

# Integration ökonomischer, ökologischer und sozialer Ansprüche: Zur Sicherung einer umfassenden Nachhaltigkeit im Zuge der Forstbetriebsplanung

## Integration of Economic, Ecological and Social Demands: Assuring a Comprehensive Sustainability in Forest Management Planning

Von Thomas Knoke und Reinhard Mosandl

### 1 Einleitung

Aufgabe der Forstbetriebsplanung war es stets, die Nachhaltigkeit im Forstbetrieb zu sichern (z. B. BAADER 1945). Aus dem Wandel von einer naturalen hin zu einer umfassenden Nachhaltigkeit erwächst nun die Anforderung an die Forstbetriebsplanung, neue Instrumente und Planungshilfen bereitzustellen. Den Ausgangspunkt hierzu können beispielsweise die modernen ressourcenökonomischen Nachhaltigkeitskonzeptionen bilden, die zum Ziel haben, die Situation der Menschen im Laufe der Zeit zu verbessern (ENDRES u. QUERNER 2000). Planungen im Hinblick auf eine nachhaltige Entwicklung werden vom Prinzip der Vorsicht geprägt. Folglich sollten nachhaltige Entwicklungen möglichst risikoarm sein. Zudem müssen sie ökologischen und sozialen Erfordernissen gerecht werden. Der Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) formuliert z. B. ökologische und sozioökonomische „Leitplanken“ im Rahmen einer zukünftigen Energiepolitik (WBGU 2003, S. 3). Innerhalb des durch „Leitplanken“ vorgegebenen Rahmens sollen Entwicklungen ökonomisch effizient sein. Auch für die Waldwirtschaft wird neben ökonomischer Effizienz die Beachtung ökologischer und sozialer Funktionen gefordert. So definieren die „Marrakesh Accords“ (UNFCCC 2002) „forest management“ als „practices for stewardship and use of forest land aimed at fulfilling relevant ecological (including biological diversity), economic and social functions of the forest in a sustainable manner“. Eine Waldwirtschaft, die die Sektoren Ökologie, Ökonomie und Soziales beachtet, kann zu einem grundlegenden Modell für nachhaltige Entwicklung werden (vgl. Rat für Nachhaltige Entwicklung 2004). Für die Planung im Forstbetrieb ergeben sich daraus mehrere Konsequenzen: Ein die Nachhaltigkeit im umfassenden Sinne berücksichtigendes Planungskonzept muss ökonomisch basiert sein, wobei das bislang vernachlässigte Risiko verschiedener Waldentwicklungen in die Planung einbezogen werden muss. Nur so können risikoarme Entwicklungen bei forstlichen Entscheidungen bevorzugt werden. Darüber hinaus muss das Planungskonzept ökologischen und sozialen Restriktionen neben der finanziellen Optimierung Raum bieten.

Mit Blick auf die Weiterentwicklung der Forstbetriebsplanung bzgl. einer umfassenden Sicherung der Nachhaltigkeit sollen hier folgende Fragen beantwortet werden:

- 1) Wie lässt sich im Rahmen der Planung eine finanzielle Optimierung unter Berücksichtigung des Faktors „Risiko“ erreichen?
- 2) Wie kann ein forstliches Planungskonzept ökologische und soziale Ansprüche integrieren?

### 2 Methodisches Vorgehen

Spätestens seit JUDEICH (1871) wissen wir, dass die Forstbetriebsplanung ein klassisches Zuordnungsproblem zu lösen hat: Waldbauliche Maßnahmen müssen bestimmten Waldorten und Zeitperioden zugeordnet werden, es ist also eine Raum-Zeit-Ordnung herzustellen. Zu diesem Zweck wurden lineare Planungsmodelle aus dem Bereich des „Operations Research“ formuliert (vgl. KURTH 1994, S. 466, RIDEOUT und HESSELN 2000). Die Grundlagen dieser Modelle finden sich z. B. im englischsprachigen Raum und in Skandinavien; wo sie schon frühzeitig als Standardverfahren Anwendung fan-

den (z. B. JOHNSON u. SCHEURMAN 1977, HOGANSON u. ROSE 1987; HOF et al. 1988; BARRETT et al. 1998; EID et al. 2002; OLSSON u. LOHMANDER 2003). In Deutschland kamen sie jedoch bislang praktisch nicht zum Einsatz.

Im Folgenden soll ein nichtlineares Planungsmodell vorgestellt werden, das für die Forstbetriebsplanung des Waldes der Ludwigs-Maximilians-Universität München verwendet wurde (KNOKE 2004a). Mit seiner Hilfe konnten ökologische und ökonomische sowie soziale Komponenten innerhalb der Forstbetriebsplanung berücksichtigt werden. Das nichtlineare Planungsmodell wurde mit dem EXCEL-Solver umgesetzt, den die Firma „Frontline Systems Inc.“ u. a. für die nicht-lineare Programmierung weiterentwickelt hat (FLYSLTRA et al. 1998).

