

## Verjüngung und Mortalität in ungleichförmigen Beständen

### Dauerwälder, Plenterwälder, Gebirgsplenterwälder

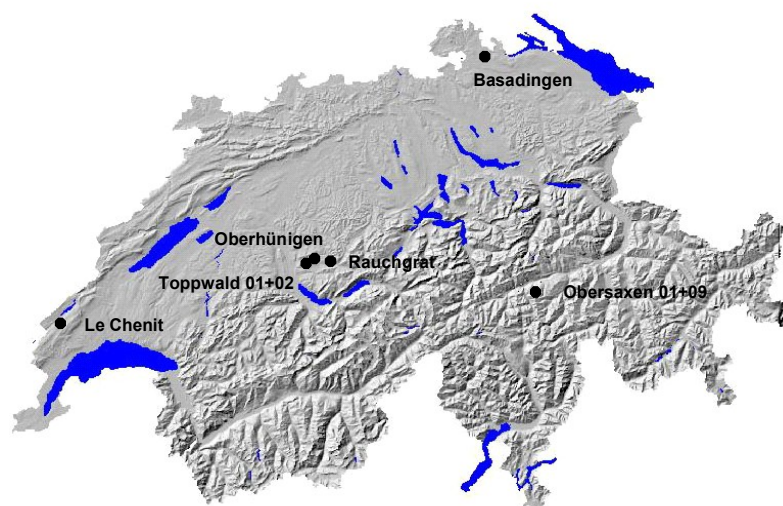
Hansheinrich Bachofen, WSL CH 8093 Birmensdorf

#### Abstract

Die Stammzahlen im Jungwuchs sehr unterschiedlicher, gut aufgebauter ungleichförmiger Bestände nehmen mit zunehmender Baumhöhe rasch ab. Die Stammzahlverteilungskurven in den untersuchten Beispielen liegen im Allgemeinen umso höher, das heisst die Anzahl Bäume pro Höhenklasse ist umso grösser, je produktiver der Bestand ist. Mit den erhobenen Daten lassen sich Bandbreiten für die Stammzahlen bestimmen, die für die dauerhafte Erhaltung des Nachwuchses in ungleichförmigen Beständen auf unterschiedlichen Standorten erforderlich sind. Mit Modellüberlegungen wird ausserdem gezeigt, dass in Plenterbeständen nahe eines Plentergleichgewichts, die langfristige, durchschnittliche Mortalität im Jungwuchs auf den besseren Standorten deutlich grösser sein muss als auf schlechteren.

#### Einleitung und Problemstellung

Ohne ausreichende, gut verteilte, überlebensfähige Verjüngung verschlechtert sich die Struktur stufig aufgebauter, ungleichaltriger Bestände (Plenterwälder, Gebirgsplenterwälder, Dauerwälder) mit der Zeit. Die Bestände können instabil werden. In Schutzwäldern kann das bedeuten, dass der Schutz gegen Naturgefahren langfristig nicht mehr gewährleistet ist (BACHOFEN & ZINGG 1999, 2005). Heute fehlen zuverlässige Methoden, um abzuschätzen, ob die Verjüngung in solchen Beständen genügt oder nicht (BRANG & DUC 2002).



**Abbildung 1:** Die untersuchten Plenterversuchsflächen und die Vergleichsfläche Oberhünigen

Das Prinzip der Plenterung und auch das Plentergleichgewicht und seine Spannweite sind weitgehend untersucht (PRODAN 1949; SCHÜTZ 2001). Zur Verjüngung von Plenterwäldern gibt es bisher nur recht wenige Untersuchungen (DUC 1991, 2002; HASENAUER 2002) obwohl langjährige Datenreihen ungleichaltriger Bestände auf verschiedenen Standorten verfügbar sind (BACHOFEN 1999; ZINGG & DUC 1998). Ein Grund dafür ist die meist angewandte Kluppschwelle von 8 cm. Je höher sie angesetzt ist, desto später werden zahlenmässige Hinweise auf einen Mangel an Nachwuchs sichtbar (SCHÜTZ 2001). Die Stammzahl im Plentergleichgewicht nimmt im kluppierten Bestand annähernd negativ exponentiell ab. Im Jungwuchs, unterhalb der Kluppschwelle folgt die Stammzahl nach Höhenklassen einer immer steiler werdenden umgekehrt J-förmigen Kurve (reverse J-shaped diameter distribution; WESTPHAL W. et al. 2006). Ziel der hier vorgestellten Studie ist es, mit Daten aus Jungwuchserhebungen verschiedener Versuchsflächen (Fallstudien), den Verjüngungszustand in gut aufgebauten ungleichförmigen Beständen auf verschiedenen Standorten darzustellen und daraus mögliche Bandbreiten beziehungsweise Bereiche für Sollwerte einer minimal notwendigen Verjüngung in anderen ungleichaltrigen, ungleichförmigen Beständen abzuleiten. Solche Sollwerte können für die nachhaltige Bewirtschaftung von ungleichaltrigen Gebirgswäldern mit Schutzfunktion entscheidend sein.

#### Material und Methoden

Die untersuchten Bestände Le Chenit, Obersaxen, Toppwald und Schallenberg-Rauchgrat werden seit Jahrzehnten als Plenterwälder bewirtschaftet. Basadingen, eine ehemalige Mittelwaldfläche mit einem hohen Nadelholzanteil,

wird ebenfalls seit Jahrzehnten mit plenterartigen Durchforstungen als Dauerwald behandelt. Alle diese Flächen sind gut aufgebaut. Die Fläche Oberhünigen war bis 1985 eine geschlossene, gleichaltrige, homogene Vergleichsfläche zur Plenterfläche Toppwald, seither wird sie in Plenterwald überführt (Abbildung 1; Tabelle 1).

**Tabelle 1:** Charakterisierung der untersuchten Bestände

Fläche	erste Aufnahme	Bestand*	Verjüngung *
Le Chenit 21-294	1926	Plenterbestand. Seit 1926 wird das Laubholz „zur Bodenverbesserung“ geschont. Die Tanne ist im Allgemeinen qualitativ schlecht und wenig vital, wird aber ebenfalls womöglich geschont, „da sich im Bereich der Tannen gerne Fichtenverjüngung einstellt“.	Die Verjüngung war seit Beobachtungsbeginn knapp. Die Plenterstruktur hat sich trotzdem erhalten können, die Befürchtungen in Bezug auf den Jungwuchs scheinen entweder nicht berechtigt gewesen zu sein oder dann haben gerade sie dazu geführt, dass der Verjüngung immer das besondere, notwendige Augenmerk geschenkt wurde.
Obersaxen 01 21-310.01	2006	Der Bestand wurde bisher als Gebirgsplenterwald bewirtschaftet. Der letzte Eingriff fand vor ca. 25 Jahren statt, daher war der Vorrat zur Zeit der Aufnahme so hoch.	Die Verjüngung wird heute als knapp ausreichend beurteilt, die Wildschäden gerade noch als tragbar. Durch den starken, neuen Eingriff in der Fläche 01 werden vor allem auch bereits vorhandene Verjüngungsansätze gefördert.
Obersaxen 09 21-310.09	2005	Vergleichsbestand zur Fläche 01 „ohne Behandlung“. Letzter Eingriff ca. 1980.	Die Verjüngung wird als knapp ausreichend beurteilt. Es wird interessant sein zu verfolgen, wie sie sich in diesem Bestand „ohne Behandlung“ weiterentwickelt.
Toppwald 01 01-015.01	1906	Vorratsreicher Plenterbestand. Durch langsamen Vorratsabbau bis auf ca. 400 m <sup>3</sup> /ha und durch Förderung der Mittelschicht, soll die Struktur wieder verbessert werden	Um 1940 erfolgte eine Mischungsregulierung zur Förderung der <i>Fichte</i> . Schütz* beurteilt die Verjüngung 1977 als genügend. Die <i>Tanne</i> müsse aber gefördert werden, wenn sie nicht langsam verloren gehen soll.
Toppwald 02 01-015.02	1906	Plenterbestand wie Fläche 01. Hier wird wie in der Fläche 01 seit 1977 der etwas zu hohe Vorrat langsam abgebaut und die untervertretere Mittelschicht gefördert.	Seit 1977 vorsichtige Förderung von neuen Verjüngungsgruppen. Kahle Stellen wurden ausgepflanzt.
Schallenberg Rauchgrat 02-047	1931	Plenterbestand der seit etwa 1900 planmässig bewirtschaftet wird. Schon seit 1951 aber auch 1987 wurde diese Fläche als beste, nahezu ideal aufgebaute Plenterversuchsfläche beurteilt. Die Tanne ist hier im Optimum.	Zu Beginn der Beobachtungen wurde die Fichte noch künstlich eingebracht und gefördert!. Erst ab etwa 1995 scheint die Verjüngung unter 1,30 m Baumhöhe stellenweise etwas zu spärlich zu sein. Vor allem die Tanne muss z. T. einzeln geschützt werden damit sie überleben kann.
Basadingen 02-048	2001	Ehemaliger Mittelwald, der seit ca. 1938 mit plenterartigen Durchforstungen bewirtschaftet wird.	Fast ausschliesslich Naturverjüngung. Nur in grösseren Lücken werden seit rund 15 Jahren je drei bis fünf seltenere Bäume wie Kirsche, Eibe oder Nussbaum eingebracht. Das Hauptproblem ist der hohe Wildverbiss.
Oberhünigen 01-021	1912	Der Bestand ist aus einer Aufforstung nach Kahlschlag hervorgegangen. Seit 1995 wird er langsam zu Plenterwald überführt.	Sobald etwas mehr Licht auf den Boden gelangt, stellt sich neben der Tannen- spontan auch Fichtenverjüngung ein. Das Wild ist aber nach wie vor ein Problem.

