

4 Bestandeswachstum

- 41 Einleitung
- 42 Stammzahlentwicklung
- 43 Höhenentwicklung
- 44 Durchmesserentwicklung
- 45 Grundflächenentwicklung
- 46 Form- und Volumenentwicklung
- 47 Biomasse
- 48 Wertentwicklung

Ziel

In der Lage sein, die Entwicklung charakteristischer Bestandesgrössen zu beschreiben und zu verstehen.

Zusammenfassung

Für die Beschreibung von Beständen ist die Stammzahl und insbesondere ihre Verteilung über den Brusthöhendurchmesser besonders gut geeignet. Die Stammzahl nimmt mit dem Alter (mit zunehmendem Durchmesser) progressiv ab, was sich mathematisch zum Beispiel in der Form $\log N = k - a \log d_{1,3}$ darstellen lässt.

Bei der Höhen- und Durchmesserentwicklung muss festgehalten werden, welche mittlere Grösse beurteilt wird (Oberhöhe oder Loreyhöhe, resp. Durchmesser des Grundflächenmittelstammes oder Oberdurchmesser, um nur Beispiele zu nennen). Auch für das Wachstum dieser Grössen gibt es verschiedene beschreibende Formeln.

Die Grundfläche eines Bestandes ist ein gutes Mass für dessen Dichte. So ist zum Beispiel der Volumenzuwachs stark durch die Grundflächenhaltung beeinflusst.

Entscheidend im Wirtschaftswald sind Volumen- und Wertentwicklung, welche ebenfalls ganz bestimmten Gesetzmässigkeiten folgen. Gemäss dem EICHHORN'schen Gesetz hängt die Gesamtwuchsleistung stark von der Bestandeshöhe ab, unabhängig vom Alter und vom Standort.

Querverbindungen

Vorlesung Waldwachstum, Kapitel 2, 3 und 5
Vorlesungen Waldökologie und Waldbau

41 Einleitung

In Kapitel 4 wird die Entwicklung charakteristischer Grössen im Bestand untersucht. Anders als in Kapitel 3 interessieren uns nicht in erster Linie die einzelnen Individuen, sondern das Kollektiv, das wir über Summen- und Mittelwerte, die statistische Verteilung der Grössen usw. zu beschreiben versuchen.

Die einzelnen Bäume im Kollektiv sind nicht identisch; sie unterscheiden sich

- nach Dimension, Form, Qualität, Krone
- in der Stellung zu den Nachbarbäumen
- nach Vitalität und Entwicklungstendenz.

Damit sich die einzelnen Bestände besser beschreiben lassen, wurden Einteilungssysteme entworfen, um die Bäume verschiedenen Baumklassen zuteilen zu können.

Im Versuchswesen, vor allem in gleichförmigen Beständen und besonders in Deutschland, sind die - **Baumklassen von KRAFT (1884)** wichtig. KRAFT kombiniert die soziale Stellung mit dem Grad der Kronenausbildung, um so Klassen gleicher Wuchsenergie zu erhalten. (Vgl. [SCHUETZ](#) 1988: Vorlesung Waldbau I, Kapitel 2.2.3.1; [ASSMANN](#) 1961, S. 83/84, [KRAMER](#) 1988, S. 77).

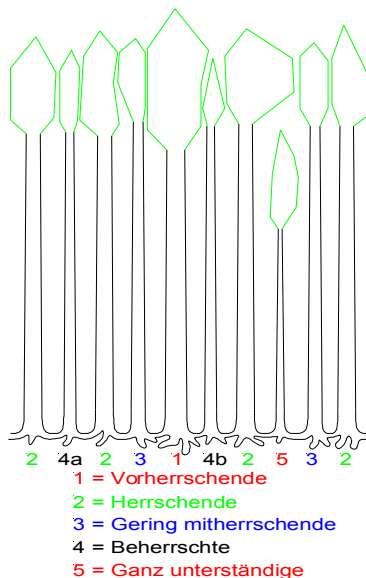


Abb. 41.1: Baumklassen von [KRAFT](#) 1984, nach [ASSMANN](#) 1961, S. 83.

1 Vorherrschende Bäume* mit ... kräftig entwickelten Kronen

2 Herrschende, in der Regel **den Hauptbestand bildende Bäume*** mit verhältnismässig gut entwickelten Kronen

3 Gering mitherrschende Bäume* mit noch ziemlich normalen, aber verhältnismässig schwach entwickelten und eingeengten Kronen

4 Beherrschte Bäume* mit mehr oder weniger verkümmerten, einseitig entwickelten oder zwei- und mehrseitig zusammengedrückten Kronen

4a zischenständige, ... schirmfreie, meist eingeklemmte Kronen

4b teilweise unterständige Kronen

5 Ganz unterständige Bäume*

5a mit lebensfähigen Kronen

5b mit absterbenden oder abgestorbenen Kronen

* = ursprünglicher Begriff "Stämme"

In ungleichförmigen Beständen sind die Baumklassen von KRAFT nicht anwendbar. Gut geeignet ist die **IUFRO-Klassifikation** (International Union of Forest Research Organizations), welche auf Vorschlägen [LEIBUNDGUT's](#) 1965 basiert und eine Weiterentwicklung der Baumklassen nach [SCHAEDELIN](#) 1931 darstellt. (Vgl. [SCHUETZ](#) 1988: Vorlesung Waldbau I, Kapitel 2.2.3.2; [KRAMER](#) 1988, S. 78).

	Höhenklassen	100	Oberschicht ($h > 2/3 h_{dom}$)
		200	Mittelschicht
		300	Unterschicht ($h < 1/3 h_{dom}$)
soziologische Stellung	Vitalitätsklassen	10	Üppig entwickelte Bäume
		20	normal entwickelte Bäume
		30	kümmertlich entwickelte Bäume
	Entwicklungstendenz	1	vorwachsene Bäume
		2	mitwachsene Bäume
		3	zurückbleibende Bäume
	Waldbaulicher Wert	400	Ausleseebäume
		500	nützliche Nebenbäume
		600	schädliche Nebenbäume
Wertklassen (ökonomische Kl.)	Schaftgüte	40	Wertholz ($\geq 50\%$ wertholztauglich)
		50	Normalholz ($\geq 50\%$ den Normalanspr. genügend)
		60	Fehlerholz
	Kronenlänge	4	langkronig ($> 1/2 h$)
		5	mittelkronig ($1/4$ bis $1/2 h$)
		6	kurzkronig ($< 1/4 h$)

Neben der Klassierung einzelner Bäume ist die **Charakterisierung der Bestände** wichtig. Wesentliche Merkmale sind Betriebsart, Entwicklungsstufe, Struktur, Textur und Schlussgrad.

Als **Bestand** bezeichnen wir einen Waldteil, der sich durch seine Baumartenzusammensetzung, sein Alter usw. von seiner Umgebung wesentlich unterscheidet. Er ist so gross, dass eine selbständige, langfristige Zielsetzung möglich ist (> 50 Aren). Der Bestand bildet in der Regel die kleinste Inventur- und Planungseinheit. Die Bäume eines Bestandes schützen sich gegenseitig gegen verschiedene Einwirkungen, sie stehen aber auch in gegenseitiger Konkurrenz um Licht, Wasser und Nährstoffe.

Betriebsart (régime, governo)

H	Hochwald	haute futaie	alto fusto (fustaia)
P	Plenterwald oder plenterähnlicher Wald	forêt jardinée ou haute futaie à caractère jardinée	bosco disetaneo o bosco disetaneiforme
M	Mittelwald	taillis sous futaie	ceduo composto
M ⁺	reich an Ueberhältern	riche en baliveaux	ricco di riserve
M ⁻	arm an Ueberhältern	pauvre en baliveaux	povero di riserve
(M)	in Ueberführung	en conversion	in conversione indiretta
N	Niederwald	taillis	ceduo
(N)	in Ueberführung	en conversion	in conversione indiretta

Entwicklungsstufe (état de développement, stadio di sviluppo)

- A Ansamung: $h < 20 - 30$ cm (semis, sementazione)
- J Jungwuchs: $h < 1.3$ m (recrû [naturel], novelleto)
(K = Kultur, plantation, piantagione [posticcia])
- D Dichtung: $d_{dom} < 10$ cm (fourré, spessina)
- S1 schwaches Stangenholz: $10 < d_{dom} < 20$ cm (bas-perchis [gaulis], perticaia bassa)
- S2 starkes Stangenholz: $20 < d_{dom} < 30$ cm (haut-perchis, perticaia alta)
- B1 schwaches Baumholz: $30 < d_{dom} < 40$ cm (jeune futaie, fustaia giovane)
- B2 mittleres Baumholz: $40 < d_{dom} < 50$ cm (futaie moyenne, fustaia adulta)
- B3 starkes Baumholz: $d_{dom} > 50$ cm (vieille futaie, fustaia matura)

Struktur ([structure](#), [struttura](#))

- Horizontaler Schluss, gleichförmiger Bestand (*fermeture horizontale, peuplement régulier; chiusura orizzontale, popolamento uniforme*)
- Vertikaler Schluss, ungleichförmiger Bestand (*fermeture étagée, peuplement irrégulier; chiusura verticale, popolamento irregolare*)

Textur, Mischung ([texture](#), [mélange](#); [tessitura](#), [mescolanza](#))

Reinbestände (*peuplements purs, soprassuolo puro [monospecifico]*)

Mischbestände (*peuplements mélangés, soprassuolo misto*)

Mischungsart (*genre de mélange, genere della mescolanza*)

Mischungsgrad (*degré du mélange, grado di mescolanza*)

Mischungsform (*forme de mélange, forma della mescolanza*)

e einzeln (*individuel, intimo; per singolo albero*)

t truppweise: bis 5 Bäume im Baumholz (*touffe, ciuffo*)

g gruppenweise: 5-10 Aren (*groupe, gruppo*)

h horstweise: 10-50 Aren (*bouquet, boschetto*)

Bestandesschluss

- Bestockungsgrad ([degré de plénitude](#), [densità dell'aggregato](#))
Verhältnis der tatsächlichen Grundfläche zu jener der Ertragstafel
- Beschirmungsgrad (*degré de couverture, grado di copertura*)
Summe der Kronenschirmflächen geteilt durch Bestandesfläche
- Deckungsgrad (*degré de recouvrement, grado di insidenza*)
Summe der Kronenprojektionsfläche geteilt durch Bestandesfläche (≤ 1.0)
- Schlussgrad (*degré de fermeture, grado di chiusura*)
Definitionen siehe [SCHUETZ](#) 1988: Waldbau I, Kapitel 2.2.5.1.

42 Stammzahlentwicklung

Im gleichförmigen (gleichaltrigen) Bestand

In Naturverjüngungen beträgt die Pflanzenzahl je Hektar 100'000 bis 1 Million, wenn nicht mehr; in Kulturen sind es etwa 1000 bis 10'000 Pflanzen/ha. Im starken Baumholz ($d_{dom} > 50$ cm) verbleiben im Wirtschaftswald noch etwa 100 bis 500 Bäume/ha.

Die Stammzahlabnahme ist besonders stark in der Jugend, in den Entwicklungsstufen Ansamung, Jungwuchs und Dickung.

Die Gesetzmässigkeit der Stammzahlabnahme lässt sich durch eine Näherungsfunktion charakterisieren, wenn wir statt des Alters den Durchmesser des Grundflächenmittelstammes (d_g) verwenden (aus [ASSMANN](#) 1961, S. 139):

$$N = b \cdot d_g^{-a} \quad \text{oder} \quad \log N = k - a \log d_g$$

wobei N = Stammzahl pro ha, a und b zu bestimmende Konstanten ($k = \log b$)

Alter Monate Jahre	Stammzahl pro ha	mittl. BHD cm
3	7'200'000	
6	4'600'000	
12	4'300'000	
24	3'700'000	
	1'750'000	
	530'000	
	160'000	
	50'000	1.5
	4'600	7.4
	2'520	10.4
	1'205	17.8
	665	24.8
	405	32.0
	185	47.9

Abb. 42.1: Entwicklung der Stammzahl von naturverjüngten Buchenbeständen auf guten Standorten bei mässiger Durchforstung (nach [ASSMANN](#) 1961, S. 139).

Allgemein gilt, dass die Stammzahl abnimmt

- mit zunehmendem Alter
- mit zunehmender Standortsgüte bei gleichem Alter
- mit abnehmender Standortsgüte bei gleicher Bestandeshöhe (jeweils gleiche Baumart und gleiche Behandlung vorausgesetzt).

Lichtbaumarten haben unter sonst gleichen Voraussetzungen **kleinere** Stammzahlen als Schattenbaumarten (stärkere Ausscheidungsvorgänge infolge Lichtkonkurrenz).

Wenn von der Stammzahl gesprochen wird, muss unbedingt angegeben werden, ob alle Bäume auf einer Fläche oder nur ein Teil gemeint ist. Meistens werden die Bäume erst ab einem bestimmten Brusthöhendurchmesser, der sogenannten **Kluppschwelle** (*seuil d'intervention, soglia di cavallettamento; d'inventario*) erfasst. In Mitteleuropa und in der Schweiz sind typische Kluppschwellen bei 8 cm (Kontrollstichprobenmethode CH), 10 cm, 12 cm (LFI für Vorrat), 16 cm (Vollkluppierung in vielen Kantonen), 17.5 cm (Kanton NE).

