

In den gleichen Beständen werden sodann mit einigen multivariaten Analyseverfahren (Prinzipal-Komponentenanalyse, Faktorenanalyse, Kanonische Analyse) die Zusammenhänge zwischen Baumdimensionen, Abstandswerten zu den Nachbarbäumen und Zuwachs geprüft. Dabei zeigt sich, daß bei der Fichte der zweitnächste Nachbar stärker auf den Zuwachs wirkt als der erste. Bei der Buche hat dagegen der erste Nachbar den stärksten Einfluß. In einer Diskriminanzanalyse wird schließlich erfolgreich versucht, die KRAFTSchen Baumklassen mit Hilfe von Diskriminanzfunktionen aus Durchmesser, Höhe, Kronenschirmfläche, Kronenbreite und Kronenlänge zu berechnen. Die Übereinstimmung der okular geschätzten Baumklassen mit den berechneten beträgt bei der Fichte 80 %, bei der Buche 73 %.

### Literatur

1. ASSMANN, E., 1954: Die Standraumfrage und die Methodik von Mischbestandsuntersuchungen. Allg. Forst- und Jagdztg., **125**, S. 149-153. — 2. ASSMANN, E., 1961: Waldertragskunde. München, Bonn, Wien. — 3. ASSMANN, E., und FRANZ, F., 1963: Vorläufige Fichten-Ertragstafel für Bayern. Fotodruck, München. — 4. ASSMANN, E., 1964: Empfehlungen für neue Durchforstungsversuche. Allg. Forst- und Jagdztg., **135**, S. 96-102. — 5. DIXON, W. J. (Herausgeber), 1964: BMD-Biomedical Computer Programs. Health Sciences Computing Facility, Department of Preventive Medicine and Public Health. School of Medicine, University of California, Los Angeles. — 6. KENNEL, R., 1964: Der Einfluß einiger Baumdimensionen auf den Volumenzuwachs von Einzelbäumen im Bestand. Mitt. aus d. Staatsforstverw. Bayerns, **34**, Heft, S. 82-91. — 7. KENNEL, R., 1965: Untersuchungen über die Leistung von Fichte und Buche im Rein- und Mischbestand. Allg. Forst- und Jagdztg., **136**, S. 149-161 und 173-189. — 8. KRAFT, G., 1884: Beiträge zur Lehre von den Durchforstungen, Schlagstellungen und Lichtungshieben. Hannover. — 9. MAGIN, R., 1952: Zuwachsleistungen der soziologischen Baumklassen in langfristig beobachteten Versuchsflächen. Forstwiss. Zentralbl., **71**, S. 225-243. — 10. MATÉRN, B., 1960: Spatial variation. Mitt. d. Forstl. Versuchsanstalt Schwedens, **49**. — 11. PERSSON, O., 1964: Distance Methods. Studia Forestalia Suecica Nr. 15, Stockholm. — 12. STERN, K., 1966: Vollständige Varianzen und Kovarianzen in Pflanzenbeständen. Silvae Genetica, **15**, S. 6-11. — 13. VANSELOW, K., 1951: Was leisten die einzelnen Baumklassen am Massenzuwachs? Allg. Forstzeitschr., **6**, S. 313-317.

## 1. ABHANDLUNGEN

### Soziale Stellung, Nachbarschaft und Zuwachs

Von R. KENNEL

Aus dem Institut für Ertragskunde der Forstlichen Forschungsanstalt München<sup>1</sup>

#### 1. Einleitung

Wenn wir einen Bestand betrachten, sei es ein Fichtenreinbestand oder ein Rein- oder Mischbestand anderer Baumarten, fällt auch dem unbefangenen Beobachter auf, daß der Zuwachs der Bäume trotz scheinbar gleicher äußerer Bedingungen verschieden groß ist. Bäume gleicher Holzart und gleichen Alters unterscheiden sich im Zuwachs je nach ihrer sozialen Stellung, Bäume verschiedener Holzarten zeigen bei sonst gleichen Bedingungen unterschiedlichen Zuwachs, innerhalb derselben Baumart können Zuwachsunterschiede durch verschiedene Rassen oder Genotypen bedingt sein. —

Der Einfluß von Standort, Klima und Alter soll im folgenden unberücksichtigt bleiben, da diese Einflußgrößen in den untersuchten Beständen als konstant angesehen werden dürfen. Diese zuletzt genannten Faktoren bestimmen vor allem die mögliche Gesamtleistung eines Bestandes. Für die Leistung und die Leistungsmöglichkeit des einzelnen Baumes dagegen ist vor allem seine Stellung im sozialen Gefüge maßgebend. Das heißt, es muß zur Schätzung des Leistungsvermögens auch das Verhältnis zu den Nachbarbäumen mit berücksichtigt werden. Eine Beurteilung der Leistungsfähigkeit einzelner Bäume ist besonders bei Mischbestandsuntersuchungen wichtig. Aber auch bei der Frage nach der Wirkung verschiedener Durchforstungs- oder Düngungsmaßnahmen oder bei der Ansprache und Beurteilung verschiedener Rassen und Genotypen kann die richtige Einschätzung stellungsbedingter Zuwachsunterschiede von einzelnen Bäumen sehr aufschlußreich sein. Die ersten Versuche, die Bäume nach ihrer sozialen Stellung einzustufen, wurden deshalb schon früh unternommen, so etwa von v. SEEBACH, 1844 (s. ASSMANN, 1961, S. 82). Die bekannteste Baumklasseneinteilung stammt von KRAFT aus dem Jahre 1884 (KRAFT, 1884, S. 22). KRAFT spricht von Stammklassen und unterscheidet vorherrschende, herrschende, gering mitherrschende, beherrschte und ganz unterständige Stämme, gliedert also ausschließlich nach sozialen Gesichtspunkten. Das KRAFTSche System hat sich für die Beschreibung gleichaltriger, geschlossener Reinbestände ausgezeichnet bewährt. Ein Nachteil ist allerdings, daß die Zuordnung zu den Baumklassen doch weitgehend subjektiv ist. Außerdem ist das KRAFTSche System bei der Beschreibung stark aufgelichteter Bestände und bei Mischbeständen nur bedingt anwendbar. Bei Untersuchungen in Mischbeständen versuchte deshalb der Verfasser, objektiv ermittelte Meßwerte an die Stelle subjektiv ermittelter Baumklassen treten zu lassen (KENNEL, 1965). Über die Leistung der verschiedenen Baumklassen in Fichtenbeständen haben zuletzt VANSELOW (1951) und MAGIN (1952) berichtet.

<sup>1</sup> Vortrag, gehalten am 7. Oktober 1965 auf der Tagung des Arbeitskreises für Forstliche Biometrie in Freiburg i. Br. (erweiterte Fassung).

