

Sonderdruck aus

Forstwissenschaftliches Centralblatt

89. Jahrgang (1970), H. 4, S. 228-251

VERLAG PAUL PAREY • 2 HAMBURG 1 • SPITALERSTRASSE 12

Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdruckes, der photomech. Wiedergabe, der Speicherung in Daten
verarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten. © 1970 Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin

Ergebnisse strukturanalytischer Untersuchungen in natürlich verjüngten Fichtenbeständen

Von K. JOHANN

Aus dem Institut für Ertragskunde der Forstlichen Forschungsanstalt München

Problemstellung

Bei ertragskundlichen Untersuchungen zeigt sich immer wieder die Notwendigkeit, über die eigentliche Zuwachsbestimmung hinaus auch die Bestandesstruktur biometrisch zu kennzeichnen. Neben vergleichsweise einfachen Kennwerten für den Aufbau eines Bestandes (z. B. Stammzahl, Mittelwerte für Durchmesser, Höhe, Kronenlänge, Kronenschirmfläche u. a.) dienen insbesondere Kronen- und Baumverteilungskarten dem Zweck, den Ausgangszustand und die Entwicklung der untersuchten Baumkollektive eindeutig zu beschreiben. So weist z. B. PRODAN (1967) in einem umfassenden Sammel-

referat „Aus der Holzmeßlehre“ auf die immer mehr erkannte Bedeutung hin, die Verteilung von Bäumen auf der Bestandesfläche zu erfassen.

Während bei geschlossenen Reinbeständen häufig schon einige wenige Kennwerte einen recht erschöpfenden Informationsgehalt aufweisen können, ist es bei unregelmäßigen Bestandaufbauformen schlechthin unmöglich, ohne exakte Darstellungen der flächenmäßigen Verteilung der Individuen auszukommen. Das gilt sowohl für Mischbestände gleichaltriger Bäume als auch für alle ungleichaltrigen Aufbauformen. Insbesondere bei langfristig natürlich verjüngten Beständen können die komplexen Zusammenhänge des Verjüngungsvorganges nur dann aufgeklärt werden, wenn die Verteilung der Alt- und Jungbestandsglieder über die Fläche erfaßt, dargestellt und analysiert wird.

In der vorliegenden Arbeit werden einige Ergebnisse von Strukturanalysen mitgeteilt, die bei Zuwachsuntersuchungen in langfristig natürlich verjüngten Fichtenbeständen gewonnen wurden (JOHANN, 1968)¹: Die Entstehung dieser Naturverjüngungsbestände kann nicht einem bestimmten, begrifflich exakt abgrenzbaren Naturverjüngungsverfahren oder einer der bekannten Verjüngungsgrundstellungen (Schirm-, Rand- oder Kahlstellung; s. hierzu VANSELOW, 1931, und KÖSTLER, 1950) zugeschrieben werden. Das Versuchsrevier wurde in den vergangenen beiden Jahrzehnten nach den Grundsätzen der naturgemäßen Waldwirtschaft bewirtschaftet.

Es ist das Ziel der vorliegenden Untersuchung, zunächst die Individuenverteilung in den Alt- und Jungbeständen eindeutig graphisch und zahlenmäßig zu kennzeichnen, die vorgefundenen Verteilungsformen biometrisch zu analysieren und ihre Entstehung soweit als möglich zu erklären.

In einem weiteren Untersuchungsschritt werden sodann Kennwerte für Zustand und Entwicklung der Höhengliederung des Jungwuchses hergeleitet, die schließlich im Zusammenhang mit Aufbaukennwerten des Altbestandes zu einer quantitativen Information über die Dynamik des Verjüngungsvorganges führen.

1. Die Untersuchungsbestände

Zur Untersuchung von Größe und Verteilung des Zuwachses in natürlich verjüngten Fichtenbeständen wurde im Frühjahr 1962 im Fürstl.-Gräfl. Fuggerschen Stiftungsforstamt Laugna/Schwaben eine Versuchsreihe mit langfristig verjüngten sowie vergleichbaren, aber geschlossen gehaltenen Fichtenbeständen angelegt. Alle Bestände stocken auf sog. Seegrasstandorten, zur Vernässung und Verdichtung neigenden diluvialen Feinlehmen, auf denen im Freiland herangezogene Jungbestände durch Frost, die Altbestände infolge der flachen Durchwurzelung durch Sturmwurf gefährdet sind.

Die heute 85- bis 90jährigen Bestände der H-Bon. O 36 nach ASSMANN-FRANZ (1963) wurden bis zum Alter von ca. 50 Jahren einheitlich schwach bis mäßig niederdurchforstet. Etwa ab 1930 setzte eine differenzierte Bestandesbehandlung ein, in deren Verlauf die heutigen Verjüngungsbestände frei hochdurchforstet wurden und später durch Sturmwurf weitere Auflichtungen erfuhren. Etwa zwischen 1940 und 1950 stellte sich die erste Fichtennaturverjüngung ein, die ab 1950 von Forstdirektor WEISSKER vervollständigt wurde. Er erreichte dies im Zuge einer gezielten „Einzelstammpflege“ mit mäßigen Hiebseingriffen in kurzem Pflageurnus. Diese führten schon bald zu ungleichmäßiger Verteilung der Bestandsglieder über die Fläche und zu vertikaler Gliederung des Kronenraumes.

¹ Veröffentlichung vorbereitet.

Tabelle 1

Allgemeine Kennzeichnung der ausgewählten Versuchsflächen nach dem Zustand 1961 Herbst

Forstort	Fläche	Versuchsprogramm	Bestockungsdichte des Altbestandes	Verjüngungszustand 1961 H	Verteilung der Verjüngung über die Fläche
Seelache	A	Verjüngung aus	lichte Stellung	teils Sämlinge, teils kniehoher Jungwuchs, teils Dichtung	ungleichmäßig nach Höhe und Dichte
	B	± gleichmäßiger	sehr lichte Stellung	Dickung	gleichmäßig nach Höhe und Dichte
	C	Schirmstellung	mäßig lichte Stellung	kniehocher Jungwuchs	gleichmäßig nach Höhe, ungleichmäßig nach Dichte
	D	Vergleichsflächen	dichte Stellung		
	E	mit schwacher bis	dichte Stellung		
	F	mäßiger Niederdurchforstung	sehr dichte Stellung		
	G	Verjüngung aus Schirmstellung	Altbestand etwa 1960 geräumt	angehendes Stangenholz	gleichmäßig nach Höhe und Dichte
Platte	H	Verjüngung aus Randstellung am NO-Saum	abgestuft von dicht (im SW) über licht bis Freistellung im NO	kniehocher Anflug im SW, Dichtung, angehendes Stangenholz im NO	ungleichmäßig nach Höhe und Dichte, Dichte im SW besonders ungleich, Höhe von SW gegen NO zunehmend
Bestenholz	I	Pflanzung nach Kahlstellung		Stangenholz	sehr gleichmäßige Verteilung nach Höhe und Dichte

Tabelle 2

Ertragskundliche Kennwerte des Altbestandes der Versuchsfelder (1961 und 1966)

Fläche	Aufnahme Jahr	Größe ha Maße m	Alter Jahre	N/ha Stück	G/ha qm	V/ha VfmS m R	d _m cm m R	d _o cm m R	h _m m	h _o m	H _o - Bonität	ET-BG	KS ¹ qm/ha	mKS ² qm/ha
A	1961	0,24	84	246	26,53	340,1	37,1	42,2	28,8	30,0	32,7	0,44	4673	349
	1966	60×40	89	183	23,67	301,7	40,4	44,1	29,2	30,0	31,7	0,38		
B	1961	0,12	84	92	15,93	190,9	46,2	46,2	29,4	29,4	32,0	0,31	2952	72
	1966	40×30	89	58	11,39	141,6	49,9	49,9	29,8	29,8	31,5	0,22		
C	1961	0,12	79	442	37,35	501,8	32,8	39,0	29,5	31,1	34,9	0,73	6630	436
	1966	40×30	84	433	41,32	556,5	34,8	41,6	30,0	31,3	34,0	0,71		
D	1961	0,107	79	469	48,86	664,8	36,4	44,9	30,6	32,4	36,3	0,74	7181	463
	1966	40×27	84	460	53,53	740,5	38,5	47,3	31,4	33,0	35,8	0,80		
E	1961	0,16	78	594	49,49	667,8	32,6	41,2	29,9	31,9	36,0	0,85	6947	470
	1966	40×40	83	594	54,58	759,3	34,2	43,6	31,0	33,1	36,1	0,89		
F	1961	0,10	78	710	54,08	731,1	31,1	40,3	29,5	31,9	36,0	0,96	8157	819
	1966	30×33	83	710	59,74	826,4	32,7	42,6	30,4	32,7	35,7	0,99		
H ganz	1961	0,20	96	225	25,19	342,5	37,8	42,2	30,7	31,5	32,0	0,52	3985	355
	1966	70×30	101	155	20,28	276,2	40,8	43,0	31,2	31,7	31,5	0,50		
H dicht	1961	0,06	96	383	45,50	627,3	38,9	44,6	31,4	32,3	32,9	0,71	7907	677
	1966	30×20	101	267	35,76	487,2	41,3	45,4	31,3	32,1	31,9	0,44		
H licht	1961	0,09	96	244	25,64	343,0	36,5	41,2	29,8	30,7	31,2	0,51	4150	115
	1966	30×30	101	167	21,23	288,9	40,3	42,5	31,1	31,6	31,4	0,37		

¹ KS = Kronenprojektionsfläche je ha. - ² mKS = mehrfach überschirmte Kronenprojektionsfläche je ha.

Die Vergleichsflächen hoher Grundflächenhaltung sind bis zur Gegenwart weiterhin schwach bis mäßig niederdurchforstet worden.

In Tab. 1 sind stichwortartige Beschreibungen aller Versuchsflächen, in Tab. 2 einige wichtige ertragskundliche Flächenkennwerte des Altbestandes und in Tab. 3 Kennwerte des Jungbestandes zusammengestellt. Zur Herleitung dieser Kenndaten siehe JOHANN (1968).

Gegenstand der vorliegenden Untersuchung sind alle Flächen dieser Versuchsreihe, jedoch werden als Beispiel im wesentlichen nur vier Bestände näher beschrieben, welche die gefundenen Zusammenhänge besonders typisch erkennen lassen.

