Ertragskundliche Leistung in den Plenterwald-Versuchsflächen der Schweiz

Andreas Zingg

Fritz Frutig

Anton Bürgi

Renato Lemm

Vinzenz Erni

Hansheinrich Bachofen

Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)*

Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)

Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)

Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)

Amt für Raumentwicklung, 6430 Schwyz (CH)

Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)

Yield performance in the plenter forest research plots in Switzerland

22 plenter forest research plots, some of which are under long-term observation, allow the assessment of the performance of these stands and to a certain extent these performances can also be compared with the performances of other management systems. The performance descriptions presented here are in a broad sense of the term growth and yield: the pure growth parameters for four selected areas are complemented by a modelling of the economic results by determination of the timber harvesting costs and the revenues. Young forest surveys were also made in four areas and thus allow us a glimpse into the future development. Most of the areas presented here lie in the silver fir - beech belt, some in the upper montane and in the subalpine zone and only one in a stand rich of broad-leaved trees. An equilibrium model can be calculated for most of these stands. The high altitude areas, two stands with high volume retention and conversion stands were exceptions. These areas showed high fluctuations in the growing stock. In contrast the increment remains the same over a large range of the growing stock. Utilization and increment are on the average in a similar magnitude. Standing volume and heavy timber proportions are lower in higher altitudes due to site conditions. The modelled revenues after deducting harvesting costs can be partly correlated with the diameter of the mean basal area tree of the harvested logs. Based on the stem number distribution from the one year old plant to the thickest tree, the sustainability of the forest effects – timber extraction or protection – for four areas is assured in the future. It can be shown with this data that the big advantage of selection forests lays in the regularity of these performances and this also on small areas.

Keywords: plenter forest, plentering, selection forest, productivity, long-term research plots

doi: 10.3188/szf.2009.0162

*Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf, E-Mail andreas.zingg@wsl.ch

Die Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) betreibt seit 1905 Versuchsflächen im Plenterwald, zunächst vor allem im Gebiet des Tannen-Buchen-Waldes im Emmental und im Jura, in Gebieten, wo die Plenterung eine klassische Betriebsart ist, dann aber auch in den höheren Lagen des Tannen-Fichten-Waldes bis an die Grenze des subalpinen Fichtenwaldes und sogar in einem Fichten-Lärchen-Arven-Wald (Tabelle 1). Seit den 90er-Jahren des letzten Jahrhunderts wurden durch die Ertragskunde der WSL, ange-regt durch Forschungsarbeiten aus der ganzen Welt, weitere Plenterwald-Versuchsflächen angelegt, dies um den Plenterwald aus der «Umklammerung» des Tannen-Buchen-Waldes zu befreien. Die Hypothese, die diesen Forschungsarbeiten zugrunde liegt, sagt, dass im Prinzip mit jeder Baumart und mit jeder Baumartenmischung geplentert werden kann. Bestimmend im Plenterwald ist die Steuerung des Lichts. Da die Baumartenunterschiedlichlichtbedürftigbeziehungs-

weise schattenertragend sind, ist es eine Frage der Grundfläche respektive des stehenden Vorrates,

1. ob die gewünschte nachhaltige Verjüngung – und um diese geht es letztlich – erreicht werden kann, und
2. ob bei diesen Grundflächen beziehungsweise Vorräten keine wirtschaftlichen Verluste, d.h. Zuwachsverluste entstehen.

Um diesen Fragen nachzugehen, wurden die neuen Versuchsflächen in Beständen mit hohem Laubholzanteil in den tieferen Lagen des schweizerischen Mittellandes, in einem reinen Buchenbestand im Jura und in der oberen montanen und in der subalpinen Stufe in Fichtenwäldern angelegt.

Zu Klärung der Terminologie

Der Begriff «Plenterwald» ist etymologisch nicht geklärt und wird im allgemeinen mit nadel-

holzreichen Mischwäldern der montanen Stufe mit stufigen Strukturen assoziiert, in denen die Nutzung einzelstamm- oder gruppenweise ohne Räumung und ohne räumliche und zeitliche Ordnung erfolgt (Schütz 1994).

Der Begriff «Dauerwald» wurde von Möller (1921, 1922) für die zwei- bis mehrschichtigen Bestände in Bärenthoren (Norddeutschland) verwendet, bei denen es sich nach Assmann (1961) um «einen zweihiebigen Kiefernhochwaldbetrieb mit (natürlicher) Schirmschlagverjüngung» handelt. Möllers hauptsächliches Anliegen war die Pflege des «Waldwesens», zum Beispiel durch Vermeidung von Kahlschlägen. Seit dem Ende des letzten Jahrhunderts wurde der Begriff von Vertretern des naturnahen Waldbaus in Deutschland und in der Schweiz für die «Plenterung» in Wäldern ausserhalb des klassischen Plenterwaldgebietes mit Tanne, Fichte und Buche verwendet, wobei sie die waldbauliche Tätigkeit im Dauerwald ausdrücklich als Plenterung bezeichnen (Stocker 2008). Allerdings bezeichnen die Waldeigentümer und Praktiker Thüringens ihre ungleichförmigen Laubholzwälder selbst als «Plenterwälder» (Fritzlar & Biehl 2006).

Garfitt (1995) verwendet den Begriff «continuous cover forestry», der dem deutschen Ausdruck «Dauerwald» am nächsten kommt, für eigentliche Plenterwälder (selection forests), aber auch für andere Betriebsarten wie Mittelwald, Schirmschlag, schweizerischer Femelschlag, alles Betriebsarten, bei denen es eigentlich keine Freiflächen geben sollte, die aber im Unterschied zum Plenter- beziehungsweise Dauerwald nach räumlichen und zeitlichen Ordnungen und flächenweise angewendet werden.

Gemeinsame Merkmale des Plenterwaldes und des Dauerwaldes nach aktueller Lesart sind die einzelstammweise oder gruppenweise Nutzung, das Arbeiten mit Naturverjüngung und das Vermeiden von Räumungen. Die vertikale Struktur dagegen ist abhängig von der Wuchsdynamik der beteiligten Baumarten und ist damit kein sicheres Merkmal von Plenter- beziehungsweise Dauerwäldern (Zingg 2003). Da sich der «klassische Plenterwald» und der «Dauerwald im Sinne des naturnahen Waldbaus» in den entscheidenden Merkmalen, mit denen sie sich von anderen Betriebsarten abheben, nicht unterscheiden, verwenden wir in diesem Artikel konsequent den Begriff Plenterwald.

Welche Leistung kann der Plenterwald erbringen?

Zunächst ist die Holzproduktion von Bedeutung. In diesem Zusammenhang wurde immer wieder die Frage aufgeworfen, ob der Plenterwald dem Altersklassenwald oder gleichförmigen Betriebs-

arten, wie zum Beispiel dem schweizerischen Femelschlag, leistungsmässig ebenbürtig sei. So vertrat beispielsweise Assmann (1961) aufgrund seiner Untersuchungen die Meinung, dass der kleinere Zuwachs des Plenterwaldes im Vergleich zum Altersklassenwald durch das geringere Risiko gegen Naturgefahren aufgewogen werde. Untersuchungen an vergleichbaren Standorten und mit vergleichbaren Daten, die für den Altersklassenwald für einen echten Vergleich wohl mehr als eine Generation abdecken müssten, fehlen aber. Die sogenannten Vergleichsflächen, die parallel zu einzelnen Plenterwald-Versuchsflächen der WSL angelegt wurden, lassen auch aus diesem Grund keine brauchbaren Schlüsse zu. Die Beantwortung dieser Frage ist wohl nur mit einer geeigneten Modellierung möglich. Allerdings fehlen Waldwachstumsmodelle noch, die sowohl gleichförmige als auch plenterartige Bestände überzeugend und vergleichbar modellieren können. Die Bewertung der Wachstumsleistung des Plenterwaldes im Vergleich mit anderen Betriebsarten muss deshalb noch pragmatisch erfolgen.

