrags auf die Bodennährstoffversorgung untersucht, wurde hierzu ein Entscheidungsunterstützungssystem entwickelt und zur finanziellen Klimafolgenabschätzung eingesetzt. Mit Hilfe des Systems wurde die naturale wie finanzielle Entwicklung eines Forstbetriebes über einen Planungszeitraum von 30 Jahren optimiert und zugleich auch eine Bewertung von darstellbaren Betriebsrisiken durchgeführt. Die dabei in der Untersuchungsregion Lausitz für den flugaschebeeinflussten Teil (1890 ha) des Forstbetriebes der Stadt Zittau (4149 ha) erzielten Ergebnisse einer Szenarioanalyse werden hier dargestellt.

### 2. Methoden

Die Bewirtschaftung eines Waldes ist unweigerlich mit dessen natürlichem Wachstum und der damit einhergehenden Holzproduktion verbunden. Diese gilt es gemäß der Ansprüche der Nutzer zu optimieren. Während die Düngung und Pflanzung hierbei sicherlich nur eine untergeordnete Rolle

spielen, ist der oft als Motor des Forstbetriebes bezeichnete Hiebssatz hierbei die zentrale Stellschraube. Dessen Ausgestaltung und Höhe beeinflussen unmittelbar sowohl das Wachstum als auch die Naturalausstattung der Wälder. Das räumliche und zeitliche Nebeneinander der Einschläge auf der Fläche führte zu den von uns geschätzten Landschaftsbildern/-räumen, um deren Erhaltung wir heute bemüht sind. Der räumlichen und zeitlichen Ordnung des Einschlags kommt daher eine sehr bedeutende und bereits 1871 von JUDEICH erkannte Rolle zu. In seinem Sinne kann daher die eigentliche Aufgabe der Forstbetriebsplanung darin gesehen werden, „den gesamten Einschlag eines Waldes zeitlich und räumlich so zu ordnen, dass er den multifunktional ausgerichteten Zielen heute, wie in Zukunft gerecht wird“ STANG (2008).

Es gilt daher den optimalen Zeitpunkt für den Einschlag verschiedener Waldorte innerhalb eines Forstbetriebes zu finden. Hierzu bedarf es einer räumlichen und zeitlichen Aufgliederung des Forstbetriebes, welche sich mit Hilfe eines Fachwerkes nach HARTIG (1795) bzw. COTTA (1815) realisieren lässt. Die einzelnen Waldbestände innerhalb eines Betriebes werden hierzu anhand ihrer Baumartenausstattung und des Alters in Bestandesstraten zusammengefasst. Es ergibt sich eine betriebsspezifische Flächenausstattung, die nun über die Zeit mit Hilfe des Einschlags auf die Betriebsziele hin zu optimieren ist. Hierbei handelt es sich um eine klassische Zuordnungsaufgabe, welche der in Abbildung 1 dargestellten Matrix entspricht.

Bestandesstraten	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5	P 6
Jungwuchspflege	25 ha	?	?	?	?	?
Jungdurchforstung	25 ha	?	?	?	?	?
Altdurchforstung	25 ha	?	?	?	?	?
Verjüngungsnutzung	25 ha	?	?	?	?	?
Gesamtbetriebsfläche	100ha	100ha	100ha	100ha	100ha	100ha

P = Periode

Abb. 1: Matrix der Zuordnungsaufgabe bei der Einschlagsoptimierung.

Fig. 1: Matrix of the assigning problem by the optimization of the prescribed cut planning.

Gefragt ist also, wie viel Fläche in jedem Stratum nach einem vordefinierten Programm zu behandeln ist. Mit jeder Stratenfläche sind naturale und ökonomische Kennwerte, wie zum Beispiel der Holzvorrat an vermarktbarem sowie totem Holz und der finanzielle Bestandswert verbunden. Die Lösung der Flächen-Zuordnungsaufgabe erfolgt nun, indem man ausgehend von einem Kernziel eine Zielfunktion aufstellt, die unter Berücksichtigung der anderen Teilziele als Restriktionen, maximiert wird. Hierdurch wird es möglich, mehrere Teilziele mit unterschiedlichen Maßeinheiten bei der Planung optimal zu berücksichtigen. Die Teilziele bilden in Form von Restriktionen Leitplanken (z. B. für die Nachhaltigkeit) innerhalb

derer das Kernziel optimiert werden kann. Neben den von der Betriebsführung gesetzten und beeinflussbaren Zielen bzw. Bewirtschaftungseinschränkungen, fließen in die Optimierung auch nicht oder nur teilweise beeinflussbare Einschränkungen, wie die Risikoanfälligkeit der Bestände oder der Kultursicherungsaufwand als Planungsgrundlagen bzw. -annahmen mit ein.

