

Waldentwicklungsphasen in zwei Buchen-Urwaldreservaten in der Slowakei

Lars Dröbner* und Peter Meyer**

*Institut für Waldbau, Georg-August-Universität Göttingen, Büsgenweg 1, D-37077 Göttingen

**Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Grätzelstr. 2, D-37079 Göttingen

Eingegangen: 30.05.2006 Angenommen: 02.08.2006

Kurzfassung: Die Anteile unterschiedlicher Waldentwicklungsphasen in zwei Buchen-Urwaldreservaten wurden bestimmt. Mehr als die Hälfte der Waldfläche wurde von der Terminal- und Zerfallsphase eingenommen. Die Optimalphase nahm etwa 15 Prozent ein. Diese Verteilung wurde bereits in albanischen Buchenurwäldern beobachtet und unterscheidet sich deutlich vom Wirtschaftswald.

In den einzelnen Waldentwicklungsphasen wurden das Holzvolumen und die Stammzahl ermittelt und verglichen. Das durchschnittliche Holzvolumen betrug in Havešová 720 m³ ha⁻¹. Es schwankte je nach Phase zwischen 100 m³ ha⁻¹ und 1000 m³ ha⁻¹. In Kyjov betrug das durchschnittliche Holzvolumen 450 m³ ha⁻¹ und erreichte in der Plenterphase 670 m³ ha⁻¹. Das Totholzvolumen schwankte in Havešová zwischen 14 und 490 m³ ha⁻¹ und in Kyjov zwischen 7 und 320 m³ ha⁻¹. Die Dichte der Bäume betrug je nach Phase 30 bis 400 Stück ha⁻¹. Die jüngste Entwicklungsphase trat nur sehr kleinflächig und vereinzelt auf.

Einen weiteren Schwerpunkt der Untersuchung bildeten methodische Überlegungen zur minimalen Flächengröße der einzelnen Phasen. Dabei wird ein Ansatz vorgestellt, der den einzelnen Baum und seine Lage als Grundeinheit für Analysen des Waldaufbaus stärker berücksichtigt.

Forest development stages in two virgin beech reserves in Slovakia

Abstract: The area proportion of different forest development stages in two virgin beech forests was determined. Almost the half of forest area comprised the terminal- and decay stage. The optimum stage covered about 15 %. This distribution was also observed in virgin beech forests in Albania and differs clearly from managed stands.

During single stages the timber volume and tree number were determined and compared with each other. The mean timber volume in Havešová was 720 m³ ha⁻¹. It amounted among the stages from 100 m³ ha⁻¹ to 1000 m³ ha⁻¹. In Kyjov the mean volume amounted to 450 m³ ha⁻¹ and increased to 670 m³ ha⁻¹ during the plenter stage. Deadwood volume amounted from 14 to 490 m³ ha⁻¹ in Havešová and in Kyjov from 7 to 320 m³ ha⁻¹. Tree density varied from 30 to 400 trees per ha among the stages. But the youngest stage occurred sparsely on small areas.

A further focus of this work was a methodological aspect to determine the minimum size area of single stages. An attempt was presented, that considers stronger the single tree and its location as basal unit to analyse stand structure.

Key words: forest dynamic, development stages, virgin forest, disturbances, *Fagus sylvatica*

1 Einleitung

Die Abgrenzung von Waldentwicklungsphasen ist ein wichtiges analytisches Verfahren, um langfristige Veränderungen im Waldaufbau zu erkennen. Die Kartierung der Phasen erfolgte in der Vergangenheit in vielen Fällen gutachterlich im Wald und war nicht in jedem Fall eindeutig (Neumann 1979, Knapp u. Jeschke 1991, Leibundgut 1993). Die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse war nicht gewährleistet. Aus diesem Grund entwickelte Meyer (1999) ein Verfahren zur quantitativen Bestimmung der Waldentwicklungsphasen, welches auf waldwachstumskundlichen Parametern eines Waldes basiert und diese kleinflächig analysiert. Dadurch konnten für Naturwaldreservate Waldentwicklungsphasen ausgeschieden werden, die miteinander vergleichbar sind und langfristige Beobachtungen erlauben (Meyer 1999). Ein leicht abgewandeltes Verfahren setzte Tabaku (1999) für den Vergleich von Urwäldern mit Wirtschaftswäldern ein. Die von ihm verwendeten Definitionen der einzelnen Phasen wurden auch in der vorliegenden Untersuchung verwendet und sind in Tabelle 1 wiedergegeben.

Ziel dieser Untersuchung war es, das Verfahren von Tabaku (1999) auf zwei weitere Urwaldbestände anzuwenden, das methodische Konzept zu hinterfragen und einen weiteren Ansatz zur Beschreibung der Waldtextur vorzustellen.

2 Material und Methoden

Die Untersuchung beschreibt zwei Buchenurwaldreservate im Osten der Slowakei. Das *Reservat Havešová* liegt in den Beskiden in einer Höhe von 500–650 m ü. NN. Es ist zum Süden exponiert und umfasst

eine Fläche von 170 ha. Der jährliche Niederschlag schwankt zwischen 700 und 800 mm (450 mm in der Vegetationsperiode). Die mittlere Jahrestemperatur beträgt 7 °C. Das Klima ist etwas kontinentaler geprägt als in Deutschland. Das geologische Ausgangssubstrat wird in Havešová von Flysch gebildet, über dem sich eine Braunerde entwickelt hat.

Das *Reservat Kyjov* liegt im Vyhorlat-Gebirge (700–820 m ü. NN). Es ist nach Norden geneigt und umfasst 53 ha. Der jährliche Niederschlag liegt bei 750–800 mm, und die Jahresdurchschnittstemperatur beträgt 6 °C. Das Ausgangsgestein ist Andesit, auf dem sich ebenfalls eine Braunerde befindet. Es handelt sich in beiden Fällen um reine Buchenwälder. Beschreibungen zum Waldaufbau geben Koppel' (1995) sowie Dröbner und Lüpke (2006a). Informationen zum Standort und zu den Wuchsverhältnissen finden sich bei Dröbner und Lüpke (2006b).

Die Aufnahme der Bäume ab 7 cm Brusthöhendurchmesser (BHD) erfolgte auf 22 bzw. 20 systematisch verteilten Stichprobenflächen. Der Mindestabstand zur Reservatsgrenze betrug 100 m. Die Stichprobenflächen waren Quadrate mit 62,5 m Kantenlänge. Diese wurden in 25 Quadrate à 12,5 m x 12,5 m geteilt, auf denen der Deckungsgrad der Verjüngung geschätzt wurde.

