Finanzielle Konsequenzen der Fichtenastung

Aus dem Fachgebiet für Waldinventur und nachhaltige Nutzung der Technischen Universität München

(Mit 11 Tabellen)

Von B. BEINHOFER*) und TH. KNOKE

(Angenommen September 2006)

SCHLAGWÖRTER – KEY WORDS

Astung von Fichten; Behandlung von Astungsbeständen; Anzahl an Astungsbäumen.

Pruning of spruces; Management of pruned spruce stands; Number of pruned spruces.

1. EINLEITUNG

Die waldbaulichen Möglichkeiten zur Steigerung der Rentabilität der mitteleuropäischen Forstwirtschaft sind eher begrenzt. Ansprüche des Naturschutzes und von Erholungssuchenden setzen einer möglichen Absenkung der Umtriebszeit Grenzen. Die Baumartenwahl ist vielerorts ebenfalls nicht völlig frei (z.B. in FFH-Gebieten). Neben einem vorteilhaften Durchforstungsregime (z.B. ABETZ, 1993; SPELLMANN, 1997; KNOKE, 1998) wird immer wieder die Astung zur Verbesserung der Holzqualität als rentable waldbauliche Maßnahme diskutiert (z.B. DEEGEN, 1995; EBERT, 1997; MOSANDL und KNOKE, 2002).

Bislang wurde allerdings kaum untersucht, welche Art der Durchforstung in Kombination mit der Astung vorteilhaft ist. Die Empfehlungen zur Behandlung der Astungsbestände sind insgesamt relativ einheitlich. Sie fußen jedoch meist auf keinen systematischen Untersuchungen. So empfiehlt die ehemalige Bayerische Staatsforstverwaltung (vgl. StMELF, 1999) eine konsequente Förderung der geasteten Bäume mit Hilfe regelmäßiger Eingriffe, um einen Bekronungsgrad von mindestens 40% zu erreichen. Anhand einer Analyse alter Fichtenbestände im Frankenwald, die ähnlich den Vorstellungen von ABETZ (1993) weitständig aufgewachsen und dazu noch geastet[1)] wurden, ziehen MOSANDL et al. (1995) die Schlussfolgerung, dass Astungsbestände weitständig erzogen werden müssten. Auf die besondere Bedeutung der notwendigen Wachstumszeit zwischen Astung und Ernte, also die Zeit der Kapitalbindung, für die Rentabilität der Astung weist EBERT (1997) hin. Die Rendite der Astungsinvestition steigt dementsprechend mit zunehmender Jahrringbreite an. Somit sollten geastete Bestände intensiv durchforstet werden, um die Zeit der Kapitalbindung so gering wie möglich halten zu können. Die Konsequenzen intensiver Durchforstung in Kombination mit Astung sind jedoch bislang zu wenig quantifiziert worden.

Neben mangelnder Information zur Durchforstung von Astungsbeständen fehlen Ansätze zur Optimierung der Anzahl der zu astenden Bäume weitgehend. Die Empfehlungen bezüglich der Astungsbaumzahl je Hektar gehen weit auseinander. So wurde von der ehemaligen Bayerischen Staatsforstverwaltung für die Astung eine Baumzahl von 200 bis 250 Fichten je Hektar festgelegt (vgl. StMELF 1999). Die FVA Baden-Württemberg (2000) empfiehlt die Astung von 150 bis 250 Fichten je Hektar. Im Gegensatz dazu nennen BURSCHEL und HUSS (1997) als Faustzahl für die waldbauliche Praxis bei Fichte 300 bis 400 Astungsbäume je Hektar. In einer Beispielsrechnung zur Rentabilität der Astung geht DEEGEN (1995) von 300 geasteten Fichten je Hektar aus. MOSANDL und KNOKE (2002) sehen in ihrer Kalkulation 150 Fichten je Hektar zur Astung vor.

Vor dem Hintergrund der existierenden Kenntnislücken ergeben sich zwei Fragestellungen, denen in diesem Artikel nachgegangen werden soll:

- Welche waldbauliche Behandlung der Astungsbestände ist vorteilhaft?
- Wie viele Fichten sollten aus finanzieller Sicht je Hektar geastet werden?

Bei der folgenden Analyse soll neben dem möglichen, zusätzlichen Ertrag durch die Astungsinvestition auch ein besonderes Augenmerk auf das betriebswirtschaftliche Risiko, dargestellt über die Streuung der Ergebnisse und die Verlustwahrscheinlichkeit, gelegt werden.

2. MATERIAL UND METHODEN

2.1 Datengrundlage

Die Naturaldaten lieferte der 1974 angelegte Fichtendurchforstungsversuch Freising (vgl. HUSS, 1990). Die aus diesem Versuch vorliegenden Daten wurden von KNOKE (1998) für manche Parzellen durch Wachstumsprognosen ergänzt, deren Daten ebenfalls für vorliegende Studie herangezogen wurden.

2.2 Ausgewählte Behandlungsvarianten

Aus den vielen Behandlungsvarianten des Freisinger Fichtendurchforstungsversuchs wurden in Anlehnung an KNOKE (1998) drei Varianten ausgewählt. *Tabelle 1* zeigt, wie diese bis zur Aufnahme im Alter 48 behandelt wurden.

Für die folgenden Berechnungen wurden bis zum Bestandesalter 48 die auf den Versuchsparzellen tatsächlich gemessenen Daten verwendet. Für den anschließenden Zeitraum bis zum Alter 98 wurden die Daten der Simulationsläufe verwendet. In der Variante „Undurchforstet" fanden auch während der Simulation bis zur Endnutzung keine Eingriffe statt. Bei der Variante „Kombinierte Durchforstung" schlossen sich 50 Jahre mit schwacher Niederdurchforstung[2)] an, ehe im Alter 98 die Endnutzung des Bestandes erfolgte.

Bei der „Zieldurchmesserernte" folgte in der Simulation ab dem Alter 68 eine Phase, während der alle Bäume mit einem BHD von über 55 cm genutzt wurden, ehe im Alter 98 der gesamte restliche Bestand geerntet wurde. Dagegen unterblieb bei der Variante mit Hiebsruhe nach starker Durchforstung bis zur Endnutzung jede Holzernte. Im Alter 98 wurde dann der gesamte Bestand geerntet (vgl. KNOKE, 1998, S. 220).

2.3 Grundlegende Annahmen zur Astung

In der Realität wurden keine Astungsvarianten in den Fichtendurchforstungsversuch einbezogen. Aus diesem Grund mussten die

*) Korrespondierender Autor. E-Mail: beinhofer@forst.tu-muenchen.de.

[1)] Die Bäume wurden geschneitelt, d.h. dürre oder grüne Äste wurden von Hirten entweder vom Boden aus abgeschlagen, abgehackt oder abgesägt, oder sie kletterten dafür die Bäume hoch. Dabei führte das ungeregelte Vorgehen der „Hütebuben" zu höchst verschiedenen Astungsqualitäten und Astungshöhen zwischen 4 m und 20 m.

[2)] Bei der Niederdurchforstung wurden alle Bäume mit einem BHD kleiner als 30 cm entnommen.

Tab. 1

Behandlungsprogramm der ausgewählten Versuchsparzellen des Freisinger Fichtendurchforstungsversuchs bis Alter 48 (aus: KNOKE 1998, verändert).