## 2. Die Abhängigkeit des Zuwachses von der Baumhöhe

Ein objektiver Meßwert ist z. B. die Höhe, und zweifellos ist die Höhe eines Baumes im Verhältnis zu seiner Umgebung allein schon ein guter Weiser für die soziale Stellung. Tatsächlich differenzieren sich die Bäume verschiedener Höhe in einem Bestand auch sehr stark nach ihrem Zuwachs. Ordnet man in einem Fichtenbestand die

Bäume nach ihrer Höhe und faßt sie zu Höhengschichten zusammen (ASSMANN, 1954, S. 151, und ASSMANN, 1964, S. 101), so ergibt sich folgendes Bild (s. Abb. 1): Links ist als Ordinate die Höhe in Prozent der Oberhöhe des Bestandes aufgetragen. Es handelt sich um einen 71-jährigen Fichtenreinbestand aus dem Forstamt Denklingen mit einer Oberhöhe der 100 Stärksten pro Hektar von 29,8 m. Nach der Fichten-Ertragstafel von ASSMANN-FRANZ (1963) wird diese Oberhöhe bis zum Alter 100 auf 36 m anwachsen, die Oberhöhenbonität nach der neuen Tafel beträgt also 36 m. Die Grundfläche liegt mit 67,8 m<sup>2</sup>/ha über dem Ertragstafelwert für das obere Ertragsniveau im Bereich der maximalen Bestockungsdichte. — Die waagrecht liegenden Balken zeigen den Volumenzuwachs der entsprechenden Höhengschichten. So leisten z. B. die Bäume, deren Höhe größer als 95 % der Oberhöhe ist, 29,0 %

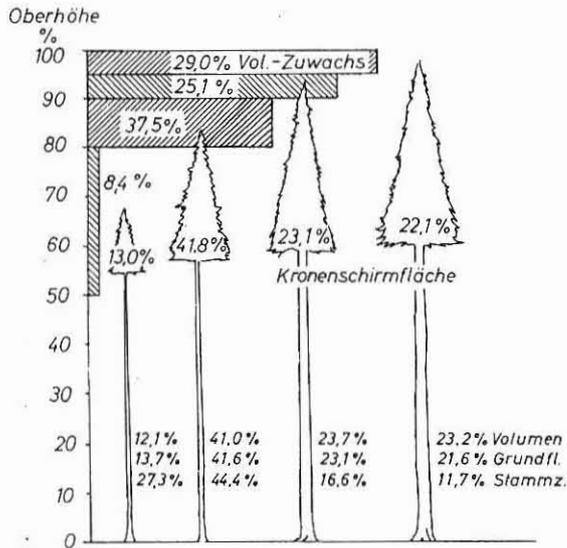


Abb. 1. Die Verteilung von Stammzahl, Grundfläche, Volumen (Schaftholz), Kronenschirmfläche und Zuwachs auf Höhengschichten in einem 71-jährigen Fichtenreinbestand. Die Grenzen der Höhengschichten sind in Prozent der Bestandesoberhöhe auf der Ordinate aufgetragen. 54 % des Zuwachses werden von den beiden obersten Höhengschichten geleistet, denen 28 % der Bäume des Bestandes angehören

des Gesamtzuwachses. Ihr Anteil an der gesamten Kronenschirmfläche des Bestandes beträgt 22,1 %, an der Gesamtstammzahl jedoch nur 11,7 %. Für die nächsttiefere Schicht lauten die Werte 16,6 % für die Stammzahl, 23,1 % Anteil an der Gesamtschirmfläche und 25,1 % am Zuwachs. Die Bäume der Höhengschicht 80 bis 90 % der Oberhöhe leisten noch 37,5 %, die Bäume mit einer Höhe zwischen 50 und 80 % der Oberhöhe aber schließlich nur noch 8,4 % des Gesamtzuwachses, obwohl diese beiden Schichten zusammen mit 72 % an der Stammzahl und mit 55 % an der Schirmfläche beteiligt sind. Die Darstellung zeigt, daß der Zuwachs sehr stark auf die obersten Höhengschichten konzentriert ist. Die 28 % der Bäume, die über dem Wert von 90 % der Oberhöhe liegen, leisten 54 % des Zuwachses.

Abbildung 2 zeigt die Kronenkarte dieses Fichtenbestandes. Sie gibt eine Vorstellung von dem dichten Kronenschluß der Bäume. Der Bestand wurde bis zum Alter 71 nur sehr schwach durchforstet, dadurch kam auch die hohe Grundfläche zustande.

Bei einem unmittelbar benachbarten Buchenbestand mit einem Alter von 83 Jahren, einer Grundfläche von 35,2 m<sup>2</sup>/ha und einer Oberhöhe von 26,9 m war die Kon-

zentration des Zuwachses auf die oberste Höhengschicht noch stärker. Die Abbildung 3 zeigt die Kronenkarte dieses Buchenbestandes. Die Buche hat, auf den Brusthöhendurchmesser bezogen, eine wesentlich größere Kronenausladung als die Fichte und dementsprechend geringere Stammzahlen, Grundflächen und Volumen pro Hektar. Auch eine Umrechnung der Volumen in Trockensubstanzwerte gleicht den Unterschied zwischen Fichte und Buche nicht aus.

Die Verteilung des laufenden Volumenzuwachses auf Höhengschichten in diesem Buchenbestand ist in Abbildung 4 zu sehen. Die Konzentration des Zuwachses auf die höchsten Bäume ist hier, wie schon erwähnt, noch stärker als bei der Fichte. Die Buchen mit einer größeren Höhe als 90 % der Oberhöhe leisten mit einem Stammzahlanteil von 57 % und einem Schirmflächenanteil von 71 % 79 % des Gesamtzuwachses. Dabei ist der Buchenunterstand einbezogen, der 6 % der Stammzahl und 2 % der Schirmfläche ausmacht. Der Zuwachsanteil des Unterstandes ist praktisch gleich Null (0,3 %).

Die Aufgliederung nach Höhengschichten hat gezeigt, daß die Höhe einen beträchtlichen Einfluß auf den Volumenzuwachs der Bäume hat. Die Höhe allein genügt jedoch nicht, um die Variation des Zuwachses der Bäume eines Bestandes zu erklären.