\*Aus den Bestandesbeschreibungen im Archiv der Forschungseinheit Walddynamik der WSL

Wie unterschiedlich die untersuchten ungleichförmigen Bestände sind, wird aus Tabelle 2 ersichtlich. Neben den wichtigsten Daten für den verbleibenden Bestand sind auch Angaben über die letzte Nutzung und über den Zuwachs aufgeführt.

In jeder Fläche wurde die Verjüngung in einem quadratischen Netz mit zweistufigen Stichproben aufgenommen (Tabelle 3). Die Maschenweite wurde so gewählt, dass in jede Fläche mindestens 30 Stichprobenflächen fielen. Um die Flächenzentren wurden in Kreisen von 2,52 m Radius (= 20 m<sup>2</sup> Fläche) alle Bäume  $\geq 20$  cm Höhe und  $< 8$  cm  $d_{1,3}$  einzeln mit der Höhe in Zentimetern und  $d_{1,3}$  in Millimetern aufgenommen (BRANG & KULL 1999). Die Bäume mit  $d_{1,3} \geq 8$  cm sind flächendeckend erfasst und situiert (BACHOFEN & ZINGG 2001). In einem innerhalb des Kreises gelegten Quadrat von 1 x 1 m Seitenlänge, wurden zusätzlich alle Bäume erfasst, die mindestens ein Jahr alt und kleiner als 20 cm waren (BACHOFEN 2002). Auf jeder Stichprobe wurde mit dem Horizontoskop (Sonnenkompass) die direkte potentielle Sonneneinstrahlung (Stunden pro Tag im Juni) auf den Boden geschätzt (THORMANN, 1997). Die Messpunkte liegen auf den Stichprobenkreisperipherien, genau 2,52 m bergseits der Stichprobenzentren. In Basadingen wurde die Strahlung nicht erhoben. Zum Vergleich und zum Ausloten der möglichen Bandbreite der Verjüngung in ungleichförmigen Beständen dienen die Fläche Basadingen, ein Dauerwald und die Überführungsfläche Oberhünigen, ein bis 1985 gleichförmiger, einschichtiger Baumholzbestand aus Fichte (*Picea abies* (L.) Karst.) und Tanne (*Abies alba* Mill.).

Alle untersuchten Jungwüchse in Plenterversuchsflächen zeigen ohne Ausnahme eine typische, umgekehrt J-förmige Stammzahlverteilung (reverse J-shape distribution), die viel steiler verläuft als die umgekehrt exponentielle Kurve der kluppierten Bäume  $> 8,0$  cm  $d_{1,3}$  (BACHOFEN 1999). Das deutet darauf hin, dass in allen Flächen ähnliche

Mechanismen für die Stammzahlabnahme (Mortalität) mit der Baumhöhe gelten, wie im kluppierten Bestand für die Stammzahlabnahme mit dem  $d_{1,3}$  (Abbildung 2).

**Tabelle 2:** Bestandesdaten (Hektarwerte der letzten Aufnahmen)

Versuchsfläche			Le Chenit	Ober- saxen 01	Ober- saxen 09	Topp- wald 01	Topp- wald 02	Rauch- grat	Basa- dingen	Ober- hünigen
Verbleibender Bestand										
Parameter	Symbol	Dimension								
Jahr	T	a	2004	2004	folgt 07	2001	2001	2003	2003	2001
Stammzahl	N ha <sup>-1</sup>	N	460	461	folgt 07	539	300	428	353	422
Oberhöhe (100 dickste Bäume/ha)	h <sub>dom</sub>	m	22	31	folgt 07	31	31	33	28	39
Oberdurchmesser	d <sub>dom</sub>	cm	40	50	folgt 07	49	47	52	41	61
Schlankheitsgrad	h/d <sub>dom</sub>	---	55	63	folgt 07	63	66	63	69	63
Höhe des Grundflächenmittelstammes	h <sub>g</sub>	m	17	22	folgt 07	23	25	23	26	30
Durchmesser des Grundflächenmittelstammes	d <sub>g</sub>	cm	25,7	29,2	folgt 07	28,5	33,6	29,3	28,4	36,6
Höhe/Durchmesser des Grundflächenmittelstammes	h/d <sub>g</sub>	---	67	75	folgt 07	81	74	78	92	82
Grundfläche des Bestandes	G	m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>	23,9	30,9	folgt 07	34,3	26,6	28,9	22,3	44,4
Derbholzvolumen	V <sub>7</sub>	m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	237	379	ca. 680	437	345	380	292	578
Nutzung (ausscheidender Bestand)										
Stammzahl/ha	N <sub>E</sub>	N ha <sup>-1</sup>	61	130	0	53	43	64	86	80
Höhe des Grundflächen-mittelstammes	h <sub>gE</sub>	m	23	30	---	29	30	30	26	30
Durchmesser des Grundflächenmittelstammes	d <sub>gE</sub>	cm	34,5	47,1	---	42,2	45,8	40,6	32	40,2
Höhe/Durchmesser des Grundflächenmittelstammes	h/d <sub>gE</sub>	---	66	64	---	68	66	73	82	74
Grundfläche/ha des Bestandes	G <sub>E</sub>	m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>	6,9	22,7	---	9,3	8,3	9,8	7,1	12,5
Derbholzvolumen (Durchmesser ≥ 7cm) ha <sup>-1</sup> des Bestandes	V <sub>7E</sub>	m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	78	315	---	131	115	140	98	167
Zuwachs										
Grundflächenzuwachs	I <sub>G</sub>	m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	0,47	ca. 0,52*	ca. 0,52*	1,05	0,69	0,97	0,75	0,68
Zuwachs an Derbholz-volumen (Durchmesser ≥ 7cm) ha <sup>-1</sup> des Bestandes	I <sub>V7</sub>	m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	5,4	ca. 6,0*	ca. 6,0*	14,5	9,4	13,4	11,2	8,9

Symbole nach SOEST et. al. (1959) \* erst eine Aufnahme gemacht

**Tabelle 3:** Die Stichprobenaufnahmen der Verjüngung in den untersuchten Plenterwaldflächen. Zum Vergleich die Dauerwaldfläche Basadingen und die Überführungsfläche Oberhünigen