Als allgemeines Kernziel der Forstwirtschaft kann die nachhaltige und gewinnbringende Bewirtschaftung des Waldes angesehen werden. Mit anderen Worten gesagt, gilt es die Zahlungsströme und damit den als Ertragswert verstandenen Betriebswert, innerhalb des Betrachtungszeitraumes zu maximieren. Der Forstbetrieb wird hierbei als Investitionsobjekt angesehen, welches über den Anlagezeitraum verzinste Erträge erwirtschaften soll. Der optimale Einschlagzeitpunkt lässt sich dann, aufbauend auf der Bodenertragswertformel (FAUSTMANN 1849), anhand einer dem Pressler'schen Weiserprozent (PRESSLER 1859) ähnlichen Grenzrendite herleiten, wobei hier von einem begrenzten Betrachtungszeitraum ausgegangen wird. Sinkt hierbei die interne Verzinsung eines Betriebsstratums unter den vom Besitzer gewählten Kalkulationszinssatz, so hat dieses Stratum seine finanzielle Hiebsreife erreicht und muss eingeschlagen werden, um keine finanziellen Verluste zu erleiden. Für die Kalkulationen wurde der Forstbetrieb als langfristiges Anlageobjekt verstanden, bei dem der Besitzer ähnliche Renditeforderungen wie bei anderen langfristigen Finanzanlagen stellt. Als Kalkulationszinssatz wurde daher 3% gewählt.

Auf Forstbetriebsebene lässt sich das Kernziel der Forstwirtschaft nach folgender finanzmathematischer Formel beschreiben:

$$\text{max. Ertragswert} = \sum_{\text{Stratum}=1}^n \sum_{\text{Periode}=1}^6 \frac{\text{DB}_{\text{Stratum, Periode}} \cdot f_{\text{Stratum, Periode}}}{(1+r)^t} - \sum_{\text{Stratum}=1}^n \frac{A_{\text{Stratum}} \cdot F_{\text{Stratum}}}{(1+r)^T}$$

**DB** = Deckungsbeitrag (um die Ernteaufgaben bereinigte Holzerlöse, Kultur- und Jungwuchspflegeausgaben als negative Werte)

**A** = Abtriebswert am Ende des Planungszeitraums

**F** = Stratumfläche am Ende des Planungszeitraums

**T** = Planungszeitraum

**f** = dem Stratum zugeordnete Fläche (Entscheidungsvariable)

**r** = Zinssatz als Dezimalzahl

**t** = Eingriffszeitpunkt

Dabei bedarf es im Sinne eines strengen Nachhaltigkeitsbegriffs allerdings der bereits erwähnten Leitplanken z. B. in Form von Hiebsatzbeschränkungen oder Mindestvorräten, welche den Fortbestand der naturalen Produktionsmöglichkeiten über die Zeit gewährleisten. Andernfalls könnten in der Finanzoptimierung nicht berücksichtigte und unerwünschte externe Effekte, wie z.B. Kontamination des Grundwassers mit Nitrat eintreten.

Trotz der Gefahren, die bei unvollständiger Beschreibung des Zuordnungsproblems bestehen können, ist der Vorteil einer finanziellen Bilanzierung des forstwirtschaftlichen Handels, welcher sich aus der beschriebenen Herangehens-

weise ergibt, ein großer Gewinn für die Entscheidungsfindung. Aufwendungen und Kosten gesellschaftlicher Ansprüche an den Wald in Form des Naturschutzes oder der Erholungsnutzung werden transparent und stellen in Form der ableitbaren Aufwendungsbeträge die finanziellen Konsequenzen der sozioökonomischen Leistungen für den Waldbesitzer dar.