## 3. Der Zuwachs in Abhängigkeit vom Abstand zu den Nachbarn

Als Material für die Untersuchung des Zusam-

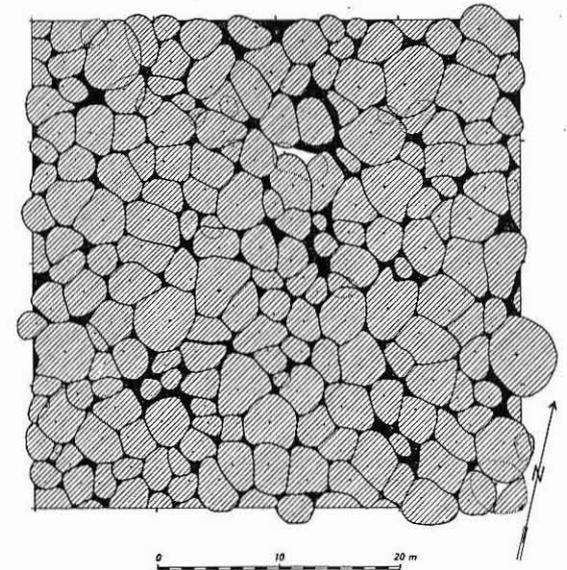


Abb. 2. Kronenkarte des untersuchten Fichtenbestandes. Dichter Kronenschluß als Folge einer nur sehr schwachen Durchforstung

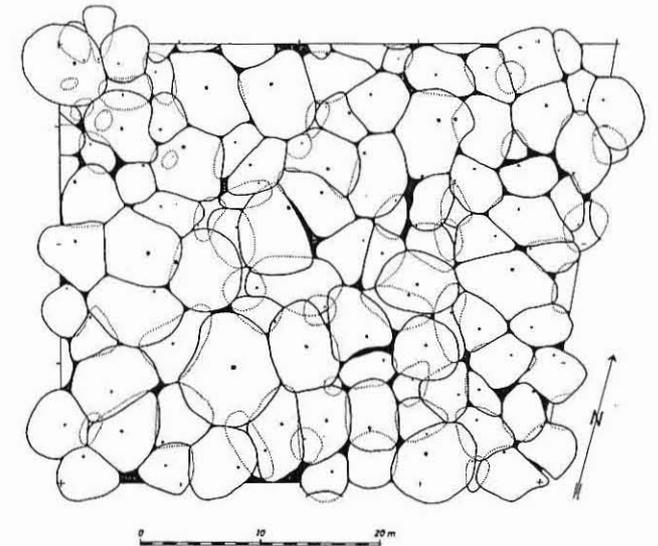


Abb. 3. Kronenkarte des untersuchten Buchenbestandes. Die Buchenkronen laden bei gleichem Brusthöhendurchmesser weiter aus als die Fichten

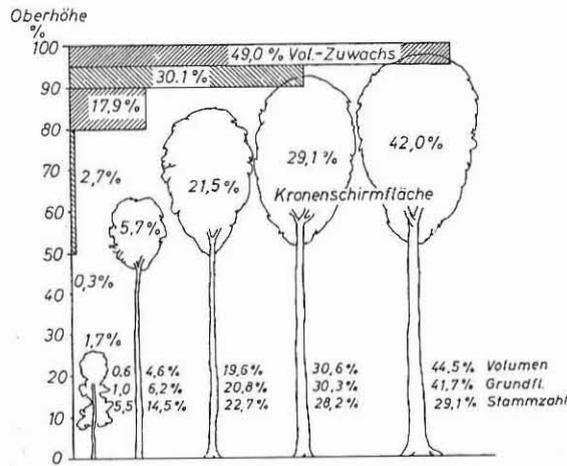


Abb. 4. Die Verteilung von Stammzahl, Grundfläche, Volumen (Baumholz), Kronenschirmfläche und Zuwachs in einem 83-jährigen Buchenbestand. Wie in Abb. 1 sind auch hier die Grenzen der Höhengschichten in Prozent der Oberhöhe auf der Ordinate aufgetragen. Der Zuwachs konzentriert sich noch stärker als bei der Fichte auf die oberste Höhengschicht

menhanges zwischen Nachbarschaftswirkung und Zuwachs dienten 79 Fichten und 61 Buchen aus den oben geschilderten Reinbeständen in Denklingen. Von jedem dieser Bäume sind der laufende Volumenzuwachs (s. KENNEL, 1965), der Durchmesser, die Höhe, die Kronenschirmfläche, die Kronenbreite, die Kronenlänge, der Abstand zu den nächsten sechs bzw. vier Nachbarn sowie die Höhe und die Kronenschirmfläche dieser Nachbarn bekannt. In die Berechnung wurden nur die Bäume einbezogen, deren Nachbarn alle auf der Versuchsfläche standen. Die Grenzbäume mußten unberücksichtigt bleiben, da für deren Nachbarbäume außerhalb der Versuchsfläche keine Messungen vorlagen. Als Rechenmethoden wurden einige Verfahren gewählt, die zu den

„multivariaten Analysen“ gehören. Im Gegensatz zur Regressionsanalyse, die, streng genommen, nur mit vollkommen voneinander unabhängigen X-Variablen angewendet werden darf, rechnen die Verfahren der multivariaten Analysen mit Variablen, zwischen denen beliebige Interkorrelationen bestehen dürfen. Zu den multivariaten Verfahren sind u. a. die Faktorenanalyse, die Prinzipal-Komponentenanalyse, die Kanonische Analyse und in weiterem Sinne auch die Diskriminanzanalyse zu rechnen<sup>2</sup>.

Die Berechnungen ergaben zunächst als Varianzerklärung für den Zusammenhang zwischen den oben genannten Variablen bei Anwendung linearer Lösungsmodelle, wie sie den multivariaten Verfahren in der Regel zugrunde liegen, ein Bestimmtheitsmaß für die Fichte von 0,69. Im Laufe der Testrechnungen zeigte sich, daß eine Trennung des Materials in zwei Gruppen verschiedener Baumhöhe das Bestimmtheitsmaß noch verbessert. Für 40 Bäume unter 28 m Höhe lag es bei 0,77 und für 39 Bäume über 28 m Höhe bei 0,80. Das heißt im letzten Fall, daß 80% der Zuwachsunterschiede dieser 39 Bäume aus Veränderungen der übrigen Variablen erklärbar sind. Für die Buchen errechnete sich ein Wert von 0,78.