Tabelle 3

Einige ertragskundliche Flächenkennwerte des Jungbestandes der Versuchsflächen

(Zur Herleitung siehe JOHANN, 1968)

Versuchsfläche	Aufnahmejahr	Alter	h_0 m	h_{max} m	N St./ha	$N_{1,5}$ St./ha	$V_{1,5}$ VfmS/ha
A	1961	15	1,58	4,0	20 617	2 246	2,06
	1966	20	3,12	7,0	10 090	4 279	7,59
B	1961	15	2,86	5,5	19 700	8 067	11,74
	1966	20	5,63	8,0	8 908	6 508	30,26
C	1961	5	0,25	1,0	52 158	0	0
	1966	10	0,41	1,0	11 300	0	0
G	1961	19	5,05	8,0	16 625	14 800	38,11
	1966	24	7,92	10,5	8 250	8 125	74,27
H-dicht	1961	10	0,71	2,0	43 250	50	0,09
	1966	15	1,67	3,5	16 717	833	0,74
H-licht	1961	15	1,81	4,5	32 410	2 833	3,00
	1966	20	4,17	7,5	12 678	7 033	18,75
H-frei	1961	18	3,78	5,5	25 820	11 760	20,10
	1966	23	7,18	9,0	11 240	10 920	61,13
I	1962	26	12,4 ¹	—	6 521	—	184,98
	1966	30	15,8 ¹	—	4 321	—	252,38

¹ Mittlere Höhe der 200 stärksten Stämme je ha.

h_0 = mittlere Höhe der 600 höchsten Stämme je ha
 h_{max} = höchste vorkommende Höhe
N = Gesamtstammzahl aller nichtbeschädigten Fichten
 $N_{1,5}$ = Stammzahl aller Fichten über 1,5 m Höhe
 $V_{1,5}$ = Schaftholzvolumen je ha aller Fichten über 1,5 m Höhe

Herrn Prof. Dr. E. ASSMANN, auf dessen Anregung hin diese Untersuchung entstand, möchte ich auch an dieser Stelle meinen aufrichtigen Dank für die stets wohlwollende Förderung und seine vielseitigen Ratschläge danken. Dem Fürstl.-Gräfl. Fuggerschen Stiftungsforstamt Laugna unter seinen Leitern, den Forstdirektoren A. WEISSKER und Dr. R. MAYER, bin ich zu besonderem Dank für die wirksame Unterstützung, insbesondere bei den Außenaufnahmen, verpflichtet. Herrn Prof. Dr. F. FRANZ schulde ich für seine eingehende Beratung bei der ertragskundlichen Aufnahme und der biometrischen Auswertung verbindlichen Dank. Weiterhin möchte ich den

Herren Ofm. Dr. R. KENNEL und Ofm. A. SCHMIDT vom Münchner Ertragskunde-Institut sowie meinen Kollegen Dr. F. ZÖHRER und Forstref. G. WEINLAND für ihre Programmierunterstützung und Hilfe bei der elektronischen Auswertung der Erhebungen danken. Die Untersuchungen wurden von der Deutschen Forschungsgemeinschaft finanziell in großzügiger Weise gefördert, wofür ebenfalls geziemend gedankt sei.

2. Die Verteilung der Altbestandsglieder über die Bestandesfläche

2.1. Baumverteilungs- und Kronenkarten

Von allen Altbeständen wurden 1961 Baumkarten erstellt, indem zunächst in ein fest vermarktes 10×10 -m-Quadratgitternetz die Stamm-Mittelpunkte senkrecht eingemessen wurden (Stammverteilungskarten). Nach Abloten von acht Kronenrandpunkten in vorgegebener Richtung von den Stamm-Mitteln aus mittels ZEISS-Aerotopograph (Pendelinstrument mit Winkelprisma, sog. „Dachlot“) wurden die Abstände der Projektionspunkte zur Stamm-Mitte (Kronenradien) mit einem Meßband gemessen und in die Stammverteilungskarte übertragen; durch Verbindung der Kronenrandpunkte ergeben sich unregelmäßige Achtecke, welche die Kronenprojektionsflächen repräsentieren. Der Aussagewert der so entstandenen Kronenkarten wird durch die Darstellung einer Reihe von Einzelbaummerkmalen weiterhin erhöht. So ist der Brusthöhendurchmesser durch die (überrepräsentierte) Größe von ausgefüllten Kreisen um die Stamm-Mitte, die soziale Stellung der Bestandsglieder durch differenzierte Stärke der Kronenumrandungslinien und die Art der senkrechten Überschilderung der Bodenfläche (einfach oder mehrfach überschildert) durch verschieden starke Graufärbung dargestellt, die Kronenumrandungslinie des Baumes mit jeweils tieferem Kronenansatz ist bei Mehrfachüberschilderungen gestrichelt gezeichnet. Lage und Stärke aller bis zu zehn Jahre alten Stubben ist durch Hohlkreise symbolisiert.

Die in Abb. 1 bis 4 dargestellten Baumkarten vermitteln ein erstes anschauliches Bild der Versuchsflächenbestände A, C, F und H. Der geschlossene Vergleichsbestand der Fläche F ist durch rel. kleine Kronen, etwa gleichmäßiges Vorkommen aller sozialen Baumklassen und \pm regelmäßige Verteilung der Individuen über die Fläche charakterisiert. Der Überschilderungsgrad ist hoch. Dagegen sind bei Fläche C (beginnendes Verjüngungsstadium) lichtere Stellen zu erkennen. Bäume geringerer sozialer Stellung sowie Mehrfachüberschilderungen kommen seltener vor. Fläche A, die nächste Stufe in der Entwicklung der Verjüngung, weist unregelmäßig unbestockte Flächen in Abwechslung mit dichteren Partien auf, eine deutliche Regelmäßigkeit ist nicht vorhanden, die Kronenschilderflächen sind im Durchschnitt größer als die der Fläche F, geringe Baumklassen kommen seltener vor. Die Verteilung der Bäume auf Fläche H ist typisch für eine Randstellung mit vom SW nach NO fortschreitender Auflichtung, die Charakteristika der Flächen A, C und F findet sich hier vom Saum zum Bestandesinneren hin dem Entwicklungsstadium entsprechend angeordnet wieder.

Aus den Kronenkarten wurden folgende Flächenwerte horizontaler Kronenprojektion durch Umfahren der Umrandungslinien mit dem Polarplanimeter ermittelt:

- a. Kronenschilderfläche des Einzelbaumes (= Fläche des unregelmäßigen Achteckes),
- b. mehrfach überschilderte Projektionsfläche des sozial unterlegenen Baumes,
- c. Kronenprojektionsfläche in jedem 10×10 m großen Quadrat des vorgegebenen Gitternetzes (Schilderfläche je Quadrat = SQ),
- d. Kronenprojektionsfläche in 20×20 m großen Quadraten, die sich aus den 10×10 m Quadraten und einem je 5 m breiten Umfassungstreifen zusammensetzen (= Schilderfläche je Quadrat mit Umfassungstreifen = SQU),
- e. Kronenprojektionsfläche je Versuchsfläche (KS, siehe Tab. 2),
- f. mehrfach überschilderte Kronenprojektionsfläche je Versuchsfläche (mKS, siehe Tab. 2).