Dabei fußt die Optimierung der finanzmathematischen Zielfunktion auf zuvor für den Planungszeitraum mit naturalen Wachstumsmodellen abgeleiteten Kennzahlen. Im Forschungsprojekt ENFORCHANGE wurden diese Modelle weiterentwickelt, sodass Veränderungen der naturalen Produktionsbedingungen bei den Prognosen des Waldwachstums berücksichtigt werden können (vgl. Artikel MOSHAMMER et al. 2009). Unter anderem konnten so die durch den Klimawandel möglicherweise verursachten Zuwachsdpressionen quantifiziert werden. Als Prognoseinstrument wurde dabei der Waldwachstumssimulator Silva (PRETZSCH et al. 2000) eingesetzt. Die im Rahmen der betriebsweisen Naturalfortschreibung für drei Klimaszenarien erzeugten Baumlisten wurden anschließend mit dem Voluminierungs- und Sortierungsprogramm BDAT (KUBLIN UND SCHARNAGEL 1988) in vermarktbarer Holzsortimente umgerechnet. Unter Zugrundelegung aktueller Aufarbeitungskosten des Betriebes sowie der durchschnittlichen Holzpreise der letzten fünf Jahre, ermittelt aus den Holzpreisstatistiken des Freistaates Sachsen, wurden die für die Zielfunktion zentralen Deckungsbeiträge der Betriebsstraten sowie die Bestandswerte berechnet.

Für die Lösung des beschriebenen Zuordnungsproblems war es notwendig, aufbauend auf Ansätzen von KNOKE (1999), MOOG UND KNOKE (2003), KNOKE UND MOSANDL (2004), KNOKE UND MOOG (2005) sowie KNOKE UND WEBER (2006) aus dem Bereich des Operation Research, ein Kalkulationsprogramm aufzustellen, welches die umfangreichen Wechselwirkungen zwischen den Zielfunktionsgrößen und den gesetzten Restriktionen hinreichend genau abbilden kann. Das dabei auf Basis einer Excel-Tabellenkalkulation entwickelte Entscheidungsunterstützungssystem mit dem Namen „Forest Optimizer“, bildet anhand der Betriebsstratifizierung ein Flächenfachwerk im Anhalt an COTTA (1815) nach und berechnet die für die Optimierung notwendigen Parameter der Zielfunktion und Restriktionen automatisch. Die Optimierung der Zielfunktion erfolgt mit Hilfe des Excel-Tools „What's Best“ der Firma Lindo Systems. Diese Software beinhaltet die für die Lösung der Zuordnungsaufgabe notwendigen mathematischen Algorithmen.

Neben den Auswirkungen des Klimawandels auf das Waldwachstums, ist auch eine Zunahme der abiotischen wie biotischen Risiken für die forstliche Produktion als sehr wahrscheinlich anzunehmen. Bei der Prognose dieser Risiken steht die forstwissenschaftliche Forschung allerdings noch am Anfang. Zwar gibt es schon Modelle zur Prognose von Sturmereignissen (SCHMIDT et al. 2005) und zur Borkenkäfergradation (SEIDEL et al. 2007), diese sind bisher allerdings sehr stark auf den Einzelfall bezogen. Für die Risikofolgenabschätzung im Projekt wurde daher auf die Überlebenswahrscheinlichkeitsfunktionen nach BEINHOFER (2008) zurückgegriffen. Diese geben Auskunft darüber, wie viel Fläche eines Bestandes im Laufe eines Bestandslebens durch zu-

fällige Ereignisse wie Sturm und andere Kalamitäten betroffen ist. Den Überlebenswahrscheinlichkeiten nach BEINHOFER (2008) liegen dabei Arbeiten von DIETRICH (1986) sowie KNOKE UND SEIFERT (2008) zugrunde, welche vorhandene Studien oder Statistiken über die zwangsbedingten Einschläge hinsichtlich der Überlebenswahrscheinlichkeiten von Beständen über dem Alter auswerten. Dieser historische Blick auf die Betriebsrisiken in der Forstwirtschaft ermöglicht es relativ einfach, die aktuellen Risikopotenziale für einen Forstbetrieb abzuschätzen. Für ein Betriebsstratum werden dabei für jede der drei am häufigsten vorkommenden Baumarten anhand des Alters die in der nächsten Planungsperiode (5 Jahre) durch zufällige Ereignisse ausscheidenden Stratenflächenanteile ermittelt. Diese ergeben sich, in dem man von der für das aktuelle Alter gültigen Überlebenswahrscheinlichkeit die Überlebenswahrscheinlichkeit der Folgeperiode abzieht und anschließend durch die aktuelle Überlebenswahrscheinlichkeit teilt. Zwangsbedingte Einschläge bedingen zugleich auch finanzielle Einbußen durch Holzpreisminderungen, geminderte Mengen an vermarktbarem Holz und höhere Aufarbeitungskosten. In der vorliegenden Untersuchung wurde angenommen, dass sich für die zwangsbedingten Einschläge die Holzpreise und vermarktbareren Holz mengen um 20% verringern und zugleich die Aufarbeitungskosten um 20% ansteigen.