### 3.1 Die einfachen Korrelationskoeffizienten

Die multivariaten Analysen verwenden ähnlich wie die Regressionsanalyse die Korrelationskoeffizienten zwischen allen Variablen als Rechengrundlage. Sieht man sich die Korrelationskoeffizienten näher an, kann man schon hier manchen Aufschluß bekommen. In den Abbildungen 5-7 sind die Koeffizienten für den Zusammenhang

<sup>2</sup> Die Berechnungen wurden am Elektronenrechner des Instituts für Plasmaphysik in Garching bei München durchgeführt. Dabei wurden die „Biomedical Computer Programs“ der Universität von Californien in Los Angeles (DIXON, 1964) verwendet.

zwischen Kronenschirmfläche, Durchmesser, Höhe, Kronenlänge und Zuwachs eines Baumes auf der einen Seite und dem Abstand zu den sechs bzw. vier Nachbarn auf der anderen Seite dargestellt. Außerdem ist der mittlere Abstand zu den sechs Nachbarn und darunter die zugehörige Standardabweichung angegeben. Die Koeffizienten sind zwar zum Teil nicht gesichert, doch läßt sich deutlich folgende Tendenz ablesen:

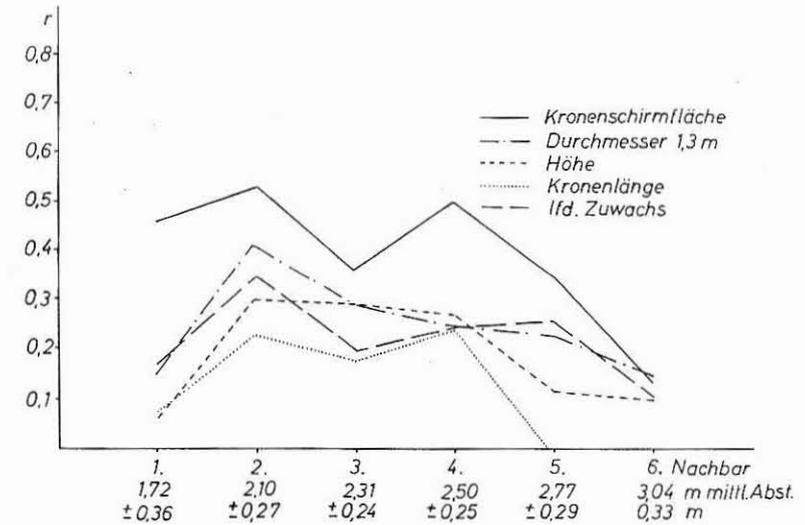


Abb. 5. Korrelationskoeffizienten für 39 Fichten über 28 m Höhe. Dargestellt sind die einfachen Korrelationskoeffizienten für den Zusammenhang zwischen Kronenschirmfläche, Durchmesser, Höhe, Kronenlänge und Zuwachs eines Baumes auf der einen Seite und dem Abstand zu den Nachbarn auf der anderen. Die engste Korrelation besteht für die Fichte zum Abstand des zweitnächsten Nachbarn, für die Buche zum ersten Nachbarn (s. Abb. 6 und 7)

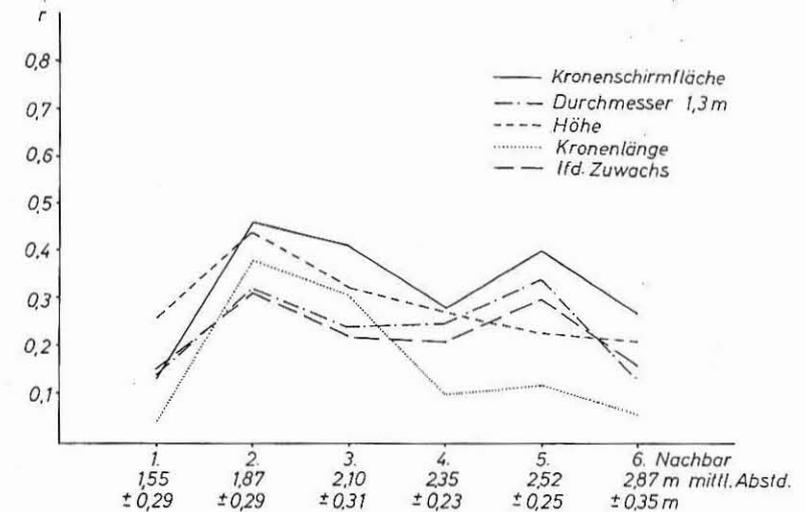


Abb. 6. Korrelationskoeffizienten für 40 Fichten unter 28 m Höhe aus dem gleichen Bestand wie bei Abb. 5 (zur Erläuterung s. Unterschrift bei Abb. 5)

Bei den herrschenden Fichten über 28 m Höhe (Abb. 5) und bei den beherrschten Fichten unter 28 m Höhe (Abb. 6) hat der zweite Nachbar einen größeren Einfluß auf den Zuwachs und auf die Baumdimensionen als der am nächsten stehende erste Nachbar. Auffallend ist außerdem das zweite Maximum der Korrelationskoeffizien-

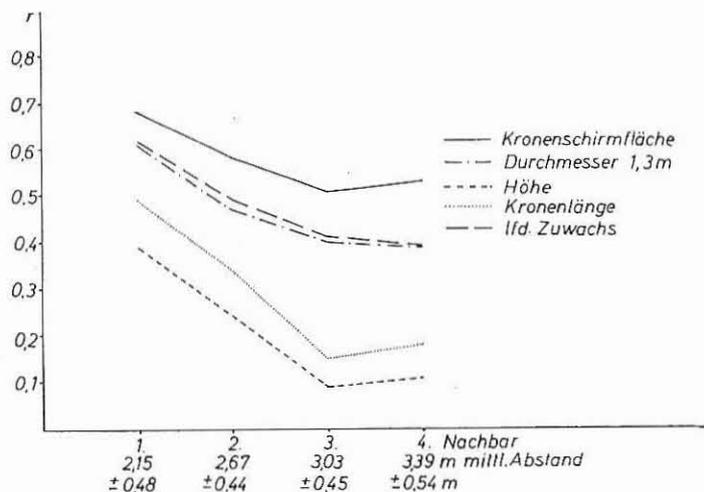


Abb. 7. Korrelationskoeffizienten für 61 Buchen (zur Erläuterung s. Unterschrift bei Abb. 5)

ten beim 4. und beim 5. Nachbarn. Bei der Buche dagegen sind die Korrelationskoeffizienten für den Abstand zum ersten Nachbarn am größten (Abb. 7). Die Korrelationskoeffizienten sind im gesicherten Bereich durchweg positiv. Die Verbindungslinien der Koeffizienten für den Zusammenhang zwischen Kronenschirmfläche und Abstand zu den Nachbarn (ausgezogene Linie der Abb. 5-7) liegt in allen drei Fällen am höchsten, das heißt, von den untersuchten Baumdimensionen ist die Kronenschirmfläche am stärksten von der Nähe der Nachbarbäume bestimmt. Bei der Beurteilung der Korrelationskoeffizienten ist zu bedenken, daß die Entfernungen untereinander