Auf den Stichprobenflächen wurden für jeden Baum die Lagekoordinaten und der BHD bestimmt. Je Reservat wurden an 60 gleichmäßig über das Durchmesserpektrum verteilten Bäumen die Baumhöhe und acht Kronenradien gemessen. Die Ablotung der Radien erfolgte nach Möglichkeit gleichmäßig verteilt in alle Richtungen an den Punkten der größten Kronenausdehnung. Anschließend wurden die Radien gemittelt. Aufgrund eines engen Zusammenhangs zwischen BHD und Kronenradius (Dröbner u. Lüpke 2006b) konnte jedem Baum eine kreisförmige Krone zugeordnet werden und eine Kronenkarte erstellt werden. Das Holzvolumen des lebenden Bestan-

Tab. 1. Verbale Beschreibung der Entwicklungsphasen in Anlehnung an Tabaku (1999).
Description of development stages according to Tabaku (1999)

Lücke	Die Überschirmung des Derbholzbestandes liegt unter 30 % und der Anteil der Verjüngungsflächen (Jungwuchs und Dichtung) unter 50 %.
Verjüngungsphase	Bei langsamer Auflösung des Altbestandes entsteht in Lücken eine Verjüngungsphase mit gruppen- und horstweise verteilten jungen Bäumen unter 7 cm BHD (Jungwuchs und Dichtung) mit einer Deckung von mehr als 50 % der Bezugsfläche.
Initialphase	Stammzahlreiche Jungbestände unter 20 cm BHD bis Stangenholz, hervorgegangen aus Naturverjüngung. Diese Phase kann nicht der Optimalphase zugeordnet werden, weil ihre Holzvorräte erheblich geringer sind. Diese Phase ist bereits leicht vertikal gestuft und besitzt eine hohe Stammzahl.
Frühe Optimalphase	Beginnend mit dem Erreichen eines BHD von 20 cm, zeichnet sich die Optimalphase durch einen deutlichen Nettoaufbau an Holzbiomasse aus. Es sind stammzahlreiche und zuwachskräftige Baumholzbestände mit vitaler Oberschicht.
Mittlere Optimalphase	Die Baumzahlen der Mittel- und Oberschicht nehmen mehr oder weniger ab. Jungwuchs fehlt fast ganz. Kronendachlücken schließen sich rasch. Jungwuchs fehlt fast ganz.
Späte Optimalphase	Die recht lange Optimalphase wird nach dem maximalen BHD in drei weitere Teilphasen unterteilt. Frühe Optimalphase bei 20-40 cm, mittlere bei 41-60 und späte bei BHD über 60 cm.
Plenterphase	Große Durchmesserdifferenzierung auf kleiner Fläche. Da sich auf- und abbauende Prozesse gegenseitig ausgleichen, findet kein Nettoaufbau an Derbholzbiomasse statt. Es besteht eine Entwicklungstendenz zur Optimalphase. Diese Struktur kann vorübergehend auch durch einen sehr langen Verjüngungszeitraum oder durch die räumliche Überlagerung von Zerfalls- und früher Optimalphase entstehen.
Terminalphase	Starke Baumholzbestände mit altersbedingtem Ausfall einzelner Bäume und Trupps. Es findet kein Nettoaufbau an Derbholzbiomasse statt, weil der Zuwachs altersbedingt stagniert. Stammzahlärmere Starkholzbestände mit Vorratsmaximum, Vitalitätsrückgang und beginnender Bestandesauflösung. Zunehmende Mortalität in der Oberschicht. Je nach Fortschritt der Vorratsabnahme geht die Terminalphase in die Zerfallsphase über.
Zerfallsphase	Sehr stammzahlarme, stärker aufgelockerte Starkholz-Restbestände mit raschem Vorratsabbau und beginnender Verjüngung. Hoher Totholzvorrat bei zunehmender vertikaler Strukturierung und größere Bestandeslücken. Falls sich auf dem überwiegenden Teil der Fläche Verjüngung etabliert hat, geht die Zerfallsphase in die Verjüngungsphase über.

des wurde mit Hilfe der Volumenfunktion von Petráš und Pajtk (1991) bestimmt. Stehende Totholzobjekte mit ≥ 20 cm BHD wurden wie lebende Bäume aufgenommen, und die Höhe wurde gemessen. Die Abholzigkeit wurde an liegenden Stämmen von unterschiedlicher Stärke ermittelt, um den oberen Durchmesser der stehenden Objekte zu schätzen. Liegende Totholzobjekte mit mindestens 20 cm Durchmesser (am stärksten Ende) und mehr als 2 m Länge wurden eingemessen und beide Durchmesser aufgenommen. Für alle Totholzobjekte wurde das Holzvolumen mithilfe der Formel zur Berechnung eines geraden Kegelstumpfes bestimmt. Baumstämme des Zersetzungsgrades 4 (nach Müller-Using u. Bartsch 2003) wurden mit Volumenabschlägen versehen.

Ein Verfahren für die Ausscheidung von Waldentwicklungsphasen in Naturwaldreservaten beschreibt Meyer (1999). Die Ausscheidung basiert auf der Veränderung des Derbholzvolumens eines Bestandes zwischen zwei unterschiedlichen Aufnahmezeitpunkten. Für Urwälder wurde das Verfahren von Tabaku (1999) abgewandelt. Es basiert nur auf einer einmaligen Aufnahme. Dieses Verfahren wurde auch in der vorliegenden Untersuchung verwendet. Das Verfahren von Tabaku (1999) gewährleistet einen räumlichen Bezug der waldwachstumskundlichen Parameter. Bei der Auswertung bezieht man sich auf eine Fläche von 12,5 m x 12,5 m (= 156 m²), die etwa der Kronenschirmfläche einer Altbuche entspricht. Als Entscheidungskriterien werden folgende Parameter herangezogen (siehe Abb. 1): maximaler BHD und maximale Baumhöhe auf einem Quadrat, Flächenanteil der Verjüngung auf einem Quadrat, Summe der Kronenschirmflächen der Bäume über 7 cm BHD auf einem Quadrat, Totholzanteil auf einem Quadrat, Durchmesserpektrum aller Bäume auf einem Quadrat (normierter Quartilabstand) und die Entwicklungsstadien der Verjüngungsflächen (Dickung, Gartenholz, Stangenholz).