### 2.1 Der Universitätswald und die Planungsgrundlagen

Der Universitätswald<sup>1)</sup> umfasst 427,5 ha (Holzbodenfläche). Er setzt sich zu 76 % aus Nadelholz und zu 24 % aus Laubholz zusammen. Der Wald soll der Ausbildung der Studenten sowie der forstwissenschaftlichen Forschung dienen. Unter Beachtung ökologischer und sozialer Restriktionen soll ein möglichst hoher wirtschaftlicher Vorteil erzielt werden. Auf der Grundlage dieser Vorgaben wurde die aktuelle Planung strategisch auf einen 30-jährigen Zeithorizont ausgerichtet, der sich aus sechs jeweils 5-jährigen Perioden zusammensetzt. Als Planungseinheiten wurden großflächig auftretende Bestandestypen ausgeschieden. Der aktuelle Zustand dieser Bestandestypen wurde auf insgesamt 425 permanent markierten Probeflächen erfasst, die sich proportional zur Flächengröße auf die Bestandestypen verteilen. Anhand der ertragskundlichen Daten der Bestandestypen wurden Modellbestände konstruiert, deren Vorratsentwicklung und Holzanfall mit dem Wachstumsmodell Silva 2.2 (KAHN u. PRETZSCH 1997) bei im Universitätswald üblichen Eingriffen prognostiziert wurden (Tab. 1). Die ertragskundlichen Daten wurden dann mit aktuellen Holzpreisen und Ausgaben für Aufarbeitung und Rückung bewertet, um eine finanzielle Basis für die nichtlineare Optimierung zu erhalten. Die resultierenden Deckungsbeiträge sind in Tabelle 1 enthalten.

### 2.2 Integration von Risiko

#### Berücksichtigung von Risiko in einer gesamtbetrieblichen Zielfunktion

Zunächst wurde für den Universitätswald eine Zielfunktion formuliert, die im Rahmen der Planung maximiert werden sollte. Hierbei wurde das dem Nachhaltigkeitsgedanken innewohnende „Vorsichtsprinzip“ bereits im Zuge der Aufstellung der Zielfunktion berücksichtigt (vgl. ENDRES u. QUERNER 2000, S. 181). Die Zielfunktion wurde dazu anhand der Risikonutzenfunktion eines risikoscheuen Entscheidungsträgers abgeleitet (vgl. Formel 1). Sie lautet:

maximiere: (End)Wohlfahrt = E(Vermögen) - Risikokosten

(1)

maximiere: (End)Wohlfahrt =

$$\left[ \left( \sum_{Typ=1}^6 \sum_{Periode=1}^6 db \cdot f \cdot (1+r)^{T-t} \right) + \frac{db_T}{r} \right] - \left[ \alpha \cdot \frac{S^2_{Verm}}{2} \right]$$

<sup>1)</sup> Die Betriebsleitung des Universitätswaldes obliegt dem Ordinarius des Lehrstuhls für Waldbau der TU München, Prof. Dr. R. MOSANDL.

Tab. 1: Holzanfälle (Efm/ha) und prognostizierte Deckungsbeiträge (€/ha) über 30 Jahre für die Bestandestypen (5-Jahresperioden).

Alter (J)	Bestandes-typ	waldbauliche Aktivität	Periode 1		Periode 2		Periode 3		Periode 4		Periode 5		Periode 6	
			Efm	€/ha	Efm	€/ha	Efm	€/ha	Efm	€/ha	Efm	€/ha	Efm	€/ha
20	Laubholz (Dickung)	Pflege	0	-500	0	-500	2	-262	4	-256	6	-137	14	-85
70	Laubholz (Baumholz)	Hochdurchforstung	36	1.061	37	895	36	737	36	1.124	33	706	32	865
45	Nadelholz (Baumholz)	Hochdurchforstung	62	1.257	16	253	19	458	23	381	28	1.020	22	496
55	Nadelholz (Überführung)	Langfrist-Verjüngung	66	1.754	67	2.783	67	2.289	64	3.240	64	2.474	62	3108
85	Nadelholz (hiebsreif)	Auszug hiebsreifer Stämme	594	24.060	661	27.907	732	33.308	796	37.972	858	41.809	929	46.945
125	Nadelholz (teilw. senil)	Kleinflächige Räumung	532	19.289	587	24.131	649	28.386	704	31.348	752	33.632	802	35.182
Geplante Wiederaufforstung			-2.500		-2.000		-1.500		-1.000		-500		0	
Wiederaufforstung v. Kalamitätsflächen			-3.000		-3.000		-3.000		-3.000		-3.000		-3.000	

Für die Typen Nadelholz (hiebsreif) und Nadelholz (teilw. senil) sind die Bestandesvorräte zur Periodenmitte angegeben (Haubarkeitserträge).

Ziel war es, den Wohlstand zu maximieren. Dazu sollte das erwartete Vermögen am Ende der Planungsperiode (nach 30 Jahren) maximal sein. Erreicht wird eine Maximierung des Vermögens, indem die Deckungsbeiträge  $db$  (um Ernteausgaben bereinigte Holzerlöse, Kultur- und Pflegeausgaben als negative Werte) jeder Waldbaumaßnahme multipliziert mit der geplanten Fläche  $f$  und einem Faktor zur Aufzinsung  $(1+r)^{T-t}$  der Deckungsbeiträge auf das Ende des Planungshorizontes  $T$  für jeden Bestandestyp und über alle Perioden hinweg maximiert werden – wobei  $r$  der Zinssatz als Dezimalzahl ist. Dabei sind die Flächen  $f$  die Variablen, die der Planungsalgorithmus auswählt, also optimiert. Zudem wurde der Ertragswert des Betriebes als kapitalisierter jährlich-nachhaltiger Deckungsbeitrag  $\frac{dbT}{r}$  am Ende des Planungszeitraumes berücksichtigt.

