

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse
Herausgeber: Schweizerischer Forstverein
Band: 150 (1999)
Heft: 5

Artikel: Gleichgewicht, Struktur und Wachstum in Plenterbeständen
Autor: Bachofen, Hansheinrich
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1098419>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 13.04.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Gleichgewicht, Struktur und Wachstum in Plenterbeständen

HANSHEINRICH BACHOFEN

Keywords: Selection forests; stand structure; equilibrium; forest growth. FDK 221.4 : 56

Abstract: Two different selection forest stands not in their state of equilibrium are investigated and discussed with regard to the changes in selected structural parameters, the influence of site factors and management.

Abstract: Für zwei unterschiedliche Plenterbestände, die sich nicht im Gleichgewichtszustand befinden, wird die Veränderung der verschiedenen Strukturparameter sowie der Einfluss der Standortfaktoren und der Bewirtschaftung untersucht und diskutiert.

1. Einleitung und Fragestellung

Plenterwälder gelten als stabile Waldökosysteme, die im Vergleich mit anderen Bestandesformen eine grössere Widerstandskraft gegen schädliche Witterungs- und Klimaeinflüsse sowie gegen Insekten- und Pilzschäden besitzen. Je nach Waldgesellschaft sind die Plenterwälder sehr verschiedenartig aufgebaut. Den stufigen Bestandaufbau dauernd zu erhalten ist von besonderer Bedeutung, denn nur dann behält der Plenterwald seine spezifischen Eigenheiten und kann die an ihn gestellten Anforderungen dauernd erfüllen (TREPP, 1974). Das System «Plenterwald» kann als ideales Beispiel für die biologische Rationalisierung bezeichnet werden (SCHÜTZ, 1996). Die Steuerung erfolgt durch sogenannte Plenterhiebe, die nach LEIBUNDGUT (1946) alle Funktionen der Verjüngung, der Erziehung, der Ausformung und der Ernte umfassen.

In einem ideal aufgebauten Modellplenterwald, der sich in einem dauernden Gleichgewicht befindet, ändern sich die Struktur und die Konkurrenzverhältnisse, über den ganzen Bestand betrachtet, im Laufe der Zeit nicht. Nutzung und Zuwachs sind immer gleich gross. Allfällige Wachstumsveränderungen wären deshalb direkt auf Umweltveränderungen zurückzuführen (BACHOFEN, 1996). Solche ideal aufgebaute Plenterwälder, die sich in einem dauernden Gleichgewichtszustand befinden, gibt es kaum.

In zwei nach Standort und Mischungsgrad von Tanne und Fichte wesentlich verschiedenen Plenterwaldversuchsflächen wird nach der Methode von SCHÜTZ (1989 und 1997) ein möglicher Gleichgewichtszustand abgeleitet, und es wird untersucht, wie weit die tatsächliche Struktur von einem Gleichgewicht entfernt ist, wie sich einige Strukturparameter im Laufe der Zeit verändern und welchen Einfluss diese Änderungen auf das Wachstum im Bestand haben.

Es soll versucht werden, den Spielraum für ein Optimum auszuloten. Wie weit kann sich ein Bestand von einem Gleichgewicht entfernen, ohne dass die Struktur dauernd gefährdet wird?

2. Untersuchungsobjekte

2.1 Bestand Les Arses (Versuchsfläche 01-041)

2.1.1 Lage und Standort

Die 1,5 ha grosse Fläche Les Arses liegt in der Gemeinde Rougemont im Pays d'Enhaut, Kanton Waadt, in der subalpinen Stufe (KUOCH, 1954), auf 1300 m ü.M. auf einem mässig geneigten NE-Hang. Das Gebiet ist mit 1600 mm pro Jahr recht niederschlagsreich. Die Jahresmitteltemperatur beträgt etwa 6 °C, die mittlere Januar-temperatur etwa -3 °C und die mittlere Juli-temperatur etwa 14,7 °C.

Der Wald stockt auf frischem bis feuchtem, meist aber durchlässigem Boden aus Verwitterungsprodukten des oberen Jurakalks, aus Gehängeschutt, Felssturzmaterial und mergeligen Schichten aus dem Flysch.

Zwei Waldgesellschaften sind vertreten: Der subalpine Ahorn-Buchenwald (ELLENBERG, KLÖTZLI (1972) Nr. 21, *Aceri-Fagetum*) der mittel- bis tiefgründigen Kalkverwitterungsböden (mittlere bis reiche Partien der Fläche) und der Farn-Tannenmischwald (ELLENBERG, KLÖTZLI (1972) Nr. 48, *Asplenio-Piceetum*) auf Blockschuttmaterial mit Rohhumusauflage (eher ärmere bis mittlere Flächenpartien).

2.1.2 Bestandesgeschichte

Les Arses wurde von alters her plenterartig bewirtschaftet. Der Bestand wurde ursprünglich als Reserve für allfällige unvorhergesehene grössere Bedürfnisse der Gemeinde wie «Brandfälle und sonstiges Unglück» betrachtet und behandelt. Seit 1928 wird der Bestand planmässig bewirtschaftet und beobachtet.

1957 bemerkte BADOUX, der damalige Betreuer der Versuchsfläche, dass bisher «à la bernoise», d. h. auf eine konservative Art und Weise geplentert wurde und dass dies längerfristig in eine Sackgasse, d. h. zu einem eher femelschlagähnlichen Wald, führen würde.¹ Der geplante langsame Vorratsabbau konnte aber erst 1969 beginnen, da im umliegenden Wald von Rougemont im Jahre 1962 bedeutende Föhnschäden auftraten; der vorgesehene Schlag in der Versuchsfläche musste deshalb wegen des belasteten Holzmarktes um eine Periode verschoben werden.

Eine Analyse der Bestandesentwicklung und des Gleichgewichtes durch SCHÜTZ im Jahre 1978 bestätigte, wie notwendig ein Vorratsabbau war.² Von 1928 bis 1969 bewegte sich der Vorrat auf der Fläche immer um 400 m³/ha. Die Verjüngung in diesem Bestand war immer etwas zu spärlich. Die Stammzahl in der BHD-Stufe 10 cm lag nur zwischen 100 und 130. Für die Erhaltung einer dauernden Plenterstruktur im Gleichgewicht wären bei einem Bestandesvorrat von 400 m³/ha nach den Analysen von SCHÜTZ aber etwa 160 Bäume pro Hektare in Stufe 10 cm notwendig (jeweils nach einem Eingriff). Als kurzfristiges Ziel wurde deshalb ein Vorratsabbau vorerst auf 350 m³/ha, längerfristig auf etwa 300 m³/ha vorgeschlagen. Der Ziel-durchmesser sollte ebenfalls auf etwa 65 cm BHD gesenkt werden. Durch einen tieferen Vorrat sollte die Verjüngung erleichtert werden; in die erste Stufe müssten damit mehr

¹ Bemerkung von E. BADOUX zur Bestandesbeschreibung. Archiv der Abt. Waldressourcen und Management der WSL.

² Bemerkung von J. P. SCHÜTZ zur Bestandesbeschreibung. Archiv der Abt. Waldressourcen und Management der WSL.

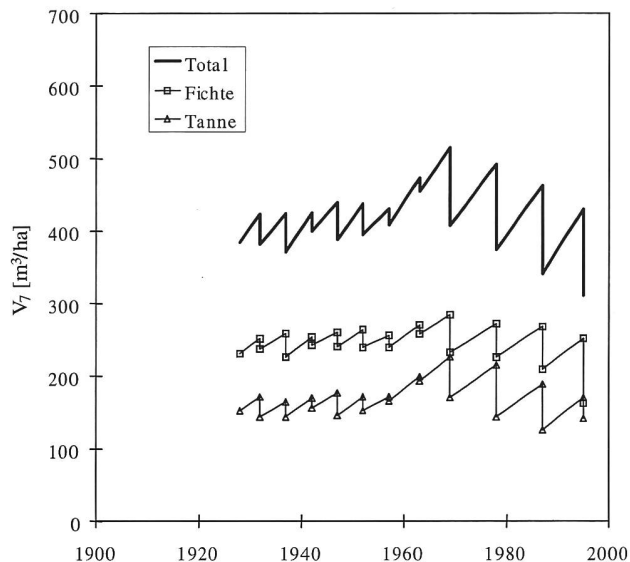


Abbildung 1. Les Arses: Derbholzvorrat V_7 (Fichte, Tanne und Total).

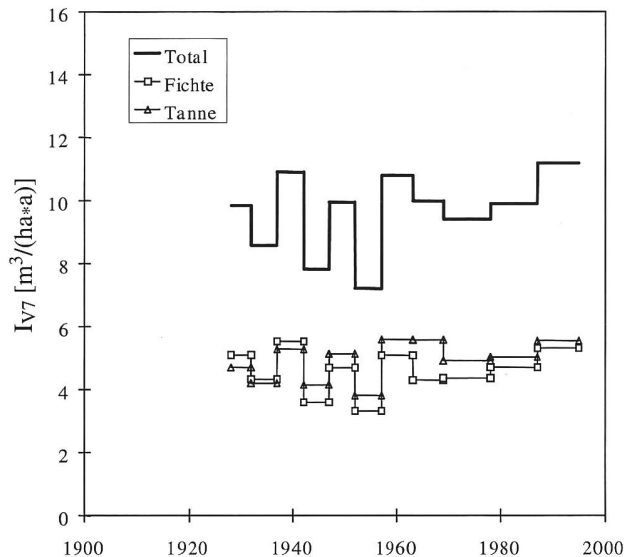


Abbildung 2. Les Arses: Periodischer jährlicher (Derbholz-) Zuwachs (Fichte, Tanne und Total).

junge Bäume einwachsen (Fig. 4 in SCHÜTZ, 1975 und Abbildung 3).

2.1.3 Die Bestandesdaten

Verwendet werden die Daten der seit 1928 beobachteten Versuchsfläche. Die Aufnahmen erfolgten in der Regel bis 1969 alle sechs Jahre, später alle acht bis neun Jahre. Seit Beobachtungsbeginn werden folgende Grössen erhoben:

- Baumart, BHD, soziale Stellung, später IUFRO-Baumklassifikation.
Für ein Teilkollektiv: Baumhöhe und d_7 , Kronenansatzhöhe und Kronenradien.
- Alter: Nach einer Altersbestimmung an 39 Stöcken sind Bäume mit Stockdurchmessern um 60 cm zwischen 100 und 250 Jahre alt.
- Derbholzvorrat, V_7 [m^3/ha]: Für alle Vorratsberechnungen wurde der lokale Tarif von 1978 verwendet. Bis 1969 bewegt sich der Vorrat auf dem (zu) hohen Niveau von etwa $400 m^3/ha$. Seit 1969 wird der Vorrat langsam abgebaut. Der Anteil von Fichte und Tanne am Vorrat bleibt im ganzen Beobachtungszeitraum ungefähr konstant (Abbildung 1).

Periodischer jährlicher Zuwachs, I_{V7} [$m^3/(ha*a)$]: Der periodische jährliche Zuwachs an Derbholz schwankt im Aufnahmezeitraum zwischen $7,2$ und $10,9 m^3/(ha*a)$. Deutlich erkennbar

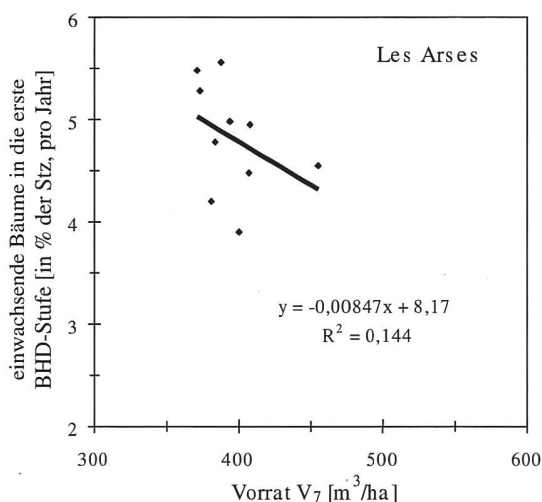


Abbildung 3. Les Arses: Vorrat am Anfang der Perioden und Einwachsrate in die erste Stufe.

sind die drei klimatisch bedingten Einbrüche in den Messperioden 1932–1937, 1942–1947 und 1952–1957.

Über den ganzen Beobachtungszeitraum scheint der periodische jährliche Zuwachs leicht anzusteigen (Abbildung 2).

Stammzahlverteilung: 1928 waren die unteren Durchmesserstufen bis etwa $BHD = 22$ cm relativ schwach und die Stufen von 26 – 62 cm relativ stark vertreten. Im Laufe der Zeit verschieben sich diese «Unter- bzw. Übervertretungen» langsam zu den höheren Durchmesserstufen. Wie 1957 zum erstenmal bemerkt wurde, war damals der Vorrat des Bestandes zu hoch, der Einwuchs in die erste Stufe ist wohl ungefähr konstant, aber für eine dauernde Erhaltung und Verbesserung der Plenterstruktur nicht ganz genügend (Abbildung 14).