Silvicultural treatment of selected trial plots of the spruce thinning trial in Freising up to age 48 (after KNOKE 1998, modified).

Durchforstungs-variante	Abkürzung	Ausgewählte Versuchsvariante	Maßnahme im Alter		
			27	33	48
Undurchforstet	UDF	auf Dauer undurchforstete Bestandesteile	Abtötung unerwünschter Mischbaumarten	keine Maßnahme	keine Maßnahme
Kombinierte Durchforstung	KDF	Reihenentnahme mit späterer Z-Baumauswahl	Entnahme jeder 5. Reihe	Auswahl von 400 Z-Bäumen/ha und Entnahme von 1 Bedränger in einem Kreis von 5m Durchmesser	Entnahme von ca. 1 Bedränger pro 2 Z-Bäume
Hiebsruhe nach starker Durchforstung	HR	Durchforstung mit Z-Baummarkierung	Auswahl von 400 Z-Bäumen/ha und Entnahme von 2 Bedrängern in einem Kreis von 4m Durchmesser	Belassen nur der Z-Bäume und Entnahme aller übrigen Bäume	Belassen von 236 Z-Bäumen/ha und Entnahme aller übrigen Bäume
Zieldurchmesserernte	ZDE				

Zahlungen im Rahmen der Astung in einer Nachkalkulation ermittelt werden. Hierzu wurden im Nachhinein die vitalsten Fichten als Astungsbäume aus der Baumliste der Endbestände ausgewählt. Dies geschah anhand der im Alter 98 erreichten Durchmesser. Eine Ausnahme bildet die Variante „Zieldurchmesser", da hier hiebsreife Stämme im Alter von 68, 78, 88 und 98 Jahren anfielen. Hier stellte neben dem Durchmesser auch das Alter, in dem dieser erreicht wurde, ein Auswahlkriterium dar, um die vitalsten und somit zu astenden Bäume auszuwählen. Es wurden Varianten mit 50, 100, 150, 200 und 250 Astungsbäumen je Hektar unterschieden.[3)]

Im Alter von 27 Jahren, zu diesem Zeitpunkt wurde der Versuch erstmals aufgenommen und eine Astung unterstellt, hatten die Bestände des Fichtendurchforstungsversuchs einen d100[4)], der im Bereich von etwa 18–21 cm schwankte (vgl. HUSS, 1988, S. 12). Damit die Astung technisch nutzbare Schichten von astfreiem Holz liefert, wird es für nötig gehalten, dass diese Schichten mindestens 10 bis 15 cm (vgl. BUES, 1996, S. 46; StMELF 1999, S. 8; MOSANDL et al., 1995, S. 1306) im Radius betragen. Diese Forderung wird erfüllt, wenn ein L4 Erdstamm erreicht wird.

Die Baumliste wurde dann um das mit dem für die Bundeswaldinventur entwickelten Sortierungs- und Voluminierungsprogramm BDAT (vgl. KUBLIN und SCHARNAGL, 1988) ermittelte Volumen und die Stärkeklasse der Erdstammabschnitte ergänzt. Ausgewählte Bäume mit einem Erdstamm, der bei der Ernte schwächer als die Stärkeklasse L4 war, wurden als nicht wertholztauglich betrachtet. Für die ausgewählten Astungsbäume, deren Stärke zu gering war, wurde zwar eine Auszahlung für die Astung angesetzt, für sie entfiel aber der erwartete Mehrerlös. Geastete aber zu schwache Stämme traten besonders häufig bei mehr als 150 Astungsbäumen je Hektar auf.

Bei der folgenden Berechnung wurde von einem Ausfall der Astungsinvestition in Höhe von 20% der geasteten Bäume ausgegangen. Trotz der Astungsinvestition entfiel bei diesen Fichten der Mehrerlös für geastetes Holz. Dieser angesetzte Ausfall bewegte sich damit in einem Bereich, den andere Autoren verwendeten. So kalkulierte DEEGEN (1995) mit 90% Überlebenswahrscheinlichkeit der Astungsbäume. EBERT (1997) ging bei seiner Kalkulation zur Astung von einem Ausfall von 20% der geasteten Bäume aus. Lediglich MOSANDL und KNOKE (2002) kalkulierten mit einer von ihnen selbst als sehr hoch eingeschätzten Ausfallswahrscheinlichkeit von 50%. Einen Anhalt bezüglich der Ausfallwahrscheinlichkeit geben auch die von der Abteilung Waldwachstum der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz in relativ jungen Beständen in einer Zehnjahresperiode festgestellten Ausfallprozente unter den Z-Bäumen. Unter der Annahme, dass diese Ausfallprozente je Jahrzehnt bis zum Ende der Umtriebszeit konstant bleiben, ergibt sich im Mittel ebenfalls ein Ausfall von 20% der Z-Bäume.

Um den Mehrerlös gegenüber dem normalen B-Holz für die geasteten 6 m langen Erdstammstücke zu berechnen, wurde neben dem Preisunterschied (hierzu später) zum Normalholz auch das Volumen des Wertholzes benötigt. Dieser Wert resultiert aus der Summe der Erdstammvolumina mit einer Stärke ab L4 der nicht ausgefallenen Stämme (vgl. *Tabelle 2*).

Für die Astung der Erdstammstücke bis 6 m wurden im Anhalt an MOSANDL und KNOKE (2002) Ausgaben in Höhe von 6,14 €/Baum angenommen. So ergaben sich die in *Tabelle 3* dargestellten Astungsausgaben je Hektar.

Die wahren Astungsbaumzahlen wichen leicht von den angegebenen Zahlen ab. So wurde tatsächlich mit 49, 104, 153, 201 und 250 Astungsbäumen gerechnet. Zur besseren Lesbarkeit dieser Arbeit wurden allerdings die angestrebten, glatten Astungsbaumzahlen in den Tabellen verwendet.

Tab. 2

Wertholzanfälle in Efm/ha bei verschiedenen Astungsbaumzahlen und Durchforstungsvarianten.

Harvested quality timber volume in m³ per ha for different numbers of pruned spruces and different variants of thinning.

Durchforstungs-variante	Astungsbaumzahl je Hektar				
	50	100	150	200	250
UDF	30	47	47	47	47
KDF	48	87	121	127	127
HR	49	97	133	134	134
ZDE	40	81	116	128	128

[3)] Tatsächlich wichen die Astungsbaumzahlen etwas von den angegebenen Zahlen ab, da die Anzahl sowohl auf 0,144 ha (Parzellengröße) als auch auf 1 ha bezogen eine ganze Zahl ergeben sollte. So wurde wirklich mit 49, 104, 153, 201 und 250 Astungsbäumen gerechnet.

[4)] Grundflächenmittelstamm der 100 dicksten Bäume je Hektar.

Tab. 3

Astungsausgaben je Hektar bei verschiedenen Astungsbaumzahlen.

Payments for pruning per hectare for different numbers of pruned spruces.