### 3. Ergebnisse

Nach Stratifizierung des aktuellen Forsteinrichtungsdatensatzes hinsichtlich der drei Hauptbaumarten in den Beständen ergab sich für das Teilkollektiv die in Abb. 2 dargestellte Bestandstypenverteilung. Hiernach kommen auf rund 90% der Fläche nadelholzdominierte Bestände vor. Dabei nehmen die Fichtenbestände mit 69% über 2/3 der betrachteten Betriebsfläche ein. In einem zweiten Schritt wurden die Bestandstypen entsprechend den Bestandsaltern in Altersklassenstraten aufgeteilt. Insgesamt ergaben sich auf diesem Weg 49 Bestandstraten für den Forstbetrieb. Betrachtet man die Altersklassenverteilung dieser Straten (vgl. Abb. 3) so fällt auf, dass rund 57% der Bestände in einem Alter über 60 Jahren sind. Aus verwertungstechnischer und finanzieller Sicht befindet sich damit der überwiegende Teil der Bestände in einem hiebsreifen oder annähernd hiebsreifen Alter. Bei einem angesetzten Zinssatz von 3% führte dies im Rahmen einer rein finanziellen Optimierung des Ertragswertes des Betriebs (Variante „Ertragswertmaximierung“) zu einer Endnutzung innerhalb der ersten fünf Jahre auf 72% der Betriebsfläche. In der Praxis wäre die Realisierung dieser Holzmassen natürlich logistisch nicht machbar und würde zugleich die unterschiedlichen Waldfunktionen, mit denen die Waldflächen zum Teil mehrfach belegt sind, gefährden. Dies bedeutet aber, dass durch das in der Praxis notwendige langsamere Vorgehen finanzielle Verluste in Kauf genommen werden müssen. Die Basisvariante „Ertragswertmaximierung“ soll daher nur als Verprobungsmaßstab dienen, um die Effekte verschiedener Restriktionen von denen anderer Einflussgrößen, wie dem Klimawandel, zu trennen. Berechnet man anhand der für unterschiedliche Klimavarian-

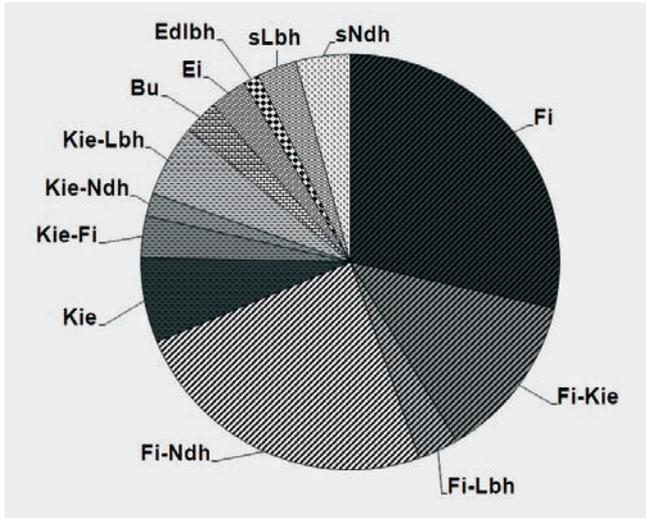


Abb. 2: Bestandstypen des Forstbetriebes Zittau.  
 Fig. 2: Stand types of the forest enterprise Zittau.

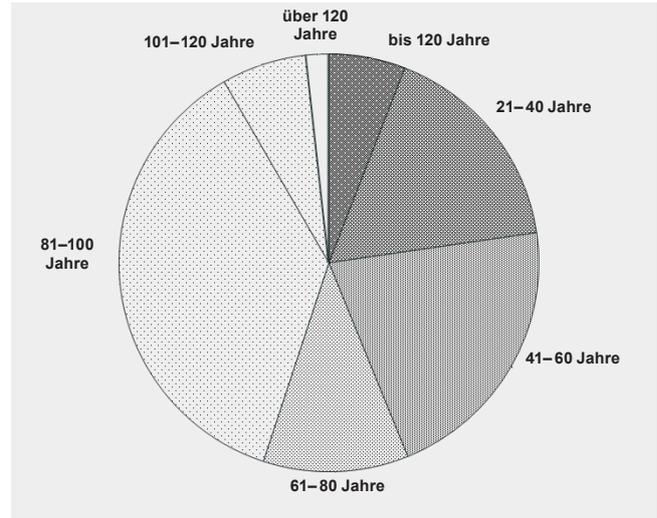


Abb. 3: Altersklassenverteilung des Forstbetriebes Zittau.  
 Fig. 3: Age-class distribution of the forest enterprise Zittau.