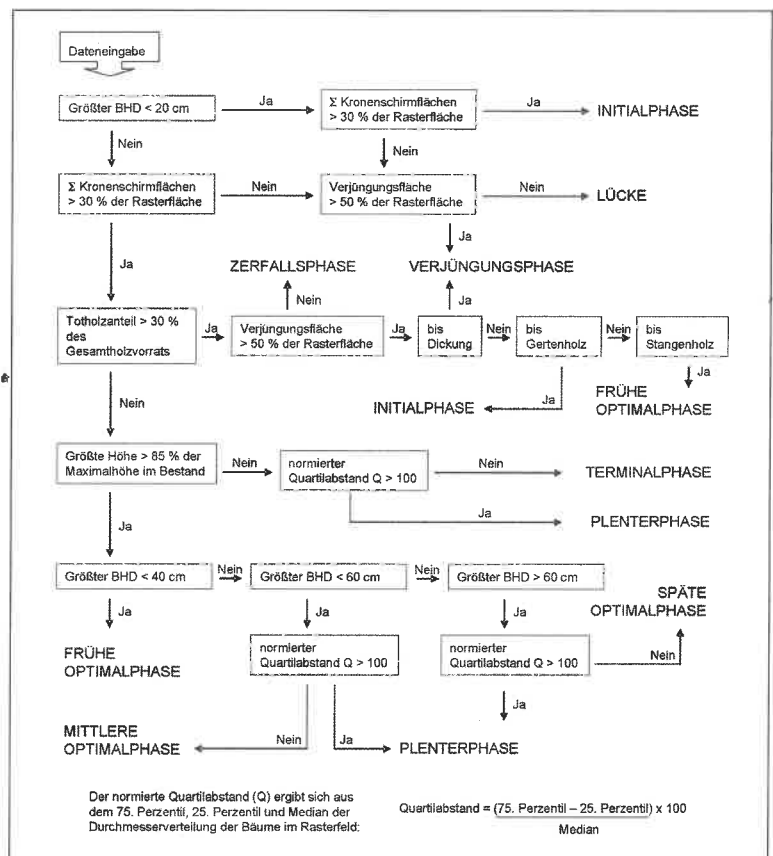


Abb. 1. Flussdiagramm für die Ausscheidung der Waldentwicklungsphasen auf 12,5 m x 12,5 m-Flächen (aus Tabaku 1999).
Algorithm to determine forest development stages on 12,5 m x 12,5 m-squares (by Tabaku 1999).

Im zweiten Teil der Arbeit wird ein Ansatz von Grassiet a2. (2003) weiterverfolgt, der die genaue Lage der einzelnen Bäume und ihre Nachbarschaft stärker berücksichtigt. Er basiert wie die vorigen Verfahren auf Stammverteilungsplänen der Bäume. Neben der Lage der Bäume finden aber nur BHD und Kronenradius Eingang in die Berechnung. In einem ersten Schritt werden die Bäume in BHD-Klassen eingeteilt, die ungefähr den Dimensionen bestimmter Phasen entsprechen. So lassen sich die frühe, mittlere und späte Optimalphase in Bäume von 21-40, 41-60 und 61-100 cm BHD einteilen. Die Initialphase umfasst Bäume von 7-20 cm BHD. Diese Definitionen sind gut mit den Phasen von Meyer (1999) und Tabaku (1999) vergleichbar. Über den Kronenradius der Bäume kann entschieden werden, ob sich die Kronen der Bäume berühren. Ist das der Fall, werden die Bäume als Nachbarn betrachtet (siehe Abb. 2). Die Gruppen benachbarter Bäume einer Durchmesserklasse und die Anzahl der Bäume je Gruppe werden ausgezählt. Das Verfahren wird bei Dröbner und Lüpke (2006a) näher beschrieben.

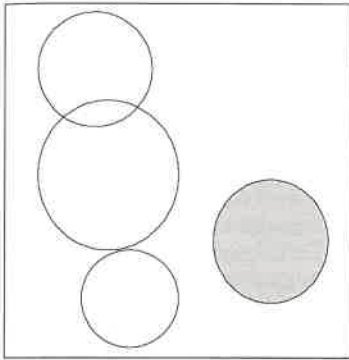


Abb. 2. Definition benachbarter Bäume: Weiß = Nachbar, Grau = kein Nachbar. Neighbourhood trees are defined as trees with crown contact (white = neighbour, gray = no neighbour).

3 Ergebnisse

3.1 Waldentwicklungsphasen nach dem Verfahren von Tabaku (1999)

Die einzelnen Waldentwicklungsphasen besaßen in beiden Reservaten ähnliche Flächenanteile (Tab. 2). Die Plenter- und Terminalphase nahmen zusammen etwa 60 % der Fläche ein. Die Optimalphase nahm in Havešová 17,4 % und in Kyjov 12,2 % ein. Während sich die Anteile der frühen und mittleren Optimalphase ähnelten, wurde die späte Optimalphase in Kyjov nicht ausgewiesen. Der Anteil der beiden jüngsten Phasen war in Kyjov größer. Er betrug in Havešová 4 % und in Kyjov knapp 10 %.

Die Ausscheidung der Waldentwicklungsphasen auf relativ kleinen Rasterflächen (Abb. 3) veranschaulicht für Havešová, dass die älteren und häufigeren Entwicklungsphasen großflächiger auftreten können als die jüngeren und selteneren Phasen. So nahmen einzelne geschlossene Flächen der Terminalphase in 7 Fällen mehr als 1.000 m² ein. Die Zerfallsphase kam in 3 und die Plenterphase in 7 Fällen auf mehr als 600 m² vor. Die begrenzte Probestückgröße kann zu einer Zerschneidung größerer Flächeneinheiten führen. Relativiert man großflächiger auftretende Phasen entsprechend ihren Anteilen an der Waldfläche, zeigte sich für die Plenter- und Terminalphase immer noch eine Tendenz zu größeren Flächen. Die Zerfallsphase kam dagegen mit gleichgroßer Wahrscheinlichkeit auf einzelnen Rasterflächen vor wie die jüngeren Phasen.

Tab. 3 und 4 geben das mittlere Holzvolumen während unterschiedlicher Phasen der Waldentwicklung wieder. Insgesamt betrug das

Tab. 2. Anteile [%] der Waldentwicklungsphasen an der Gesamtfläche der Urwaldreservate, ausgeschieden nach dem Verfahren von Tabaku (1999). Percentage [%] of forest development stages in each reserve (stage definition according to Tabaku 1999).

