

**Zur finanziellen Analyse der Waldpflegeentscheidung
bei Berücksichtigung der Biodiversität,
dargestellt am Beispiel der Fichte in Sachsen**
**Financial analysis of the thinning decision with consideration of biodiversity,
using the example of spruce in Saxony**

Von P. DEEGEN, W. STÜMER, W. VILLA und H. PRETZSCH

Zusammenfassung

Im Mittelpunkt traditioneller Untersuchungen zur Bestandesbehandlung stehen gewöhnlich Bestandeswachstum, Konkurrenz, Stabilität und Holzqualität. Obzwar notwendig für eine sachgerechte Waldpflege sind sie jedoch nicht hinreichend, da sie von schwerwiegenden ökonomischen Einflüssen wie Holzmarkt, Faktorpreisen, Zielstellungen der Waldbesitzer und Ansprüchen der Gesellschaft überlagert werden. Da Waldpflege in die Zukunft gerichtet ist, werden Entscheidungen darüber vom dynamischen Moment beeinflusst: Änderungen der natürlichen Umwelt muß ebenso Rechnung getragen werden wie der Wandel in den ökonomischen Prämissen und den Zielstellungen der Waldbesitzer.

Die finanzielle Analyse von Waldpflegeregimen basiert im vorliegenden Beitrag auf der intertemporalen Investitionstheorie, speziell der FAUSTMANNschen Formel als in sich geschlossenes Denkbäude. Mit ihrer Hilfe werden die Hypothesen hergeleitet. Die Analyse selbst jedoch erweist sich als problematisch, da im FAUSTMANNschen Modell mit Modellbedingungen gearbeitet wird, die das Typische von Waldpflegeregimen eher ausblendet als hervorhebt. Deshalb wurde versucht, sich mit Hilfe von Simulationen einer Beantwortung zu nähern.

Als geeignet erwies sich der Bestandessimulator SILVA 2, welcher Bestandeswachstum in Abhängigkeit von verschiedenen Waldpflegeregimen simuliert und auch gleich Kosten und Erlöse für die einzelnen Eingriffe berechnet. Daraus lassen sich Zahlungsreihen konstruieren und die entscheidungsrelevanten Kapitalhaltungswerte bestimmen. Für die Simulationsexperimente wurde ein jeweils zum Entscheidungszeitpunkt 40-, 60-, 70- und 90jähriger Fichtenbestand ausgewählt. Als Variablen dienten Durchforstungsart, -stärke und -intervall sowie der Kalkulationszinssatz der Waldbesitzer.

Erweitert wurde die finanzielle Analyse durch die Einbeziehung öffentlicher Leistungen, veranschaulicht am Beispiel der Biodiversität. Zur Anwendung kam dabei die Technik nach KLEMPERER, die Veränderungen in der Biodiversität den sich dadurch ergebenden Opportunitätskosten gegenüberstellt.

Letztlich werden die/aus den Simulationen abgeleiteten zehn Grundsätze zur Wahl optimaler Waldpflegeregime der forstwissenschaftlichen Öffentlichkeit zur Kritik übergeben.

Schlüsselwörter: Investitionstheorie, Waldpflege, Durchforstung, FAUSTMANNsche Formel, Kapitalhaltungswert, Biodiversität

Summary

Stand growth, competition, stability, and wood quality are usually the focus of traditional investigations into stand treatment. Although needed for a stand-adequate intermediate harvest, they are not entirely satisfactory as they are superimposed by crucial economic influences such as the timber market, prices of production factors, objectives of the forest owners and societal demands. Due to the fact that thinning is future-oriented, the decisions taken in this context are controlled by a dynamic magnitude: Changes in the natural environment have to be complied with in the same way as changes in economic premises and the forest owners' objectives.

The financial analysis of thinning regimes is based on an intermediate investment theory, especially the FAUSTMANN formula as an integer construct. It aids in deducing the hypotheses. However, the analysis itself turns out to be problematic since the FAUSTMANN model relies on model assumptions by which the features of thinning regimes tend to be faded out rather than substantiated. Therefore, an attempt has been made to approach a solution to the problem by means of simulations.

The stand simulator SILVA 2, simulating stand growth in dependence on various thinning regimes and at the same time calculating the costs and revenues for the individual operations, proved to be suitable. Hence, payments series may be derived and holding values determined which are relevant to the decision to be taken. For the simulation experiments 40-, 60-, 70-, and 90-year-old spruce stands were selected at the time the decision was taken. The variables involved were type of thinning, thinning intensity and interval as well as the guiding rate of return of the forest owners.

The financial analysis was extended by including public services, demonstrated by the example of biodiversity. For this purpose the technique according to KLEMPERER was applied, which considers changes in biodiversity and the opportunity costs thus accruing.

Finally, the ten statements derived from the simulations for the selection of optimal thinning regimes are presented for peer reviewal.

Keywords: Investment theory, thinning, FAUSTMANN's formula, holding value, biodiversity

Verwendete Symbole

a	= Bestandesalter	k	= Opportunitätskosten
Bbg.	= Bestandesbegründung	n	= natürliche Zahl
Bod.	= Boden	ö	= öffentliche Leistung
C_0	= Kapitalwert, Bodenertragswert	q	= Zinsfaktor ($q = 1 + i$)
e	= Geldeinkommen	T	= Umtriebszeit
EN	= Endnutzung	t	= Entscheidungszeit
f	= die nach dem nächsten Umtrieb folgende Bodenverwendung	U	= Nutzen
i	= Zinssatz	Wpfl.	= Waldpflege
		z	= Zahlungsdifferenz

1 Problem und Aufgabe

Bestandeswachstum, Konkurrenz, Stabilität und Holzqualität stehen gewöhnlich im Mittelpunkt traditioneller Untersuchungen zur Bestandesbehandlung. Obzwar notwendig für eine sachgerechte Waldpflege, sind sie jedoch nicht hinreichend für entsprechende Entscheidungsfindungen darüber, da sie von schwerwiegenden ökonomischen Einflüssen überlagert werden. Dies sind einerseits die Rahmenbedingungen, wie Holzmarkt und Faktorpreise, und andererseits die Zielstellung der Waldbesitzer für ihre Waldbewirtschaftung zuzüglich der verschiedenartigen Ansprüche der Gesellschaft. Da nun Waldpflege eindeutig in die Zukunft gerichtet ist, werden Entscheidungen darüber vom dynamischen Moment beeinflusst. Sie müssen die Änderungen der natürlichen Umwelt ebenso berücksichtigen wie den Wandel in den ökonomischen Prämissen und den Zielstellungen der Waldbesitzer (Abbildung 1).

Im Zentrum der Erwägungen geht es dabei um die Beantwortung von vier Teilfragen:

- Welcher Waldpflegeart (z. B. Auslese-, Niederdurchforstung) soll zum Einsatz kommen?
- Wann soll gepflegt werden?
- Wie oft soll gepflegt werden?
- Wie stark soll eingegriffen werden?

(vgl. KLEMPERER 1996)

Bei der finanziellen Analyse von Waldpflegeregimen und dem Auffinden von Optima steht die Wirtschaftswissenschaft allerdings vor einem recht schwer zugänglichen Problem. Denn eine exakt theoretisch deduktive Analyse erfordert die Darstellung des Problems mit durchgängig differenzierbaren Funktionen, die gerade durch Waldpflege nicht modelliert werden können. Ganz unterschiedliche Konzepte der Bestandesbehandlung können ohne weiteres zu gleichen finanziellen Ergebnissen führen. Simulationen scheinen für Annäherungen an Lösungen als hilfreiches Instrument.

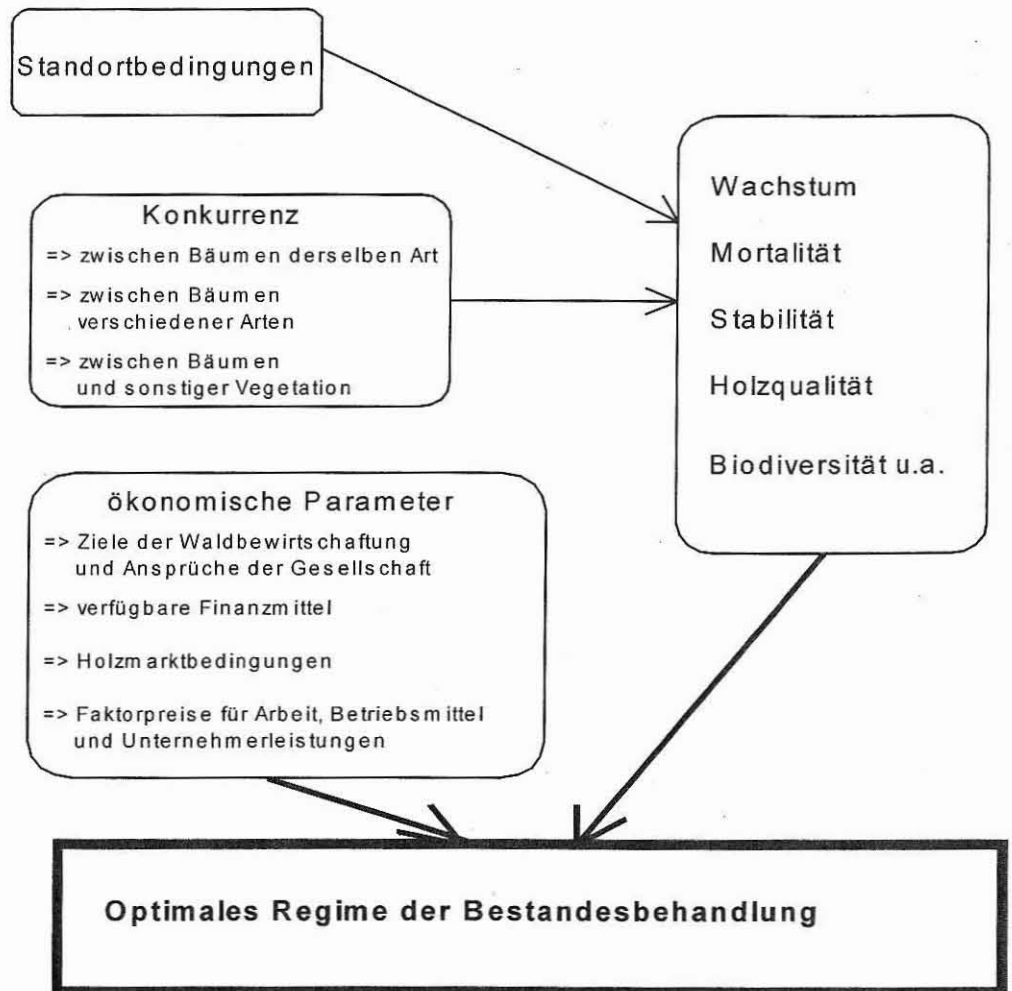


Abb. 1. Wirkungsgefüge zum Auffinden eines optimalen Regimes der Bestandesbehandlung.