Übersicht 1

Korrelationskoeffizienten für den Zusammenhang zwischen den Abständen

Abstand zum Nachbar	Abstand zum Nachbar				
	2	3	4	5	6
Fichte (N = 79)					
1	0,61	0,46	0,38	0,20	0,10
2	—	<b>0,75</b>	0,51	0,29	0,23
3	—	—	0,72	0,46	0,42
4	—	—	—	0,71	0,53
5	—	—	—	—	0,69
Buche (N = 61)					
1	0,63	0,52	0,50	—	—
2	—	0,74	0,60	—	—
3	—	—	<b>0,81</b>	—	—

auch korreliert sind. Steht z. B. der 2. Nachbar besonders weit weg, so ist die Entfernung zum 3. Nachbarn auch groß. In der Übersicht 1 sind diese Interkorrelationen aufgeführt. Die engste Korrelation besteht, wie zu erwarten, zwischen den Abständen zweier aufeinander folgender Nachbarn. Der größte Wert wird bei der Fichte für den Abstand des 2. im Verhältnis zum Abstand des 3. Nachbarn mit 0,75, bei der Buche für die Nachbarn 3 und 4 mit 0,81 gefunden (Übersicht 1) (s. a. MATERN, 1960; PERSSON, 1964; STERN, 1966; PRODAN, 1965, S. 348 ff.).

### 3.2 Prinzipalkomponenten-Analyse

Die Prinzipalkomponenten-Analyse dient dazu, aus einer großen Zahl von Variablen, zwischen denen beliebige Interkorrelationen bestehen dürfen, wenige, neue Komponenten zu bilden, die jedoch weitgehend voneinander unabhängig sind. Diesen Komponenten sind Eigenwerte zugeordnet, die ein Ausdruck für die Bedeutung der Komponenten bei der Erklärung der kausalen Zusammenhänge sind. Die Komponenten-Analyse rechnet mit standardisierten Werten, das heißt, die Variablen werden als Differenz von ihrem arithmetischen Mittelwert in Einheiten ihrer Streuung aus-

Übersicht 2

Regression der drei wichtigsten Prinzipal-Komponenten (Standardisierte Werte, Fichte N = 79, Buche N = 61)

Y lfd. Zuwachs	Koeffizienten	
	Fichte	Buche
1 Kronenschirmfläche	86,85	80,2
2 Durchmesser 1,3	90,17	82,0
3 Höhe	93,65	70,6
4 Kronenlänge	91,16	72,5
5 Abstand vom 1. Nachbar	25,40	<b>65,6</b>
6 Abstand vom 2. Nachbar	<b>52,76</b>	51,7
7 Abstand vom 3. Nachbar	44,40	41,6
8 Abstand vom 4. Nachbar	39,54	39,9
9 Abstand vom 5. Nachbar	46,98	—
10 Abstand vom 6. Nachbar	26,53	—

gedrückt. Ist das arithmetische Durchmesser Mittel zum Beispiel 30 cm, die Streuung ± 10 cm, so bekommt ein Baum von 25 cm Durchmesser den standardisierten Durchmesserwert -0,5. Aus den in Übersicht 2 aufgeführten zehn unabhängigen Variablen wurden schließlich die Prinzipalkomponenten für die Fichte und für die Buche berechnet. Eine Regressionsrechnung für den Zusammenhang zwischen Volumenzuwachs als abhängiger Variabler und den drei wichtigsten Komponenten brachte das in Übersicht 2 gezeigte Ergebnis. In dieser Übersicht sind die Regressionskoeffizienten für die zehn ursprünglichen Variablen aufgeführt, aus denen sich die drei Prinzipalkomponenten in bestimmter Weise zusammensetzen. Da nur standardisierte, also am Mittelwert orientierte und in Einheiten der Standardabweichung ausgedrückte Werte verwendet wurden, sind die Regressionskoeffizienten direkt ein Ausdruck für die Bedeutung der unabhängigen Variablen.

Auch hier zeigt sich für die Fichte, daß der 2. Nachbar wichtiger ist als der erste, sein Koeffizient ist mehr als doppelt so groß. Noch größere Bedeutung für die Erklärung der Zuwachsunterschiede haben allerdings die Dimensionen des Baumes selbst,

also die Variablen 1 bis 4, die alle etwa von gleicher Größenordnung sind. Für den Zuwachs der Buche dagegen ist der Abstand zum ersten Nachbarn wichtiger als der zu den übrigen. Das entspricht den im vorhergehenden Abschnitt an Hand der einfachen Korrelationskoeffizienten getroffenen Feststellungen.

### 3.3 Faktoren-Analyse

Das Ergebnis einer Faktorenanalyse zeigt die nächste Übersicht 3. Hier sind nur drei Nachbarn in die Berechnung einbezogen. Der Sinn der Faktorenanalyse ist es, ähnlich wie bei der Prinzipal-Komponenten-Analyse, herauszufinden, ob in den ursprüng-

#### Übersicht 3

#### Ergebnis der Faktorenanalyse

Variable	Fichte (N = 39, über 28 m Höhe)				Buche (N = 61)		
	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Faktor 4	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3
1. lfd. Volumen-Zuwachs . . . . .	0,813	0,065	0,517	0,106	-0,787	-0,292	-0,467
2. Durchmesser . . . . .	0,934	0,192	0,236	0,018	-0,749	-0,286	-0,534
3. Kronenschirmfläche . . . . .	0,633	0,237	0,249	0,432	-0,683	-0,450	-0,428
4. Höhe . . . . .	0,325	0,191	0,815	-0,040	-0,314	-0,022	-0,792
5. Kronenlänge . . . . .	0,226	0,049	0,872	0,077	-0,299	-0,116	-0,770
6. Abstand vom 1. Nachbar ..	0,084	0,414	-0,021	0,697	-0,353	-0,531	-0,365
7. Abstand vom 2. Nachbar ..	0,229	0,777	0,110	0,428	-0,207	-0,742	-0,209
8. Abstand vom 3. Nachbar ..	0,107	0,808	0,125	0,149	-0,174	-0,895	-0,014
Eigenwerte . . . . .	3,95	1,54	0,67	0,30	5,10	1,50	0,29