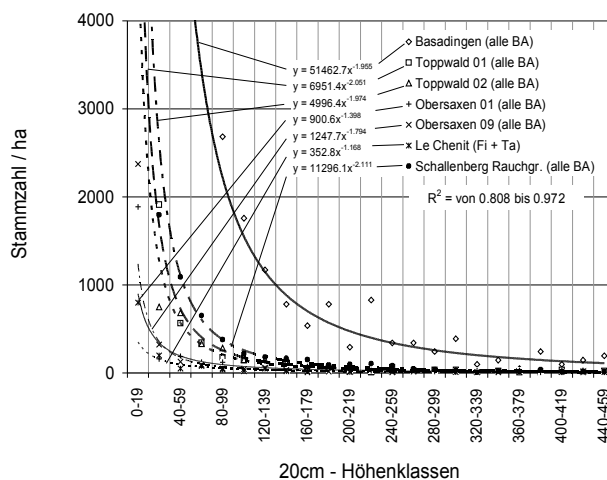
Fläche	Waldgesellschaft/Bestand	Höhe über Meer [m]	Vegetationsjahr/Aufnahme:	quadratisches Stichprobennetz [m]	Anzahl Stichproben	Fläche [ha]	Stammzahl [N pro ha] 0,0-19,9 cm Höhe	Stammzahl [N pro ha] 20,0-129,9 cm Höhe	Stammzahl [N pro ha] ≥ 130,0 Höhe, ≤ 8,0 cm d <sub>1,3</sub>
Le Chenit (nur Fi+Ta)	Fi-Ta Plenterwald mit Laubholz Asplenio-Piceetum (EK 48) und Sorbo-Aceretum (EK* 23)	1350	2002	20,00	50	1,97	800	410	220
Le Chenit (alle BA inkl. Sorbus)	Fi-Ta Plenterwald mit Laubholz do.	1350	2002	20,00	50	1,97	12400	5570	1250
Le Chenit (alle BA ohne Sorbus)	Fi-Ta Plenterwald mit Laubholz do.	1350	2002	20,00	50	1,97	8400	3300	810
Obersaxen 01	Fi Gebirgsplenterwald Waldgesellschaft noch nicht erhoben	1720	2004	14,14	50	1,01	1887	651	443
Obersaxen 09	Fi Gebirgsplenterwald Waldgesellschaft noch nicht erhoben	1720	2004	14,14	60	1,22	2373	686	153
Toppwald 01	Fi-Ta (Bu) Plenterwald Abieti-Fagetum elymetosum (EK 18) Myrtillo-Abietetum Lysimachia-Variante Quercu-Abietetum sphagnetosum, Carex pilulifera-Var. Myrtillo-Abietetum, typische Variante (alle EK 46)	970	2001	20,00	45	1,78	17333	3189	700
Toppwald 02	Fi-Ta (-Bu) Plenterwald Wie Toppwald 01	970	2001	20,00	30	1,24	6667	2283	550
Schallenberg Rauchgrat	Fi-Ta-Plenterwald Abieti-Fagetum festucetosum (EK 18) - luzuletosum (EK 19) - elymetosum (EK 18)	1080	2005	20,00	65	2,50	11515	4197	1167
Basadingen (alle BA)	Dauerwald: Laub- und Nadelholz (Vergleichsfläche) Waldgesellschaft noch nicht erhoben	450	2003	20,00	41	1,73	35122	7646	1622
Oberhünigen	Fi-Ta-Überführungsbestand (Vergleichsfläche) Myrtillo-Abietetum, typische Variante (EK 46)	1045	2001	10,00	42	0,40	25952	3429	345

\* ELLENBERG/KLÖTZLI, 1972

Ausgehend von unseren realen Jungwuchsdaten soll mit Modellüberlegungen versucht werden, die Entwicklung des Jungwuchses in Plenterbeständen und auch in unbehandelten ungleichförmigen Beständen besser zu verstehen. Es werden insbesondere die Stammzahlverteilungen, der Höhenzuwachs und die Mortalität pro Jahr und Höhenklasse betrachtet.

### Resultate

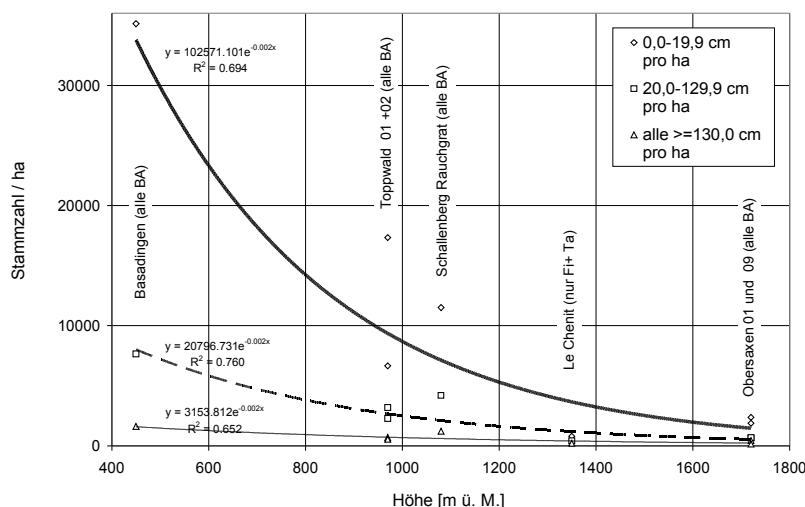
Die Stammzahlen im Jungwuchs der untersuchten, ungleichförmigen Bestände nehmen mit zunehmender Pflanzenhöhe rasch ab (KURTH 1946; ASSMANN 1961; KRAMER 1988; WENK et al. 1990; BACHOFEN 2005;). Sie folgen umgekehrt J-förmigen Kurven (reverse J-shape distribution). Im gutwüchsigen Dauerwald von Basadingen gibt es über 35'000 Pflanzen/ha unter 20 cm Höhe, während im Fichten-Gebirgsplechterwald Obersaxen in der gleichen Klasse nur ca. 2000 Bäume pro Hektare stocken. In der Klasse 340-359 cm sind in Basadingen mit N = 146 immer noch ca. 17-mal mehr Bäume pro Hektare zu finden als in Obersaxen mit N = 9 (Abbildung 2).



**Abbildung 2:** Stammzahlverteilung im Jungwuchs der untersuchten Plenterwaldflächen. Die Stammzahl nimmt in den kleineren Höhenklassen mit zunehmender Pflanzenhöhe entlang einer umgekehrt J-förmigen Kurve sehr rasch ab. (BA = Baumarten; Fi = Fichte; Ta = Tanne)

In allen untersuchten Flächen wird die Verjüngung vom zuständigen lokalen Forstdienst gutachtlich als ausreichend beurteilt.

Höher gelegene Flächen auf schlechteren Standorten haben meist eine kleinere Jungwuchsstammzahl pro Hektare als tiefer gelegene Flächen auf wüchsigeren Standorten (Abbildung 3, BURSCHEL et al. 1977).

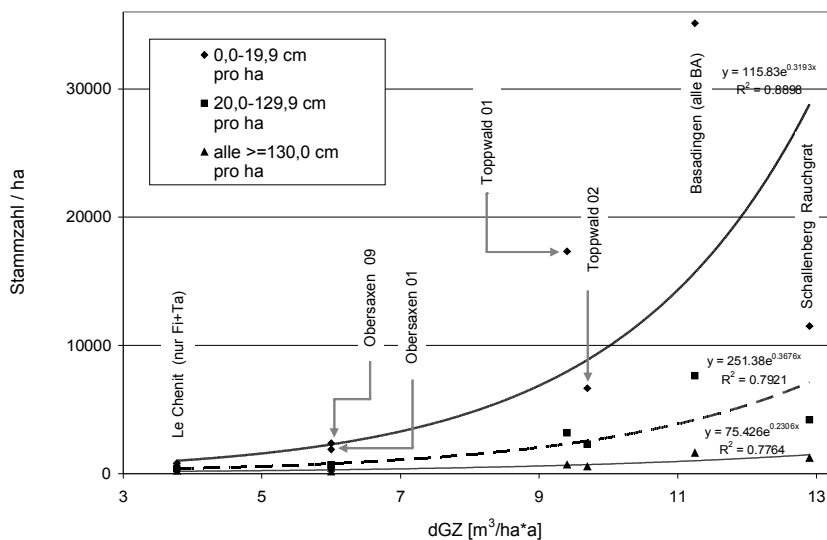


**Abbildung 3:** Stammzahlen in den untersuchten Plenter- und Dauerwäldern nach Höhe ü. M. und nach drei Baumhöhenklassen.