Waldentwicklungsphase	Havešová [%]	Kyjov [%]
Lücke	1,5	2,8
Verjüngungsphase	2,6	6,8
Initialphase	6,0	4,6
Frühe Optimalphase	8,9	8,2
Mittlere Optimalphase	4,7	4,0
Späte Optimalphase	3,8	0
Plenterphase	27,1	23,8
Terminalphase	29,6	36,6
Zerfallsphase	15,8	13,2

durchschnittliche Holzvolumen in Havešová 720 m³ ha⁻¹. Es wuchs in der mittleren Optimalphase auf 330 m³ ha⁻¹ und betrug während der späten Optimal-, Zerfalls- und Plenterphase rund 1000 m³ ha⁻¹. Das Totholzvolumen betrug im Durchschnitt 130 m³ ha⁻¹. Es stieg während der Zerfalls- und Verjüngungsphase auf mehr als 450 m³ ha⁻¹ an.

In Kyjov betrug das durchschnittliche Holzvolumen der lebenden Bäume 450 m³ ha⁻¹. Während der Plenter- und Terminalphase stieg es auf 640 m³ ha⁻¹ an. Das Totholzvolumen betrug durchschnittlich 110 m³ ha⁻¹. Es war auch hier während der Zerfallsphase und den jüngeren Phasen deutlich höher als in der Optimal- oder Terminalphase.

Die Stammzahl betrug im Durchschnitt 290 Bäume ha⁻¹ in Havešová und 320 Bäume ha⁻¹ in Kyjov. Während in der Lückenphase kaum Bäume vorkamen, war die Dichte in der Plenterphase am höchsten und erreichte fast 400 Bäume ha⁻¹ (Tab. 5). Die Initialphase lag mit etwa 300 Bäumen ha⁻¹ deutlich darunter. Auch die Maximalwerte waren niedriger. Die Überschirmung (hier die Summe der überschirmten Fläche einzelner Bäume) war in der Plenterphase entsprechend hoch und überstieg 250 % der Rasterfläche. Die durchschnittliche Überschirmung betrug in Havešová 210 % und in Kyjov 186 % der Waldfläche über alle Phasen. Die Oberhöhe der Bestände

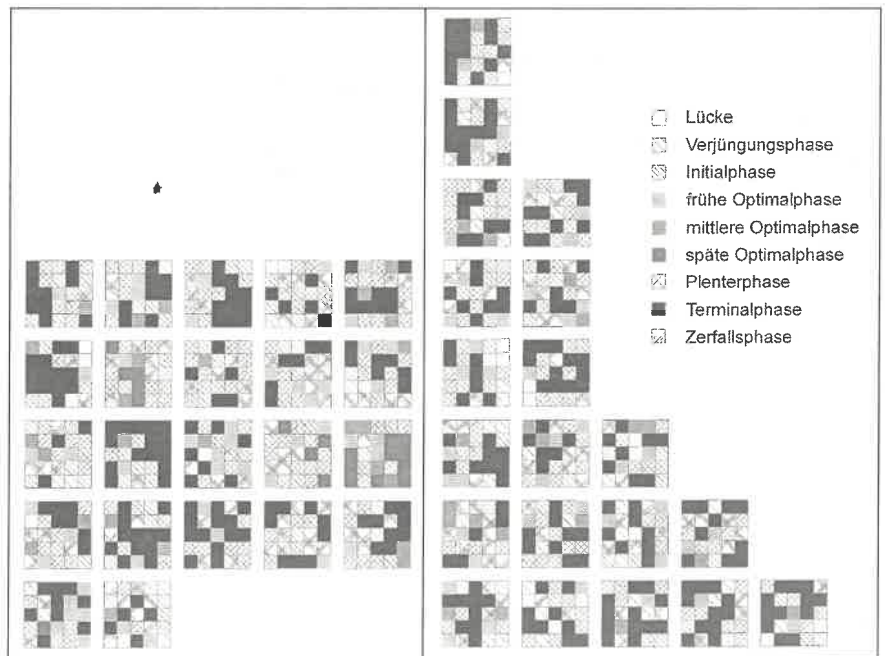


Abb. 3. Ausscheidung der Waldentwicklungsphasen auf 12,5 m x 12,5 m-Flächen für die Urwaldreservate Havešová (links) und Kyjov (rechts). Die einzelnen Probestückflächen sind in Havešová 200 m und in Kyjov 20 m voneinander entfernt.

Forest development stages in Havešová (left) and Kyjov (right) determined on 12.5 m x 12.5 m squares. The distance between sample plots (62.5 m x 62.5 m) is 200 m in Havešová and 20 m in Kyjov.

betrug 45 m in Havešová und 30 m in Kyjov (Drößler u. Lüpke 2005). Die maximale Höhe der Bäume nahm mit Ausnahme der Verjüngungsphase in späteren Phasen zu.

3.2 Die Gruppierung von Bäumen unterschiedlicher Alterstufen

Das Verfahren der Phasenausscheidung von Tabaku (1999) definiert die Initial- und Optimalphase in erster Linie über den BHD der Bäu-

Tab. 3. Statistische Kennwerte des Holzvorrats [$\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$] lebender Bäume und des Totholzvorrates während unterschiedlicher Waldentwicklungsphasen in Havešová. Statistics of timber volume [$\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$] of live trees (leb.) and dead wood volume (tot) in different development stages in Havešová.

Phase		Mittelwert [$\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$]	Standardabweichung [$\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$]	unteres Quartil [$\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$]	oberes Quartil [$\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$]	Fälle
Lücke	leb.	9	11	0	22	8
	tot	131	234	5	124	8
Verjüngungsphase	leb.	305	218	165	422	14
	tot	492	424	263	602	14
Initialphase	leb.	39	61	7	36	34
	tot	200	246	0	349	34
frühe Optimalph.	leb.	214	374	72	152	49
	tot	14	75	0	0	49
mittlere Optimalph.	leb.	334	177	202	452	26
	tot	16	29	0	26	26
späte Optimalph.	leb.	1063	545	676	1330	20
	tot	24	72	0	19	20
Plenterphase	leb.	954	556	564	1261	149
	tot	47	111	0	35	149
Terminalphase	leb.	948	527	546	1251	163
	tot	42	84	0	46	163
Zerfallsphase	leb.	428	422	108	606	87
	tot	447	267	232	595	87

Tab. 4. Statistische Kennwerte des Holzvorrats [$\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$] lebender Bäume und des Totholzvorrates während unterschiedlicher Waldentwicklungsphasen in Kyjov. Statistics of timber volume [$\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$] of live trees (leb.) and dead wood volume (tot) in different development stages in Kyjov.