Verjüngung: Gemäss Abbildung 3 wirken sich kleinere Vorräte in Les Arses positiv auf die Verjüngung aus. Bei der beobachteten Schwankung des Vorrates um $\pm 40 m^3/ha$ ist die Beziehung allerdings nicht gesichert. Andere Faktoren wie Wildschäden, sonstige Schäden, Verunkrautung und Pflanzungen beeinflussen die Verjüngung ebenfalls, sind aber nicht quantifiziert worden.

2.2 Bestand Hasliwald (Versuchsfläche 01-019)

2.2.1 Lage und Standort

Die $2,0$ ha grosse Fläche Hasliwald liegt in der Gemeinde Oppligen im Kanton Bern auf 570 m ü. M. Der Jahresnieder-

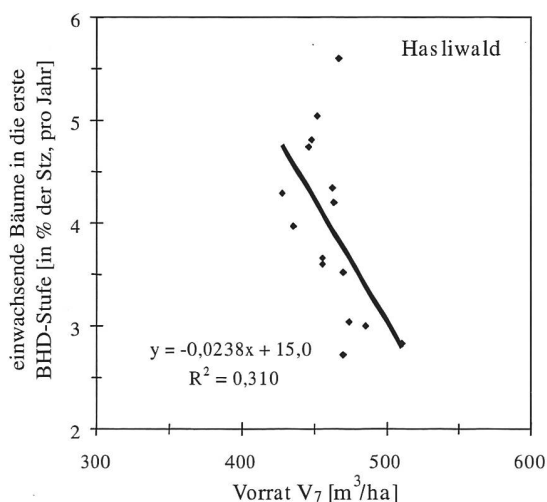


Abbildung 4. Hasliwald: Vorrat am Anfang der Perioden und Einwachsrate in die erste Stufe.

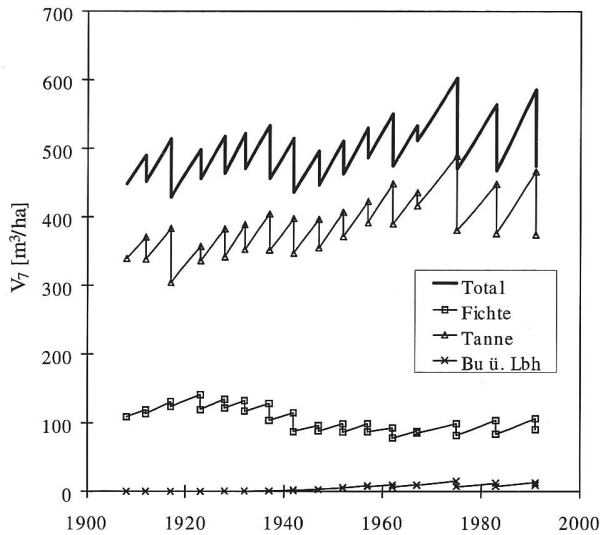


Abbildung 5. Hasliwald: Derbholzvorrat V_7 (Fichte, Tanne, Buche und Laubholz und Total).

schlag beträgt etwa 1100 mm, die Jahresmitteltemperatur 8,7 °C, die mittlere Januartemperatur -1,2 °C und die mittlere Julitemperatur etwa 18,3 °C.

Der Wald stockt auf fruchtbarem, tiefgründigem Lehm mit genügend Beimengung von Kalk- und Silikatgesteinen; es handelt sich um Bachschutt auf Diluvium.

Der Standort gehört zum Waldhirschen-Buchenwald (ELLENBERG, KLÖTZLI (1972), Nr. 8, *Milio-Fagetum majanthemetosum*) und zum Peitschenmoos-Fichten-Tannenwald (ELLENBERG, KLÖTZLI (1972), Nr. 46, *Myrtillo-Abietetum*, *Lysimachia*-Variante und *Quercu-Abietetum sphagnetosum*, *Carex pilulifera*-Variante).

2.2.2 Bestandesgeschichte

Die Versuchsfläche liegt im Hasliwald, der total 45 ha umfasst. Es ist die tiefstgelegene Plenterversuchsfläche der WSL. Es handelt sich um einen Wald der sogenannten Rechtsamegemeinde Oppligen mit Teilrechten, die auf die Häuser oder Güter lauten und nur mit diesen käuflich sind. Von alters her wurde er plenterartig auf eine besondere Art und Weise bewirtschaftet. Die Waldkommission beging jedes Jahr den ganzen Waldkomplex und führte die Schlaganzeichnung durch. Jedem der Teilrechte wurden ein bis drei Stämme zur Fällung und Ausastung zugeteilt. Gipfel- und Astholz gehörten zu den Teilrechten; das Stammholz wurde dagegen gemeinsam verkauft (DAEPP, 1950). Seit 1908 wird die Anzeichnung unter Anleitung des Kreisoberförstlers und des Betreuers der Versuchsfläche durchgeführt. Bis etwa 1923 wurden grosse Stöcke gerodet, was örtliche Vernäsung und z.T. Ausbreitung von Torfmoos (*Sphagnum*) zur Folge hatte. Schon ab 1917 begann man auf vorhandenen Lücken und lichten Stellen gruppenweise Buchen zu unterpflanzen. Durch das Buchenlaub und die Beendigung der Stockrodung hat sich das Torfmoos ab 1928 wieder zurückgebildet. 1929 erfolgte nach den vorhandenen Beschreibungen die letzte Buchenpflanzung. Die natürliche Verjüngung wurde z.T. durch gründliches Umhacken des Bodens gefördert; ergänzende Fichtenpflanzungen erfolgten, falls notwendig, bis in die neuste Zeit. Die Tanne befindet sich hier ausserhalb ihres Optimums, ihre Leistung lässt deshalb mit dem Alter früher nach. Die Fichte ist sehr konkurrenzkräftig, kann aber im höheren Alter unter Fäule leiden. Schon FLURY (1933) hat für die Fläche eine «etwas stärkere Vertretung der Fichte» angestrebt. Nach den «Allgemeinen Zielsetzungen» für diese Fläche, die SCHÜTZ 1975 festgelegt

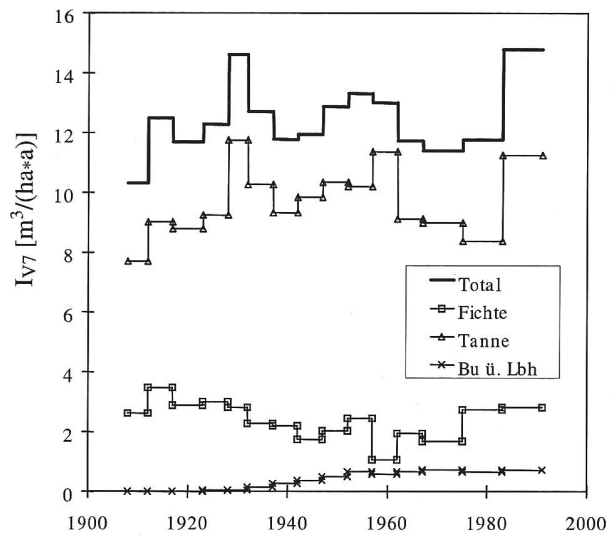


Abbildung 6. Hasliwald: Derbholzzuwachs (Fichte, Tanne, Buche und übriges Laubholz und Total).

hat, soll eine Plenterbewirtschaftung mit einem relativ grossen Fichten-Anteil von 50% am Volumen und 60–65% an der Stammzahl angestrebt werden. Der optimale Vorrat sollte zwischen 425 und 475 m^3/ha liegen (jeweils nach einem Eingriff).

2.2.3 Bestandesdaten

Es werden die gleichen Daten erhoben wie in der Fläche Les Arses. Die Fläche wird seit 1908 beobachtet. Die Aufnahmen erfolgten bis 1967 in der Regel alle vier bis fünf Jahre, nach 1967 alle acht Jahre.

Alter: An 16 Stöcken von etwa 200 Jahre alten Bäumen aus dem Hauptbestand bestimmte man in den Jahren 1923 und 1928 Stockdurchmesser zwischen 60 und 130 cm. An 21 Stöcken von 170 Jahre alten Bäumen aus dem Nebenbestand bestimmte man im Jahre 1917 Stockdurchmesser von 25 bis 90 cm.

Derbholzvorrat, V_7 [m^3/ha]: Für alle Vorratsberechnungen wurde der lokale Tarif von 1908 verwendet. Der Derbholzvorrat (jeweils nach dem Eingriff) stieg bis 1967. Nach 1967 erfolgte ein langsamer Abbau. Der Vorrat konnte in den letzten Aufnahmeperioden nahe den angestrebten 450 m^3/ha gehalten werden. Der Fichtenanteil steigt seit 1963 langsam an, ist mit etwa 20% aber immer noch weit von den angestrebten 50% des gesamten Vorrates entfernt (Abbildung 5).

Periodischer jährlicher Zuwachs, I_{V7} [$m^3/(ha*a)$]: Der periodische jährliche Zuwachs ist hoch; er schwankt im Aufnahmezeitraum zwischen 10,3 und 14,6 $m^3/(ha*a)$. Die andernorts zu beobachtenden klimatisch bedingten Wachstumseinbrüche in den 30er, 40er und 50er Jahren sind hier nicht feststellbar. Tendenzmässig scheint der Zuwachs im Laufe der Zeit leicht zuzunehmen (Abbildung 6). Interessant ist, dass der letzte Zuwachsschub fast ausschliesslich auf die Tanne entfällt.

Stammzahlverteilung: Die Stammzahlen in den Durchmesserstufen bis etwa 50 cm sind heute etwas zu klein – eine Folge der zu schwachen Verjüngung bis in die späten 60er Jahre. In den untersten Stufen dagegen ist die Stammzahl nun, z.T. dank früherer Pflanzung von Fichte, genügend (Abbildung 15).

Verjüngung: Gemäss Abbildung 4 wirken sich auch hier kleinere Vorräte positiv auf die Verjüngung aus. Andere Faktoren wie Wildschäden, sonstige Schäden, Verunkrautung und

Pflanzungen beeinflussen die Verjüngung ebenfalls, sind aber nicht quantifiziert worden.

3. Gleichgewichtsmodell im Plenterwald nach Schütz

3.1 Modellgrundlagen

Plenterwälder lassen sich durch ihre Stammverteilungskurven charakterisieren. Diese Kurven haben eine typische Form, die sich mathematisch fassen lässt. LIOCOURT (1898) konnte erstmals zeigen, dass die Zahl der Bäume mit zunehmendem Durchmesser nach einer geometrischen Progression abnimmt. Die Stammzahlverteilung kann auch als Exponentialfunktion aufgefasst werden (MEYER, 1933).

Ein idealer Gleichgewichtszustand für den Plenterbestand kann mit Hilfe der Gleichgewichtskurve nach SCHÜTZ (1989 und 1997) dargestellt werden. Im Idealfall würde sich die Stammzahlverteilungskurve in einem Plenterwald im Laufe der Zeit nicht verändern. Im Gleichgewichtszustand müssen daher pro Referenzperiode in jeder BHD-Stufe die Stammzahlen des Einwuchses aus der kleineren Stufe ① gleich gross sein wie die Summe der Stammzahlen der Nutzung ② (geplante Nutzung und nicht geplante, sogenannte zufällige Nutzung) und des Auswuchses in die nächstgrössere Stufe ③ (Abbildung 7).

Die langjährigen, ausgeglichenen Einwuchsraten (p_i) und Nutzungsraten (e_i) für jede BHD-Stufe lassen sich aus den Bestandesdaten (Stammzahlen und Durchmesserzuwächse der Stufen) bestimmen (Abbildung 8 und 9).

Aus der Gleichgewichtsbedingung «Einwuchs = Nutzung + Auswuchs» lässt sich die Formel I herleiten:

$$\text{Formel I} \quad (n_{i-1} * p_{i-1}) - (n_i * e_i) - (n_i * p_i) = 0$$

(FRANÇOIS, 1938)

Aus Formel I lässt sich leicht eine Gleichung für die Stammzahl (n_{i-1}) der BHD-Stufe «i-1» ableiten:

$$\text{Formel II} \quad \text{Stammzahl der Stufe «i-1»} = n_{i-1} = (n_i * e_i + n_i * p_i) / (p_{i-1}) = n_i (p_i + e_i) / (p_{i-1})$$

Aus Formel II (Stammzahl für Stufe «i-1») folgt die Gleichung für die Stammzahl n_{i+1} der BHD-Stufe «i+1»:

$$\text{Formel III} \quad \text{Stammzahl der Stufe «i+1»} = n_{i+1} = n_i * p_i / (p_{i+1} + e_{i+1})$$

Ausgehend von einer beliebigen Anfangsstammzahl für die erste BHD-Stufe (z. B. 100), lassen sich mit Formel III schritt-

weise die Stammzahlen für jede nächsthöhere Stufe bestimmen und damit eine erste Gleichgewichtskurve herleiten (Abbildungen 10 und 11).