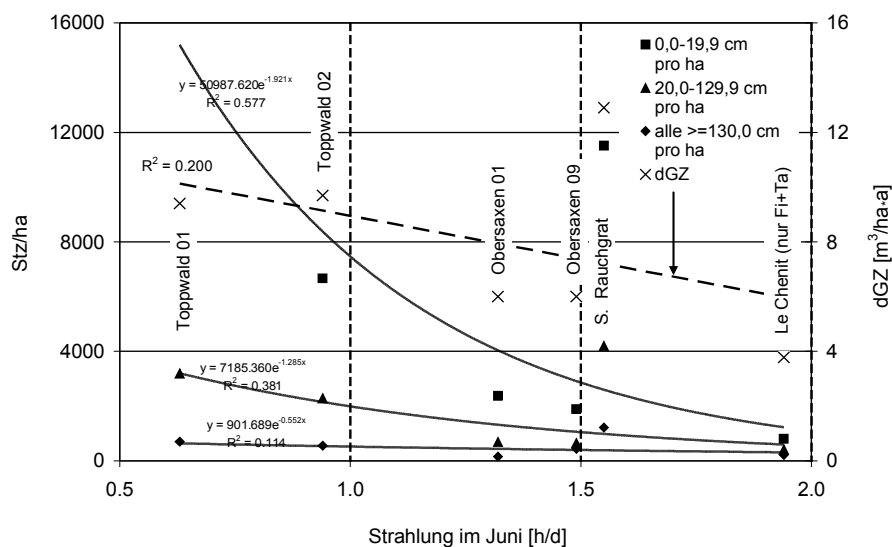
In Le Chenit gibt es einen Nebenbestand aus Bergahorn (*Acer pseudoplatanus* L.), Buche (*Fagus sylvatica* L.), Sorbus (*Sorbus aria* (L.) Crantz und *Sorbus chamaemespilus* (L.) Crantz), der sich gut verjüngt. Da diese Baumarten aber kaum in die Oberschicht vorstossen, werden in Abbildung 3 (Jungwuchsstammzahl nach Höhe) nur Fichte und Tanne dargestellt.

In den betrachteten Beständen besteht ein deutlicher Zusammenhang zwischen dem durchschnittlichen Gesamtzuwachs [ $\text{m}^3/\text{ha} \cdot \text{Jahr}$ ] und der Jungwuchsstammzahl nach den drei ausgewählten Höhenklassen. Gut wüchsige Plenterbestände haben eine stammzahlreichere Verjüngung als schlechter wüchsige (Abbildung 4).

Bei dieser Aussage handelt es sich nur um eine allgemeine Tendenz. Die Verjüngung im Plenterwald kann auch bei nachhaltig gut aufgebauten Beständen je nach Güte der Samenjahre schubweise mit relativ grossen Unterbrüchen nachkommen, ohne dass die Bestandesstruktur dadurch gefährdet sein muss (MAJCEK 1996). Ausserdem ist in Perioden mit günstigen Verhältnissen für die Verjüngung und mit kleinerer Mortalität, weniger Verjüngung notwendig als in Perioden mit ungünstigen Verhältnissen und höherer Mortalität. Hätte sich in unseren Plenterversuchsflächen nicht immer genügend Verjüngung etabliert, hätten sich die guten Strukturen nicht langfristig erhalten können. In den Plenterbeständen mit kleinerem dGZ, die in unserem Fall auch stärker aufgelockert sind als jene mit höherem dGZ, ist die direkte potentielle Strahlung, die im Juni auf den Boden gelangt, grösser als in den Beständen mit höherem Zuwachs (Abbildung 5).



**Abbildung 4:** Stammzahlen/ha nach durchschnittlichem Gesamtzuwachs (dGZ). BA = Baumarten, Fi = Fichte, Ta = Tanne



**Abbildung 5:** Jungwuchsstammzahlen/ha nach Höhenklassen und direkter Strahlung pro Tag im Juni. Die direkte Strahlung am Boden wurde mit dem „Sonnenkompass“ auf allen Stichproben bestimmt. (in Basadingen wurde die Strahlung nicht erhoben).

Zuwachsschwächere Bestände stocken im Allgemeinen auf schlechteren Standorten in grösseren Höhenlagen als Bestände mit höherem Zuwachs. Obwohl die direkte Strahlung am Boden hier grösser ist als in tiefer liegenden Flächen, sind die Stammzahlen im Jungwuchs kleiner. In höheren Lagen braucht es mehr direkte Strahlung für das Überleben des spärlicheren Jungwuchses als in tieferen Lagen.

#### Bandbreite der Verjüngung in ungleichaltrigen Beständen.

In Tabelle 4 sind neben den Daten von Duc (1991) die erhobenen Jungwuchsdaten abgebildet.

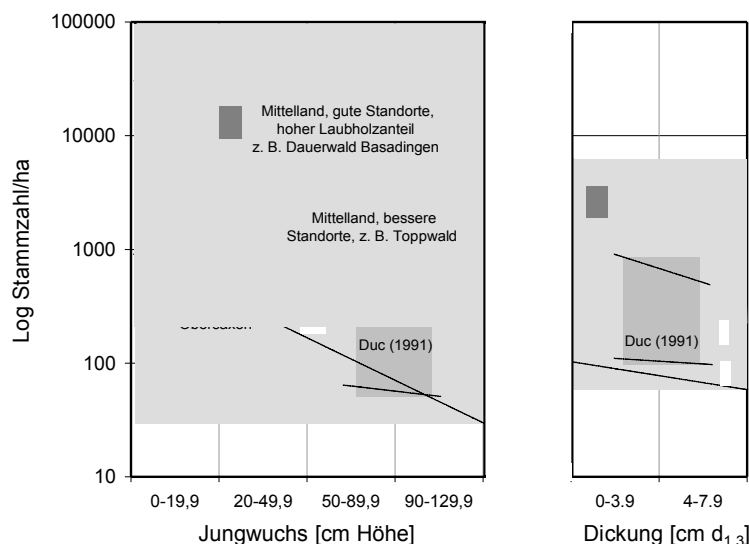
**Tabelle 4:** Stammzahlen nach Höhen- und  $d_{1,3}$ -Klassen für verschiedene Versuchsflächen und nach den Angaben von Duc (1991)

Entwicklungsstufe	Duc, 1991 „notwendige Stammzahl“		Versuchsflächen WSL, erhobene Stammzahlen auf den Versuchsflächen:				
	Emmentaler „mittlere Bedingungen“	Plenterwälder, „mittlere Bedingungen“	Fi/Ta Plenterwälder*	Le Chenit (alle BA, inkl. Sorbus)	Le Chenit (nur die Bestandes- bildenden Fi und Ta)	Basadingen Dauerwald (alle BA)	Oberhünigen Überführungs- bestand
	n/ha	n/ha	n/ha	n/ha	n/ha	n/ha	n/ha
0 – 19 cm Höhe	keine Angaben	800 - 17300	12400	800	35100	25952	
20 – 49 cm Höhe	keine Angaben	210 - 2560	3200	210	18732	2310	
50 – 89 cm Höhe	50 - 460	150 - 770	1750	150	8146	845	
90 - 129 cm Höhe	40 - 280	50 - 420	620	50	3707	274	
0 - 4 cm d <sub>1,3</sub>	110 - 930	80 - 400	970	80	6490	298	
4 - 8 cm d <sub>1,3</sub>	100 - 530	40 - 250	--	120	49	36	

\*Toppwald 01 und 02, Obersaxen 01 und 09, Le Chenit (nur Fichte und Tanne)

Zur Sicherung des Nachwuchses gibt Duc (1991) für „mittlere Wachstumsbedingungen“ und „mittlere natürliche Abgänge“ die Bandbreiten gemäss Tabelle 4 an, für die Stammzahlen pro Hektare in den entsprechenden Höhen- bzw.  $d_{1,3}$ -klassen.