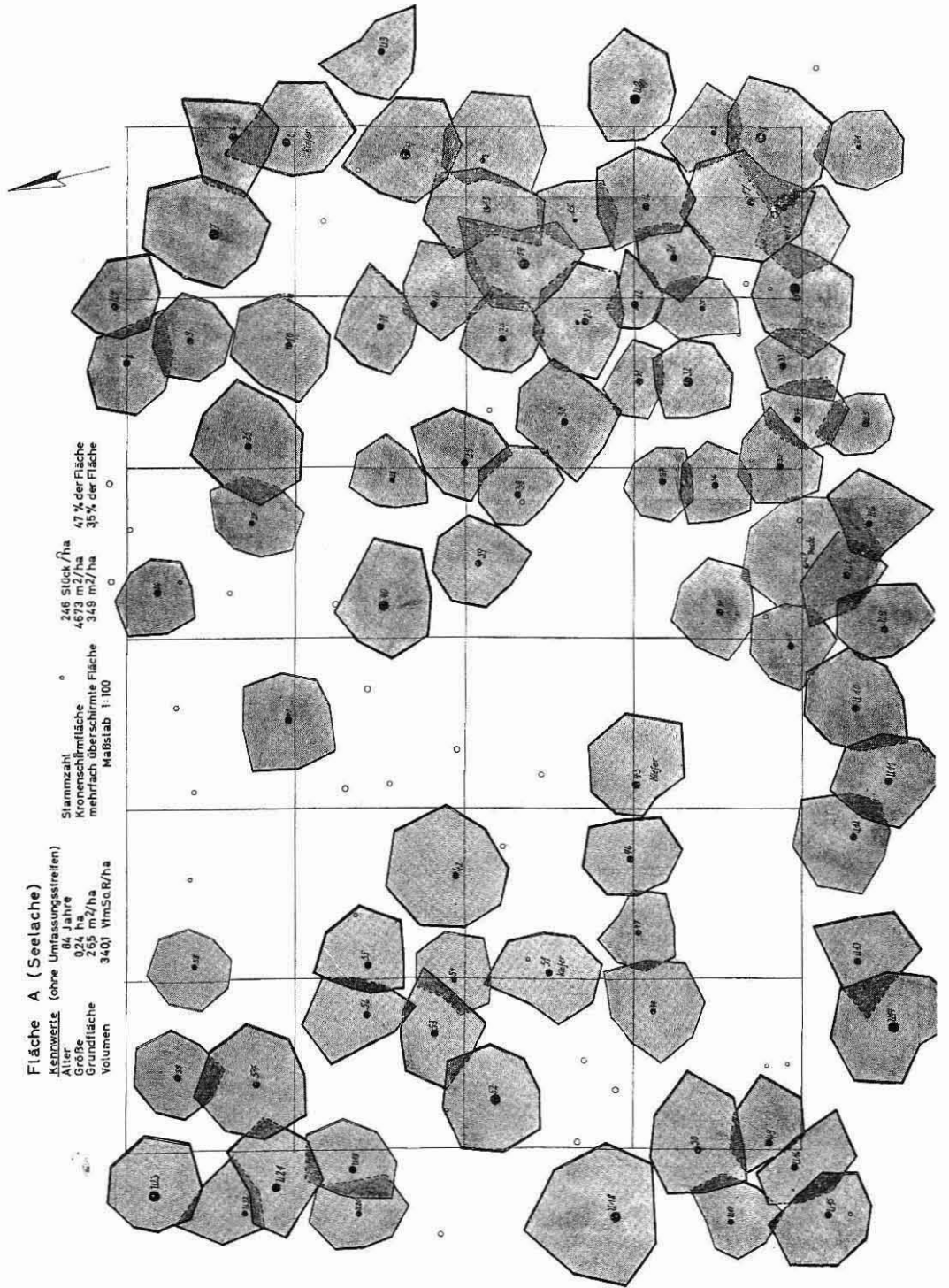


Abb. 1. Baumverteilungs- und Kronenkarte der Fläche A

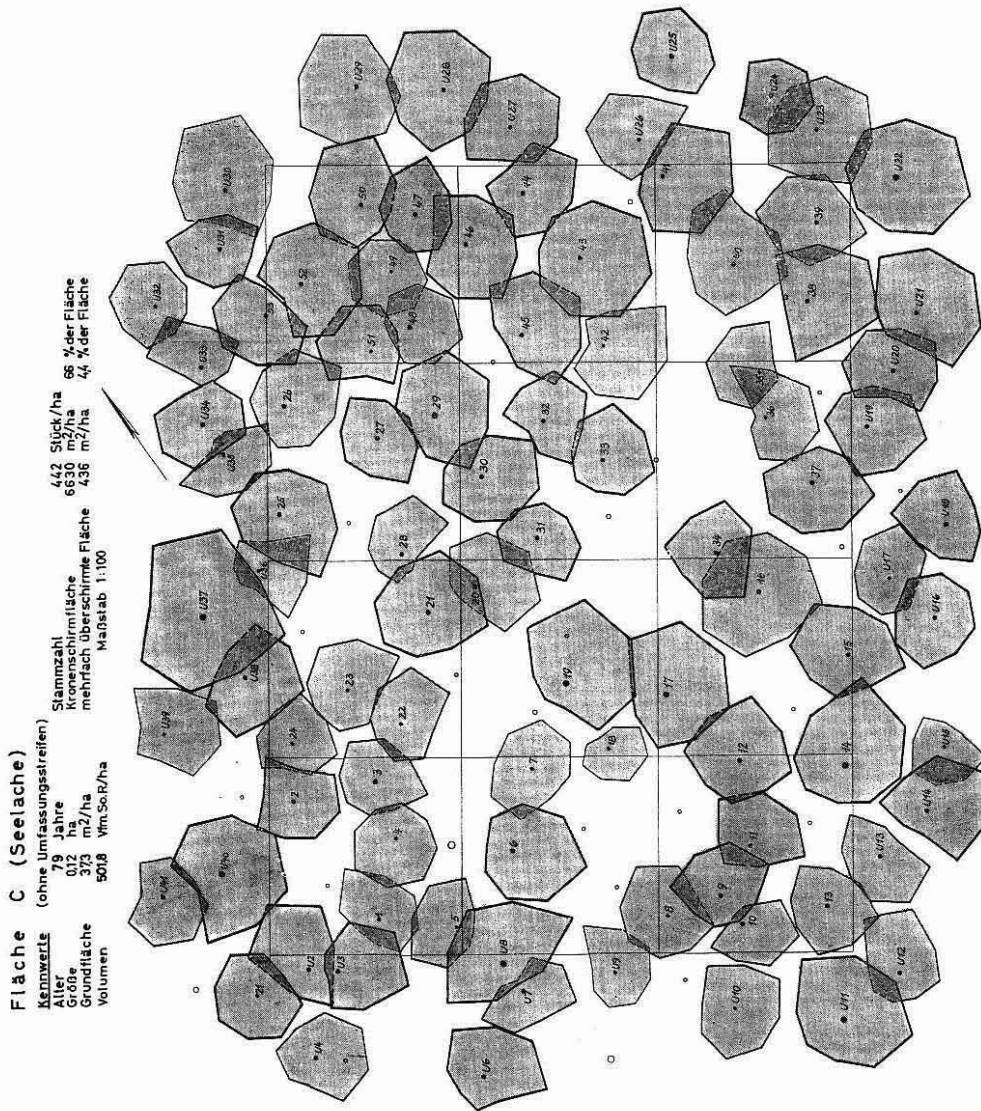


Abb. 2. Baumverteilungs- und Kronenkarte der Fläche C

Die Flächenkennwerte der Überschirmung machen deutlich, wie stark die Auflichtungen über einigen Versuchsflächen gewesen sind. Gegenüber dem als örtlich maximal anzusehenden Überschirmungsgrad von 82 % der Fläche F weisen Fläche C nur 66 %, Fläche A nur 47 % auf. Der ± geschlossene innere Teil der Fläche H ist mit nahezu 80 % sehr dicht, während der Außensaum mit 42 % dem Wert von Fläche A nahekommt, der voll verjüngte Ostteil dieses Bestandes ist schon 1961 völlig abgeräumt gewesen.

Die Kronenkarten in Verbindung mit den flächenbezogenen durchschnittlichen Überschirmungsgraden sind sehr aufschlußreiche Hilfsmittel zur allgemeinen Kenn-

zeichnung der Versuchsflächen. Weitere Informationen über die Baumverteilungsformen ergeben die beiden folgenden Testverfahren, die von FRANZ (1956) eingehend beschrieben wurden.

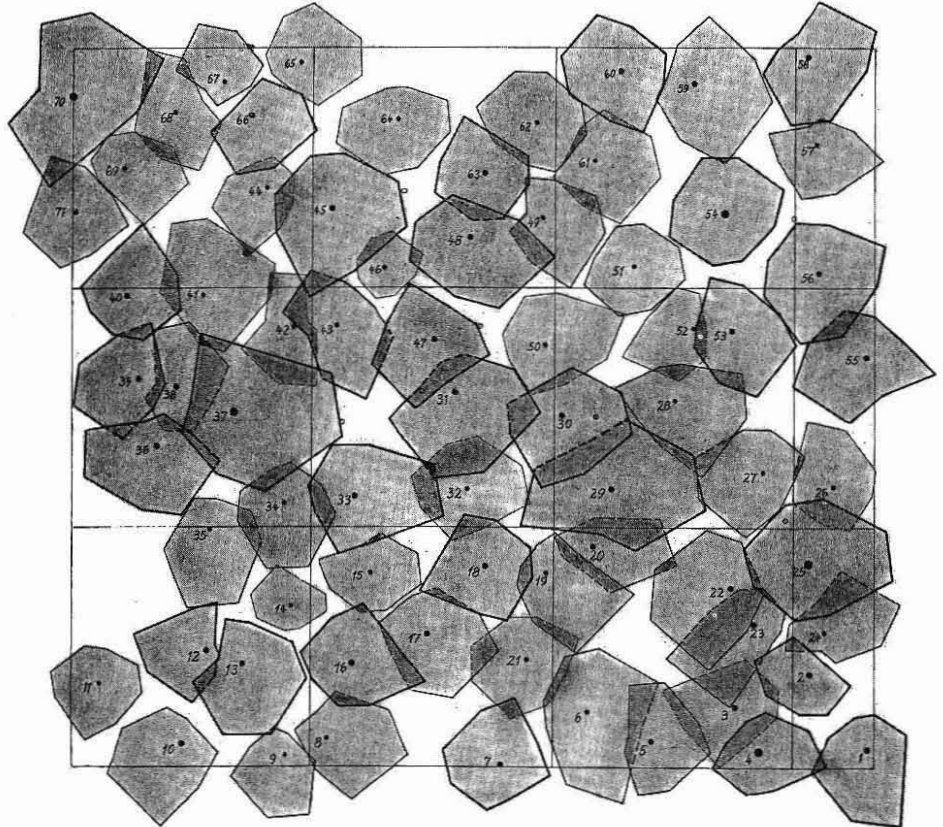
Fläche F (Seelache)

Kennwerte

Alter 78 Jahre
 Größe 0,10 ha
 Grundfläche 542 m²/ha
 Volumen 731,1 Vfm.So.R/ha

Stammzahl
 Kronenschirmfläche
 mehrfach überschirmte Fläche
 Maßstab 1:100

710 Stück/ha
 8157 m²/ha 82 % der Fläche
 819 m²/ha 8 % der Fläche



Baumarten

Bedeutung der Symbole

1. Überschirmung

□ einfach überschirmte } Fläche senkrechter
 □ doppelt überschirmte } Kronenprojektion
 □ dreifach überschirmte } aus 8 Ablotungen

2. Soziale Stellung

— vorherrschende } Baumklassen
 — herrschende } nach Kraft
 — mitherrschende }
 — beherrschte }
 — unterdrückte }

3. Durchmesser in 1,3 m Höhe

• unter 30,0 cm
 • von 30,0 cm bis 39,9 cm
 • über 39,9 cm

4. Geschätzte Stärkeklassen der Stubben

○ unter 30,0 cm
 ○ von 30,0 cm bis 39,9 cm
 ○ über 39,9 cm

5. Sonstige Signaturen

Zahl Stammnummer
 Uvor Baum steht auf
 Zahl 5m breitem Umfangsstreifen

Abb. 3. Baumverteilungs- und Kronenkarte der Fläche F

Fläche H (Platte)

Kennwerte (ohne Umfassungstreifen)

Alter 96 Jahre

Größe 0,20 ha

Grundfläche 252 m²/ha

Volumen 342,5 Vm.So.R./ha

Stammzahl 225 Stöck/ha

Kronenschirmfläche 3985 m²/ha 40 % der Fläche

mehrfach überschirmte Fläche 255 m²/ha 25 % der Fläche

Maßstab 1:100

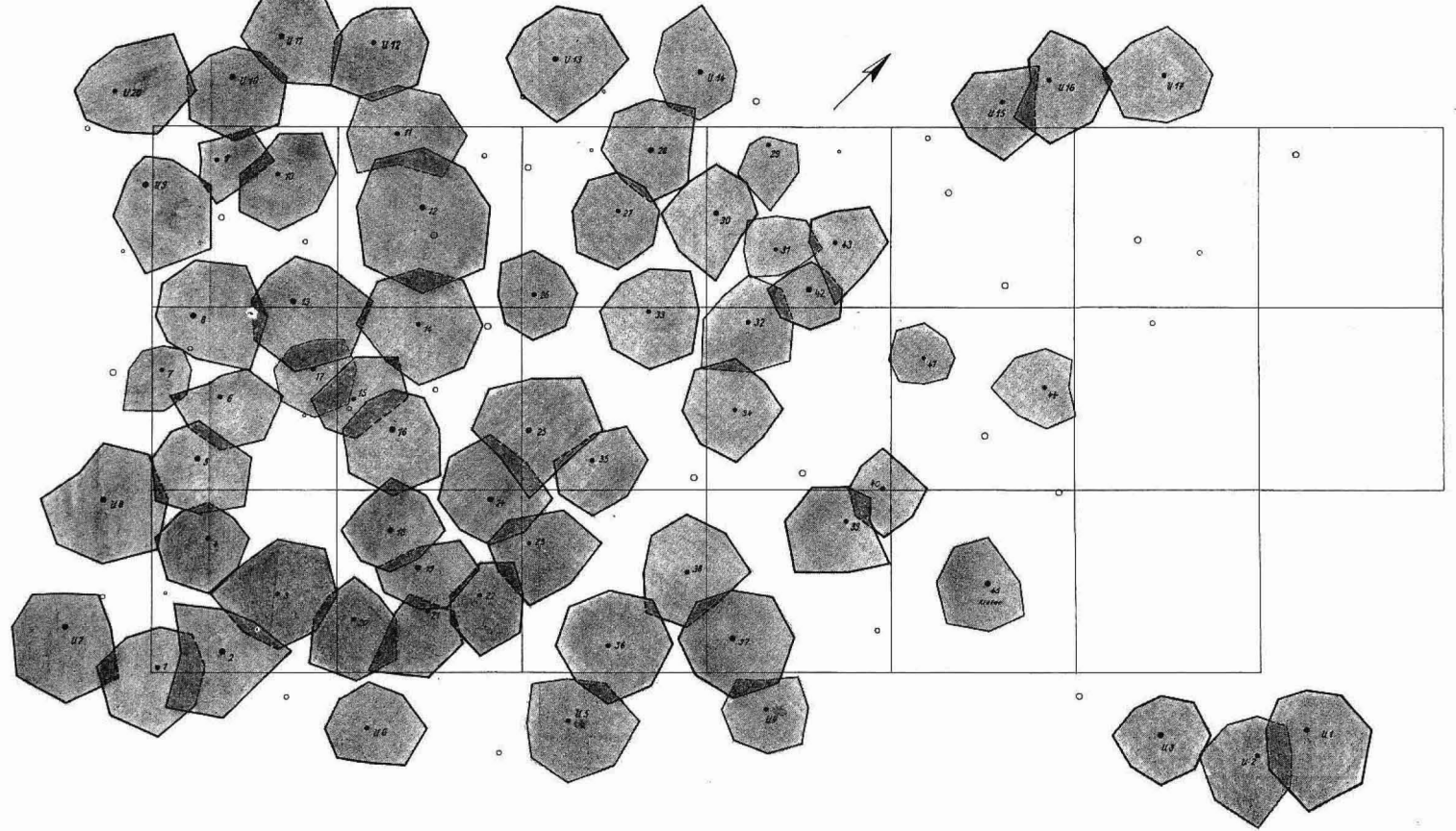


Abb. 4. Baumverteilungs- und Kronenkarte der Fläche H

2.2. Probequadratmethode nach Strand (1953)

Bei diesem Verfahren werden die Versuchsflächen in Probequadrate eingeteilt und die Anzahl der darin stehenden Bäume ermittelt. Ausgangswerte für das statistische Prüfverfahren sind die mittlere Anzahl der Stämme je Quadrat (\bar{x}) und die Streuung der Stammzahlhäufigkeiten ($V = s_x^2$).

Bei einer gegebenen Versuchsflächengröße wird das Prüfergebnis wesentlich von der Größe der Probequadrate und von ihrer Anzahl beeinflusst. Die durchschnittliche Stammzahl je Flächeneinheit und die Zahl der Probequadrate dürfen nicht zu klein gewählt werden. So ist z. B. in stammzahlreichen Jungbeständen die Verteilung mittels kleinerer Einheiten zu prüfen als in Althölzern.