Fig. 1. Functional mechanisms for deducing an optimal regime for stand treatment.

Im vorliegenden Beitrag werden auf der intertemporalen Investitionstheorie basierend, Hypothesen zur Waldpflegeentscheidung abgeleitet und mit Hilfe von Simulationen¹ versucht, einer Beantwortung zugänglich zu machen. Anliegen der Veröffentlichung ist dabei, die Untersuchungen der forstwissenschaftlichen Öffentlichkeit zur Kritik zu übergeben.

2 Zur ökonomischen Analyse optimaler Waldpflegeregime

2.1 Das Modell des Kapitalhaltungswertes

Die sogenannten Vornutzungen früherer Zeiten lieferten einen sehr wesentlichen Beitrag bei der Erzielung von Reinerträgen. So rechnete JOHANN HEINRICH VON THÜNEN (1875) an seiner Kiefernwirtschaft in Tellow beispielsweise vor, daß er mit sechs Jahre alten

¹ Die Simulationsrechnungen wurden im Rahmen des Projektes „Differenzierung der Wirtschaftsintensität in den Landesforsten des Freistaates Sachsen“ durchgeführt. Für die großzügige Unterstützung sind die Autoren der Landesforschungsanstalt Sachsen sehr zu Dank verpflichtet.

Bäumchen bereits Reingewinne erzielt. Diese Zeiten sind längst vorbei. Waldpflege heutzutage dient vor allem und hauptsächlich der Verbesserung zukünftiger Bestandeseigenschaften. Charakteristisch dafür ist, daß zwischen Kostenverursachung und Nutzenerzielung ein größerer Zeitraum liegt. Diese Eigenschaft ist für das ökonomische Verständnis von grundlegender Bedeutung und kann mit dem Terminus „Investition“ abgebildet werden. **Waldpflege läßt sich folglich als Investition darstellen.**

Das wohl gebräuchlichste forstwirtschaftliche Investitionsmodell ist die sogenannte FAUSTMANNsche Formel (FAUSTMANN 1849):

$$C_{0\infty} = \frac{z_{Bbg} \cdot q^T + \sum_{t=1}^{T-1} z_{Wpfl,t} \cdot q^{T-t} + z_{EN}}{q^T - 1} \Rightarrow \max. \quad (1)$$

Mit ihr verbunden ist der Gebrauch eines ganzen und in sich geschlossenen theoretischen Denkgebäudes, welches durch den Bezug auf vier Modellbedingungen zum Ausdruck kommt (vgl. z. B. SAMUELSON 1976, DEEGEN 1997). Im folgenden wird sich streng innerhalb dieses Denkgebäudes bewegt. Das äußert sich beispielsweise in der Konsequenz, daß alle Aussagen zur Optimalität auf die finanzielle Optimalität reduziert sind.

Die Anwendung der reinen FAUSTMANNschen Formel (1) für die Analyse der Waldpflege ist aus mehreren Gründen jedoch problematisch: Erstens wird mit ihr ausschließlich die optimale Bestandeswirtschaft in einer Gleichgewichtssituation dargestellt. Zweitens beschreibt sie lediglich die Investitionsentscheidung beim Investitionsstart, d. h. unmittelbar vor der Bestandesbegründung und drittens geht sie von der Unabhängigkeit zwischen Bestandesbegründung, Waldpflege und Endnutzung aus.

Das erste Problem wird gelöst, indem (1) umgestellt wird:

$$C_{0\infty} = z_{Bbg} + \sum_{t=1}^{T-1} \frac{z_{Wpfl,t}}{q^t} + \frac{z_{EN} + z_{Bod.}}{q^T} \Rightarrow \max. \quad (2)$$

Zunächst ist (2) nichts anderes als (1) und stellt in einer Gleichgewichtssituation das Gleiche dar. Der Vorteil bei ungleichgewichtigen Situationen besteht allerdings darin, daß für die Zahlungsdifferenz aus der Bodenverwendung nicht mehr eine identische Wiederholung der gegenwärtigen Bestandeswirtschaft erfolgen muß, sondern ein Wechsel der Bodenverwendung zu derjenigen mit dem höchsten Bodenkapitalwert erfolgen kann. Das ist insofern möglich, als mit der Endnutzung Desinvestition erfolgt und über die Verwendung des Geldkapitals frei disponiert werden, also über alternative Reinvestition oder auch Konsumtion entschieden werden kann. Die Zahlungsdifferenz „ $z_{Bod.}$ “ verkörpert demzufolge die Opportunitätskosten für die beste alternative Bodenverwendung nach der Endnutzung.

Nun möge die Vereinfachung gelten, daß die Umtriebszeit „ T “ nicht von der Bodenverwendung nach der Endnutzung beeinflusst wird. Das läßt sich einerseits durch die sehr langen Produktionszeiträume in der mitteleuropäischen Forstwirtschaft rechtfertigen und andererseits vielleicht mit der Einschränkung plausibel erklären, daß Waldboden nicht ohne weiteres einer nichtforstwirtschaftlichen Verwendung zugeführt werden darf. Jedenfalls ergibt sich dadurch für die vorliegende Problematik die Vereinfachung, die Maximierungsentscheidung alleinig auf der Grundlage eines Teilkapitalwertes vorzunehmen:

$$C_{01} = z_{Bbg} + \sum_{t=1}^{T-1} \frac{z_{Wpfl,t}}{q^t} + \frac{z_{EN}}{q^T} \Rightarrow \max. \quad (3)$$

Dadurch, daß mit dem FAUSTMANNschen Modell lediglich die Investitionsentscheidung beim Investitionsstart dargestellt wird, reicht es aus, mit nur einem Zeitmaß zu arbeiten, denn Bestandesalter und Entscheidungszeitraum sind gleich:

$$a = t \quad (4)$$

Bei allen Fortführungsinvestitionen jedoch ist der Entscheidungszeitraum nicht identisch mit dem Bestandesalter:

$$a \neq t \quad (5)$$

Waldpflegeentscheidungen sind typisch dafür. Hat man beispielsweise über die Waldpflege für einen heute 40jährigen Waldbestand zu entscheiden, dessen Umtriebszeit 120 Jahre sein soll, beträgt das Alter des Waldbestandes heute $a = 40$ und zur Umtriebszeit $a = 120$, während die Entscheidungszeit für die Waldpflege $t = 0$ und die Entscheidungszeit für die Endnutzung $t = 80$ beträgt.

Und noch etwas ist für die Investitionsentscheidung für die Waldpflege von ausschlaggebender Bedeutung: Zwar haben auch hierbei die bereits getätigten Auszahlungen z. B. für Bestandesbegründung und Jungwuchspflege Einfluß auf die Rentabilität des gesamten Investitionsprojektes „Waldbestand“, allein der Wirtschaftler kann darüber nicht mehr befinden. Ihm bleibt nur übrig, die Vergangenheit zu akzeptieren und sich mit den Waldbeständen abzufinden, die er gerade vorfindet. Was allerdings in seiner Entscheidungsgewalt liegt, ist die Entscheidung darüber, ob das Investitionsprojekt weitergeführt oder abgebrochen wird und, im Falle einer Fortführung, wie zu verfahren ist. Das aber bedeutet nichts anderes, als daß allein die Ein- und Auszahlungen vom Jetztzeitpunkt bis zur vorgesehenen Umtriebszeit für die Waldpflege entscheidungsrelevant sind, wobei das Alter über den zu befindenden Waldbestand in der Regel größer als Null ist, vgl. Beziehung (5). Zu maximieren ist also ein Teilkapitalwert, der aus allen noch folgenden Zahlungen bis zum Endnutzungszeitpunkt ermittelt wird:

$$C_{0|a=t_0} = \sum_{t=0}^{T-1-a} \frac{Z_{Wpfl,t}}{q^t} + \frac{Z_{EN}}{q^{T-a}} \Rightarrow \max. \quad (6)$$

Um Mißverständnissen vorzubeugen, sei dieser Wert Kapitalhaltungswert genannt, im Gegensatz zum gewohnten Begriff „Kapitalwert“, dessen Anwendung auf den Fall der Anfangsentscheidung beschränkt wird. Das besondere in diesem Modell ist die Verwendung der beiden unterschiedlichen Zeitmaße „a“ und „t“. Wird „a“ und „t“ gleichgesetzt, erhält man automatisch wieder (3). In diesem Sinne läßt sich dann auch die FAUSTMANNsche Formel (1) als Spezialfall des Kapitalhaltungswertkonzeptes interpretieren.