Die **Stammzahlverminderung** mit dem Alter ist eine Folge der natürlichen **Mortalität** infolge Konkurrenz und der **waldbaulichen Eingriffe**. Dazu kommen weitere Einflüsse wie Krankheiten, Klima (Sturm, Schnee) oder Luftverschmutzung. In gesunden, nicht bewirtschafteten Beständen ist die Stammzahlabnahme kontinuierlich, bei waldbaulichen Eingriffen und bei grösseren Schäden sprunghaft (vgl. Abb. 42.2). Die waldbaulichen Eingriffe können sehr verschieden sein und wirken sich entsprechend unterschiedlich aus (vgl. Kapitel 54 und Vorlesung Waldbau).

Für die Ermittlung der standörtlich möglichen maximalen Stammzahlen in undurchforsteten Flächen wurden Grenzbeziehungen formuliert und vor allem in aussereuropäischen Ländern angewandt (v. [GADOW](#) und FRANZ 1989).

Sogenannte **Stammzahl-Leitkurven** werden auch als Durchforstungs-Hilfen verwendet (vgl. [Kapitel 54](#)).

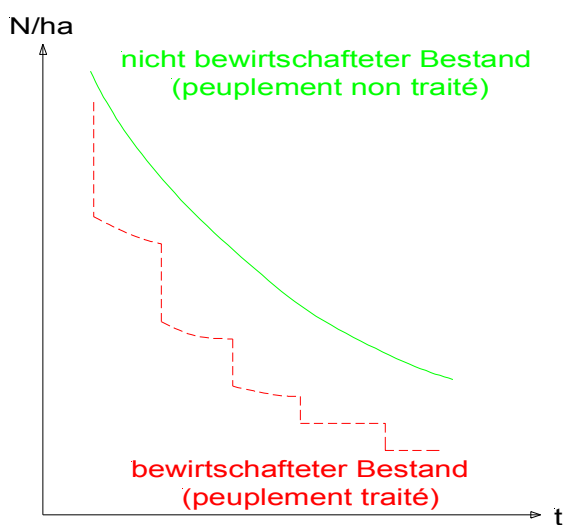


Abb. 42.2: Stammzahlabnahme im bewirtschafteten und nicht bewirtschafteten Wald.

Neben der absoluten Stammzahl/ha ist die **Stammzahlverteilung nach Durchmesserstufen** (répartition du nombre de tiges dans les catégories de diamètre) geeignet, einen Bestand zu charakterisieren. Infolge genetischer Unterschiede und verschiedener Umwelteinflüsse und waldbaulicher Eingriffe erfolgt eine starke Durchmesser-Differenzierung.

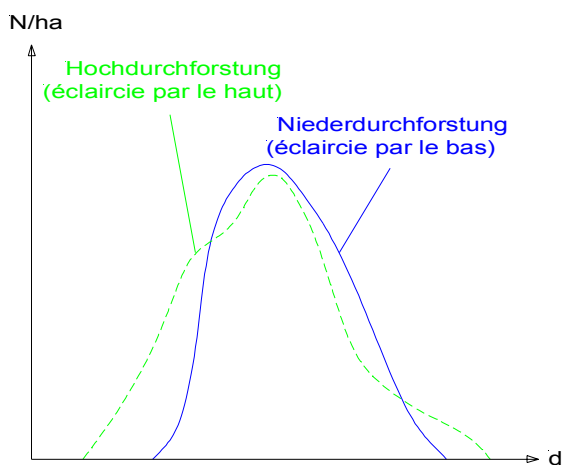


Abb. 42.3: Stammzahlverteilung nach BHD für Hoch- und Niederdurchforstung.

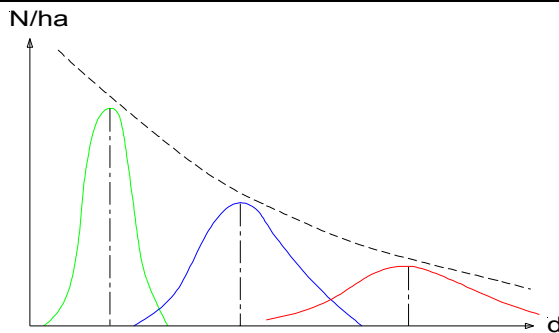


Abb. 42.4: Stammzahlverteilung nach BHD in der Altersentwicklung.

Bei der **Niederdurchforstung**, welche vor allem schwache Bäume entfernt, hat es verhältnismässig mehr grosse Bäume, die Verteilungskurve ist **links asymmetrisch**. Bei der Hochdurchforstung werden zur Förderung der Zukunftsbäume auch grössere Bäume und nur wenige schwache Bäume entnommen: Die Kurve ist eher **rechts asymmetrisch**, hat oft eine Einbuchtung zirka beim 1. Drittel des Durchmesserbereichs oder ist sogar zweigipflig (vgl. Abb. 42.3).

Die **zeitliche Entwicklung der Stammzahlverteilungskurven** lässt sich wie folgt charakterisieren (vgl. Abb. 42.4):

- Verschiebung nach rechts infolge des Durchmesser-Wachstums
- Zunahme der Streuung (dispersion)
- Reduktion der modalen Frequenz (fréquence modale).

Mathematisch lässt sich die Stammzahlverteilungskurve gut mit der **Normalverteilung**, aber auch mit der **Weibull-Funktion** beschreiben.

Die Kenntnis der Stammzahlverteilung nach Durchmesserklassen ist wichtig für die **Sortimentsgliederung** und damit die **Wert- und Wertzuwachsrechnung** in Beständen.

Eng mit der Stammzahl verbunden ist der Begriff **Standraum** als Mass für den verfügbaren Kronen- und Wurzelraum und damit für Wuchsleistung, Form, Vitalität und zum Teil Qualität. Der mittlere Standraum lässt sich berechnen als

$$\text{Mittlerer Standraum} = \text{Bestandesfläche} / \text{Anzahl Bäume}$$

Der Standraum setzt sich zusammen aus der Projektion der Kronenschirmfläche und einem Anteil nicht überschirmter Fläche. Massgebend ist die Verteilung der Bäume, die im Normalfall unregelmässig ist. Im Modell mit kreisrunden, gleichgrossen Kronen beträgt die nicht überschirmte Fläche im Quadratverband etwa 1/5 (0.215) und im Dreieckverband etwa 1/10 (0.094).

Im stufigen Bestand (Plenterbestand)

Im Plenterbestand sind auf kleinen Flächen Bäume jeden Alters vertreten. Es gibt viele kleine und mit zunehmendem BHD immer weniger Bäume. Im nachhaltig aufgebauten, regelmässig bewirtschafteten Plenterwald gibt es keine dauernde Veränderung der Stammzahlverteilung. Die Stammzahlverteilung nach BHD entspricht in der Form einem seitenverkehrten J mit starker Abnahme bei kleinen und mit geringer Abnahme bei grossen BHD. Diese Kurve gilt im gleichförmigen Wald für den Durchschnitt über alle Altersklassen (Normalwaldmodell).

Für den Plenterwald kann die Stammzahlabnahmekurve nach MEYER (1933) in der Form

$$N = k * e^{-\alpha d^{1.3}} \quad K, \alpha = \text{Konstanten}$$

beschrieben werden. Näheres siehe [Kap. 75](#).

Von Eingriff zu Eingriff verschiebt sich die Stammzahlabnahmekurve im nachhaltig aufgebauten Plenterbestand wachstumsbedingt nach rechts, um durch die Nutzung wieder auf den ursprünglichen Zustand zurückgeführt zu werden (vgl. Abb. 42.5).

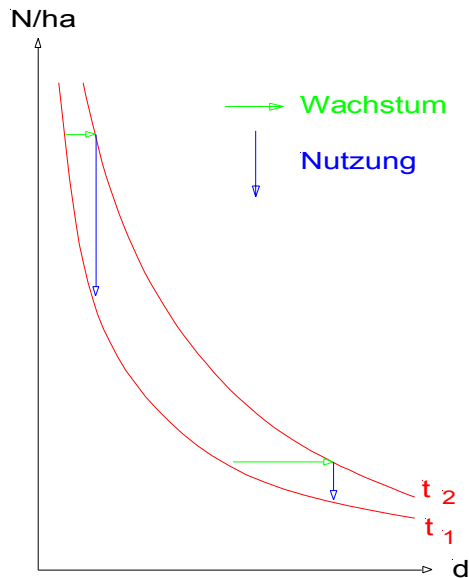


Abb. 42.5: Verschiebung der Stammzahlabnahmekurve im nachhaltig aufgebauten Plenterbestand im Wechsel von Durchmesserwachstum und periodischer Nutzung.

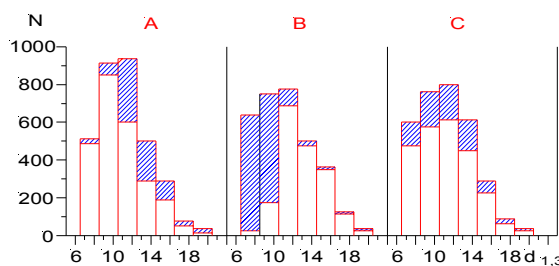


Abb. 42.6: Veränderung der Bestandesstruktur nach verschiedenen Durchforstungen in einem 34-jährigen Fichtenbestand (nach [KRAMER](#) 1988, S. 81).

- Hochdurchforstung:
- Niederdurchforstung:
- Reihendurchforstung:

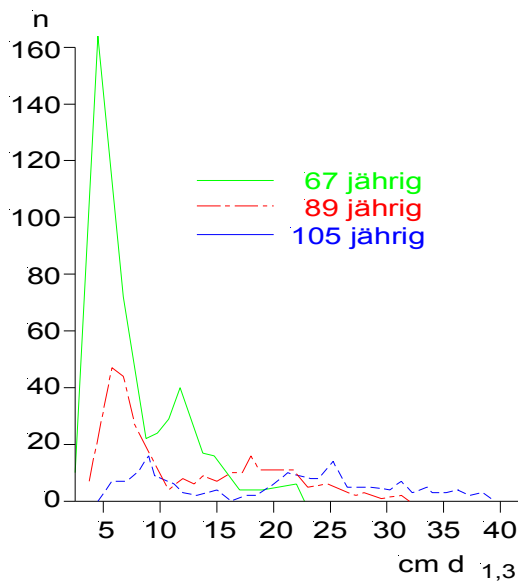


Abb. 42.7: Häufigkeitsverteilung der Stammzahlen über dem Durchmesser in einer Buchenversuchsfläche im Südschwarzwald (nach [MITSCHERLICH](#) 1978, S. 87).

Durchforstungsart:
Rechter Kurvengipfel:
Linker Kurvengipfel:

43 Höhenentwicklung

Definitionen

- arithmetische Mittelhöhe
 (hauteur moyenne arithmétique, altezza media [arimetica])

$$\bar{h} = \left(\sum_{i=1}^N h_i \right) / N$$

- Höhe des Grundflächenmittelstammes h_g
 (hauteur de l'arbre de surface terrière moyenne, altezza dell'albero di area basimetrica media)
 Diese Höhe wird aus einer Bestandeshöhenkurve abgelesen. Analog wird für die Höhe des Grundfläche
 zentralstammes (hgM) vorgegangen.

- Loreyhöhe h_L (hauteur moyenne d'après LOREY, altezza media di LOREY)

$$h_L = \left(\sum_{i=1}^N g_i \cdot h_i \right) / G$$

- Oberhöhe h_{dom}
 (hauteur dominante, altezza dominante)
 Arithmetisches Mittel der Höhe der 100 stärksten Bäume je ha. (In Deutschland auch als Spitzenhöhe
 h_{100} oder h_{200} bezeichnet; die WEISE'sche Oberhöhe [h_o] entspricht der Höhe des Grundflächen-
 Mittelstammes der 20 % stärksten Bäume eines Bestandes).

Wichtig: Die Art der Oberhöhe muss jeweils definiert werden.

Allgemein gilt: $h_{dom} > h_L \equiv h_g > \bar{h}$

Vor allem wird mit der **Loreyhöhe** und mit der **Oberhöhe** gearbeitet. Letztere ist weniger von der Bestandesstruktur abhängig und deshalb für die Bonitierung geeignet (z.B. CH-Ertragstafeln: Oberhöhe im Alter 50 Jahre).

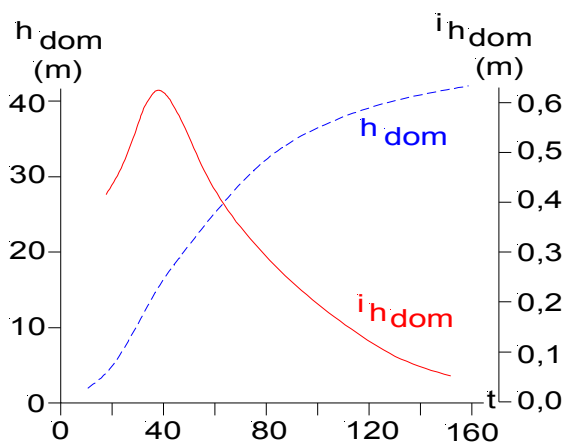


Abb. 43.1: Entwicklung der Oberhöhe mit dem Alter in einem Tannenbestand, nach Ertragstafel [BADOUX](#) 1966, Bonität 22.

Der Kurvenverlauf einer mittleren Bestandeshöhe über der Zeit (Altershöhenkurve) entspricht grundsätzlich jenem des Einzelbaumes (vgl. Abb. 43.1). Die folgenden Funktionen dienen der Beschreibung der Wachstumskurve:

- BERTALANFFY:

$$h = a \cdot (1 - b \cdot e^{(c \cdot t)})^{1/(1-m)}$$

wobei a = horizontale Asymptote (maximale Höhe)

- SCHUMACHER:

$$h = a \cdot e^{(-b/t) \cdot c}$$

vgl. [Kap. 243](#)
 (horizontale Tangente im Ursprung, Asymptote bei $h = a$, Wendepunkt bei $t = b/2$).