ten prognostizierten Waldentwicklungen jeweils die Basisvariante „Ertragswertmaximierung“, so ergibt sich das in Abb. 4 dargestellte Bild. Die rein durch den Klimawandel auf das Waldwachstum wirkenden Effekte führen demnach zu vernachlässigbaren Ertragseinbußen. Dies muss allerdings vor dem Hintergrund gesehen werden, dass in der Basisvariante die meisten Bestände bereits gleich zu Anfang genutzt werden und damit der Klimawandel sich hier auch gar nicht auf das Wachstum der meisten Bestände auswirken kann. Für eine eher an der Praxis orientierte Bewirtschaftungsvariante (Variante „Praxis“), in der von Kulturkosten von 2500 €/ha, einem Mindestdeckungsbeitrag von 160 €/ha/Jahr (jährliche Verwaltungsfixkosten) und einem am Zuwachs orientierten Hiebsatz mit 9 Efm/ha/Jahr ausgegangen wird, fallen die Einbußen durch den Klimawandel etwas höher aus (vgl. Abb. 5). Insgesamt relativieren sich aber die ermittelten Einbußen nochmals vor dem Hintergrund, dass aus simulationstechnischen Gründen in den Prognosen des Waldwachstums kein allmählicher (natürlicher) Klimawandel, sondern eine abrupte Klimaumstellung simuliert (vgl. Artikel MOSHAMMER et al. 2009)

werden konnte. In Abbildung 6 sind für drei verschiedene Varianten die Ertragswerte des Betriebes jeweils mit und ohne Risikoeinfluss dargestellt. Für die Basisvariante „Ertragswertmaximierung“ mit dem am zügigsten fortschreitenden Einschlag fällt dabei der Verlust am geringsten aus. Wird für die Variante „Praxis“ der Hiebsatz auf 5 Efm/ha/Jahr gedeckelt, so erhöht sich der durch zufällige Ereignisse bedingte Ertragsausfall im Vergleich zur Variante „Ertragswertmaximierung“ um das 12-fache. Eine Nutzung im Rahmen des Zuwachses von 9 Efm/ha/a führt für die Variante „Praxis“ hingegen nur zu einer Vervielfachung der durch Betriebsrisiken bedingten Ertragseinbußen im Vergleich zur Variante „Ertragswertmaximierung“. Allerdings fallen die anhand der Überlebenswahrscheinlichkeiten abgeleiteten Ertragseinbußen insgesamt relativ gering aus. Die durch den Aufschub der Nutzung über den finanziell optimalen Zeitpunkt hinaus bedingten Ertragseinbußen wirken hier bedeutend stärker. So ist allein mit der Hiebsatzdeckelung auf 5 Efm/ha/Jahr ein Ertragswertverlust von 23% verbunden.

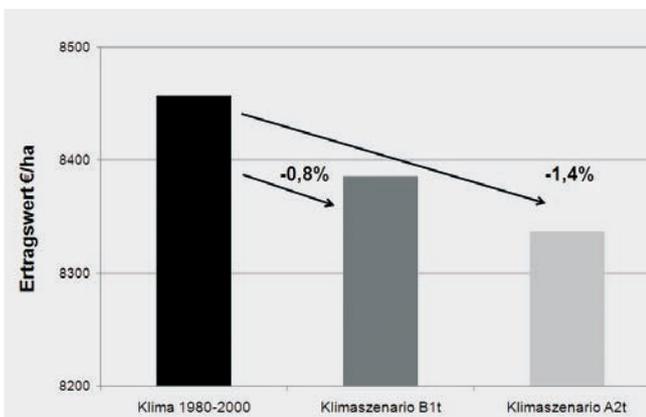


Abb. 4: Finanzielle Einbußen durch den Klimawandel für die Variante Ertragswertmaximierung.  
 Fig. 4: Financial yieldlosses caused by climate change for the variant of maximization the net present value of forest enterprise.