Ein Gleichgewicht wird abgeleitet aus den tatsächlich geleisteten Einwuchsraten p_i und den wirklichen Nutzungsraten e_i (Einwuchsrate p_i = Anteil der Ausgangsstammzahl in %, der pro Jahr die nächsthöhere Klasse erreicht; Nutzungsrate e_i = Anteil der Ausgangsstammzahl in %, der pro Jahr entnommen wird). Diese Stammzahlverteilungskurve erlaubt es, die Abweichung der wirklichen Bestandesstruktur von einem hypothetischen Idealzustand zu zeigen. Da sich Einwuchs- und Nutzungsraten mit der sich ändernden Struktur im Laufe der Zeit verändern, ist auch das jeweils bestimmte Plentergleichgewicht veränderlich und kein fester Idealzustand. Das dauernde Streben nach einem Optimum, einem Gleichgewichtszustand, von BIOLLEY (1920) «*étale*» genannt, ist charakteristisch für den Plenterwald.

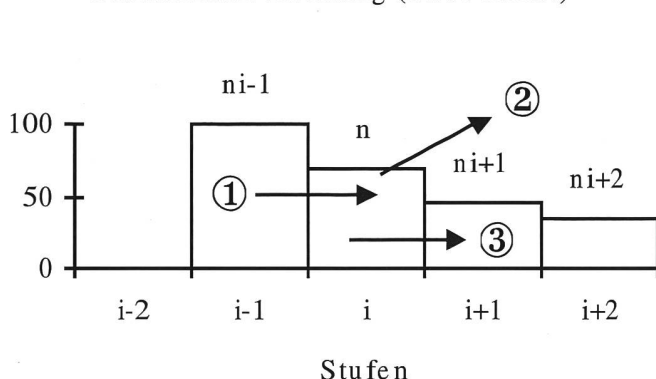
3.2 Gleichgewicht für die Bestände Les Arses und Hasliwald

3.2.1 Einwuchs- und Nutzungsraten

Die Einwuchsraten p_i [in % der Stammzahl/Jahr] nach den BHD-Stufen zeigen immer einen typischen Verlauf: sie nehmen, allerdings mit beträchtlichen Schwankungen in den verschiedenen Aufnahmeperioden und auch um die Ausgleichskurven, bis etwa Stufe 54 bzw. 62 cm zu und in den höheren Stufen wieder ab (Abbildungen 8 und 9 sowie Abbildungen 18 bis 21). Der grosse Durchmesserzuwachs der Bäume mit grösseren BHD im Plenterwald zeigt sich in der «späten» Kulmination der Kurve. Im hochdurchforsteten Bestand, nach Ertragstafeln für Fichte und Tanne, BADOUX (1983), steigen die Einwuchsraten in den kleinen Durchmessern steiler an, kulminieren aber bereits etwa in den BHD-Stufen 26 bis 34 cm. (Im Gegensatz zu fast allen anderen Ertragstafeln macht die Ertragstafel von BADOUX Angaben über die Stammzahlverteilung über dem BHD!)

Die Nutzungsraten e_i für jede Stufe [in % der Stammzahl/Jahr] ergeben sich aus jedem Eingriff des Bewirtschafters. Sie schwanken noch stärker als die Einwuchsraten. Generell bleiben aber die Nutzungsraten in den Stufen von 10 bis 46 cm in beiden Flächen mehr oder weniger konstant und steigen erst ab etwa Stufe 46 deutlich an. Entsprechend dem besseren Standort und dem höheren Zuwachs im Hasliwald sind die Nutzungsraten dort höher als in Les Arses (Abbildungen 8 und 9).

Stammzahlverteilung (Ausschnitt)



① Einwuchs von vorheriger Stufe =

$$(n_{i-1} * p_{i-1})$$

Stammzahl Einwuchsrate [%]
(langjährig beobachtete Rate)

② Nutzung in der Referenzperiode =

$$(n_i * e_i)$$

Stammzahl Nutzungsrate [%]
(langjährig beobachtete Rate)

③ Auswuchs in die nächst höhere Stufe

$$(n_i * p_i)$$

Stammzahl Einwuchsrate [%]

Abbildung 7. Erläuterung zur Bestimmung der Gleichgewichtskurve nach SCHÜTZ (1989 und 1997).

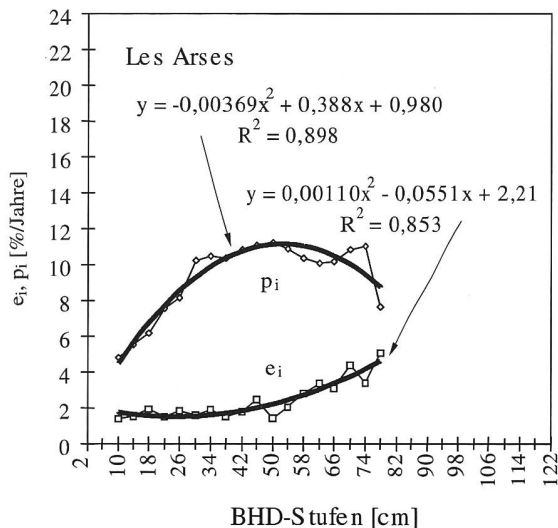


Abbildung 8. Les Arses: Einwuchsraten p_i und Nutzungsraten e_i nach BHD-Stufen. Langjährige Mittelwerte und Ausgleichskurven.

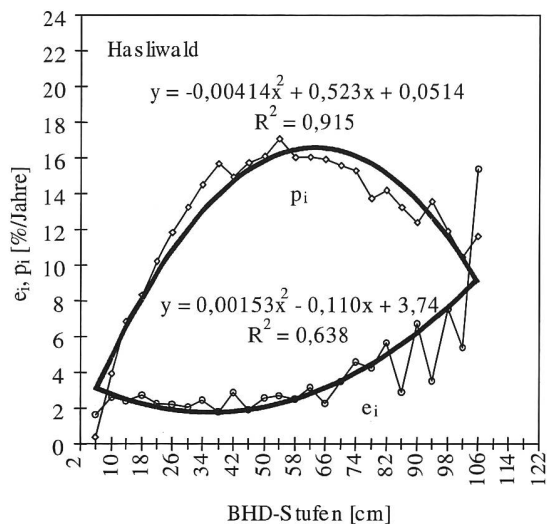


Abbildung 9. Hasliwald: Einwuchsraten p_i und Nutzungsraten e_i nach BHD-Stufen. Langjährige Mittelwerte und Ausgleichskurven.

3.2.2 Bestimmung eines Gleichgewichts

Mit der im Abschnitt 3.1 beschriebenen Methode können nun, mit den ausgeglichenen Werten für Einwuchs- und Nutzungsraten, Stammzahlverteilungskurven für Gleichgewichtszustände konstruiert werden (SCHÜTZ 1989 und 1997). Eine beliebige Anfangsstammzahl, in unserem Beispiel 100 bzw. 200, in der ersten BHD-Stufe muss festgelegt werden.

Zu jeder der Gleichgewichtskurven lässt sich der zugehörige Vorrat einfach mit dem entsprechenden Tarif berechnen. (In diesem Fall handelt es sich um einen aufgrund von sektionsweisen Stammeinmessungen bestimmten Lokaltarif).

Die Wertepaare Stammzahl in der ersten BHD-Stufe und zugehöriger Vorrat V_7 für alle theoretischen möglichen Gleichgewichtszustände eines Plenterbestandes mit gegebenem Ziel-durchmesser liegen auf einer Geraden, weil für die Berechnung der Gleichgewichtskurven jeweils die gleichbleibenden, ausgeglichenen Relativwerte (p_i) und (e_i) verwendet werden. Für die Definition dieser Geraden (Abbildungen 12 und 13) genügt es deshalb, zwei Gleichgewichtskurven (Abbildungen 10 und 11) für beliebig angenommene Stammzahlen in der ersten BHD-Stufe zu berechnen und die zugehörigen Vorräte/ha abzuleiten (SCHÜTZ, 1997).

Ein Vergleich der Abbildungen 12 und 13 zeigt, dass für den Bestand Les Arses die Gerade für die Wertepaare Stammzahl in der ersten BHD-Stufe und zugehöriger Vorrat V_7 theoretisch möglicher Gleichgewichtszustände über jener für den Hasliwald liegt. Das bedeutet: Bei gleicher Stammzahl in der ersten BHD-Stufe muss im Gleichgewicht der Vorrat auf dem schlechteren Standort kleiner sein als auf dem besseren. Oder umgekehrt: In Plenterbeständen mit gleichem Vorrat/ha muss die Stammzahl der ersten Stufe im Gleichgewicht auf dem schlechteren Standort grösser sein als auf dem besseren.

Die tatsächliche Entwicklung der Wertepaare (Stammzahlen in BHD-Stufe 10 cm)/ha und Vorrat/ha des Bestandes mit der Zeit kann in der gleichen Graphik dargestellt werden. Entsprechend dem Willen des Bewirtschafters und den natürlichen Umständen bewegen sich diese Wertepaare in einem bestimmten Rahmen, der um so kleiner ist, je näher der Bestand einem Gleichgewicht ist (Abbildungen 12 und 13). Der anzustrebende Gleichgewichtszustand wird nun auf der Geraden für die theoretischen Gleichgewichtszustände so festgelegt, dass er realistischerweise auch erreicht werden kann (Schnittpunkte der ausgezogenen Linien in Abbildung 12 und 13 mit den gutachtlich festgelegten gestrichelten

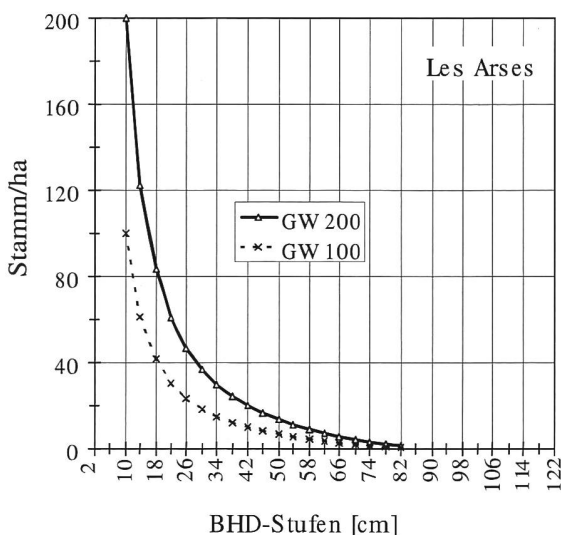


Abbildung 10. Les Arses: Gleichgewichtskurven für Anfangsstammzahlen von 100 bzw. 200. Entsprechende $V_7 = 252 \text{ m}^3/\text{ha}$ bzw. $503 \text{ m}^3/\text{ha}$.

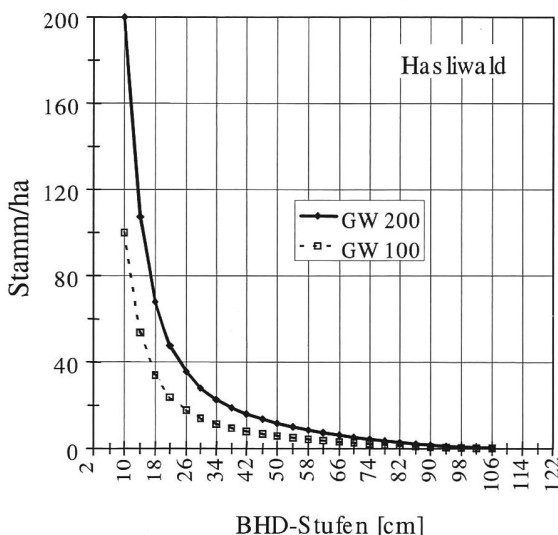


Abbildung 11. Hasliwald: Gleichgewichtskurven für Anfangsstammzahlen von 100 bzw. 200. Entsprechende $V_7 = 282 \text{ m}^3/\text{ha}$ bzw. $563 \text{ m}^3/\text{ha}$.

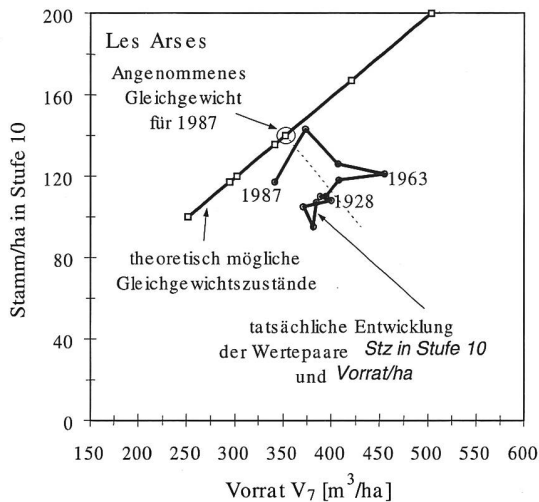


Abbildung 12. Les Arses: Entwicklung der Wertepaare «Stz in der ersten Stufe» und « V_7 » (Werte nach Eingriff). Mögliche Gleichgewichtszustände und angenommenes Gleichgewicht.

Linien; nach SCHÜTZ (1997) «Tendance générale» genannt). Aus der auf diese Weise festgelegten Stammzahl in Stufe 10 cm lässt sich nun leicht eine definitive Gleichgewichtskurve berechnen (Abbildungen 14 und 15). Angegeben sind jeweils die Werte nach einem Nutzungseingriff.