Dem Grundsatz einer vorsichtigen Planung folgend, müssen von dem so errechneten Betrag Risikokosten als den Wohlstand mindernde Größe abgezogen werden. Diese wurden proportional zur Varianz des Vermögen  $S^2_{Verm}$  berechnet. Je unsicherer die Vermögensentwicklung also ist, desto größer wird die Varianz und umso höher fallen die Risikokosten aus. Risikoreiche Entwicklungen werden damit automatisch negativ bewertet. Die Konstante  $\alpha$  lässt sich basierend auf Literaturangaben abschätzen (vgl. SPREMANN 1996). Sie besagt, wie groß die Risikoaversion des Entscheidungsträgers ist und hängt vom Anschaffungswert des Investitionsobjektes ab. Für unsere Modellanalysen wurde mit  $\alpha = 0$  (Risiko bleibt unberücksichtigt),  $\alpha = 7 \cdot 10^{-7}$  („normale“ Risikoaversion) und  $\alpha = 14 \cdot 10^{-7}$  („ausgeprägte“ Risikoaversion, vorsichtige Planung) operiert.

Zur Maximierung der Zielfunktion unter Berücksichtigung von Risikokosten reichen die in Tabelle 1 angegebenen Deckungsbeiträge allein nicht aus. Entscheidend für die Abschätzung von Risikokosten war die Herleitung der für die einzelnen Deckungsbeiträge zu erwartenden Standardabweichungen unter Berücksichtigung der wichtigsten Risiken. Zum einen wurden dazu die Unsicherheit der Holzpreisentwicklung

und zum anderen naturale Risiken betrachtet. Die Risiken flossen in eine Monte-Carlo-Simulation mit 1000 Simulationsläufen auf der Ebene der Bestandestypen ein, um Verteilungen von zufallsbehafteten, quasi-realistischen Deckungsbeiträgen zu erhalten.

Zur Berücksichtigung der Holzpreisfluktuation wurde ein Szenario-Modell für Holzpreisentwicklungen der Fichte anhand von Holzpreisen der Bayerischen Staatsforstverwaltung aus den letzten rund 50 Jahren aufgestellt. Dieses Modell prognostiziert den Holzpreis der Fichte für das kommende Jahr anhand des aktuellen Holzpreises unter Berücksichtigung einer zufälligen Streuung (vgl. KNOKE u. PETER 2002). Die jeweiligen Holzpreise der anderen Baumarten wurden in Abhängigkeit vom Fichtenpreis berechnet, auch hier wurden Zufallselemente berücksichtigt (vgl. KNOKE et al. 2004). Die für die Bestandestypen unter Sicherheit berechneten Zahlungsströme wurden schließlich mit dem simulierten, vom Zufall beeinflussten Holzpreis neu bewertet, so dass die Zahlungen ebenfalls den Charakter von Zufallsvariablen erhielten. Schadensrisiken wurden in Form von Ausfallwahrscheinlichkeiten berücksichtigt (siehe MÖHRING 1986, KÖNIG 1995, KOUBA 2002). Innerhalb der Monte-Carlo-Simulation wurden die Schadenswahrscheinlichkeiten als Erwartungswerte in eine Zufallszahlenfunktion eingesetzt, die auf der Binomialverteilung aufsetzt. Basierend auf den resultierenden Zufallszahlen 0 (kein Schaden) und 1 (Schaden) ließ sich so eine relative Schadenshäufigkeit nachbilden, die in etwa der aus der Literatur abgeleiteten Schadenswahrscheinlichkeit entsprach. Im Schadensfall wurde dann die Hälfte des bei planmäßiger Ernte erzielbaren Deckungsbeitrages in die Bewertung eingesetzt. In Tabelle 2 sind die entsprechenden Standardabweichungen eingetragen. Die Einzelstreuungen wurden schließlich unter Berücksichtigung des Aufzinsungsfaktors, der Korrelationen der Streuungen zwischen den Bestandestypen und den Perioden nach den Gesetzen der Fehlerfortpflanzung zu einer Gesamtstreuung der Vermögensentwicklung verknüpft und entsprechend in Formel 1 eingeführt.

Tab. 2: Im Rahmen einer Monte-Carlo-Simulation generierte Standardabweichungen der Deckungsbeiträge (€/ha) über 30 Jahre für die Bestandestypen (5-Jahresperioden).

Alter (J)	Bestandes-typ	Periode					
		1	2	3	4	5	6
20	Laubholz (Dickung)	0	0	26	22	47	65
70	Laubholz (Baumholz)	314	368	391	479	545	933
45	Nadelholz (Baumholz)	419	531	685	908	1.155	1.280
55	Nadelholz (Überführ.)	1.059	1.316	1.765	2.204	2.461	2.406
85	Nadelholz (hiebsreif)	6.232	7.864	8.948	9.928	11.389	12.697
125	Nadelholz (teilw. senil)	3.939	5.480	6.173	6.680	7.447	7.760

### 2.3 Formulierung ökologischer und sozialer Ansprüche

Ökologische und soziale Ansprüche wurden mit Hilfe von Vorgaben (Restriktionen) der Betriebsleitung in das Planungssystem einbezogen. Sie dokumentieren eine vorsichtige Haltung indem zum einen Potenziale nicht vollständig genutzt werden und zum anderen ökologische Risiken, wie z. B. die Nitratauswaschung nach Kahlschlägen, gering gehalten werden.