Der hier eingeführte Begriff des Kapitalhaltungswertes ist in der traditionellen Waldwertschätzung nicht unbekannt, dort „Bestandeserwartungswert“ benannt. Daß diese Bezeichnung hier nicht verwendet wird, hat zwei Beweggründe: Erstens ist der Terminus „Erwartungswert“ in der modernen Investitionstheorie bzw. -rechnung mit einem ganz anderen Inhalt belegt (vgl. MANZ u. DAHMEN 1993). Die Verwendung des traditionellen Inhaltes in einer heutigen Arbeit kann deshalb zu Verwirrung führen. Zweitens ist mit dem Begriff „Bestandeserwartungswert“ ein normatives Denkschema der praktizierten Waldbewertung verbunden, welches in der hier verwendeten, eher positiv-theoretischen Denkungsart nicht gemeint ist. Die Abgrenzung bereits im Begriff möchte das verdeutlichen.

Das Entscheidungskriterium für die Auswahl des optimalen Waldpflegeregimes ist nun gleich dem bekannten Kapitalwertkriterium, hier bloß angewendet auf den Kapitalhaltungswert:

- a) Ein Waldpflegeregime ist dann vorteilhaft, wenn sein Kapitalhaltungswert größer als oder gleich Null ist.
- b) Von mehreren möglichen Waldpflegeregimen ist das mit dem größten Kapitalhaltungswert vorzuziehen.

Was passiert aber, wenn der Kapitalhaltungswert auch beim besten Waldpflegeregime negativ ist? Zwei Möglichkeiten sind denkbar:

- a) Der Kapitalhaltungswert der Waldpflege plus der Kapitalwert einer danach folgenden ewigen Bodenverwendung, diskontiert auf den Jetztzeitpunkt, ist negativ:

$$C_{0_{a=t}} + \frac{C_{0_{\text{sef}}}}{q^{T-a}} < 0 \Rightarrow \text{wachsen lassen bis } \infty \quad (7)$$

Der Waldbestand wird in die „Freiheit“ entlassen. Das heißt, die Investition in den Waldbestand wird beendet, was zwar Verlust bedeutet. Aber durch die weitere Bestandesbehandlung werden die Verluste nur noch vergrößert. Der Waldbestand darf sich von jetzt an ganz natürlich entwickeln. Er ist für eine Holzproduktion oder alternative Landnutzung ohne Bedeutung.

- b) Der Kapitalhaltungswert der Waldpflege plus der Kapitalwert einer danach folgenden ewigen Bodenverwendung, diskontiert auf den Jetztzeitpunkt, ist Null oder positiv:

$$C_{0_{a=t}} + \frac{C_{0_{\text{sef}}}}{q^{T-a}} \geq 0 \Rightarrow \text{in die Alternative zum Zeitpunkt T umwandeln} \quad (8)$$

Formal lassen sich die Entscheidungskriterien (7) und (8) auch für Situationen auslegen, bei denen sich die nachfolgende Bodenverwendung auf Forstwirtschaft beschränken, d. h. der Wechsel der Bodenverwendung sich nur im Wechsel zu einer anderen Bestandeswirtschaft (z. B. Baumarten- oder Betriebsformenwechsel) äußert. Man tausche dann einfach „ewige Bodenverwendung“ durch „ewige Bestandeswirtschaft“ aus.

Nun zum dritten Problemkreis: Sowohl in der reinen FAUSTMANNschen Formel (1) als auch im Kapitalhaltungswert-Modell (6) wird stets von der Unabhängigkeit zwischen Bestandesbegründung, Waldpflege und Endnutzung ausgegangen, also

$$z_{\text{Wpfl}_t} = z_{\text{Wpfl}_t}(t), \quad (9)$$

$$z_{\text{ENT}} = z_{\text{ENT}}(T) \quad (10)$$

Jedoch ist bei der Analyse optimaler Waldpflegeregime zu bedenken, daß Abhängigkeiten zwischen den drei Teilprozessen bestehen:

$$z_{\text{Wpfl}_t} = z_{\text{Wpfl}_t}(t, z_{\text{Wpfl}_n}, z_{\text{Bbg}_n}); \quad 1 \leq n \leq t-1 \quad (11)$$

$$z_{\text{ENT}} = z_{\text{ENT}}(T, z_{\text{Wpfl}_t}); \quad t = T-1 \quad (12)$$

(11) und (12) bedeuten, daß die Optimierung der Bestandesbegründung, der Waldpflege und der Umtriebszeit synchron erfolgen müßte. Aber selbst bei partieller Optimierung der Waldpflege ergibt sich bei analytischer Lösung die Notwendigkeit, daß (3) durchgängig differenzierbar ist. Die Eigenart von Waldpflegeeingriffen verhindert aber geradewege diese Eigenschaft (vgl. JOHANSSON u. LÖFGREN 1985). Damit entzieht sich das Problem (3)

mit den Eigenschaften (11) und (12) einer deduktiven Analyse. Was analytisch möglich erscheint, ist die Ableitung einiger qualitativer Aussagen über das optimale Waldpflegeregime, die zu einer Hypothese verdichtet werden können.

Die eigentliche Lösung des Problems ist allerdings nur numerisch möglich. Möchte man dabei auf langjährige Felderhebungen verzichten, bieten sich als Hilfsmittel Simulationsrechnungen an (vgl. KLEMPERER 1996). Im späteren wird sich darauf konzentriert um mit deren Hilfe eine Überprüfung der Hypothese zu ermöglichen. Zuvor allerdings geht es um die Ableitung qualitativer Aussagen.

2.2 Hypothese zum finanziell optimalen Waldpflegeregime

Zu Beginn von Abschnitt 2.1 wurde Waldpflege als Investition charakterisiert. Zwischen Kostenverursachung und Nutzenerzielung, so wurde angeführt, liegt oftmals ein größerer Zeitraum. Die Beziehungen (11) und (12) beschreiben das. Auf der anderen Seite jedoch ist mit jedem Pflegeeingriff Holzentnahme verbunden, die zu Erlösen führen kann. Damit enthält Waldpflege nicht nur Elemente des Investierens sondern auch Elemente des Desinvestierens, wie auch weiter vorn schon geschrieben wurde. Von Bedeutung ist es nun herauszufinden, welche Seite beim einzelnen Waldpflegeeingriff dominiert. Dafür erscheint die Untersuchung des zeitlichen Verlaufs der Zahlungsdifferenzen aus Waldpflege wie z. B. bei BRABÄNDER (1994) sinnvoll. Als empirische Schätzung läßt sich auch die altersabhängige Abtriebswertfunktion, die mit dem Vornutzungsprozent multipliziert wird, verwenden.

Aus (9) kann für die einzelne Waldpflegemaßnahme abgeleitet werden:

$$\begin{aligned} z_{\text{Wpfl},t} < 0 &\Rightarrow \text{Nettoinvestition} \\ z_{\text{Wpfl},t} > 0 &\Rightarrow \text{Nettodesinvestition} \end{aligned} \quad (13)$$

Für die Schätzung des Umschlagpunktes von einer Nettoinvestition in eine -desinvestition kann der sogenannte Zeitpunkt des kostendeckenden Durchmessers verwendet werden.

Aus diesem Gedankengang läßt sich eine Hypothese zum finanziell optimalen Waldpflegeregime für einen Holzproduzierenden Forstbetrieb entwerfen:

In Beständen, die jünger als das Alter des kostendeckenden Durchmessers sind, ist die Stammzahl in so wenig wie möglichen Eingriffen so früh wie möglich auf die Stammzahl des kostendeckenden Alters abzusenken. Am besten wird gleich mit einer Pflanzenzahl der Waldbestand begründet, die der Stammzahl beim kostendeckenden Durchmesser entspricht. Bei einem Bestandesalter in der Nähe der Kostendeckung wird geprüft, ob bis zur Kostendeckung noch gewartet werden kann. Ab dem Zeitpunkt der Kostendeckung wird kompromißlos jeder Baum entnommen, der die gewünschte Kapitalverzinsung nicht mehr erbringen kann. Das sind erstens die Bäume, die niemals den gewünschten Kapitalertrag erzielen werden und zweitens jene, die das gewünschte Maximum bereits überschritten haben. Um sicher zu gehen, daß möglichst viele Bäume genau bei ihrem finanziellen Maximum geerntet werden, erfolgt von nun an die Waldpflege in möglichst kurzen Abständen, wobei die Eingriffstärke im Verlauf des Bestandeslebens schwächer wird.

Es sei angemerkt, daß selbstverständlich bei den einzelnen Baumarten entsprechend ihrer unterschiedlichen Eigenschaften hinsichtlich Wachstum, Holzqualität, Stabilität und Konkurrenzverträglichkeit zur Begleitvegetation vom hypothetischen Schema verschieden stark abgewichen werden muß. Ebenso sei nicht verschwiegen, daß der Vorabschätzung der optimalen Stammzahl beim kostendeckenden Durchmesser bereits zum Zeitpunkt der Aufforstung ein spekulatives Moment innewohnt. Und schließlich sei erwähnt, daß Forstpraktiker oftmals ganz ähnliche Vorstellungen entwickelt haben (vgl. z. B. DUFFNER 1988).

Jetzt kann an die Überprüfung der Hypothese gegangen werden.

3 Simulationen mit SILVA

3.1 Simulationsprogramm und Daten

Als geeignetes Simulationsprogramm für die vorliegende Fragestellung erschien SILVA 2 (KAHN 1995, PRETZSCH 1996, PRETZSCH 1997). Es bietet Möglichkeiten, Bestandeswachstum in Abhängigkeit von verschiedenen Waldpflegeregimen zu simulieren und stellt auch gleich berechnete Kosten und Erlöse für die einzelnen Bestandeseingriffe zur Verfügung. Problematisch dagegen erschien die Übertragung der für Bayern angepassten Wachstumsparameter auf sächsische Wuchsverhältnisse. Sicher eine Fehlerquelle der numerischen Ergebnisse (vgl. VILLA et al. 1998).