Da wegen des vorgegebenen Quadratgitternetzes die Flächengröße der Prüfeinheiten praktisch festgelegt ist, kann eine genügend große Anzahl von Probequadraten nur dann erreicht werden, wenn Versuchsflächen gleicher Entwicklungsstadien zu Gruppen zusammengefaßt und die Verteilungsformen innerhalb dieser Gruppen untersucht werden. Als Bestände vergleichbaren waldbaulichen Zustandes wurden einerseits die voll verjüngten Versuchsflächen A, B und H (Gruppe der Verjüngungsbestände) und andererseits die Bestände mit hoher Grundflächenhaltung D, E und F (Gruppe der Vergleichsbestände) zusammengefaßt.

Bei zufälliger Anordnung der Bäume über die Fläche entspricht nach STRAND (1953) die Stammverteilung in den Probequadraten insgesamt annähernd der POISSON-Verteilung. Das auf den Mittelwert bezogene Streuungsmaß ($V:\bar{x}$) kann unter der Voraussetzung genügend hoher Beobachtungswerte als Grundlage für einen Gleichmäßigkeits-test dienen, da nach HOEL (1943, zitiert bei STRAND) $N \cdot V:\bar{x}$ wie χ^2 mit $N-1$ Freiheitsgraden verteilt ist (N =Anzahl der Probequadrate). Bei zufälliger Verteilung ist $\sqrt{2 \chi^2}$ normalverteilt mit dem Mittelwert $\sqrt{2(N-1)-1}$ und der Streuung $\sigma^2=1$. Eine natürlich gleichmäßige Verteilung liegt nach FRANZ (1956) dann vor, wenn die Differenz zwischen den Verteilungskennwerten und ihrem theoretischen Vergleichswert (Prüfdifferenz = $\sqrt{2N \cdot V:\bar{x}} - \sqrt{2(N-1)-1}$) gleich Null ist oder nur innerhalb eines statistischen Übereinstimmungsrahmens von Null abweicht. Signifikante positive Differenzen zeigen überzufällige Ungleichmäßigkeit, signifikante negative Differenzen überzufällige Gleichmäßigkeit an. Die Prüfdifferenz ist mit einer Überschreitungswahrscheinlichkeit

von 5% bei Werten über 1,96 (+),
 von 1% bei Werten über 2,58 (++) und
 von 0,1% bei Werten über 3,29 (+++)

gesichert.

Das Testergebnis ist in Tab. 4 zusammengestellt. Die Quadratfrequenzen der Gruppe „Verjüngungsbestände“ haben die höchste Besetzung in der Klasse 0, die höchste Anzahl von Bäumen je Prüfquadrat ist 7, im Mittel sind es nur 2. Dagegen kommen auf den Vergleichsflächen am häufigsten 5, im Mittel 6 Stämme je Quadrat vor. Die Grenzen des Variationsbereiches unterscheiden sich mit 3 als kleinstem und 9 als höchstem Wert ebenfalls erheblich von denen der Verjüngungsflächen.

In beiden Flächengruppen weichen die Prüfdifferenzen mit einer statistischen Sicherheit von > 99% von 0 ab. Die geprüfte Hypothese der natürlichgleichmäßigen Verteilung ist damit widerlegt, d. h. daß die Verteilungen beider Kollektive nicht durch Zufall (STRAND, 1953) entstanden sind. Der positive Wert der Prüfdifferenz bei den Verjüngungsbeständen läßt auf das Vorkommen überzufällig stark ausgeprägter Ballungszentren und Lockerstellen, die negative Prüfdifferenz der Vergleichsflächengruppe auf eine überzufällig gleichmäßige Bestandesstellung schließen. Da die geprüfte Hypothese einen bestimmten Ungleichmäßigkeitsgrad voraussetzt, der sich bei unbeeinflussten

Tabelle 4

Quadratfrequenzen (n) über den Stammzahlen je 10×10-m-Quadrat (x), Prüfdifferenzen und Sicherungsgrad des Gleichmäßigkeittestes für die Flächengruppen „Verjüngung“ und „Vergleich“

x	n	
	Gruppe „Verjüngung“	Gruppe „Vergleich“
0	14	—
1	8	—
2	13	—
3	13	2
4	3	3
5	2	9
6	1	6
7	2	8
8	—	5
9	—	1
<hr/>		
N	56	34
\bar{x}	2,054	6,000
V	3,143	2,303
V : \bar{x}	1,530	0,384
<hr/>		
$\sqrt{2N \cdot V/\bar{x}}$	13,08	5,10
$\sqrt{2(N-1) - 1}$	10,44	8,06
<hr/>		
Differenz	+ 2,64	— 2,96
Sicherungsgrad	++	++

Individuenverteilungen von Natur aus einstellen würde, kann aus den signifikanten Prüfdifferenzen weiterhin geschlossen werden, daß der vorgefundene Grad der Gleichmäßigkeit bzw. Ungleichmäßigkeit auf äußere Einflüsse zurückzuführen ist. Als mögliche Einflußfaktoren kommen für die Verjüngungsbestände Windeinflüsse und die spezielle, auf die Entwicklung der Jungbestände gerichtete Waldbautechnik in Betracht, während in den Vergleichsbeständen das waldbauliche Vorgehen offenbar auf eine möglichst gleichmäßige Zuteilung von Standraum ausgerichtet war.

2.3. Dichtekreismethode

Zur weiteren Analyse der Stammverteilungsformen wird ein Testverfahren angewendet, das bei FRANZ (1956) ebenfalls ausführlich besprochen ist². Es geht von der Stammzahlfrequenz eines um jeden Baummittelpunkt (Mittelpunktstamm) gezeichneten Kreises konstanter Flächengröße aus. Der Flächeninhalt des Kreises ist ein n-faches des arithmetischen Stand-

flächenmittels eines Baumes je Versuchsfläche (durchschnittliche Standfläche = Versuchsflächengröße: Stammzahl). Damit bestimmt die bestandesindividuelle Bestockungsdichte wesentlich die Größe des Kreises. Es hat sich als zweckmäßig erwiesen, für die gegebene Verteilungssituation n = 3 anzunehmen.

Die in jeden Dichtekreis fallenden Stamm-Mittelpunkte einschließlich des Mittelpunktstammes und außerhalb der Versuchsfläche auf einem Randstreifen stockender Stämme werden ausgezählt. Die Anzahl der Stämme je Erfassungskreis ist der Dichtewert, die Frequenzreihe der Kreise gleicher Stammzahlhäufigkeit die Dichtewert-Verteilungsreihe.

Die Abbildungen 5 und 6 geben Dichtekreiskarten für zwei Versuchsflächen wieder³. Die Kreisumfanglinien sind um so stärker gezeichnet, je mehr Stämme in einem Kreis liegen, d. h. je höher der Dichtewert des Stammes ist bzw. je dichter die Bestockung in der Umgebung des Mittelpunktstammes ist. Da außerdem immer mehrere Kreise mit etwa gleichem Dichtewert beieinander liegen, heben sich die Dichtezentren deutlich von den lichtereren Bestandepartien ab.

In Abb. 7 sind die Dichtewertverteilungsreihen aller Versuchsflächen zusammengestellt. Die typisch eingipfligen Frequenzreihen der Vergleichsflächen sind ausnahms-

² Die bei FRANZ als Probekreise beschriebenen Erfassungseinheiten werden hier als „Dichtekreise“ bezeichnet.

³ Aus drucktechnischen Gründen können hier nur zwei der insgesamt sieben Dichtekreiskarten wiedergegeben werden.

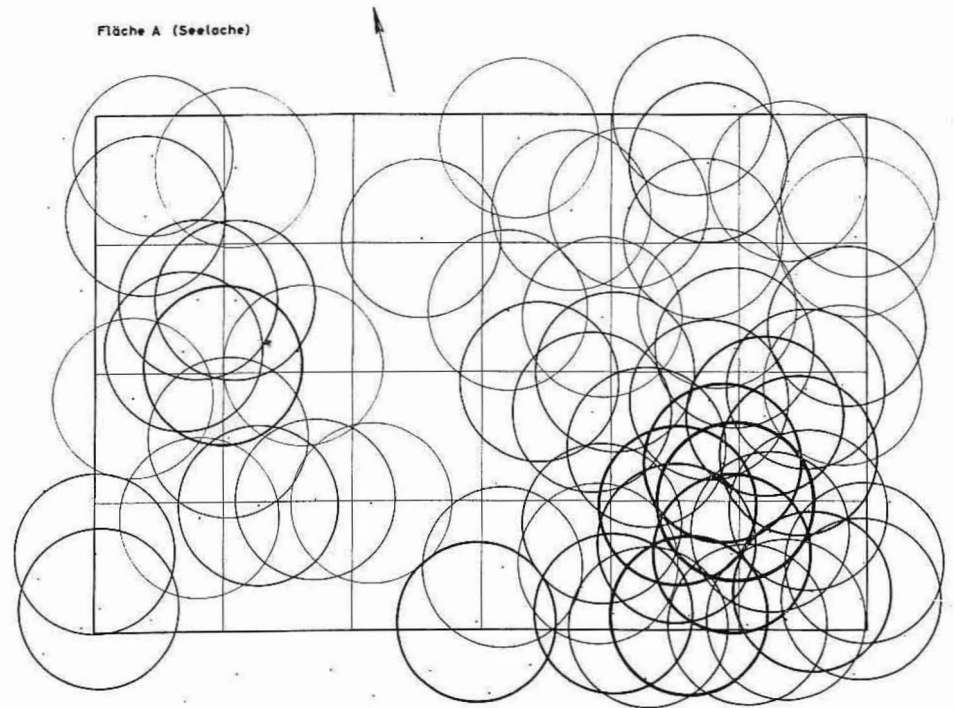


Abb. 5. Dichtekreiskarte der Fläche A

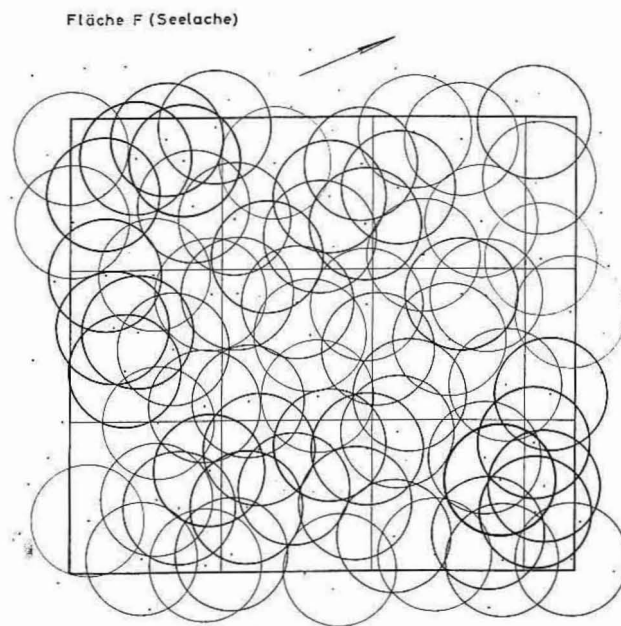


Abb. 6. Dichtekreiskarte der Fläche F

los durch Dichtewertmaxima bei drei Stämmen je Kreis gekennzeichnet; einer, fünf und sechs Stämme kommen nur selten vor. Aus der Zweigipfligkeit der Frequenzreihe von Fläche A geht hervor, daß hier mehr Dichtekreise *hoher* und *geringer* Stammzahlbesetzung vorkommen als solche mit durchschnittlicher. Die zu geringe Stammzahlbesetzung der Fläche B läßt keine eindeutige Schlußfolgerung zu. Bei Fläche C ist ein Dichtewertmaximum noch stark ausgeprägt, während bei Fläche H die Dichtewerte nahezu gleichmäßig auf die Klassen 2 bis 5 aufgeteilt sind.