Plenterwälder, die sich in einem «Gleichgewicht» befinden, entsprechen der Forderung nach Nachhaltigkeit sehr gut. Für eine wirksame und effiziente Kontrolle der nachhaltigen Bewirtschaftung sind aber gute Daten über Durchmesser- und Stärkeklassenverteilung sowie Vorrat und Zuwachs notwendig. Plenterwälder sind in vielen Fällen gute Beispiele für multifunktionale Forstwirtschaft. So haben sie in entsprechenden Lagen häufig auch Schutzfunktionen zu erbringen, die nicht notwendigerweise im Widerspruch zur Produktionsfunktion stehen. Plenterwälder können geeignete Erholungswälder sein, können landschaftsästhetische Bedeutung haben, können Trinkwasserschutzwälder sein und können als Habitate (Biodiversität) dienen, indem sie entsprechend bewirtschaftet werden.

In diesem Artikel konzentrieren wir uns auf die Aspekte der Holzproduktion und der Nachhaltigkeit im Hinblick auf mögliche Schutzansprüche, und möchten dabei insbesondere folgende Fragen beantworten:

- Blieben die ertragskundlichen Messgrössen mehr oder weniger konstant?
- Funktioniert die Verjüngung, blieb der Einwuchs konstant?
- Blieben Erntemengen und die geernteten Sortimente ungefähr konstant?
- Wirkte sich die Preis-Kosten-Schere in der Forstwirtschaft negativ auf die finanziellen Erträge aus?

Aus Platzgründen kann in diesem Beitrag zum Teil nur summarisch auf diese Fragen eingegangen werden. Wir verweisen deshalb auf die vorhandene Literatur, die unter anderem in Schütz (2001) aufgeführt ist.

Material und Methoden

Beschreibung der Versuchsflächen und ertragskundliche Beurteilung

Wir haben für diese Studie 22 Versuchsflächen mit total 257 Inventuren ausgewählt (Tabelle 1). Dazu gehören alle langfristigen, seit 1905 angelegten Plenterwald-Versuchsflächen, die seit 1998 neu angelegten Versuchsflächen mit mindestens drei Aufnahmen und drei der vier von der früheren Professur für Waldbau der ETH übernommenen Versuchsflächen in Überführung im Gebiet Höhrnen (Oberägeri). Auf weiteren Versuchsflächen mit ho-

hem Laubholzanteil oder im subalpinen Bereich liegen bisher nur eine bis zwei Messungen vor, weshalb sie für die vorliegende Untersuchung nicht berücksichtigt wurden. Insgesamt verfügt die WSL über Daten von 68 Plenterwald-Versuchsflächen mit total 446 Inventuren.

Zur Charakterisierung der Leistung verwendeten wir die Mittel-, Minimal- und Maximalwerte über die ganzen, zum Teil unterschiedlich langen Beobachtungsperioden der folgenden Kenngrössen:

- den periodischen Zuwachs I_{V7} in $m^3/ha \times J$ und den Zuwachs in Prozent des verbleibenden Bestandes zu Beginn einer Messperiode,

Fläche Nr.	Ort	Verwendung	Flächengrösse (ha)	Erste Aufnahme (Jahr)	Anzahl Aufnahmen	Letzte Aufnahme (Jahr)	Höhe über Meer (m)	Exposition	Relief	Bonität Fichte	Grundflächenanteile (%)						
											Fichte	Tanne	Lärche	Arve	Übriges Nadelholz	Buche	Übriges Laubholz
01-033	St. Moritz GR, Gian d'Alva	A	1.0	1921	10	1999	1810	N	Hang	9	59		17	25			
01-034	St. Moritz GR, Gian d'Alva	A	1.0	1921	10	1999	1810	N	Hang	9	49		24	27			
21-293.002	Sigriswil BE, Habrichtswald		0.5	1925	10	1997	1405	W	Hang	13	100						0
21-293.001	Sigriswil BE, Habrichtswald		1.5	1925	10	1997	1370	W	Hang	13	100	0					0
21-294	Le Chenit VD, La Rolaz	AB	2.0	1925	10	2004	1340	W	Hang	12	87	7				3	3
01-041	Rougemont VD, Les Arses		1.5	1928	13	2003	1294	NE	Hang	18	57	42				0	1
01-042	Rougemont VD, Guffre		2.0	1928	13	2003	1185	N	Hang	18	61	38				0	1
02-047	Röthenbach BE, Schallenberg-Rauchgrat	B	2.5	1931	12	2003	1060	S	Hang	19	9	75				17	0
02-035	Buttes NE, Bois du Pays		2.0	1913	15	2006	983	NW	Hang	22	33	54				13	0
01-049	Oberägeri ZG, Gutschwald, Ängi		0.7	1983	4	2007	950	SW	Hang	17	66	26			2	5	0
01-051	Oberägeri ZG, Gutschwald, Höhrnen		1.0	1983	5	2005	950	SW	Hang	17	72	25			1	3	0
01-015.001	Niederhünigen BE, Ob. Moosmatten	AB	1.8	1905	18	2005	947	W	Hang	22	22	74				4	
01-015.002	Niederhünigen BE, Ob. Moosmatten	AB	1.2	1905	18	2005	931	NW	Mulde	22	32	66				3	
01-046	Oberlangenegg BE, Unter Hubel		2.0	1931	13	2004	930	W	Hang	19	32	67				1	0
01-028	Bowil BE, Scharweg, Wildenei		1.2	1912	16	2004	920	NW	Hang	22	18	70				11	0
01-031	Landiswil BE, Biglenwald	C	1.3	1918	15	2005	920	W	Hang	20	57	41				2	0
01-052	Oberägeri ZG, Gutschwald, Vogelsang		0.8	1984	5	2008	920	W	Hang	18	66	30			1	2	1
01-030.001	Lauperswil BE, Dürsrüti		1.1	1914	12	2004	910	N	Hang	22	10	84				6	1
01-030.002	Lauperswil BE, Dürsrüti		1.8	1914	12	2004	888	N	Hang	22	16	78				5	0
01-027	Bowil BE, Badwald, Wildenei		2.0	1912	16	2004	861	NW	Hang	22	30	65			0	5	0
01-019	Oppligen BE, Hasliwald		2.0	1908	17	1999	575	–	Ebene	24	23	75				2	0
02-048	Basadingen TG, Vorhegi	AB	1.7	1998	3	2008	445	–	Ebene	26	36		3		2	16	42

Tab 1 Charakterisierung der verwendeten Versuchsflächen. Bonität Fichte (h_{domso}) nach Keller (1978). Verwendung: A) Versuchsflächen, für die Holzerntekosten und Erlöse ermittelt wurden, B) Flächen, für die Erhebungen über die Verjüngung vorliegen, C) Vergleich Plenterwald – gleichförmiger Wald mit Versuchsfläche 21-290.

- die periodische Nutzung E_{V7} in $\text{m}^3/\text{ha} \times \text{J}$ und die Eingriffsstärke als Nutzung in Prozent des Vorrates vor dem Eingriff,
- den durchschnittlichen Gesamtwuchs dGz_{V70-t} in $\text{m}^3/\text{ha} \times \text{J}$, berechnet für die Zeit seit Versuchsbeginn, dessen Mittelwerte gegenüber dem periodischen Zuwachs nur wenig differieren,
- die Starkholzanteile (Volumenanteile der Bäume mit einem Brusthöhendurchmesser [BHD] ≥ 52 cm) sowohl des verbleibenden Bestandes als auch der Nutzung.

Daraus abgeleitet ist das Verhältnis «Nutzung pro Hektar und Jahr» zu «Zuwachs pro Hektar und Jahr». Damit kann die Nachhaltigkeit der Eingriffe beziehungsweise der Nutzung kontrolliert werden.