Anzahl der Astungsbäume je Hektar	50	100	150	200	250
Astungsausgaben in € je Hektar	301	639	939	1234	1535

2.4 Holzmarktdaten

Holzmarktdaten der jährlich erscheinenden Holzpreisstatistiken der Bayerischen Staatsforstverwaltung wurden verwendet, um den Preisunterschied zwischen geastetem und ungeastetem Holz abzuschätzen. Die nach Qualität und Stärkeklassen aufgeschlüsselten Wertholzpreise wurden volumengewichtet gemittelt, so dass neben einer Preiskurve für normales Holz der Stärkeklasse H4 mit Rinde (Normalholz)[5], das als Bezugsgröße[6] verwendet wurde, eine Kurve für Wertholz im Zeitraum von 1972–2003 entstand. So liegen diesem Preismodell 3,3 Mio. fm Normalholz und rund 14000 fm Wertholz zugrunde. Dabei stellt der Normalholzpreis den Preis dar, der ohne die Astungsinvestition für das Fichtenholz erzielt würde. Durch die Produktion von geastetem Fichtenholz erzielt man einen Mehrerlös gegenüber dem Normalholz. Dieser Mehrerlös je Festmeter berechnet sich aus der Differenz des Wertholzpreises und des Normalholzpreises und steht als zusätzliche Einnahme den Ausgaben für die Astung gegenüber. Es zeigt sich, dass der Wertholzpreis im Mittel zwar etwa doppelt so hoch ist wie der Preis für Normalholz. Dafür ist die Streuung aber auch mehr als dreimal so groß (vgl. *Tabelle 4*).

Tab. 4

Ergebnisse der Analyse der Holzpreisstatistik.

Results from analysing timber price data.

	Holzpreis (€/fm)		Holzmenge
	Mittelwert	Standardabweichung	(fm)
Normalholz	69,65	13,81	3326199
Wertholz	142,46	48,88	14029

2.5 Berechnung zufallsbehafteter Kapitalwerte

Für jeden Erntezeitpunkt des Wertholzes wurde in 1000facher Wiederholung ein zufallsbehafteter Holzpreisunterschied zwischen dem Preis für Normal- und Wertholz erzeugt. Aus den festen Wertholzanfällen und den schwankenden Preisunterschieden gegenüber dem Normalholz wurden die Mehreinnahmen durch die Astung berechnet. Die Astungsausgaben wurden hier als fest betrachtet. Aus diesen Daten wurde dann ein Kapitalwert der Astungsinvestition berechnet. Die Berechnung erfolgte im Anhalt an THOMMEN und ACHLEITNER (2003) mit folgender Formel:

$$K_0 = -I_0 + \sum_{t=0}^{T} \frac{e_t - a_t}{q^t} \qquad \text{Formel 1}$$

Dabei bezeichnet K_0 den Kapitalwert und T die Gesamtlaufzeit der Investition. Die Zahlungsdifferenz zum Zeitpunkt t errechnet sich aus den Einzahlungen e_t und den Auszahlungen a_t. Der verwendete Parameter q steht für 1+i, wobei sich der verwendete Zinssatz als Dezimalzahl hinter i verbirgt. Die Anfangsauszahlung wird mit I_0 bezeichnet. Durch die Division mit q^t werden die anfallenden Zahlungen auf den Zeitpunkt t = 0 diskontiert.

Diese Berechnung erfolgte zunächst für jede der 1000 Wiederholungen. Aus diesen Daten konnte ein Mittelwert und eine Standardabweichung für die Kapitalwerte der Astungsinvestition ermittelt werden. Die Standardabweichung stellt dabei ein Maß für die Schwankung der Kapitalwerte dar, also dafür wie stark die Kapitalwerte der Astungsinvestition um den Mittelwert gestreut sind. Je stärker die Kapitalwerte der Astungsinvestition streuen, desto unsicherer wird der erwartete, mittlere Kapitalwert dieser Investition. Damit steigt auch die Gefahr, ein unterdurchschnittlichen Kapitalwert, oder gar einen Verlust durch die Astungsinvestition zu erzielen.

Eine Untersuchung der Verlustwahrscheinlichkeit der verschiedenen Varianten erfolgte ebenfalls mit Hilfe der Ergebnisse der Monte Carlo Simulation. Anhand der berechneten 1000 Kapitalwerte kann der Anteil der Kapitalwerte kleiner oder gleich Null ermittelt werden. Die Verlustwahrscheinlichkeit quantifiziert also die Gefahr, mehr Geld in den Bestand zu investieren als durch Mehrerlöse für das geastete Holz zurückfließt, wobei der Zeitpunkt der Zahlungseingänge zu beachten ist.

Daneben wird in der ökonomischen Literatur häufig die Standardabweichung als Risikomaß verwendet. Kapitalwert und Risiko (Standardabweichung) können mit Hilfe einer Risikonutzenfunktion verknüpft werden, um die Vorteilhaftigkeit der Astung zu beurteilen.

2.6 Risikonutzenfunktion und Sicherheitsäquivalent

Besonders bei Investitionen im Wald sollte man aufgrund der langen Zeiträume, in der Bestände vielen biotischen und abiotischen Gefahren ausgesetzt sind, Entscheidungen nicht allein aufgrund des zu erwartenden, mittleren Kapitalwerts treffen. Stark schwankende Holzpreise erhöhen zusätzlich die Unsicherheit forstlicher Investitionen. Aus diesem Grund sollte man bei Entscheidungen zusätzlich die Gefahr der Schwankung der Kapitalwerte, hier dargestellt über die Standardabweichung, mit beachten. Eine Verknüpfung von Kapitalwert und Risiko ist mit Hilfe von Risikonutzenfunktionen, beispielsweise über das Sicherheitsäquivalent, möglich. Das Sicherheitsäquivalent entspricht dabei dem sicheren Betrag, den der Investor als gleichwertig mit dem unsicheren Mittelwert der Kapitalwerte, z.B. der Astungsinvestition, betrachtet.

Die Mehrzahl der Menschen meidet Risiko, sie verhalten sich also risikoavers. Dies bedeutet, dass sie sichere Einnahmen unsi-

[5]) Der Preis für Holz der Stärkeklasse H4 mit Rinde wird im Folgenden als Normalholzpreis bezeichnet, das Sortiment H4 mit Rinde als Normalholz.

[6]) Die Verwendung des Sortiments H4 als Referenzsortiment könnte man kritisieren. So könnte argumentiert werden, dass durch die Verwendung des Sortiments H4 der Preisunterschied zwischen Holz normaler Qualität und Wertholz, das stärkere Dimensionen aufweist, künstlich erhöht wurde. Dazu ist zunächst zu sagen, dass die Daten des Wertholzes auch Preise von Holz der Stärkeklasse L3 enthielten. Zudem ließ sich in den letzten Jahren Holz der Sortimente H4 bzw. L2b besser verkaufen als Holz der Sortimente H5 und H6 bzw. L3a aufwärts (Thematik „Starkholzproblem"). Gleichzeitig erlöste man in den letzten Jahren für Holz normaler Qualität der Sortimente H4 bzw. L2b nicht weniger als für die Sortimente H5 und H6 bzw. L3a aufwärts, so dass zumindest für aktuellere Holzmarktdaten die Kritik nicht zutrifft. Daneben sprachen die großen in der Statistik aufgeführten Holzmengen für die Verwendung des Sortiments H4.

cheren vorziehen, selbst wenn letztere im Mittel höher sind. Dies zeigt sich beispielsweise daran, dass lediglich 8% der Deutschen Aktien besitzen, wobei es gleichzeitig über 33 Millionen Bausparverträge in Deutschland gibt.[7] Geht man deshalb im Folgenden von Risikoaversion aus, liegt das Sicherheitsäquivalent unter dem unsicheren Mittelwert der Kapitalwerte. Je größer die Unsicherheit des mittleren Kapitalwertes ist, desto geringer ist das Sicherheitsäquivalent. Folglich wird ein risikoproportionaler Abschlag von dem erwarteten, aber unsicheren, mittleren Kapitalwert abgezogen (vgl. HEIDINGSFELDER und KNOKE, 2004), um das Sicherheitsäquivalent abzuschätzen.