Die bei den Simulationen verwendeten Bestandesdaten wurden aus SEIGER (1993) entnommen. Darin befinden sich Zusammenstellungen für die sächsischen Betriebsklassen. Notwendige Ergänzungen erfolgten mit Hilfe der Fichtenertragstafel von WENK et al. (1985). Die verwendeten Bestandesdaten sind in Tab. 1 für die bei den Simulationen berücksichtigten Alter zusammengestellt.

Tabelle 1. Die in den Simulationen verwendeten Bestandesdaten.

Table 1. The stand data used in the simulations.

Alter	dg [cm]	hg [m]	Stammzahl [N/ha]	Grundfläche [m/ha]
40	13,0	14	2441	33,4
60	21,7	20	931	34,0
70	24,8	22	749	36,2
90	30,0	25	450	31,8

Die Wahl der Altersschritte erfolgte mit der Schätzung im Hintergrund, bei welchem Alter sich etwa der kostendeckende Durchmesser befinden könnte. Angestrebt wurde, wenigstens ein Alter vor dem kostendeckenden Durchmesser zu berücksichtigen und ein weiteres Alter im Altholzzeitraum zu untersuchen.

Tabelle 2. Die in den Simulationen verwendeten Fichtenholzpreise (Angaben ohne Umsatzsteuer).

Table 2. The spruce timber prices used in the simulations (data without sales tax).

Gütekl.	Stammholz o.R.				L-Abschnitte o.R.			
	A	B	C	D	A	B	C	D
Sorte	DM/Efm	DM/Efm	DM/Efm	DM/Efm	DM/Efm	DM/Efm	DM/Efm	DM/Efm
1a	70,00	73,95	60,38	35,22	30,00	54,44	48,98	28,82
1b	90,00	92,59	72,94	45,17	50,00	85,98	78,22	45,96
2a	110,00	110,54	88,62	52,21	90,00	96,13	87,23	49,51
2b	120,00	120,99	97,04	58,55	100,00	108,65	94,36	55,73
3a	226,80	137,80	110,05	67,07	223,95	117,81	102,50	60,44
3b	241,92	148,33	118,10	72,41	224,00	119,12	109,17	60,61
4	240,88	159,00	124,85	77,05	238,00	122,37	125,45	67,12
5	252,00	182,84	144,35	88,56	252,72	136,96	135,00	73,08
6	270,00	190,33	153,13	91,25	239,05	118,83	116,80	52,50
Industrieholz					DM/Efm			
lang					43,22			
kurz					21,8			
Brennholz					19,49			
x-Holz					8,17			

Infolge der teilweise erheblichen Wachstumsunterschiede zwischen bayerischen und sächsischen Fichtenwäldern konnten für die Simulationen nicht die tatsächlichen Standorts- und Klimadaten für Sachsen verwendet werden. Stattdessen wurden die Standortswerte des Wuchsbezirkes 07.01.02 (vorderpfälzische Rheinebene) verwendet, die hinreichend gut mit dem Wachstumsverlauf der sächsischen Fichtenwälder korrelieren.

Eine Übersicht der verwendeten Holzpreise befindet sich in Tabelle 2. Ihre Herleitung erfolgte auf der Basis des Rohholzpreisberichtes (1996) des Sächsischen Staatsministeriums für Landwirtschaft, Ernährung und Forsten.

Die benötigten Tarife für die Ermittlung der Holzerntekosten wurden dem EST und für die Rückung der „Sächsischen Richtlinie zur Herleitung von Vergabesätzen für das Rücken von Holz durch Unternehmer“ (o.J.) entnommen.

3.2 Plan der Simulationen

Für die Simulationen zum finanziell optimalen Waldpflegeregime wurde ein jeweils zum Entscheidungszeitpunkt 40-, 60-, 70- und 90jähriger Fichtenbestand ausgewählt. Mit SILVA 2 erfolgten Wachstumssimulationen bis zu einer exogen vorgegebenen Umtriebszeit von 120 Jahren. Als Variablen dienen zudem Durchforstungsart, -stärke und -intervall.

Als Durchforstungsarten kamen Nieder-, Hoch- und Auslesedurchforstung zur Anwendung. Die Variation der Durchforstungsstärke wurde über die angesteuerten Zielbestockungsgrade von 0,7; 0,85 und 1,0 (WIEDEMANN 1936/42, II Ekl.) erreicht. Als Durchforstungsintervalle fanden Zeiträume von 5, 10 und 25 Jahre Berücksichtigung. Infolge einer automatisch vorgegebenen Mindesteingriffstärke in Höhe der Mortalität konnten keine Nullvarianten als Vergleichsmöglichkeit simuliert werden. Einen Überblick zu allen durchgeführten Simulationsexperimenten zeigt Tab. 3.

Tabelle 3. Überblick über die durchgeführten Simulationsexperimente.

Table 3. Overview of the conducted simulation experiments.

Bestände	Durchforstungsart	Durchforstungsintervall	Zielbestockungsgrad
40-, 60-, 70- und 90jähriger Bestand	Niederdurchforstung	aller 5 Jahre	1,0 0,85 0,7
		aller 10 Jahre	1,0 0,85 0,7
	Hochdurchforstung	aller 5 Jahre	1,0 0,85 0,7
		aller 10 Jahre	1,0 0,85 0,7
	Auslesedurchforstung	aller 5 Jahre	1,0 0,85 0,7
		aller 10 Jahre	1,0 0,85 0,7
40-, 60- und 70jähriger Bestand	Niederdurchforstung	aller 25 Jahre	0,85 0,7
	Hochdurchforstung	aller 25 Jahre	0,85 0,7
	Auslesedurchforstung	aller 25 Jahre	0,85 0,7

Bei der Berechnung der Kapitalhaltungswerte erfolgte außerdem die Variation der Kalkulationszinssätze: 0; 2,5 und 5 % p. a.

3.3 Ergebnisbericht

Das Hauptergebnis der Simulationsexperimente besteht in der Berechnung der einzelnen Kapitalhaltungswerte. Sie können den folgenden Tab. 4 bis 7 entnommen werden.

Tabelle 4. Kapitalhaltungswerte für verschiedene Waldpflegeregime bei 40jährigen Fichtenbeständen.

Table 4. Holding values for different thinning regimes in 40-year-old spruce stands.

Durchforstungsart	B°	0,7			0,85			1		
		Kalkzins.	0 %	2,5 %	5 %	0 %	2,5 %	5 %	0 %	2,5 %
	Intervall									
Niederdurchforstung	5	67956	12042	2522	76339	13294	2692	75451	13428	2777
	10	68264	11680	2357	78529	12864	2303	75506	12728	2399
	25	69849	11022	1725	75997	11750	1791			
Hochdurchforstung	5	69724	13505	3538	75609	13272	2716	77504	12943	2454
	10	70897	13286	3361	76044	12804	2440	76990	12638	2273
	25	70877	12389	2769	78934	12080	1751			
Auslesee-durchforstung	5	67599	12513	3041	77138	13416	2736	75941	13355	2804
	10	67243	12620	3043	76927	12811	2423	75891	12879	2517
	25	70412	11765	2302	80344	12064	1671			

Tabelle 5. Kapitalhaltungswerte für verschiedene Waldpflegeregime bei 60jährigen Fichtenbeständen.

Table 5. Holding values for different thinning regimes in 60-year-old spruce stands.

Durchforstungsart	B°	0,7			0,85			1		
		Kalk.zins.	0 %	2,5 %	5 %	0 %	2,5 %	5 %	0 %	2,5 %
	Intervall									
Niederdurchforstung	5	69834	21009	7918	77607	22701	8229	77164	22230	7922
	10	71629	21156	7753	80271	22522	7594	80590	22184	7290
	25	73374	19035	5507	73598	19961	6382			
Hochdurchforstung	5	71194	23560	10843	80147	22826	8110	79614	23066	8249
	10	70702	23070	10323	82187	23071	7770	80921	22278	7379
	25	70665	20125	7498	75255	19605	5797			
Auslesee-durchforstung	5	69264	22055	9466	81606	23063	8081	81447	23256	8211
	10	71666	20849	7807	74407	20950	7189	74764	20750	6992
	25	71898	19389	6418	75034	19844	6096			

3.4 Analyse

Von den bei den Simulationen variierenden Größen können nur die Waldpflegeart, der Bestockungsgrad und das Waldpflegeintervall als Determinanten der Waldpflege gelten. Bestandesalter und Kalkulationszinssatz sind exogene Größen, durch die Waldpflege nicht zu beeinflussend: Der Waldbewirtschafter kann nicht entscheiden, ob er lieber einen 40- oder einen 80jährigen Bestand pflegen möchte, sondern muß den gerade vorliegenden pflegen. Wesentliche Bestimmungsgrößen des Kalkulationszinssatzes ergeben sich aus dem Betriebstyp, den Marktbedingungen, dem Zielsystem des Betriebes und persönlichen, meist

Tabelle 6. Kapitalhaltungswerte für verschiedene Waldpflegeregime bei 70-jährigen Fichtenbeständen.
Table 6. Holding values for different thinning regimes in 70-year-old spruce stands.

Durchforstungs- art	B°	0,7			0,85			1		
		Kalk.zins.								
	0 %	2,5 %	5 %	0 %	2,5 %	5 %	0 %	2,5 %	5 %	
Intervall										
Nieder- durchforstung	5	66124	23283	9592	76482	24681	8787	76496	24583	8717
	10	64914	22584	9091	76257	24427	8570	76261	24082	8319
	25	68322	22666	8409	76808	23234	7427			
Hoch- durchforstung	5	65951	25154	12032	75778	24616	8959	76225	24462	8672
	10	65123	24584	11635	76386	24528	8648	75237	24012	8432
	25	68190	24552	10898	77842	23613	7623			
Auslese- durchforstung	5	64971	24376	11345	74853	24345	8859	76909	24804	8830
	10	64894	23807	10764	75998	24476	8696	76847	24350	8461
	25	65912	23342	10048	75906	23099	7547			

Tabelle 7. Kapitalhaltungswerte für verschiedene Waldpflegeregime bei 90-jährigen Fichtenbeständen.
Table 7. Holding values for different thinning regimes in 90-year-old spruce stands.