- LUNDQUIST:

$$h = a \cdot e^{(-b/t) \cdot c}$$

(horizontale Tangente im Ursprung, Asymptote bei $h = a$, Wendepunkt bei $t = (b \cdot c)^{1/c} / (c+1)$)

- DECOURT:

$$h = t^2 / a \cdot t^2 + b \cdot t + c$$

(horizontale Asymptote bei $h = 1/a$).

Die Bestandeshöhe ist ein gutes **Mass für die Gesamtproduktion** eines Bestandes, unabhängig von Alter, Standort und Waldbautechnik, aber innerhalb einer klimatischen Region (vgl. Gesetz von EICHHORN, [Kapitel 46](#) Seite 5 und Kapitel 62 Seite 1).

Die mittlere Bestandeshöhe verändert sich infolge Höhenzuwachs, aber auch rein rechnerisch wegen der Stammzahlverminderung. So bewirkt eine Niederdurchforstung eine rechnerische Vergrößerung der mittleren Bestandeshöhe, eine Hochdurchforstung eher eine Verkleinerung. Die Altershöhenkurve eines (verbleibenden) Bestandes ist also keine echte Wachstumskurve. Bei Niederdurchforstung ist der Anstieg der Altershöhenkurve steiler als beim Einzelbaum oder bei Hochdurchforstung.

Die **Bestandeshöhenkurve** (*courbe de hauteur*) zeigt die Abhängigkeit der Bestandeshöhe vom Bestandesmitteldurchmesser. Diese Kurve erfährt in gleichförmigen Beständen mit dem Alter eine Verlagerung, weil Bäume desselben Durchmessers in verschiedenen Altern unterschiedlichen sozialen Schichten angehören. Mit zunehmendem Alter wird der Kurvenverlauf flacher (vgl. Abb. 43.2 und 43.3). Der Wachstumsgang der Mittelhöhe (in Abb. 43.2 stark ausgezogen) erfolgt treppenförmig infolge rechnerischer Verschiebungen bei Durchforstungseingriffen.

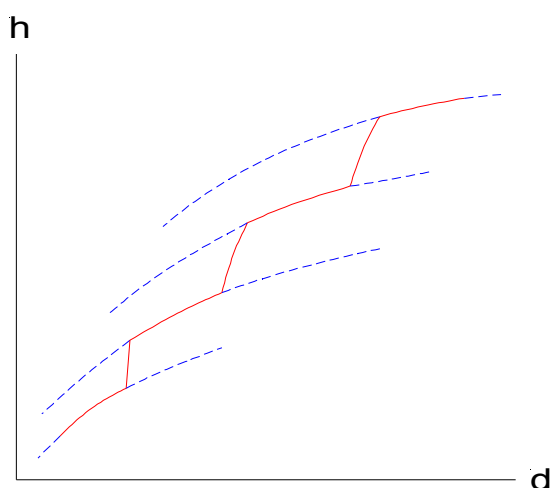


Abb. 43.2: Wachstumsgang der Mittelhöhe über dem Durchmesser.

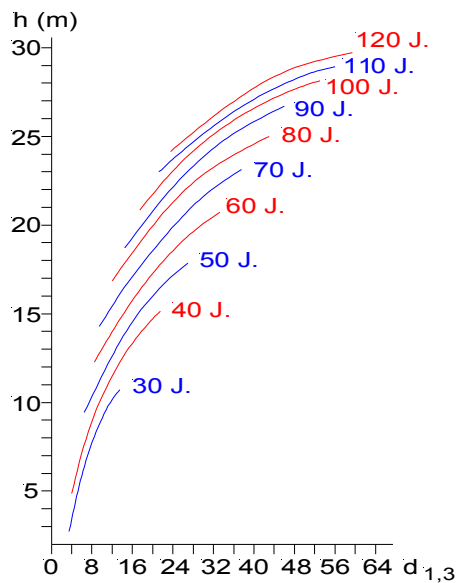


Abb. 43.3: Verlagerung der Höhenkurven in hochdurchforsteten Fichtenbeständen mittlerer Bonität (nach [PRODAN](#) 1965, in KURT 1980: Vorlesung Ertragskunde, 222.3).

Auch für die Bestandeshöhenkurven werden verschiedene **Funktionen** verwendet (vgl. Vorlesung Dendrometrie); Beispiele für gleichförmige Bestände:

$$\begin{array}{ll}
 h = a \cdot d^b & h = 1,3 + d^2 / (a + bd)^2 \quad (\text{Näselund}) \\
 h = a (1 - e^{(-b \cdot d)}) & h = 1,3 + a (d / (1 + d))^2 \\
 h = a + b \cdot \ln d & h = 1,3 + a e^{(-b/d)} \\
 h = 1,3 + (a + bd + cd^2) &
 \end{array}$$

Im **Plenterbestand** ist die Bestandeshöhenkurve stabil (Abb. 43.4). Sie gleicht der Höhenwachstumskurve (mit einem Wendepunkt). Für sie kommt häufig folgende Funktion zur Anwendung:

$$h - 1,3 = d^2 / (a + bd + cd^2)$$

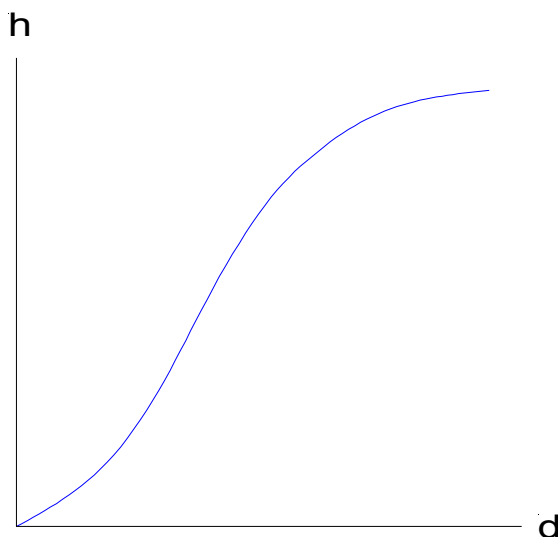


Abb. 43.4: Bestandeshöhenkurve im Plenterbestand.

Wie die Einzelbaumhöhe ist auch die Bestandeshöhe neben dem Alter und dem Standort vor allem von der Baumart abhängig (für Zuwachskurven vgl. Abb. 32.5). Dieses unterschiedliche Verhalten der Baumarten muss vor allem in Mischbeständen berücksichtigt werden.

In Abb. 43.5 werden verschiedene Mischbaumarten mit der Buche verglichen. Alle wichtigen Mischbaumarten wachsen in diesem Beispiel der Buche in der Jugend voraus, werden aber später von ihr eingeholt oder sogar überholt. Bei annähernd gleichen Startbedingungen braucht keine dieser Baumarten einen Wuchsvorsprung. Dagegen passt der Wachstumsverlauf der Douglasie überhaupt nicht zur Buche; sie kommt nur als Zeitmischung in Frage oder sie wird die Buche vollständig überwachsen (nach [BURSCHEL](#) 1987).

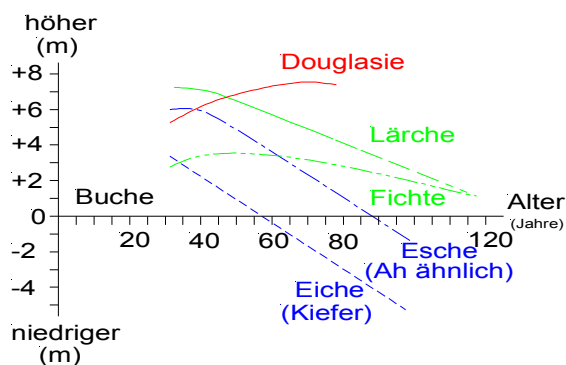


Abb. 43.5: Höhenwachstumsverlauf verschiedener Mischbaumarten im Vergleich zur Buche, nach [BURSCHEL](#) 1987.

Besondere Beachtung verdient im Zusammenhang mit der Bestandeshöhe das **Umsetzen der Bäume**, d.h. die Veränderung der sozialen Stellung, also Aufstieg oder Abstieg (vgl. [SCHUETZ](#) 1988: Vorlesung Waldbau I, Kap. 4.4.4.1).

44 Durchmesserentwicklung

Definitionen

- arithmetischer Mitteldurchmesser \bar{d}
 (diamètre moyen arithmétique, diametro medio [media aritmetica])

$$\bar{d} = \left(\sum_{i=1}^N d_i \right) / N$$

- Durchmesser des Grundflächenmittelstammes d_g
 (diamètre de l'arbre de surface terrière moyenne, diametro medio di area basimetrica)

$$d_g = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^N d_i^2 \right) / N}$$

- Oberdurchmesser d_{dom} (diamètre dominant, diametro dominante) entsprechend dem arithmetischen Mittel des BHD der 100 stärksten Bäume je ha (aufpassen: es gibt auch andere Definitionen).
- Weitere Mitteldurchmesser: Durchmesser des Grundflächenzentralstammes d_{gM} (= Median der Grundflächenverteilung), Durchmesser des WEISE'schen Mittelstammes (bei 40 % der Stammzahl, vom stärkern Ende des Kollektivs ausgehend), usw.

Allgemein gilt: $d_{dom} > d_g > \bar{d}$

wobei die Unterschiede mit dem Alter geringer werden.

Am häufigsten wird d_g verwendet, besonders auch in Ertragstafeln. Für die Darstellung des Hauptbestandes ist d_{dom} besser geeignet als d_g oder \bar{d} .

Die **Entwicklung** des Bestandesmitteldurchmessers ist weit mehr von der Stammzahl und damit vom Standraum abhängig als die der Bestandeshöhe. In durchforsteten Beständen resultiert über weite Bereiche eine Gerade; die **Durchforstungseingriffe** bewirken rechnerische Verschiebungen (Sprünge), und zwar in positiver Richtung bei der Niederdurchforstung und in negativer Richtung bei der Hochdurchforstung (vgl. Abb. 44.1)

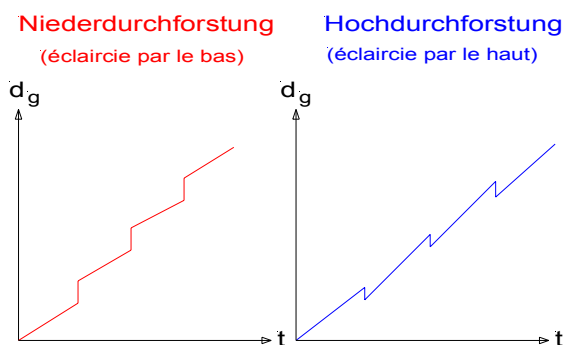


Abb. 44.1: Entwicklung des Durchmessers des Grundflächenmittelstammes und Durchforstungseingriffe.

Die **Durchmesserstruktur** in einem Bestand lässt sich aus dem bei der Stammzahl Gesagten ableiten (vgl. Kap. 42).

Im durchforsteten Bestand **kulminiert der Zuwachs** von d_g normalerweise später als beim Einzelbaum (vgl. Abb. 44.2), besonders bei Niederdurchforstung. Dies kann mit der Abnahme der zuwachsschwachen Bäume infolge der Durchforstungen erklärt werden; mit zunehmendem Alter steigt der Anteil dominierender Bäume mit hoher Zuwachsleistung.

4 Bestandeswachstum

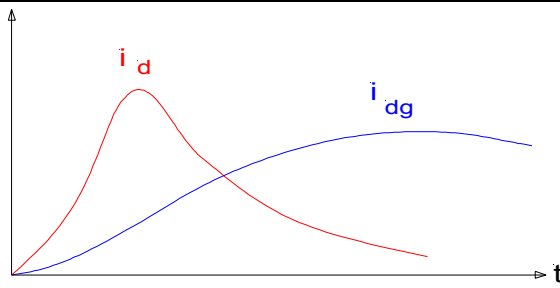


Abb. 44.2: Durchmesserzuwachs eines Einzelbaumes und Zuwachs des Durchmessers des Grundflächenmittelstammes.

45 Grundflächenentwicklung

Die Grundfläche eines Bestandes ist die Summe der Grundflächen aller Bäume des Bestandes, normalerweise bezogen auf Brusthöhe und ausgedrückt in m² pro Hektare. Allenfalls ist die massgebende Kluppschwelle anzugeben.

$$G = \left(\sum_{i=1}^N g_i \right) / \text{Fläche} \quad \text{m}^2 / \text{ha}$$

G kann auf verschiedene Weise ermittelt werden. Am einfachsten ist die Winkelzählprobe von BITTERLICH (vgl. Vorlesung Dendrometrie). Neben der Grundfläche des verbleibenden Bestandes ist die Grundfläche des ausscheidenden Bestandes zu berücksichtigen.

Die Grundfläche wird verwendet als Mass für die **Dichte eines Bestandes**. Sie ist dazu besser geeignet als z.B. die Stammzahl. Der **Bestockungsgrad** gibt das Verhältnis an zwischen der Grundfläche eines vorhandenen Bestandes zu jener einer passenden Ertragstafel (eines Modelles). Der Bestockungsgrad kann auch grösser als 1 sein.