Die Restriktionen lassen sich nicht direkt ökonomisch begründen, da potenzielle Umweltschäden, die bei Verletzung der Restriktionen entstehen würden, als externe Effekte noch nicht quantifiziert und in die ökonomische Kalkulation eingeführt werden können (außerökonomische Formulierung der Restriktionen basierend auf dem Prinzip der Vorsicht). Konkret wurden folgende betriebliche Restriktionen vorgegeben:

### Ökologische Restriktionen

- Kahlschlagfreie Waldwirtschaft im Rahmen eines ökologischen Waldbaus (vgl. MOSANDL 1993): Der Vorrat in den hiebsreifen Nadelholzbeständen darf nicht unter 100 Efm/ha sinken, um einen Vorrat an reifem bis überreifem, ökologisch attraktivem Holz bereit zu halten.
- Die Waldpflege in den Vornutzungsbeständen muss alle 5 Jahre stattfinden. Diese Vorgabe resultiert aus einer Einteilung des Forstbetriebes in fünf Pflegeblöcke, in denen sich die waldbaulichen Maßnahmen jedes Jahr konzentrieren. Für jeden Block sind also waldbauliche Maßnahmen geplant, die das Arbeitsvolumen für ein ganzes Jahr bilden.

### Maßnahmen zum Erhalt der Flexibilität (Erhalt von Optionen)

- Insgesamt sollte nach 10, 20 und 30 Jahren der betriebliche Durchschnittsvorrat nicht unter 320 Efm/ha liegen. Das Halten des Mindestvorrates stellt die Flexibilität sicher, auf kurzfristig erhöhte Holzpreise reagieren zu können.

### Soziale Aspekte

- Der Forstbetrieb beschäftigt einen Förster und eine Sekretärin. Das zur Bezahlung dieser Personen notwendige Geld sollte in jeder Periode mindestens anfallen, um die beiden Arbeitsplätze dauerhaft zu sichern.
- Zudem wurde ein Mindesteinschlag von 3.000 Efm/a zur Auslastung des Personals und zur Durchführung der notwendigen waldbaulichen Maßnahmen formuliert. Nach oben hin darf der Einschlag auf maximal 7.000 Efm ausgedehnt werden; der Rahmen bietet damit auch eine erhebliche Flexibilität für den Holzeinschlag.

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Diversifikationseffekte durch Laubholzbeimischung

Diversifikationseffekte entstehen durch Mischungen von verschiedenen Vermögensgegenständen, wenn deren Geldrückflüsse nicht systematisch in die gleiche Richtung tendieren. Ideal wären Mischungen, deren Geldrückflüsse systematisch in verschiedene Richtungen vom erwarteten Wert abweichen. Solche systematischen Effekte können wir erwarten, wenn wir z. B. einerseits in Regenschirmaktien und andererseits in Sonnencremeaktien investieren würden. Durch Mischung beider Aktien erzielen wir kontinuierlich eine durchschnittliche Rendite, die sehr sicher ist, weil die Rendite-Streuungen beider Aktien sich gegenseitig kompensieren. Solche Streuungskompensationen treten auch bei nicht oder nur schwach korrelierten Geldrückflüssen auf und werden als „Diversifikationseffekte“ bezeichnet. Je weniger stark bzw. je negativer die Korrelation der Geldflüsse von Mischanlagen ist, um so stärker fallen die Streuungskompensationen aus, um so stärker ist damit auch die Risikominderung. Eine Analyse der Korrelationen der Deckungsbeiträge der einzelnen Bestandestypen macht deutlich, dass lediglich die Geldrückflüsse aus den hiebsreifen Bestandestypen sehr stark positiv korrelieren (vgl. Tab. 3, Korrelationskoeffizient 0,99).

Tab. 3: Korrelationen der Deckungsbeiträge der Bestandestypen.

	Laubholz (Baumholz)	Nadelholz (Baumholz)	Nadelholz (Überführung)	Nadelholz (hiebsreif)	Nadelholz (teilw. senil)
Laubholz (Dickung)	0,09	-0,03	-0,09	-0,21	-0,20
Laubholz (Baumholz)		-0,04	-0,13	-0,28	-0,28
Nadelholz (Baumholz)			0,05	0,12	0,12
Nadelholz (Überführung)				0,40	0,40
Nadelholz (hiebsreif)					0,99

Eine Mischung allein der Typen „hiebsreifes Nadelholz“ und „teilweise seniles Nadelholz“ lässt folglich keine Streuungskompensation erwarten. Die Geldrückflüsse aus den Laub- und Nadelholzbeständen (in Tab. 3 grau) weisen dagegen sogar negative Korrelationen auf. Die Beimischung von Laubholz lässt folglich deutliche Diversifikationseffekte erwarten und führt zu einer merkbareren Risikominderung. Im Rahmen einer nachhaltigen, möglichst risikoarmen Waldwirtschaft bildet somit die Beimischung von Laubholzbeständen oder der Umbau in Mischbestände eine das betriebliche Risiko mindernde Komponente.