Das Prinzip der Plenterung wie auch das Plentergleichgewicht und seine Spannweite sind weitgehend untersucht (Prodan 1949, Schütz 2001, 2002). Die Durchmesserverteilungen der Bäume ≥ 8 cm BHD in bewirtschafteten, ungleichförmigen Beständen in einem Gleichgewichtszustand entsprechen in einer ersten Annäherung einer umgekehrt exponentiellen Verteilung (Leak 2002, Schütz 2001, de Liocourt 1898, Meyer 1952). Die Durchmesserverteilungskurve verläuft so, dass in jeder Durchmesserstufe die auswachsenden, genutzten und abgestorbenen Bäume kompensiert werden (Schütz 1975). Die Kurve hängt somit von zwei Faktoren ab: vom Durchmesserzuwachs, der die Berechnung des Ein- und Auswuchses jeder Stufe ermöglicht, und von den Nutzungen und der Mortalität (Schütz 2001). Für alle Flächen berechneten wir ein Gleichgewichtsmodell nach Schütz (1975, 2001) beziehungsweise die Abweichung vom Gleichgewicht durch den Vergleich der realen Durchmesserverteilung mit jener des modellierten Gleichgewichtszustandes, ausgedrückt als Varianz der Residuen (Zingg & Duc 1998).

Die Zusammenhänge zwischen Struktur und Leistung in der Holzproduktion darzustellen, ist im Rahmen dieser Arbeit nur beschränkt möglich. So untersuchten wir zum Beispiel den Zusammenhang zwischen dem verbleibenden Vorrat und dem Zuwachs mithilfe von linearen Regressionen (GLM) mit standardisierten Variablen. Das primäre Ziel dieser Darstellung ist aber die Dokumentation der Leistung von Plenterwäldern und weniger ihre ursächliche Erklärung.

Vergleich Plenterwald – gleichförmiger Bestand

Für den Vergleich der Leistung eines Plenterwaldes mit einem gleichförmigen Bestand haben wir für ein Flächenpaar (01-031, 21-290 beide Landiswil BE) versucht, die Entwicklung über die Messperiode hinaus zu modellieren, indem wir die weitere Entwicklung des Plenterwaldes durch die Wiederholung der bisherigen Entwicklung verlängerten (Abbildung 3). Für den gleichförmigen Vergleichsbestand nahmen wir eine Räumung in zwei Schritten von 12 und 10 Jahren an und schätzten die fehlende Ent-

wicklung des gleichförmigen Bestandes bis zum Alter 46 aufgrund der Ertragstafel für Fichte (Badoux 1983), wobei bis zu diesem Alter keine Eingriffe erfolgten. Anschliessend verlängerten wir die Entwicklung in gleicher Weise wie bei der Plenterfläche. Mögliche Standortveränderungen haben wir nicht berücksichtigt. Aufgrund dieser Entwicklung berechneten wir die Gesamtwuchsleistung seit Versuchsbeginn und die jährliche Nutzung über einen Zeitraum von 245 Jahren; davon sind die ersten 87 Jahre real gemessene Werte.

Holzerntekosten und Erlöse

Für vier ausgewählte Versuchsflächen in verschiedenen Höhenlagen (wobei die zwei Flächen in St. Moritz und in Niederhünigen jeweils zusammengefasst werden) schätzten wir die Holzerntekosten, die Sortimente, die sich daraus ergebenden Erlöse und daraus den holzerntekostenfreien Erlös.

Herleitung der Holzerntekosten

Für alle auf den vier Versuchsflächen erfolgten Holzerntemassnahmen wurde mit dem IT-gestützten Produktivitätsmodell «HeProMo»¹ eine Schätzung der Holzerntekosten basierend auf dem heutigen Kosteniveau vorgenommen. Dabei wurde von einem einheitlichen Arbeitsverfahren bei der Holzernte ausgegangen: Die Bäume werden motormanuell gefällt und aufgerüstet und anschliessend mit einem Forstschlepper in mittellanger Form an die Waldstrasse gerückt. Dieses Arbeitsverfahren ist für die Erschliessungs- und Geländebeziehungen sowie die heutigen Bestandesverhältnisse mit hohem Massenmittelstamm der Nutzung für alle vier Versuchsflächen praxisgerecht und entspricht etwa der von Pausch (2005) für solche Bestände als geeignet ausgewählten Methode.

Herleitung der Erlöse

Die Holzerlöse für die vier Versuchsflächen wurden mithilfe eines flexiblen Sortensimulators² berechnet. Für die Modellierung der Schaftform in Rinde wurde eine Schaftfunktion verwendet, welche durch die Schafthöhe, die Baumart und den Brusthöhendurchmesser definiert wird. Durch Abzug der Rindendicke, welche in verschiedenen Baumhöhen in Abhängigkeit der Baumart und der Höhe am Stamm modelliert wird, resultierte die Schaftform ohne Rinde (Lemm 1991).

Die Einteilung des Schaftes in handelsübliche Dimensionsklassen geschah nach den Schweizerischen Handelsgebräuchen für Rundholz (WVS et al

¹ Erni V et al (2003) HeProMo. Produktivitätsmodelle für Holz-erntearbeiten. Windows-Software. Birmensdorf: Eidgenöss. Forsch.anst Wald Schnee Landsch.

² Lemm R, Erni V (2009) Bessere Nutzungs- und Allokationsentscheide mit dem Sortimentssimulator SORSIM. In: Thees O, Lemm R. Management einer zukunftsfähigen Waldnutzung. Zürich, Vdf-Verlag, (in press).

2000). Dabei wurde das Nadelholz einerseits nach Durchmesserklassen (Mitten- und Zopfdurchmesser) und andererseits nach Längensklassen (Kurzholzsortierung) sortiert. Die Sortierung von Laubholz nach Dimension erfolgte analog zum Nadelholz ohne Einschränkungen des Zopfdurchmessers und nur mit einer Einschränkung im Längenbereich, welche lediglich eine Mindestlänge von 3.0 m vorschreibt. Die Aufteilung der Dimensionsklassen nach Qualitäten (A, B, C, D) basierte auf Erfahrungswerten. Als Längenzumass wurden 2%, aber mindestens 10 cm eingesetzt. Im vorliegenden Sortimentier wurden Schaftteile bis Mittendurchmesser 10 cm und Zopfdurchmesser 0 cm berücksichtigt. Alles, was in einem Stamm nicht rundholztauglich ist, wird dem Industrie- und Energieholz zugewiesen.

Die Ermittlung der Holzerlöse pro Schlag resultiert schliesslich aus der Multiplikation der Holz-mengen ohne Rinde je Dimensions- und Qualitäts-

klasse mit den entsprechenden für das Jahr 2008 (Aargauischer Waldwirtschaftsverband et al 2007) festgelegten Holzpreisen pro Kubikmeter.

Holzqualitäten und Preise

Die Einteilung in Qualitäten, abhängig von der Dimensionsklasse, erfolgte gutachtlich aufgrund von praktischen Erfahrungen. Im Folgenden sind die Einteilungen für die Fichte als Beispiel angefügt (Tabellen 2 und 3). Die Verrechnung dieser Eingangsgrössen ergibt die in Tabelle 4 dargestellten mittleren Erlöse pro Dimensionsklasse und Baumart. Mit diesen Erlösen werden die sortimentierten Nutzungsmengen multipliziert, um den Gesamtertrag zu bestimmen. Die Herleitung der Holzpreise der übrigen Baumarten erfolgt analog der Fichte und kann bei den Autoren angefordert werden.

Nachhaltigkeit und Verjüngung

Damit die Nachhaltigkeit der Leistungen auch in Zukunft gewährleistet ist, muss die Verjüngung gewährleistet sein (Bachofen 1999). Daten aus langjährig beobachteten Plenterwald-Versuchsflächen zeigen, dass die Bedingung «Einwuchs in eine Durchmesserstufe = Auswuchs (inkl. Nutzung und Mortalität)» analog auch für die Bäume unterhalb der Kluppschwelle bis hinunter zum Sämling stimmt (Bachofen 2009). Der Durchmesserzuwachs wird hier durch den Höhenzuwachs ersetzt, und an die Stelle der Nutzungen tritt die natürliche Mortalität. Für vier Bestände liegen Daten zur Verjüngung ab 0 cm Pflanzenhöhe (Sämlinge, die mindestens ein Jahr alt sind) vor.

Tab 2 Qualitätseinteilung der Fichte nach Dimensionsklasse.