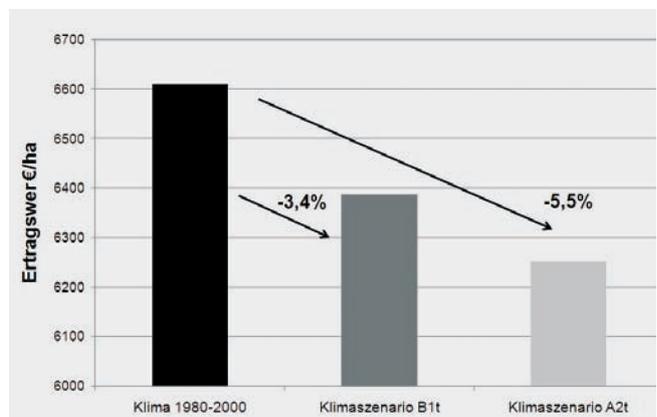


Abb. 5: Finanzielle Einbußen durch den Klimawandel für die Variante Praxis.  
 Fig. 5: Financial yieldlosses caused by climate change for the variant Praxis.

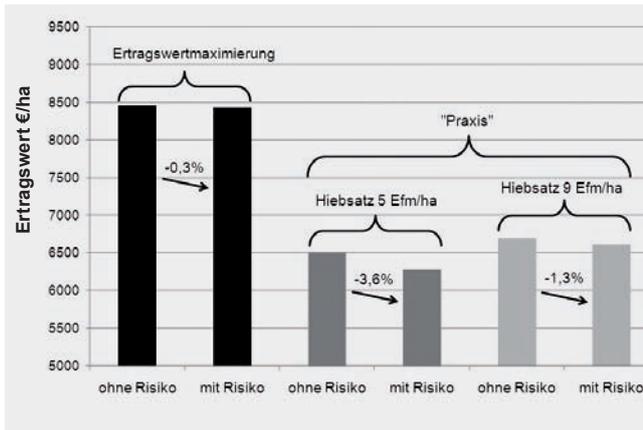


Abb. 6: Einfluss der Überlebenswahrscheinlichkeiten auf den Ertragswert.

Fig. 6: Influence of the survival probability on the net present value.

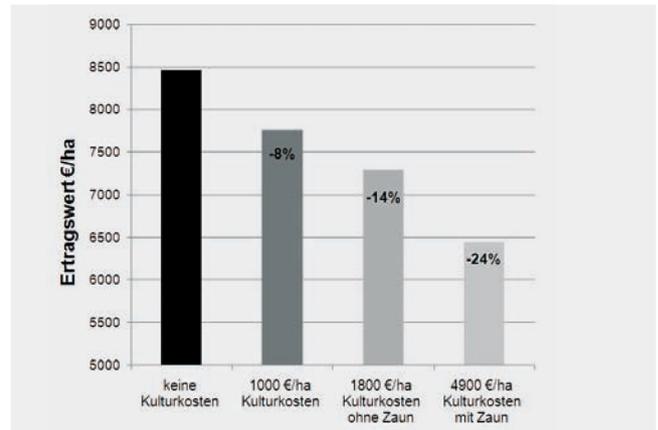


Abb. 7: Einfluss der Kulturkosten auf den Ertragswert.

Fig. 7: Influence of costs for afforestation on the net present value.

Dem Nutzungsaufschub kommt damit die entscheidende Rolle unter den möglichen Ertragseinbußen zu. Bedingt durch hohe Kulturkosten kann es bei der finanziellen Optimierung sogar dazu kommen, dass die Nutzung der Bestände völlig unterbleibt. Der Effekt beruht dabei auf der Tatsache, dass für Folgebestände im Planungszeitraum meist keine Gewinne, sondern nur Kosten (verzinsten Kulturkosten) entstehen und diese die Ertragsverluste durch einen Nutzungsaufschub überwiegen.

Um den Forstbetrieb besser auf den Klimawandel vorzubereiten wird eine Erhöhung des Laubholz- und Mischbaumartenanteils bei der Verjüngung angestrebt. Hierzu sind Pflanz- und bedingt durch den Wildbestand auch Zäunungsmaßnahmen notwendig. Abgeleitet aus dem Verjüngungsziel des Forstbetriebes ergeben sich im Durchschnitt Kulturkosten von 4 900 €/ha für die geschützte Kultur. Könnte auf die Zäunung gänzlich verzichtet werden, verringern sich die Kulturkosten auf 1 840 €/ha. In Abbildung 7 sind die bei unterschiedlichen Kulturkosten erzielbaren Ertragswerte aufgeführt. Im Vergleich zu einer vollständigen Naturverjüngung des Betriebes ohne Kosten, führen die aktuellen Aufwendungen für die Verjüngung zu einem Ertragswertverlust von rund 24%. Der durch die Zäunung verursachte finanzielle Verlust beträgt dabei 28 €/ha/Jahr. Im Vergleich dazu erzielt der Forstbetrieb einen positiven Deckungsbeitrag aus dem Jagdbetrieb von 3,55 €/ha/Jahr. Es wird deutlich, dass die Einnahmen aus der Jagd hier nicht annähernd die Verluste auffangen können, die durch den erhöhten Kultursicherungsaufwand verursacht werden.