Phase		Mittelwert [$\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$]	Standardabweichung [$\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$]	unteres Quartil [$\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$]	oberes Quartil [$\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$]	Fälle
Lücke	leb.	7	9	0	13	14
	tot	144	127	26	198	14
Verjüngungsphase	leb.	236	271	38	429	34
	tot	301	188	147	410	34
Initialphase	leb.	25	17	13	32	23
	tot	134	175	0	218	23
frühe Optimalph.	leb.	131	81	77	166	41
	tot	7	20	0	0	41
mittlere Optimalph.	leb.	247	91	173	336	20
	tot	26	33	0	47	20
späte Optimalph.	leb.					0
	tot					0
Plenterphase	leb.	677	317	422	838	119
	tot	21	41	0	19	119
Terminalphase	leb.	607	268	397	755	183
	tot	31	61	0	26	183
Zerfallsphase	leb.	230	187	77	314	66
	tot	318	221	186	397	66

me in einem Rasterfeld (Tab. 1). Die Ausscheidung dieser Phasen lässt sich deshalb gut durch ein zweites Verfahren überprüfen, das einem Ansatz von Grassi et al. (2003) folgt. Dabei werden nur Bäume einer Durchmesserklasse und die Lage dieser Bäume analysiert. Die Nachbarschaft von Bäumen wird untersucht, ohne sich vorher auf Rasterfelder festzulegen. Die Gruppen von Bäumen einer Durchmesserklasse werden ausgeschieden, wenn sich die Kronen der Bäume berühren.

Tabelle 6 zeigt sehr ähnliche Häufigkeiten von unterschiedlich großen Gruppen in beiden Reservaten. Durch das erste Verfahren erkennbare Unterschiede in der Initialphase treten nicht mehr hervor. Die Gruppenhäufigkeiten der späten Optimalphase ähneln sich ebenfalls, obwohl nach dem Verfahren von Tabaku (1999) in Kyjov keine späte Optimalphase ausgeschieden wurde.

4 Diskussion

Die verwendeten Definitionen der Phasen von Tabaku (1999) entsprechen zum großen Teil den Definitionen von Meyer (1999). Die Definitionen der Phasen und die Übergänge bzw. Zusammenhänge zwischen den Phasen nach Leibundgut (1993) stimmen ebenfalls weitgehend überein. Lediglich eine Lückenphase wird von Meyer (1999) und Tabaku (1999) zusätzlich ausgeschieden, wogegen Leibundgut (1959) die Lücken der Zerfallsphase zuordnet. Die Initialphase entspricht der Jungwaldphase und die Terminalphase der Altersphase nach Leibundgut (1959). Korpel' (1995) unterschied die drei Stadien des Heranwachsenden, des Optimums und des Zerfalls. Erstes lässt sich ungefähr mit der Verjüngungs- und Initialphase, Zweites mit der Optimalphase und auch der Plenterphase und Letztes mit der Terminal-, Zerfalls- und Lückenphase vergleichen. Die Plenterphase setzt sich generell aus unterschiedlich alten Bäumen zusammen. Die Plenterphase zeigt, dass die angenommene Bezugsfläche im Wald einen Einfluss auf die Ausscheidung einzelner Phasen haben kann.

Korpel' (1995) gibt für das Reservat Havešová gutachterlich einen Flächenanteil für das Stadium des Heranwachsenden von 50-55 %, für das Optimalstadium von 20-25 % und für das Zerfallsstadium von 25-30 % an. Für Kyjov gibt er etwa 20 % für das Optimalstadium und 45-50 % für das Zerfallsstadium an.

Methodisch sind die in Havešová und Kyjov ermittelten Anteile der Waldentwicklungsphasen am besten mit Ergebnissen aus albanischen Urwäldern vergleichbar. Drei von Tabaku (1999) untersuchte Urwaldbestände in Albanien ergaben für die Lücken- und Verjüngungsphase gleichgroße Anteile wie in Havešová. Die Anteile der Lückenphase schwankten in allen Beständen von 0,8 bis 2,8 %. Die Initialphase nahm in den albanischen Beständen weniger Fläche ein als in den slowakischen. Die mittlere Optimalphase war deutlich stärker vertreten. Eine späte Optimalphase wurde sowohl in Albanien als auch in Kyjov nicht ausgewiesen. Der Anteil der Terminalphase war im Vergleich zu Havešová und Kyjov 50 % höher, der Anteil der Zerfallsphase war dagegen um 50-80 % niedriger.

Wie bereits Tabaku (1999) hervorhob, besteht ein entscheidender Unterschied zu hiebsreifen Wirtschaftswäldern im Vorhandensein und in der Dominanz der Terminalphase sowie einem drei- bis fünfmal geringeren Anteil der Optimalphase. Für weitergehende Vergleiche mit Wirtschaftswäldern und Naturwaldreservaten wird auf die Arbeit von Tabaku (1999) verwiesen. Andere Naturwaldreservate wurden in Niedersachsen von Meyer (1999) untersucht. In einigen Reservaten konnte bereits eine Terminal- oder Zerfallsphase ausgewiesen werden, allerdings nahm ihr

Tab. 5. Statistische Kennwerte der Stammzahl, Maximalhöhe und Summe der Überschirmung während unterschiedlicher Waldentwicklungsphasen in Havěšová und Kyjov.

Statistics of tree number, maximum height and sum of crown cover in different development stages in Havěšová and Kyjov.

Phase	Fälle	Stammzahl			Maximalhöhe		Überschirmung	
		Mittel [N ha ⁻¹]	Stdabw. [N ha ⁻¹]	Max [N ha ⁻¹]	Mittel [m]	Stdabw. [m]	Mittel [%]	Stdabw. [%]
Havešová								
Lücke	8	26	34	64	7,3	10,9	9	12,7
Verjüngungsphase	14	205	118	448	37,5	8,2	132	70,6
Initialphase	34	307	150	768	19,7	4,1	94	44,4
frühe Optimalph.	49	301	129	576	31,5	5,5	126	47,1
mittl. Optimalph.	26	269	144	576	35,3	10,4	157	73,2
späte Optimalph.	20	262	132	576	44,9	2,3	260	97,8
Plenterphase	149	365	116	896	43,9	2,4	284	86,1
Terminalphase	163	250	131	1088	43,7	2,2	243	100,1
Zerfallsphase	87	275	141	640	37,3	5,8	152	74,3
Kyjov								
Lücke	14	38	49	128	7,5	9,2	11	13,0
Verjüngungsphase	34	224	165	640	22,7	9,6	115	85,6
Initialphase	23	262	101	512	17,0	1,6	66	27,7
frühe Optimalph.	41	390	188	896	23,3	1,9	138	64,2
mittl. Optimalph.	20	333	146	576	26,7	0,5	161	60,9
späte Optimalph.	0							
Plenterphase	119	397	122	768	30,7	1,9	254	77,9
Terminalphase	183	301	171	896	30,9	1,7	215	73,8
Zerfallsphase	66	307	156	768	25,7	3,7	138	55,4