Durchforstungs- art	B°	0,7			0,85			1		
		Kalk.zins.								
	0 %	2,5 %	5 %	0 %	2,5 %	5 %	0 %	2,5 %	5 %	
Intervall										
Nieder- durchforstung	5	50850	25931	13914	50843	25635	13539	50191	25279	13355
	10	49952	25037	13117	50676	25483	13417	50854	25471	13341
Hoch- durchforstung	5	50695	25803	13781	50695	25349	13232	50846	25354	13142
	10	50418	25356	13329	50707	24996	12756	50340	25102	13047
Auslese- durchforstung	5	49690	25415	13730	51014	25723	13585	50670	25617	13611
	10	49977	25162	13327	50242	25040	13001	50601	25302	13170

risikobezogenen Präferenzen (DUERR 1993, DEEGEN 1997). Das heißt, der Kalkulationszinssatz steht bereits vor den Überlegungen zur Waldpflege fest, zumindest intuitiv.

Die Aufteilung der variierten Größen in endo- und exogene Größen verdeutlicht, daß Vergleiche verschiedener Waldpflegeregime nur sinnvoll sind, wenn sie zinssatz- und altersbezogen erfolgen.

Für Forstbetriebe mit 0 % Kalkulationszinssatz beeinflusste die Bestockungsgradhaltung den Kapitalhaltungswert am stärksten. Bestände mit hohem Bestockungsgrad schnitten besser als ab Bestände mit geringem Bestockungsgrad. Bei 2,5 % Kalkulationszinssatz dominierte das Eingriffsintervall. Kurze Intervalle verbesserten den Kapitalhaltungswert. Bei Kalkulationszinssätzen von 5 % war keine Determinante dominant, sondern die Dominanz variiert in Abhängigkeit zum Alter. Bei den 40- und 60-jährigen Beständen ergaben kurze Eingriffsintervalle die höchsten Kapitalhaltungswerte. In den 70-jährigen Beständen wirkten wieder Änderungen im Bestockungsgrad am deutlichsten, wobei mit niedrigem Grad die höchsten Kapitalhaltungswerte erzielt wurden.

Nun zum Alter: Der Einfluß des Waldpflegeregimes auf den Kapitalhaltungswert nahm mit wachsenden Bestandesalters ab, bis es in 90-jährigen Fichtenbeständen eigentlich ohne Belang war.

Insgesamt ergab sich ein Bild, wie es sich bereits auf Grund der investitionstheoretischen Überlegungen erwarten ließ. Darüber hinaus zeigen die erzielten Simulationsergeb-

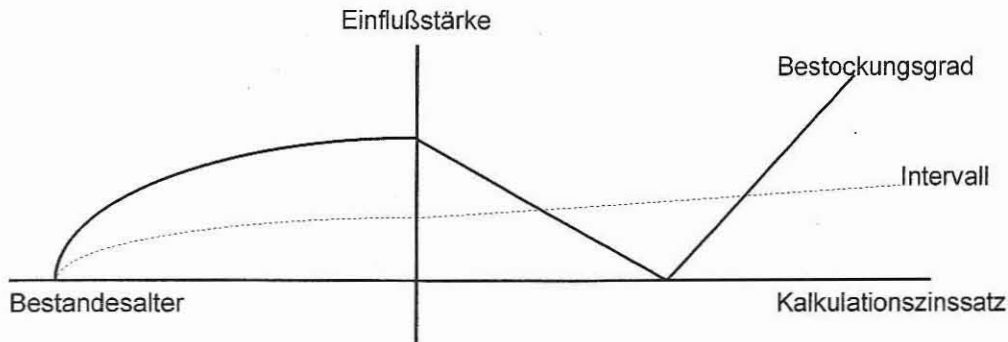


Abb. 2. Die Einflußstärken von Bestockungsgrad und Eingriffsintervall auf den Kapitalhaltungswert in Abhängigkeit vom Bestandesalter und vom Kalkulationszinssatz.

Fig. 2. Magnitudes of influence of degree of stocking and thinning frequency on the holding value in dependence on stand age and on guiding rate of return.

nisse, wie die einzelnen Variablen bei gegebenen Wachstums-, Kosten- und Erlösbedingungen miteinander verknüpft sind und wie sich dadurch unterschiedliche Dominanzen ergeben, die die einzelnen Ausprägungen schließlich verständlich machen, vgl. Abbildung 2.

Der Bestockungsgrad zeigt überall einen wesentlichen Einfluß auf den Kapitalhaltungswert. Das ist auch bei Kenntnis der Investitionstheorie nichts besonderes und zu erwarten, denn er ist eine mehr oder weniger gute Ersatzgröße für die Bestandesdichte und damit für die Kapitalhaltung. Die Kapitalhaltung verursacht Kapitalkosten, deren Höhe durch die Wahl des Kalkulationszinssatz vorbestimmt ist. Mit steigendem Kalkulationszinssatz erhöhen sich die Kapitalkosten bei gegebenem Bestockungsgrad. Das bedeutet, mit steigendem Kalkulationszinssatz wird das Halten hoher Bestockungsgrade immer teurer. Da sich das maximale finanzielle Ergebnis an der Stelle befindet, bei der die Differenz zwischen Kapitalertrag und Kapitalkosten am größten ist, wird verständlich, daß der optimale Bestockungsgrad bei hohen Kalkulationszinssätzen geringer sein muß als bei niedrigen. Andererseits entstehen bei einem Kalkulationszinssatz von Null für den Waldbestand keine Kapitalkosten. Demzufolge ist derjenige Bestockungsgrad der beste, der die höchsten Holznettoerlöse erbringt.

Genau diese Verläufe werden durch die vorliegenden Ergebnisse wiederspiegelt: Bei einem Kalkulationszinssatz von Null sind eindeutig dichte Bestände überlegen, bei 5 % Zinssatz zeigen Bestände mit niedrigem Bestockungsgrad das beste Ergebnis.

Zum Eingriffsintervall: Kurze Eingriffsintervalle nach dem kostendeckenden Durchmesser erwiesen sich für Forstbetriebe aller Kalkulationszinssätze als etwas vorteilhafter als lange Eingriffsintervalle. Dieses Ergebnis entspricht der aufgestellten Hypothese. Mit den Simulationen wurde aber gezeigt, daß dem auch Wachstums- und Konkurrenzentwicklungen nicht entgegenstehen. Selbst wachstumskundliche Überlegungen allein würden zur gleichen Hypothese führen, wenn auch auf unterschiedlicher Ursache basierend:

Häufige Pflegeeingriffe führen zu einer Verbesserung der Wachstumsbedingungen, indem regelmäßig der Konkurrenzdruck zwischen den Bestandesgliedern gemildert wird und die ständige Beibehaltung einer wachstumsoptimalen Bestandesdichte gewährleistet werden kann. Bei langen Intervallen kommt es dagegen im Laufe der Zeit zur Konkurrenzverschärfung und zu einer stärkeren Absenkung des Vorrates unter die gewünschte Dichte. (vgl. WENK et al. 1990) Die Verbesserung in der Wertentwicklung bei kurzen Intervallen ist dagegen vermutlich rechnerisch-statistischer Natur, wie das bereits WIEDEMANN (1951) für die „Massen“-entwicklung beschrieben hat. Denkbar sind zudem leichte Verschiebungen in der Sortenstruktur zum Stärkeren hin.

Die komplexe Wirkung der beiden Größen „Bestockungsgradhaltung“ und „Eingriffsintervall“ auf den Kapitalhaltungswert sind in Abbildung 2 skizziert. Dabei scheint die

Bestockungsgradhaltung unter den hier verwendeten Kosten-Erlös-Bedingungen die dominierende Größe zu sein. Da sich ihre in Abhängigkeit vom Kalkulationszinssatz verändernde Vorteilhaftigkeit vom hohen zum niedrigen Bestockungsgrad bewegt entsteht ein „Einflußloch“. Dies bewirkt das stärkere Hervortreten der zweiten Einflußgröße, des Eingriffsintervalles, die rechte Seite von Abbildung 2 möchte das veranschaulichen.

Bei allen Simulationsläufen spielte die Waldpflegeart eine ganz untergeordnete Rolle. Lediglich die Hochdurchforstung führte ab und an zu geringen Verbesserungen beim Kapitalhaltungswert.

Den Einfluß der Waldpflegeregime auf den Kapitalhaltungswert in Abhängigkeit des Alters der Waldbestände zum Entscheidungszeitpunkt zeigt die linke Seite von Abbildung 2.

Die einzelnen Simulationsläufe zeigen, daß die Auswahl eines bestimmten Waldpflegeregimes einen geringer werdenden Einfluß auf den Kapitalhaltungswert hat, je älter der entsprechende Waldbestand ist, und dies um so spürbarer, je kleiner der Kalkulationszinssatz ist. Das Ergebnis erscheint plausibel: Erstens haben Eingriffe in Altbeständen nur geringen Einfluß auf die kommende Zuwachs- und Qualitätsentwicklung, zweitens ist der Differenzierungsprozeß zwischen den einzelnen Bestandesgliedern beendet. Stückkosten- und Stückerlöse aller Waldpflegeregime sind deshalb sehr ähnlich. Und drittens beeinflusst die zeitliche Nähe zur Endnutzung wesentlich die Überlegungen zur Waldpflege. Zwar wird ein Forstbetrieb mit hohem Kalkulationszinssatz versuchen, einen möglichst hohen Holzernteanteil in die Gegenwart zu verlagern. Das hat infolge der zeitlichen Nähe von Altdurchforstung und Endnutzung jedoch keinen wesentlichen Einfluß auf den Kapitalhaltungswert, sofern der Kalkulationszinssatz nicht besonders hoch ist.