Wie aus den Untersuchungen von FRANZ (1956) entnommen werden kann, sind für die gewählte Kreisgröße ($n = 3$) solche Dichtewerte als überrepräsentiert anzusehen, die über eine als normal anzusehende Schwankungsgrenze von 6 hinausgehen (Dichtewert = 7 und mehr). In diesem Falle liegen überdurchschnittlich dichte Bestockungsgruppen vor. Dichtekreise mit Überrepräsentation kommen nur auf den Verjüngungsflächen A, B und C vor. Die gleichen Bestände, besonders A und B, weisen außerdem ausgeprägte Lockerstellen bzw. bestockungsfreie Partien auf. Die Lage der Dichtezentren kann den Dichtekreisarten entnommen werden. Diese veranschaulichen weiterhin, daß die bisherige Bestandesentwicklung der Flächen D, E und F bei Einhaltung einer insgesamt hohen Bestockungsdichte nicht zur Ausbildung von Ballungszentren geführt hat. Vermutlich wurden die praktizierten Durchforstungen mit dem Ziel durchgeführt, extreme Gruppenbildungen aufzulösen.

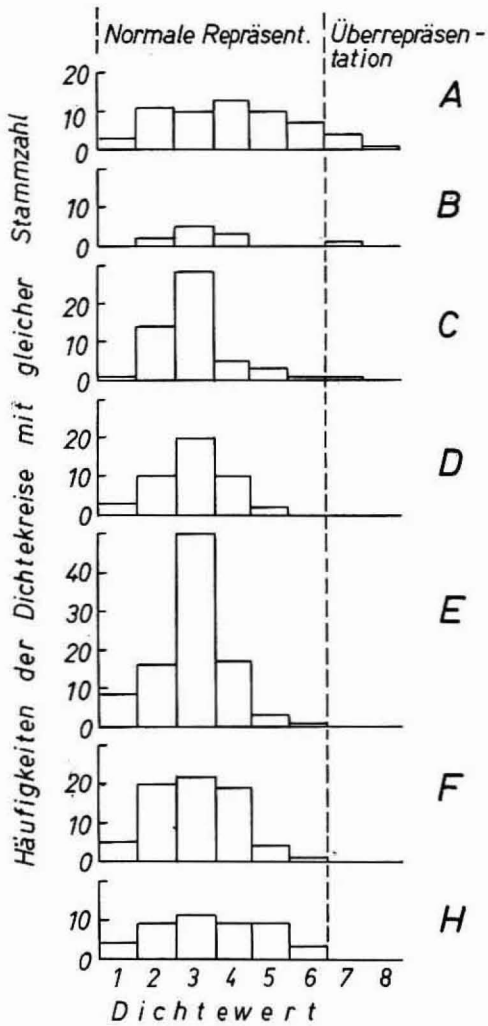


Abb. 7. Dichtewertverteilung für den Altbestand (Flächen A—F und H)

Die Individuenverteilung der Versuchsfläche H unterscheidet sich von den übrigen Verjüngungsflächen dadurch, daß keine extrem dichten Gruppen vorkommen, von den Vergleichsflächen durch die wesentlich geringere Bestockungsdichte.

2.4. Zusammenfassende Deutung der Verteilungsuntersuchung im Altbestand

In Beständen mit hoher Grundflächenhaltung (Vergleichsflächen) hat die waldbauliche Behandlung zu einer gleichmäßigen, dichten Bestockungsstruktur geführt. Dagegen arbeitet das praktizierte Verjüngungsverfahren, dessen Anfangsstadium Fläche C repräsentiert, zunächst mit vorsichtigen Auflichtungen, ohne, insgesamt gesehen, die gleichmäßige Verteilung der Bestandesglieder wesentlich zu stören; allerdings zeichnet sich die Tendenz zur Gruppenbildung schon ab. Im fortgeschrittenen Stadium dieses auf ganzer Fläche arbeitenden Verfahrens bilden sich dann Gruppen, in denen die ursprüngliche Bestockungsdichte beibehalten wird und solche mit sehr lichter Stellung (Einzelbäume und kleinflächig unbestockte Partien). In der Schlußphase (Fläche B) löst sich der „Bestand“ in Gruppen und Einzelbäume auf.

Bei Verjüngung aus der Randstellung entstehen zonenartig gegliederte Verteilungsbilder. Innerhalb der Bestandesteile gleichartigen Zustandes erreicht die Individuenverteilung einen hohen Gleichmäßigkeitsgrad bei insgesamt relativ lichter Stellung.

3. Die Verteilung des Jungwuchses über die Bestandesfläche

3.1. Stammverteilungskarten

Zur Untersuchung der Verteilungsformen des Jungwuchses wurden nur die nicht beschädigten, noch lebensfähigen Fichten herangezogen. Abgestorbene, absterbende oder beschädigte sowie natürlich oder künstlich beigemischte andere Baumarten, die insgesamt nur mit geringem Anteil an der Gesamtstammzahl beteiligt sind, bleiben außer Betracht.

Ausgangspunkt der Analyse sind Zählergebnisse in 2×5 m großen Rechtecken (Prüfeinheiten), die innerhalb des festen 10×10 -m-Quadratgitternetzes für die Stammzahlaufnahme gebildet wurden. Für jedes Rechteck sind die nach 50-cm-Höhenstufen getrennten Zählergebnisse in Listen festgehalten. Aus dem Aufnahmeergebnis wurden Stammverteilungskarten gefertigt, indem in jedes Prüfrechteck eine der Stammzahl entsprechende Zahl von Punkten eingetragen wurde. Innerhalb der Rechtecke sind diese Punkte schematisch angeordnet, geben aber sowohl für die 10×10 -m-Quadrate als auch für die Versuchsflächen insgesamt aufschlußreiche Informationen über Dichte und Verteilungsform der Verjüngung⁴.

So sind z. B. die Jungbestände der Flächen A und C im Jahre 1961 durch auffallend unregelmäßige Verteilungsformen charakterisiert. Deutlich heben sich dichtere Partien von geringer bestockten ab, einzelne Prüfrechtecke weisen Stammzahlen in der Größenordnung von 250 000 St/ha auf, während andere frei von Jungwuchs sind. Die Jungwüchse der Flächen B und H wirken dagegen wesentlich gleichmäßiger. Unter dem \pm geschlossenen Altbestand des SW-Teiles der Fläche H ist die Verjüngung auffällig stammzahlreicher als im NO-Teil. Aus einem Vergleich mit den Dichtekreiskarten der entsprechenden Versuchsflächen kann geschlossen werden, daß sich allgemein unter dichter bestockten Altbestandspartien stammzahlreichere, aber unregelmäßiger verteilte Jungbestände befinden. Im Jahre 1966 sind die Stammzahlen aller Prüfrechtecke der Fläche C erheblich zurückgegangen, die Verteilungsform ist jedoch noch immer sehr unregelmäßig.

3.2. Gleichmäßigkeitstest

Der in Abschnitt 2.2. beschriebene Gleichmäßigkeitstest nach STRAND (1953) wird auch als Prüfverfahren für die Verteilungsform des Jungbestandes verwendet. Als Prüfeinheiten dienen hier nicht die 10×10 -m-Quadrate, sondern die 2×5 -m-Rechtecke. Für jedes 10×10 -m-Quadrat wird geprüft, ob der Verteilungsindex

$$\left(\sqrt{2 N \cdot V : \bar{x}} - \sqrt{2 (N-1) - 1} \right)$$

signifikante Abweichungen von 0 aufweist. Dabei ist:

N = Summe der Zählrechtecke (immer = 10)

\bar{x} = mittlere Stammzahl je Quadrat

V = s_x^2 = Varianz

Signifikante positive Prüfdifferenzen kennzeichnen eine von der natürlichen Gleichmäßigkeit abweichende Ungleichmäßigkeit, negative Differenzen dagegen einen Gleichmäßigkeitsgrad, der über den einer reinen Zufallsverteilung hinausgeht.

In Abb. 8 sind die Prüfdifferenzen und die Schwellenwerte für signifikant positive Abweichungen von 0 (für eine statistische Sicherheit $S = 99,9\%$) für alle Befundeinheiten (Quadrate) versuchsflächenweise dargestellt. Die aufschlußreichsten Schluß-

⁴ Die Wiedergabe der Verteilungskarten ist leider aus drucktechnischen Gründen nicht möglich.

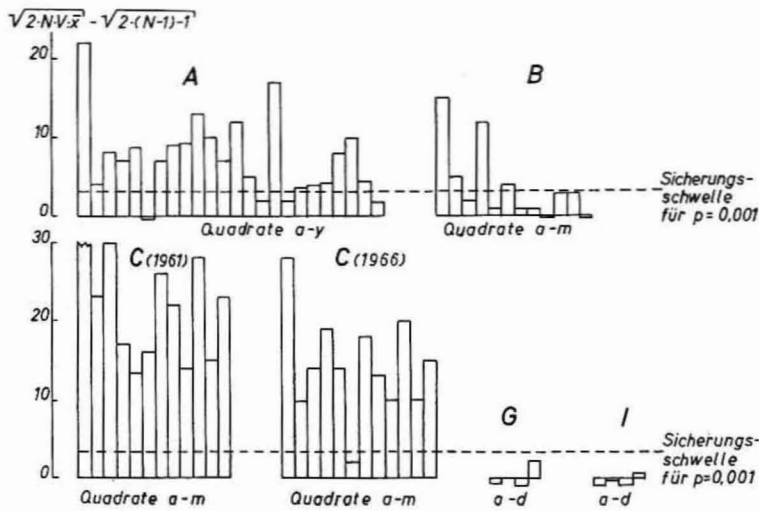


Abb. 8. Prüfgrößen für den Gleichmäßigkeittest des Jungwuchses (Flächen A—C, G und I)

folgerungen erlauben die Verteilungsindices für die Fläche C (Zustand 1961 und 1966), die fast ausnahmslos außerordentlich hoch sind. Daraus geht hervor, daß in diesem Bestand nicht nur die Individuenverteilung über die Gesamtfläche sehr unregelmäßig ist (siehe Abschn. 3.1.), sondern daß auch innerhalb der rel. kleinen Befundeinheiten eine weit überzufällige, unregelmäßige Gruppierungsform vorliegt. Der Grad der Abweichung von einer natürlich gleichmäßigen Verteilung war 1961 wesentlich höher als 1966: Alle Prüfdifferenzen (mit zwei Ausnahmen) sind von 1961 bis 1966 geringer geworden, in einem Fall sank die Differenz sogar unter den Schwellenwert für $S = 99,9\%$.

Der Zustand der Fläche C im Jahre 1961 kann als Ausgangssituation für das auf ganzer Fläche arbeitende Verjüngungsverfahren angesehen werden. Bei geringem Auflichtungsgrad des Altbestandes und insgesamt gleichmäßiger Verteilung seiner Glieder (siehe Abschn. 2.) ist die Verjüngung etwa kniehoch, äußerst stammzahlreich, aber sowohl auf der ganzen Fläche als auch auf 10×10 m großen Prüfquadraten sehr unregelmäßig angeordnet. Von den im Jahre 1961 vorhandenen ca. 52 000 Jungfichten je ha sind nur noch ca. 11 000 Stück je ha vorhanden (im Altbestand ist nur ein Stamm durch Windwurf ausgefallen!). Der von 1961 an dicht gehaltene Altholzschirm hat offensichtlich das Ausscheiden von ca. vier Fünfteln der Ausgangsstammzahl der Verjüngung bewirkt. Gleichzeitig sind Einflußfaktoren wirksam gewesen, die der Tendenz nach in Richtung einer „natürlich gleichmäßigen“ Verteilungsform der Jungfichten geführt haben.