Die Berechnung des Sicherheitsäquivalents kann mit folgender Formel (vgl. GERBER und PAFUMI, 1998, S. 77) erfolgen:

$$SÄQ = E(K) - \alpha \cdot \frac{s_k^2}{2} \qquad \text{Formel 2}$$

Dabei steht SÄQ für Sicherheitsäquivalent, E(K) für den Erwartungswert (Mittelwert) der Kapitalwerte. Hier wurde der Mittelwert des Kapitalwertes aus 1000 wiederholten Simulationen eingesetzt. Der Parameter α ist ein Maß für die Risikoaversion. Die Standardabweichung der Kapitalwerte wird mit s_k bezeichnet.

Mit Hilfe des Parameters α kann man den Grad der Risikoaversion berücksichtigen. Dabei unterscheidet man normale und starke Risikoaversion. Je stärker die Risikoaversion ist, desto stärker wird die Streuung der Kapitalwerte gewichtet. Folglich liegt das Sicherheitsäquivalent umso weiter unter der unsicheren Zahlung, je größer die Risikoaversion ist. Dabei ist α vom Anlagebetrag abhängig, wobei bei einem Variantenvergleich immer mit dem maximalen Anlagebetrag kalkuliert werden muss. Bei normaler Risikoaversion geht man von $\alpha = 1/\text{Anlagebetrag}$, bei starker Risikoaversion von $\alpha = 2/\text{Anlagebetrag}$ aus (vgl. KNOKE et al., 2005, S. 12). In Fall der Astungsinvestition stellten die maximalen Astungsausgaben in Höhe von 1535 €/ha den Anlagebetrag dar.

3. ERGEBNISSE

3.1 Kapitalwerte der Astungsinvestition

Die Mittelwerte der Kapitalwerte (abgekürzt mit m) und deren Streuung (abgekürzt mit s) sind in *Tabelle 5* für 150 geastete Stämme je Hektar dargestellt. Grau hinterlegt sind in dieser Tabelle die Fälle, in denen der Kapitalwert der Astungsinvestition negativ ist.

Wie zu erwarten war, wurden die Kapitalwerte der Astungsinvestition mit steigenden Zinssätzen bei jeder Variante immer kleiner und schließlich negativ. Auffällig ist, dass ausgehend vom Zinssatz Null, der Kapitalwert der Astungsinvestition zuallererst bei der Durchforstungsvariante „Undurchforstet" negativ wird. Mit höheren Zinssätzen folgen gemeinsam die anderen Durchforstungsvarianten. Durch den Effekt der Diskontierung sinkt die Standardabweichung der Kapitalwerte ebenfalls mit steigenden Zinssätzen.

[7]) Quelle: http://www.bundesbank.de/download/volkswirtschaft/mba/2003/200303mba_aktienkurs.pdf und http://www.destatis.de/basis/d/bank/banktab3.php. Zugriff am 27. 4. 2006.

Tab. 6

Astungsbaumzahl mit maximalem Kapitalwert (im Falle negativer Kapitalwerte wurde die Zahl grau hinterlegt).

Number of pruned spruces with maximum net present value (in the case of negative net present values the background was coloured grey).

Durchforstungs-variante	Zinssatz in %					
	0	1	2	3	4	5
UDF	100	100	50	50	50	50
KDF	200	150	150	50	50	50
HR	150	150	150	150	50	50
ZDE	200	200	150	150	50	50

Über alle Zinssätze hinweg hat die Astung der undurchforsteten Variante die geringsten Kapitalwerte. Für Zinssätze von 0% und 1% weist die Astung der Durchforstungsvariante „Hiebsruhe nach starker Durchforstung" die größten Kapitalwerte auf. Bei Kalkulationszinssätzen von 2% bis 5% hat die Astungsinvestition bei „Zieldurchmesserernte" die höchsten Kapitalwerte. Im Falle der undurchforsteten Variante hat die Astungsinvestition immer die geringste Standardabweichung, bei der „Hiebsruhe nach starker Durchforstung" stets die größte. Die Kapitalwerte der Astung bei der Durchforstungsvariante „Zieldurchmesserernte" weisen zumeist eine geringere Standardabweichung auf als die bei der „Kombinierte Durchforstung".

3.2 Astungsbaumzahlen mit maximalem Kapitalwert

Nach der Betrachtung der Kapitalwerte und ihrer Standardabweichung für 150 geastete Fichten wird im Folgenden herausgestellt, welche Anzahl von geasteten Fichten je Hektar bei den verschiedenen Varianten den höchsten Kapitalwert liefert (vgl. *Tabelle 6*).

Im Bereich der negativen Kapitalwerte ist der Verlust immer bei Astung von 50 Fichten je Hektar am geringsten. Daneben zeigt sich, dass bei einem Zinssatz von 0% stets die je Durchforstungsvariante höchste Anzahl an Astungsbäumen vorteilhaft ist. Die Astung von 250 Fichten je Hektar liefert in keinem Fall den maximalen Kapitalwert.

Die Durchforstungsvariante „Zieldurchmesserernte" weist tendenziell die höchsten optimalen Astungsbaumzahlen auf. Im undurchforsteten Bestand liefern 100 oder weniger geastete Fichten pro Hektar die maximalen Kapitalwerte. Bei der „Kombinierten Durchforstung" und der „Zieldurchmesserernte" trifft dies auf eine Astungsbaumzahl von 200 Bäumen pro Hektar zu. Bei der „Hiebsruhe nach starker Durchforstung" ist dies dagegen für eine Astungsbaumzahl von maximal 150 Fichten je Hektar der Fall. Im Bereich positiver Kapitalwerte liefern 150 geastete Fichten je Hektar mit Abstand am häufigsten den maximalen Kapitalwert.

3.3 Verlustwahrscheinlichkeit für die Astungsinvestition

Neben der Höhe des Kapitalwerts oder der optimalen Anzahl an geasteten Bäumen ist auch die Verlustwahrscheinlichkeit der

Tab. 5

Mittelwerte und Standardabweichungen der Kapitalwerte bei Astung von 150 Bäumen in €/ha.

Mean and standard deviation of net present values from pruning 150 trees per hectare.

Df-Var.	Zinssatz in %											
	0		1		2		3		4		5	
	m	s	m	s	m	s	m	s	m	s	m	s
UDF	2499	2209	757	1090	-97	541	-518	271	-727	136	-832	69
KDF	7599	5853	3273	2888	1154	1435	108	718	-412	361	-672	183
HR	9250	6165	4088	3042	1558	1511	310	756	-310	381	-620	193
ZDE	7474	3113	3729	1715	1687	961	559	547	-74	316	-433	186

Tab. 7

Verlustwahrscheinlichkeiten bei 150 Astungsbäumen pro Hektar.

Probability of losses in the case of pruning 150 spruces per hectare.

Durchforstungs-variante	Zinssatz in %					
	0	1	2	3	4	5
UDF	13%	24%	57%	97%	100%	100%
KDF	9%	12%	20%	44%	88%	100%
HR	6%	9%	15%	34%	79%	100%
ZDE	1%	1%	4%	16%	59%	99%

Astungsinvestition von Interesse. Die Verlustwahrscheinlichkeiten für die Varianten mit 150 Astungsbäumen je Hektar sind in *Tabelle 7* dargestellt.