Flächenanteil nur wenige Prozente ein. Der Anteil der Optimalphase lag in den meisten Reservaten bei 90%. Im Vergleich zu einem Anteil der Optimalphase von 15% im Urwald kann man später stärkere Anteile der Terminal- und Zerfallsphase erwarten. Allerdings sind die Buchen in diesen Reservaten maximal 170 Jahre alt und können noch weitere 100 Jahre leben. Schätzungen zur Dauer eines Waldzyklus (*turnover time*) in Buchenwäldern bewegen sich zwischen 220-250 (Korpel' 1967, 1995) und 250-300 Jahren (Chernyavskyy 2005). Im Reservat Suserov Skov in Dänemark, das sich aus gleich alten Bäumen zusammensetzt, errechneten Emborg et al. (2000) eine Dauer von 284 Jahren. Großflächigere Auflösungserscheinungen sind mit zunehmendem Alter in den Naturwaldreservaten möglich. So zeigt das Naturwaldreservat Heilige Hallen mit einem 250-jährigen Bestand einen Anteil der Lückenphase von 26,5% (Tabaku 1999). Von anderen Reservaten in Deutschland (120-160 Jahre alte Bestände) wird dagegen über eine Neubildung von Lücken auf nur 0,15% der Fläche im Jahr berichtet (Richter 1990). Die geringe Lückenneubildung beruht vermutlich auf der zu erwartenden größeren Vitalität der vergleichsweise jungen Bäume. In den slowakischen Buchenurwäldern liegt die Lückenbildungsrate bei ungefähr 0,4% im Jahr (Dröblier u. Lüpke 2005). Mit abnehmender Vitalität der Bäume ist in den deutschen Naturwaldreservaten ebenfalls eine verstärkte Lückenbildung zu erwarten.

Zwei Beispiele für (Fichten-)Tannen-Buchen-Urwälder mit Flächenanteilen der Waldentwicklungsphasen gibt Neumann (1979) für das Reservat Rothwald in Österreich und Čorkova Uvala in Kroatien: Die Verjüngungsphase nahm im Rothwald 38% der Fläche ein, während sie in Čorkova Uvala 4% (im Rahmen von Havešová und Kyjov) einnahm. Während sich die Anteile der Initial- und Zerfallsphase im Rothwald und Čorkova Uvala ähneln (3 u. 4% bzw. 10 u. 15%), weisen die Optimal- und Terminalphase deutlich geringere Anteile im Rothwald auf als in Čorkova Uvala. Diese Verteilung der Phasenanteile kann möglicherweise durch größere Störungen in der Vergangenheit im Rothwald verursacht worden sein. Ein direkter Vergleich der beiden Reservate mit Havešová und Kyjov ist schwierig, da die Phasen unterschiedlich definiert wurden. So wies Neumann (1979) eine Regenerationsphase aus, verzichtete aber auf eine Lückenphase. Die Regenerationsphase entspricht weder der Lückenphase noch der Verjüngungsphase nach unserer verwendeten Definition, sondern ist zwischen Terminal- und Zerfallsphase einzuordnen.

Der Aufbau des Holzvorrats verlief in Havešová und Kyjov ähnlich wie in albanischen Buchen-Urwäldern (Tabaku 1999). Er lag in der Lückenphase nahezu bei Null und erreicht sein Maximum in der Plenterphase oder späten Optimalphase. Der maximale Holzvorrat betrug dann je nach Höhenwachstum der Bäume 650 bis 1100 m³ ha⁻¹. Das Totholzvolumen war in allen Urwaldbeständen während der Zerfalls-, Lücken-, Verjüngungs- und Initialphase am höchsten. Es betrug während der Zerfalls- und Verjüngungsphase 400 m³ ha⁻¹. In der Optimal-, Plenter- und Terminalphase lag es unter 50 m³ ha⁻¹.

Ähnlich Werte ergaben sich jeweils für die Holz- und Totholzvorräte in der Zerfalls- und Verjüngungsphase. Während die Ausscheidungskriterien nach Tabaku (1999) eine klare Zweiteilung der Phasen vornahm, gingen diese in Wirklichkeit oft fließend ineinander über.

Das Verfahren von Tabaku (1999) unterscheidet die Phasen anhand einfach abzuleitender Hilfsindikatoren. Sie entsprechen Werten, die zum Teil von Korpel' (1995) für bestimmte Entwicklungsphasen abgeleitet worden sind. Einen Kritikpunkt an diesem Ausscheidungsverfahren stellen die maximalen Durchmesser als Schwellenwerte für die Optimalphasen und der Totholzanteil als Kriterium für die Zerfallsphase dar. Die Vorräte dieser Phasen können deshalb bestimmte Werte nicht unterschreiten.

Die Stammzahl erreichte in den verschiedenen Buchenurwäldern sehr ähnliche Werte. Sie stieg von ungefähr 30 Bäumen ha⁻¹ in der Lückenphase auf knapp 400 Bäume ha⁻¹ in der frühen Optimalphase an. In der Plenterphase standen ebenfalls 400 Bäume auf einem Hektar, während sich die Zahl in der Zerfallsphase wieder auf maximal 300 Bäume ha⁻¹ verringerte. Die relative Entwicklung der Maximalhöhen verlief ebenfalls identisch. Bis auf die Verjüngungsphase, in der auch noch sehr hohe Bäume vorkamen, stieg die Höhe in albanischen Reservaten ab der Lückenphase kontinuierlich an und erreichte ihr Maximum in der Plenterphase. Die Summe der Überschirmung erreichte ihr Maximum in der Plenterphase mit durchschnittlich 290%. Über alle Phasen gemittelt lag die Summe der Überschirmung in den albanischen Reservaten bei 207 bis 266% (Tabaku 1999).