Vergleicht man schließlich die Kapitalhaltungswerte aller simulierten Waldpflegeregime, fällt ihre hohe Ähnlichkeit auf. Daraus kann der Schluß gezogen werden, daß es bei der Auswahl des optimalen Waldpflegeregimes wohl ein großer Spielraum existiert, wenn man von den Extremen absieht. BRODERICK et al. (1982) stellten in den USA Gleiches fest.

4 Waldpflegeentscheidungen bei Berücksichtigung öffentlicher Leistungen, veranschaulicht am Beispiel der Biodiversität

4.1 Modell

Bei den bisherigen Überlegungen wurde allein der Kapitalwert bzw. der Kapitalhaltungswert als entscheidungsrelevantes Kriterium herangezogen. Dabei steht der Kapitalwert als die eine Zahl, die den gesamten zukünftigen Einkommenstrom abbildet. Die alleinige Berücksichtigung des Kapitalwertes als Kriterium war möglich unter den Prämissen erstens der Reduktion aller Nutzenvorstellungen auf den Nutzen aus Geldeinkommen:

$$U = U(e) = U(C_0), \quad (14)$$

und zweitens eines vorhandenen vollkommenen Kapitalmarktes im Gleichgewicht. Dort nämlich befinden sich Kapitalwertmaximum und Nutzenmaximum an der gleichen Stelle (vgl. JOHANNSON u. LÖFGREN 1985):

$$\frac{dU_{\max.}(C_0)}{dt} = \frac{dC_{0\max.}}{dt} \quad (15)$$

Bezieht man öffentliche Leistungen in die Analyse ein, erhält man eine gegenüber (14) erweiterte Nutzenfunktion

$$U = U(C_0, \ddot{o}) \quad (16)$$

Das Auffinden eines Nutzenmaximums mit Hilfe der finanziellen Analyse wird jetzt erschwert, denn (15) gilt nicht mehr. Wohl aber stellt das Kapitalwertmaximum nach wie vor das intertemporale Geldeinkommenmaximum dar. Jedes Abweichen von diesem Maximum bedeutet Geldeinkommenminderung. Für ein nutzenmaximierendes Individuum erscheint die Einkommenminderung nur dann sinnvoll, wenn damit ein Nutzenzugewinn aus dem Konsum des öffentlichen Gutes, der die Nutzenminderung durch Einkommenverzicht mindestens ausgleicht, verbunden ist. Auf den vorliegenden Fall der optimalen Waldpflegeentscheidung angewendet heißt das: Die Abweichung vom finanziellen Optimum ist nur dann gerechtfertigt, wenn die dadurch erzielten außermonetären Vorteile größer sind als die Einbußen an Geldeinkommen.

Die Einkommenminderung durch das Abweichen vom Einkommenmaximum können als die Opportunitätskosten für die Bereitstellung der zusätzlichen öffentlichen Leistung verstanden werden, oder exakt formuliert:

$$C_{0k} = C_{0\max} - C_{0\text{jetzt}} \quad (17)$$

Natürlich: Kosten sagen nichts über Nutzen aus; aber: Da sich die Nutzenseite öffentlicher Leistungen schwerlich monetär ausdrücken läßt – alles was der außenstehende Analytiker tun kann, ist zu zählen, was das Individuum dafür bezahlt (FISHER 1932, S. 6) – stellt die Ermittlung der mit der Bereitstellung zusätzlicher öffentlicher Leistungen entstehenden Opportunitätskosten eine wertvolle Entscheidungshilfe dar. Das in den vorangegangenen Kapiteln vorgestellte Konzept der finanziell optimalen Bestandesbehandlung ist dafür notwendige Voraussetzung. Ein Optimum freilich läßt sich daraus nicht ableiten.

Im folgenden wird die „Simple Betterness Method“ (KLEMPERER 1996), ein auf den Opportunitätskostenansatz aufbauendes entscheidungsunterstützendes Verfahren, bei dem die Opportunitätskosten den quantitativen Veränderungen öffentlicher Leistungen gegenübergestellt werden, vorgestellt und auf die Simulationsresultate angewendet.

Als Beispiel einer öffentlichen Leistung wurde die Biodiversität ausgewählt, da SILVA mit einer Routine zur Berechnung des PRETZSCH-SHANNON-Artenprofilindex* (PSI) ausgerüstet ist, welcher eine Schätzung der Biodiversität gestattet (vgl. PRETZSCH 1996).

4.2 Die Technik nach KLEMPERER

Der erste Schritt des Verfahrens besteht in der gemeinsamen Darstellung von Kapitalhaltungswerten (KHW) und PSI, Abbildung 3, zunächst dargestellt am Beispiel von fünf fiktiven Waldpflegeregimen.

Geordnet sind die einzelnen Waldpflegeregime vom größten zum kleinsten Kapitalhaltungswert. Dadurch ist eine leichte Identifizierung nichtdominanter Waldpflegeregime möglich. Nichtdominanz von Regime A gegenüber Regime B bedeutet, daß Kapitalhaltungswert und/oder Biodiversität von A kleiner sind als von B. In Abbildung 3 ist 1 gegenüber 2 nichtdominant. Beide Waldpflegeregime besitzen zwar den gleichen Kapitalhaltungswert, allerdings ist die Biodiversität bei 1 kleiner als bei 2. Es gibt also keinen Grund, 1 gegenüber 2 vorzuziehen. Auch 4 ist gegenüber 3 nichtdominant. Kapitalhaltungswert und Biodiversität sind kleiner. Auch hier existiert kein Grund, 4 gegenüber 3 vorzuziehen.

Der nächste Schritt besteht deshalb im Entfernen aller nichtdominanten Regime aus der Entscheidungsgrafik. Sie sind zu einem der verbleibenden auf jeden Fall schlechtergestellt. Man erhält Abbildung 4.

Aus Abbildung 4 läßt sich kein Optimum ablesen, sie stellt aber nützliche Informationen für die Verbesserung der Entscheidung bereit: Sie zeigt, auf wieviel Kapitalhaltungswert der Entscheider verzichtet, wenn er nicht das Regime mit dem höchsten Kapitalhaltungswert, sondern ein anderes Waldpflegeregime auswählt. Sie zeigt gleichzeitig, wie hoch der Zuwachs an Biodiversität ist. Um ein mehr an Biodiversität durch Regime 3 gegen-

über 2 zu erreichen muß eine Verringerung des Kapitalhaltungswertes von 2 auf 3 in Kauf genommen werden. Oder, mit Worten der Investitionstheorie: Um eine Grenzbiodiversität durch die Auswahl der finanziell zweitbesten Waldpflegealternative zu erreichen ergibt sich ein Barwert an Grenzkapitalkosten von „ $C_{0(a=t_0)1} - C_{0(a=t_0)2}$ “, der sich als Barwert der Opportunitätskosten für die Verbesserung der Biodiversität von Regime 2 auf 3 interpretieren läßt.

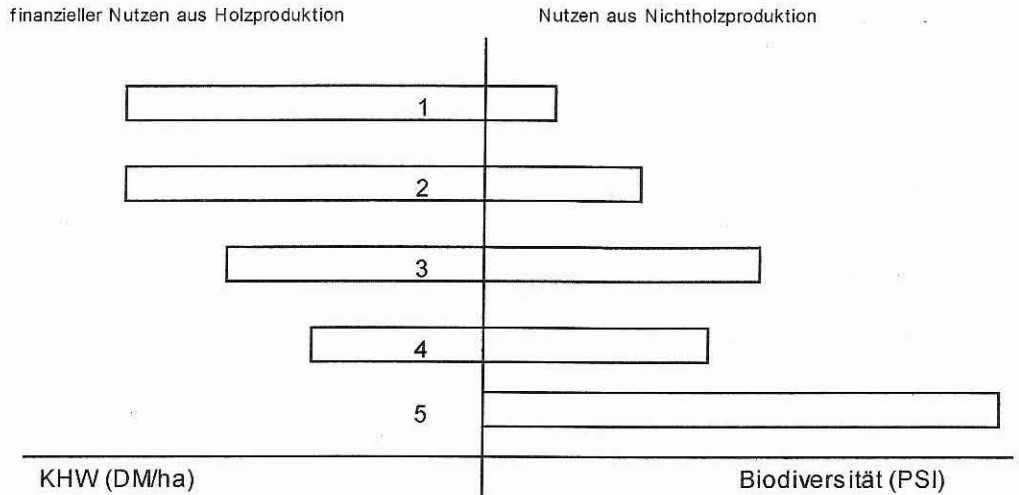


Abb. 3. Gegenüberstellung von Kapitalhaltungswert und Biodiversität für fünf verschiedene Waldpflegeregime. (Quelle: KLEMPERER 1996, S. 259, verändert).

Fig. 3. Holding value and biodiversity regarding five different thinning regimes (source: KLEMPERER 1996, S. 259, modified).

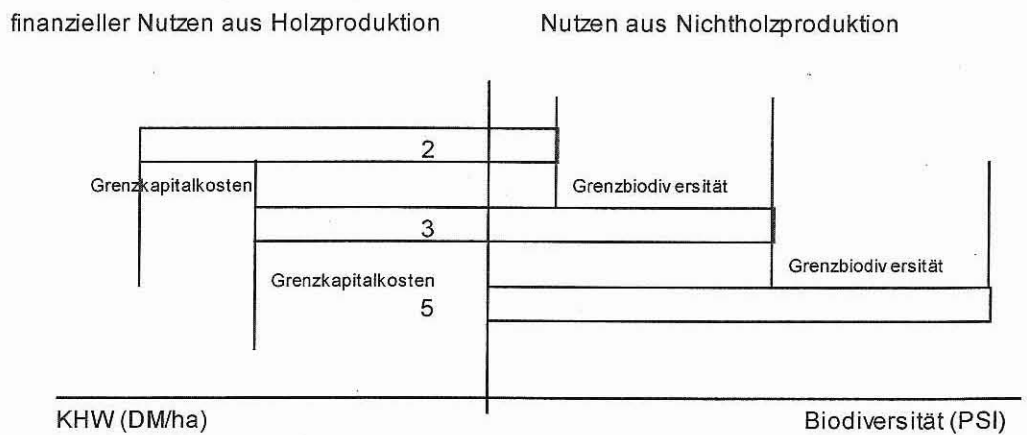


Abb. 4. Die drei dominanten Waldpflegeregime (Quelle: KLEMPERER 1996, S. 260, verändert).