Dimensionsklasse	Anteil nach Qualität (%)			
	D	C	B	A
1a	100			
1b	10	50	40	
2a	10	50	40	
2b	10	50	40	
3a	10	40	50	
3b	10	40	50	
4	10	40	50	
5	10	35	50	5
6	10	40	45	5

Tab 3 Holzpreise für Fichte in CHF (A, B, C, D: Qualitätsklasse; EH: Energieholz, IH: Industrieholz, SH: Stammholz).
Quelle: Aargauischer Waldwirtschaftsverband et al (2007).

Dimensionsklasse	Holzpreise für Fichte (CHF/m³)									
	D			C			B			A
	EH	IH	SH	EH	IH	SH	EH	IH	SH	SH
1a	45			45			45			
1b	45					70			75	
2a	45					90			110	
2b	45					100			120	
3a			70			100			120	
3b			70			100			124	
4			70			105			124	500
5			70			110			120	500
6			70			110			120	500

Tab 4 Durchschnittliche Holzerlöse nach Dimensionsklasse und Baumart.

Dimensionsklasse	Durchschnittliche Holzerlöse (in CHF/m³)						
	Fichte	Tanne	Lärche	Föhre	Buche	Esche	Ahorn
1a	45.–	45.–	45.–	45.–	61.–	61.–	61.–
1b	69.50	69.50	66.50	45.–	61.–	61.–	61.–
2a	93.50	83.50	110.50	45.–	61.–	61.–	61.–
2b	102.50	92.50	128.50	61.–	61.–	61.–	72.–
3a	107.–	97.–	191.–	91.50	82.30	79.80	99.50
3b	109.–	99.–	219.–	101.50	89.30	88.60	134.70
4	111.–	101.–	257.–	113.50	108.30	94.20	159.40
5	130.50	110.–	299.–	125.50	119.20	124.90	226.20
6	130.–	110.–	313.50	137.50	137.–	146.50	273.50

Ergebnisse

Wachstumskundliche Ergebnisse

Der Gleichgewichtszustand (Tabelle 5, Kolonne 3) wird anhand des Vergleichs der realen Durchmesserverteilung mit der berechneten des Gleichgewichtsmodells nach Schütz (1975, 2001) mittels der Varianz der Residuen beurteilt (Zingg & Duc

1998). Werte unter 0.5 werden als «im Gleichgewicht» und jene über 1.0 als «nicht im Gleichgewicht» bezeichnet, jene zwischen 0.5 und 1.0 als «kritisch». Zehn der 22 Bestände befanden sich im Durchschnitt im Gleichgewicht, sieben weitere in einem kritischen Gleichgewichtszustand. Nicht in einem Gleichgewicht waren die Flächen 01-033 und 01-034 in St. Moritz, beide Flächen 01-030 in Dürsrüti (Lauperswil

Fläche Nr.	Ort	Abweichung vom Gleichgewicht		Stammzahl		Derbholzvorrat V_7		Starkholzanteil	Derbholzzuwachs lv_7			Derbholznutzung Ev_7		Starkholzanteil	Nutzung : Zuwachs	Durchschnittlicher Gesamtzuwachs $dGz_{lv_{70-t}}$	Zuwachsprozent pro Jahr	Nutzungsprozent pro Jahr	Eingriffsstärke (in % von V_7)
		Var Res	s	N/ha	s	m ³ /ha	s	%	Durchschnitt	Minimum	Maximum	m ³ /ha × J	s	%	%	m ³ /ha × J	%	%	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
01-033	St. Moritz GR, Gian d'Alva	1.49	0.30	516	19	360	65	6	4.0	3.0	6.0	6.9	4.9	6	172	4	1.1	2.3	21
01-034	St. Moritz GR, Gian d'Alva	1.56	0.47	578	21	383	67	7	4.9	3.7	6.5	8.1	5.6	6	165	5	1.3	2.5	22
21-293.002	Sigriswil BE, Habrichtswald	0.97	0.40	452	30	341	32	18	6.0	4.8	6.9	6.6	3.2	21	110	6	1.7	2.0	17
21-293.001	Sigriswil BE, Habrichtswald	0.43	0.23	373	14	344	17	22	5.5	4.0	7.4	6.2	2.0	30	113	6	1.6	1.8	15
21-294	Le Chenit VD, La Rolaz	0.18	0.20	565	9	253	31	8	4.6	3.2	5.4	3.8	2.5	13	83	5	1.8	1.5	14
01-041	Rougemont VD, Les Arses	0.51	0.24	438	5	377	44	46	9.7	7.2	11.7	10.6	4.6	53	109	10	2.6	2.9	20
01-042	Rougemont VD, Guffre	0.43	0.14	491	10	400	39	36	10.6	7.7	12.0	11.7	3.7	44	110	11	2.6	3.0	20
02-047	Röthenbach BE, Schallenberg-Rauchgrat	0.46	0.11	528	13	452	32	55	12.7	11.1	14.7	13.1	4.5	64	103	13	2.8	3.0	21
02-035	Buttes NE, Bois du Pays	0.47	0.19	464	19	444	41	39	11.9	8.9	15.3	10.4	3.0	45	87	12	2.7	2.3	16
01-049	Oberägeri ZG, Gutschwald, Ängi	0.34	0.07	556	8	483	36	41	10.6	10.4	10.8	14.4	16.2	34	136	11	2.2	3.2	14
01-051	Oberägeri ZG, Gutschwald, Höhronen	0.60	0.12	470	5	499	44	62	12.3	10.0	15.1	18.6	10.0	64	151	12	2.4	3.9	20
01-015.001	Niederhünigen BE, Ob. Moosmatten	0.30	0.13	511	13	460	23	49	11.0	8.1	16.2	10.9	3.5	54	99	11	2.4	2.4	15
01-015.002	Niederhünigen BE, Ob. Moosmatten	0.64	0.35	430	18	395	23	49	9.7	7.9	11.9	9.3	3.9	47	96	10	2.5	2.4	15
01-046	Oberlangenegg BE, Unter Hubel	0.81	0.24	436	9	506	80	54	12.3	10.1	16.8	15.8	2.1	60	128	13	2.4	3.6	24
01-028	Bowil BE, Scharrweg, Wildenei	0.50	0.22	505	28	367	46	53	11.4	7.6	14.9	12.5	3.8	62	110	12	3.2	3.5	22
01-031	Landiswil BE, Biglenwald	0.56	0.16	547	10	423	28	49	10.4	8.2	14.3	11.6	3.2	53	112	11	2.5	2.8	18
01-052	Oberägeri ZG, Gutschwald, Vogelsang	5.58	0.28	685	9	544	42	43	11.3	8.8	15.0	12.0	10.8	25	106	10	2.2	2.3	15
01-030.001	Lauperswil BE, Dürsrüti	3.04	1.30	378	13	735	257	77	11.9	9.7	14.5	19.8	15.6	69	166	12	1.9	4.7	35
01-030.002	Lauperswil BE, Dürsrüti	1.76	0.60	423	19	640	142	77	12.8	9.9	15.8	15.1	9.9	73	118	13	2.0	2.5	21
01-027	Bowil BE, Badwald, Wildenei	0.25	0.22	610	28	329	46	35	11.2	8.1	14.1	9.5	3.9	48	85	11	3.5	2.8	17
01-019	Oppligen BE, Hasliwald	0.78	0.24	432	14	462	21	65	12.9	10.3	16.7	12.7	4.6	68	98	13	2.8	2.8	16
02-048	Basadingen TG, Vorhegi	0.25	0.05	369	9	296	26	42	8.9	7.0	10.7	13.1	8.3	45	154	9	3.4	4.6	27

Tab 5 Wachstumskundliche Ergebnisse pro Hektare, in der Regel Mittelwerte über die ganze Beobachtungsperiode (Var Res: Varianz der Residuen, s: Standardabweichung). Der durchschnittliche Gesamtzuwachs dGz wird hier als durchschnittlicher Zuwachs lv_{70-t} seit Versuchsbeginn berechnet.

und die Überführungsfläche 01-052 im Gutschwald (Oberägeri). Bei diesen Flächen fällt auf, dass der Vorrat relativ stark streut. Tatsächlich wurde der Vorrat in St. Moritz in den letzten Jahrzehnten stark reduziert, um die Verjüngung zu fördern, deren Fehlen auch im Fehlen des Einwuchses in die unterste Durchmesserklasse zum Ausdruck kommt. Letzteres wirkt sich entsprechend auf die Beurteilung des Gleichgewichtes aus. Die starken Schwankungen des Vorrates (Tabelle 5, Kolonne 7) in Dürsrüti sind auf den starken Vorratsabbau, zum Teil als Folge der natürlichen Mortalität der alten Tannen, zurückzuführen, nachdem dort über eine relative lange Zeit Vorräte gegen 1000 m³/ha gehalten wurden. Die hohen Vorräte führten hier auch zum Fehlen des Einwuchses.