Generell betrachtet steigt die Verlustwahrscheinlichkeit mit steigendem Zinsfuß. Die Astung bei der Durchforstungsvariante „Zieldurchmesserernte" hat immer die geringsten Verlustwahrscheinlichkeiten. Daneben erreicht die Astung im Falle der „Zieldurchmesserernte" bei einem höheren Kalkulationszinsfuß als die Astung der anderen Durchforstungsvarianten eine Verlustwahrscheinlichkeit von 100%.[8] Die Astung der undurchforsteten Variante hat stets die höchste Verlustwahrscheinlichkeit, während die Astung bei „Hiebsruhe nach starker Durchforstung" geringere Verlustwahrscheinlichkeiten aufweist als bei „Kombinierter Durchforstung".

3.4 Astungsbaumzahl und Verlustwahrscheinlichkeit

Wie sich die Verlustwahrscheinlichkeit mit den Astungsbaumzahlen ändert, ist in *Tabelle 8* dargestellt. Hierbei wurde ein Kalkulationszinsfuß von 3% unterstellt.

Tab. 8

Vergleich der Verlustwahrscheinlichkeiten der verschiedenen Astungsbaumzahlen bei einem Zinssatz von 3%.

Comparison of the probability of losses from different numbers of pruned spruces, using an interest rate of 3%.

Durchforstungs-variante	Anzahl der geasteten Bäume je Hektar				
	50	100	150	200	250
UDF	57%	80%	97%	100%	100%
KDF	34%	41%	44%	58%	72%
HR	28%	31%	34%	49%	64%
ZDE	22%	16%	16%	26%	43%

Die Verlustwahrscheinlichkeit steigt mit zunehmender Anzahl an geasteten Bäumen je Hektar an. Nur im Falle der Variante „Zieldurchmesserernte" verhält es sich anders. Hier sinkt die Verlustwahrscheinlichkeit bei einer Steigerung von 50 auf 100 Astungsbäume, bleibt bei 150 geasteten Fichten konstant, um bei noch höheren Astungsbaumzahlen erneut anzusteigen. Die Verlustwahrscheinlichkeit der Astung bei „Hiebsruhe nach starker Durchforstung" ist wiederum geringer als bei „Kombinierter Durchforstung". Vergleicht man die Verlustwahrscheinlichkeiten weiter, hat die Astung bei „Zieldurchmesserernte" immer die geringste und die Astung der undurchforsteten Variante stets die höchste Verlustwahrscheinlichkeit.

3.5 Sicherheitsäquivalente der Astungsinvestition

Für eine gemeinsame Betrachtung von Risiko in Form der Standardabweichung und dem Mittelwert der Kapitalwerte, wird das Sicherheitsäquivalent verwendet. Die Sicherheitsäquivalente des Astungskapitalwerts bei 150 Astungsbäumen und einem Zinssatz von 3% sind in folgender *Tabelle 9* angegeben.

Tab. 9

Sicherheitsäquivalente der Astungsinvestition für normale und starke Risikoaversion, Angegeben in €/ha, dargestellt für 150 Astungsbäume und einen Zinssatz von 3% (die Bereiche negativer Sicherheitsäquivalente sind grau hinterlegt).

Certainty equivalent of the pruning investment for normal and strong risk-aversion in €/ha for 150 pruned spruces and an interest rate of 3% (the cases with negative certainty equivalent have a grey background).

Durchforstungs-variante	Risikoaversion	
	normal	stark
UDF	-542	-666
KDF	-60	-228
HR	124	-52
ZDE	461	364

Es zeigt sich, dass sowohl die undurchforstete Variante als auch die „Kombinierte Durchforstung" in diesem Fall negative Sicherheitsäquivalente aufweisen. Bei starker Risikoaversion weist lediglich die Durchforstungsvariante „Zieldurchmesserernte" ein positives Sicherheitsäquivalent auf. Sowohl bei normaler als auch bei starker Risikoaversion weist immer die Durchforstungsvariante „Zieldurchmesserernte" das höchste Sicherheitsäquivalent auf.

3.6 Astungsbaumzahl mit maximalem Sicherheitsäquivalent

Über Vergleiche der Sicherheitsäquivalente der Varianten wurde die Astungsbaumzahl je Hektar mit maximalem Sicherheitsäquivalent ermittelt. Das Ergebnis dieser Untersuchung für normale Risikoaversion zeigt die *Tabelle 10*.

Erwartungsgemäß ist im Bereich negativer Sicherheitsäquivalente stets die Astung von nur 50 Bäumen die relativ beste Lösung. Die Varianten mit 200 und 250 Astungsbäumen liefern nie die optimale Lösung. Die Durchforstungsvarianten „Undurchforstet",

Tab. 10

Astungsbaumzahl je Hektar mit maximalem Sicherheitsäquivalent bei normaler Risikoaversion (grau hinterlegt sind die Bereiche mit negativem Sicherheitsäquivalent).

Number of pruned spruces per hectare with maximum certainty equivalent for normal risk-aversion (the cases with a negative certainty equivalent have a grey background).

Durchforstungs-variante	Zinssatz in %					
	0	1	2	3	4	5
UDF	50	100	50	50	50	50
KDF	50	100	100	50	50	50
HR	50	100	150	100	50	50
ZDE	150	150	150	150	50	50

[8]) Rein theoretisch betrachtet kann hier eine Verlustwahrscheinlichkeit von 100 % nicht erreicht werden, da die Normalverteilung, die auch für die Simulation verwendet wurde von $-\infty$ bis $+\infty$ reicht. Die Erfolgschancen sind bei den hier angegebenen, gerundeten Verlustwahrscheinlichkeiten von 100% jedoch so klein, dass sie nicht mehr darstellbar sind.

„Hiebsruhe nach starker Durchforstung" und „Kombinierte Durchforstung" weisen zunächst mit steigenden Zinssätzen eine ansteigende Anzahl an zu astenden Bäumen auf. Erhöht man die Kalkulationszinssätze noch weiter, sinkt die optimale Anzahl wieder. Dabei bewegt sich die optimale Astungsbaumzahl zwischen 50 und 150 Fichten je Hektar. Bei der „Zieldurchmesserernte" ist im Bereich positiver Sicherheitsäquivalente stets die Astung von 150 Fichten je Hektar optimal. Die gleiche Untersuchung wurde anschließend auch für starke Risikoaversion durchgeführt (vgl. *Tabelle 11*).

Tab. 11

Astungsbaumzahl je Hektar mit maximalem Sicherheitsäquivalent bei starker Risikoaversion (grau hinterlegt sind die Bereiche mit negativem Sicherheitsäquivalent).

Number of pruned spruces per hectare with maximum certainty equivalent for strong risk-aversion (the cases with a negative certainty equivalent have a grey background).

