
Die ökonomische Zukunft der Fichte

Thomas Knoke

Schlüsselwörter: Fichte, Umtriebszeit, Unsicherheit, Baumartenwahl, Klimaänderung

Zusammenfassung: Die Fichte ist aus ökonomischer Sicht der wichtigste Wirtschaftsbaum Bayerns. Gerade die Fichte gilt aber vor dem Hintergrund des Klimawandels als besonders anfällige Baumart. Der vorliegende Beitrag geht daher, basierend auf existierenden Arbeiten, auf ökonomische Aspekte einer zukünftigen Fichtenwirtschaft ein. Werden zukünftige Risiken (Sturm, Schnee, Insekten, Holzpreisschwankungen) berücksichtigt, zeigen finanziell gestützte Kalkulationen, dass die Fichte bei sinkenden Überlebenswahrscheinlichkeiten an Fläche verliert. Dennoch behält diese Baumart einen erheblichen Flächenanteil, wenn Alternativbaumarten, wie z.B. die Douglasie, nur unter hohen finanziellen Aufwendungen eingebracht werden können. Daher kommt es darauf an, Produktionskonzepte zu entwickeln, die zukünftige Risiken berücksichtigen. Eine Absenkung der Umtriebszeit in bestehenden oder zukünftigen Fichtenbeständen führt zwar zu höheren finanziellen Erträgen, aber auch zu einem Anstieg des finanziellen Risikos. Eine Überführung von Fichtenbeständen in ungleichaltrig aufgebaute Fichten-Tannen-Bestände ist auf vielen Standorten eine Alternative zur Absenkung der Umtriebszeit. Die Überführung kann die Erträge steigern und gleichzeitig das finanzielle Risiko absenken. Für die zukünftigen Fichtenbestände empfiehlt sich eine gruppenweise Beimischung von Laubholz auch vor finanziellem Hintergrund. Stabilisierungseffekte steigern die finanziellen Erträge dieser Bestände im Vergleich zu reinen Fichtenbeständen, während das Risiko deutlich sinkt. Eine Analyse der Baumartenwahl unter Annahme einer nur bedingt möglichen Risikoeinschätzung der Baumarten hat darüber hinaus gezeigt, dass Handeln selbst dann vernünftig ist, wenn man die Eignung der Baumarten unter geändertem Klima noch nicht treffend einschätzen kann. In einer solchen Situation bieten sich ausgewogene Baumartenmischungen an (z.B. 1/2:1/2 oder 1/3:1/3:1/3). Eine abschließend behandelte Analyse möglicher Auswirkungen des Klimawandels auf von Fichten dominierte Forstbetriebe machte deutlich, dass Verluste auf Grund fehlender Naturverjüngung bzw. notwendig werdende Zäunungen die (kurzfristigen) finanziellen Auswirkungen des Klimawandels u.U. erheblich übertreffen können. Vor dem Hintergrund der vielfältigen Belastungen der Forstbetriebe wä-

re es sinnvoll, deren finanzielle Dimensionen auszuweisen. Auf diese Weise könnte ein sachlich abgestützter gesellschaftlicher Diskussionsprozess darüber in Gang gesetzt werden, was den Forstbetrieben in Zukunft zugemutet werden kann und soll.

Fast die Hälfte der Waldfläche Bayerns (45 Prozent) nimmt die Fichte ein (Brosinger und Tretter 2007). Als „Brotbaum“ der bayerischen Forstwirtschaft hat die Fichte eine enorme Bedeutung, sie gilt aber gleichzeitig unter den Vorzeichen des Klimawandels als besonders anfällige Baumart (Kölling et al., 2009). Vor diesem Hintergrund befasst sich der vorliegende Beitrag mit:

- der Rolle der Fichte bei sinkender Überlebenswahrscheinlichkeit,
- Produktionszeiten und Behandlungsstrategien für Fichte,
- kleinflächigen Beimischungen zur Fichte,
- Fichtenanteilen bei schwerwiegender Unsicherheit und einer Einordnung der möglichen (kurzfristigen) finanziellen Konsequenzen des Klimawandels für von Fichten dominierte Betriebe.