Im Mittel stehen auf den meisten Flächen zwischen 200 und 500 m³/ha bei relativ kleinen Streu-

vor dem Schlag. Diese Fläche ist damit weit entfernt von einem Gleichgewichtszustand. Die Varianz der Abweichungen vom Gleichgewichtszustand lässt sich mit den Variablen Aufnahmejahr, Höhe über Meer, verbleibender Vorrat und Starkholzanteil (alle signifikant) zu 47% erklären.

Der mittlere Derbholzuwachs I_{V7} (Tabelle 5, Kolonnen 10–12) liegt zwischen 4.0 m³/ha × J in 01-033 St. Moritz und 12.9 m³/ha × J in 01-019 Oppligen. Der Zuwachs des laubholzreichen Plenterwaldes in Basadingen (02-048), der allerdings erst zweimal gemessen wurde, erreichte in der ersten Messperiode 10.7 m³/ha × J, in der zweiten, mit dem Trockenjahr 2003 in der Periode, nur noch 7.0 m³/ha × J. Die höchsten Zuwächse wurden bei einer seit den 80er-Jahren zu beobachtenden Zunahme (Zingg 1996) in den 90er-Jahren des letzten Jahrhunderts er-

Abb 1 Veränderung der Starkholzanteile, links für die Versuchsflächen unterhalb, rechts oberhalb 1300 m ü. M.

ungen, auf den Flächen in höheren Lagen und auf der Fläche mit einem hohen Laubholzanteil (02-048 Basadingen) etwas weniger.

Die Starkholzanteile haben sich im Lauf der Zeit auf allen Flächen und zum Teil beträchtlich verändert. In den meisten Fällen haben sie zugenommen. Sie sind in den höher gelegenen Flächen deutlich geringer als in den tiefer gelegenen (Abbildung 1). Über alle Flächen liegt der mittlere Starkholzanteil im verbleibenden Bestand bei 42%, bei der Nutzung bei 45%. In den Versuchsflächen der tieferen Lagen sind im Mittel 53% des Derbholzvorrates und 54% der Nutzung Starkholz. Den Maximalwert erreichte hier die Fläche 01-030.001 Dürsrüti mit über 90%

reicht. Der durchschnittliche Gesamtzuwachs dGz I_{V70-t} (Tabelle 5, Kolonne 17) beträgt im Mittel 10 m³/ha × J (min. 4 m³/ha × J, max. 13 m³/ha × J). Durchschnittlich liegt der jährliche Zuwachs zwischen 1.1% und 3.5% des Vorrates (Tabelle 5, Kolonne 18), wobei der laubholzreiche Plenterwald in 02-048 Basadingen mit 3.4% hier zur Spitze gehört.

Der Zusammenhang zwischen Vorrat und Zuwachs ist in Tabelle 6 und Abbildung 2 dargestellt: Einzig die Regression über die Versuchsflächen in allen Höhenlagen und unter Einbezug der Variable Höhe über Meer erklärt mehr als 50% der Varianz, wobei der Koeffizient des Vorrates positiv, aber deutlich schwächer ist als der negative der Höhenlage.

Versuchsflächen	einbezogene Variablen	R ²	Koeffizienten			
			Vorrat		Höhenlage	
Höhenlage > 1300 m ü. M.	Vorrat	0.014	-0.088	n.s.		
	Vorrat/Höhenlage	0.155	0.160	n.s.	-0.237	*
Höhenlage < 1300 m ü. M.	Vorrat	0.017	0.084	•		
	Vorrat/Höhenlage	0.060	0.071	n.s.	-0.242	**
Alle Höhenlagen	Vorrat	0.125	0.353	***		
	Vorrat/Höhenlage	0.549	0.155	**	-0.681	***

Tab 6 Zusammenhang Zuwachs – Vorrat – Höhenlage. Bestimmtheitsmasse (R²) und Koeffizienten.

Abb 2 Zusammenhang Vorrat zu Beginn einer Periode – periodischer Zuwachs, getrennt für die Versuchsflächen über und unter 1300 m ü. M.

Abb 3 Entwicklung von Vorrat und Gesamtwuchsleistung für das Versuchsflächenpaar Landiswil BE (01-031: Plenterwald, 21-290: gleichförmiger Hochwald). Von 1918 bis 2005 basiert der Vergleich auf gemessenen Werten, ab 2006 sind die Werte extrapoliert respektive modelliert. Zur Einordnung des gleichförmigen Hochwaldes ist für den gemessenen Zeitschnitt die Vorratsentwicklung der Fichtenbonitäten 18 und 20 eingezeichnet.

Beide Koeffizienten sind signifikant. Ohne den Einbezug der Höhenlage erklärt das Modell nur noch 12.5% der Varianz, wobei der Koeffizient des Vorrates signifikant ist. Wenn dieselbe Analyse getrennt für die Versuchsflächen unter beziehungsweise über 1300 m ü.M. durchgeführt wird, erreicht nur noch die Variante «über 1300 m ü.M. mit Vorrat und Höhenlage» ein Bestimmtheitsmass über 10%. Die Koeffizienten der Variable Vorrat sind in keinem dieser Modelle signifikant und weisen jeweils deutlich geringere Werte auf als die zumindest schwach signifikante Höhe über Meer. In allen Fällen nimmt also der Zuwachs mit zunehmender Höhenlage ab. Dasselbe gilt für die Nutzung und den Starkholzannteil (nicht dargestellt). Der Zuwachs ist vom Vorrat relativ unabhängig (vgl. auch Bachofen 1999).

Die Nutzung E_{V7} (Tabelle 5, Kolonne 13) liegt in den Flächen in St. Moritz (01-033, 01-034) und Sigriswil (21-293) im Mittel zwischen 6 und 8 m³/ha × J, in der Fläche Le Chenit (21-294) sogar nur bei 3.8 m³/ha × J. In den tiefer gelegenen Flächen waren es 13 m³/ha × J. Die höchsten Mittelwerte werden in den Flächen von Dürsrüti (Lauperswil 01-030), den Überführungsflächen im Gutschwald (Oberägeri; 01-049, 01-051) und auf der Fläche 01-046 Oberlangeng erreicht, Letzteres als Folge der starken Nutzung nach dem Sturm Lothar. Das Verhältnis Nutzung : Zuwachs (Tabelle 5, Kolonne 16) beträgt im Mittel 119%. Wenn nur die Flächen im Gleichgewicht oder kritischen Gleichgewicht (Var Res < 1) berücksichtigt werden, liegt der Mittelwert noch bei 111% und für die Flächen im Gleichgewicht (Var Res < 0.5) sind es noch 108%. Die Eingriffstärken (Tabelle 5, Kolonne 22) liegen im Mittel bei 19% (min. 14%, max. 35%) des Vorrates vor dem Eingriff. Berücksichtigt man nur die Flächen im Gleichgewicht, sind es 18% (min. 14%, max. 27%).