#### 4. Schlussfolgerungen

Die Untersuchungsergebnisse des Fallbeispiels zeigen, dass die möglichen Ertragseinbußen durch ein vermindertes Waldwachstum, ausgelöst durch mögliche Klimaveränderungen, unter den aktuellen zwangsbedingten Einschlägen allein gesehen eher gering ausfallen können. In Kombination mit einem weit schwerer wiegenden Nutzungsaufschub über

den finanziell optimalen Zeitpunkt hinaus, können diese aber auch an Bedeutung gewinnen.

Bei der Bewertung des Nutzungsaufschubs darf aber nicht verschwiegen werden, dass bei Wahl eines geringeren kalkulatorischen Zinssatzes, die finanziell optimalen Einschlagszeitpunkte höher und damit die Ertragseinbußen geringer ausgefallen wären. Bedingt durch die höheren Einschlagsalter, wäre aber ebenfalls der Anteil der zwangsbedingten Einschläge gestiegen, sodass der Einfluss des Risikos auf die Ertragslage des Betriebes zugenommen hätte.

Ebenfalls muss darauf hingewiesen werden, dass zwar davon ausgegangen werden kann, dass sich mit dem Klimawandel auch die Überlebenswahrscheinlichkeiten der Baumarten verändern werden, allerdings lässt der derzeitige Wissensstand in der forstlichen Risikoforschung, wie eingangs erläutert, keine verlässlichen Zukunftsprognosen der Überlebenswahrscheinlichkeiten zu. Im vorliegenden Beitrag wurde deshalb nur der Einfluss des aktuellen, aus historischen Daten abgeleiteten Ausfallrisikos untersucht. Die in Zukunft zu erwartenden Ertragsverluste, können daher durchaus von den hier ermittelten abweichen.

Wenngleich ein behutsameres Vorgehen bei der Verjüngung der Waldbestände und dem Waldumbau nicht zuletzt aus Gründen der Nachhaltigkeit im Sinne der Waldfunktionen-sicherung geboten ist, so zeigen die Ergebnisse, dass ein Aufschub der Nutzung neben den Ertragsverlusten auch das Risiko für die Betriebe anwachsen lässt. Für Betriebe mit überwiegend hiebsreifen Beständen, zumal wenn diese wie im untersuchten Betrieb von Fichten dominiert werden, erscheint daher ein eher forciertes Vorgehen günstiger. Ertragsverluste können so vermieden, Risiken abgefangen und Kapital für einen aktiven Waldumbau bereitgestellt werden. Hierbei spielt aber wie gezeigt wurde die Wildbestandsregulierung eine entscheidende Rolle. Erlöse aus dem Jagdbetrieb können die durch einen zu hohen Wilddruck verursachten Kosten meist nicht annähernd decken.

## 5. Danksagung

Für die Datenbereitstellung bedanken sich die Autoren bei allen Mitarbeitern des ENFORCHANGE-Projekts, insbesondere bei den Kollegen des Teilprojektes Waldwachstum Prof. Dr. H. Pretzsch, R. Moshammer und Dr. T. Rötzer, des Teilprojektes Waldbauliche Umsetzung Dr. R. Eisenhauer und S. Sonnemann sowie der Sachgebietsleiterin Forstbetrieb der Stadt Zittau Frau A. Bültemeier. Das Teilprojekt wurde im Rahmen von ENFORCHANGE (FKZ 03306434L) vom Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF gefördert.