Dazu wird auf bereits existierende Studien zurückgegriffen, die zu einem großen Teil im Rahmen von Doktorarbeiten am Fachgebiet für Waldinventur und nachhaltige Nutzung der Technischen Universität München entstanden sind.

Die Rolle der Fichte bei sinkenden Überlebenswahrscheinlichkeiten

Es liegt auf der Hand, dass wir in Zukunft nicht völlig auf die Fichte verzichten können. Wenn eine Naturverjüngung mit Fichte möglich ist, während Alternativbaumarten gepflanzt werden müssen, kann ein allzu konsequenter Ersatz der Fichte sehr teuer und im Zweifel unwirtschaftlich sein. Dies konnte bereits exemplarisch im Rahmen eines betriebswirtschaftlichen Leistungsvergleiches zwischen Fichte und Douglasie gezeigt werden (Heidingsfelder und Knoke 2004). Mit Hilfe der Portfolio-Optimierung ist es nun möglich, optimale Mischungen von Baumarten abzuleiten und die Wirkung

erhöhter Risiken bei Fichte auf die optimale Baumartenzusammensetzung abzuleiten (z.B. Beinhofer 2009).

Die Portfolio-Optimierung macht sich den in der Finanzwelt geprägten Grundsatz „Wer streut, rutscht nicht!“ zu Nutze. Verschiedene Baumarten unterliegen unterschiedlichen naturalen Risiken und ihr Holz wird auf verschiedenen Holzmärkten abgesetzt. Die Wirksamkeit der Diversifizierung hängt vom Grad der Unterschiedlichkeit der Baumarten in Bezug auf ihre Risiken und ihr Holz ab (Knoke und Hahn 2007). Baumartenmischung führt unter Umständen zu einer wirksamen Diversifikation, mit der wir angestrebte Erträge bei deutlich gesenktem Risiko erreichen oder bei akzeptiertem Risiko unsere Erträge steigern können.

Beinhofer (2009) hat in seiner Dissertation Baumartenportfolios mit mehr als zwei Baumarten abgeleitet, die – bei entsprechender Erweiterung des Ansatzes, z.B. um standörtliche Aspekte – als ein Anhalt für großflächige Allgemeine Bestockungsziele dienen könnten. In einem Projekt zur Beteiligung der Douglasie in solchen Baumartenportfolios (Beinhofer und Knoke, in Vorbereitung) ging Beinhofer beispielhaft davon aus, dass ein vordefinierter Jahresertrag (hier 145 Euro pro Hektar und Jahr) mit einem minimalen Risiko erreicht werden sollte, wobei er eine Zinsforderung von drei Prozent unterstellte. Ein Jahresbetrag von 145 Euro pro Hektar

(Euro/ha) könnte z.B. zur Deckung von Verwaltungsausgaben verwendet werden. Für die Interpretation der Kalkulation ist zu beachten, dass lediglich die Baumarten Fichte, Kiefer, Douglasie, Buche und Eiche getestet wurden. Natürlich hätten sicherlich auch andere Baumarten noch substantielle Anteile, hier besteht noch Forschungsbedarf.

Unter diesen Randbedingungen wurde ermittelt, wie sich eine Zunahme der Risiken für die Fichte auswirken würde, die mit Hilfe einer Absenkung der Überlebenswahrscheinlichkeiten der Fichte simuliert wurde (Abbildung 1). In einem Portfolio mit moderatem Risiko der Fichte würde deren Anteil circa 45 Prozent ausmachen, während die Annahme absinkender Überlebenswahrscheinlichkeiten für die Fichte ihren Anteil um etwa zehn Prozentpunkte vermindern würde. Die Douglasie profitiert in dem Portfolio mit abgesenkter Überlebenswahrscheinlichkeit der Fichte. Dennoch entfällt auch bei deutlich erhöhtem Risiko der Fichte weiterhin ein erheblicher Flächenanteil auf diese Baumart, wenn die Möglichkeit der Naturverjüngung besteht. Interessanterweise deuten die dargestellten Baumartenportfolios auch auf die Möglichkeit einer wirksamen Produktdiversifikation hin. Mit Hilfe der Astung von Nadelholz entsteht ein weiteres Produkt, dessen Holzpreisentwicklung weitgehend von derjenigen für normales Holz abgekoppelt ist. Circa die Hälfte des Flä-