Weil für die Angabe des Bestockungsgrades die Bezugsgrösse einer passenden Ertragstafel bekannt sein muss, kann er nicht immer einfach ermittelt werden. In vielen Fällen, besonders bei Durchforstungsversuchen, wird deshalb der **natürliche Bestockungsgrad** ermittelt als Quotient der Grundfläche eines behandelten Bestandes zu jener eines gleichalten unbehandelten Bestandes auf dem gleichen Standort. [ASSMANN](#) 1961 verwendet den Begriff **Grundflächenhaltung**. Er unterscheidet

maximale Grundflächenhaltung	auf dem betreffenden Standort höchstmögliche Grundfläche lebender Bäume (in einem undurchforsteten und ungeschädigten Bestand)
optimale Grundflächenhaltung	Grundfläche, bei welcher der maximale Volumenzuwachs erreicht wird
kritische Grundflächenhaltung	Grundfläche, bei welcher noch 95 % des maximalen Volumenzuwachses geleistet werden

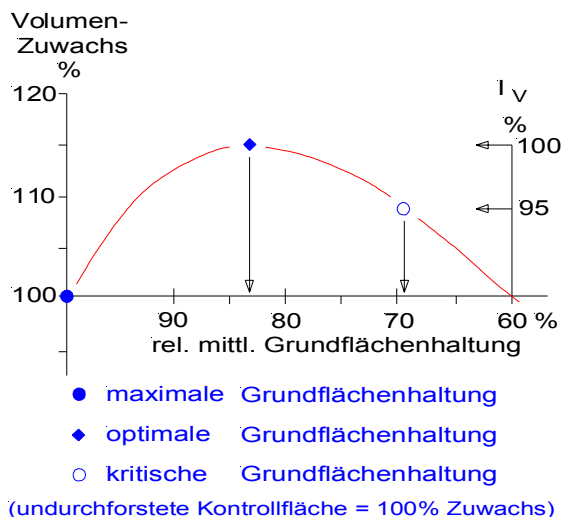


Abb. 45.1: Schematische Darstellung der maximalen, optimalen und kritischen Grundflächenhaltung (nach [ASSMANN](#) 1961, in [KRAMER](#) 1988, S. 86).

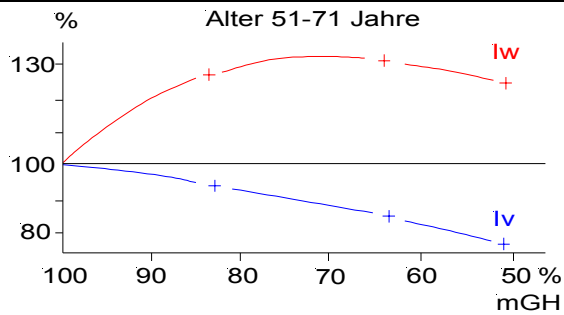


Abb. 45.2: Relativer periodischer Volumen- (I_v) und Wertzuwachs (I_w) in Abhängigkeit von der relativen mittleren Grundflächenhaltung (mGH) im Fichtendurchforstungsversuch Dalby nach [CARBONNIER](#) 1957 in KARMER 1988, S. 86.

Die Grundfläche eines unbehandelten Bestandes nimmt bis ins höchste Alter zu. Der Verlauf der Wachstumskurve von G ist sinngemäss gleich wie für den Einzelbaum.

Ähnlich verläuft die Wachstumskurve für G der Gesamtproduktion (G des verbleibenden + G des ausscheidenden Bestandes, vgl. Abb. 45.3). Dagegen ist die Wachstumskurve von G des verbleibenden Bestandes durch periodische Reduktionen als Folge der waldbaulichen Eingriffe charakterisiert. Je nach Durchforstungsart und Durchforstungsstärke ist die Entwicklung der Bestandesgrundfläche des verbleibenden Bestandes sehr verschieden.

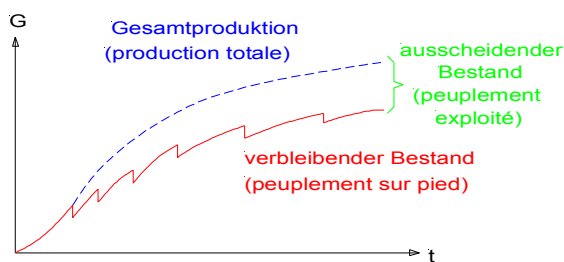


Abb. 45.3: Grundsätzlicher Verlauf der Wachstumskurve von G .

Der Zuwachs der Bestandesgrundfläche (I_G) kulminiert früher als jener des Grundflächenmittelstammes (i_g). Der Kulminationspunkt ist meistens so früh, dass er in den gebräuchlichen Ertragstafeln nicht mehr zu erkennen ist (ab Alter 20 oder 30 Jahre ist I_G bereits auf dem absteigenden Ast der Kurve).

Begründung: Der Zuwachs des Grundflächenmittelstammes i_g hängt nur vom Durchmesser und vom Durchmesserzuwachs der verbleibenden Bäume ab. I_G dagegen wird zusätzlich von der Stammzahl/ha beeinflusst: $I_G = N \cdot i_g$. Weil N mit dem Alter abnimmt, kulminiert I_G vor i_g (vgl. Abb. 45.4).

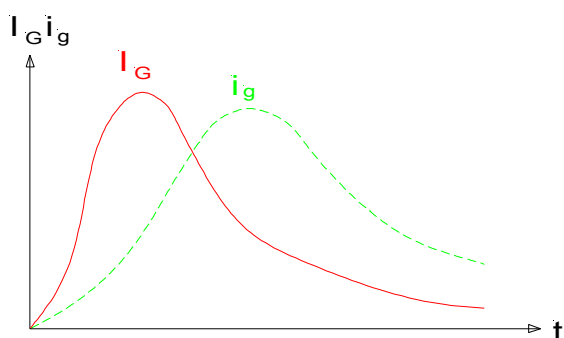


Abb. 45.4: Grundsätzlicher Verlauf der Wachstumskurven der Bestandesgrundfläche (I_G) und der Grundfläche des Grundflächenmittelstammes.

46 Form- und Volumenentwicklung

Die **Bestandesformzahl F** (*coefficient de forme du peuplement, coefficiente di forma del popolamento*) entspricht der Formzahl *f* des Einzelbaumes. Meistens ist die Bestandesformzahl eine unechte Formzahl (bezogen auf *G* in 1.3 m über Boden) und erfasst nur das Derbholz (ohne nähere Angaben Schaftderbholz bei Nadelbäumen und Baumderbholz bei Laubbäumen).

$$F = V / G * H \quad \text{wobei } H \text{ eine Bestandesmittelhöhe ist, die jeweils definiert werden muss}$$

Die Bestandesformzahl dient in erster Linie dazu, den Bestandesvorrat zu berechnen, wenn *G* und *H* bekannt sind.

Die Bestandesformzahl weicht nicht erheblich oder gesetzmässig von der Formzahl der Einzelbäume ab (siehe [Kapitel 35](#)).

Alter	Fichte		Tanne
	Bon.16	Bon.22	Bon.22
30 Jahre	0.160	0.407	0.389
60 Jahre	0.592	0.498	0.495
90 Jahre	0.491	0.459	0.495
120 Jahre	0.462	0.433	0.473
150 Jahre			0.454
Alter	Buche		Lärche
	Bon.16	Bon.22	Bon.22
30 Jahre	0.373	0.403	0.431
60 Jahre	0.476	0.507	0.435
90 Jahre	0.491	0.520	0.425
120 Jahre	0.480	0.515	0.419
150 Jahre			0.412

Abb. 46.1: Bestandesformzahlen für Fichte, Tanne, Lärche und Buche, nach Ertragstafeln BADOUX, bezogen auf Schaftderbholz bei Nadelbäumen und Baumderbholz bei Buche, unter Verwendung der Loreyhöhe und bei Kluppschwelle 1 cm.

Wie für den Einzelbaum kann auch für den Bestand der **Schlankheitsgrad** berechnet werden, und zwar als *h/d*-Wert des Mittelstammes (h_g/d_g oder h_{dom}/d_{dom}). Der Schlankheitsgrad ist ein Mass für die Bestandessicherheit, vor allem gegen Schneedruck und Windwurf. Bei Fichte gelten Bestände mit $h_g/d_g \leq 80$ als stabil. Von grosser Bedeutung sind Ausgangsstammzahl und Behandlung.

Das **Volumen (V)** eines Bestandes ist die Summe der Einzelbaum-Volumen, dividiert durch die Fläche:

$$V = \left(\sum_{i=1}^N v_i \right) / \text{Fläche} \quad \text{in Silven oder Tariffestmetern (pro ha)}$$

- Es werden unterschieden:
- V_t Volumen des verbleibenden Bestandes = Vorrat
 - E_{t1-t2} Volumen des ausscheidenden Bestandes
 - GWL** Gesamtwuchsleistung ($\sum l_{v,0-t} V_{tot}$)
 - Schaftderbholz ($\varnothing \geq 7$ cm, nur Schaftholz)
 - Baumderbholz ($\varnothing \geq 7$ cm, inkl. Aeste)
 - Gesamtvolumen (alles Holz inkl. Aeste und Reisig)

Das **Volumen eines Bestandes** verändert sich aus verschiedenen Gründen:

- Volumenzuwachs an den anfänglich vorhandenen Bäumen
- Neue Bäume erreichen die Messschwelle (Kluppschwelle)
- Bäume scheiden aus infolge Mortalität, waldbaulicher Eingriffe oder äusserer Einwirkungen (Sturm, Schneedruck, usw.).

$$V_2 = V_1 + I_V + P - E$$

V_1 = Anfangsvorrat (1. Inventar)

V_2 = Endvorrat (2. Inventar)

I_V = Zuwachs an den Bäumen des 1. Inventars

P = Einwuchs (passage à la futaie, passaggio alla fustaia) zwischen den zwei Inventaren

E = Nutzung (exploitation) zwischen den beiden Inventaren (alle Bäume)

$$I_V = V_2 - V_1 - P + E$$

$$V_{tot(t)} = V_t + \sum E_{0-t}$$

Die **Gesamtwuchsleistung** (V_{tot} , *GWL*) eines Bestandes bis zu einem bestimmten Alter entspricht dem Vorrat im Alter t vermehrt um die Summe aller Nutzungen bis ins Alter t . Sie ist gleich der Summe aller laufenden jährlichen Volumenzuwächse bis ins Alter t .

$$V_{tot} = \sum I_{V0-t}$$

Die Entwicklung des Bestandesvolumens im gleichförmigen Wald entspricht für die Gesamtwuchsleistung einer normalen Wachstumskurve, für den Vorrat infolge der Eingriffe einer gezähnten Wachstumskurve (vgl. Abb. 46.2).

Während V_{tot} einer Baumart fast nur vom Standort abhängig ist, wird V wesentlich durch die Behandlung geprägt (vgl. Abb. 46.3). Besonders deutlich wird dieser Einfluss während der Verjüngung eines Bestandes (vgl. Abb. 46.4).

Für die Beschreibung der Volumenentwicklung gleichförmiger Bestände wurden verschiedene mathematische Formeln entwickelt. Nachstehendes Beispiel entspricht dem Typ "Schumacher" (vgl. [Kap. 243](#) und [CLUTTER et al. 1983](#)):

$$\ln V_{tot} = a_0 + a_1 * F + a_2 (1/t) + a_3 * \ln G$$

wobei

V_{tot}	= Gesamtwuchsleistung
F	= Bodenfruchtbarkeit
t	= Alter
G	= Bestandesgrundfläche
a_0, a_1, a_2, a_3	= zu bestimmende Konstanten

Im nahezu ideal aufgebauten Plenterwald entwickelt sich der Vorrat in einer gezähnten, horizontalen Kurve, d.h. der Vorrat schwankt nur um den Zuwachs pro Periode, der jeweils voll genutzt wird. Die Entwicklung von V_{tot} im Plenterwald entspricht einer Geraden, die von links nach rechts steigt, aber nicht durch den Nullpunkt geht (vgl. Abb. 46.5).

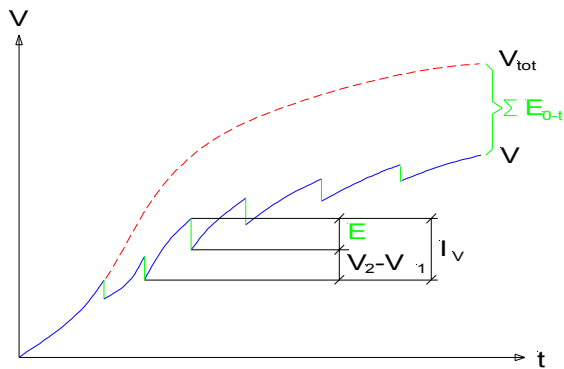


Abb. 46.2: Entwicklung von V_{tot} und von V in einem gleichförmigen, bewirtschafteten Bestand. In einem unbewirtschafteten Bestand verläuft die Kurve von V_{tot} gleich, jene von V näher bei V_{tot} und unregelmässiger gezähnt.

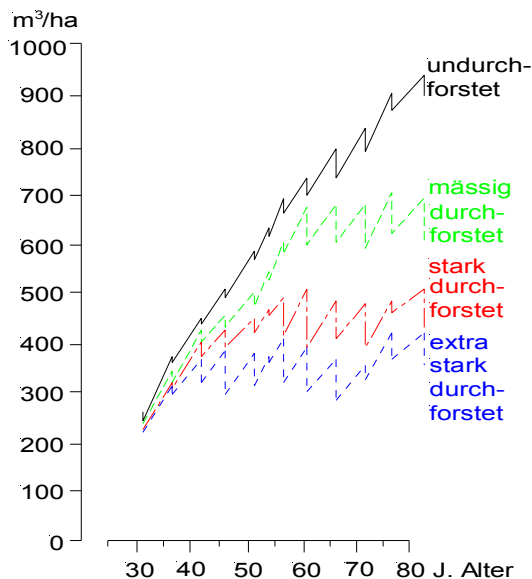


Abb. 46.3: Einfluss der Durchforstungsstärke auf die Vorratsentwicklung bei Fichte im schwedischen Durchforstungsversuch Dalby (nach [CARBONNIER](#) 1957 in [KARMER](#) 1988, S. 90).