Die gesamte Nutzungsmenge im Modell sollte dem gemessenen Zuwachs entsprechen. Ist das nicht der Fall, wird der Vorrat ansteigen und das Gleichgewicht wäre nicht mehr gewährleistet (SCHÜTZ, 1997). Im Beispiel Hasliwald (Abbildung 17) beträgt die Nutzung im gewählten Modell $13,9 \text{ m}^3/(\text{ha}\cdot\text{a})$. Der gemessene Zuwachs liegt im Durchschnitt etwas darunter, in der letzten Periode etwas darüber (Abbildung 6).

Im Vergleich der wirklichen Stammzahlverteilungen mit der Gleichgewichtskurve Les Arses wird erkennbar, wie sich die bis 1947 deutlichen Defizite in den unteren BHD-Stufen bis etwa 38 cm langsam zu den höheren BHD-Stufen verschieben. 1987 ist die Verjüngung immer noch nicht ganz genügend, die Stufen von 14 bis etwa 22 cm sind genügend, die BHD-Stufen von 26 bis etwa 46 cm sind zu schwach vertreten (Abbildung 14).

Im Vergleich der wirklichen Stammzahlverteilungen mit dem Gleichgewicht Hasliwald war 1967 die Stammzahl in den unteren BHD-Stufen 10 bis etwa 26 cm zu klein. Das Defizit hat

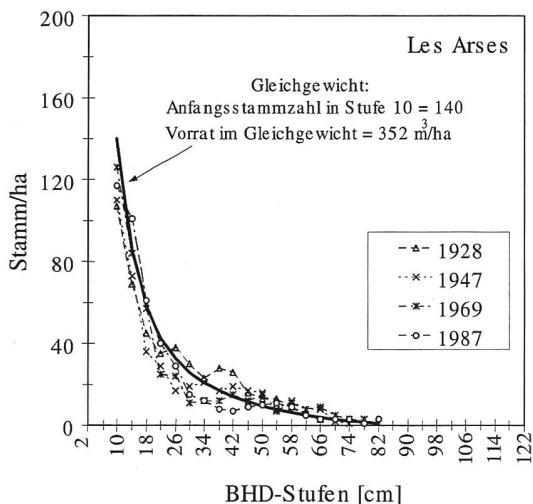


Abbildung 14. Les Arses: Gleichgewichtskurve für eine Anfangsstammzahl in der ersten BHD-Stufe von 140; Vergleich mit den wirklichen Stammzahlverteilungskurven für 1928/47/69/87, jeweils nach dem Nutzungseingriff.

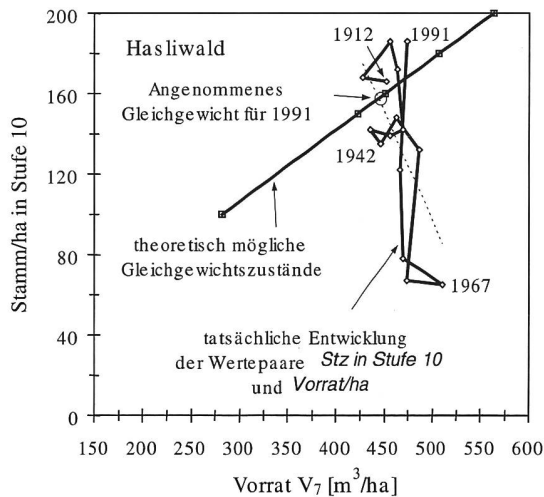


Abbildung 13. Hasliwald: Entwicklung der Wertepaare «Stz in der ersten Stufe» und « V_7 » (Werte nach Eingriff). Mögliche Gleichgewichtszustände und angenommenes Gleichgewicht.

sich seither nach rechts verschoben. 1991 ist die Verjüngung, z.T. dank früherer Pflanzung von Fichte, genügend. In den BHD-Stufen 18 bis 50 cm ist die Stammzahl zu klein, in den obersten BHD-Stufen $>50 \text{ cm}$ zu gross (Abbildung 15).

Das oben beschriebene Vorgehen für die Konstruktion von Gleichgewichtskurven zeigt deutlich, wie «künstlich», aber auch wie flexibel die Bewirtschaftung des Plenterwaldes ist. Der Bewirtschafter kann, im Rahmen der natürlichen Grenzen und Gegebenheiten, ein «Gleichgewicht» für den betreffenden Bestand festlegen und bei Bedarf auch wieder verändern. Da für die Bestimmung der Kurve die aus den wirklichen Werten ausgeglichenen, je nach Stufe unterschiedlichen Einwuchs- und Nutzungsraten herangezogen werden, weicht die auf die beschriebene Art bestimmte Gleichgewichtskurve von der Exponentialkurve nach MEYER (1933) ab. In beiden betrachteten Beständen zeigt die Gleichgewichtskurve nach SCHÜTZ in der halblogarithmischen Darstellung keine Gerade, sondern einen leicht S-förmigen Verlauf (vgl. Abbildungen 22 und 23). Je nach Standort und Zieldurchmesser und damit unterschiedlichen Einwuchs- und Nutzungsraten hat die Kurve eine andere Form (SCHÜTZ, 1997).

«Gleichgewicht» bedeutet keinen starren, endgültigen und unveränderlichen Idealzustand für den Bestand. Im

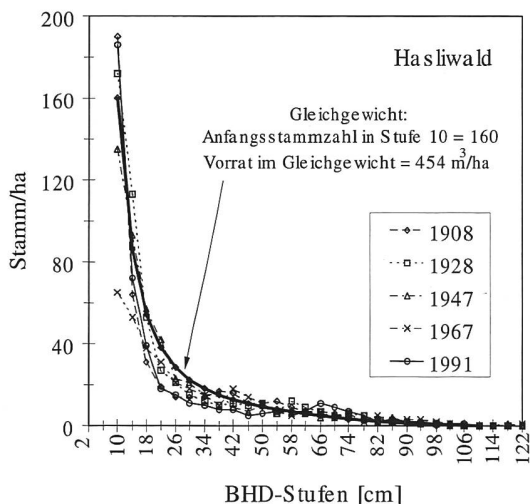


Abbildung 15. Hasliwald: Gleichgewichtskurve für eine Anfangsstammzahl in der ersten BHD-Stufe von 160; Vergleich mit den wirklichen Stammzahlverteilungskurven für 1908/28/47/67/91, jeweils nach dem Nutzungseingriff.

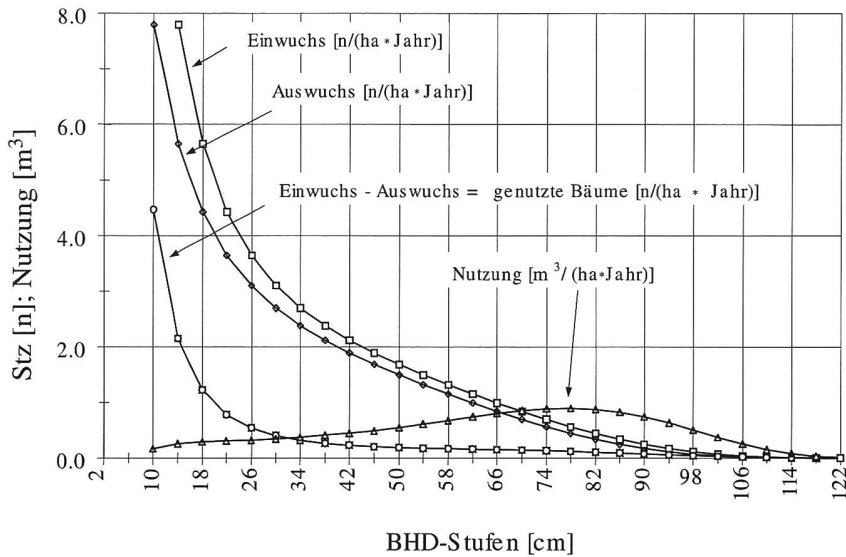


Abbildung 16. Hasliwald: Gleichgewicht für eine Anfangsstammzahl in der BHD-Stufe 10 cm von 160. Einwuchs [Stz]; Auswuchs [Stz]; Nutzung [Stz]; Nutzung [m³]; (jeweils pro BHD-Stufe und pro ha und Jahr). Die Differenz «Anzahl einwachsende Bäume» – «auswachsende Bäume» entspricht der «Anzahl genutzter Bäume».

Plenterwald sind, in einem bestimmten Rahmen, verschiedene Gleichgewichtszustände denkbar und möglich.

3.2.3 Die Nutzung im Gleichgewicht (Beispiel Hasliwald)

Aus den Gleichgewichtsparametern lässt sich für das Modell leicht die Nutzung nach BHD-Stufen ableiten (Abbildungen 16 und 17). Das Maximum der Nutzung liegt im gewählten Beispiel in der BHD-Klasse 78 cm. Die Tatsache, dass im Plenterwald der grösste Teil der Nutzung in den mittleren und oberen BHD-Klassen anfällt, hat heute nicht mehr die gleiche Bedeutung wie früher.

Interessant ist, die Nutzung gemäss Plenterwaldmodell mit jener im schlagweisen Hochwald nach Ertragstafelmodell zu vergleichen. (Das ist möglich, weil die Schweizerische Ertragstafel von BADOUX (1983) Angaben zur Stammzahlverteilung über dem BHD macht). Nach der benachbarten Vergleichsfläche 21–276 im schlagweisen Hochwald beträgt auf dem Standort im Hasliwald die Oberhöhe h_{dom50} der Fichte 25,7 m. Die Oberhöhe der Tanne erreicht nach dem Bonitätsschlüssel von KELLER (1978) 23,4 m. Bei einem Fichtenanteil von 20% liegt der dGZ bei 16,8 m³/(ha*a). Der dGZ ist mit 13,9 m³/(ha*a) im Plentermodell also um 17% kleiner als im schlagweisen Hochwald nach Ertragstafel. Zum Vergleich: MITSCHERLICH (1978) folgerte aus verschiedenen Untersuchungen, dass der aus Tanne, Fichte und Buche bestehende Plenterwald dem einschichtigen

Hochwald zwar in der Volumenleistung um 17% unterlegen, im Wertzuwachs aber um etwa 9% überlegen ist.

Im Plentermodell fällt das Maximum der Nutzung, gleich wie im Ertragstafelmodell (BADOUX, 1983), in den BHD-Stufen um 76 cm an. Im Ertragstafelmodell ist die Gesamtnutzung von 20–150 Jahren, in den BHD-Stufen bis etwa 82 cm, grösser als im Plenterwald, in den Stufen >82 cm aber kleiner (Abbildung 17).

4. Struktur und Wachstum

4.1 Die Einwuchsraten im Laufe der Zeit

Wie schon oben gezeigt wurde, sind die Einwuchsraten je nach BHD-Stufe unterschiedlich gross. Je nach Periode und klimatischen Einflüssen schwanken die Einwuchsraten auch in den einzelnen BHD-Stufen ganz erheblich. In Les Arses (Abbildungen 18 und 19) sind um 1937 und 1947 deutliche, wahrscheinlich trockenheitsbedingte Einbrüche in allen Stufen zu erkennen. Das verminderte Wachstum zwischen 1952 und 1957 ist dagegen eher auf eine Kälteperiode in den 50er Jahren zurückzuführen. Besonders in den letzten Jahren scheinen die Einwuchsraten generell leicht anzusteigen; die Tendenz ist allerdings statistisch nicht gesichert.

Im Hasliwald (Abbildungen 20 und 21) schwanken die Einwuchsraten in den BHD-Stufen bedeutend stärker als in

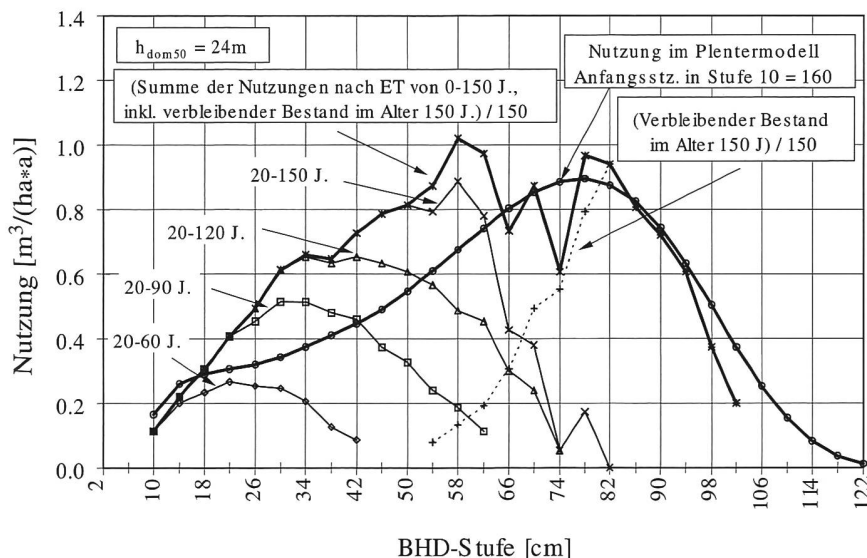


Abbildung 17. Hasliwald: Vergleich der Nutzung im Plentermodell Hasliwald (Gleichgewicht mit einer Anfangsstammzahl in BHD-Stufe 10 cm von 160) mit der Nutzung in einem hochdurchforsteten, reinen Ta-Bestand der Bonität $h_{dom50} = 24$ m nach Ertragstafel, BADOUX (1983), in m³/(ha*a), für einen Zeitraum von 150 Jahren.