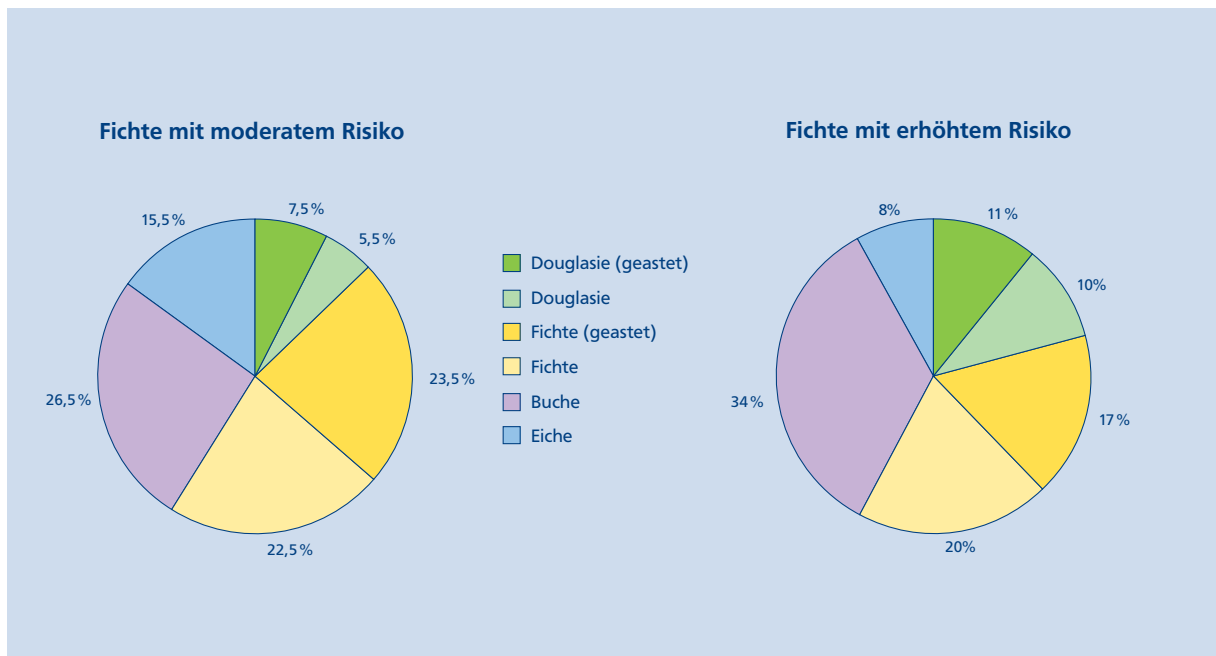


Abbildung 1: Wirkung reduzierter Überlebenswahrscheinlichkeiten der Fichte auf optimale Baumartenportfolios (Fichte mit moderatem Risiko links, Fichte mit erhöhtem Risiko rechts, Beinhofer und Knoke, in Vorbereitung)

chenanteils sowohl der Fichte als auch der Douglasie entfällt daher in einem optimierten Baumartenportfolio auf Bestände mit Astung.

Produktionszeiten und Behandlungsstrategien

Wir haben gesehen, dass die Fichte auch in Zukunft eine unserer wichtigen Baumarten bleiben wird. Nun stellt sich die Frage, ob wir Maßnahmen auf der Bestandesebene treffen können, um das ohnehin schon hohe und in Zukunft sogar gesteigerte Risiko der Fichtenwirtschaft zu dämpfen. Die Vergangenheit hat gezeigt, dass insbesondere ältere Fichtenbestände anfällig gegen Windwurf und -bruch sowie Borkenkäferbefall sind. Je älter die Fichten sind, desto größer fallen auch deren Baumhöhen aus. Hohe Bäume kann der Wind auf Grund der physikalischen Hebelgesetze leichter umwerfen (oder brechen) als niedrige. Auf Grund dieser Umstände werden in jüngerer Zeit die Auswirkungen reduzierter Produktionszeiten diskutiert.