Fig. 4. The three dominant thinning regimes (source: KLEMPERER 1996, S. 260, modified).

Dem Entscheider obliegt es jetzt, den Barwert der Grenzkapitalkosten und die Grenzbiodiversität zu vergleichen und abzuwägen, ob der finanzielle Nutzenentgang, ausgedrückt als Barwert der Grenzkapitalkosten, dem nichtmonetären Nutzenzuwachs, hier durch die Verbesserung der Biodiversität dargestellt, rechtfertigt. Angemerkt sei, daß natürlich keine Addition oder Subtraktion zwischen Kapitalhaltungswert und Biodiversität möglich ist, sondern der Entscheidungsprozeß ein subjektives Abwägen darstellt.

Im folgenden wird nun dieses Verfahren beim Vergleich der Waldpflegeregime angewendet. Jedoch ist daran zu denken, daß nicht nur die Zahlungsströme der Kapitalrechnung sondern auch die Biodiversitäten unterschiedlicher Entstehungszeitpunkte mit einer Zeitpräferenzrate diskontiert werden müssen. Aus Gründen der Vereinfachung wurde vorerst mit einer Zeitpräferenzrate für Biodiversität von Null gearbeitet. Außerdem muß daran gedacht werden, daß Biodiversität jährlich bereitgestellt wird und demzufolge zum Zeitpunkt der Umtriebszeit sich als Summe von a bis T darstellt:

$$PSI_T = \sum_{t=a}^T PSI_t. \tag{18}$$

4.3 Ergebnisse

In Tabelle 8 sind die Biodiversitäten aus den Simulationen für die verschiedenen Waldpflegeregime zusammengefaßt.

Tabelle 8. Biodiversitäten aus den einzelnen Simulationen für die verschiedenen Waldpflegeregime.
Table 8. Biodiversities from the single simulations for the various thinning regimes.

Durchforstungs- Art	Inter- vall	40jähriger Bestand			60jähriger Bestand			70jähriger Bestand			90jähriger Bestand		
		Bestockungsgrad			Bestockungsgrad			Bestockungsgrad			Bestockungsgrad		
		0,7	0,85	1,0	0,7	0,85	1,0	0,7	0,85	1,0	0,7	0,85	1,0
Nieder- durch- Forstung	5	15,05	15,00	14,80	11,56	11,53	11,54	9,12	7,86	8,73	4,29	4,47	4,40
	10	15,12	15,27	15,22	11,62	11,25	11,49	8,33	8,24	8,29	4,19	4,50	4,46
	25	15,23	15,22		11,20	10,58			7,89				
Hoch- durch- forstung	5	15,08	14,97	14,99	11,49	10,53	9,20	9,21	9,36	8,96	4,20	4,32	4,35
	10	15,28	15,24	15,18	11,84	11,54	11,51	8,37	8,42	8,42	4,46	4,28	4,44
	25	11,48	10,66		11,61	10,86		8,57	8,02				
Auslese- durch- forstung	5	15,12	15,15	15,09	11,60	11,70	11,14	9,31	9,41	9,20	4,38	4,39	4,43
	10	15,10	15,45	15,26	10,90	9,97	9,91	8,53	8,37	8,29	4,48	4,55	4,38
	25	11,36	11,20		11,30	11,10		8,14	7,95				

Die folgenden grafischen Darstellungen zeigen nun einige Beispiele für die Gegenüberstellung von Kapitalhaltungswert und die durch den PRETZSCH-SHANNON-Index charakterisierte Biodiversität.

4.4 Analyse

Die Berechnungen der PRETZSCH-SHANNON-Indizes für die einzelnen Waldpflegeregime zeigen, daß Biodiversität durch die Wahl des Waldpflegeregimes nur gering beeinflussbar ist. Zwar zeigten sich bei mehr oder weniger extremen Eingriffen, z. B. bei starker Absenkung des Bestockungsgrades, gewisse Änderungen, jedoch läßt sich grundsätzlich behaupten, daß Fichtenreinbestand gleich Fichtenreinbestand ist, das meint, wer wesentliche Veränderungen in der Biodiversität wünscht, der sollte sich auf die Änderung des Bestockungstypes konzentrieren, anstatt das Waldpflegeregime zu wechseln.

Aus Tabelle 8 wird ersichtlich, daß zwischen den beiden Einzelzielen „Maximierung des Kapitalhaltungswertes“ als finanzielles Kriterium und der „Biodiversität“ nur sehr schwache konkurrierende Beziehungen bestehen, wobei es durchaus nicht gewagt ist, sogar von Zielneutralität zu sprechen, deren Ursache darin besteht, daß zwar das Waldpflegeregime den Kapitalhaltungswert, jedoch die Biodiversität nur unwesentlich beeinflusst.

Bei den Waldpflegeentscheidungen für 40jährige Fichtenbestände in Betrieben mit 0 % Kalkulationszinssatz (Abbildung 5) wird der höchste Kapitalhaltungswert mit dem Regime „Auslesedurchforstung, $B^{\circ} = 0,85$, Durchforstungsintervall 25 Jahre“ erreicht, die höchste Biodiversität dagegen mit dem Regime „Auslesedurchforstung, $B^{\circ} = 0,85$; Durchforstungsintervall 10 Jahre“. Die Differenz im PRETZSCH-SHANNON-Index zwischen bei-

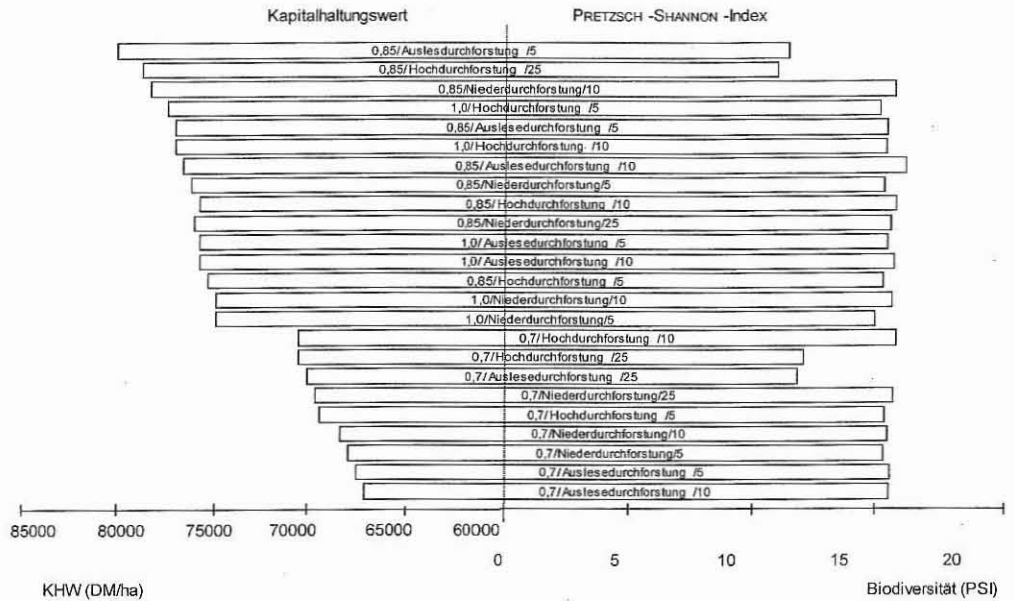


Abb. 5. Kapitalhaltungswerte und Biodiversitäten bei Waldpflegeregimen in 40jährigen Fichtenbeständen bei einem Kalkulationszinssatz von 0%.

Fig. 5. Holding values and biodiversities regarding thinning regimes in 40-year-old spruce stands with a 0% guiding rate of return.

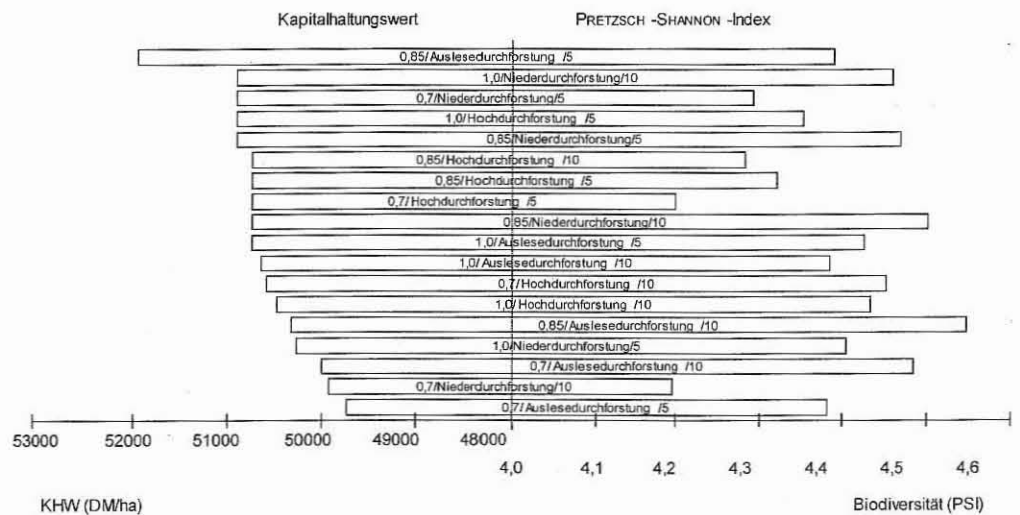


Abb. 6. Kapitalhaltungswerte und Biodiversitäten bei Waldpflegeregimen in 90jährigen Fichtenbeständen bei einem Kalkulationszinssatz von 0%.