In Abbildung 3 ist der Vergleich Plenterwald – gleichförmiger Hochwald für die Versuchsflächen 01-031 und 21-290, beide Landiswil, dargestellt. Der Vorrat bleibt im Plenterwald ziemlich konstant, im Mittel beträgt er 460 ± 45 m³/ha, während er im gleichförmigen Wald mit 393 ± 112 m³/ha schwankt. Im Durchschnitt sind auch die Nutzungsmengen über den ganzen Zeitraum betrachtet mit 67 m³/ha (11 m³/ha × J) beziehungsweise 71 m³/ha (11 m³/ha × J) sehr ähnlich. Allerdings findet im gleichförmigen Wald in der Verjüngungsphase über 40 Jahre lang keine Nutzung statt, in der im Plenterwald über 400 m³/ha genutzt werden können. Die Gesamtwuchsleistung über den Zeitraum von ungefähr zwei Umtriebszeiten des gleichförmigen Waldes ist für beide Betriebsarten jedoch nahezu gleich.

Holzerntekosten und Erlöse

Mit Ausnahme der ersten drei Eingriffe in 21-294 Le Chenit (sehr kleiner Massenmittelstamm der Nutzung) konnten mit den Annahmen der Mo-

dehberechnung alle Schläge kostendeckend ausgeführt werden (Abbildung 4), wobei in allen Beispielflächen ein durchschnittlicher erntekostenfreier Erlös von rund 30 bis 35 CHF/m³ erzielt wurde. Die Korrelation zwischen dem Durchmesser des ausscheidenden Grundflächen-Mittelstammes d_{ge} und dem erntekostenfreien Erlös pro Kubikmeter liegt bei 78%, die einfache lineare Regression erklärt 60% der Varianz. Eine einfache lineare Regression über die Höhenlage, den Starkholzanteil sowohl des verbleibenden Bestandes als auch der Nutzung erklärt über 50% der Varianz (nicht dargestellt).

Nachhaltigkeit der Verjüngung

In Tabelle 7 ist die Stammzahlverteilung für die Höhenklassen 0–19 cm bis zu einem BHD von

0 cm ($h = 1.3$ m) für die vier Versuchsflächen 02-048 Basadingen, 01-015 Niederhünigen, 02-047 Röthenbach und 21-294 Le Chenit dargestellt. In Abbildung 5 ist die gesamte Stammzahlverteilung vom Sämling bis zum dicksten Baum abgebildet. Die Mortalität ist in den ersten Jahren nach der Ansamung extrem hoch, sie nimmt aber mit zunehmender Baumhöhe sehr rasch ab (Bachofen 2009). Die typischen Stammzahlverteilungskurven, wie man sie von kluppierten Plenterbeständen her kennt, setzen sich in allen vier Beständen übergangslos fort bis hinunter zum Sämling. Die Kurven können nicht mehr durch eine Exponentialfunktion dargestellt werden. Die Punkte werden dafür sehr gut durch eine Potenzfunktion abgebildet.

Abb 4 Modellierter Holzerntekosten, Holzerlöse und erntekostenfreie Erlöse, für alle Jahre mit einheitlichen Ansätzen gerechnet. Schwarz ist der Oberdurchmesser d_{dom} des verbleibenden Bestandes und grau der Durchmesser des Grundflächen-Mittelstammes der Nutzung d_{ge} abgebildet.

Höhenklasse	02-048 Basadingen TG	01-015 Niederhünigen BE	02-047 Röthenbach BE	21-294 Le Chenit
cm	N/ha	N/ha	N/ha	N/ha
0–19	35122	12000	11515	12400
20–39	13366	1331	1795	2470
40–59	7902	625	1091	1270
60–79	4195	339	652	910
80–99	2683	231	379	480
100–119	1756	147	220	230
120–129	585	60	91	150

Tab 7 Stammzahlen nach Höhenklassen in ausgewählten Plenterwald-Versuchsflächen.

Diskussion

Der Begriff «Nachhaltigkeit» wird gerne mit dem Plenterwald in Verbindung gebracht. In der Tat ist ohne wesentliche Störung bei einer mehr oder weniger ausgeglichenen Struktur eine nachhaltige Leistung bezüglich Holzproduktion oder Schutzfunktion zu erwarten. Trotzdem sind Plenterwälder dynamische Systeme mit einem grossen Veränderungspotenzial, ohne dass sie deswegen den Anforderungen der Nachhaltigkeit nicht mehr entsprechen würden. Allerdings darf die Nachhaltigkeit nicht so eingeschränkt betrachtet werden wie dies beispielsweise O’Hara et al (2007) tun: Änderungen in der Baumartenzusammensetzung (Simak 1951), des Durchmessers des Grundflächen-Mittelstammes (d_g) oder des Oberdurchmessers (d_{dom}) sind nicht als

Abb 5 Stammzahlverteilung nach Höhen- respektive Durchmesserklassen in ausgewählten Plenterwald-Versuchsflächen.

Abweichung von der Nachhaltigkeit zu betrachten (Mitscherlich 1963), sofern sie innerhalb zu definierender Grenzen stattfinden. Die hier vorgestellten Flächen, die schwergewichtig allerdings Tannen-Fichten-Buchen-Plenterwälder repräsentieren, zeigen trotz unterschiedlichen Plentergleichgewichtszuständen und Schwankungen nachhaltige Entwicklungen bezüglich Zuwachs und Nutzung. Auch für die am weitesten von einem Gleichgewichtszustand entfernten Flächen in St. Moritz (01-033 und 01-034), wo wegen des lange zu hoch gehaltenen Vorrates die Verjüngung der Lärche praktisch vollständig fehlt und jene der Fichte und der Arve nicht genügt, in Dürsrüti (01-030), wo ebenfalls über einen längeren Zeitraum Vorräte gegen 1000 m³/ha gehalten wurden, und in der Überführungsfläche Gutschwald, Vogelsang (Oberägeri; 01-052) ist die Prognose bezüglich Nachhaltigkeit gut, da für die Nutzung des Plenterwaldes der Zuwachs entscheidend ist.

Die Unabhängigkeit des Zuwachses vom Vorrat (Tabelle 6 und Abbildung 2) ist ein weiterer Vorteil des Plenterwaldes. Der Durchmesser des Grundflächen-Mittelstammes d_g des verbleibenden Bestandes der Versuchsfläche 01-030.001 (Dürsrüti, Lauperswil) lag bei der ersten Aufnahme bei 44 cm, heute befindet er sich bei 27 cm. Der Zuwachs blieb in dieser Fläche praktisch gleich. Dies ist ein Ausdruck der Flexibilität des Systems, zumindest im Hinblick auf die biologische Produktion. Der Wertzuwachs dürfte sich allerdings wesentlich verändert haben.

Ein hoher Starkholzanteil (BHD $\geq$ 52 cm) ist eine wesentliche Voraussetzung für das wirtschaftliche Ergebnis im Plenterwald, wobei mit zunehmender Höhenlage der Starkholzanteil sowohl des verbleibenden Bestandes als auch der Nutzung deutlich abnimmt. Dies gilt allerdings nur solange, als für stärkere Dimensionen auch höhere Preise erzielt werden (Mitscherlich 1952). Nur so können die höheren Holzerntekosten – zusammen mit den Einsparungsmöglichkeiten bei der Pflege und bei der Ernte nicht kostendeckender Sortimente – aufgewogen werden.

Der Vorteil des Plenterwaldes gegenüber dem gleichförmigen Wald liegt in der Konstanz seiner Leistung. Wie in Abbildung 3 gezeigt wird, ist die langfristig betrachtete Gesamtwuchsleistung im Vergleich zu einem gleichförmigen Wald auf gleichem Standort als gleichwertig zu beurteilen, die Leistung, ausgedrückt als Nutzung pro Jahr, ebenfalls. Für den Plenterwald ist eine dem Zuwachs entsprechende Nutzung aber zu jedem Zeitpunkt möglich. Im gleichförmigen Wald ergibt sich ein Höchstwert an Nutzung bei der Einleitung der Verjüngung beziehungsweise bei der Räumung und eine zeitliche Lücke nach der Verjüngungsphase. Auch die Sortimentszusammensetzung ist abhängig von der Entwicklungsphase des gleichförmigen Bestandes. Weitergehende Untersuchungen, die diese Unterschiede und weitere ökonomische Faktoren mit in die Rech-

nung einbeziehen, kommen aber zum Schluss, dass beide Betriebsarten zu sehr ähnlichen Endergebnissen führen (Hanewinkel 2002).