Eine Reduktion der Umtriebszeit kann tatsächlich die Ertragssituation der Fichte verbessern, wie Beinhofer (im Druck) zeigte (Abbildung 2). Er kommt im Zuge der Betrachtung eines Einzelbestandes für eine Fichten-Produktionszeit von 100 Jahren auf einen jährlichen Ertrag¹ von 73 Euro/ha. Dagegen wurden bei einer Senkung der Umtriebszeit auf 50 Jahre 104 Euro/ha/J erreicht. Dies entspricht einem Plus von circa 30 Prozent. Allerdings führte die Absenkung der Umtriebszeit zu einem Anstieg der Streuung der kalkulierten Erträge, die mit Hilfe sehr oft wiederholter Szenariorechnungen unter schwankenden Holzpreisen und simulierten Bestandesausfällen abgeleitet wurden. Eine Zunahme der Streuung der Erträge – die Standardabweichung stieg von ±24 (U=100 J) auf ±51 (U=50 J) – muss als ein gestiegenes finanzielles Risiko gewertet werden.

Eine Absenkung der Umtriebszeit ist nicht die einzige Maßnahme, die zu einer Erhöhung der Erträge der Fichte führt. Eine ältere Studie hat gezeigt, dass auch eine früh einsetzende Überführung eines gleichaltrigen Fichtenbestandes in einen ungleichaltrigen Fichten-Tannen-Bestand (Alter des Fichtenbestandes circa 40 Jahre, Knoke et al. 2001) die Ertragssituation erheblich verbessern kann (Abbildung 2). Die im Rahmen der Überführung schon früh eingehenden finanziellen Überschüsse erhöhen die Rentabilität. Diesen Befund bestätigen viele andere internationale Studien (Knoke 2009). Neben der Erhöhung der Rentabilität kommt es zu einem das finanzielle Risiko senkenden Effekt. Die

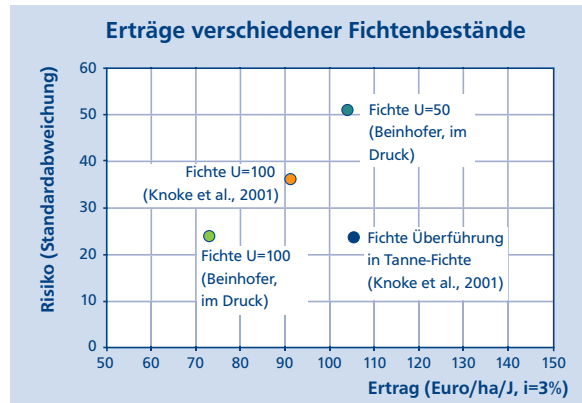


Abbildung 2: Jährliche Erträge (kalkuliert als Annuitäten von Kapitalwerten der Baumarten bzw. Strategien) und deren Standardabweichung für verschieden behandelte Fichtenbestände (nach Beinhofer, im Druck, sowie Knoke et al. 2001)

finanziellen Überschüsse werden auf viele Eingriffe verteilt, während im Rahmen der konventionellen Bewirtschaftung über 80 Prozent der Überschüsse im Rahmen der Endnutzung erlöst werden. Die Konzentration der Überschüsse auf nur einen oder wenige Eingriffe führt in der Tendenz zu einer höheren Streuung der Gesamtüberschüsse (bzw. Kapitalwerte), wogegen eine Verteilung auf viele Eingriffe Streuung kompensiert. Nicht zu jedem Eingriffszeitpunkt ist der Holzpreis niedrig, vielmehr ist er zeitweise hoch, zeitweise niedrig, manchmal durchschnittlich. Eine Verteilung der Überschüsse auf viele Zeitpunkte stabilisiert daher die Gesamtüberschüsse oder Kapitalwerte.