In Abbildung 6 ist aus den Resultaten der Jungwuchsaufnahmen ein Bereich der „notwendigen“ Verjüngung in ungleichförmigen Beständen abgeleitet worden. Zum Vergleich sind die Bereiche aus Duc (1991) ebenfalls abgebildet.



**Abbildung 6:** Bandbreite für die „notwendige“ Verjüngung im Plenterwald. Erhebungen aus sieben sehr unterschiedlichen Plenterversuchsflächen der WSL und Vergleich mit den Daten von Duc (1991) von acht Plenterwaldflächen aus dem Emmental.

In den untersten Höhenklassen (vom  $\geq 1$ jährigen Sämling bis  $< 20$  cm Höhe) schwanken die Stammzahlen der „ausreichenden Verjüngung“ zwischen etwa Tausend und mehreren Zehntausend pro Hektare (Tabelle 4 und Abbildung 6). Die Bandbreite nimmt mit zunehmenden Baumhöhen oder zunehmendem  $d_{1,3}$  ab.

Nach guten Samenjahren sind die Individuenzahlen in den kleinsten Höhenklassen  $< 20$  cm sehr gross. Obwohl auch die Mortalität gross ist, wachsen genügend Pflanzen in die höheren Klassen ein und Defizite schlechter Jahre werden ausgeglichen. Nach schlechten Samenjahren können alle vorhandenen Pflanzen mit Höhen  $< 20$  cm in die

nächste Klasse einwachsen oder absterben – die Stammzahl der Pflanzen <20 cm Höhe kann vorübergehend gegen Null sinken.

Ungleichförmige Bestände mit schwächerem Wachstum „benötigen“ im Allgemeinen weniger Verjüngung als gutwüchsige Bestände. In Dauerwäldern, wie z. B. in Basadingen, können die Stammzahlen der Bäume unter 20 cm Höhe um einen Faktor von bis über 40 grösser sein als in einem Fichten/Tannen-Plenterwald im Jura (z. B. Le Chenit).

### **Gleichgewicht, Stammzahlabnahme, Mortalität**

Die Stammzahlverteilungen der Bäume >8,0 cm  $d_{1,3}$  in bewirtschafteten, ungleichförmigen Beständen in einem Gleichgewichtszustand entsprechen in einer ersten Annäherung einer umgekehrt exponentiellen Verteilung (LEAK 2001; SCHÜTZ 2001; DE LIOCOURT 1898; MEYER 1952). Vergleichbare Verteilungen finden sich auch in Urwaldbeständen (KORPEL 1995). Gemäss WESTPHAL (2006, S. 75) werden sie „ökologisch“ dadurch erklärt, dass die Mortalitätsraten in allen Durchmesserklassen gleich sind. Dies trifft in Wirklichkeit aber kaum zu. Damit ein Gleichgewicht bestehen bleibt, müssen vielmehr die durchschnittlichen Einwuchs-, Auswuchs-, Mortalitäts- und in bewirtschafteten Wäldern auch die Nutzungsraten *über die Zeit* gleich bleiben. Die Einwuchs- und Auswuchsraten sind in den mittleren Durchmesserklassen höher als in den kleinen und oberen Klassen. Die Nutzungsraten nehmen mit den Durchmesserklassen zu (BACHOFEN 1999; LEAK 2001; SCHÜTZ 2001, S.62-66). In Beständen mit deutlich verbesserten Wachstumsbedingungen in den mittleren Durchmesserstufen wird dort schwächer eingegriffen, die Nutzungsraten sind in diesem Bereich etwas kleiner. In nicht bewirtschafteten Wäldern nehmen die durchschnittlichen Mortalitätsraten in den oberen Durchmesserklassen zu (BACHOFEN 1999; LEAK 2001; SCHÜTZ 2001, S. 62). Im mittleren Durchmesserbereich wachsen die Bäume oft schneller durch die Klassen durch, die Stammzahlen in den entsprechenden Klassen sind deshalb kleiner als bei gleichmässigem Wachstum zu erwarten wäre. In diesen Fällen bilden sich sigmoide Stammzahlverteilungskurven aus (GOFF and WEST 1975; LORIMER and FRELICH 1984; LEAK 2001).

In Plenterwäldern ist die Mortalität der Bäume >8,0 cm  $d_{1,3}$  klein, sie beträgt nur etwa null bis drei Prozent pro Jahr. Abweichungen der Stammzahlen von einem angestrebten Gleichgewicht werden vor allem durch die Plenterreingriffe korrigiert, die je nach  $d_{1,3}$ -Klasse mit ca. einem bis über vierzehn Prozent pro Jahr deutlich höher sind als die Mortalität (BACHOFEN 1999; SCHÜTZ 2001, S. 62). In unbehandelten Naturwäldern ist die Mortalität gemäss LEAK (2001, S.1) variabel und schwierig voraussagbar. Die langfristige durchschnittliche Mortalität auf genügend grossen Flächen ab ca. 25 ha, entspricht ungefähr der Summe von Nutzung und Mortalität in einem Plentergleichgewicht, falls keine grossflächigen Störungen auftreten (KORPEL 1982; PIOVESAN 2005; SCHÜTZ 2001, S. 62; LEAK 2001, S. 4). Sie beträgt in den kleinen Durchmesserklassen null bis etwa zwei Prozent und kann bis in die obersten Klassen auf Werte von über zehn Prozent pro Klasse und Jahr steigen.

Das Gleichgewichtsmodell für ungleichförmige Bestände nach SCHÜTZ (2001) gilt selbstverständlich auch für den Jungwuchs: Die Stammzahl pro Höhenklasse bleibt über die Jahre gleich, analog der Stammzahl pro  $d_{1,3}$ -Klasse des kluppierten Bestandes (BACHOFEN 2005; 1999; LUNDQUIST 1991). Bei der Kluppschwelle erreicht sie die Anfangsstammzahl von ca. 100 - 350 Bäumen pro Hektare in der ersten (8-12 cm-)  $d_{1,3}$ -Klasse (SCHÜTZ 2001, S. 64). Damit ein Gleichgewicht erhalten bleibt, muss die Summe aus eventuellen Eingriffen und Mortalität, von den Sämlingen bis zu den Bäumen knapp unterhalb der Kluppschwelle, ähnlich wie die Stammzahl, mit der Höhe der Bäume rasch abnehmen (Abbildung 2).

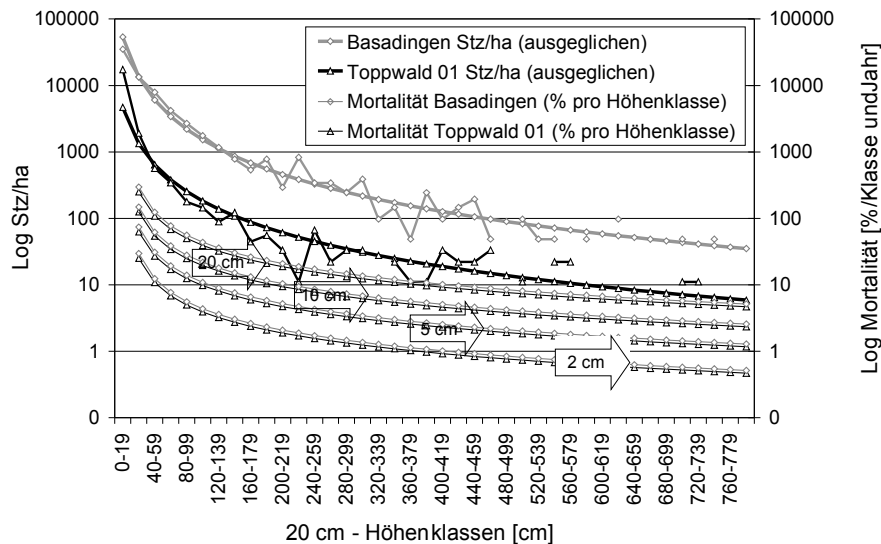
Zum Nachwuchs und insbesondere zu den Eingriffen im Nachwuchs des Plenterwaldes existieren fast keine quantitativen Angaben, sondern bloss qualitative Beschreibungen (LEIBUNDGUT 1978; SCHÜTZ 1989; WSL 2006). Gemäss der Untersuchung von DUC (2002, S. 59 und S. 76) in Fichten-Tannen-Buchen-Plenterwäldern des Neuenburger Juras zwischen 800 und 1000 m ü. M erfolgt die Nachwuchspflege vorwiegend im Bereich von 2,5 bis 16,3 cm  $d_{1,3}$ , d.h. bei Bäumen ab etwa 2,80 Meter Höhe. Der Eingriff in der  $d_{1,3}$ -Stufe 2,5 – 4,9 cm beträgt im Durchschnitt der 18 untersuchten Flächen ca. 23 von total 160 Bäumen pro Hektare, was bei einem angenommenen 10 jährigen Nutzungsturnus 1,4 % der Stammzahl pro Jahr in dieser Klasse entspricht. In den Klassen unter 2,5 cm  $d_{1,3}$  wird kaum eingegriffen, in jenen über 16,3 cm  $d_{1,3}$  liegen die durchschnittlichen Eingriffsstärken in einer Grössenordnung von gut 1% der Stammzahl pro Klasse und Jahr.