Trotz unterschiedlichen Standorten, Baumartenzusammensetzungen und Bestandesstrukturen liegen die durchschnittlichen erntekostenfreien Erlöse für alle vier Beispielflächen sehr nahe beieinander. Aus praktischen Gründen wurden in den hier vorgestellten Beispielen die heutigen Erntekosten und Holzpreise über den ganzen beobachteten Zeitraum konstant gehalten. Damit sind die hier präsentierten erntekostenfreien Erlöse nicht als langfristige Entwicklungen, sondern als das Ergebnis verschiedener möglicher Zustände bei den heute geltenden Bedingungen zu betrachten. Andere Kosten- und Holzpreisstrukturen können zu beträchtlichen Verschiebungen dieser Ergebnisse führen.

Bleibt noch die Beurteilung beziehungsweise die Rolle des Gleichgewichtszustandes: Nach Sonnemann (2008) haben «die hergebrachten Idealstrukturen in Form simpler Stammzahlabnahmekurven ... ausgedient». Die Durchmesserverteilungen (bzw. Stammzahlabnahmekurven), welche einen Gleichgewichtszustand beschreiben, sind aber weder simpel, noch sind sie «ideal», da sie aus dem realen Wachstumsverhalten der auf dem gegebenen Standort vorhandenen Bäume abgeleitet werden. Es sind für denselben Standort durchaus verschiedene Gleichgewichtszustände mit unterschiedlichem Zieldurchmesser möglich (vgl. dazu Meyer 1952). Inwieweit eine Erhöhung des Vorrates und eine Senkung des maximalen Brusthöhendurchmessers, wie Sonnemann (2008) aufgrund ökonomischer Überlegungen vorschlägt, die Einhaltung der übrigen Gleichgewichtsbedingungen wie die unabdingbar notwendige Verjüngung erlauben, müsste genauer untersucht werden. Gleichgewichtskurven sind keine Ideallinien, sondern Mittelwerte eines virtuellen Gleichgewichtsbandes.

Folgerungen

Aufgrund der hier dargestellten Ergebnisse können über die Leistung der Plenterwald-Versuchsflächen folgende Aussagen gemacht werden:

- Die Plenterung ist bezüglich der Holzproduktion, aber auch bezüglich allfälliger Schutzwirkungen, die sich durch eine dauernd vorhandene hohe Stammzahl ergeben, eine nachhaltige Art der Waldbewirtschaftung.
- Bei Überführungen sind je nach Ausgangslage wirtschaftliche Engpässe über eine bestimmte Zeitperiode nicht auszuschliessen (vgl. dazu in Abbildung 4 die erntekostenfreien Erlöse in Le Chenit am Anfang und in St. Moritz in der Mitte der Beobachtungsperiode). Interessant ist aber der Befund, dass selbst unter ungünstigen Verhältnissen wie beispiels-

weise in Le Chenit am Anfang der Beobachtungsperiode nur geringe Verluste auftreten verglichen mit den Kosten für die Pflege von Jungbeständen im schlagweisen Hochwald.

- Aufgrund der hier präsentierten Vergleiche und Modellrechnungen kann die Plenterung – zumindest bei den heutigen Holzerntekosten und Holzpreisen – auch wirtschaftlich positiv beurteilt werden, vor allem wenn man berücksichtigt, wie sich die Holzpreise und die Kosten in den letzten 50 Jahren entwickelt haben.

- Für die Überführung von mehr oder weniger gleichförmigen Wäldern in plenterartige Wälder sind Modelle zu entwickeln, die auch die wirtschaftliche Seite (Holzmengen, Sortiment, Erntekosten) bewerten können und damit dem Bewirtschafter bessere Entscheidungsgrundlagen zur Verfügung stellen (vgl. dazu Knoke 2009 in diesem Heft).

- Es ist möglich, die Entwicklungsweise des Nachhaltigkeitsverhalten von Plenterbeständen zu modellieren und über diese Modelle zu kontrollieren (Bürgi 2002).

- Für eine endgültige Klärung der Frage der Leistungsunterschiede zwischen Plenterwald und gleichförmigem Hochwald wäre die Anlage entsprechender Versuche und deren Führung über mehr als eine Umtriebszeit notwendig, um allfällige äussere Einflüsse (z.B. Klima, Witterung, ändernde Behandlung) mit in die Beurteilung einbeziehen zu können. Schneller und einfacher wäre die Entwicklung von Wachstumsmodellen, die in der Lage sind, beide Betriebsarten korrekt abzubilden.

Weitere Vorteile der Plenterung sind die Anwendbarkeit auch auf kleiner Fläche, d.h. für Besitzer kleiner Waldparzellen. Dies lässt sich auch aus der Grösse der hier vorgestellten Versuchsflächen von 0.5 bis 2.5 ha ableiten. Die Umlaufzeit richtet sich nach dem Zuwachs, d.h., je nach Flächengrösse kann ein Schlag durchgeführt werden, wenn durch Zuwachs jene Holzmenge erreicht wird, die zur wirtschaftlichen Durchführung eines Schlags notwendig ist. Die Planung im Plenterwald ist entschieden einfacher als im schlagweisen Hochwald; die Kenntnis von Vorrat und Zuwachs ist ausreichend. Nichtsdestotrotz bleibt der Entscheid, ob in einem Wald geplentert werden soll oder nicht, ein betrieblicher Entscheid, der aufgrund der natürlichen Gegebenheiten – Standort, Baumarten – und der wirtschaftlichen Randbedingungen wie zum Beispiel der Erschliessung und unter Einbezug von möglichen Alternativen gefällt werden soll. ■

Eingereicht: 7. Januar 2009, akzeptiert (mit Review): 24. April 2009

Dank

Wir danken allen unbekannten und bekannten Mitarbeitern der Ertragskunde, die durch ihre

präzise Feldarbeit, ihren gewissenhaften Beitrag bei der Archivierung, Sicherung und Auswertung der Daten den Wert dieser Datenreihen erst ermöglichen, namentlich Enrico Cereghetti, Christian Matter und Bernhard Ramp, und allen Kollegen, die uns mit ihren kritischen Kommentaren geholfen haben, Schwachstellen aufzudecken.

Literatur

- ASSMANN E (1961) Waldertragskunde. München: BLV. 490 p.
- AWV ET AL (2007) Empfehlungen über den Rundholzverkauf 2007/2008. Muri: Aargauischer Waldwirtschaftsverband. 2 p.
- BACHOFEN H (1999) Gleichgewicht, Struktur und Wachstum in Plenterbeständen. Schweiz Z Forstwes 150: 157–170. doi: 10.3188/szf.1999.0157
- BACHOFEN H (2009) Nachhaltige Verjüngung in ungleichförmigen Beständen. Schweiz Z Forstwes 160: 2–10. doi: 10.3188/szf.2009.0002
- BADOUX E (1983) Ertragstafeln für die Fichte in der Schweiz. Birmensdorf: Eidg Anst forstl Versuchswes, 3 ed.
- BÜRGI A (2002) Fir (*Abies densa*) forests in Central Bhutan: a model-based approach to assess a suitable utilisation. Forestry 75: 457–464.
- DE LIOCOURT F (1898) De l'aménagement des sapinières. Bull Soc For Franche-Comté et Belfort. 4: 396–409, 645.
- FRITZLAR D, BIEHL H (2006) Buchen-Plenterwald Hainich. Creuzburg: Buchenzentrum Mühlhausen. 40 p.
- GARFITT JE (1995) Natural management of woods – continuous cover forestry. Taunton: Research Studies Press. 152 p.
- HANEWINKEL M (2002) Comparative economic investigations of even-aged and uneven-aged silvicultural systems: a critical analysis of different methods. Forestry 75: 473–481.
- KELLER W (1978) Einfacher ertragskundlicher Bonitätsschlüssel für Waldbestände in der Schweiz. Mitt Eidgenöss Forsch.Anst. Wald Schnee Landsch 54: 1–98.
- KNOKE T (2009) Zur finanziellen Attraktivität von Dauerwaldwirtschaft und Überführung: eine Literaturanalyse. Schweiz Z Forstwes 160: 152–161. doi: 10.3188/szf.2009.0152
- LEAK WB (2002) Origin of sigmoid diameter distributions. Newton Square: US Dep Agriculture, Forest Service Northeastern Research Station, Research Paper NE-718. 10 p.
- LEMM R (1991) Ein dynamisches Forstbetriebs-Simulationsmodell. Prognosen von betriebspezifischen Waldentwicklungen, Waldschäden und deren monetäre Bewertung unter variablen Einflussgrössen. Zürich: ETH Zürich, Dissertationen. 235 p.
- MEYER HA (1952) Structure, growth and drain in balanced, uneven-aged forests. J For 52: 85–92.
- MITSCHERLICH G (1952) Der Tannen-Fichten-(Buchen-)Plenterwald. Schr.reihe Bad forstl Vers.anst Freibg. 8: 42 p.
- MITSCHERLICH G (1963) Untersuchungen in Schlag- und Plenterwäldern. Allg Forstztg 74 (5/6): 45–50.
- MÖLLER A (1921) Dauerwaldwirtschaft. Berlin: Springer. 54 p.
- MÖLLER A (1922) Der Dauerwaldgedanke. Sein Sinn und seine Bedeutung. Berlin: Springer. 84 p.
- O'HARA K, HASENAUER H, KINDERMANN G (2007) Sustainability in multi-aged stands: an analysis of long-term plenter systems. Forestry 80: 163–181.