Bei einem Vergleich der übrigen Verteilungsindices mit denen der Fläche C läßt sich eine ausgeprägte Änderungstendenz der Verteilungsstruktur erkennen. Bildet man aus vergleichbaren Beständen eine Reihe mit jeweils abnehmendem Überschirmungsgrad, so nehmen innerhalb dieser Reihe auch die Prüfdifferenzen gleichsinnig ab. So weisen die Quadrate der Fläche A wesentlich geringere Prüfdifferenzen auf als Fläche C, einzelne Differenzen liegen sogar unter der Signifikanzschwelle und zeigen damit eine Zufallsverteilung an. Die gleiche Tendenz ist auf Fläche B noch stärker ausgeprägt, für die Quadrate der Fläche G ergibt das angewendete Testverfahren keine Abweichungen von einer natürlich gleichmäßigen Verteilung. Damit ähnelt dieser aus Naturverjüngung hervorgegangene Bestand in seiner flächenmäßigen Anordnung dem

der Fläche I, deren Bestand (altersmäßig vergleichbar) aus einer Reihenpflanzung hervorgegangen ist.

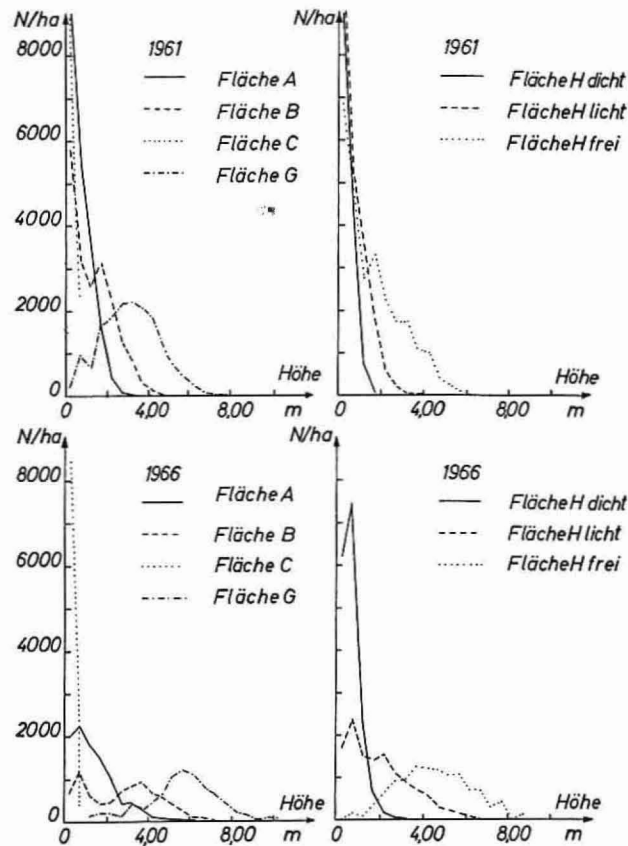


Abb. 9. Stammzahlverteilung des Jungwuchses über der Höhe (Flächen A—C, G und H)

tor) und evtl. der Einfluß der sich ändernden Bestockungsdichte (Beschirmungsfaktor) in Betracht.

Sieht man den Verjüngungszustand der Flächen A, B und G als jeweils fortgeschrittenes Stadium einer vergleichbaren Ausgangssituation (Fläche C, 1961) an, so kann als Ergebnis dieses Untersuchungsschrittes festgehalten werden: Das analysierte Verjüngungsverfahren führt im Anfangsstadium zu sehr ungleichmäßigen, gruppenförmigen Verteilungsformen der Jungwüchse sowohl auf der Bestandesfläche insgesamt als auch auf kleinen Teilflächen (10 × 10-m-Quadraten). Mit fortschreitender Entwicklung stellt sich eine immer gleichmäßigere Anordnung der jungen Bäume ein, die bei freigestellten Dickungen dazu führt, daß eine über den Zufall hinausgehende Ungleichmäßigkeit in der Verteilung der Bestockungsglieder nicht mehr festgestellt werden kann. Als mögliche Wirkungsfaktoren kommen soziale Konkurrenz mit zunehmendem Alter (Altersfaktor)

4. Die Entwicklung des Jungwuchses in Abhängigkeit von der Bestockungsdichte des Altbestandes

4.1. Höhenstruktur des Jungwuchses

Die 1961 und 1966 in allen Jungbeständen für 50-cm-Höhenstufen aufgenommenen Stammzahlen werden in Abb. 9 als Höhenfrequenzreihen wiedergegeben. Die Verteilungsreihe der Fläche C 1961 weist in der Stufe 0 bis 0,50 m eine außerordentlich hohe Besetzung auf (ca. 50 000 St/ha), in der Stufe 0,50 bis 1,00 m dagegen nur

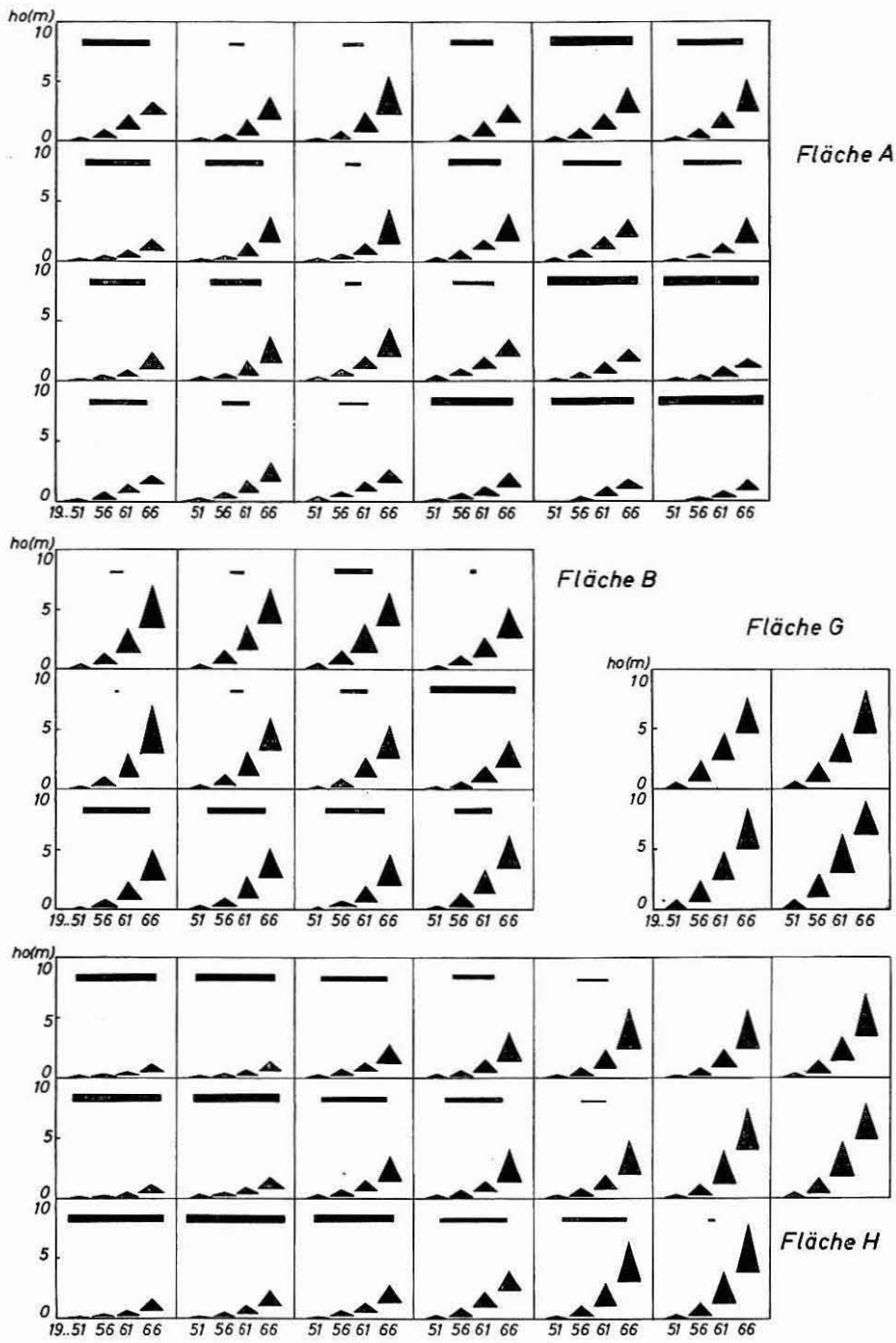


Abb. 10. Oberhöhenentwicklung der Verjüngung (Flächen A, B, G und H)

2400 St/ha. Ähnlich hohe Frequenzwerte haben auch die geschlosseneren Teilflächen von Fläche H (H-dicht ca. 40 000, H-licht ca. 30 000 St/ha), doch sind hier auch die höheren Stufen besetzt. Die Frequenzkurven der Bestände mit fortgeschrittenem Verjüngungsstadium (A, B und H-frei) sind zwar ebenfalls noch stark symmetrisch, jedoch haben sich die Variationsgrenzen wesentlich erweitert.

Im Jahre 1966 sind charakteristische Veränderungen in der Höhenstruktur eingetreten. In allen Verteilungsreihen mit Ausnahme derjenigen von Fläche C haben sich jetzt mehr oder weniger stark ausgeprägte Gipfel in Höhenstufen über 0,50 m gebildet, die Gesamtstammzahl ist zurückgegangen. Bei den Beständen ohne oder mit nur lichtem Altholzschirm haben sich die Variationsgrenzen um 3 bis 7 Höhenstufen (d. h. 1,50 bis 3,50 m) ausgeweitet, während auf der Fläche C die höchsten vorkommenden Jungwüchse immer noch unter 1,0 m geblieben sind. Die Frequenzkurve der Fläche B weist einen zweiten Gipfel in der Stufe 0,50 bis 1,00 m auf, offenbar handelt es sich hierbei um die im sozialen Konkurrenzkampf unterlegenen Bestandeselemente, die jedoch noch nicht abgestorben sind.

4.2. Die Höhenentwicklung repräsentativer Probestämme des Jungwuchses

Bei den Flächenaufnahmen 1961 und 1966 wurde in jedem 10×10-m-Quadrat die Länge der letzten 10 bis 15 Höhentriebe an sechs *objektiv* ausgewählten Fichten des Jungbestandes gemessen. Diese sechs Fichten je Befundeinheit sind jeweils die sechs höchsten des betreffenden Quadrates, sie werden im folgenden „Oberhöhenstämmchen“, ihr Mittelwert „Oberhöhe“ genannt. Diese Bezeichnung entspricht nicht der bekannten Definition der Oberhöhe als mittlere Höhe einer bestimmten Anzahl stärkster Stämme je ha (z. B. ASSMANN, 1961).

Aus den Meßdaten der Höhenzuwachsaufnahme wurden Kennwerte für die individuelle Höhenentwicklung in jedem Quadrat hergeleitet, indem die sechs Zustandswerte der Oberhöhenstämmchen für 1951, 1956, 1961 und 1966 gemittelt und für jede Befundeinheit zu „Oberhöhen-Entwicklungsreihen“ zusammengestellt wurden. Diese sind auf Abb. 10 in einer kartenähnlichen Grundrißdarstellung der Versuchsflächen so dargestellt, daß über den Grundlinien der 10×10-m-Quadrate (als Abszissen mit Jahreseinteilung) die jeweils erreichten Oberhöhen als Ordinatenwerte aufgetragen wurden. Der „Oberhöhenzuwachs“ von je fünf Jahren ist als Höhe, die 5jährige Dauer der Zuwachsperiode als Basis eines Dreieckes dargestellt, dessen Grundlinie jeweils auf der in der vergangenen Periode erreichten Endhöhe liegt. Im oberen Drittel jedes Quadrates gibt die Länge eines horizontalen Balkens den Überschirmungsgrad 1961 (siehe Abschn. 2.1.) in Prozent der Befundfläche (100 qm) wieder (100‰ = ganze Quadratbreite). Überschirmungsgrade von über 60‰ sind durch überstarke Balken, solche von unter 30‰ durch schwache Balken überrepräsentiert dargestellt.