lichen Variablen verschiedene, voneinander unabhängige Faktoren wirksam sind. In unserem Fall ist an den Zahlen, die ähnlich wie Korrelationskoeffizienten zu verstehen sind, zu sehen, daß nur zwei Faktoren auf den Zuwachs wirken, nämlich Faktor 1 und 3. Faktor 1 steht außerdem mit dem Durchmesser, der Kronenschirmfläche und in geringerem Maße mit dem Abstand des 2. Nachbarn bei der Fichte und des 1. Nachbarn bei der Buche in Zusammenhang. Während der Faktor 1 mehr auf die Dimensionen in horizontaler Richtung, also Durchmesser, Schirmfläche, Abstand zum 2. bzw. 1. Nachbarn, wirkt, ist Faktor 3, vom Zuwachs abgesehen, mehr für die Ausdehnung der Krone in vertikaler Richtung, also für Höhe und Kronenlänge, verantwortlich. Der Zusammenhang zwischen Faktor 3 und den Nachbarn ist bei der Fichte überraschender Weise gering. Faktor 4 läßt dagegen erkennen, daß ein klarer Zusammenhang zwischen Kronenbreite und Abstand zu den nächsten Bäumen besteht, allerdings ist dieser Faktor ohne Einfluß auf den Zuwachs. Faktor 2 mit einem Eigenwert von 1,54 bzw. 1,50 ist fast ausschließlich durch den engen Zusammenhang zwischen den Abständen des 1., 2. und 3. Nachbarn bedingt. Die hohen Koeffizienten für Höhe und Kronenlänge bei Faktor 3 lassen darauf schließen, daß der Zusammenhang zwischen beiden sehr eng ist. Das ist auch aus den Höhen- und Kronenansatzkurven der Bestände zu entnehmen. Die Kronenansatzkurven, über dem Durchmesser aufgetragen, liegen fast waagrecht, die Kronenlänge wird also fast ausschließlich von der Totalhöhe bestimmt.

### 3.4 Kanonische Analyse

Die Kanonische Analyse gibt Aufschluß über den Zusammenhang zwischen zwei Gruppen von Variablen, im Gegensatz zur Regressionsanalyse oder zur Prinzipalkomponentenanalyse, bei denen der Zusammenhang zwischen einer abhängigen Variablen

und einer Gruppe von unabhängigen Variablen geprüft wird. Als erste Gruppe von Variablen wurden für die Kanonische Analyse der Durchmesser, die Kronenschirmfläche, die Höhe, die Kronenlänge und der laufende Volumenzuwachs eines Baumes gewählt. Die zweite Gruppe von Variablen bestand bei der Fichte zunächst aus den Abständen zu den sechs nächsten Nachbarn, für die Buche zu den vier nächsten. Dabei ergaben sich für die Fichte als erste kanonische Korrelation 0,73, als zweite 0,41, als dritte 0,23. Für die Buche errechneten sich die kanonischen Korrelationen 0,72, 0,37 und 0,16. Eine weitere Rechnung für die Fichte wurde mit Abstand, Höhe und Kronenschirmfläche der sechs nächsten Nachbarn, also mit 18 Variablen, in der zweiten Variablen-Gruppe durchgeführt. Bei dieser Berechnung erhöhten sich die kanonischen Korrelationen auf 0,88, 0,62 und 0,48. Es besteht also ein enger Zusammenhang zwischen Dimensions- und Zuwachswerten eines Baumes auf der einen Seite und den Dimensions- und Abstandswerten seiner Nachbarn auf der anderen Seite. Die Prinzipalkomponenten- und die Faktorenanalyse haben jedoch gezeigt, daß in den untersuchten Beständen die Nachbarschaftswirkung auf den laufenden Zuwachs der Bäume allein nur gering ist. Auch die Einbeziehung von Höhe und Kronenschirmfläche der Nachbarn hatte bei der Faktorenanalyse keinen wesentlichen Effekt für den Zuwachs, wie weitere, hier nicht aufgeführte Berechnungen ergaben. Ich vermute, daß sich in dem praktisch seit längerer Zeit nicht mehr aktiv durchforsteten Bestand ein Gleichgewichtszustand zwischen Zuwachs, Dimensionswerten der Bäume und Abstand zu den Nachbarn herausgebildet hat, so daß der laufende Zuwachs mit genügender Sicherheit aus Durchmesser, Höhe und Kronenkennwerten des Baumes selbst abgeleitet werden kann. Erst wenn das bestehende Gleichgewicht durch einen Durchforstungseingriff gestört wird, treten für einige Jahre wieder in stärkerem Maße die Nachbarschaftsverhältnisse in den Vordergrund.

### 4. Die soziale Stellung als Funktion von Durchmesser, Kronenschirmfläche, Höhe, Kronenbreite und Kronenlänge

Zuletzt soll noch an Hand einer Diskriminanzanalyse geprüft werden, wieweit die im Bestand subjektiv bestimmten KRAFTschen Baumklassen in den beiden untersuchten Beständen durch Funktionen mit den fünf Variablen, Durchmesser, Kronenschirmfläche, Höhe, Kronenbreite und Kronenlänge, ersetzt werden können.

Abb. 8 zeigt, wie sich die fünf Baumklassen bei der Fichte differenzieren. Die Bäume sind zwar schematisiert, aber im Maßstab richtig dargestellt. Auch hier ist wieder zu sehen, daß der Kronenansatz bei allen Baumklassen etwa gleich hoch bei 19 m liegt. Der Kronenplumpheitsgrad, also das Verhältnis von Kronenbreite zu Kronenlänge, ist nahezu

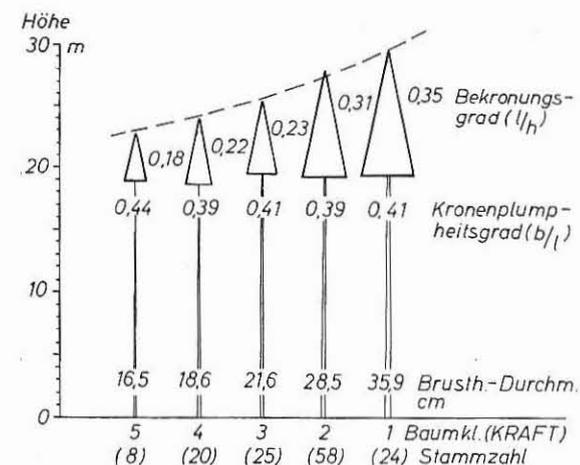


Abb. 8. Die Dimensionen von Fichten verschiedener Baumklassen nach KRAFT

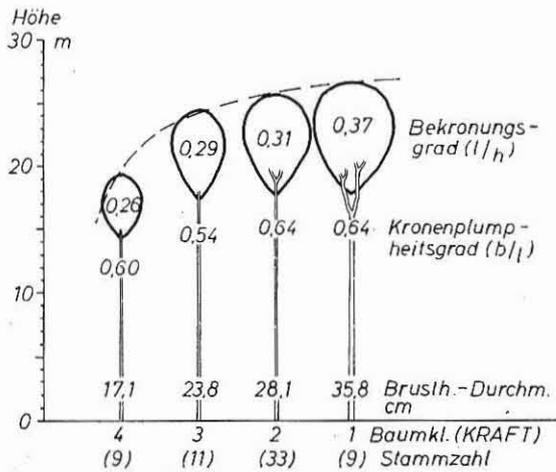


Abb. 9. Die Dimensionen von Buchen verschiedener KRAFTscher Baumklassen

Wipfel in der kleinsten Lücke hochzuschieben und ein geschlossenes Kronendach zu bilden. Auf der anderen Seite hält sich in dem Buchenbestand der Unterstand sehr gut; er ist hier allerdings nicht einbezogen, da für die Kronen keine Meßwerte vorhanden sind. Für die Berechnungen wurden zunächst die 135 Fichten aus den in Abschnitt 2 beschriebenen Versuchsflächen, den KRAFTschen Baumklassen entsprechend, in fünf Gruppen geteilt. Von den Buchen konnten nur 62 Bäume der Baumklassen 1