Anders als eine auf vielen Eingriffen basierende Überführung in einen naturnahen Wald zeichnet sich die Reduktion der Umtriebszeit durch eine Verminderung der Zahl der Eingriffe aus, im Zweifel entfallen Durchforstungen gänzlich. Damit ist es plausibel, dass Beinhofer (im Druck) höhere Streuungen und folglich auch ein größeres finanzielles Risiko bei niedrigerer Umtriebszeit findet. Wir können folgern, dass die pauschale Reduktion der Umtriebszeit sicherlich kein Allheilmittel ist. Naturnahe Strategien, die Risiken abpuffern und zu-

¹Der Jahresertrag ergibt sich hier als Annuität des Kapitalwertes eines Fichtenbestandes (der Kapitalwert ist die Summe aller auf den Zeitpunkt zu Bewertungsbeginn abgezinsten Ein- und Auszahlungen). Die Annuität (a) steht über folgende Formel mit dem Kapitalwert (K_0) im Zusammenhang: $a(K_0, i, T) = K_0 \cdot i \cdot \frac{(1+i)^T}{(1+i)^T - 1}$. Als weitere Größen sind i (Zinsrate als Dezimalzahl, z.B. 0,03) und T (Betrachtungsperiode, hier die Umtriebszeit) enthalten.

dem zu Beständen mit „klimastabilen“ Baumarten, wie z.B. der Tanne, führen, können eine überlegene Alternative darstellen, die gleichzeitig die Rentabilität erhöht und die finanziellen Risiken dämpft.

Abschließend sei noch darauf hingewiesen, wie stark die Ergebnisse ökonomischer Bewertungen von den getroffenen Annahmen abhängen. Während die ältere Studie (Knoke et al. 2001) auf Grund einer optimistischen Einschätzung der zukünftigen Holzpreise unter sonst vergleichbaren Annahmen zu einem Jahresertrag der Fichte ($U=100$ J) von 91 Euro/ha (± 36) kam, waren es bei Beinhofer (im Druck) nur 73 Euro/ha (± 24). Niemand kann aber die Zukunft vorhersagen. Vor diesem Hintergrund sollte man sich vor allzu weitgehenden Schlussfolgerungen aus ökonomischen Studien hüten, insbesondere, wenn man nur ein einziges Szenario betrachtet hat. Forstökonomische Studien sollen vielmehr helfen, die Randbedingungen herauszuarbeiten, unter denen bestimmte forstliche Handlungen vorteilhaft bzw. unvorteilhaft sind und in diesem Sinne Entscheidungshilfe, aber nicht Entscheidungsvorgabe sein.

Kleinflächige Beimischungen von Buchen in Fichtenbeständen

Kleinflächige, beispielsweise gruppenweise Beimischungen von Laubholz stellen eine weitere interessante Option zur Senkung des Risikos der Fichte auf der Bestandesebene dar. Für kleinflächig gemischte Bestände können sich im Vergleich zu großflächig oder gar nicht gemischten Wäldern einige finanziell relevante Unterschiede ergeben, die beispielsweise auf eine geänderte Holzqualität, einen modifizierten Volumenzuwachs oder eine erhöhte Resistenz zurückgehen. Zu den finanziellen Konsequenzen der möglichen Unterschiede existieren bisher kaum wissenschaftliche Studien.

In einer ersten Studie haben sich Knoke und Seifert (2008) anhand der bis heute vorliegenden ökologischen Literatur mit diesen Aspekten befasst. Trotz deutlich negativer Auswirkungen einer angenommenen Verschlechterung der Holzqualität auf die finanziellen Parameter und in etwa neutraler Effekte eines geänderten Volumenzuwachses ergab die Integration einer erhöhten Resistenz der Fichte in kleinflächiger Mischung mit Buche eine deutliche Überlegenheit kleinflächiger gegenüber großflächigen Mischungen. Mit Hilfe kleinflächiger Mischungen konnte jeder Ertragswert der großflächigen Mischungen bei geringerem finanziellem Risiko erreicht werden. Es war sogar möglich, mit einer kleinflächigen Mischung einen höheren Ertragswert

als im reinen Fichtenbestand zu erreichen (bei Fichtenanteilen ab 60 Prozent). Dies liegt an dem für die finanziellen Kennzahlen durchschlagenden Effekt der erhöhten Stabilität der Fichte im kleinflächig gemischten Bestand (Schütz et al. 2006). Damit verbessern sich die finanziellen Resultate so stark, dass etwaige negative Effekte, wie z.B. eine sinkende Holzqualität überkompensiert werden. Diese Befunde sprechen für eine kleinflächige Diversifizierung, insbesondere vor dem Hintergrund einer klimabedingt wahrscheinlich abnehmenden Resistenz der Fichten.