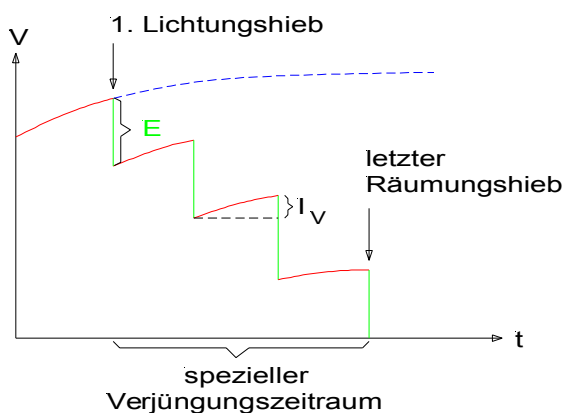


Abb. 46.4: Entwicklung des Vorrates eines gleichförmigen Bestandes während einer gestaffelten Verjüngung.

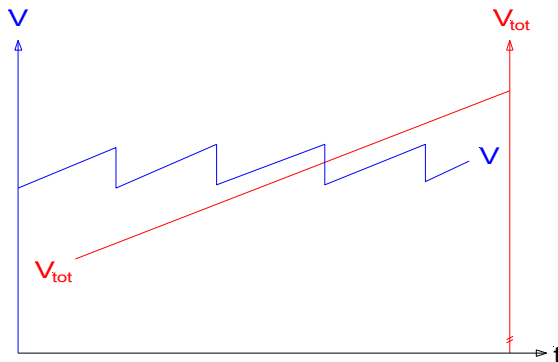


Abb. 46.5: Entwicklung von Vorrat und Gesamtwuchsleistung V_{tot} in einem nahezu ideal aufgebauten Plenterwald.

In Abb. 46.6 sind Beispiele aus den Schweizerischen Ertragstafeln für Vorrat und Gesamtwuchsleistung angegeben.

B'Art Bonität	Alter	40J.		60J.		80J.		100J.		120J.	
		V	V	V	GWL	V	GWL	V	GWL	V	GWL
Fichte	30	416	655	790	1567	864	1894	900	2156		
Fichte	22	207	403	522	916	600	1159	640	1352		
Fichte	14	47	169	260	383	324	528	355	640		
Tanne	26	373	662	865	1437	948	1853	965	2144		
Tanne	22	254	502	697	1225	822	1639	867	1930		
Tanne	18	157	367	546	969	665	1361	733	1645		
Tanne	14	92	249	397	688	510	1024	579	1294		
Lärche	30	313	448	540	986	604	1180	642	1335		
Lärche	22	189	289	364	679	426	828	477	953		
Lärche	14	72	142	204	384	264	489	313	582		
Buche	26	223	409	550	1022	647	1323	700	1575		
Buche	22	161	302	412	718	489	950	532	1144		
Buche	14	55	121	176	275	219	386	245	478		

Abb. 46.6: Vorrat (V) und Gesamtwuchsleistung (GWL) in m^3 Schaftderbholz (Buche Baumderbholz) je ha nach Ertragstafeln BADOUX für Fichte, Tanne, Lärche und Buche, bei verschiedenen Bonitäten (Oberhöhe im Alter 50 Jahre) und in verschiedenen Altern.

[KRAMER](#) 1988, S. 89, führt Beispiele für maximale Vorratswerte in Nordamerika an:

- Millan-Park auf Vancouver Island, 300-800jährige Douglasien, ca. 3500 m^3/ha
- Olympic National Forest Quinault im Staat Washington, 300-500jährige Douglasien mit 150jährigem Hemlock-Nebenbestand, 3695 Efm o.R./ha (Douglasien 87 m hoch, Hemlock 40 m hoch, $G = 163 m^2$)
- Redwoodwälder 2. Generation an der Pazifikküste Nordkaliforniens, nach Ertragstafeln [LINDQUIST](#) und [PALLEY](#) 1963 auf besten Standorten 3500 Efm o.R./ha im Alter von 100 Jahren.

Aufbauend auf Beobachtungen von [EICHHORN](#) 1902, 1904 kann ein enger Zusammenhang zwischen Gesamtwuchsleistung und Höhe eines Bestandes festgestellt werden, unabhängig von Bonität und Alter (vgl. [MITSCHERLICH](#) 1978, S. 102/103, und [KRAMER](#) 1988, S. 94/95). Dieses sogenannte **EICHHORN'sche Gesetz** ist für die Aufstellung von Ertragstafeln (Wachstumsmodellen) von grosser Bedeutung (vgl. [Kap. 62](#)). Dieses Gesetz erfährt aber auch verschiedene Einschränkungen:

- Pflanzverband und (frühe) Durchforstungseingriffe können das Verhältnis V_{tot}/h verändern (gesteigertes Höhenwachstum ohne entsprechendes Volumenwachstum)
- im Lichtwuchsbetrieb können bei stagnierender Höhenentwicklung noch beträchtliche Volumenzuwächse angelegt werden
- in verschiedenen Wuchsgebieten (unterschiedliches Grossklima) wurden ebenfalls für gleiche Höhen unterschiedliche Gesamtwuchsleistungen gefunden (höhere V_{tot} in niederschlagsreichen, atlantisch getönten Gebieten).

In Abweichung vom EICHHORN'schen Gesetz ergeben sich so bei gleicher Bestandeshöhe etwas verschiedene Gesamtwuchsleistungen. Nach [ASSMANN](#) 1961 bezeichnet man diese Erscheinung als unterschiedliche **Ertragsniveaus**. Für Südbayern und für Grossbritannien wurden bereits Ertragstafeln entwickelt, welche unterschiedliche Ertragsniveaus berücksichtigen.

Aus der Volumenentwicklung lässt sich der **Volumenzuwachs** ableiten. Im gleichförmigen Bestand verlaufen die Volumenzuwachskurven sinngemäss gleich wie beim Einzelbaum (vgl. Abb. 46.7 links). Allerdings erfolgt die Kulmination wegen der Stammzahlabnahme viel früher als beim Einzelbaum. Im Plenterwald fällt im Idealfall die Kurve des laufenden und des durchschnittlichen jährlichen Volumenzuwachses zusammen und entspricht einer horizontalen Geraden (vgl. Abb. 46.7 rechts).

Der Volumenzuwachs ist sehr grossen witterungsbedingten Schwankungen unterworfen, die weder in diesen Darstellungen noch in den Ertragstafelwerten zum Ausdruck kommen.

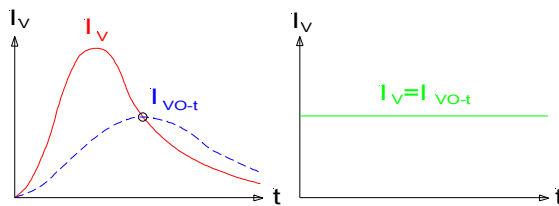


Abb. 46.7: Grundsätzlicher Verlauf der Kurven des laufenden und des durchschnittlichen jährlichen Volumenzuwachses im gleichförmigen Bestand (links) und im Plenterwald (rechts).

In Abb. 46.8 sind aus den Schweizerischen Ertragstafeln Angaben über die Kulmination des laufenden und des durchschnittlichen jährlichen Volumenzuwachses zusammengestellt. Der Kulminationszeitpunkt ist umso früher, je besser der Standort (die Bonität) ist. Die Unterschiede zwischen den Baumarten würden kleiner, wenn statt des Volumens das Gewicht der produzierten Trockensubstanz verglichen würde. Dasselbe gilt für die Abbildungen 46.9 und 46.10 mit dem Vergleich verschiedener durchschnittlicher jährlicher Volumenzuwachse.

B'Art Bonität	maximaler laufender jährl. Derbholzzuwachs		maximaler durchschn. jährl. Derbholzzuwachs	
	m ³ /ha	im Alter...J.	m ³ /ha	im Alter...J.
Fichte 30	27.3	35	19.6	75
Fichte 22	17.3	45	11.6	95
Fichte 14	8.9	60	5.3	120
Tanne 26	26.1	55	18.5	95
Tanne 22	24.5	65	16.4	105
Tanne 18	21.7	75	13.8	115
Tanne 14	17.0	85	10.8	125
Lärche 30	16.0	25	12.6	60
Lärche 22	11.4	35	8.5	75
Lärche 14	7.4	45	4.9	105
Buche 26	18.1	45	13.2	105
Buche 22	13.2	60	9.6	120
Buche 14	5.9	75	4.2	(140)

Abb. 46.8: Kulmination des laufenden und des durchschnittlichen Derbholzzuwachses (Nadelbäume Schaftderbholz, Buche Baumderbholz) für Fichte, Tanne, Lärche und Buche gemäss Ertragstafeln BADOUX bei verschiedenen Bonitäten (Oberhöhe im Alter 50 Jahre).

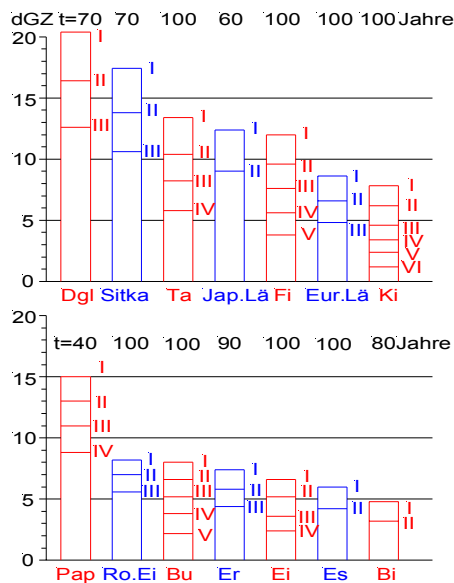


Abb. 46.9: Vergleich der Gesamtwuchsleistung verschiedener Baumarten anhand der Ertragstafeln WIEDEMANN-SCHOBER 1957 in [MITSCHERLICH](#) 1978, S. 104. Die oberste Zeile enthält das Alter, für das der durchschnittliche jährliche Volumenzuwachs (dGZ) berechnet ist. Neben den Säulen sind die jeweiligen relativen Bonitäten angegeben.

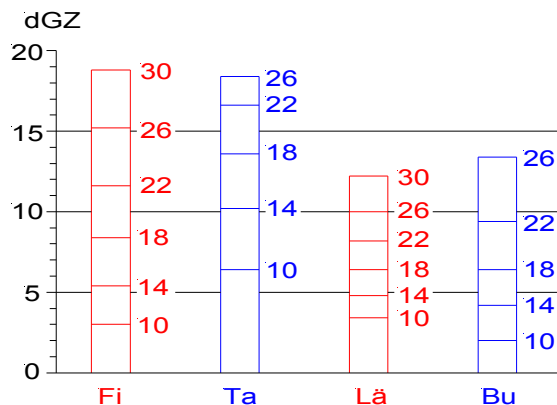


Abb. 46.10: Gesamtwuchsleistung als dGZ_{100} für Fichte, Tanne, Lärche und Buche nach Ertragstafeln BADOUX in m^3 Schaftderbholz (Buche Baumderbholz) je ha und Jahr, für verschiedene Bonitäten nach Oberhöhe im Alter 50 Jahre (als Zahlen rechts neben den Säulen).

Anstelle des absoluten Volumenzuwachses kann auch der **relative Volumenzuwachs** $I_{v,r}$ angegeben werden (vgl. Kap. 23), wobei der laufende jährliche oder der periodische jährliche Volumenzuwachs in % des Anfangsvorrates der Periode ausgedrückt wird. Im Plenterwald, mit mehr oder weniger konstantem Vorrat und Zuwachs, ist $I_{v,r}$ eine wichtige Kenngrösse. Ähnlich kann es für ganze Betriebe sein, die regelmässig aufgebaut sind und auf der grossen Fläche als Ganzes eine ähnliche Konstanz aufweisen wie der Plenterwald auf Teilflächen.

In gleichförmigen Beständen nimmt der relative Volumenzuwachs (das **„Zuwachsprozent“**) mit dem Alter ab (vgl. Abb. 46.11). Das Zuwachsprozent ist höher auf schlechten Standorten als auf guten Standorten und höher bei Hochdurchforstung als bei Niederdurchforstung (jeweils wegen unterschiedlich hohen Werten bei gleichem Alter).

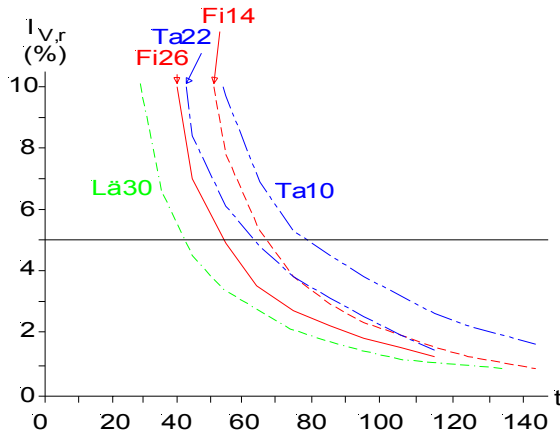


Abb. 46.11: Relativer Volumenzuwachs für ausgewählte Bonitäten von Fichte, Tanne und Lärche nach Ertragstafeln BADOUX (Bonität als Oberhöhe im Alter 50 Jahre), bezogen auf den Anfangsvorrat der jeweiligen 10 Jahres-Periode.