#### Übersicht 4

##### Koeffizienten der Diskriminanzfunktionen

	Funktion für die KRAFTsche Baumklasse				
	1	2	3	4	5
<i>Fichte</i>					
Konstante .....	-395,47	-389,58	-350,51	-316,10	-299,27
1 Durchmesser (cm) .....	1,31	0,47	-0,25	-0,57	-0,80
2 Kronenschirmfläche (m <sup>2</sup> ) .....	-22,67	-24,08	-21,98	-20,14	-18,62
3 Höhe (m) .....	23,36	24,05	24,34	23,71	23,71
4 Kronenbreite (m) .....	123,11	128,75	116,04	105,88	98,02
5 Kronenlänge (m) .....	-13,81	-14,21	-15,08	-14,59	-15,02
<i>Buche</i>					
Konstante .....	-182,29	-169,19	-151,58	-100,74	—
1 Durchmesser (cm) .....	3,55	2,86	2,66	1,90	—
2 Kronenschirmfläche (m <sup>2</sup> ) .....	-6,47	-6,64	-6,32	-5,44	—
3 Höhe (m) .....	6,06	6,43	6,32	5,13	—
4 Kronenbreite (m) .....	46,41	48,52	45,15	39,89	—
5 Kronenlänge (m) .....	-0,95	-1,90	-1,84	-1,83	—

bis 4 ausgewertet werden, da für den Unterstand (Baumklasse 5) keine Kronenmeßwerte erhoben wurden. Die Diskriminanzanalyse ergab für jede Gruppe eine lineare Funktion, gebildet aus den fünf Variablen Durchmesser, Schirmfläche, Höhe, Kronenbreite und Kronenlänge. Die Koeffizienten dieser Diskriminanzfunktionen sind in

nimmt zu den herrschenden Bäumen hin zu. Der Brusthöhen-durchmesser beträgt für die 24 Stämme der Baumklasse 1 im Mittel 36 cm, für die acht Bäume der Baumklasse 5 16,5 cm. Der verhältnismäßig starke Durchmesser von 16,5 cm für die Baumklasse 5 zeigt, daß in dem sehr dicht geschlossenen Bestand praktisch kein echter Unterstand vorhanden ist. Die Verbindungslinie der Gipfelpunkte hat in der Abbildung eine zur X-Achse konvexe Krümmung. Bei den KRAFTschen Baumklassen der Buche läuft diese Linie konkav zur X-Achse (Abb. 9). Das entspricht der Tendenz und der Fähigkeit der Buche, ihre

Übersicht 4 aufgeführt. Setzt man für einen Baum die Meßwerte der verschiedenen Variablen in die Funktionen ein, so läßt sich anschließend aus den Funktionswerten die Wahrscheinlichkeit bestimmen, mit der der Baum einer bestimmten Baumklasse angehört:

$$P_i = \frac{e^{(f_i - \max f_i)}}{\sum e^{(f_i - \max f_i)}}$$

- $R_i$  = Zahl der Gruppen (Baumklassen)
- $f_i$  = Zugehörigkeitswahrscheinlichkeit zur Gruppe i
- $e$  = 2,718 ...
- $\max f_i$  = Funktionswert der zur Gruppe i gehörenden Funktion
- $\max f_i$  = höchster Funktionswert von den i-Funktionswerten

Das Ergebnis dieser Rückrechnung ist in Übersicht 5 dargestellt. Von den 24 eingegebenen Fichten der Baumklasse 1 wurden rechnerisch 21 der Baumklasse 1 zugeordnet, das sind 87,5 %, der Rest fiel in die Baumklasse 2. Die 53 Fichten der KRAFT-

#### Übersicht 5

##### Berechnung der KRAFTschen Baumklassen mit Hilfe der Diskriminanzfunktionen aus Übersicht 4

(Verwendete Variable: Durchmesser, Kronenschirmfläche, Höhe, Kronenbreite, Kronenlänge)

Ursprüngliche Baumklasse	Berechnete Baumklasse					Summe	Richtige Schätzung in %
	1	2	3	4	5		
<i>Fichte</i>							
Kraft 1 ....	21	3	—	—	—	24	87,5
Kraft 2 ....	3	53	2	—	—	58	91,4
Kraft 3 ....	—	1	18	4	2	25	72,0
Kraft 4 ....	—	—	5	10	5	20	50,0
Kraft 5 ....	—	—	—	3	5	8	62,5
						135	79,3
<i>Buche</i>							
Kraft 1 ....	7	2	—	—	—	9	77,8
Kraft 2 ....	4	21	8	—	—	33	63,6
Kraft 3 ....	—	2	9	—	—	11	81,8
Kraft 4 ....	—	—	1	8	—	9	88,9
						62	72,6

Klasse 2 wurden zu 91 % richtig geschätzt. Zu den beherrschten Bäumen hin nimmt die Schätzgenauigkeit bei der Fichte ab, bei der Buche jedoch zu. Im Mittel betrug sie für die Fichte fast 80 %, für die Buche 73 %. Das ist ein sehr gutes Ergebnis, wenn man bedenkt, daß die okulare Einschätzung der Baumklassen selbst auch eine beträchtliche Streuung aufweist. Wir können also feststellen, daß die Diskriminanzanalyse mit mehreren Gruppen eine objektive Bestimmung der sozialen Baumklassen ermöglicht.

#### Zusammenfassung

An einem Fichtenbestand und an einem Buchenbestand wird zunächst die Verteilung des Zuwachses auf Höhenschichten untersucht. Vor allem bei der Buche ist der Zuwachs sehr stark auf die höchsten Bäume konzentriert. Die Buchen mit einer Höhe von mehr als 90 % der Bestandesoberhöhe leisten 79 % des Bestandeszuwachses.