Durchforstungs-variante	Zinssatz in %					
	0	1	2	3	4	5
UDF	50	50	50	50	50	50
KDF	50	50	50	50	50	50
HR	50	50	50	50	50	50
ZDE	100	150	150	150	50	50

Auch bei starker Risikoaversion stellt im Bereich negativer Sicherheitsäquivalente die Astung von 50 Fichten je Hektar die beste Lösung dar. Die Astung von 200 und 250 Bäumen je Hektar stellt erneut nie die Optimalvariante dar. Bei Zinssätzen von 1% bis 3% liefern bei der Durchforstungsvariante „Zieldurchmesserernte" 150 Astungsbäume je Hektar das optimale Ergebnis. Bei einem Zinssatz von 0% sind 100 Astungsbäume optimal. Bei den anderen Durchforstungsvarianten ist stets die Astung von 50 Fichten je Hektar optimal.

Die Bereiche negativer Sicherheitsäquivalente unterscheiden sich zwischen normaler und starker Risikomeidung etwas. So ist das Sicherheitsäquivalent der Astung für die „Kombinierte Durchforstung" bei einem Zinssatz von 0% und starker Risikoaversion zusätzlich negativ.

Vergleicht man die nach dem Sicherheitsäquivalent optimalen Astungsbaumzahlen bei normaler und starker Risikoaversion, fällt auf, dass sie entweder gleich bleiben oder sinken. Verringert sich die optimale Astungsbaumzahl, so zumeist um 50 Fichten je Hektar.

4. DISKUSSION UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

4.1 Diskussion des verwendeten Ansatzes

Das Preismodell resultiert aus Daten der Vergangenheit, wobei zu betonen ist, dass die zukünftige Entwicklung, auch vor dem Hintergrund der Globalisierung und internationaler Holzmärkte, nicht mit diesen Daten übereinstimmen muss. Daneben ist zu bedenken, dass die Ausfallswahrscheinlichkeit der Astungsbäume lediglich geschätzt wurde und eine fundierte empirische Grundlage bislang fehlt.

Die Optimierung der Umtriebszeit war nicht Gegenstand der Analyse. Die durch das verwendete Datenmaterial bedingte Festlegung der Umtriebszeit auf 98 Jahre könnte kritisiert werden. So könnte argumentiert werden, dass durch eine längere Umtriebszeit mehr Astungsbäume die Stärkeklasse L4 erreichen, was entsprechende finanzielle Konsequenzen hätte. Somit könnten sich auch höhere Astungsbaumzahlen als die hier ermittelten 150 Bäume je Hektar als vorteilhaft darstellen. Dazu ist anzumerken, dass die Baumliste des Endbestandes bei der „Zieldurchmesserernte" nur 2 Stämme je Hektar enthält, die die Stärkeklasse L4 erst zu einem späteren Zeitpunkt erreichen würden. Bei der „Hiebsruhe nach starker Durchforstung" könnten nur 4 weitere Bäume je Hektar noch in diese Stärkeklasse einwachsen. Somit wirkt bei diesen beiden Durchforstungsvarianten nicht die Umtriebszeit sondern die Baumzahl des Bestandes limitierend. Lediglich bei der „Kombinierten Durchforstung" und der Variante „Undurchforstet" besteht noch Potential, dass durch eine längere Umtriebszeit deutlich mehr Stämme ins L4 einwachsen. Bei der „Kombinierten Durchforstung" trifft dies auf maximal 111 Stämme je Hektar zu, bei der Variante „Undurchforstet" auf maximal 278. Somit besteht nur bei diesen beiden Durchforstungsvarianten größeres Potential für die Steigerung des Wertholzanfalls durch eine Verlängerung der Umtriebszeit. Aus finanzieller Sicht wären längere Umtriebszeiten nur vorteilhaft, wenn der prozentuale Volumenzuwachs des Wertholzes höher als der verwendete Kalkulationszinsfuß ist. Liegt er darunter führen längere Umtriebszeiten zu negativen finanziellen Konsequenzen. Allerdings gilt diese Annahme nur bei der Vernachlässigung des Risikos. Integriert man das Risiko, müsste man auch beachten, dass sich das Ausfallrisiko mit steigender Umtriebszeit deutlich erhöht. Dies hätte vermutlich zur Konsequenz, dass längere Umtriebszeiten zu negativen finanziellen Konsequenzen führen.

4.2 Schlussfolgerungen

Nun sollen die am Anfang gestellten Fragen wieder aufgegriffen und mit Blick auf mögliche Schlussfolgerungen beantwortet werden. Die erste Frage lautete:

Welche waldbauliche Behandlung der Astungsbestände ist vorteilhaft?

Vergleicht man die Kapitalwerte der Astung bei verschiedenen Durchforstungsvarianten, ist die Variante „Hiebsruhe nach starker Durchforstung" bei niedrigen Zinssätzen optimal. Für höhere Zinssätze sind die Kapitalwerte bei „Zieldurchmesserernte" am höchsten. Allerdings ist die Standardabweichung der Kapitalwerte bei „Zieldurchmesserernte" stets deutlich geringer. Betrachtet man die Verlustwahrscheinlichkeit, so weist die Astung bei „Zieldurchmesserernte" stets deutlich geringere Wahrscheinlichkeiten auf als eine Astung bei den anderen Durchforstungsvarianten. Auch bei der gemeinsamen Betrachtung von Risiko und Kapitalwert über das Sicherheitsäquivalent zeigt sich eine Überlegenheit der Behandlung von Astungsbeständen gemäß der „Zieldurchmesserernte".

Die Bewertung der vier verwendeten Durchforstungsvarianten ergab somit, dass die Bestandesbehandlung gemäß der „Zieldurchmesserernte" den anderen Durchforstungsvarianten aus finanzieller Sicht überlegen ist. Daneben werden bei dieser Durchforstungsvariante Fichten mit sehr hoher individueller Stabilität erzogen, die auch den Naturgefahren besser standhalten.

Die zweite Fragestellung lautete:

Wie viele Fichten sollten aus finanzieller Sicht je Hektar geastet werden?

Betrachtet man zur Beantwortung dieser Frage die bei der „Zieldurchmesserernte" nach dem Kapitalwert optimale Astungsbaumzahl im Bereich positiver Kapitalwerte, so liegt diese, abhängig vom gewählten Zinssatz, bei 150 bzw. 200 Fichten je Hektar. Bei gemeinsamer Betrachtung von Kapitalwert und Risiko über das Sicherheitsäquivalent sprechen die Ergebnisse recht eindeutig für die Astung von 150 Fichten je Hektar. So kommt man nach Betrachtung dieser Ergebnisse zum Schluss, dass man die Astung von Fichten aus finanzieller Sicht auf die 150 vitalsten Bäume je Hektar beschränken sollte.

Bei der Analyse verschiedener betriebswirtschaftlicher Messgrößen zeigte sich somit, dass die optimalen Astungsbaumzahlen je

Hektar deutlich unter den bisher empfohlenen bzw. vorgeschriebenen Zahlen lagen. Lediglich die untere Grenze der von der FVA Baden-Württemberg (2000) empfohlenen Astungsbaumzahlen stimmt mit dem hier als optimal ermittelten Wert überein. Dagegen wurde die Empfehlung von MOSANDL und KNOKE (2002), nicht mehr als 150 Fichten je Hektar zu asten, bestätigt.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Dieser Artikel geht den Fragen nach, wie geastete Fichtenbestände zu durchforsten sind und wie viele Fichten je Hektar aus finanzieller Sicht zu asten sind.