## 6. Literatur

- BEINHOFER, B. (2008): Berücksichtigung von Risiko in der Waldbewertung. Allg. Forst Z. Waldwirtsch. Umweltvorsorge 17: 918–920.
- BMELV – Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2005): Die Zweite Bundeswaldinventur – BWI<sup>2</sup> Der Inventurbericht, BMELV, Bonn
- COTTA, H. (1815): Abriß einer Anweisung zur Vermessung, Beschreibung, Schätzung und forstwirtschaftlichen Einteilung der Waldungen als Vorläufer eines darüber herausgegebenden größeren Werkes. Dresden
- DITTRICH, K. (1986): Realistische Zielstrukturen forstlicher Betriebsklassen auf der Grundlage langfristiger Waldentwicklung: Ein Beitrag zur Objektivierung der Nachhaltregelung. Dissertation. Dresden.
- FAUSTMANN, M. (1849): Berechnung des Werthes, welchen Waldboden, sowie noch nicht haubare Holzbestände für die Waldwirtschaft besitzen. Allg. Forst- u. J. Ztg. 20: 441–455.
- HARTIG, G. L. (1795): Anweisung zur Taxation der Forste, oder zur Bestimmung des Holzertrags der Wälder. Neuaufgabe, Georg Ludwig Hartig Stiftung, Wiesbaden 1996 .
- JUDEICH, F. (1871): Die Forsteinrichtung, Schönfeld's Verlagsbuchhandlung, Dresden, S. 5.
- KNOKE, T. (1999): Zur betriebswirtschaftlichen Optimierung der Vorratshöhe in einem Plenterwald. Forst und Holz, Heft 16: 483–488.
- KNOKE, T.; MOOG, M. (2005): Timber harvesting versus forest reserves - producer prices for open-use areas in German beech forests (*Fagus sylvatica* L.). *Ecological Economics*, Vol. 52, S. 97–110.
- KNOKE, T.; MOSANDL, R. (2004): Integration ökonomischer, ökologischer und sozialer Ansprüche: Zur Sicherung einer umfassenden Nachhaltigkeit im Zuge der Forstbetriebsplanung. *Forst und Holz*, 59. Jg., S. 535–539.
- KNOKE, T.; SEIFERT, T. (2008): Integrating selected ecological effects of mixed Euro-pean beech-Norway spruce stands in bioeconomic modelling. *Ecol. Model.* 210, S. 487–498.
- KNOKE, T.; WEBER, M. (2006): Expanding Carbon Stocks in Existing Forests – A Methodological Approach for Cost Appraisal on the Enterprise Level. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 11: 579–605.
- KUBLIN, E.; SCHARNAGL, G. (1988): Verfahrens- und Programmbeschreibung zum BWI-Unterprogramm BDAT. FVA Bad.-Württbg., Freiburg, 87 S.
- MOOG, M.; KNOKE, T. (2003): Zur betriebswirtschaftlichen Bewertung von Einschränkungen der Waldbewirtschaftung. *Forstw. Cbl.* 122: 59–76.
- MOSHAMMER, R.; RÖTZER, T.; PRETZSCH, H. (2009): Analyse der Waldentwicklung unter veränderten Umweltbedingungen – Neue Informationen für die Forstplanung durch Kopplung von Modellen am Beispiel des Forstbetriebes Zittau. *Waldoekologie online Heft 8 Fig., 1 Tab.* Freising, 15.10.2008
- PRESSLER, M. R. (1859): Die forstliche Finanzrechnung mit Anwendung auf Waldwertschätzung und Wirtschaftsbetrieb, Dresden.
- PRETZSCH, H.; BIBER, P.; DURSKEY, J.; POMMERENING, A.; SEIFERT, E.; SEIFERT, T. (2000): Benutzerhandbuch Silva 2.2, Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der TU München, München.
- SCHMIDT, M.; BAYER, J.; KÄNDLER, G. (2005): Sturm „Lothar“ – Ansatz einer inventurbasierten Risikoanalyse. FVA – Einblick Nr. 2 August 2005 Jahrgang 9.
- SEIDL, R., BAIER, P., RAMMER, W., SCHOPF, A., LEXER, M.J. (2007): Modelling tree mortality by bark beetle infestation in Norway spruce forests. *ECOL MODEL*, 206, 383–399.
- STANG, S. (2008): Optimierung der Forstbetriebsplanung zur Bewertung von Nutzungseinschränkungen. Allg. Forst Z. Waldwirtsch. Umweltvorsorge 17: 905–907.

### Autorenanschriften

Sebastian Stang

Forstliche Versuchsanstalt Baden Württemberg  
Abteilung Forstökonomie  
Wonnhaldestraße 4, D-79100 Freiburg  
Email [sebastian.stang@forst.bwl.de](mailto:sebastian.stang@forst.bwl.de)

Thomas Knoke

Technische Universität München  
Fachgebiet für Waldinventur und nachhaltige Nutzung  
Am Hochanger 13, D-85354 Freising  
Email [knoke@forst.wzw.tum.de](mailto:knoke@forst.wzw.tum.de)