Fichtenanteile bei schwerwiegender Unsicherheit

Zur Berücksichtigung von Risiko im Rahmen der Baumartenwahl existiert mittlerweile eine Reihe von Studien, über die z.B. Knoke und Hahn (2007) sowie Beinhofer (2009) einen Überblick geben. Wir müssen uns aber darüber im Klaren sein, dass auch die Risikoeinschätzung selbst immer großen Unsicherheiten unterliegt. Es wäre paradox, Unsicherheit und Risiko mit Sicherheit vorhersagen zu wollen. Zwar wird es sicherlich im Laufe weiterer intensiver Forschung gelingen, die Unsicherheiten hinsichtlich der Risikoeinschätzung in Zukunft zu reduzieren. Dennoch wird immer ein beträchtlicher Rest an Unsicherheit verbleiben, da niemand die Zukunft vorhersagen kann.

Die besondere Bedeutung der Unsicherheit bei Risikoeinschätzungen verdeutlicht auch eine neu erschienene Studie (Hildebrandt und Knoke 2009). Fällt die Unsicherheit der Risikoeinschätzung eher hoch aus, können sich sehr ausgewogene Baumartenanteile als empfehlenswert erweisen, keineswegs jedoch Reinbestände. Unter Beachtung schwerwiegender Unsicherheiten insbesondere im Rahmen der Risikoeinschätzung der einzelnen Baumarten zeigte sich, dass ein pragmatisches Vorgehen im Sinne einer 1/2:1/2 (Abbildung 3) oder 1/3:1/3:1/3 Lösung durchaus vernünftig sein kann, wenn eine fundierte Risikoeinschätzung für die Baumarten nur eingeschränkt möglich ist.

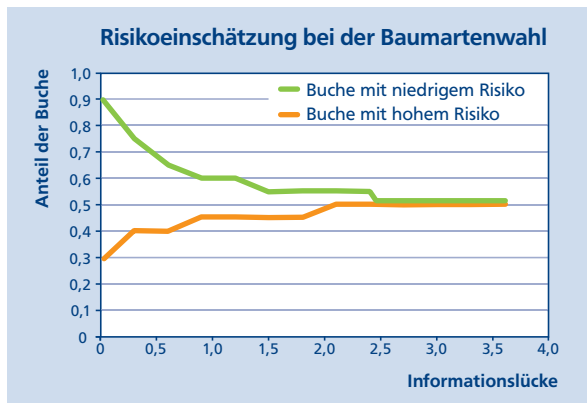


Abbildung 3: Auswirkungen einer zunehmenden Unsicherheit der Risikoeinschätzung (Informationslücke) im Rahmen der Baumartenwahl für ein Szenario der Buche mit niedrigem und eines mit hohem Risiko auf den optimalen Anteil der Buche in Mischung mit Fichte (Hildebrandt und Knoke 2009)

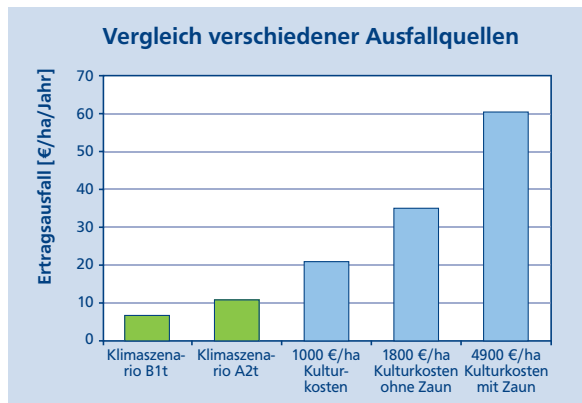


Abbildung 4: Mögliche Ertragsausfälle auf Grund des Klimawandels im Vergleich zu anderen betrieblichen Ausfallquellen; Betriebsoptimierung über 30 Jahre, bewertet wurden jedoch nur die geänderten Wachstumsparameter, nicht die Risiken (Stang und Knoke, im Druck).