Übung zu Kapitel 46, Volumenentwicklung

Gegeben: Ertragstafel FICHTE nach BADOUX, Bonität 22
Gesucht: Verlauf von V_{tot} und V , dargestellt wie in Abb. 46.2, Nutzung jeweils am Ende jeder Periode eingetragen.
 Verlauf von $IV_{(t1-t2)}$ und $IV_{(0-t)}$, dargestellt wie in Abb. 46.7 links, laufender jährlicher Zuwachs in der Periodenmitte, durchschnittlicher jährlicher Zuwachs am Periodenende eingezeichnet.

Orig. Angabe für das forstliche Versuchswesen Institut fédéral de recherches forestières 1969

FICHTE
 Ertragstafel für hoch-
 durchforstete, gleichförmige
 Reinbestände
 22 m Oberhöhe im 50. Jahr

EPICEA
 Table de production pour des
 peuplements purs et uniformes
 éclaircis par le haut
 22 m de haut, dom. à 50 ans

ET

Alter Année	Vorratbestand (Bestand) Inhalt des Bestandes					Ausgewählter Bestand Eiche					Vorratbestand Zusatzbestand					Zusatzbestand Zusatzbestand					Alter Année		
	Stammzahl N°/ha	DBH cm	Stammzahl N°/ha	DBH cm	Stammzahl N°/ha	Stammzahl N°/ha	DBH cm	Stammzahl N°/ha	DBH cm	Stammzahl N°/ha	Stammzahl N°/ha	DBH cm	Stammzahl N°/ha	DBH cm	Stammzahl N°/ha	DBH cm	Stammzahl N°/ha	DBH cm	Stammzahl N°/ha	DBH cm			
20																					20		
30	2771	17,1 (6,7)	25,1	11,2	85	300	10,3	8,1	11,6	32						13,9	1,36	1,75	1,05	1,6	2,7	3,1	30
40	1711	17,3 (12,7)	35,6	16,3	257	427	14,1	9,3	15,3	67						1,21	17,3	2,5	2,5	2,2	3,2	3,7	40
50	1104	22,0 (18,3)	33,7	20,3	313	295	16,8	6,8	19,8	61						1,02	16,1	4,2	4,2	2,9	3,2	3,8	50
60	779	25,5 (22,3)	30,6	24,0	432	164	23,2	7,8	23,7	37						0,83	13,8	6,1	6,1	3,4	3,7	10,2	60
70	555	29,3 (25,3)	37,5	29,3	470	125	29,4	7,9	27,6	22						0,65	14,4	9,6	9,6	4,3	4,5	1,3	70
80	420	31,3 (28,7)	33,4	33,9	522	67	29,0	6,3	30,5	35						0,71	17,6	10,4	10,4	4,8	4,8	11,6	80
90	343	31,4 (31,3)	31,3	36,2	568	67	31,2	3,0	31,0	30						0,64	11,5	11,5	11,5	4,8	5,7	11,6	90
100	261	32,0 (33,4)	43,1	42,6	309	49	33,1	3,2	31,1	27						0,56	10,2	12,1	12,1	5,0	5,7	11,5	100
110	222	36,3 (36,2)	43,5	47,0	225	37	35,8	4,6	41,1	22						0,52	5,1	11,5	11,5	5,5	5,2	1,3	110
120	196	37,1 (36,2)	40,6	51,5	242																		120

47 Biomasse

Biomasse ist die Menge an lebender ober- und unterirdischer, tierischer und pflanzlicher Substanz je Flächeneinheit (vereinfacht nach [PELLINEN](#) 1984 zitiert bei [KRAMER](#) 1988, S. 42). Als Messgrösse wird in der Regel die Trockensubstanz in Tonnen oder Kilogramm verwendet.

Der grösste Teil der Biomasse besteht aus Pflanzen. Für einen westeuropäischen Laubwald gilt etwa folgende Verteilung ([DUVIGNEAUD](#) 1962, zitiert bei [LEIBUNDGUT](#) 1975, S. 35):

Phyto-Biomasse	275 t/ha
Biomasse der Wirbeltiere	8.5 kg/ha
Biomasse der Bodenfauna	1 t/ha

Forstliche Biomassenuntersuchungen beschränken sich vorwiegend auf die Bäume. Der Anteil der Bodenflora ist stark vom Waldaufbau und vom Standort abhängig. Bezogen auf die gesamte jährliche Produktion an Trockensubstanz leistet die Bodenflora in einem 100jährigen Fichtenbestand auf gutem Standort in mittlerer Lage 7 %, in einem licht bestockten Fichtenbestand in hoher Gebirgslage 38 % (nach [BURGER](#) 1953, S. 119). Auf den Vorrat an Biomasse bezogen ist der Anteil der Bodenflora bedeutend kleiner, weil diese vor allem im Holz gebunden ist.

Die prozentualen Biomassenanteile der Waldbäume sind für die Bundesrepublik Deutschland in Abb. 47.1 dargestellt. Abb. 47.2 zeigt, dass der Gehalt an Nährstoffelementen im Holz wesentlich geringer ist, als in Aesten, Rinde oder Nadeln. Daraus sind grosse Vorbehalte gegen Ganzbaumnutzung oder Biomassennutzung abzuleiten.

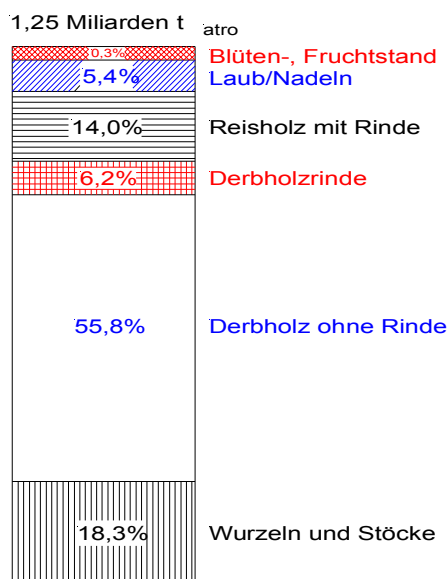


Abb. 47.1: Prozentuale Biomassenanteile der Waldbäume in der BRD, Derbh Holzgrenze 7 cm, nach [KRAMER](#) u. [KRÜGER](#) 1981, zitiert bei [KRAMER](#) 1988, S. 43.

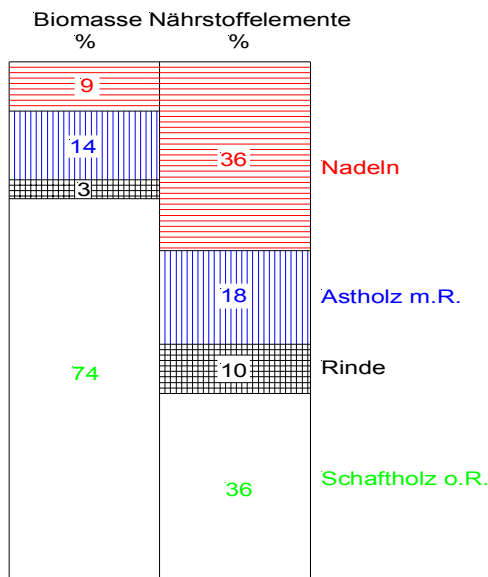


Abb. 47.2: Prozentuale Verteilung der Biomasse sowie der Nährstoffelemente (N, P, K, Ca, Mg) auf die oberirdischen Baumkomponenten in einem 40-jährigen Fichtenbestand, nach [KRAPFENBAUER](#) 1979 und [KRAMER](#) 1983, zitiert bei [KRAMER](#) 1988, S. 44.

Über die **Veränderung der Biomasse im Jahresverlauf** gibt es nur wenige Untersuchungen. Ein Beispiel eines Nadelbestandes zeigt Abb. 47.3, wobei interessant ist, die Neubildung von Nadeln und den Abfall alter Nadeln zu verfolgen.

1965	3. Mai	31. Mai	28. Juni	26. Juli	6. Sept.	18. Okt.	13. Dez.
Neugebildete Nadeln	0,3	1,7	3,2	3,8	3,6	5,3	4,4
1jährige Nadeln	4,7	4,2	4,2	3,5	3,6	2,5	1,9
2jährige Nadeln	2,5	2,2	1,7	0,9	1,2	0,1	Sp.
3jährige Nadeln	0,0	0,1	0,0	0,3	0,5	0,0	0,0
Total Nadeln	7,5	8,2	9,1	8,5	8,9	7,9	6,4
Neugebildete Aeste	0,2	0,7	1,0	1,0	0,9	1,6	1,1
ältere Aeste	20	18	22	17	17	19	15
Blüten	0,27	0,01	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.
Neue Zapfen	Sp.	0,01	0,02	0,03	0,04	0,04	0,05
1jährige Zapfen	0,02	0,05	0,11	0,18	0,24	0,29	0,31
Total Blüten+Zapfen	0,29	0,07	0,13	0,21	0,28	0,33	0,36
Stämme	44,3						50,1
Gesamte oberirdische Biomasse	72,3						73,0

Abb. 47.3: Oberirdische Biomasse in t/ha eines 17-jährigen *Pinus virginia* -Bestandes im Jahresablauf, nach [MADGWICK](#) 1968, zitiert bei [MITSCHERLICH](#) 1978, S. 34 (Sp. = Spuren).

Die organische Produktion eines Bestandes kann mit der **Produktionsgleichung** von [BOYSEN-JENSEN](#) 1932 beschrieben werden:

$$N_a = R + B_v + A_v + W_v + I + S$$

wobei

- N_a = Nettoassimilationsertrag in den Blättern
- R = Respiration, Atmungsverluste von Stamm, Aesten, Wurzeln
- B_v = Blattverlust durch Laubfall
- A_v = Astverlust durch laufendes Abstossen von Aesten
- W_v = Wurzelverlust, nur grob abschätzbar
- I = Zuwachs an ober- und unterirdischem Holz
- S = allfällige Samenproduktion

In Abb. 47.4 ist die **Biomassenproduktion** eines Buchenbestandes im **Lebensablauf** dargestellt. Die Produktion an Trockensubstanz kulminiert später als die Volumenproduktion.

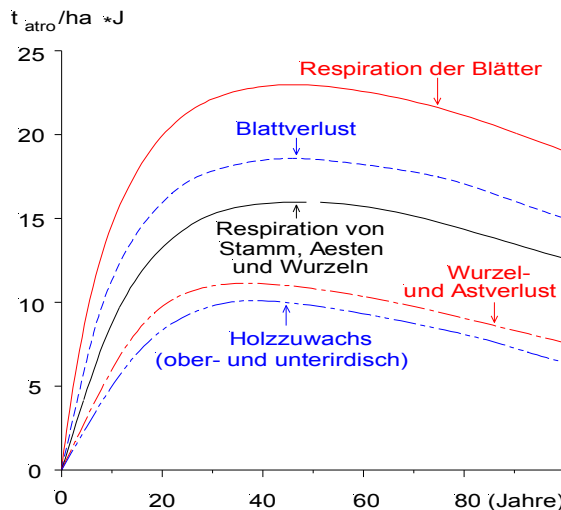


Abb. 47.4: Modell der Biomassenproduktion (in Tonnen Trockensubstanz) in einem Buchenbestand im Lebensablauf, nach [MÖLLER](#) 1954, zitiert bei [ASSMANN](#) 1961, S. 36.

Die **Nadel-/Blattmasse** (*masse foliaire, massa fogliare*) ist wichtig für die Photosynthese. Als Messgrößen werden verwendet

- die Kronengröße (Länge, Projektionsfläche, Mantelfläche)
- die Nadel-/Blattoberfläche
- die Masse in kg Trockensubstanz.

Die Beziehung zwischen Blattmasse und Kronendimension kann mit der allometrischen Funktion $y = a * x^b$ dargestellt werden, wobei die Kronenmantelfläche eine besonders gut geeignete Bezugsgröße ist.

Mit der **Blattwirksamkeit** (*efficacité foliaire, efficienza fogliare*) ist eine Aussage über die Leistungsfähigkeit der Blätter möglich. Gemäss Abb. 47.5 haben Laubbäume eine höhere Blattwirksamkeit als Nadelbäume. Nadeln können die geringere Assimilationstätigkeit durch die höhere Nadelmasse (Trockensubstanz/ha) ausgleichen. Zudem haben sie das ganze Jahr eine positive Assimilationsleistung (ausgenommen Kälteperioden).

$$\text{Blattwirksamkeit} = \text{jährliche Holzproduktion (t/ha*J)} / \text{Blattmasse (t/ha)}$$

Ein weiteres Mass ist der **Blattflächenindex** (*indice de surface foliaire, indice di superficie fogliare*), d.h. die Blattoberfläche in ha je ha Bestandesfläche).

Baumart	Alter J	Blätter/Nadeln		Zuwachs		Blattwirk- samkeit 1/J
		Trocken- substanz t/ha	Blattflächen- index ha/ha	Volumen m ³ /ha	Trocken- substanz t/ha	
Esche	15	2,5	4,5*	6,9	3,5	1,40
Eiche	40	1,7	3,1*	11,0	6,3	3,71
Buche	117	2,6	5,6*	10,0	6,0	2,31
Buche	98	2,8	6,1	9,4	5,3	1,89
Fichte	65	10,3	13,1	16,4	6,4	0,62
Fichte	37	10,3	12,0	23,5	9,2	0,89
Douglasie	41	16,9	27,1	34,0	16,3	0,96

Abb. 47.5: Blattmenge, Blattflächenindex, Zuwachs und Blattwirksamkeit verschiedener Baumarten, berechnet nach Zusammenstellungen von [ASSMANN](#) 1961, S. 32 (t = Tonnen Trockensubstanz, * = einseitige Blattfläche).