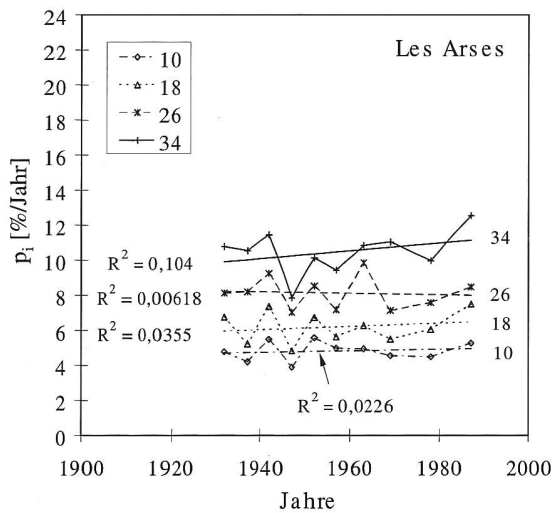


Abbildung 18. Les Arses: Einwuchsraten für die BHD-Stufen 10–34 cm nach Jahren und linearer Ausgleich.

Les Arses. Wachstumseinbrüche sind ebenfalls erkennbar, allerdings nicht in allen BHD-Stufen in der gleichen Aufnahmeperiode. Auch hier scheinen die Einwuchsraten im Laufe der Zeit, vor allem in den BHD-Stufen über etwa 30 cm, anzusteigen. Der Anstieg ist statistisch nicht gesichert.

Der Standort im Hasliwald ist bedeutend besser als der von Les Arses. Dementsprechend bewegen sich die Einwuchsraten in den BHD-Stufen >10 cm auf einem höheren Niveau. Interessanterweise liegen aber die Einwuchsraten in der BHD-Stufe 10 cm z.T. deutlich unter jenen von Les Arses (vgl. auch die Abbildungen 26 und 27). Die höhere «Grundflächendichte» G_{cum} im Hasliwald (vgl. 4.3) kann nicht alleiniger Grund für dieses Phänomen sein – in allen höheren BHD-Stufen ist die Dichte im Hasliwald ebenfalls grösser als in Les Arses, die Einwuchsraten sind aber trotzdem bedeutend höher. Eine entscheidende Rolle könnte der unterschiedliche Tannenanteil in den beiden Flächen, ein damit verbundener unterschiedlicher Wachstumsverlauf in den untersten BHD-Stufen oder die in den Auswertungen nicht berücksichtigte Bestandestextur spielen. Nach den Beobachtungen im Hasliwald sind die heute bestehenden Verjüngungsgruppen bis ins schwache Stangenholz z.T. relativ dicht stehend.

4.2 Verjüngung

Für die nachhaltige, langfristige Aufrechterhaltung eines Plentergleichgewichts ist es unerlässlich, dass in die erste Stufe

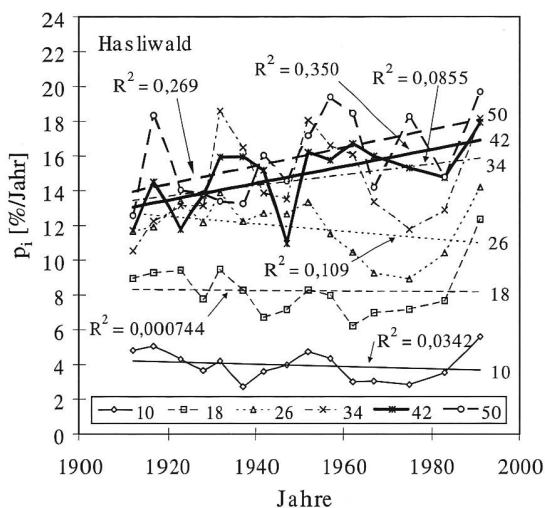


Abbildung 20. Hasliwald: Einwuchsraten für die BHD-Stufen 10–50 cm nach Jahren und linearer Ausgleich.

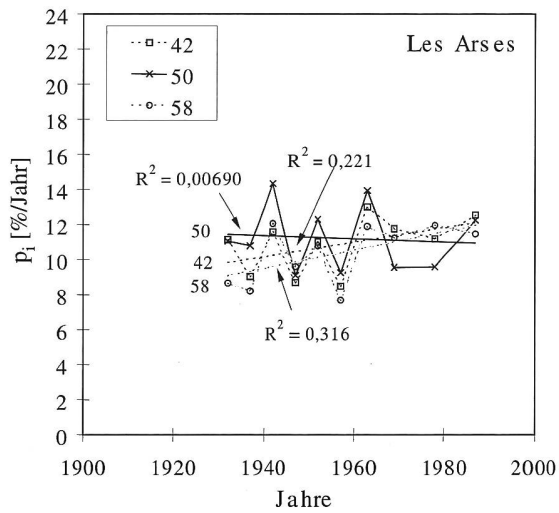


Abbildung 19. Les Arses: Einwuchsraten für die BHD-Stufen 42–58 cm nach Jahren und linearer Ausgleich.

immer genügend junge Bäume einwachsen. Aus Aufwandgründen werden Bäume mit BHD <8 cm üblicherweise nicht erfasst. Um abschätzen zu können, wieviele Bäume in den BHD-Klassen <8 cm vorhanden sein sollten, kann die Gleichgewichtskurve bis zum BHD = 0 cm extrapoliert werden (vgl. auch Duc, 1988). Dazu werden die ausgeglichenen Kurven für Einwuchs- und Nutzungsraten mit den Polynomfunktionen (Abbildungen 8 und 9) mathematisch extrapoliert. Mit den so geschätzten Einwuchs- und Nutzungsraten für die BHD-Stufen 2 cm und 6 cm können nun die Gleichgewichtskurven in Abbildungen 14 und 15 ebenfalls mathematisch extrapoliert werden. Man erhält so zusätzlich eine grobe Schätzung für die notwendigen Stammzahlen für die BHD-Stufen 2 cm und 6 cm jeweils nach einem Eingriff (Abbildungen 22 und 23).

Für Les Arses wären nach dieser Schätzung in der BHD-Stufe 6 cm etwa 280 Pflanzen, für Hasliwald 400 Bäume notwendig, damit das Gleichgewicht nachhaltig gesichert werden könnte. Für die BHD-Stufe 2 cm ergeben sich für Les Arses etwa 800 und für Hasliwald etwa 2300 Bäume.

Ist die Verjüngung in Plenterbeständen dauernd problematisch und ungenügend, kann es angezeigt sein, den Vorrat etwas abzubauen. Auch wenn die Verjüngung durch die Senkung des Vorrates nicht in jedem Fall direkt gefördert wird, kann ein Abbau sinnvoll sein, da Plenterbestände mit kleinerem Vorrat im Gleichgewicht weniger Verjüngung benötigen als solche mit grösserem Vorrat (Abbildungen 12 und 13). Aus Abbildung 12 lässt sich entnehmen, dass in Les Arses bei einem Gleich-

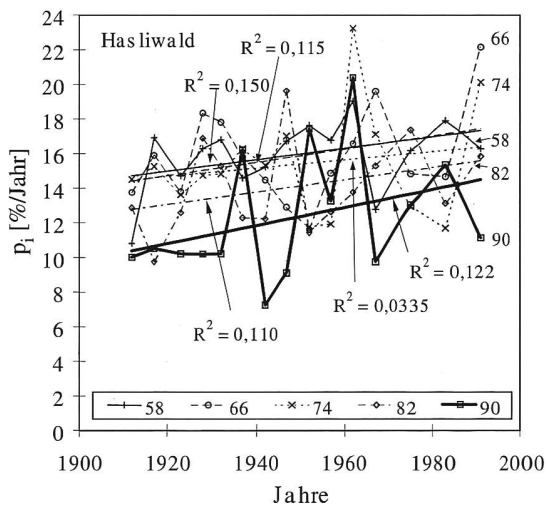


Abbildung 21. Hasliwald: Einwuchsraten für die BHD-Stufen 58–90 cm nach Jahren und linearer Ausgleich.

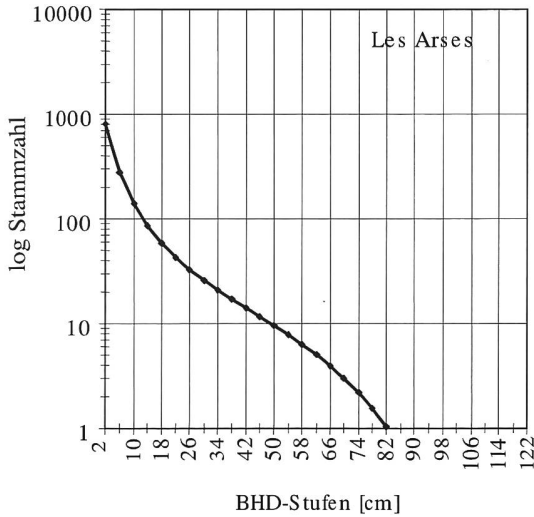


Abbildung 22. Les Arses: Stammzahlverteilungskurve im Gleichgewichtsmodell (halblogarithmisch). Die Kurve aus Abbildung 14 ist bis zur BHD-Stufe = 2 cm extrapoliert worden.

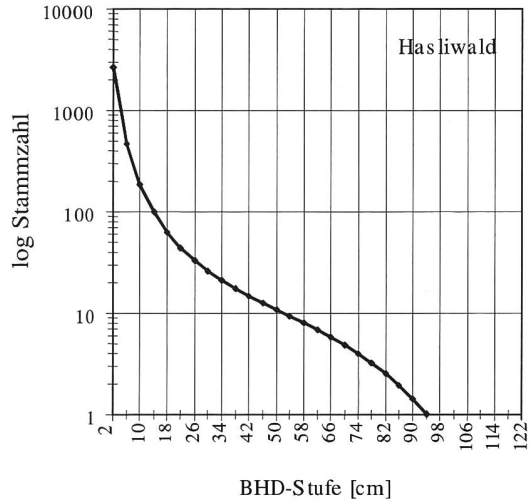


Abbildung 23. Hasliwald: Stammzahlverteilungskurve im Gleichgewichtsmodell (halblogarithmisch). Die Kurve aus Abbildung 15 ist bis zur BHD-Stufe = 2 cm extrapoliert worden.

wichtsvorrat von 350 m³/ha etwa 140 Bäume in BHD-Stufe 10 cm notwendig sind, bei einem Gleichgewichtsvorrat von 300 m³/ha sinkt die notwendige Anzahl Bäume in der BHD-Stufe 10 cm auf etwa 120. In der BHD-Stufe 6 cm müssten in diesem Falle etwa 240 und in der BHD-Stufe 2 cm 690 Bäume vorhanden sein.

4.3 Grundflächendichte stärkerer Bäume (Konkurrenzdruck) G_{cum}

SCHÜTZ (1975) konnte mit Datenmaterial aus acht Abteilungen im Tannen-Buchenwald von Môtiers aus der Wachstumsperiode 1962–1970 zeigen, dass zwischen der «Grundflächendichte stärkerer Bäume» und dem Zuwachs im Plenterwald ein Zusammenhang besteht. Als Mass für die Dichte verwendete SCHÜTZ die sogenannte kumulierte Grundfläche (G_{cum}). Er nimmt an, dass für die BHD-Stufe «i» nur jeweils die Bäume derselben Stufe und aller Stufen >«i» eine Konkurrenz darstellen. Die Summe der Grundflächen aller Stufen >= i wird G_{cum} genannt. Für jede Durchmesserstufe wurde die Beziehung der Einwuchsrate p_i zur kumulierten Grundfläche G_{cum} untersucht. In jeder Stufe sank die Einwuchsrate

mit zunehmender Grundflächendichte stärkerer Bäume G_{cum} (Fig. 3 bei SCHÜTZ, 1975). Diese Beziehung war aber nur in den grösseren Durchmesserklassen gesichert.

SCHÜTZ hat in seiner Untersuchung nur die Daten einer Aufnahmeperiode für den Vergleich verwendet; er konnte damit die grossen Wachstumsschwankungen, die je nach Aufnahmeperiode auftreten, ausschalten. Allerdings ist hier der Einfluss der unterschiedlichen Standorte unsicher. Alle von SCHÜTZ untersuchten Bestände stocken auf Standorten der gleichen Waldgesellschaft. Innerhalb dieser Waldgesellschaft kann jedoch das Wachstum differieren. Falls auf den zuwachsärmeren, schlechteren Standorten in Môtiers konservativer geplentert würde, die Vorräte dort deshalb höher wären als auf den besserwüchsigen Standorten, könnte das mit dazu beitragen, die negative Beziehung «Grundflächendichte stärkerer Bäume/Einwuchsrate» zu verstärken.