Die dargestellte Studie zeigt uns auf, dass wir auch bei schwerwiegenden Unsicherheiten handeln können und müssen. Ausgewogene Baumartenanteile schaffen Flexibilität und senken gleichzeitig die Risiken. Eine Verschiebung der Baumartenanteile im Rahmen von Durchforstungsmaßnahmen ist möglich. Die Baumartenzusammensetzung kann sukzessive angepasst werden, je mehr wir über die Auswirkungen des Klimawandels hinzulernen.

Kurzfristige ökonomische Konsequenzen des Klimawandels für von Fichten dominierte Betriebe

Die Forschung zu den ökonomischen Konsequenzen des Klimawandels für die Forstwirtschaft steht insgesamt noch am Anfang. Kalkulationen mit Hilfe eines am Fachgebiet für Waldinventur und nachhaltige Nutzung entwickelten Betriebsoptimierers ergaben eher geringe Ertragsausfälle auf Grund des zu erwartenden Klimawandels für einen von Fichten dominierten Forstbetrieb in der Niederlausitz (Stang und Knoke, im Druck, Abbildung 4).

Die dargestellte Kalkulation hat das große Manko, dass die wahrscheinlich auf Grund des Klimawandels geänderten Ausfallrisiken unserer Baumarten unberücksichtigt blieben, weil dazu für die entsprechende Region keine Informationen vorlagen. Dennoch zeigt sich, dass wir auf der Betriebsebene noch ganz andere Verlustquellen haben, die die möglichen finanziellen Auswirkungen des Klimawandels unter Umständen bei wei-

tem übersteigen. Hohe Ausgaben für Zäune oder Kulturen, die auf Grund zu hoher Wilddichten notwendig werden, sind aus ökonomischer Sicht nicht akzeptabel. Könnten die klimabedingt hervorgerufenen Kosten eventuell noch abgedeckt werden, resultiert aus den wegen überhöhter Wildbestände notwendig werden den Ausgaben eine extrem unattraktive ökonomische Situation der Forstbetriebe. Natürlich verschärfen vermehrte Bewirtschaftungsrestriktionen (z. B. Forderungen nach Waldreservaten, Totholz, sehr hohe Vorratshaltungen) diese Situation noch weiter.

Fazit

Die bayerische Forstwirtschaft wird wahrscheinlich auch in Zukunft mit der Fichte operieren. In naturnah aufgebauten, ungleichaltrigen Wäldern oder, bei gleichaltriger Wirtschaft, in Mischung mit Laubholz kann die Fichte auch weiterhin bei vertretbarem Risiko einen wertvollen ökonomischen Beitrag leisten. Neben den finanziellen Belastungen, die der Klimawandel mit sich bringt, gibt es noch zahlreiche andere „Verlustquellen“, die die Forstwirtschaft nicht selbst zu vertreten hat. Aus Sicht der Forstbetriebe wäre es sicher vorteilhaft, die wegen überhöhter Wildbestände, des Klimawandels und der Anforderungen anderer gesellschaftlicher Gruppen entstehenden Kosten auszuweisen, damit ein sachlich fundierter Diskussionsprozess darüber in Gang kommt, was von den Forstbetrieben zukünftig erwartet werden kann und soll.