Die Untersuchung basiert bis zu einem Bestandesalter von 48 Jahren auf im Freisinger Fichtendurchforstungsversuch gemessenen Daten, die dann mit Hilfe von Simulationsläufen bis zum Alter 98 fortgeschrieben wurden. In einer Nachkalkulation wurden dann die Zahlungen, die im Rahmen der Astung anfallen, ermittelt. Dabei wurde ein Ausfall der Astungsinvestition von 20% angenommen. Die Bewertung wurde in 1000-facher Wiederholung mit schwankenden Holzpreisen durchgeführt. So konnten neben dem Mittelwert auch die Streuung des Kapitalwertes und die Verlustwahrscheinlichkeit der Astung für Zinssätze von 0% bis 5% ermittelt werden. Mit Hilfe des Sicherheitsäquivalents als zu maximierender Variable, welche Mittelwert und Streuung der Kapitalwerte verknüpft, wurden aus diesen Daten optimale Astungsbaumzahlen ermittelt.

Ein Vergleich der vier Durchforstungsvarianten ergab, dass in den meisten Fällen eine starke Durchforstung mit frühzeitig einsetzender Ernte von Fichten nach Erreichen eines Zieldurchmessers von 55 cm in Astungsbeständen finanziell vorteilhaft war. Bei den drei anderen betrachteten Durchforstungsvarianten handelte es sich neben einer schwachen Z-Baum Förderung mit folgender Niederdurchforstungsphase um eine starke Durchforstung gefolgt von einer bis zur Endnutzung andauernder Hiebsruhe, sowie eine bis zur Endnutzung undurchforstete Variante. Des Weiteren wurde festgestellt, dass die Astung der vitalsten 150 Fichten je Hektar aus finanzieller Sicht optimal ist. Diese Variante war der Astung von 50, 100, 200 oder 250 Fichten je Hektar deutlich überlegen.

6. Summary

Title of the paper: *Financial Consequences of Pruning Spruces.*

This paper analyses how to thin pruned spruce stands and how many spruces per hectare should be pruned from the economic point of view.

This study is based up to an age of 48 years on data from a spruce thinning experiment located in Freising, which were completed with simulations up to an age of 98 years. After that, the payments caused by pruning were determined. In this calculation a loss of 20% of the pruned spruces was included. The whole valuation was repeated 1000 times with fluctuating timber prices. This way the mean and the dispersion of the net present value and the probability of losses caused by pruning could be determined for interest rates between 0% and 5%. With the help of the certainty equivalent, which connects the mean and the dispersion of the net present value, optimal numbers of pruned spruces per hectare could be determined.

Comparing four variants of thinning, in most cases a strong thinning, combined with an early beginning of harvesting spruces after they have reached a diameter of 55 cm is financially advantageous. The three other variants of thinning were a weak support of the best trees combined with a following phase of thinning from below, a heavy thinning followed by a phase without any thinning until the final harvest and a non-thinned variant.

In addition to this, it was found, that pruning of the 150 most vigorous spruces is optimal from the financial point of view. This variant was superior to pruning 50, 100, 200 or 250 spruces per hectare.

7. Resumée

Titre de l'article: *Conséquences financières de l'élagage des épicéas.*

Cet article est consacré aux questions de savoir comment doivent être éclairées des peuplements d'épicéa élagués et quel est le nombre de sujets à éclaircir à l'hectare du point de vue économique.

La recherche est basée sur les données collectées jusqu'à un âge de 48 ans dans un peuplement du dispositif expérimental sur les éclaircies de l'épicéa de Freising; ces donnés ont ensuite été extrapolées jusqu'à l'âge de 98 ans à l'aide de simulations. Par un calcul a posteriori, on a évalué les dépenses qui sont intervenues à l'occasion de l'élagage. Sur ce point on a admis une diminution possible de l'investissement lié à l'élagage de 20%. L'évaluation a fait l'objet de 1000 répétions avec des prix du bois variables. De la sorte on a pu estimer, en plus de la valeur moyenne, la dispersion de la valeur en capital et la probabilité des pertes liées à l'élagage, pour des taux d'intérêts compris entre 0% et 5%. A partir de ces données on a déterminé les nombres optimaux d'arbres à élaguer en ayant recours à l'équivalent de sécurité en tant que variable maximisant qui relie la valeur moyenne et la dispersion de la valeur en capital. Une comparaison des quatre variantes d'éclaircie a montré que dans des peuplements élagués il était en général avantageux, au plan financier, de procéder à une éclaircie forte avec une récolte intervenant précocement, disque les épicéas ont atteint le diamètre objectif de 55 cm. En ce qui concerne les trois autres variantes envisagées, il s'agissait: a) de favoriser un faible nombre d'arbres d'avenir, la phase suivante ne comprenant que des éclaircies par le bas; b) d'une éclaircie forte suivie d'une période sans coupe s'étendant jusqu'à la récolte finale; c) du témoin, sans éclaircie jusqu'à la récolte finale. Par ailleurs il a été établi que l'élagage de 150 épicéas à l'hectare était optimale du point de vue financier. Cette variante surpassait nettement les quatre autres avec 50, 100, 200 ou 250 épicéas élagués à l'hectare. J.M.

8. Literaturverzeichnis

ABETZ, P. (1993): Ein Plädoyer für den Z-Baum, Argumente gegen die Kritik an der Z-Baum-orientierten Auslesedurchforstung. *In:* Holz-Zentralblatt, 119. Jahrgang, Nummer 19, Seite 305–310.

ABTEILUNG WALDWACHSTUM DER FORSCHUNGSANSTALT FÜR WALDÖKOLOGIE UND FORSTWIRTSCHAFT RHEINLAND-PFALZ (2004): Jahresbericht 2004. Unter: http://www.uni-kl.de/FVA/de/seiten/jahresbericht/2004/Waldbau.pdf; Zugriff: 28.7.2006.

BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (1972–2003): Holzpreisstatistik für das Kalenderjahr..., für die Jahre 1972–2003. München.

BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (1999): Richtlinie zur Wertastung und zur Pflege von Astungsbeständen. München, Stand Juni 1999.

BUES, C.-T. (1996): Zur Holzqualität weitständig gepflanzter und „geschneitelter" Fichten aus dem Frankenwald. *In:* Forst und Holz, 51. Jahrgang, Heft 2, Seite 45–49.

BURSCHEL, P. und J. HUSS (1997): Grundriß des Waldbaus, Ein Leitfaden für Studium und Praxis. Berlin, 2. Auflage 1997.

DEEGEN, P. (1995): Wertästungsrechnung. *In:* AFZ-DerWald, 50. Jahrgang, Heft 24/1995, Seite 1307–1308.

DEUTSCHE BUNDESBANK (2003): Monatsbericht März 2003. Unter: http://www.bundesbank.de/ download/volkswirtschaft/mba/2003/200303mba_aktienkurs.pdf; Zugriff: 27.4.2006.

EBERT, H.-P. (1997): Der „Wert" einer Wertästung. *In:* AFZ-DerWald, 52. Jahrgang, Heft 22/1997, Seite 1188–1190.

FORSTLICHE VERSUCHS- UND FORSCHUNGSANSTALT BADEN-WÜRTTEMBERG (2000): Wertästung, Merkblätter. Freiburg, 3. Auflage 2000.

GERBER, H. U. und G. PAFUMI (1998): Utility Functions: From Risk Theory to Finance. *In:* North American Actuarial Journal, 2. Jahrgang, Heft 3, Seite 74–100.