### 3.2 Risikominderung durch zeitliche Diversifikation des Holzeinschlags

Basierend auf der Zielfunktion soll zunächst beleuchtet werden, wie sich die Einbeziehung des Risikos in die Optimierung und die Einstellung des Entscheidungsträgers zum Risiko auf die zeitliche Verteilung des Holzanfalles auswirken (Abb. 1).

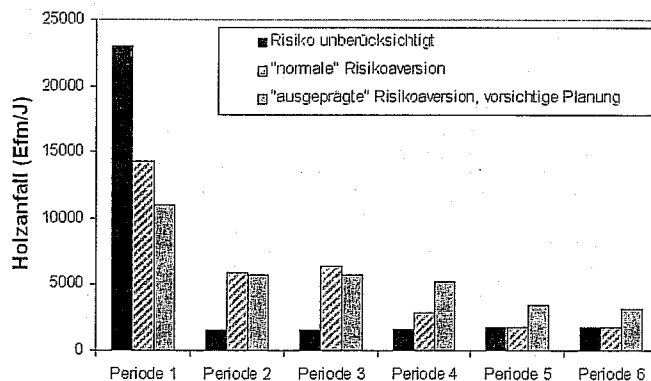


Abb. 1: Zeitliche Verteilung des Holzanfalles bei unterschiedlicher Einstellung des Entscheidungsträgers zum Risiko.

Fig. 1: Temporal distribution of the incurring timber according to different attitudes of the decision maker against risk.

Hierzu wurde die Optimierung zunächst ohne Berücksichtigung der unter Abschnitt 2.3 dargelegten Restriktionen durchgeführt.

Im Rahmen der Forstbetriebsplanung im Universitätswald wurde mit einem Zinssatz von 3 % operiert (z. B. BUONGIORNO et al. 2000, TARP et al. 2000). Aufgrund dieser verhältnismäßig hohen Zinsforderung kommt es bei der folgenden Betrachtung gleich zu Beginn der Planung zu einem extrem hohen Holzeinschlag, allerdings nur, wenn das Risiko ignoriert wird. In den späteren Perioden fällt dann lediglich Holz aus den Vornutzungsbeständen an, da Althölzer nicht mehr existieren. Abgesehen von dem Risiko, das ein solche Planung vor dem Hintergrund der Holzpreisunsicherheit birgt, wären hier erhebliche negative ökologische (Nitratkontamination des Grundwassers) und soziale Konsequenzen zu befürchten (Personalauslastung). Wird Risiko in die Planung integriert, so wird diese erheblich realitätsnäher, und es kommt zu einem tendenziell gleichmäßigeren Holzanfall. Durch dessen Verteilung auf mehrere Perioden wird das Risiko niedriger Holzpreise auf viele Zeitpunkte verteilt, so dass es zu einer Risikokompensation kommt. Eine ausgeprägt Risiko meidende Planung führt zwar auch zu diskontinuierlichen

Holzanfällen, die Unterschiede der Holzanfälle zwischen den Perioden sind aber bei weitem nicht so groß (Abb. 1). Wenn eine Risiko mindernde Planung zu einem gleichmäßigeren Holzanfall führt, können wir umgekehrt darauf schließen, dass ein kontinuierlicher Holzeinschlag durch zeitliche Diversifikation zu einer Risikominderung führen wird. Durch die Berücksichtigung des Risikos bei einer vorsichtigen Planung kommt es aber nicht automatisch zu einer Erfüllung der unter Abschnitt 2.3 formulierten Ansprüche. So liegt bei der Variante „normale“ Risikoaversion der Holzeinschlag ab Periode 4 deutlich unterhalb der geforderten 3.000 Efm/a und alle Altholzschirme sind geräumt. Die Forderung nach kahlschlagsfreier Wirtschaft ist damit verletzt. Zudem lassen sich die Personalausgaben in den Perioden 5 und 6 nicht mehr decken: Eine nachhaltige Planung kommt ohne zusätzliche betriebliche Restriktionen nicht aus.

### 3.3 Konsequenzen der betrieblichen Restriktionen

Die Ergebnisse der nichtlinearen Optimierung für den Universitätswald sind in Form einer Übersicht in der Tabelle 4 enthalten.

Ein tatsächlicher Optimierungsspielraum bestand lediglich in den hiebsreifen Nadelholzbeständen. In den Vornutzungsbeständen und der Überführung ist ein Eingriff dagegen alle 5 Jahre vorgegeben, mithin kann keine zeitliche Optimierung stattfinden. Die Flächen innerhalb der zuletzt genannten Bestände nehmen im Laufe der Zeit etwas ab, weil durch Katastrophen neue Bestände entstehen. Tabelle 4 spiegelt eine Flächenplanung wider, die keine der genannten Restriktionen verletzt und – in diesem Rahmen – den wirtschaftlichen Vorteil maximiert.