Literatur

Beinhofer, B. (2009): *Zur Anwendung der Portfoliotheorie in der Forstwissenschaft: Finanzielle Optimierungsansätze zur Bewertung von Diversifikationseffekten*. Dissertation Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt

Beinhofer, B. (im Druck): *Producing softwood of different quality: does this provide risk compensation?* European Journal of Forest Research, doi: 10.1007/s10342-009-0280-8

Brosinger, F.; Tretter, S. (2007): *Waldbau im Zeichen des Klimawandels: Anpassung durch Waldumbau und naturnahe Forstwirtschaft*. LWF aktuell 60, S. 21–23

Heidingsfelder, A.; Knoke, T. (2004): *Douglasie versus Fichte: Ein betriebswirtschaftlicher Leistungsvergleich auf Grundlage des Provenienzversuches Kaiserslautern*. Schriften zur Forstökonomie Band 26, Sauerländer's Verlag, Frankfurt a.M.

Hildebrandt, P., Knoke, T. (2009): *Optimizing the shares of native tree species in forest plantations with biased financial parameters*. Ecological Economics 68, S. 2.825–2.833.

Knoke, T. (2009): *Zur finanziellen Attraktivität von Dauerwaldwirtschaft und Überführung: eine Literaturanalyse*. Schweizerische Zeitschrift für das Forstwesen 160, S. 152–161

Knoke, T.; Seifert, T. (2008): *Integrating selected ecological effects of mixed European beech - Norway spruce stands in bioeconomic modelling*. Ecological Modelling 210, S. 487–498

Knoke T.; Hahn, A. (2007): *Baumartenvielfalt und Produktionsrisiken: Ein Forschungsein- und -ausblick*. Schweizerische Zeitschrift für das Forstwesen 158, S. 312–322

Knoke, T.; Moog, M.; Plusczyk, N. (2001): *On the effect of volatile stumpage prices on the economic attractiveness of a silvicultural transformation strategy*. Forest Policy and Economics 2, S. 229–240

Kölling, C.; Knoke, T.; Schall, P.; Ammer, C. (2009): *Überlegungen zum Risiko des Fichtenanbaus in Deutschland vor dem Hintergrund des Klimawandels*. Forstarchiv 80, S. 42–54

Schütz, J.-P.; Götz, M.; Schmid, W.; Mandallaz, D. (2006): *Vulnerability of spruce (Picea abies) and beech (Fagus sylvatica) forest stands and consequences for silviculture*. European Journal of Forest Research 125, S. 291–302

Stang, S.; Knoke, T. (im Druck): *Optimierung der Hiebsatzplanung zur Quantifizierung von finanziellen Ertragseinbußen durch den Klimawandel am Beispiel des Forstbetriebes der Stadt Zittau*. Waldökologie, Landschaftsforschung und Naturschutz

Keywords: Spruce, rotation, uncertainty, choice of tree species, climate change

Summary: Spruce (*Picea abies*) is the economically most important tree species in Bavaria. However, this tree species is expected to be very prone to the consequences of climate change. Based on existing studies, this paper analyses the economic effects of (1) decreased survival probabilities for Spruce, (2) shortened rotations, (3) admixtures in Spruce stands, (4) severe uncertainty when deciding on tree species, and (5) altered tree growth under climate change in forest enterprises that are dominated by Spruce. Despite decreased survival probabilities, a possible future portfolio of tree species will still contain a high proportion of Spruce, if alternative tree species have much higher establishment costs than Spruce. It is shown that shortened rotations may not only increase financial return of Spruce but also financial risks. A transformation of Spruce stands into uneven-aged Spruce-Fir stands can be a financially interesting alternative. We are on the safe side, if we form more resistant future Spruce stands by admixing broadleaved tree species. This is also financially advantageous. Even in a situation of severe uncertainty, when we don't know much about the appropriateness of tree species, it is meaningful to convert monocultures into mixed stands. When knowledge about future conditions is very uncertain it may be meaningful to form balanced tree species shares to obtain maximum flexibility: If we have balanced tree species proportions we can adapt tree species compositions by means of thinning in later times, when we have learned more about the consequences of climate change. On the enterprise level, the financial consequences of an altered tree growth under climate change may be much smaller than those of lacking natural regeneration or fences, with the latter being necessary due to over dense deer populations. In conclusion it seems helpful for Bavarian forestry to make financial consequences of social management constraints and efforts to convert existing forests demonstrable to come to a more rational social discussion about what financial burden forest enterprises can and should bear.