HEIDINGSFELDER, A. und T. KNOKE (2004): Douglasie versus Fichte, Ein betriebswirtschaftlicher Leistungsvergleich auf Grundlage des Provenienzversuches Kaiserslautern, Schriften zur Forstökonomie Band 26. Frankfurt am Main.

HUSS, J. (1988): Fichten-Durchforstungsversuch Freising, Exkursionsführer Stand Herbst 1988. München.

HUSS, J. (1990): Zur Durchforstung engbegründeter Fichtenjungbestände. *In:* Forstwissenschaftliches Centralblatt, 109. Jahrgang, Seite 101–118.

KNOKE, T. (1998): Die Stabilisierung junger Fichtenbestände durch starke Durchforstungseingriffe-Versuch einer ökonomischen Bewertung. *In:* Forstarchiv, 69. Jahrgang, Heft 6, Seite 219–226.

KNOKE, T., B. STIMM, Ch. AMMER und M. MOOG (2005): Mixed forests reconsidered: A forest economics contribution on an ecological concept. *In:* Forest Ecology and Management, Heft 213, Seite 102–116.

KUBLIN, E. und G. SCHARNAGEL (1988): Verfahrens- und Programmbeschreibung zum BWI-Unterprogramm BDAT. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg.

MOSANDL, R., C.-T. BUES, W. HANNIG und G. WALTHER (1995): Geastete Fichten im Frankenwald als Leitbild für die künftige Fichtenerziehung, Waldbau und Holzqualität. *In:* AFZ-DerWald, 50. Jahrgang, Heft 24/1995, Seite 1300–1306.

MOSANDL, R. und T. KNOKE (2002): Produktion von Fichtenqualitätsholz durch Astung, Waldbauliche und wirtschaftliche Aspekte. *In:* AFZ-DerWald, 57. Jahrgang, Heft 3/2002, Seite 120–123.

SPELLMANN, H. (1997): Ertragsentwicklung im „LÖWE"-Wald der Niedersächsischen Landesforstverwaltung. *In:* Forst und Holz, 52. Jahrgang, Seite 711–718.

STATISTISCHES BUNDESAMT DEUTSCHLAND (2006): Geld und Kredit, Dienstleistungen. Unter: http://www.destatis.de/basis/d/bank/banktab3.php; Zugriff: 27.4.2006.

THOMMEN, J.-P. und A.-K. ACHLEITNER (2003): Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, Umfassende Einführung aus managementorientierter Sicht. Wiesbaden, 4. Auflage 2003.

Anwuchserfolg von 19 verschiedenen Baumarten bei Erstaufforstungen – Ergebnisse eines Biodiversitätsexperiments

(Mit 4 Abbildungen und 2 Tabellen)

Von A. DON[1),*)], W. ARENHÖVEL[2)], R. JACOB[3)], M. SCHERER-LORENZEN[4)] und E.-D. SCHULZE[1)]

(Angenommen September 2006)

SCHLAGWÖRTER – KEY WORDS

Erstaufforstung; Anwuchserfolg; Baumarten; Schermausschäden; Biodiversität.

Afforestation; establishment success; tree species; damages by voles; biodiversity.

1. EINLEITUNG

Erstaufforstungen stellen eine wichtige Maßnahme zur Verbesserung der Landschaftsstruktur in waldarmen Regionen und zur Nutzbarmachung von Brachflächen dar. Sie werden seit 1992 von der EU im Rahmen der EU-Agrarreform (GAP) zur Verringerung der landwirtschaftlichen Überproduktion gefördert (VO EG 1257/99) und cofinanziert aus Mitteln des Bundes und der Länder (DOHRENBUSCH, 1996). In Deutschland werden jährlich etwa 5000 ha erstaufgeforstet (BMU, 2002). Durch das Kyotoprotokoll zum Klimaschutz von 1997 werden Aufforstungen außerdem als mittelfristige zusätzliche Kohlenstoffspeicher anerkannt. Treibhauswirksames CO_2 soll in der Biomasse und als Bodenkohlenstoff gespeichert werden. Der Aufbau von artenreichen Waldbeständen gehört zu den Zielen der modernen Forstwirtschaft. Auf internationaler Ebene fordert dies u. a. die Biodiversitäts-Konvention 1992 von Rio de Janeiro. Erstaufforstungen bieten die Chance, Wälder mit entsprechender Baumartenvielfalt zu begründen.

Die Erstaufforstung vormals landwirtschaftlich genutzter Flächen ist oft nicht ohne Schwierigkeiten und erfordert den Einsatz großer Mengen Pflanzenmaterials sowie aufwendiger Vor- und Pflegearbeiten (WERSENGER et al., 2004). Besonders auf extremen Standorten wie landwirtschaftlichen Grenzertragsflächen ist bei der Pflanzung von Setzlingen mit hohen Ausfällen zu rechnen (MLUM BRANDENBURG, 2000) – allerdings verfügen selbst vergleichsweise schlechte landwirtschaftliche Standorte über meist erheblich bessere Nährstoffvorräte als Waldstandorte (DOHRENBUSCH, 1996). Der Pflanzschock, Forstschädlinge und die Konkurrenz der unverholzten Vegetation sind nur einige Gründe, die zu diesen Ausfällen führen können (JACOBS et al., 2004). Der Anwuchserfolg der ersten Jahre entscheidet maßgeblich über den Gesamterfolg einer Aufforstungsmaßnahme. Mit Ausnahme von Sturmwurfschäden nimmt die Resistenz der Waldneuanlagen gegenüber abiotischen und biotischen Stressoren mit zunehmenden Alter zu.

Die heimischen Baumarten unterscheiden sich signifikant in ihrer Eignung für Erstaufforstungen (LEDER, 1996), doch bisher liegen wenig vergleichende Studien zum Anwuchserfolg verschiedener Arten vor. Dies liegt zum einen in der Beschränkung vieler Aufforstungen der Vergangenheit auf wenige Baumarten, zum anderen sind kausale Rückschlüsse auf Arteigenschaften nur bei Aufforstung am gleichen Standort möglich. Beim Vergleich unterschiedlicher Aufforstungsstandorte sind immer die unterschiedlichen Standortverhältnisse wie Bodeneigenschaften und Klima als zusätzliche Faktoren zu berücksichtigen. Im Rahmen des BIOTREE-Experiments zu Biodiversität und ökosystemaren Funktionen in experimentellen Waldbeständen (SCHERER-LORENZEN et al., 2005) wurde an drei Standorten in Thüringen der Etablierungserfolg von 19 verschiedenen Baumarten untersucht. Der Forschungsansatz des BIOTREE-Experiments erfordert die Einbeziehung einer hohen Anzahl von Baumarten. Insofern wurden auch Baumarten gepflanzt, die für Erstaufforstungen auf großer Fläche eher kritisch zu beurteilen sind (z. B. Douglasie, Buche, Weißtanne) oder die die Natur häufig kostenfrei beisteuert (Aspe, Birke).

In den ersten zwei Jahren nach Pflanzung der Bäume wurde der Anwuchserfolg von etwa 200.000 Setzlingen kontrolliert, deren

[1)] Max-Planck Institut für Biogeochemie, Jena.

[2)] Thüringer Landesanstalt für Wald Jagd und Fischerei, Gotha.

[3)] Bundesforst Hauptstelle Thüringer Wald, Bad Salzungen.

[4)] Institut für Pflanzenwissenschaften Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich.

[*)] Korrespondierender Autor. E-Mail: adon@bgc-jena.mpg.de.