Reisig- und Nadelfrischgewicht nehmen bei Fichte mit dem Alter und mit geringer werdender Bonität ab. Der Zuwachs je kg Nadeln kulminiert im Alter von 60 Jahren, und er sinkt bei abnehmender Standortsgüte (vgl. Abb. 47.6). Nach [MÖLLER](#) 1945, zitiert nach [ASSMANN](#) 1961, S. 35, ist bei Buchen das Laubtrockengewicht unabhängig von der Standortsgüte nahezu gleich gross. Die Assimilationsleistung gleicher Laubmengen ist also auf weniger guten Standorten bedeutend geringer als auf besseren Standorten. Der Zuwachs unserer Waldbestände ist offenbar nur teilweise von der Blattmasse abhängig; die Versorgung der Blätter mit Nährstoffen spielt ebenfalls eine wichtige Rolle.

Abb. 47.7 zeigt, dass bei unterschiedlicher Volumenproduktion wegen der verschiedenen Raumdichten (Trockengewicht bezogen auf das Volumen frischen Holzes) die Produktion an Trockensubstanz sehr ähnlich sein kann.

Alter Jahre	I. Standortsgüte			III. Standortsgüte			V. Standortsgüte		
	Reisig- gewicht to	davon Nadel- frischgewicht to	Zuwachs je kg Nadeln dm ³	Reisig- gewicht to	davon Nadel- frischgewicht to	Zuwachs je kg Nadeln dm ³	Reisig- gewicht to	davon Nadel- frischgewicht to	Zuwachs je kg Nadeln dm ³
30	122	44	0,53						
40	103	40	0,59	96	35	0,48	95	26	0,34
50	95	37	0,59	88	34	0,50	85	27	0,37
60	93	35	0,63	83	32	0,50	76	29	0,38
70	92	34	0,59	81	31	0,50	70	28	0,36
80	93	33	0,56	80	30	0,45	67	28	0,32
90	94	31	0,53	79	30	0,40	65	27	0,29
100	95	30	0,50	80	29	0,37	64	27	0,26
110	96	30	0,44	80	29	0,31	65	27	0,22
120	98	29	0,36	81	28	0,25	65	26	0,15

Abb. 47.6: Reisiggewicht (Äste Ø < 7 cm und Nadeln), Nadelfrischgewicht und Volumenzuwachs in Fichtenbeständen unterschiedlicher Bonität, nach [BURGER](#) 1953, in [MITSCHERLICH](#) 1978, S. 32.

Baumart	Alter J	dGZ _{max} m ³	Vol %	dGZ _{max} t _{atro}	Gew %
Fichte	90	12,2	100	4,60	100
Buche	150	8,6	70	4,77	104
Europ. Lärche	55	9,5	78	4,63	101

Abb. 47.7: Maximaler durchschnittlicher Gesamtzuwachs (dGZ_{max}) nach Volumen (m^3/ha) und Trockensubstanz (t_{atro}/ha) von Fichte, Buche und Lärche bei I. Ertragsklasse nach Ertragstafeln [SCHÖBER](#), mittlere Durchforstung 1975, bei [KRAMER](#) 1988, S. 47.

48 Wertentwicklung

Als Wert eines Bestandes wird normalerweise der erntekostenfreie Erlös je Hektare bezeichnet. Für den verbleibenden Bestand wird der so ermittelte Betrag umso realistischer, je älter der Bestand, je näher der Zeitpunkt seiner Verjüngung ist.

Die Bestandeswert-Entwicklung verläuft ähnlich wie jene des Bestandesvolumens. Der Wertzuwachs kulminiert später als der Volumenzuwachs, weil Sortimentsverbesserungen nach der Kulmination des Volumenzuwachses weitere Wertsteigerungen zur Folge haben (vgl. Abb. 48.8 mit Abb. 47.7).

Im Unterschied zur Wertentwicklung des Einzelbaumes erfolgt jene des Bestandes ohne Sprünge (Ausgleich durch das Kollektiv). Wegen der Stammzahlabnahme kulminiert der Bestandeswertzuwachs viel früher als der Wertzuwachs des Einzelbaumes.

Im folgenden sollen einige Gesetzmässigkeiten festgehalten werden:

- der Wertzuwachs ist stark von der Bonität abhängig; er wird nicht nur vom Volumenzuwachs beeinflusst, sondern zusätzlich durch den mit abnehmender Bonität geringer werdenden Anteil starker = wertvoller Sortimente (Abb. 48.1)
- der Kulminationspunkt des durchschnittlichen jährlichen Wertzuwachses wird umso früher erreicht, je besser die Bonität ist (Abb. 48.1 und Abb. 48.8)
- die Wertleistung ist je nach Baumart (je nach Wertschätzung des Holzes und Anteil hochwertiger Sortimente) sehr verschieden; Nadelbäume sind bei schlechter und mittlerer Qualität den Laubbäumen weit überlegen (Abb. 48.2)
- je schlechter die Qualität bei gleichbleibender Baumart und Bonität ist, desto später kulminiert der Wertzuwachs (der Einfluss geringwertiger schwacher Sortimente wird erst später ausgeglichen); die Unterschiede sind frankenmässig gross, zeitlich aber relativ gering
- hängt die Qualität massgebender Sortimente vom Alter ab, zum Beispiel bei Eichen-Furnierholz, so kann bessere Qualität auch ein späteres Kulminieren des Wertzuwachses zur Folge haben (Abb. 48.3)
- mit dem Alter zunehmende Schäden reduzieren die Wertleistung und bewirken ein früheres Kulminieren des Wertzuwachses (Abb. 48.4)
- zwischen dem laufenden jährlichen Wertzuwachs und der Basalfläche lassen sich baumartenweise sehr straffe Abhängigkeiten nachweisen; damit lassen sich Ergebnisse aus Probeflächen einigermaßen auf Bestände übertragen, sofern deren Basalflächenanteile nach Baumarten bekannt sind (Abb. 48.5)
- die stärksten Bäume leisten einen so hohen Anteil am gesamten Wertzuwachs, dass sich Wertzuwachsuntersuchungen durchaus auf sie beschränken könnten (Abb. 48.6).

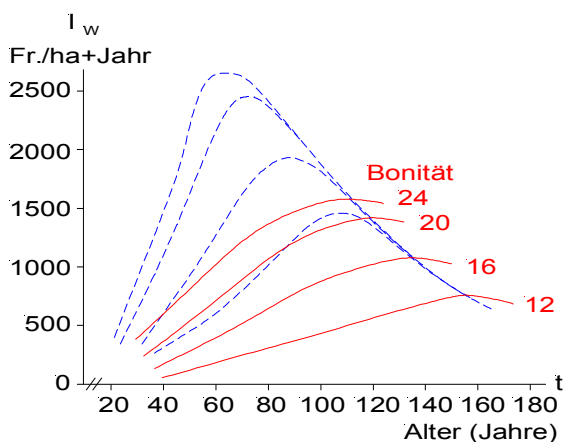


Abb. 48.1: Wertzuwachs von Tanne, durchschnittliche Qualität, Langholzsortierung, Preise/Kosten Mittelland 1982/83, Oberhöhenbonität im Alter 50 Jahre (nach [BACHMANN](#) 1986). Unterbrochene Linie = laufender, ausgezogene Linie = durchschnittlicher jährlicher Wertzuwachs.

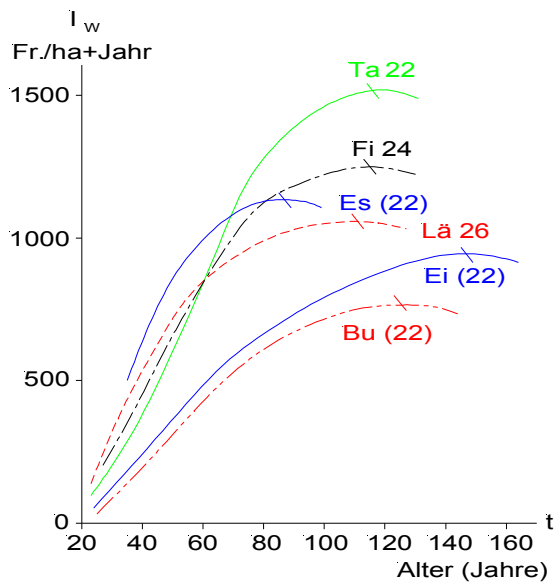


Abb. 48.2: Wertzuwachs verschiedener Baumarten auf einem guten Mittellandstandort (Oberhöhenbonität im Alter 50 Jahre), durchschnittliche Qualität, Nadelbäume Langholzsortierung, Preise/Kosten 1982/83 (nach [BACHMANN](#) 1986).

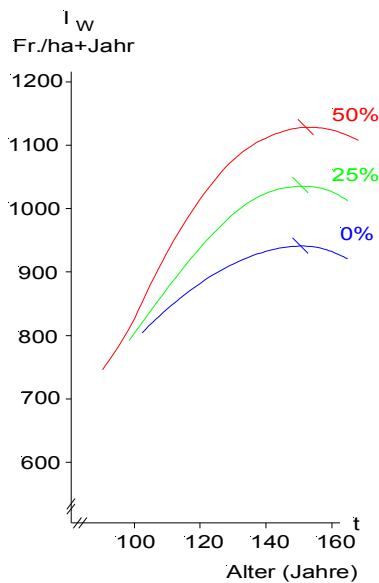


Abb. 48.3: Einfluss unterschiedlicher Furnierholzanteile auf den Wertzuwachs (nach [BACHMANN](#) 1986). Die %-Werte geben den Anteil 1.Klass-Stämme an, welche auf den untersten 4m Furnierqualität aufweisen (Mehrwert Fr. 800.- /Efm).

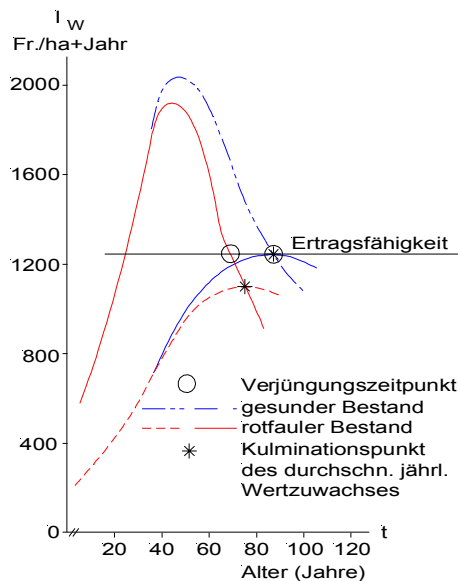


Abb. 48.4: Beeinflussung des Wertzuwachses und des Verjüngungszeitpunktes durch Rotfäule bei Fichte, Bonität 24 (h_{dom} 50 J.), Langholzsortierung, Preise/Kosten Mittelland 1982/83. Im Alter von 70 bis 100 Jahren nimmt der Anteil rotfauler Stämme von 30% auf 80%, die Entwertung durch Fäule von 1m auf 4m Stammlänge zu (nach [BACHMANN](#) 1986).

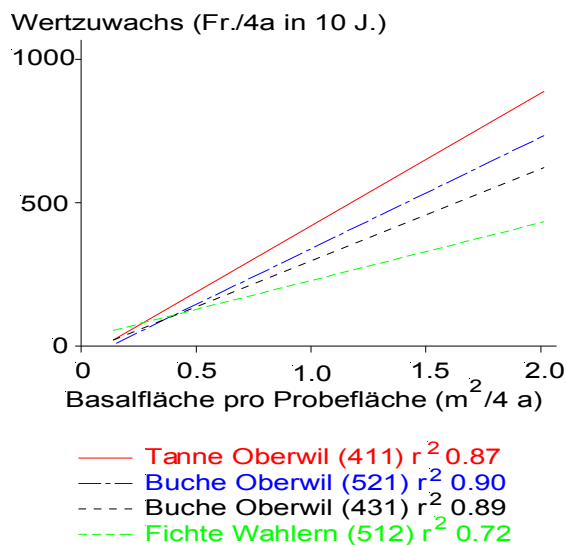


Abb. 48.5: Abhängigkeit des baumartenweisen periodischen Wertzuwachses (in Franken pro Probefläche von 4a in 10 Jahren) von der Basalfläche pro Baumart am Ende der Periode, für verschiedene Auswerteeinheiten (dreistellige Zahl in Klammern, vergl. Bestandestypen in Abb. 48.9) in Oberwil und Wahlem (nach [BACHMANN](#) 1986).