Für Les Arses und Hasliwald war in den frühen 60er Jahren die Bestandesdichte am grössten. Durch die Anpassung der Bewirtschaftung wurden in der BHD-Stufe 10 cm die G_{cum} für Les Arses bis 1987 um 20%, für Hasliwald bis 1991 um 10% abgebaut (Abbildungen 24 und 25).

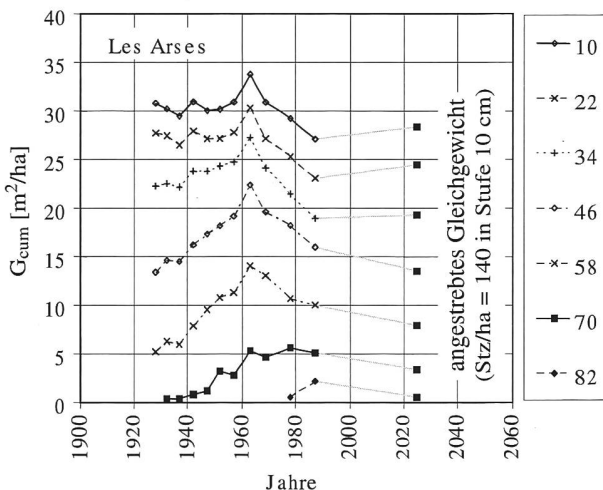


Abbildung 24. Les Arses: G_{cum} = Summe aller Grundflächen der Bestandesglieder mit BHD >= der betrachteten BHD-Stufe. Nach BHD-Stufen und Jahren. G_{cum} für den angestrebten Gleichgewichtszustand.

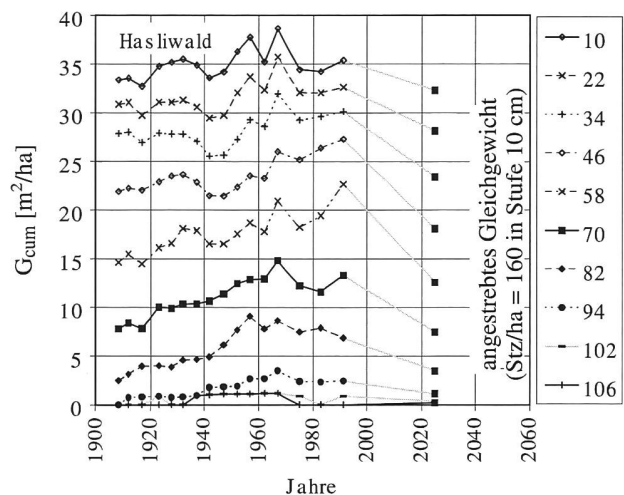


Abbildung 25. Hasliwald: G_{cum} = Summe aller Grundflächen der Bestandesglieder mit BHD >= der betrachteten BHD-Stufe. Nach BHD-Stufen und Jahren. G_{cum} für den angestrebten Gleichgewichtszustand.

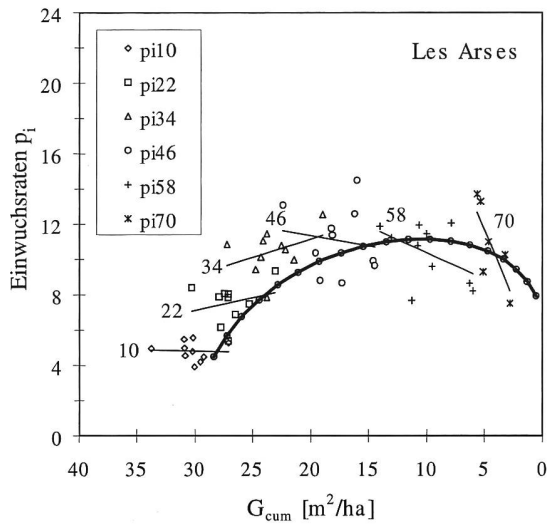


Abbildung 26. Les Arses: Beziehung zwischen Grundflächendichte (G_{cum}) und Einwuchsrate (p_i), dargestellt für die BHD-Stufen 10, 22, 34, 46, 58 und 70 cm, für den ganzen Aufnahmezeitraum 1928 bis 1987 und für den idealen Gleichgewichtszustand mit einer Anfangsstammzahl in BHD-Stufe 10 cm von 140 Stück (ausgezogene Kurve).

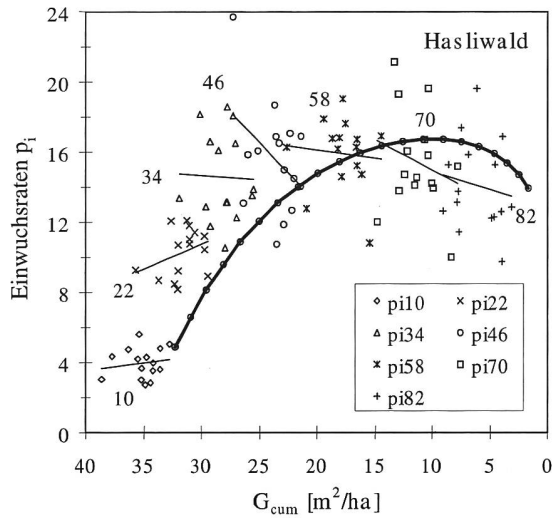


Abbildung 27. Hasliwald: Beziehung zwischen Grundflächendichte (G_{cum}) und Einwuchsrate (p_i), dargestellt für die BHD-Stufen 10, 22, 34, 46, 58, 70 und 82 cm, für den ganzen Aufnahmezeitraum 1908 bis 1991 und für den idealen Gleichgewichtszustand mit einer Anfangsstammzahl in BHD-Stufe 10 cm von 160 Stück (ausgezogene Kurve).

Nur in den kleinen BHD-Stufen bis etwa 34 cm wirkt sich die Grundflächendichte stärkerer Bäume des Bestandes, ausgedrückt durch G_{cum} , negativ auf die Einwuchsrate aus. In den höheren Stufen ist bei grösserem G_{cum} die Einwuchsrate eher grösser als bei kleinerem (Abbildungen 26 und 27).

Ein Grund dafür könnte sein, dass die Phase der grössten Grundflächendichte G_{cum} mit einer Phase vermutlich witterungsbedingt guten Wachstums zusammenfällt (vgl. Abbildungen 18 bis 21, Einwuchsraten nach Jahren). In beiden Beständen zeigen die Einwuchsraten p_i der höheren BHD-Stufen in den frühen 60er Jahren ein Maximum. Im Hasliwald ist ausserdem der Tannenanteil in den frühen 60er Jahren in einem Maximum, eine Tatsache, die ebenfalls zur etwas höheren Einwuchsrate beiträgt (vgl. Abschnitt 4.6). In den höheren BHD-Stufen gehören alle Bäume der herrschenden Schicht an, ihr Wachstum ist deshalb weniger von G_{cum} abhängig. Diese Bäume waren zur Zeit des grösseren G_{cum} jünger, also noch etwas leistungsfähiger.

Zu G_{cum} : 1973 hat STAGE bereits in seinem Bestandes-simulator die von SCHÜTZ als G_{cum} bezeichnete Grösse zur

Zuwachsschätzung verwendet. Seit damals ist sie als BAL (basal area of larger trees, WYKOFF *et al.*, 1982) oder OTA (overtopping area, ONG, KLEINE, 1995) allgemein als Mass für den Konkurrenzdruck üblich.

4.4 Vorrat und Zuwachs

MITSCHERLICH (1952) hat die Vorratshöhen verschiedener Bestände mit den entsprechenden Zuwächsen verglichen. Er hat gezeigt, dass die Höhe des Vorrates im Plenterwald im Rahmen von 200 bis 600 m^3/ha erstaunlicherweise auf den Zuwachs keinen direkten Einfluss hat. Ein grosser Vorrat kann einen tiefen, ein kleiner Vorrat einen grossen Zuwachs leisten. Ein Zusammenhang besteht hingegen mit dem Verhältnis der Stärkeklassen. Ein Zuwachsmaximum zeigen ausgeglichene Plenterbestockungen, die entweder einen verhältnismässig grossen Anteil Mittelholz und Schwachholz und einen geringen Anteil Starkholz haben, oder dann solche mit mittlerem Anteil Starkholz, kleinem Anteil Mittelholz und grossem Anteil Schwachholz (Abbildung 28).

So wie sich das Verhältnis Starkholz/Mittelholz im Bestand Les Arses von 1928 bis 1987 entwickelt, müsste nach Abbil-

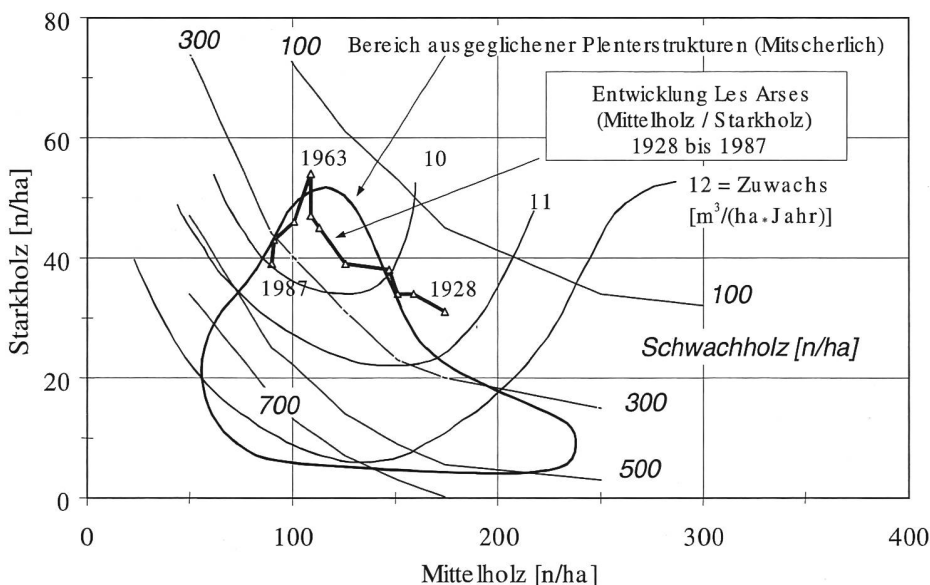


Abbildung 28. Zuwachs bei verschiedenen Stärkeklassenkombinationen nach MITSCHERLICH, 1952. Vergleich mit der Entwicklung der Stärkeklassenkombinationen in Les Arses.

Tabelle 1. Verhältnisse Stark-/Mittel-/Schwachholz [n/ha] und Zuwachs. Beispiel Les Arses. GW = Gleichgewicht für eine Anfangsstammzahl/ha in der BHD-Stufe 10 cm von 140. (Die Einteilung in die Stärkeklassen in Les Arses wurde so gewählt, dass sie mit den Verhältnissen nach MITSCHERLICH vergleichbar ist.) Die Zuwachswerte von 1928 bis 1963 sind fett dargestellt.

Klassen	MITSCHERLICH BHD	Les Arses BHD-Stufe	1928 [n]	1932 [n]	1937 [n]	1942 [n]	1947 [n]	1952 [n]	1957 [n]	1963 [n]	1969 [n]	1978 [n]	1987 [n]	GW [n]
Schwach-	7–25 [cm]	10–22 [cm]	256	234	240	251	248	246	261	274	292	328	319	327
Mittel-	26–49 [cm]	26–50 [cm]	174	159	151	147	126	113	109	109	101	91	90	131
Starkholz	>= 50 [cm]	54–86 [cm]	31	34	34	38	39	45	47	54	46	43	39	31
Zuwachs		I_{V7} [m ³ /(ha*a)]		9,9	8,5	10,9	7,8	9,9	7,2	10,8	9,9	9,4	9,9	10,2

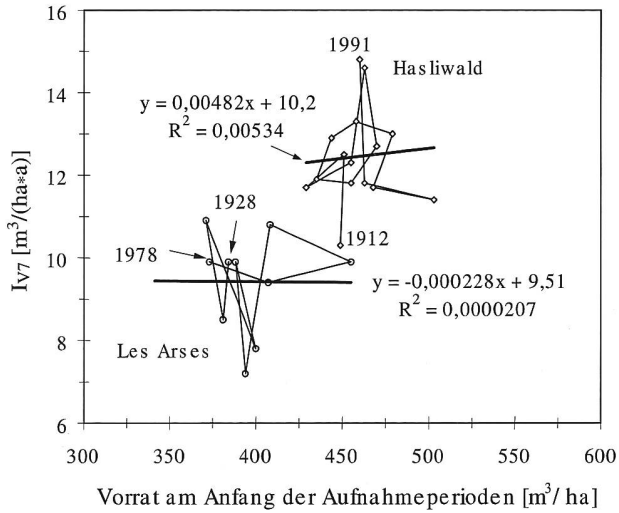


Abbildung 29. Les Arses und Hasliwald: Beziehung des Anfangsvorrates jeder der Aufnahmeperioden zum periodischen jährlichen Zuwachs.