Wie stark können ausgewählte Restriktionen rein rechnerisch den wirtschaftlichen Vorteil mindern? Dazu wurde jeweils die betreffende Restriktion im Rahmen der Optimierung fallengelassen. Anhand der Differenz der Zielfunktionen (Optimierung ohne/mit Restriktion) ließ sich dann der wirtschaftliche Nachteil durch das Festhalten an der Restriktion quantifizieren. Im Kontext mit dem gesamten System an Restriktionen verursachte lediglich ein Fallenlassen der Forderung nach kahlschlagfreier Wirtschaft bzw. die Aufgabe der Forderung eines Mindestvorrates in Höhe von 320 Efm/ha eine Verbesserung der Zielfunktion.

Das Zulassen von Räumungen führte zu einer Erhöhung des Wohlstandes nach 30 Jahren um 250 €/ha, also 0,7 % des Wohlstands unter Einhaltung der Restriktion. Die Zunahme

des Wohlstand um 250 €/ha durch Aufgabe der kahlschlagfreien Waldwirtschaft kann umgerechnet werden in eine jährlich äquivalente Rate (Annuität) in Höhe von rund 3 €/ha. Eine jährlich gleichbleibende Zahlung in Höhe von 3 €/ha würde also den rechnerischen Nachteil kompensieren, den der Forstbetrieb durch Verzicht auf flächige Räumungen in Kauf nimmt.

In einer ähnlichen Größenordnung verbesserte sich die Zielfunktion, wenn die Forderung eines Mindestvorrates in Höhe von 320 Efm/ha fallengelassen wurde. Hierdurch nahm der Wohlstand nach 30 Jahren um 404 €/ha zu (Verbesserung um 1,4 %). Zur Kompensation des Haltens eines Mindestvorrates von 320 Efm/ha wäre eine jährliche Zuzahlung in Höhe von rund 5 €/ha notwendig. Dieser Nachteil wird aber bereits durch die vorratsbedingt bessere Möglichkeit, flexibler auf den Holzmarkt reagieren zu können, kompensiert.

### 4 Diskussion und Empfehlung

Während sich die Entwicklung der Forsteinrichtung im deutschsprachigen Raum in der Vergangenheit stark auf die Zustandserfassung und Zuwachsprognose konzentrierte (z. B. FUCHS 1993, REIMEIER 2001, BAUER 2001), wurden die gestalterischen Aspekte der Planung und der Erfolgskontrolle vernachlässigt. Studien, die auf die Weiterentwicklung der Planung in der Forsteinrichtung fokussieren, sind relativ rar. DURSKY (2000) befasste sich am Beispiel des Stadtwaldes Traunstein mit dem Einsatz des Wachstumsmodells SILVA für die Forsteinrichtung. Er verwendete „Weiserbestände“, die für bestimmte Straten repräsentativ sind, und rechnete die Resultate von deren Wachstumssimulation auf die Betriebsebene hoch. Mit Blick auf die eingangs formulierten Fragestellungen wird hier ein weitergehender Vorschlag zur Sicherung einer umfassenden Nachhaltigkeit im Rahmen der Forstbetriebsplanung gemacht:

Die Basis bildet eine solide Inventur. Ist diese als Betriebsinventur gehalten, sollten großflächige Bestandestypen ausgediebt werden, die ausreichend präzise mit Stichprobendaten beschrieben werden können. Auf diesen Bestandestypen setzt eine Wachstumsprognose mit Hilfe eines Wachstumsmodells auf, die Vorratsentwicklungen und Holzanfälle liefert (s. DURSKY 2000). Risiko wird nachträglich mit Hilfe von Monte-Carlo-Simulationen in die Prognose auf der Ebene der Bestandestypen eingeführt (z. B. KNOKE et al. 2001, KNOKE u. PETER 2002, KNOKE 2004b). Durch die Simulation der wichtigsten Risiken entstehen Streuungen der Geldflüsse, die genutzt werden können, um Risikokosten aus dem Blickwinkel eines risikoaversen Entscheidungsträgers abzuschätzen und innerhalb einer zu maximierenden Zielfunktion zu berücksichtigen. Bis hierher basiert das Vorgehen auf rein ökonomischen Überlegungen. Darüber hinaus werden im Rahmen einer mit Standardsoftware (EXCEL-Solver) durchführbaren nichtlinearen Optimierung ökologische und soziale Ansprüche in Form von Restriktionen in die Planung eingebracht. Diese Restriktionen bilden neben der Integration von Risiko in die Zielfunktion die zweite wichtige Komponente, um das dem Nachhaltigkeitsgedanken innewohnende Prinzip der Vorsicht umzusetzen. Indem kalkulatorische Kosten der Ansprüche abgeleitet werden, gewinnt die Planung gleichzeitig an Transparenz. Die dargestellte Planungskonzeption wurde bereits für

Tab. 4: Flächenplan des Universitätswaldes (zu bearbeitende Flächen der jew. Periode, ideale Einreihungsflächen für hiebsreife Bestände grau hinterlegt) in ha.