Als Fazit aus dem Vergleich der 5 Urwaldbestände in der Slowakei und in Albanien ergab sich, dass die ausgeschiedenen Phasen den Zustand der unterschiedlich fortgeschrittenen Waldentwicklung gut und plausibel wiedergeben konnten und sich die Ergebnisse leicht zusammenfassen lassen. Die Phasenausscheidung war sogar in der

Tab. 6. Häufigkeiten von Gruppen benachbarter Bäumen in verschiedenen Durchmesserklassen in Havěšová und Kyjov, hochgerechnet auf 10 ha. Gruppierungskriterium ist Kronenkontakt der Bäume.

Frequencies of tree groups in different dbh classes/development stages in Havěšová and Kyjov, listed in order to the number of trees per group. Grouping criterion is crown contact of trees.

Anzahl der Bäume je Gruppe	Durchmesserklasse/Entwicklungsphase							
	7-20 cm Initial- phase		21-40 cm frühe Optimalphase		41-60 cm mittlere Optimalphase		61-100 cm späte Optimalphase	
	Havěšová	Kyjov	Havěšová	Kyjov	Havěšová	Kyjov	Havěšová	Kyjov
1	230,4	268,8	173,4	158,7	101,2	99,8	41,9	57,6
2	96,6	93,4	67,5	65,3	25,6	25,6	15,1	24,3
3	40,7	53,8	18,6	24,3	18,6	12,8	5,8	10,2
4	20,9	34,6	14,0	11,5	7,0	15,4	7,0	3,8
5	20,9	16,6	4,7	9,0	3,5	7,7	5,8	2,6
6	10,5	9,0	3,5	3,8	3,5		2,3	2,6
7	10,5	7,7	2,3	2,6	1,2	5,1	4,7	1,3
8	7,0	7,7		2,6	1,2		4,7	3,8
9	4,7	11,5	1,2	1,3			2,3	2,6
10	2,3	6,4	1,2	1,3	1,2	2,6		1,3
11	3,5	5,1		1,3	1,2	1,3	2,3	1,3
12	1,2	3,8	1,2		1,2		2,3	
13	2,3	2,6						1,3
14	1,2	1,3		1,3			1,2	1,3
15	1,2	1,3		1,3				1,3
16		2,6		1,3			1,2	
17	1,2	2,6						
18		2,6						
19	1,2			1,3			1,2	1,3
20	1,2	1,3						1,3
21	1,2	1,3					1,2	
22								1,3
23	1,2							
24								
25		1,3						
26								
27		1,3						
28	1,2	1,3			1,2			
29	1,2							
30		1,3						
31								
32								
33								
34	1,2							
35			*					
36								
37								
38	1,2	1,3						
39								
40								
41		1,3						
42	1,2							
47	1,2							
64	1,2							
67	1,2							
Anzahl der Bäume je Durchmesserklasse:	1.590,7	1.795,8	516,7	634,9	363,1	364,8	386,3	401,9

Lage, die im Urwald Kyjov vor 2-3 Jahrzehnten aufgetretenen stärkeren Störungen anzuzeigen, die sich auch in der Durchmesservertelung des Bestandes widerspiegeln (Dröbler u. Lüpke 2006a).

Beträchtliche Unterschiede traten dagegen im Vergleich des Anteils der Lückenphase mit dem tatsächlichen Anteil der Lücken auf. Dem geringen Anteil der Lückenphase von etwa 2 % stehen Ergebnisse einer Lückeninventur in Havěšová und Kyjov entgegen (Dröbler und Lüpke 2005). Bestandeslücken, die keine Bäume mit

einem BHD ≥ 7 cm aufweisen, wurden direkt angesprochen und erreichen einen Anteil von 7 bzw. 8 % an der Waldfläche. Erklären lassen sich die unterschiedlichen Ergebnisse durch den hohen Anteil an Mehrfachüberschirmungen im Bestand. Das Verfahren nach Tabaku (1999) summiert für jedes Rasterfeld die Überschirmung durch jeden Baum auf. Die durchschnittliche Überschirmung beträgt etwa 200 %. Wir nehmen an, dass der Lückenanteil dadurch um mehr als die Hälfte unterschätzt wurde. Ein anderer Grund für die unterschiedlichen

Ergebnisse liegt an dem großen Anteil sehr kleiner Lücken. Nimmt die überschirmungsfreie Fläche auf einem Rasterfeld mehr als 30 % des Rasterfeldes (47 m²) ein, würde keine Lücke ausgeschieden, weil die Summe der Überschirmung auf der restlichen Fläche des Rasterfeldes im Durchschnitt weit über 70 % beträgt. Tatsächlich müsste die Lücke größer als 120 m² sein, damit die durchschnittliche Summe der Überschirmung eines Rasterfeldes weniger als 70 % beträgt. Lücken unter 120 m² Größe nehmen in den slowakischen Urwäldern bis zu 1/5 der Lückenfläche ein. Um die Schätzung zu verbessern, müsste die einfach überschirmte Fläche berechnet werden. Das Ziel der Untersuchungen von Tabaku (1999) war aber nicht die Herleitung des genauen Lückenanteils, sondern die kleinflächige Charakterisierung der Bestandestextur über den gesamten Entwicklungszyklus mit dem Strandraum einer Altbuche als Mosaikbaustein. Die Ergebnisse unserer Untersuchung zeigen, dass Lückenanteile aus den verwendeten Hilfsindikatoren nicht abzuleiten sind.

Die Phasenausscheidung auf der Grundlage von Maximalwerten (maximaler BHD und maximale Höhe) führt dazu, dass kleinere Bäume älteren Phasen zugeordnet werden können. So setzt sich die Plenterphase aus kleinen und großen Bäumen zusammen. Bei der schwer überschaubaren Anordnung unterschiedlich starker Bäume im Urwald kann man aber auch den Standpunkt vertreten, dass der einzelne Baum die grundlegende Einheit für die Ausscheidung von Waldentwicklungsphasen darstellt. Grassi et al. (2003) haben aus diesem Standpunkt heraus eine Phasenausscheidung für bewirtschaftete ungleichaltrige Nadelbaumbestände entwickelt. In Abhängigkeit von der Höhe der Bäume weisen sie anhand der überschirmten Fläche Entwicklungsphasen aus. Dieser Ansatz wurde auch mit der Gruppierung von Bäumen ähnlicher Größe verfolgt. Tabelle 6 demonstriert, dass Bäume einer bestimmten Durchmesserklasse am häufigsten einzeln vorkamen und dass die Anzahl der Gruppen mit zunehmender Gruppengröße exponentiell abnahm. Ein Baum der Durchmesserklasse 7-20 cm hatte durchschnittlich weniger als 25 m² Kronenschirmfläche. Ein Baum der Klasse 21-40 cm hatte durchschnittlich weniger als 50 m². Dröbner und Lüpke (2006a) sehen in der exponentiellen Häufigkeitsverteilung der Baumgruppen ein wichtiges Merkmal des Bestandesaufbaus ungleichaltriger Wälder. Einzelne stehende Bäume einer Klasse dominierten auch unabhängig von verschiedenen Klasseneinteilungen.