In den gleichen Beständen werden sodann mit einigen multivariaten Analyseverfahren (Prinzipal-Komponentenanalyse, Faktorenanalyse, Kanonische Analyse) die Zusammenhänge zwischen Baumdimensionen, Abstandswerten zu den Nachbarbäumen und Zuwachs geprüft. Dabei zeigt sich, daß bei der Fichte der zweitnächste Nachbar stärker auf den Zuwachs wirkt als der erste. Bei der Buche hat dagegen der erste Nachbar den stärksten Einfluß. In einer Diskriminanzanalyse wird schließlich erfolgreich versucht, die KRAFTSchen Baumklassen mit Hilfe von Diskriminanzfunktionen aus Durchmesser, Höhe, Kronenschirmfläche, Kronenbreite und Kronenlänge zu berechnen. Die Übereinstimmung der okular geschätzten Baumklassen mit den berechneten beträgt bei der Fichte 80 %, bei der Buche 73 %.

### Literatur

1. ASSMANN, E., 1954: Die Standraumfrage und die Methodik von Mischbestandsuntersuchungen. Allg. Forst- und Jagdztg., **125**, S. 149-153. — 2. ASSMANN, E., 1961: Waldertragskunde. München, Bonn, Wien. — 3. ASSMANN, E., und FRANZ, F., 1963: Vorläufige Fichten-Ertragstafel für Bayern. Fotodruck, München. — 4. ASSMANN, E., 1964: Empfehlungen für neue Durchforstungsversuche. Allg. Forst- und Jagdztg., **135**, S. 96-102. — 5. DIXON, W. J. (Herausgeber), 1964: BMD-Biomedical Computer Programs. Health Sciences Computing Facility, Department of Preventive Medicine and Public Health. School of Medicine, University of California, Los Angeles. — 6. KENNEL, R., 1964: Der Einfluß einiger Baumdimensionen auf den Volumenzuwachs von Einzelbäumen im Bestand. Mitt. aus d. Staatsforstverw. Bayerns, **34**, Heft, S. 82-91. — 7. KENNEL, R., 1965: Untersuchungen über die Leistung von Fichte und Buche im Rein- und Mischbestand. Allg. Forst- und Jagdztg., **136**, S. 149-161 und 173-189. — 8. KRAFT, G., 1884: Beiträge zur Lehre von den Durchforstungen, Schlagstellungen und Lichtungshieben. Hannover. — 9. MAGIN, R., 1952: Zuwachsleistungen der soziologischen Baumklassen in langfristig beobachteten Versuchsflächen. Forstwiss. Centralbl., **71**, S. 225-243. — 10. MATÉRN, B., 1960: Spatial variation. Mitt. d. Forstl. Versuchsanstalt Schwedens, **49**. — 11. PERSSON, O., 1964: Distance Methods. Studia Forestalia Suecica Nr. 15, Stockholm. — 12. STERN, K., 1966: Vollständige Varianzen und Kovarianzen in Pflanzenbeständen. Silvae Genetica, **15**, S. 6-11. — 13. VANSELOW, K., 1951: Was leisten die einzelnen Baumklassen am Massenzuwachs? Allg. Forstzeitschr., **6**, S. 313-317.

## 1. ABHANDLUNGEN

### Soziale Stellung, Nachbarschaft und Zuwachs

Von R. KENNEL

*Aus dem Institut für Ertragskunde der Forstlichen Forschungsanstalt München<sup>1</sup>*

#### 1. Einleitung

Wenn wir einen Bestand betrachten, sei es ein Fichtenreinbestand oder ein Rein- oder Mischbestand anderer Baumarten, fällt auch dem unbefangenen Beobachter auf, daß der Zuwachs der Bäume trotz scheinbar gleicher äußerer Bedingungen verschieden groß ist. Bäume gleicher Holzart und gleichen Alters unterscheiden sich im Zuwachs je nach ihrer sozialen Stellung, Bäume verschiedener Holzarten zeigen bei sonst gleichen Bedingungen unterschiedlichen Zuwachs, innerhalb derselben Baumart können Zuwachsunterschiede durch verschiedene Rassen oder Genotypen bedingt sein. —

Der Einfluß von Standort, Klima und Alter soll im folgenden unberücksichtigt bleiben, da diese Einflußgrößen in den untersuchten Beständen als konstant angesehen werden dürfen. Diese zuletzt genannten Faktoren bestimmen vor allem die mögliche Gesamtleistung eines Bestandes. Für die Leistung und die Leistungsmöglichkeit des einzelnen Baumes dagegen ist vor allem seine Stellung im sozialen Gefüge maßgebend. Das heißt, es muß zur Schätzung des Leistungsvermögens auch das Verhältnis zu den Nachbarbäumen mit berücksichtigt werden. Eine Beurteilung der Leistungsfähigkeit einzelner Bäume ist besonders bei Mischbestandsuntersuchungen wichtig. Aber auch bei der Frage nach der Wirkung verschiedener Durchforstungs- oder Düngungsmaßnahmen oder bei der Ansprache und Beurteilung verschiedener Rassen und Genotypen kann die richtige Einschätzung stellungsbedingter Zuwachsunterschiede von einzelnen Bäumen sehr aufschlußreich sein. Die ersten Versuche, die Bäume nach ihrer sozialen Stellung einzustufen, wurden deshalb schon früh unternommen, so etwa von v. SEEBACH, 1844 (s. ASSMANN, 1961, S. 82). Die bekannteste Baumklasseneinteilung stammt von KRAFT aus dem Jahre 1884 (KRAFT, 1884, S. 22). KRAFT spricht von Stammklassen und unterscheidet vorherrschende, herrschende, gering mitherrschende, beherrschte und ganz unterständige Stämme, gliedert also ausschließlich nach sozialen Gesichtspunkten. Das KRAFTSche System hat sich für die Beschreibung gleichaltriger, geschlossener Reinbestände ausgezeichnet bewährt. Ein Nachteil ist allerdings, daß die Zuordnung zu den Baumklassen doch weitgehend subjektiv ist. Außerdem ist das KRAFTSche System bei der Beschreibung stark aufgelichteter Bestände und bei Mischbeständen nur bedingt anwendbar. Bei Untersuchungen in Mischbeständen versuchte deshalb der Verfasser, objektiv ermittelte Meßwerte an die Stelle subjektiv ermittelter Baumklassen treten zu lassen (KENNEL, 1965). Über die Leistung der verschiedenen Baumklassen in Fichtenbeständen haben zuletzt VANSELOW (1951) und MAGIN (1952) berichtet.

<sup>1</sup> Vortrag, gehalten am 7. Oktober 1965 auf der Tagung des Arbeitskreises für Forstliche Biometrie in Freiburg i. Br. (erweiterte Fassung).