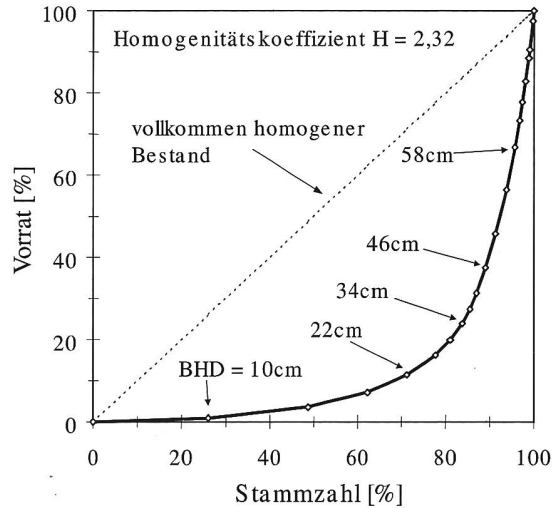


Abbildung 30. Beispiel einer Lorenzkurve für Les Arses 1987. Dargestellt ist das prozentuale Verhältnis von Stammzahl und Holzvorrat nach BHD-Stufen.

Abbildung 28 (nach MITSCHERLICH, 1952) der periodische jährliche Zuwachs von 1928 bis 1963 abnehmen, was aber nicht der Fall ist (Tabelle 1).

Anscheinend haben externe Effekte, zum Beispiel die Witterung, einen grösseren Einfluss auf den Zuwachs als die Veränderungen des Stärkeklassenverhältnisses.

Im Beobachtungszeitraum schwankt der Vorrat in Les Arses zwischen 371 und 455 m³/ha, im Hasliwald zwischen 429 und 503 m³/ha, der periodische Zuwachs zwischen 7,2 und 10,9 m³/ha in Les Arses und 10,3 und 14,8 m³/ha im Hasliwald. Es besteht in den beiden Beständen kein direkter Zusammenhang zwischen dem Anfangsvorrat pro Periode und dem periodischen jährlichen Zuwachs (Tabelle 1 und Abbildung 29). Die Feststellung von MITSCHERLICH, dass die Höhe des Vorrates im Plenterwald im Rahmen von 200 bis 600 m³/ha auf den Zuwachs keinen direkten Einfluss hat, stimmt hier also auch.

4.5 Bestandeshomogenität

Die Bestandeshomogenität nach CAMINO (1976) kann durch das prozentuale Verhältnis von Stammzahl und Holzvorrat nach BHD-Stufen, durch die sogenannte Lorenzkurve ausgedrückt werden. In einem absolut homogenen Bestand haben alle Bäume das gleiche Volumen – die Lorenzkurve stellt eine Diagonale dar (Abbildung 30). In heterogenen Beständen, wie im Plenterwald, hat ein hoher Prozentsatz dünner Bäume einen kleinen und wenige dicke Bäume haben einen grossen Anteil am Vorrat. In unserem Beispiel haben 71% der Bäume mit BHD-Stufe <22 cm einen Vorratsanteil von nur 11%.

Der Homogenitätskoeffizient ist definiert als ein Mass der Abweichung der Lorenzkurve von der Diagonalen (hohe Werte um 10 bedeuten eine grosse Bestandeshomogenität, tiefe

Werte um 2 eine kleine Homogenität; im Plenterwald liegen die Werte gewöhnlich zwischen 1,4 und 2,8).

Der Homogenitätskoeffizient H berechnet sich wie folgt:

$$H = \frac{\sum_{i=1}^{u-1} SN\%}{\sum_{i=1}^{u-1} SN\% - SV\%}$$

SN% = Summe der Stammzahlprozentanteile bis zur BHD-Stufe i

SV% = Summe der Vorratsprozentanteile bis zur BHD-Stufe i

ΣSN % wird nur bis zu Stufe «u-1» gebildet, d. h. bis eine Stufe unter die höchste BHD-Stufe (die SN % der höchsten Stufe ist = 100%)

CAMINO hat gezeigt, dass die Homogenität in gutwüchsigen Plenterbeständen erstaunlicherweise kleiner ist als in schlechterwüchsigen (vgl. CAMINO, 1976). Für Les Arses und Hasliwald trifft diese Aussage allerdings nicht zu. Die Homogenität lässt sich ausserdem durch die Eingriffsintensität und -art beeinflussen (KRAMER, 1988).

In der Fläche Les Arses schwankt der Homogenitätskoeffizient im Beobachtungszeitraum zwischen 1,9 und 2,5. Von 1928 bis 1963 nimmt die Homogenität um 0,5 ab (Abbildung 31); das heisst, in dieser Zeit wird der Bestand «ungleichförmiger». Aus der Abnahme des Homogenitätskoeffizienten in Les Arses darf nun aber nicht auf eine Verbesserung des Wachstums geschlossen werden, weil ja der Homogenitätskoeffizient auch von der Eingriffsart abhängig ist (Eingriffe in der Oberschicht senken die Homogenität, Eingriffe in der Mittel- und Unterschicht erhöhen die Homogenität).

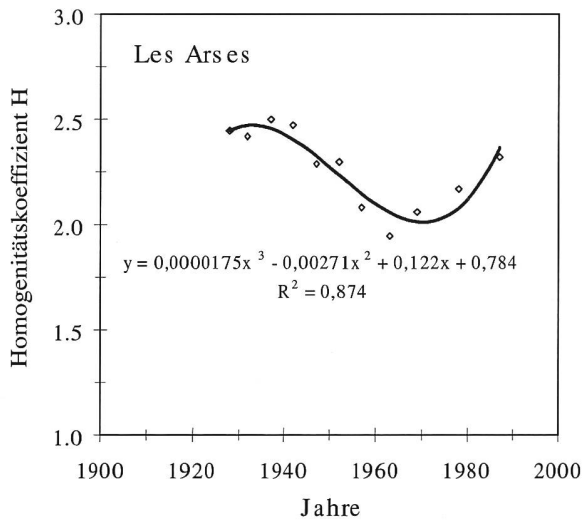


Abbildung 31. Entwicklung des Homogenitätskoeffizienten für Les Arses nach den Aufnahmejahren (nach CAMINO, 1976). (Mittelwert = 2,27).

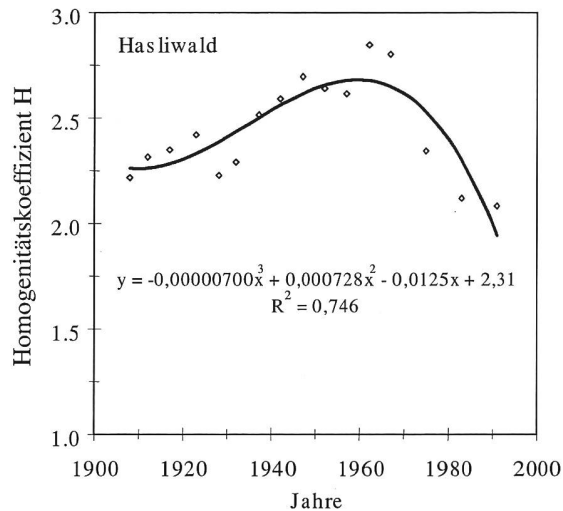


Abbildung 32. Entwicklung des Homogenitätskoeffizienten für Hasliwald nach den Aufnahmejahren (nach CAMINO, 1976). (Mittelwert = 2,44).

Im Hasliwald nimmt die Homogenität des Bestandes bis 1962 zu, später wieder deutlich ab (Abbildung 32).

Um 1963 fand in Les Arses ein Wechsel der Bewirtschafter und eine Abkehr von der konservativen Plenterung mit einem langsamen Vorratsabbau statt. Auch im Hasliwald wechselte der Bewirtschafter. Dieser Wechsel hat die Homogenität der Bestände deutlich beeinflusst, im ersten Fall nimmt die Homogenität nach dem Wechsel zu, im zweiten deutlich ab (Abbildungen 31 und 32).

dem der Fichte zurück, später ist es genau umgekehrt. In der Fläche Les Arses ändert sich der Tannenanteil (ausgedrückt durch Anteil in % vom Gesamtvorrat) zwischen 1928 und 1987 nur um etwa +/-2,5%. Diese kleine Schwankung hat auf den periodischen Zuwachs keinen gesicherten Einfluss (Abbildungen 33 und 34).

Im Hasliwald schwankt der Tannenanteil am Vorrat im ganzen Aufnahmezeitraum mit +/-6 % etwas stärker als in Les Arses. Eine Beziehung zum periodischen Zuwachs ist aber ebenfalls nicht erkennbar (Abbildungen 33 und 34).

4.6 Beziehung des Tannenanteils zum Wachstum

Nach MITSCHERLICH (1952) besteht im Plenterwald ein Zusammenhang zwischen dem periodischen Volumenzuwachs und dem Tannenanteil: je höher der Tannenanteil, desto grösser der Zuwachs. In den von ihm untersuchten Flächen schwankt der Tannenanteil am Gesamtvorrat zwischen 30 und 100%. SPIECKER (1991) hat in sieben Plenterwald-Versuchsfeldern gezeigt, wie dynamisch das Wachstum verläuft. In seiner Untersuchung zeigten sich im Zuwachsverlauf der Fichte und Tanne grosse Unterschiede. In einer ersten Beobachtungsphase bleibt der Zuwachs der Tanne hinter

5. Diskussion und Folgerungen

In ideal aufgebauten Plenterbeständen im Gleichgewicht dürften sich das Wachstum und die Struktur nur verändern, wenn sich die Umwelt- und die Standortsbedingungen oder die Bewirtschaftung verändern. Die meisten Plenterbestände, auch die untersuchten Versuchsfelder Les Arses und Hasliwald, schwanken mehr oder weniger um einen als ideal bezeichneten Zustand. Alle beobachteten Strukturparameter verändern sich mit der Zeit. Bei der Interpretation allfälliger Wachstumsveränderungen sind deshalb auch

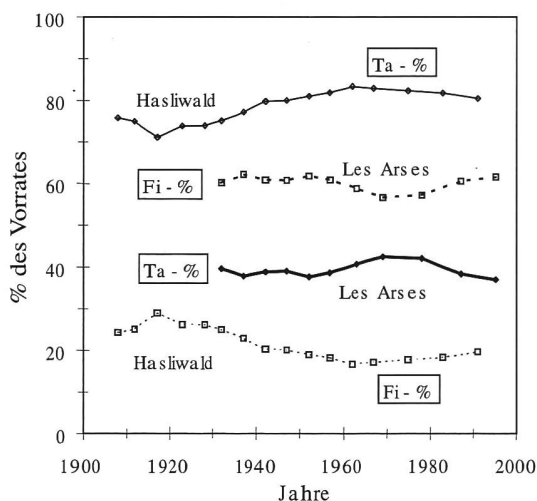


Abbildung 33. Les Arses und Hasliwald: Tannen- und Fichtenanteil in Prozenten des Gesamtvorrates jeweils am Anfang der Aufnahmeperiode (z. B. für Les Arses: Wert für 1937 = Anfangswert für die Periode 1932–1937).

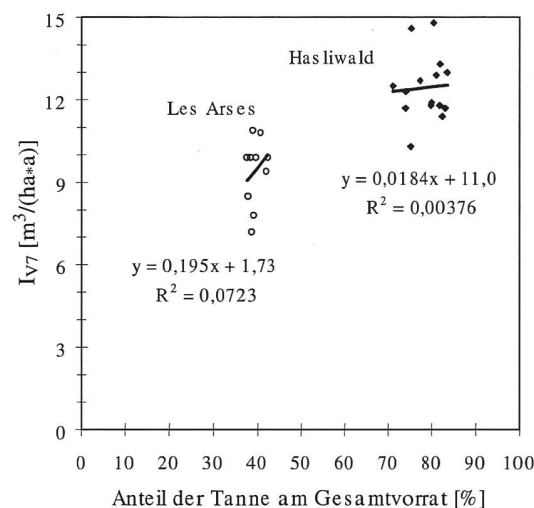


Abbildung 34. Les Arses und Hasliwald: Beziehung des periodischen jährlichen Zuwachses I_{V7} zum Tannenanteil in Prozenten des Gesamtvorrates (Anfangswert pro Periode).

die Einflussgrößen zu berücksichtigen, die sich mit der Bestandesstruktur verändern.

Im Rahmen der beobachteten Veränderungen in den beiden Flächen sind im Beobachtungszeitraum weder die Plenterstruktur noch die Funktion der Bestände je dauerhaft in Frage gestellt.

Beim Plenterwald handelt es sich um eine ausgesprochene Kunstform des Waldes; obwohl es sich um ein gut abgepuffertes System handelt, erfordert seine dauernde Erhaltung fortwährende waldbauliche Eingriffe. Die natürliche Entwicklung würde wieder zur Gleichförmigkeit führen (SCHÜTZ, 1996). Wichtiger als ein möglichst idealer Gleichgewichtszustand ist das dauernde Streben danach. Gleichgewichtsmodelle können als wertvolle Hilfe zur Steuerung der waldbaulichen Eingriffe dienen. Sie können auch mithelfen, die Wachstumsvorgänge im Plenterbestand besser zu verstehen. Dabei ist jedoch zu beachten, dass es sich bei Gleichgewichtsmodellen nicht um unveränderliche, dauernd gültige Modelle handelt. Zur Ableitung werden die wirklichen Einwuchs- und Nutzungsraten herangezogen. Bei Veränderungen im Bestand verändern sich auch diese Hilfsgrößen, die Modelle sind deshalb immer wieder neu anzupassen.