Sowohl der Höhenzuwachs 1956–1961 als auch die Oberhöhe 1961 wird vom Überschirmungsgrad im Jahre 1961 beeinflusst. In Befundeinheiten ohne Altbestand oder mit nur geringen Überschirmungsgraden hatten die Oberhöhen schon 1961 beachtliche Werte erreicht (z. B. bei Fläche G 5,0 bis 6,0 m, bei Fläche H-frei 4,0–5,0 m, bei einigen Quadraten der Fläche B fast 4,0 m). Unter dichten Altholzbestockungen dagegen blieben die erreichte Endhöhe 1961 und die Höhenzunahme der vorangegangenen Periode stark zurück.

Ein gesicherter Zusammenhang zwischen den Überschirmungsgraden 1961 und den Zuwächsen 1961–1966 kann nicht festgestellt werden, da aus allen untersuchten Beständen (A, B, H) in dieser Zeit Stämme entnommen wurden, sich die Beschirmungssituation insofern geändert hat und aus dem Zustand vor dem Eintreten der Veränderung keine Schlüsse auf die Beschirmungssituation während der letzten Zuwachsperiode gezogen werden können.

4.3. Abhängigkeit der Oberhöhenentwicklung des Jungbestandes vom Überschirmungsgrad des Altbestandes

Am Beispiel der Fläche H wird untersucht, ob sich zwischen dem Höhenwuchsgang des Jungwuchses und Kennwerten des Altbestandes deutliche Abhängigkeiten feststellen und biometrisch nachweisen lassen. In einer Seminararbeit untersuchte v. WREDE (1968) zu diesem Zweck die Entwicklungsreihen verschiedener Kennwerte des Altbestandes in jedem Quadrat (z. B. d_m , h_m , N , g_m , G u. a.) und verglich diese zunächst graphisch mit der Oberhöhe 1961 sowie den Höhenzuwächsen des Jungbestandes in den zurückliegenden Perioden. Dabei zeigte sich, daß nur zwei der getesteten Kenngrößen zur Charakterisierung des Zusammenhanges zwischen Bestockungsdichte des Altbestandes und Höhenentwicklung des Jungwuchses wirklich geeignet sind. Es sind dies die Größen

SQ = Kronenprojektionsfläche 1961 je 10×10 -m-Quadrat (= Überschirmungsgrad) und

SQU = Kronenprojektionsfläche 1961 je 10×10 -m-Quadrat einschließlich einem Umfassungstreifen von 5 m Breite.

(Zur Herleitung dieser Größen siehe Abschn. 2.1.)

Für alle anderen Prüfmerkmale ergaben sich keine eindeutigen Zusammenhänge.

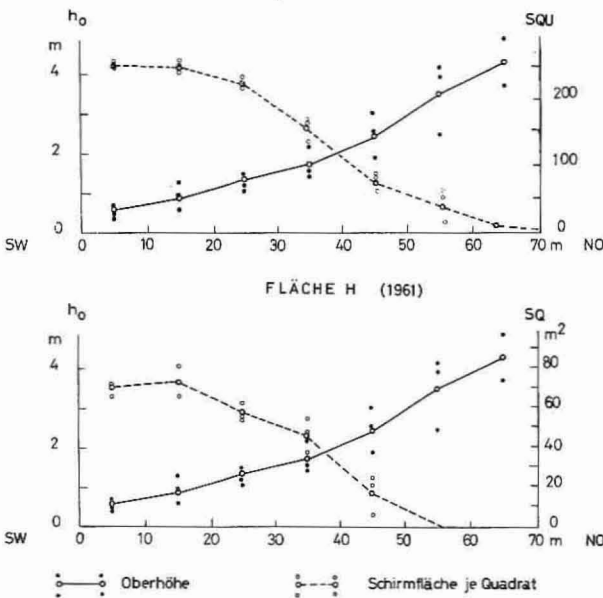


Abb. 11 a und b. Oberhöhenstruktur des Jungwuchses auf der Fläche H

geteilt; jeweils in der Mitte der Prüfquadrat-Grundseiten (5, 15, 25, . . . m) sind die drei Oberhöhen-, SQ - und SQU -Werte der jeweils hinter- (bzw. neben-)einanderliegenden Quadrate aufgetragen. Die Mittelwerte je dreier zusammenliegender Quadrate wurden verbunden und durch verschiedene Strichelungen voneinander abgesetzt.

Die so gemittelten Oberhöhen nehmen vom Bestandesinneren (SW) her gegen den Rand (NO) hin immer steiler zu, während die Schirmflächenkennwerte in gleicher

SQ stellt eine Befundgröße der horizontalen Beschirmung des Prüfquadrates dar, während SQU nicht nur die Überschirmungsverhältnisse im Prüfquadrat, sondern auch in seiner unmittelbaren Umgebung berücksichtigt. Auf diese Weise sollen Nachbarschaftswirkungen (Seitenlicht bzw. Seitenschatten) soweit als möglich erfaßt werden.

Abb. 11 gibt zwei Aufrißzeichnungen wieder, in denen auf der Abszissenachse die Grundlinie der Fläche H von SW nach NO und auf den Ordinatenachsen links die Oberhöhe 1961 (h_o) rechts SQ bzw. SQU dargestellt ist. Die Flächengrundlinie ist nach 10-m-Einheiten

Richtung abnehmen. Typischerweise erreicht SQ den Wert 0 schon bei 50 m auf der Grundlinie (d. h., nur die südwestlichen $3 \times 5 = 15$ Prüfquadrate sind direkt überschirmt), während die SQU-Linie auch für die am weitesten nordöstlich gelegenen Quadrate noch Werte über 0 anzeigt (d. h., auch auf diesen Teilflächen ist noch mit einer seitlichen Beschattung zu rechnen, siehe dazu Baumkarte in Abb. 4). Sowohl die Verbindungslinie der h_0 - als auch der SQU-Mittelwerte hat den steilsten Anstieg (bzw. Abfall) zwischen 30 und 60 m, d. h. in der Außensaumzone. In diesem Bereich der Versuchsfläche nimmt also die Überschirmung von innen nach außen besonders stark ab, die Höhen der Jungwüchse besonders schnell zu.

Die 1961 erreichten Oberhöhen und deren Zuwächse von 1956 bis 1961 (Z_{h_0}) sind auf Abb. 12 über SQ und SQU aufgetragen, die Einzelwerte gruppenweise gemittelt und die Mittelwerte durch ein Polygon verbunden worden. Für die offensichtlich bestehenden Zusammenhänge zwischen h_0 und Z_{h_0} einerseits und SQ und SQU andererseits wurden mittels Re-

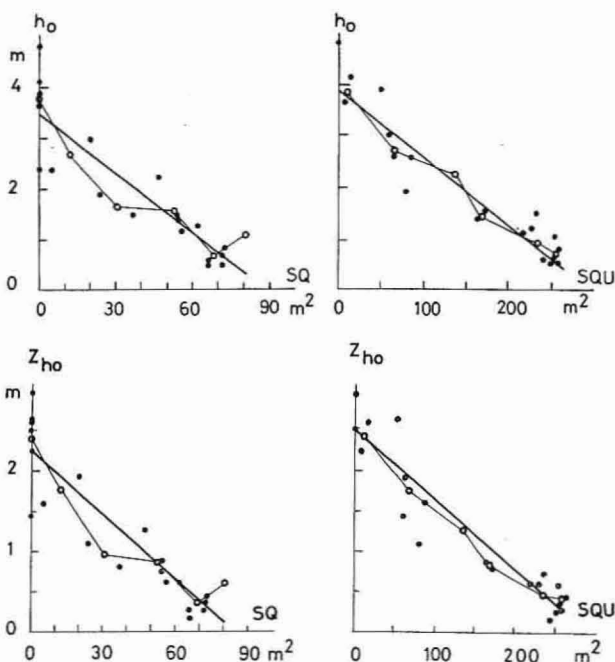


Abb. 12 a und b. Zusammenhang von Oberhöhe und Oberhöhenzuwachs mit Schirmflächenkennwerten auf der Fläche H

gressionsrechnung Ausgleichsgeraden hergeleitet. Diese sind in Abb. 12 ebenfalls eingezeichnet; die statistischen Kenndaten der vier Regressionen sind in Tabelle 5 zusammengestellt. Alle Bestimmtheitsmaße sind mit $B \geq 80$ recht hoch. Während jedoch Gleichungen mit SQ als Schätzgröße nur B-Werte von $\approx 0,80$ erreichen, sind die Zusammenhänge in Gleichungen mit SQU wesentlich strafbarer ($B = 0,87$). Demnach liefern Schätzgrößen der horizontalen Kronenprojektion dann die besseren Voraussagen über Höhenzustand und Zuwachs einer Verjüngung, wenn von ihnen auch die Verhältnisse in der Nachbarschaft der Befundeinheiten erfaßt werden.

Der Einfluß des Kronenschirmes des Altholzes auf die erreichte Oberhöhe des Jungwuchses sei an folgenden – aus der Regressionsgleichung Nr. 2 berechneten – durchschnittlichen Werten verdeutlicht: Es beträgt bei einer Überschirmung von

$$\begin{aligned} \text{SQU} = 0\% \text{ die Oberhöhe 1961 } h_0 &= 3,90 \text{ m,} \\ \text{SQU} = 20\% \text{ die Oberhöhe 1961 } h_0 &= 2,90 \text{ m,} \\ \text{SQU} = 40\% \text{ die Oberhöhe 1961 } h_0 &= 1,90 \text{ m, und} \\ \text{SQU} = 60\% \text{ die Oberhöhe 1961 } h_0 &= 0,90 \text{ m!} \end{aligned}$$

Bei einer Zunahme des Überschirmungsgrades um je 20 % erreicht also die Oberhöhe einen um je 1 m geringeren Endwert als die jeweils weniger überschirmte Teilfläche. Altersunterschiede zwischen den Prüfquadraten hoher und geringer Überschir-

Tabelle 5

Statistische Kennwerte der Ausgleichsgeraden für den Zusammenhang von Oberhöhe 1961 (h_0) bzw. fünfjährigem Oberhöhenzuwachs (Z_{h_0}) des Jungwuchses und der Einflußgrößen SQ und SQU

$$N = 20$$

$$y = b_0 + b_1 x$$

$$B = \text{Bestimmtheitsmaß}$$

Nr. der Regressionsgleichung	y	x	b_0	b_1	B
1	h_0	SQ	$0,35129 \cdot 10^3$	$-0,38654 \cdot 10^1$	0,80
2	h_0	SQU	$0,38918 \cdot 10^3$	$-0,12609 \cdot 10^1$	0,87
3	Z_{h_0}	SQ	$0,22581 \cdot 10^3$	$-0,26489 \cdot 10^1$	0,81
4	Z_{h_0}	SQU	$0,25118 \cdot 10^3$	$-0,86002 \cdot 10^0$	0,87

mung mögen einen gewissen Teil dieses Rückstandes verursacht haben, doch erreichten auch die Höhenzuwächse der unter Schirm wachsenden Probestämme ebenfalls nur Bruchteile derjenigen Werte, die bei geringer Überschirmung erzielt wurden. Die Unterschiede in der Oberhöhe 1961 auf den einzelnen Prüfflächen dürften somit im wesentlichen auf den *wuchshemmenden Einfluß des Altholzschirmes* zurückzuführen sein. Selbst geringfügig erscheinende direkte Überschirmungen, sogar nur leichter Seitenschatten, verursachte im untersuchten Fichtenjungbestand erstaunlich einschneidende Minderungen der Zuwachsleistung!