Alter (J)	Bestandes-typ	waldbauliche Aktivität	Periode					
			1	2	3	4	5	6
0	Neu entstandene Bestände	Pflege	0	44	88	101	133	144
20	Laubholz (Dickung)	Pflege	67	67	67	67	67	67
70	Laubholz (Baumholz)	Hochdurchforstung	55	54	54	53	53	52
45	Nadelholz (Baumholz)	Hochdurchforstung	74	73	72	71	69	68
55	Nadelholz (Überführung)	Langfrist-Verjüngung	49	48	47	46	45	44
85	Nadelholz (hiebsreif)	Auszug hiebsreifer Stämme	29	0	6	24	4	23
125	Nadelholz (teilw. senil)	Kleinflächige Räumung	5	35	0	0	0	0
Durch Katastrophen entstandene Flächen			10	10	7	8	7	7
Holzanfall (Efm/5 a)			35.000	32.087	15.000	30.508	15.000	33.027
Deckungsbeitrag (1000 €/5 a)			965	992	387	1.154	429	1.343
Standardabweichung DB (± 1000 €)			323	304	152	344	190	404

einen virtuellen Forstbetrieb (KNOKE u. MOOG 2004) und für einen Realbetrieb (KNOKE u. WEBER 2004) umgesetzt und scheint praktikabel. Selbstverständlich kann auch durch den vorliegenden Beitrag die große Unsicherheit zukünftiger Entwicklungen nicht beseitigt werden. Dennoch macht eine solche Planung den Planungsprozess und etwaige Konsequenzen verschiedener Waldentwicklungen transparent und unterstützt damit die Sicherung der Nachhaltigkeit.

### Abstract

A comprehensive concept of sustainable development is supposed to be not only economically efficient. Economic efficiency is restricted by a framework of ecological as well as social constraints. The principle of caution in forest planning forms the heart of a modern sustainability concept. The risk of forest management must therefore be integrated in economic optimisation. Moreover, the planning concept should be able to consider ecological and social demands. To fulfil this requirements we propose to derive an operational objective function from the utility function of a risk-averse decision-maker. Doing so, risky forest developments will automatically be assessed negatively proportional to their risks. Ecological and social demands are considered by constraints formulated by the management or experts. The planning problem can be solved based on standard software (EXCEL-Solver) using the non-linear programming facilities of this tool. It is recommended to use the approach proposed in order to demonstrate how the concept of sustainability is addressed in forest management planning.

### Literatur

- BAADER, G. (1945): Forsteinrichtung als nachhaltige Betriebsführung und Betriebsplanung. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a.M.
- BARRETT, T. M., GILLESS, J. K., DAVIS, L. S. (1998): Economic and Fragmentation Effects of Clearcut Restrictions. *Forest Science*, 44, 569-577.
- BAUER, A. (2001): Möglichkeiten zur Extensivierung der Forsteinrichtung im Hochgebirge durch Einsatz moderner Techniken der Luftbildauswertung. *Forstliche Forschungsberichte München*, Nr. 182.
- BUONGIORNO, J., KOLBE, A., VASIEVICH, M. (2000): Economic and ecological effects of diameter-limit and BDq management: simulation results for northern hardwoods. *Silva Fennica*, 34, 223-235.
- DURSKY, J. (2000): Einsatz von Waldwachstumssimulatoren für Bestand, Betrieb und Großregion. Habilitationsschrift vorgelegt an der Forstwissenschaftlichen Fakultät der TU München.
- EID, T., HOEN, H.F., ØKSETER, P. (2002): Timber production of the Norwegian forest area and measures for a sustainable forestry. *Forest Policy and Economics*, 4, 187-200.
- ENDRES, A., QUERNER, I. (2000): Ökonomie natürlicher Ressourcen. 2. überarb. Auflage, Kohlhammer.
- FUCHS, A. (1993): Wiederholungsaufnahme und Auswertung einer permanenten Betriebsinventur im Bayerischen Forstamt Ebrach. *Forstliche Forschungsberichte München*, Nr. 131.
- FYLSTRA, D., LASDON, L., WATSON, J., WAREN, A. (1998): Design and Use of the Microsoft Excel Solver. *Institute for Operations Research and the Management Science. Interfaces*, 28, 29-55.
- HOF, J.G., ROBINSON, K.S., BETTERS, D.R. (1988): Optimization with Expected Values of Random Yield Coefficients in Renewable Resource Linear Programs. *Forest Science*, 34, 634-646.
- HOGANSON, H.M., ROSE, D.W. (1987): A Model For Recognizing Forestwide Risk in Timber Management Scheduling. *Forest Science*, 33, 268-282.
- JOHNSON, K. N., SCHEURMAN, H. L. (1977): Techniques for Prescribing Optimal Timber Harvest and Investment Under Different Objectives - Discussion and Synthesis. *Forest Science Monograph*, 18.
- JUDEICH, F. (1871): Die Forsteinrichtung. Schönfeld's Verlagsbuchhandlung, Dresden.
- KAHN, M., PRETZSCH, H. (1997): Das Wachstumsmodell SILVA - Parameterisierung der Version 2.1 für Rein- und Mischbestände aus Fichte und Buche. *Allg. Forst- u. J. Ztg.*, 168, 115-123.
- KÖNIG, A. (1995): Sturmgefährdung von Beständen im Altersklassenwald: Ein Erklärungs- und Prognosemodell. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a.M.
- KOUBA, J. (2002): Das Leben des Waldes und seine Lebensunsicherheit. *Forstwissen. Centralblatt*, 121, 211-228.
- KNOKE, T., MOOG, M., PLUSCZYK, N. (2001): On the effect of volatile stumpage prices on the economic attractiveness of a silvicultural transformation strategy. *Forest Policy and Economics*, 2, 229-240.
- KNOKE, T., PETER, R. (2002): Zum optimalen Zieldurchmesser bei fluktuierendem Holzpreis - eine Studie am Beispiel von Kiefern-Überhältern (*Pinus sylvestris* L.). *Allg. Forst- u. J. Ztg.*, 173, 21-28.
- KNOKE, T. (2004a): Zur Optimierung des Holzvorrates im Stiftungswald der Ludwig-Maximilians-Universität München. In: Brang (Hrsg.): Biologische Rationalisierung im Waldbau. Tagungsband Sektion Waldbau 2003. Eidg. Forschungsanstalt WSL Birmensdorf, 78-92.