Zu einer umfassenderen Auslotung der Spannweite eines möglichen, optimalen Bereiches für die Struktur, wäre die Analyse weiterer, auch schlecht aufgebauter Bestände notwendig.

Zusammenfassung

Für die zwei standörtlich, in der Struktur und im Mischungsgrad von Fichte und Tanne wesentlich verschiedenen Plenterbestände Les Arses und Hasliwald werden nach der Methode von SCHÜTZ (1989 und 1997) ideale Stammzahlverteilungskurven für Gleichgewichte abgeleitet. Es wird untersucht, wie weit die beiden Bestände von einem Gleichgewicht entfernt sind, wie sich die Bestände im Laufe der Zeit entwickeln und welchen Einfluss einige ausgewählte Strukturparameter auf das Wachstum haben.

Beide Bestände befinden sich nicht in einem idealen Gleichgewichtszustand. Alle analysierten Strukturparameter verändern sich im Laufe der Zeit. Der Derbholzvorrat erreicht in Les Arses und im Hasliwald um 1963 ein Maximum, deutlich über dem angestrebten Gleichgewichtsvorrat. Seither wird versucht, den Vorrat langsam abzubauen.

Das Durchmesserwachstum, ausgedrückt durch die Einwuchsrates p_i , schwankt in allen BHD-Stufen von Aufnahmeperiode zu Aufnahmeperiode recht stark, so dass über den ganzen Beobachtungszeitraum in beiden Beständen keine gesicherte Veränderung festzustellen ist.

Eine ausreichende Verjüngung ist Voraussetzung für die dauernde Erhaltung der Plenterstruktur. Bei kleinen Vorräten könnte man eine bessere Verjüngung erwarten als bei grossen. In beiden Beständen sind die Einwuchsraten in der ersten BHD-Stufe bei kleineren Bestandesvorräten grösser, die Beziehungen sind aber nicht gesichert.

Die «Grundflächendichte stärkerer Bäume» beider Bestände, ausgedrückt durch (G_{cum}) , hat bis in die frühen 60er Jahre für alle Stufen zugenommen. Nur in den kleineren BHD-Stufen bis etwa 34 cm scheint die hohe Dichte einen negativen Einfluss auf das Wachstum auszuüben. Die herrschenden Bäume im Plenterwald stehen weit auseinander und konkurrenzieren einander im allgemeinen nicht mehr.

Die Stärkeklassenkombinationen und die Höhe des Vorrates verändern sich in beiden Beständen im Laufe der Zeit, sie haben aber keinen direkten Einfluss auf den periodischen jährlichen Zuwachs.

Änderungen in der Entwicklung der Homogenität nach CAMINO (1976) waren sowohl in Les Arses und im Hasliwald

zu beobachten. Sie sind in erster Linie auf die Änderung in der Bewirtschaftung nach 1963 zurückzuführen und weniger auf die Gesamtwirkung der Standortfaktoren. Der Tannenanteil schwankt in beiden Beständen um höchstens +/- 6%, ein Zusammenhang mit dem periodischen Zuwachs lässt sich nicht nachzuweisen.

Résumé

Equilibre, structure et accroissement de peuplements jardinés

Les deux peuplements jardinés Les Arses et Hasliwald présentent des conditions stationnelles très différentes tant dans leur structure que dans le degré de mélange d'épicéas et de sapins dont ils sont composés. Pour ces deux peuplements, les courbes de distribution du nombre de tiges nécessaire pour assurer un état d'équilibre idéal ont été établies selon la méthode de SCHÜTZ (1989 et 1997). Cette étude vise à déterminer dans quelle mesure ces deux peuplements sont éloignées d'un état d'équilibre, comment ils évoluent au cours du temps et quelle influence certains paramètres structurels exercent sur l'accroissement.

Aucun des deux peuplements ne présente un équilibre idéal. Tous les paramètres se rapportant à la structure se modifient au fil du temps. Aussi bien aux Arses qu'au Hasliwald, le volume de bois fort sur pied atteint, en 1963, un maximum nettement supérieur à celui correspondant à l'état d'équilibre à rechercher; on tente donc depuis lors de diminuer petit à petit ce volume.

L'accroissement en diamètre, exprimé par les taux de passages à la futaie p_i , varie largement d'une période à l'autre, quelles que soient les classes de DHP. Il n'est donc pas possible d'en extraire des résultats significatifs pour l'ensemble de la période d'observation.

Une régénération suffisante est la condition préalable au maintien durable d'une structure jardinée. Dans les peuplements moins denses, on peut généralement s'attendre à ce que la régénération soit meilleure. Dans le cas présent, les taux de passage à la futaie sont effectivement plus élevés dans la première classe de DHP lorsque le volume sur pied est plus faible, mais ces rapports ne sont statistiquement pas significatifs.

La «densité» des deux peuplements, exprimée par les surfaces terrières cumulées (G_{cum}) , a augmenté dans toutes les classes jusqu'au début des années 60. Il semble qu'une forte densité n'exerce un effet négatif sur l'accroissement que dans les classes de DHP inférieures à 34 cm environ. Dans la forêt jardinée, les arbres dominants sont très éloignés les uns des autres et ils ne se concurrencent plus en général.

Les combinaisons des classes de diamètres et la hauteur du volume sur pied se modifient au fil du temps dans les deux peuplements mais ces facteurs n'exercent aucune influence directe sur l'accroissement annuel.

L'évolution de l'homogénéité, définie selon CAMINO (1976), s'est modifiée tant aux Arses qu'au Hasliwald; cela est davantage dû au changement apporté dans l'exploitation de ces forêts depuis 1963 qu'à l'effet général des facteurs stationnels. La proportion de sapins varie dans les deux peuplements de +/- 6% au maximum; aucun lien ne peut être établi entre cette variation et l'accroissement périodique.

Traduction: MONIQUE DOUSSE

Summary

Equilibrium, structure and increment in selection forest stands

In the two selection forest stands Les Arses and Hasliwald, which differ considerably in terms of site, structure and degree of mixture of spruce and fir, the method of SCHÜTZ (1989 and 1997) was employed to compute equilibrium models for

the diameter distribution of various states of equilibrium. The objectives were to determine how far the two stands were from a state of equilibrium, how they have developed in the course of time and what influence certain selected structural parameters exerted on increment.

Neither stand was currently in an ideal state of equilibrium. All the structural parameters considered, changed with time. In 1963, the standing volume over 7 cm dbh in both Les Arses and Hasliwald reached a peak well above the desired level for equilibrium. Since then, efforts have been made to slowly decrease this reserve. The diameter increment, expressed as rate of ingrowth p_i , varies greatly in all dbh classes between observation periods, so that it is not possible to substantiate in either stand a definite change over the entire span of the study. Adequate regeneration is a prerequisite for the long-term maintenance of a selection forest structure. Better regeneration might be expected where the standing volume is smaller. In both stands the rate of ingrowth for the lower dbh classes was distinctly larger when the standing volume was small, but the relationship is not statistically significant. Up to the early sixties, the «basal area for larger trees», expressed as (G_{cum}), increased in all classes in both stands. Only in the lower dbh classes up to about 34 cm does a high G_{cum} seem to exert a negative influence on increment. In selection forests, trees which have become dominant are far apart and usually no longer compete with each other. In both stands, the combinations of diameter classes and the levels of growing stock changed over time, but had no direct influence on the periodic, annual increment. Changes in the development of stand homogeneity as described by CAMINO (1976) were observed in both stands and are rather to be traced back to the change in management of 1963 than to the overall influence of site factors. In both cases also, the proportion of fir varied up to +/-6%, though no relationship with periodic increment was found.

Translation: MARGARET SIEBER

Literatur

- BADOUX, E. (1983): Ertragstabellen für Fichte und Tanne. Eidg. Anst. forstl. Versuchswes., Birmensdorf.
- BACHOFEN, H. (1996): Struktur- und Wachstumsveränderungen in einer Plenterversuchsfläche der subalpinen Stufe. In: KENK, G. (Hrsg.) Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten. Sektion Ertragskunde. Jahrestagung 1996, Neresheim, 20.–22. Mai 1996. Freiburg, Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten: 24–45.
- BIOLLEY, H. (1920): L'aménagement des forêts par la méthode expérimentale et spécialement la méthode du contrôle. In: Beih. Z. Schweiz. Forstver. 1980, 66: 51–134.
- CAMINO, R., DE (1976): Zur Bestimmung der Bestandeshomogenität. AFJZ 147, 2/3: 54–58.
- DAEPP, H. (1950): 800 Jahre Kampf um einen Bauernwald, Die Geschichte des Hasliwaldes 1150–1950, Oppligen, Hasliwaldverlag.
- DUC, P. (1988): Untersuchungen zur Dynamik des Nachwuchses in Emmentaler Plenterwaldflächen unterschiedlicher Vorratsstruktur. Diplomarbeit im Fachbereich Waldbau des Inst. für Wald- und Holzforschung, ETH Zürich, 68 S. (unveröffentlicht).
- ELLENBERG, H., KLÖTZLI, F. (1972): Waldgesellschaften und Waldstandorte der Schweiz. Eidg. Anst. forstl. Versuchswes. Mitt. 48, 4: 587–930.
- FLURY, P. (1933): Über die Plenterversuchsfläche im Hasliwald der Rechtsamegemeinde Oppligen. Schweiz. Z. Forstwes. 84, 12: 383–387.
- FRANÇOIS, T. (1938): La composition théorique normale des futaies jardinées de Savoie. Rev. eaux et forêts 76.
- KELLER, W. (1978): Einfacher ertragskundlicher Bonitätsschlüssel für Waldbestände in der Schweiz. Mitt. Eidgenöss. Forsch.anst. Wald Schnee Landsch. 54, 1: 1–98.
- KRAMER, H. (1988): Waldwachstumslehre. Parey, Hamburg und Berlin.
- KUOCH, R. (1954): Wälder der Schweizer Alpen im Verbreitungsgebiet der Weisstanne. Schweiz. Anst. forstl. Versuchswes. Mitt. 30: 133–260.
- LEIBUNDGUT, H. (1946): Femelschlag und Plenterung. Schweiz. Z. Forstwes. 97, 7: 306–317.
- LIOCOURT, F., DE (1898): De l'aménagement des sapinières. Bulletin de la Société forestière de Franche-Comté et des Provinces de l'Est, 4: 396–409 und 645–647.
- MEYER, H. A. (1933): Eine mathematisch-statistische Untersuchung über den Aufbau des Plenterwaldes. Schweiz. Z. Forstwes. 84, 2: 33–46; 3: 88–103 und 4: 124–131.
- MITSCHERLICH, G. (1952): Der Tannen-Fichten-(Buchen-)Plenterwald. Schr.reihe Bad. Forstl. Vers.anst., Freiburg i.Br. 8: 3–42.
- MITSCHERLICH, G. (1978): Wald, Wachstum und Umwelt. Bd. I, 2.Aufl. Frankfurt/M.
- ONG, R., KLEINE, M. (1995): DIPSIM. A. Dipterocarp Forest Growth Simulation Model for Sabah. FRC Research Papers, 2. Forest Research Center, Forestry Departement, Sabah, Malaysia.
- SCHÜTZ, J. P. (1975): Dynamique et conditions d'équilibre de peuplements jardinés sur les stations de la hêtraie à sapin. Schweiz. Z. Forstwes. 126, 9: 637–671.
- SCHÜTZ, J. P. (1989): Der Plenterbetrieb. Unterlage zur Vorlesung Waldbau III (Waldverjüngung). Fachbereich Waldbau, ETH Zürich 1989 (unveröffentlicht).
- SCHÜTZ, J. P. (1996): Bedeutung und Möglichkeiten der biologischen Rationalisierung im Forstbetrieb. Schweiz. Z. Forstwes. 147, 5: 315–344.
- SCHÜTZ, J. P. (1997): Sylviculture 2, La gestion des forêts irrégulières et mélangées. Presse Polytechniques et Universitaires Romandes.
- SPIECKER, H. (1991): Zur Dynamik des Wachstums von Tannen und Fichten auf Plenterwaldversuchsflächen im Schwarzwald. Allg. Forstz., 21: 1076–1080.
- STAGE, A. R. (1973): Prognosis model for stand development. USDA For. Serv. Res. Pap. INT-137.
- TREPP, W. (1974): Der Plenterwald. HESPA Mitteilungen 24, 66: 1–65.
- WYKOFF, W. R., CROOKSTON, W. L., STAGE A. R. (1982): User's Guide to the Stand Prognostic Model. USDA For. Serv. Techn. Rep. INT-133.

Abbildungen gedruckt mit Unterstützung der EIDGENÖSSISCHEN FORSCHUNGSANSTALT FÜR WALD, SCHNEE UND LANDSCHAFT (WSL), CH-8903 Birmensdorf.

Verfasser:

HANSHEINRICH BACHOFEN, dipl. Forsting. ETH, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), CH-8903 Birmensdorf.
E-mail: bachofen@wsl.ch