Im Dauerwald Basadingen wird gemäss Auskunft des Betriebsleiters Walter Ackermann (7.11.2006) im Nachwuchs ausschliesslich eine sehr arbeitsexensive Pflege und Mischungsregulierung gemacht (eine bis drei Stunden Aufwand pro Hektare alle sechs Jahre).

Die Mortalität kann in den kleinsten Höhenklassen bis etwa 60 cm ohne weiteres deutlich über 100% der Anfangsstammzahl pro Jahr und Klasse betragen, weil in jeder Klasse laufend Bäume aus den kleineren stammzahlreicheren Klassen einwachsen und selbstverständlich ebenfalls zum Teil absterben. Die Anzahl der Einwüchse von „unten“ ist, dem immer flacher werdenden Kurvenverlauf entsprechend, bedeutend grösser als die Anzahl der Auswüchse nach „oben“. Mit zunehmender Höhe der Bäume strebt die jährliche Mortalität gegen kleine einstellige Prozentwerte pro Höhenklasse (Abbildung 7).

Die umgekehrt J-förmigen Stammzahlverteilungskurven im Jungwuchs verlaufen, vor allem im „unteren“ Bereich, viel steiler als die negativen Exponentialkurven der Stammzahlverteilung der Bäume über der Kluppschwelle von 8 cm  $d_{1,3}$ .

Die Kurven der Mortalitätsraten für die ausgewählten Beispiele Basadingen und Toppwald 01 unterscheiden sich bei angenommenem, überall gleichem Höhenzuwachs pro Jahr kaum (Abbildung 7). Die Mortalitätsrate im Modelljungwuchs eines ungleichförmigen Bestandes im Gleichgewicht ist von der absoluten Stammzahl pro Höhenklasse also nur wenig, vom Höhenzuwachs hingegen deutlich abhängig. Das deutet darauf hin, dass die durchschnittliche dichteunabhängige Mortalität in den betrachteten Beispielen, im Durchschnitt über die ganzen Flächen, wichtiger ist als die dichteabhängige Mortalität durch intra- oder interspezifische Konkurrenz (Abbildung 8; BEGON 1998, S. 141).



**Abbildung 7:** Stammzahlverteilung und Mortalität nach 20-cm-Höhenklassen.

Die Stammzahlverteilungen für die zwei ungleichförmigen Bestände „Basadingen“ und „Toppwald 01“. Daraus sind Modelle für die Mortalität im Jungwuchs, bei unterschiedlichem Höhenwachstum abgeleitet worden (Jahrestriebe von 2, 5, 10 bzw. 20 cm).

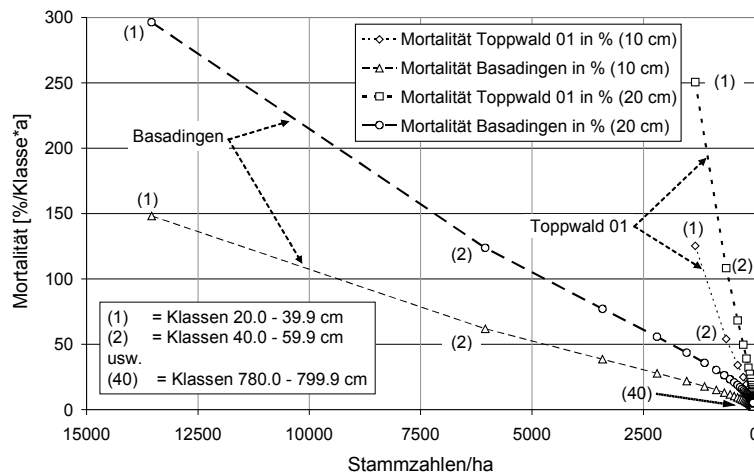
Annahmen:

1. Die Jungwüchse sind in einem Gleichgewicht, die heutigen, ausgeglichenen Stammzahlverteilungen bleiben immer gleich.
2. Die Jahrestriebe sind bei allen Bäumen gleich lang (je 2, 5, 10 bzw. 20 cm pro Variante). Die Mortalität lässt sich einfach als Differenz Einwuchs-Auswuchs berechnen.

Bei angenommenen 10 cm – Jahrestrieben in allen Höhenklassen beträgt die Mortalität in der Höhenklasse 40 - 59 cm für die Verteilung „Toppwald“ 125% pro Jahr. Ab 3,8 m Baumhöhe sinkt sie unter 5% pro Klasse und Jahr. Sind die Jahrestriebe aber nur 2 cm lang, so muss die Mortalität in der Klasse 40 - 59 cm nur noch 30% und ab 3,8 m Baumhöhe bereits weniger als 1% pro Jahr und Klasse betragen, damit das Gleichgewicht erhalten bleibt.

Die Mortalität in den einzelnen Höhenklassen nimmt annähernd linear mit der Stammzahl pro ha in den Höhenklassen ab. (Abbildung 8).





**Abbildung 8:** Mortalität im Jungwuchsgleichgewichtsmodell nach Stammzahlen/ha in den Höhenklassen.

Bei 20 cm langen Jahreshöhentrieben ist im Beispiel Basadingen die Mortalität bei gleicher Stammzahl in den Höhenklassen ungefähr doppelt so gross wie im Beispiel Basadingen mit 10 cm Höhentrieben. Im Modell Toppwald ist die Mortalität bei mit 10 cm angenommenen Höhentrieben, ganz ähnlich wie in Basadingen (10 cm) obwohl die Stammzahlen / ha in den entsprechenden Höhenklassen um beinahe einen Faktor 10 kleiner sind.

### Diskussion und Folgerungen

In Schutzwäldern ist eine langfristig nachhaltige Verjüngung für die Erhaltung der erwünschten Schutzwirkungen des Waldes unerlässlich. Allerdings ist zu beachten, dass nicht eine ideale oder nachhaltige Stammzahlverteilung nach Durchmesser- oder Höhenklassen entscheidend ist, sondern die dauernde Stabilität. Deshalb richten sich hier die waldbaulichen Eingriffe vor allem darauf, stabile Kollektive zu formen, ohne die Kronenmäntel aufzureissen, eine gute räumliche Verteilung und genügende Abstände zu gewährleisten und die innere Verfassung der Baumkollektive zu verbessern (ZELLER 1993; SCHÜTZ 2002). Fragen des Nachwuchses müssen daher längerfristig und räumlich differenziert gesehen werden (FAJARDO et al. 2006; GRASSI et al. 2003). Zuwächse und Vorräte der Bestände werden angesichts der speziellen Anforderungen im Gebirgswald zweitrangig oder sogar belanglos. Für das Verständnis der Dynamik der Bestände sind sie aber trotzdem wichtige und einfach messbare Parameter.

Die Verjüngungsdaten aus unseren Versuchsflächen liefern Anhaltspunkte für die anzustrebende, „notwendige“ Verjüngung in ungleichförmigen Wäldern, Gebirgspalterwäldern und besonders in Schutzwäldern.