- KNOKE, T. (2004b): Die Begründung von Mischbeständen: Eine Möglichkeit zur Minderung von Risiko? Kongressbericht des Deutschen Forstvereins zur Tagung 2003 in Mainz, 344-355.
- KNOKE, T., MOOG, M. (2004): Timber harvesting versus forest reserves - producer prices of open-use areas in German beech forests (*Fagus sylvatica* L.). *Ecological Economics*, im Druck.
- KNOKE, T., WEBER, M. (2004): Expanding Carbon Stocks in Existing Forests - A Methodological Approach for Appraisal on the Enterprise level. Eingereicht bei Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change (Kluwer).
- KNOKE, T., STIMM, B., AMMER, C., MOOG, M. (2004): Mixed forests reconsidered: A forest economics contribution to the discussion on natural diversity. Eingereicht bei *Forest Ecology and Management*.
- KURTH, H. (1994): Forsteinrichtung: Nachhaltige Regelung des Waldes. Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin.
- MÖHRING, B. (1986): Dynamische Betriebsklassensimulation - Ein Hilfsmittel für die Waldschadensbewertung und Entscheidungsfindung im Forstbetrieb. *Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme-Waldsterben der Universität Göttingen*, Band 20.
- MOSANDL, R. (1993): Der ökologische Waldbau. *Der Wald*, 43, 400-405.
- OLSSON, L., LOHMANDER, P. (2004): Optimal forest transportation with respect to road investments. *Forest Policy and Economics*. In press, www.sciencedirect.com.
- REIMEIER, S. (2001): Analyse der Zuwachsveränderungen von Waldbeständen und Möglichkeiten der Prognose aus Daten der permanenten Stichprobeninventuren. *Forstliche Forschungsberichte München*, Nr. 183.
- RIDEOUT, D. B., HESSELN, H. F. (Eds.) (2001): Principles of forest and environmental economics. Second Edition. Fort Collins: Resource and Environmental Management, LLC.
- RAT FÜR NACHHALTIGE ENTWICKLUNG (2004): Empfehlungen des Rates für Nachhaltige Entwicklung an die Bundesregierung zum Thema: „Waldbau als Modell für nachhaltige Entwicklung: ein neuer Schwerpunkt für die nationale Nachhaltigkeitsstrategie“.
- SPREMANN, K. (1996): Wirtschaft, Investition und Finanzierung. 5., ergänzte u. aktualisierte Auflage. Oldenbourg, München und Wien.
- TARP, P., HELLES, F., HOLTEN-ANDERSEN, P., BO LARSEN, J., STRANGE, N. (2000): Modelling near-natural silvicultural regimes for beech - an economic sensitivity analysis. *For. Ecol. Manage.* 130, 187-198.
- WBGU Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (2003): Welt im Wandel: Energiewandel zur Nachhaltigkeit. Zusammenfassung für Entscheidungsträger. ISBN 3-936191-01-8.
- UNFCCC (2002): The Marrakesh Accords & The Marrakesh Declaration.

FDK: 611

Privatdozent Dr. THOMAS KNOKE ist kommissarischer Leiter des Fachgebiets für Waldinventur und Forstbetriebsplanung, Prof. Dr. Reinhard Mosandl ist Inhaber des Lehrstuhls für Waldbau der TU München.

Anschrift der Autoren:

Lehrstuhl für Waldbau, Am Hochanger 13, 85354 Freising  
E-Mail: knoke@forst.tu-muenchen.de



**Transportprobleme mit Ihrer Forstmaschine?**

**Wir haben die Lösung!!!**

**Ebert-SPEZIALTIEFLADER**  
zum Forstmaschinentransport - luftgefedert -

**Unser Angebot für Ihr Transportproblem:**

- Spezialanhänger mit 2 Achsen, ca. 15-16 t Nutzlast, Tiefbettlänge 6.750 mm
- Spezialanhänger mit 3 Achsen (Nachlaufenkung), ca. 18-24 t Nutzlast
- Spezialauflieger mit 2 hydraulisch gelenkten Achsen, über 25 t Nutzlast
- Spezial LKW-Forstmaschinen-Transporter, 3-Achser mit 15-16 t Nutzlast
- Spezialzugmaschinen, Steuerfrei mit Ballastpritsche und 24-30 t Anhängelast

**FABRIKNEU oder gebraucht PREISWERT!!!**

TOP-Leasing-Angebote bis 60 Monate! Finanzierung - Mietkauf!  
Ständig gebrauchte Zugmaschinen und Sattelzugmaschinen auf Lager!

**Tel.-Nr.: (0 66 52) 96 66-0 Fax-Nr.: (0 66 52) 96 66-99**  
**E-Mail: info@ebert-online.de Internet: www.ebert-online.de**