Der leistungshemmende Einfluß von Überschirmungen geringen Ausmaßes kann durch eine Vielzahl neuerer ertragskundlicher, botanischer und meteorologischer Untersuchungsergebnisse bestätigt und weitgehend erklärt werden. ASSMANN (1961) verweist auf die Zuwachsreduktion, die MANG (1955) bei der Unterschicht im Kiefernüberhaltbetrieb des Forstamtes Lindau i. B. festgestellt hat (ca. 10 % Volumenminderleistung bei ca. 12 bis 16 % Überschirmung), sowie auf die Untersuchungsergebnisse von FREIST (1961), der für „zweihiebigen Hochwald“ und „Überhaltbetrieb“ der Buche bei ebenfalls sehr geringen Überschirmungsgraden unvermutet hohe Zuwachsausfälle am Jungbestand feststellte.

Jungbestände unter Altholzschirm erhalten einerseits weniger photosynthetisch wirksame Strahlung als Freiwuchsbestände, andererseits aber auch weniger Gesamtstrahlung (ASSMANN, 1965; BAUMGARTNER, 1957). So wird nicht nur die Ausbeute an apparenter Assimilation, sondern auch die Transpirationsökonomie herabgesetzt (ASSMANN, 1968a; NEUWIRTH, 1962, 1963, 1966; EIDMANN und SCHWENKE, 1967). Daß von Schattenblättern ein geringeres Nettoergebnis an Stoffproduktion erzeugt wird, haben PISEK und TRANQUILLINI (1951, 1954) nachgewiesen. Für beschattete Bäume hat BOYSEN-JENSEN (1932) erheblich geringere Zuwächse gefunden, als es ihrem Anteil an der Blattmenge entsprochen hätte. VANSELOW bezeichnet die beherrschten Bäume als „unökonomische Atmer“.

Aus diesen und einer Reihe weiterer Untersuchungsergebnisse folgert ASSMANN (u. a. 1968b), daß jede stärkere Stufung des Bestandes zu Leistungsminderungen der beschatteten Bäume führt, eine Feststellung, die sich bei der Analyse des Höhenwachstums junger Fichten unter mehr oder weniger lockerem Altbestand wiederum voll bestätigt hat.

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung war es leider nicht möglich, den Einfluß des Altholzschirmes auf die Volumenleistung des Jungwuchses zu untersuchen. Es sei

jedoch angemerkt, daß zwischen der *Höhe* und dem *Schaftholzvolumen* junger Fichten ein enger Zusammenhang besteht (JOHANN, 1964, 1968). Weiterhin braucht von einem bestimmten Zustand an nur noch mit geringen Unregelmäßigkeiten in der Bestockungsdichte des Jungwuchses gerechnet zu werden (siehe Abschnitt 3), was auf ein proportionales Verhältnis von durchschnittlicher Höhe und Vorrat an Schaftholzvolumen je Prüfquadrat schließen läßt. Es ist demnach damit zu rechnen, daß geringe Altholzüberschirmungsgrade sich auf den Volumenzuwachs von Fichtenverjüngungen ähnlich leistungsmindernd auswirken wie auf deren Höhenzuwachs.

Zusammenfassung

1. Es werden die Ergebnisse einiger strukturanalytischer Untersuchungen mitgeteilt, die am Material einer Versuchsreihe von fünf Beständen mit Fichtennaturverjüngung, einem Fichtenjungbestand aus Pflanzung und drei Vergleichsbeständen hoher Grundflächenhaltung gewonnen wurden.

2. An Hand von Baumverteilungs- und Kronenkarten (Abb. 1–4) wird der Aufbau einiger typischer Altbestände zunächst allgemein beschrieben. Zwei biometrische Testverfahren nach STRAND (1953) und FRANZ (1956) führen zu dem Ergebnis, daß das praktizierte Verjüngungsverfahren bei zunächst vorsichtigen Auflichtungen die vorhandene gleichmäßige Bestockungsstruktur kaum stört, in fortgeschrittenem Stadium jedoch zur Bildung von Gruppen ursprünglicher Dichte und zu unregelmäßig verteilten, lichten bzw. unbestockten Partien führt. In der Schlußphase löst sich der Bestand in Baumgruppen und Einzelbäume auf.

3. Stammverteilungskarten können auch die Individuenverteilung der Jungbestände kennzeichnen. Es wird nachgewiesen, daß bei beginnender Auflichtung des Altbestandes die Verjüngung sowohl auf der gesamten Bestandesfläche als auch auf 10×10 m großen Prüfeinheiten äußerst unregelmäßig verteilt ist. Die Ausgangsstammzahl liegt bei ca. 50 000 St./ha. Mit zunehmender Auflichtung nähert sich die Verteilung einer natürlich gleichmäßigen, zufallsbedingten Individuenanordnung. Auch für den künstlich begründeten Jungbestand kann keine von einer Zufallsverteilung abweichende Verteilung nachgewiesen werden (Abb. 8).

Typische, vom jeweiligen Entwicklungszustand abhängige Unterschiede kennzeichnen die Höhenfrequenzreihen der Jungwüchse (Abb. 9). Verjüngungen unter \pm dichtem Altholzschirm sind durch relativ hohe Stammzahlen und Häufigkeitsgipfel im unteren Bereich, \pm freigestellte Jungwüchse durch geringe Stammzahlen und ausgeprägte Häufigkeitsmaxima im oberen Bereich der Höhenstufen charakterisiert.

4. Ein deutlicher Zusammenhang zwischen der 1961 erreichten Oberhöhe (= Mittel der jeweils sechs höchsten Fichten je 10×10 -m-Quadrat) und deren Zuwachs mit Schirmflächenkennwerten des Altbestandes besteht bei allen untersuchten Beständen (Abb. 10).

Am Beispiel der Versuchsfläche H (Naturverjüngung aus Randstellung) wird nachgewiesen, daß ein straffer statistischer Zusammenhang zwischen dem Überschirmungskennwert SQU (senkrechte Kronenprojektionsfläche 10×10 -m-Prüfquadrat und einem 5 m breiten Umfassungstreifen) und der Oberhöhe 1961 sowie dem Oberhöhenzuwachs 1956 bis 1961 des betreffenden Prüfquadrates besteht: Eine um 20 % stärkere Überschirmung hat ein Zurückbleiben der Oberhöhe um je 1,0 m zur Folge (Abb. 12). Eine vergleichbare Wirkung haben Altholzüberschirmungen auf den Zuwachs der Jungbestockungen. Mit ähnlichen Folgen für die Volumenleistung der Jungbestände muß gerechnet werden, wenn diese auch nur unter einem lichten Altholzschirm heranwachsen!

Summary

The paper describes the structure of naturally regenerated Norway spruce stands in different stages of development. The distribution of stems over the area is shown by distribution- and crown maps and is analysed by different biometric procedures.

In fully stocked mature stands the distribution is uniform. This uniformity is hardly set up by the secondary fellings in the first phase of regeneration process; but in consequence of the continued light-fellinggroups of uniform density and unstocked parts in irregularly distribution develop.

In contrary to this trend in mature stands the distribution of individuals in the young growth is not uniform at all in the beginning, but getting more regular with continuing light-felling in the mature stands.

There is a rather closely statistical connection between characteristic values of crown density in the mature stands and height-increment of the young stands.

Literatur

- ASSMANN, E., 1961: Waldetragskunde. München-Bonn-Wien, 490 S. — Ders., 1965: Der Zuwachs im Verjüngungsstadium. Centralbl. f. d. ges. Forstwesen, Wien, H. 4, S. 193-217. — Ders., 1968a: Möglichkeiten zur Steigerung der ökologischen Produktion und der Ertragsleistung von Wäldern. In: VYSKOT u. a.: Die Produktivitätssteigerung der Wälder. Prag. — Ders., 1968b: Die Ausnutzung der standörtlich möglichen Produktion zu optimalen Ertragsleistungen. In: Möglichkeiten optimaler Betriebsgestaltung in der Forstwirtschaft. Beitrag XIII, München. — ASSMANN, E., und FRANZ, F., 1963: Vorläufige Fichten-Ertragstafel für Bayern. München, Fotomech. Wiedergabe. — BAUMGARTNER, A., 1957: Sommerlicher Wärme- und Wasserhaushalt eines jungen Fichtenbestandes. Mitt. a. d. Staatsforstverw. Bayerns, H. 29, S. 23. — BOYSEN-JENSEN, 1932: Die Stoffproduktion der Pflanzen. Gustav Fischer, Jena, 108 S. — EIDMANN, E. F., und SCHWENKE, J., 1967: Beiträge zur Stoffproduktion, Transpiration und Wurzelatmung einiger wichtiger Baumarten. Forstl. Forsch., H. 23. — FRANZ, F., 1956: Methodische Untersuchung der Verteilung der guten Zuwachsträger in gleichaltrigen Kiefernreinbeständen. Diss. Eberswalde. Autorenreferat in Wiss. Z. Humboldt-Univ. Bln. 1957/58, Math. Nat. R. Nr. 2. — FREIST, H., 1961: Der Lichtungszuwachs der Rotbuche und seine Anwendung im Forstbetrieb. Diss. München. — JOHANN, K., 1964: Volumen und Volumenzuwachs in Jungbeständen der Fichte. Forstw. Cbl., H. 3/4, S. 65-78. — Ders., 1968: Größe und Verteilung des Zuwachses in Verjüngungsbeständen der Fichte. Diss. München, Veröffentlichung vorbereitet. — KÖSTLER, J. H., 1950: Waldbau. Berlin u. Hamburg. — MANG, K., 1955: Der Föhrenüberhaltbetrieb im Forstamt Lindau. Diss. München. — NEUWIRTH, G., 1962: Assimilationsökologische Untersuchungen an unterschiedlich aufgelichteten Birkenvorwaldparzellen. Tagungsbericht d. Deutsch. Akad. f. Landwirtsch. zu Berlin, S. 97-123. — Ders., 1963: Die soziologischen Bedingungen der Energieverwertung durch Assimilation in Fichtenbeständen. Arch. f. Forstw., S. 1224-1239. — Ders., 1966: Assimilation, Atmung und Transpiration unterschiedlich gedüngter Koniferen während des Frühjahrsaustriebes in Abhängigkeit von Klimafaktoren. Arch. f. Forstwes., S. 629-639. — PISEK, A., und TRANQUILLINI, W., 1951: Phys. Plant 4, zitiert bei ASSMANN (1961). — Dies., 1954: Assimilation und Kohlenstoffhaushalt in der Krone von Fichten- und Rotbuchenbäumen. Flora, S. 237 ff. — PRODAN, M., 1967: Aus der Holzmeßlehre. Kritisches Sammelreferat 1958-1964. Forstarchiv, H. 5 und 6. — VANSELOW, K., 1931: Theorie und Praxis der nat. Verj. im Wirtschaftswald. Neudamm. — WREDE, C., Fürst v., 1968: Vergleich des Höhenwuchsganges von Probestämmen des Unterstandes mit Kennwerten des Oberstandes in einem Naturverjüngungsbestand im FA. Laugna. Manuskript des Seminarvortrages 11 - 67/68. Waldetragskundl. Seminar, Inst. f. Ertragskunde, München. — STRAND, L., 1953: Mål for fordelling av individer over et område. Medd. fra Det Norske Skogforsoksves., 12, S. 191-207.