Leider haben wir für Nicht-Plenterwälder nur ganz wenige vergleichbare, repräsentative Angaben zur Naturverjüngung. Es ist aber anzunehmen, auch gemäss den Daten von Oberhünigen, aus dem Sihlwald (COMMARMOT 2005) oder nach KURTH (1946), dass die Stammzahlen im Jungwuchs hier ähnlich rasch, mit zunehmender Baumhöhe abnehmen wie im Plenterwald. Im Nicht-Plenterwald, der noch gut geschlossen ist, ist das längerfristige Überleben des Jungwuchses schlechter als im Plenterwald. Das heisst, ab einer gewissen Baumhöhe sind weniger Bäume vorhanden als in einem gut aufgebauten Plenterwald - die Stammzahlverteilungskurve sollte tiefer liegen, als im entsprechenden Plenterwald auf ähnlichem Standort. (Stimmt z. B. im Vergleich für Oberhünigen und Toppwald).

Die Homogenität des Jungwuchses, dargestellt z. B. durch die Lorenzkurve oder den Homogenitätsfaktor (BACHOFEN 1999; CAMINO 1976; STERBA et al. 2006) ist darum auch im Nicht-Plenterwald sehr ähnlich wie im Plenterwald.

Im idealen Gleichgewichtsmodell für den Jungwuchs in Gebirgspalterwäldern auf schlechteren Standorten ist die jährliche Mortalität, in Prozenten der Anfangsstammzahl pro Klasse ausgedrückt, überraschenderweise, kleiner als in tiefer gelegenen Plenterwäldern auf guten Standorten, weil die Höhenzuwächse pro Jahr viel kleiner sind und damit die Einwüchse von „unten“ und selbstverständlich auch die Auswüchse nach „oben“ ebenfalls kleiner sind als bei grösseren Höhenzuwächsen. Das bedeutet, dass in absoluten Zahlen ausgedrückt, weniger Bäume ausfallen „dürfen“, wenn das Gleichgewicht gewährleistet bleiben soll. Das bestätigt die Erfahrung, dass ein Gleichgewicht im Gebirgswald viel labiler ist als in tieferen Lagen, weil die Bäume im Jungwuchs nicht im Überfluss vorhanden sind und Ausfälle nicht so rasch kompensiert werden können. Das Überleben des einzelnen jungen Baumes hat im Gebirgspalterwald eine viel grössere Bedeutung als im Wald tieferer Lagen. Unsere Jungwuchsdaten aus verschiedenen, ungleichförmigen Beständen bestätigen diese Überlegungen (Abbildung 6).

Die Höhentriebe im Jungwuchs sind in Wirklichkeit selbstverständlich weder in allen Klassen noch innerhalb der Klassen gleich gross (BACHOFEN 2005). In ungleichförmigen Wäldern bestehen zudem grosse Unterschiede zwischen unterdrückten und freigestellten Bäumen sowie zwischen den verschiedenen Baumarten. Nehmen die Höhentriebe im Modellbeispiel „Basadingen“ von der kleinsten zur grössten Höhenklasse von 5 cm bis 20 cm linear zu, verläuft die Mortalitätskurve *flacher* als die Kurve für gleichmässig 5 cm lange Höhentriebe und nähert sich der Kurve für 20 cm lange Höhentriebe an (ohne Abbildung). Oder verlaufen die Höhentriebe nach den Höhenklassen gemäss einer nach oben konvexen Kurve, die in der kleinsten Klasse mit 5 cm Trieben beginnt, über ein Maximum von 20 cm wieder auf 5 cm bei der grössten Höhenklasse sinkt, verläuft die Mortalitätskurve in einer Abbildung 7

entsprechenden, halblogarithmischen Darstellung leicht *s-förmig*, mit einem annähernd horizontalen Verlauf im Bereich von 380 bis 670 cm Baumhöhe (vgl. GOFF and WEST 1975; LEAK 2001 S. 1).

Für ein genaueres, vertieftes Verständnis der Dynamik des Jungwuchses im Plenterwald und in anderen ungleichförmigen Beständen mit Naturverjüngung genügen unsere Aufnahmen ohne Wiederholung nicht, es sind zusätzliche, vor allem auch langfristige und wiederholte repräsentative Beobachtungen und eventuell jährliche Höhen - , Höhentrieb - und  $d_{1.3}$  - messungen unerlässlich, welche unsere theoretischen Überlegungen untermauern und präzisieren könnten.

Selbstverständlich können, besonders auch in ungleichförmigen Schutzwäldern im Gebirge, die gewünschten Wirkungen des Waldes auch erfüllt werden, wenn die Bestände nicht dauernd in einem Gleichgewichtszustand sind. Falls aber eine dauernde, flächendeckende Bestockung erwünscht oder notwendig ist, wird man in vielen Fällen (gebirgs-) plenterwaldähnliche Bestandesstrukturen anstreben. In diesen Fällen und auch in ungleichförmigen, nicht bewirtschafteten Wäldern dienen unsere Überlegungen dazu, die Dynamik der Verjüngung besser zu verstehen.

### Zusammenfassung

In ungleichaltrigen, inhomogenen Beständen (Plenterwälder, Gebirgsplenterwälder, Dauerwälder) ist eine ausreichende, gut verteilte, überlebensfähige Verjüngung unerlässlich, falls die Struktur langfristig und nachhaltig erhalten werden soll. Besonders wichtig ist eine solche Strukturhaltung mit einer genügenden Verjüngung in Schutzwäldern. Ungenügende Verjüngung kann hier bedeuten, dass der Schutz gegen Naturgefahren nicht mehr langfristig und dauerhaft gewährleistet ist. Heute fehlen zuverlässige Methoden, um abzuschätzen ob die Verjüngung in solchen Beständen genügt. Mit Stichproben in gut aufgebauten Plenterversuchsflächen in unterschiedlichen Höhenlagen auf verschiedenen Standorten, wurde der aktuelle Zustand der Verjüngung erhoben und es wurden daraus mögliche Bandbreiten bzw. Bereiche für Sollwerte der Verjüngungsstammzahlen in anderen ungleichaltrigen, ungleichförmigen Beständen abgeleitet. Es zeigte sich, dass die Verjüngungsstammzahlen in höher gelegenen, weniger wüchsigen Plenterbeständen im Allgemeinen kleiner sind als in tiefer gelegenen, besser wüchsigen Beständen.

Gemäss Modellüberlegungen, ist die Mortalität im Jungwuchs (Ausfallprozent pro Jahr und Höhenklasse) vom Höhenwachstum abhängig und sie muss in den weniger wüchsigen Flächen in einem Plentergleichgewicht im Durchschnitt kleiner sein als in den besser wüchsigen Flächen. Die durchschnittliche dichteunabhängige Mortalität in den betrachteten Beispielen scheint im Durchschnitt über die ganzen Flächen wichtiger zu sein als die dichteabhängige Mortalität durch inter- oder intraspezifische Konkurrenz.

### Literatur

- ASSMANN, E. 1961: Waldertragskunde. BLV, München, Bonn, Wien. 490 S.
- BACHOFEN, H. 2005: Der Einfluss von Aufnahme Fehlern und Wachstumsvorgängen auf die Stammzahlverteilung in Buchennaturverjüngungen unter Altholzschirm. Vergleich eines naturnahen Buchenbestandes im Sihlwald, Schweiz mit einem Bestand im Buchenurwald Uholka, Ukraine Schweiz. Z. Forstwes. 156 (10): 365-371.
- BACHOFEN, H.; ZINGG, A. 2005: Auf dem Weg zum Gebirgsplenterwald: Kurzzeiteffekte von Durchforstungen auf die Struktur subalpiner Fichtenwälder. Schweiz Z. Forstwes. 156 (12): 456-466.
- BACHOFEN, H. 2002: Erfassung der Verjüngung in Versuchsflächen der Waldwachstumsforschung; Methode und erste Resultate. In: KENK, G. (Hrsg.) Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten. Sektion Ertragskunde. Jahrestagung 2002, Schwarzburg, 13.-15. Mai 2002. Freiburg, Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten.
- BACHOFEN, H.; ZINGG, A. 2001. Effectiveness of structure improvement thinning on stand structure in subalpine Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) stands. Forest Ecology and Management 145, 137-149.
- BACHOFEN, H. 1999: Gleichgewicht, Struktur und Wachstum in Plenterbeständen. Schweiz. Z. Forstwes. 150, 5. 157-170.
- BACHOFEN, H.; ZINGG, A. 1999. Struktur- und Stabilitätsdurchforstung in Fichtenbeständen der subalpinen Stufe. Neue waldwachstumskundlich-waldbauliche Untersuchungen. In: Kenk, G. (Hrsg.) Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten. Sektion Ertragskunde. Jahrestagung 1999, Volpriehausen, 19.-21. Mai 1999. Freiburg, Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten. 89-101.
- BEGON, M. E.; HARPER, J. L.; TOWNSEND, C. R. 1998: Ökologie. Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg, Berlin.
- BRANG, P. UND DUC, P. 2002. Zu wenig Verjüngung im Schweizer Gebirgs-Fichtenwald: Nachweis mit einem neuen Modellansatz. Schweiz, Z. Forstwes. 153: 219-227.