- PAUSCH R (2005)** Ein System-Ansatz zur Darstellung des Zusammenhangs zwischen Waldstruktur, Arbeitsvolumen und Kosten in naturnahen Wäldern Bayerns. Forstl Forsch. ber München 199. 300 p.
- PRODAN M (1949)** Die theoretische Bestimmung des Gleichgewichtszustandes im Plenterwald. Schweiz Z Forstwes 100: 81–99.
- SCHÜTZ JP (1975)** Dynamique et condition d'équilibre de peuplements jardinés sur les stations de hêtraie à sapin. Schweiz Z Forstwes 126: 637–671.
- SCHÜTZ JP (1994)** Geschichtlicher Hergang und aktuelle Bedeutung der Plenterung in Europa. Allg Forst- Jagdztg 165: 106–114.
- SCHÜTZ JP (2001)** Der Plenterwald und weitere Formen strukturierter und gemischter Wälder. Berlin: Parey. 207 p.
- SCHÜTZ JP (2002)** Silvicultural tools to develop irregular and diverse forest structures. Forestry 75: 329–338.
- SIMAK M (1951)** Untersuchungen über den natürlichen Baumartenwechsel in schweizerischen Plenterwäldern. Mitt Eidgenöss. Forsch.anst Wald Schnee Landsch. 27: 406–468.
- SONNEMANN D (2008)** Das ideale Plentergleichgewicht – Leitbild oder Luxus? Schweiz Z Forstwes 159: 1–6. doi: 10.3188/szf.2008.0001
- STOCKER R (2008)** Lenken, nicht steuern in der Halbschattenwirtschaft. Wald Holz 89 (6): 26–29.
- WVS, SHIV, VSRH (2000)** Schweizerische Handelsgebräuche für Rundholz. Solothurn: Waldwirtschaft Verband Schweiz. 41 p.
- ZINGG A (1996)** Diameter and basal area increment in permanent growth and yield plots in Switzerland. In: Spiecker H, Mielikäinen K, Köhl M, Skovsgaard JP, editors. Growth trends in European forests. Joensuu: European Forest Institute, Research Report. pp. 239–265.
- ZINGG A (2003)** Bestandesstrukturen, Durchmesser- und Höhenwachstumsmuster in ungleichaltrigen Beständen. In: Kenk G, editor. Jahrestagung Sektion Ertragskunde, 2.–4. Juni 2003, Torgau. Freiburg: Deutscher Verband Forstl Forschungsanstalten. pp. 195–204.
- ZINGG A, DUC P (1998)** Beurteilung des Gleichgewichtszustandes in Plenterwaldversuchsflächen. In: Kenk G, editor. Jahrestagung Sektion Ertragskunde, 25.–27. Mai 1998, Kvelaer. Freiburg: Deutscher Verband Forstl Forschungsanstalten. pp. 147–156.

Ertragskundliche Leistung in den Plenterwald-Versuchsflächen der Schweiz

22 Versuchsflächen im Plenterwald, zum Teil langfristig beobachtet, ermöglichen es heute, die Leistung dieser Bestände zu beurteilen und bis zu einem gewissen Grad mit der Leistung von Beständen anderer Betriebsarten zu vergleichen. Die hier vorgestellten Leistungsbeschreibungen sind ertragskundliche im umfassenden Sinne des Begriffes: Die rein wachstumkundlichen Parameter werden für vier ausgewählte Flächen ergänzt durch eine Modellierung des wirtschaftlichen Ergebnisses durch Bestimmung der Holzerntekosten und Erlöse. Für vier Flächen liegen Jungwalderhebungen vor, die einen Blick in die zukünftige Entwicklung erlauben. Die meisten hier vorgestellten Versuchsflächen liegen im Bereich des Tannen-Buchen-Waldes, einige im oberen montanen und im subalpinen Bereich und nur eine in einem laubholzreichen Bestand. Für die meisten Bestände kann ein Gleichgewichtsmodell berechnet werden. Ausnahmen sind die Hochgebirgsflächen, zwei Flächen mit sehr hoher Volumenhaltung und Überführungsbestände. Diese Flächen zeigen auch starke Schwankungen im Vorrat. Dagegen bleibt der Zuwachs über einen grossen Bereich des Vorrates gleich. Nutzung und Zuwachs liegen im Mittel in einer ähnlichen Grössenordnung. Vorrat und Starkholzanteil sind standortabhängig in höheren Lagen tiefer. Die modellierten erntekostenfreien Erlöse können zum Teil mit dem Durchmesser des Grundflächen-Mittelstammes des ausscheidenden Bestandes korreliert werden. Die Nachhaltigkeit der Waldwirkungen – Holzproduktion oder Schutz – der Zukunft kann für vier Flächen aufgrund der Stammzahlverteilungen vom einjährigen Bäumchen bis zum dicksten Stamm als gegeben betrachtet werden. Mit diesen Daten kann gezeigt werden, dass der grosse Vorteil des Plenterwaldes in der Konstanz dieser Leistungen liegt, und dies auch auf kleiner Fläche.

Etude de la production des placettes d'observation de forêt jardinée en Suisse

22 placettes d'essai en forêt jardinée, dont certaines sont observées depuis longtemps, permettent d'évaluer la production de ces peuplements et de les comparer dans une certaine mesure avec celle de peuplements d'autres modes d'exploitation. Les prestations décrites font référence à la production dans son sens le plus large: les paramètres de croissance pure sont complétés dans quatre placettes choisies par une modélisation des résultats économiques: calcul des coûts de récolte et des recettes. Des inventaires de la jeune forêt sont disponibles pour quatre surfaces et permettent un aperçu du développement futur. La plupart des peuplements présentés se situent dans le domaine de la hêtraie à sapin, certains à l'étage montagnard supérieur, d'autres à l'étage subalpin et un seul dans une forêt riche en feuillus. Un modèle d'équilibre peut être calculé pour la plupart des peuplements. Les surfaces de haute montagne, deux placettes à volume élevé et à peuplements en conversion, font exception. Ces surfaces présentent également de fortes variations du matériel sur pied. En revanche, l'accroissement reste constant pour une vaste tranche du matériel sur pied. Exploitation et accroissement sont en moyenne dans le même ordre de grandeur. Le matériel sur pied et le volume de bois fort diminuent avec l'altitude, conformément à la station. Les revenus nets modélisés peuvent en partie être corrélés avec l'arbre de surface terrière moyenne du peuplement exploité. La durabilité des effets de la forêt – production de bois ou protection – peut être considérée comme assurée pour quatre des placettes sur la base de la répartition des tiges, de la plantule d'une année jusqu'au plus gros arbre. Ces données montrent que le principal avantage de la forêt jardinée réside dans la constance de ces prestations, même sur de petites surfaces.