Eine Schlüsselrolle bei der Waldentwicklung kommt den Bestandeslücken zu (Runkle 1985). Ihre Größe stellt die Fläche für einen neu beginnenden Waldzyklus dar. Wie Dröbner und Lüpke (2005) zeigen konnten, dominieren im Buchenurwald kleine Lücken, während die Anzahl der Lücken mit zunehmender Größe exponentiell stark abnimmt. Neben der Möglichkeit, dass sich benachbarte Randbäume auf die Lücken ausdehnen, werden auch junge Bäume in den Lücken aufwachsen. Dabei kommt es zu Überlappungen der Kronen, wie die Summe der Kronenschirmflächen von 189-266 % zeigt. Grassi et al. (2003) hatten ebenfalls Baumkronen kartiert und stellten eine Überlagerung jüngerer Phasen durch ältere fest.

Die einzelbaumweise Betrachtung ermöglicht detaillierte Aussagen über die Entwicklung der lebenden Bäume und über die Flächengröße der Initial- und Optimalphase, während die Phasenausscheidungen nach Tabaku (1999) und Meyer (1999) die gesamte Waldentwicklung (inklusive Totholz und Verjüngung) erfasst. Letztere definieren die Phasen zum Teil durch die größten Bäume auf einer Rasterfläche. Unter den Kronen dieser Bäume befinden sich oft andere Bäume, die, für sich betrachtet, die Verjüngungsphase durchlaufen oder bereits durchlaufen haben. Beim Ableben eines sehr großen Baumes wäre dadurch auch der unmittelbare Übergang zur Initial- oder Optimalphase möglich. Ein Nachteil der neu vorgestellten Methode der einzelbaumweisen Betrachtung ist die fehlende Berücksichtigung des Totholzes, womit die späten Phasen nicht erfasst werden können.

Beide Methoden der Bestandesanalyse ergänzen sich aber und können gegenseitig Schwächen erkennen lassen. Beide Methoden werden als wichtige Instrumente angesehen, um die Entwicklung des Waldaufbaus in Naturwäldern auf einer objektiven Grundlage zu beschreiben.

Danksagung

Wir danken der Technischen Universität Zvolen, namentlich Prof. Milan Saniga und Dr. Peter Jaloviar, für die sehr gute Unterstützung. Besondere Achtung gilt der durch Prof. Štefan Korpel' vor 50 Jahren begonnenen Arbeit zur Erforschung der Urwaldreservate in der Slowakei, deren Ergebnisse heute von vielen genutzt werden.

Literatur

- Chernyavskyy, M. 2005. The dynamics of virgin beech forests in the Ukrainian Carpathians. In: Hamor, F.D. and Commarmot, B. (eds.) Natural forests in the temperate zone of Europe – Values and utilisation. International conference in Mukachevo, Ukraine. October 13-17, 2003. Rakhiv, Carpathian biosphere Reserve; Birmensdorf, Swiss Federal Research Institute WSL
- Dröbner, L., Lüpke, B. v. 2005. Canopy gaps in two virgin beech forest reserves in Slovakia. *Journal of Forest Science* 51, 446-457
- Dröbner, L., Lüpke, B. v. 2006a. Stand structure in virgin and managed beech forests. *European Journal of Forest Science* (in press)
- Dröbner, L., Lüpke, B. v. 2006b. Verjüngung, Wachstumsfaktoren und Holzvorrat in zwei slowakischen Buchenurwald-Reservaten. *Allg. Forst- u. Jagdztg.* (im Druck)
- Emborg, J., Christensen, M., Heilmann-Clausen, J. 2000. The structural dynamics of Suserov Skov, a near-natural temperate deciduous forest in Denmark. *For. Ecol. Manage.* 126, 173-189
- Grassi, G., Minotta, G., Giannini, R., Bagnaresi, U. 2003. The structural dynamics of managed uneven-aged conifer stands in the Italian eastern Alps. *For. Ecol. Manage.* 185, 225-237
- Knapp, H.D., Jeschke, L. 1991. Naturwaldreservate und Naturwaldforschung in den ostdeutschen Bundesländern. *Schriftenr. Vegetationskunde* 21, 21-54
- Korpel', Š. (1967): Vývoj a veková štruktúra bukoveho pralesa na vihorlate. *Biologia* 22(4) 285-303 [Slowakisch]
- Korpel', Š. 1995. Die Urwälder der Westkarpaten. G. Fischer, Stuttgart
- Leibundgut, H. 1959. Über Zweck und Methodik der Struktur- und Zuwachsanalyse von Urwäldern. *Schweiz. Z. Forstwes.* 110, 111-124
- Leibundgut, H. 1993. Europäische Urwälder. Haupt, Bern
- Meyer, P. 1999. Bestimmung der Waldentwicklungsphasen und der Texturdiversität in Naturwäldern. *Allg. Forst- u. Jagdztg.* 170, 203-211
- Müller-Using, S., Bartsch, N. 2003. Totholzdynamik eines Buchenbestandes (*Fagus sylvatica* L.) im Solling. *Allg. Forst- u. Jagdztg.* 174, 122-130
- Neumann, M. 1979. Bestandesstruktur und Entwicklungsdynamik im Urwald Rothwald/NÖ und im Urwald Čorkova Uvala/Kroatien. *Diss. Univ. f. Bodenkultur, Wien*
- Petráš, R., Pajčík, J. 1991. Sústava Česko-slovenských objemových tabuliek drevín. *Lesnícky časopis*, 37 49-56 [Slowakisch]
- Runkle, J.R. 1985. Disturbance regimes in temperate forests. In: Pickett, S.T.A. and White, P.S. (eds.) *The ecology of natural disturbance and patch dynamics*, Academic press, Orlando, 17-33
- Tabaku, V. 1999. Struktur von Buchen-Urwäldern in Albanien im Vergleich mit deutschen Buchen-Naturwaldreservaten und -Wirtschaftswäldern. *Diss. Univ. Göttingen*