- BRANG, P.; KULL, P. 1999: Verjüngungsaufnahmen auf LWF-Flächen: Ziele und Methoden. Unveröffentlicht. 11 Seiten.
- BURSCHEL, P.; LÖW, H.; METTIN C. 1977: Waldbauliche Untersuchungen in den Hochlagen des Werdenfelser Landes. Forstliche Forschungsanstalt München. Forschungsberichte Nr. 37.
- CAMINO, R., DE. 1976: Zur Bestimmung der Bestandeshomogenität. AFJZ 147, 1143-1146.
- COMMARMOT, B.; BACHOFEN, H.; BUNDZIAK, Y.; BÜRGI, A.; RAMP, B.; SHPARYK, Y.; SUKHARIUK, D.; VITER, R.; ZINGG, A., 2005:  
Structure of virgin and managed beech forests in Uholka (Ukraine) and Sihlwald (Switzerland): a comparative study. For. Snow Landsc. Res. 79, 1/2: 45-56.
- DUC, PH. 2002: Zustand, Entwicklung und Pflege des Nachwuchses in Plenterwäldern des Val-de-Travers (Neuenburger Jura). Beih. Nr. 91 Schweiz. Z. Forstwes.
- DUC, PH. 1991: Untersuchungen zur Dynamik des Nachwuchses im Plenterwald. Schweiz. Z. Forstwes. 142: 299-319.
- ELLENBERG H. UND KLÖTZLI F. 1972: Waldgesellschaften und Waldstandorte der Schweiz. Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Vers.wes. 48, 4: 589-930.
- FAJARDO, A., GOODBURN, J. M. AND GRAHAM, J. 2006: Spatial patterns of regeneration in managed uneven-aged ponderosa pine/Douglas fir forests of Western Montana, USA. For. Ecol. Manage. 223: 255-266.
- GOFF AND WEST, 1975: Canopy-understory interaction effects on forest population structure. Forest Science. 21: 98-108.
- GRASSI, G., MINOTTA, G., GIANNINI, R. AND BAGNARESI, U. 2003: The structural dynamics of managed uneven-aged conifer stands in the Italian eastern Alps. For. Ecol. Manage. 185: 225-237.
- HASENAUER, H. AND KINDERMANN, G. 2002: Methods for assessing regeneration establishment and height growth in uneven-aged mixed species stands. Forestry 75: 385-394.
- KORPEL, Š. 1982: Degree of equilibrium and dynamical changes of the forest on example of natural forests of Slovakia. Acta Fac. For. Zvolen 24, 9-30.
- KORPEL, Š. 1995: Die Urwälder der Westkarpaten. Gustav Fischer, Stuttgart, Jena, New York.
- KRAMER, H. 1988: Waldwachstumslehre. Paul Parey, Hamburg, Berlin. 374 S.
- KURTH, A. 1946: Untersuchungen über Aufbau und Qualität von Buchendickungen. Mitt. Schweiz. Anst. Forstl. Vers.wes. 24: 581-658.
- LEAK, WILLIAM B. 2001: Origin of Sigmoid Diameter Distributions. United States Department of Agriculture. Forest Service. Northeastern Research Station. Research Paper NE-718.
- LEIBUNDGUT, H. 1978: Die Waldpflege. Verlag Paul Haupt, Stuttgart und Bern. 204 S.
- LIOCOURT, F. DE, 1898: De l'aménagement des sapinières. Bull Soc For Franche-Comté et Belfort. 4 : 396-409, 645.
- LORIMER, C. G.; FRELICH, L. E. 1984: A simulation of equilibrium diameter distribution of sugar maple (*Acer saccharum*). Bulletin of the Torrey Botanical Club 111: 193-199.
- LUNDQVIST, L. 1991: Some notes on the regeneration of Norway spruce on six permanent plots managed with single-tree selection. For. Ecol. Manage. 46: 49-57.
- MAJCN, Z. 1996: Coupe de jardinage et coupe de succession dans cinq secteurs forestiers. Accroissement quinquennal en surface terrière et état de la régénération. Note de la Recherche Forestière, Ministère des Ressources Naturelles, Québec 70 : 19.
- MEYER, H. A. 1952: Structure, growth and drain in balanced, uneven-aged forests. Journal of Forestry. 52: 85-92.
- PIOVESAN, G.; DI FILIPPO, A.; ALESSANDRINI, A.; BIONDI, F.; SCHIRONE, B. 2005: Structure, dynamics and dendroecology of an old-growth *Fagus* forest in the Apennines. J. Veg. Sci. 16, 13-28.
- PRODAN, M. 1949: Die theoretische Bestimmung des Gleichgewichtszustandes im Plenterwald. Schweiz. Z. Forstwes., 100: 81-99.
- SCHÜTZ, J.-PH. 2001: Der Plenterwald und weitere Formen strukturierter und gemischter Wälder. Parey, Berlin 207 pp.
- SCHÜTZ, J.-PH. 1989: Der Plenterbetrieb. Unterlage zur Vorlesung Waldbau III (Waldverjüngung). Fachbereich Waldbau, ETH Zürich, 54 S.
- SCHÜTZ, J.-PH. 2002: Silvicultural tools to develop irregular and diverse forest structures. Forestry 75: 329-338.
- SOEST, J., VON; AYRAL, P.; SCHOBER, R.; HUMMEL, R. 1959: The Standardization of Symbols in Forest Mensuration. JUFRO.
- STERBA, H.; ZINGG, A. 2006: Abstandsabhängige und abstandsabhängige Bestandesstrukturbeschreibung. Allg. Forst- u. J.-Zeitung 177: 164-169.
- THORMANN, J.-J. 1997: Zur Methodik der Lichtmessung im Wald: ein Vergleich von LAI-2000 Plant Canopy Analyser, Fisheye-Foto und Horizontoskop. Schlussbericht, ETH Zürich, 35 S.
- WENK, G.; VAIDOTAS, A.; ŠMELKO, Š. 1990: Waldertragslehre. Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin.
- WESTPHAL, CH.; TREMER, N.; VON OHEIMB G.; HANSEN J.; GADOW VON K.; HÄRDLE, W. 2006: Is the reverse J-shaped diameter distribution universally applicable in European virgin beech forests? Forest Ecology and Management 223, 75-83.

- WSL, 2006: Bestandesbeschreibungen der ertragskundlichen Versuchflächen im Archiv der Abteilung Strategien Waldentwicklung.
- ZELLER E. 1993: Rottenpflege. Ausformung und Benutzung von Baumkollektiven als stabile Bestandeselemente. Ber. Projekt Gebirgswaldpflege II, 3A, 1-49.
- ZINGG, A.; DUC, P. 1998: Beurteilung des Gleichgewichtszustandes in Plenterwaldversuchsflächen. - In: KENK, G. (Hrsg.) Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten. Sektion Ertragskunde. Jahrestagung vom 25.-27. Mai 1998, Kevelaer. Freiburg, Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten. 147-156.

Verfasser: Bachofen Hansheinrich, dipl. Forsting. ETH, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf. E-mail: [bachofen@wsl.ch](mailto:bachofen@wsl.ch)