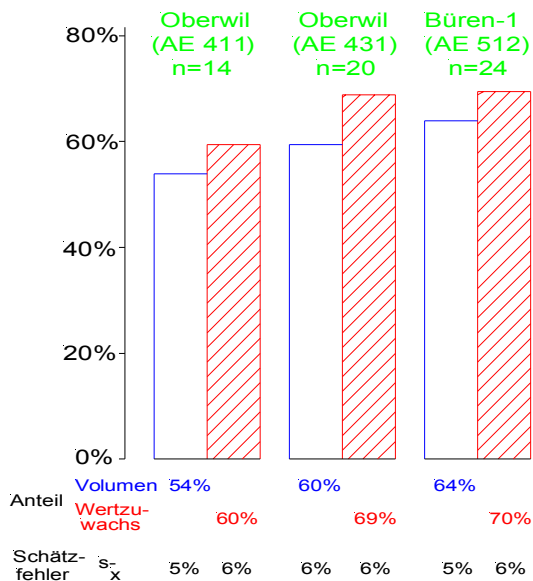


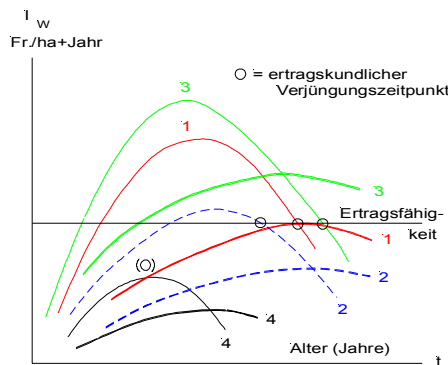
Abb. 48.6: Relative Volumen- und Wertzuwachsanteile der vier stärksten Bäume pro Probefläche (entsprechend den 100 stärksten Bäume je ha) in drei Auswerteeinheiten von Oberwil und Büren (nach [BACHMANN](#) 1986).

Die Kenntnis des Wertzuwachsverlaufes ist vor allem für die Bestimmung des Verjüngungszeitpunktes wichtig.

Unter idealen Bedingungen - richtige Baumarten- und Provenienzwahl, bestmögliche waldbauliche Behandlung und optimale Verjüngung - entspricht der ökonomische Verjüngungszeitpunkt dem Zeitpunkt der Kulmination des durchschnittlichen jährlichen Wertzuwachses (Fall 1 in Abb. 48.7). Dieser maximale durchschnittliche Wertzuwachs eines Idealbestandes wird auch als Ertragsfähigkeit des Standortes bezeichnet.

Je nach Ausnützung der Ertragsfähigkeit durch die vorhandenen Bestände ergeben sich verschiedene Verjüngungszeitpunkte (Abb. 48.7). Für verschiedene Baumarten und Bonitäten sind die modellhaft berechneten Verjüngungszeitpunkte in Tab. 48.8 zusammengestellt.

4 Bestandeswachstum



- dicke Linien:** durchschn. jährlicher Wertzuwachs
dünne Linien: laufender jährlicher Wertzuwachs
- 1 Standortgemässer Idealbestand
 - 2 Nicht idealer Bestand, dessen laufender Wertzuwachs die Ertragsfähigkeit im Kulminationsbereich übersteigt
 - 3 nicht nachhaltig standortgerechter Bestand mit sehr hoher Wertleistung
 - 4 Bestand, dessen Wertleistung die Ertragsfähigkeit nie erreicht

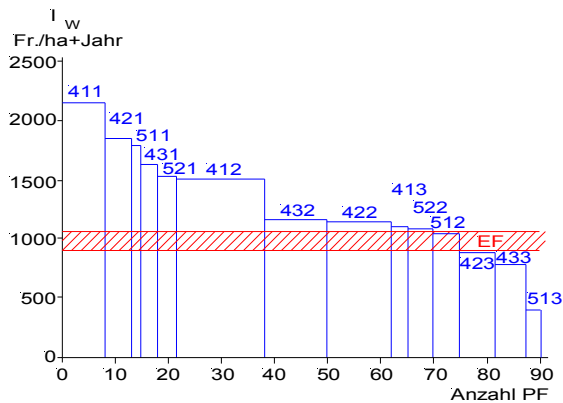
Abb. 48.7: Ökonomischer Verjüngungszeitpunkt von Beständen mit unterschiedlicher Ausnützung der Ertragsfähigkeit (nach [LEIBUNDGUT](#) 1981, in [BACHMANN](#) 1986).

Oberhöhen Bonität	Verjüngungszeitpunkt (Alter in Jahren)			
	Fichte	Tanne	Lärche	Buche
14	(145)	145		(180)
18	(135)	125		(175)
22	120	115	140	(165)
26	105	105	120	(150)

Abb. 48.8: Verjüngungszeitpunkt für Reinbestände guter Qualität, gestützt auf die Ertragstafeln BADOUX (Bonität h_{dom} 50 J.). Resultate ausserhalb des Altersrahmens der Ertragstafel in Klammer (nach [BACHMANN](#) 1986).

In Abb. 48.9 sind die Grundlagen für die Bestimmung des Verjüngungszeitpunktes in einem konkreten Wald dargestellt.

- Wegen Unsicherheiten bei den Grundlagen ist die Ertragsfähigkeit nicht als fester Wert, sondern als Streuband eingezeichnet
- die Wertzuwachsberechnung erfolgte über Kontrollstichproben bei der Zweitaufnahme; die Anzahl der Probeflächen ist ungefähr proportional zur Fläche
- am dringlichsten zu verjüngen sind vorratsarme Bestandestypen (...3)
- der Zeitpunkt der Einleitung der Verjüngung richtet sich nach der Höhe des laufenden jährlichen Wertzuwachses, wobei dessen Standardabweichung, die Dauer des speziellen Verjüngungszeitraumes und die Flächenausdehnung zu berücksichtigen sind.



Die Bestandestypen sind wie folgt charakterisiert:

Entwicklungsstufe	4..	mittleres Baumholz d_{dom} 35-50 cm
	5..	starkes Baumholz d_{dom} > 50 cm
Mischungsgrad	.1.	≤ 20 Volumen-% Laubbäume
	.2.	20-80 Volumen-% Laubbäume
	.3.	≥ 80 Volumen-% Laubbäume
Vorratshöhe	..1	> 625 Tfm / ha
	..2	375-625 Tfm / ha
	..3	<375 Tfm / ha

Abb. 48.9: Wertzuwachs nach Kontrollstichproben für 1973/83 im Vergleich zur Ertragsfähigkeit im Bürgerwald Oberwil/BE (nach [BACHMANN](#) 1986).

Querverbindungen

[Kapitel 37](#), Qualität und Wert

Vorlesung Waldbau II, Kapitel 2.2 (Seiten 2.2a/n)

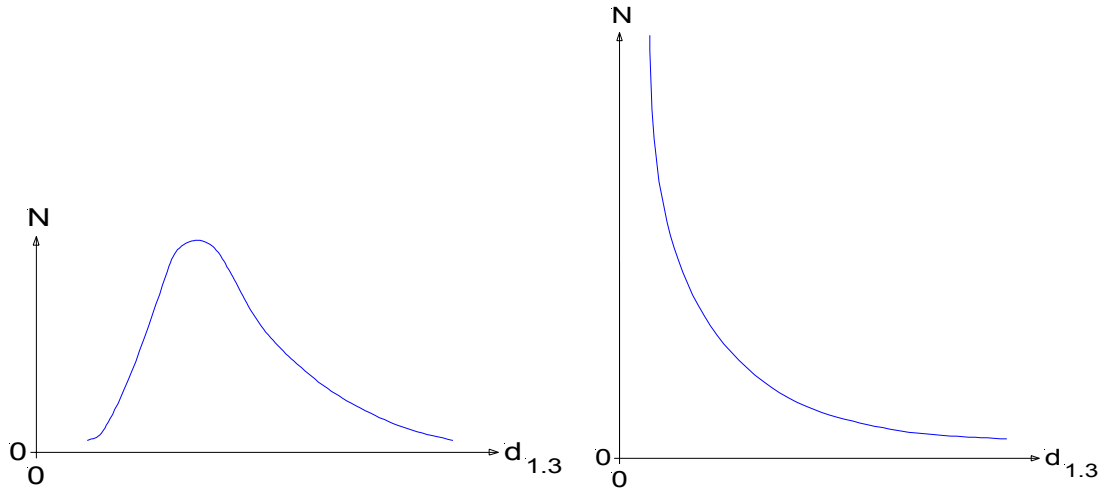
Literatur

[BACHMANN](#) P 1968: Untersuchungen zur Wahl des Verjüngungszeitpunktes im Waldbau. Diss. ETH, 108 S.

[BACHMANN](#) P 1986: Produktionssteigerung im Wald durch vermehrte Berücksichtigung des Wertzuwachses. Schlussbericht im Rahmen des NFP 12 "Holz", 106 S. (unveröffentlicht, erscheint 1990 als Bericht der WSL).

Übung zu Kapitel 4

1. Gegeben sind zwei Häufigkeitsverteilungen über dem Durchmesser für zwei je 1 ha grosse Bestände. Was können Sie über die Behandlung aussagen?



A: _____

B: _____

2. Zeichnen Sie die Wachstumskurve für h_{dom} und für \bar{d} in einem gleichförmigen, stark hochdurchforsteten Bestand.



3. Gegeben ist eine Stammzahlverteilung (angegeben ist jeweils die Mitte einer 4 cm-Durchmesserstufe). Berechnen Sie d_{dom} , d_g und \bar{d} .

d (cm)	26	30	34	38	42	46	50	54
N	20	40	80	120	100	60	30	10

$d_{dom} =$ _____ cm $d_g =$ _____ cm $\bar{d} =$ _____ cm

4. Berechnen Sie den Vorrat/ha in einem Mischbestand mit dem Alter 100 Jahre und den Flächenanteilen
 50 % Tanne, 30 % Buche, 20 % Fichte, alle Baumarten Bonität 22 (Grundlage in Abb. 46.6).

$V_{100} =$ _____ Tfm/ha

4 Bestandeswachstum

B'Art Bonität	Alter	40J.		60J.		80J.		100J.		120J.	
		V	V	V	GWL	V	GWL	V	GWL	V	GWL
Fichte	30	416	655	790	1567	864	1894	900	2156		
	22	207	403	522	916	600	1159	640	1352		
	14	47	169	260	383	324	528	355	640		
Tanne	26	373	662	865	1437	948	1853	965	2144		
	22	254	502	697	1225	822	1639	867	1930		
	18	157	367	546	969	665	1361	733	1645		
	14	92	249	397	688	510	1024	579	1294		
Lärche	30	313	448	540	986	604	1180	642	1335		
	22	189	289	364	679	426	828	477	953		
	14	72	142	204	384	264	489	313	582		
Buche	26	223	409	550	1022	647	1323	700	1575		
	22	161	302	412	718	489	950	532	1144		
	14	55	121	176	275	219	386	245	478		

Repetition zu Kapitel 4

1. Nennen Sie drei Grössen, die als Summenwerte einen Bestand charakterisieren.
2. Nennen Sie drei Mittelwerte, die einen Bestand charakterisieren.
3. Wie verändert sich die Baumzahl eines unbehandelten und eines behandelten Bestandes mit dem Alter?
4. Wie verändert sich die Stammzahlverteilung über dem $d_{1,3}$ eines gleichförmigen Bestandes mit der Zeit?
5. Gleiche Frage wie 4.) für einen Plenterbestand.
6. Nennen Sie drei Definitionen für Bestandesmitteldurchmesser.
7. Beschreiben Sie die Entwicklung des Grundflächenmittelstammes in einem niederdurchforsteten Bestand.
8. Vergleichen Sie die Kurve des Durchmesserzuwachses eines Einzelbaumes mit jener des Grundflächenmittelstammes.
9. Nennen Sie drei Definitionen für Bestandesmittelhöhen.
10. Beschreiben Sie die Entwicklung der Grundfläche in einem gleichförmigen Bestand.
11. Vergleichen Sie die Grundflächen-Zuwachskurve des Bestandes mit jener des Grundflächenmittelstammes.
12. Welche Ereignisse beeinflussen die Volumenentwicklung eines Bestandes?
13. Was versteht man unter Gesamtwuchsleistung eines Bestandes?
14. Wie verläuft die Entwicklung des Bestandesvolumens in einem gleichförmigen Bestand und in einem idealen Plenterbestand?
15. Vergleichen Sie die Volumen- und Wertzuwachskurven in einem gleichförmigen Bestand.
16. Definieren Sie den Begriff "Ertragsfähigkeit eines Standortes".

Vérification des connaissances, chapitre 4

1. Nommez 3 caractéristiques du peuplement qui s'expriment sous la forme d'un total.
2. Nommez 3 caractéristiques du peuplement qui s'expriment sous la forme d'une moyenne.
3. Quelle est l'allure générale de l'évolution du nombre de tiges d'un peuplement a) traité et b) non traité?
4. Quelles sont les caractéristiques de l'évolution dans le temps de la distribution du diamètre $d_{1,3}$ dans un peuplement régulier?
5. Même question que 4.) pour un peuplement irrégulier.
6. Nommez 3 façons de définir le diamètre moyen d'un peuplement.
7. Décrivez l'allure générale de l'évolution du diamètre de surface terrière moyenne d'un peuplement éclairci par le bas.
8. Comparez les courbes de l'accroissement en diamètre d'un arbre individuel et de l'accroissement du diamètre de surface terrière moyenne du peuplement.
9. Décrivez 3 façons de définir la hauteur d'un peuplement.
10. Décrivez l'évolution de la surface terrière d'un peuplement régulier.
11. Comparez les courbes de l'accroissement en surface terrière du peuplement et de l'accroissement en surface terrière de l'arbre moyen.
12. Quels sont les événements influençant l'évolution du volume sur pied d'un peuplement?
13. Qu'est-ce que la production totale d'un peuplement?
14. Quelle est l'allure générale de l'évolution du volume sur pied a) d'un peuplement régulier et b) d'une futaie irrégulière en équilibre?
15. Comparez les courbes de l'accroissement en volume et de l'accroissement en valeur d'un peuplement régulier.
16. Définissez la notion de capacité de production d'une station.