Fig. 6. Holding values and biodiversities regarding thinning regimes in 90-year-old spruce stands with a 0% guiding rate of return.

den Regimen beträgt 4,25 Indexpunkte. Die Differenz in den Kapitalhaltungswerten beträgt 3417 DM. Das ergibt je Zunahme eines Indexpunktes Biodiversität 804 DM Barwert an Opportunitätskosten. Die Frage an den Entscheider lautet dann beispielsweise: „Ist die Zunahme an Biodiversität um einen Indexpunkt es wert, daß dafür 804 DM barwertige Opportunitätskosten entstehen?“ Die Antwort kann natürlich weder durch Außenstehende erbracht werden, noch kann sie für alle Waldgebiete desselben Waldbesitzers gleich ausfallen. Die Antwort richtet sich nach der Zielsetzung für den Betrieb und für den einzelnen Waldbestand. Sie beinhaltet vielfältige subjektive Komponenten. Die berechneten Barwerte der Opportunitätskosten liefern dafür ein finanzielles Kriterium zum Abwägen der Vor- und Nachteile.

5 Aus den Simulationen abgeleitete Grundsätze zur Wahl optimaler Waldpflegeregime

In der Vergangenheit scheiterten Überprüfungen oder Umsetzungen investitionstheoretischer Ansätze am beinahe unendlich großen Rechen- und Experimentieraufwand. Jedoch beginnt mit dem Einsatz von Bestandessimulatoren das Zeitalter, in dem derartige Rechnungen in einem vertretbaren Zeitraum durchgeführt werden können. Wie beim Beschreiten von Neuem gewohnt, traten während der Simulationsrechnungen eine ganze Anzahl Anlauf- und Anpassungsprobleme auf. Die größten Schwierigkeiten entstanden durch die recht stark abweichenden Wuchsverhältnisse zwischen bayerischen und sächsischen Fichtenwäldern. Das gebietet einen sehr kritischen Gebrauch des errechneten Zahlenmaterials. Dennoch erscheint es möglich, obwohl auch dabei einige Vorsicht geboten, einige eher qualitative Folgerungen und Sätze über die Auswahl optimaler Waldpflegeregime auf der Basis der Investitionstheorie in Kombination mit Ergebnissen aus Simulationen der Kritik vorzulegen:

1. Je älter ein Waldbestand, um so bedeutungsloser wird die Wahl eines speziellen Waldpflegeregimes, bis in Altbeständen schließlich die Auswahlentscheidung hinfällig wird.
2. Die finanziell optimalen Waldpflegeregime unterscheiden sich zwischen den einzelnen Kalkulationszinssätzen erheblich.
3. Bei einem Kalkulationszinssatz von 0 % ist die hauptsächliche Bestimmungsgröße die Bestockungsgradhaltung. Hohe Bestockungsgrade führen zum besten Kapitalhaltungswert.
4. In Forstbetrieben mit 2,5 % Kalkulationszinssatz dominiert das Eingriffsintervall: Kurze Intervalle verbessern den Kapitalhaltungswert.
5. Bei 5 % Kalkulationszinssatz überwiegt in den Beständen bis 60 Jahre das Eingriffsintervall, wobei kurze Zeiträume die besten Ergebnisse bringen. In Beständen über 60 Jahre überwiegt wieder die Bestockungsgradhaltung. Dabei sind Waldpflegeregime mit niedriger Bestockungsgradhaltung die besten.
6. Die Waldpflegeart brachte bei allen Simulationen keine oder derart geringe Unterschiede, daß sie für die Entscheidungsfindung ohne Bedeutung sind. Lediglich Hochdurchforstung führte ab und an zu geringen Verbesserungen beim Kapitalhaltungswert.
7. Insgesamt sind die Kapitalhaltungswerte der simulierten Waldpflegeregime innerhalb eines Bestandesalters und eines Kalkulationszinssatzes sehr ähnlich. Das führt zu dem Schluß, daß für die Auswahl optimaler Waldpflegeentscheidungen größerer Handlungsspielräume existieren.
8. Die Biodiversität kann durch die Auswahl eines Waldpflegeregimes nur sehr geringfügig verändert werden, solange man beim gleichen Bestockungstyp, im vorliegenden Fall dem Fichtenreinbestand, verbleibt.

9. „Maximierung des Kapitalhaltungswertes“ und „Maximierung der Biodiversität“ sind bezogen auf die Wahl des Waldpflegeregimes nur schwach konkurrierende Ziele, die vereinfachend als neutrale Zielstellungen behandelt werden können. Demzufolge erübrigt sich für die Entscheidungsfindung im Forstbetrieb größtenteils eine Gegenüberstellung der Kapitalhaltungswerte mit den PRETZSCH/SHANNON-Indexwerten.
10. Wichtig scheint neben dem spezifischen Ergebnis jedoch, daß durch die hier vorgestellte Methode der Gegenüberstellung von Opportunitäts-(grenz)-kosten in Geldeinheiten und des beabsichtigten Nutzenzugewinnes nicht marktfähiger Leistungen (hier eben der Biodiversität) in naturalen Einheiten ein Hilfsmittel zur Entscheidungsfindung bereitgestellt wird, welches keine fertige Lösung bereitstellt. Statt dessen werden „nur“ Größenunterschiede gegenübergestellt, die angeben, welcher Zuwachs an einem öffentlichen Gut mit wieviel Opportunitätskosten erreicht werden kann. Der Entscheider selbst muß dann entsprechend seinen spezifischen Zielvorstellungen, seinen Präferenzen und seiner wirtschaftlichen Situation selbst herausfinden, was für ihn das Beste ist.

6 Literatur

- BRABÄNDER, H.-D., 1994: Waldbewertung für Kauf- und Verkaufsentscheidungen. *Forst und Holz*, 49, 157–162.
- BRODERICK, S. H., THURMES, J. F., KLEMPERER, W. D., 1982: Economic evaluation of old-field loblolly pine management alternatives. *Southern Journal of Applied Forestry*, 1, 9–15.
- DEEGEN, P., 1997: Forstökonomie kennenlernen. Dresden: Bogenschützen.
- DUERR, W. A., 1993: Introduction to Forest Resource Economics. New York u. a.: McGraw-Hill
- DUFFNER, W., 1988: Gestaltung des Forstbetriebes im Jahre 2000. *Forstarchiv* 59, 215–222.
- FAUSTMANN, M., 1849: Berechnung des Werthes, welchen Waldboden, sowie noch nicht haubare Holzbestände für die Waldwirtschaft besitzen. *Allg. Forst- und Jagdz.*, Monat Dezember, 44–455.
- KAHN, M., 1995: Die Nachbildung von Durchforstungseingriffen in Rein- und Mischbeständen mit dem Wachstumssimulator SILVA 2. Beitr. zur Jahrestagung des Deutschen Verband Forstlicher Forschungsanstalten, Sektion Ertragskunde in Joachimsthal vom 29.–31. 5. 95. Joachimsthal.
- KLEMPERER, W. D., 1996: Forest Resource Economics an Finance. New York u. a.: McGraw-Hill
- MANZ, K., DAHMEN, A., 1993: Investition. *Kompaktstudium Wirtschaftswissenschaften*, Bd. 5. München: Franz Vahlen.
- PRETZSCH, H., 1996: Wuchsmodelle für die Unterstützung der Wirtschaftsplanung im Forstbetrieb. *AFZ/Der Wald*, 1414–1419.
- PRETZSCH, H., 1997: Entwicklungsstand des Einzelbaumsimulators SILVA (Version 2.1). In: Beitr. zur Jahrestagung des Deutschen Verband Forstlicher Forschungsanstalten, Sektion Ertragskunde in Grünberg vom 12.–14. 5. 97. Grünberg.
- SAMUELSON, P. A., 1976: Economics of forestry in an evolving society. *Economic Inquiry*, XIV, 446–492.
- SEIGER, G., 1993: Fichtenbetriebsklassen Sachsens, Ertragsregelungsmodelle und Prognosen. Belegarbeit TU Dresden, Institut für Forstökonomie und Forsteinrichtung. Tharandt.
- THÜNEN, J. H. von, 1875: Der isolierte Staat in Beziehung auf Landwirtschaft und Nationalökonomie. 3. Aufl. Berlin: Wiegandt, Hempel & Parey.
- VILLA, W. et al., 1988: Ökonomisch begründete Waldpflegeentscheidungen für Fichte im Sächsischen Landeswald. (Forschungsbericht) Tharandt.
- WENK, G., ANTANAITIS, V., SMELKO, S., 1990: Waldertragslehre. Berlin: Deutscher Landwirtschaftsverlag.
- WIEDEMANN, E., 1936/42: Fichten-Ertragstafel. Schober, R., 1975: Ertragstafeln wichtiger Baumarten, Frankfurt a. M.: J. D. Sauerländer's.
- WIEDEMANN, E., 1951: Ertragskundliche und waldbauliche Grundlagen der Forstwirtschaft, Frankfurt a. M.: J. D. Sauerländer's.

Anschriften der Verfasser: Dr. PETER DEEGEN (Institut für Forstökonomie und Forsteinrichtung), Dipl.-Ing. f. FW WOLFGANG STÜMER (Institut für Waldwachstum und Forstliche Informatik), Prof. Dr. habil. WOLFGANG VILLA (Institut für Forstökonomie und Forsteinrichtung), TU Dresden, Fachrichtung Forstwissenschaften Tharandt, Piener Str. 8, 01737 Tharandt; Prof. Dr. HANS PRETZSCH, Forstwissenschaftliche Fakultät der TU München, Lehrstuhl für Waldwachstumskunde, Am Hochanger 13, 85354 Freising.