

ACTA FORESTALIA FENNICA

Vol. 152, 1976

DIE MESSUNG DER BESTANDESBONITÄT

1. und 2. Teil
Theoretische Grundlagen

METSIKÖN BONITEETIN MITTAAMINEN

Yrjö Kangas



SUOMEN METSÄTIETEELLINEN SEURA

Suomen Metsätieteellisen Seuran julkaisusarjat

ACTA FORESTALIA FENNICA. Sisältää etupäässä Suomen metsätaloutta ja sen perusteita käsitteleviä tieteellisiä tutkimuksia. Ilmestyy epäsäännöllisin väliajoin niteinä, joista kukin käsittää yhden tutkimuksen.

SILVA FENNICA. Sisältää etupäässä Suomen metsätaloutta ja sen perusteita käsitteleviä kirjoitelmia ja lyhyehköjä tutkimuksia. Ilmestyy neljästi vuodessa.

Tilaukset ja julkaisuja koskevat tiedustelut osoitetaan Seuran toimistoon, Unioninkatu 40 B, 00170 Helsinki 17.

Publications of the Society of Forestry in Finland

ACTA FORESTALIA FENNICA. Contain scientific treatises mainly dealing with Finnish forestry and its foundations. The volumes, which appear at irregular intervals, contain one treatise each.

SILVA FENNICA. Contains essays and short investigations mainly on Finnish forestry and its foundations. Published four times annually.

Orders for back issues of the publications of the Society, subscriptions, and exchange inquiries can be addressed to the office: Unioninkatu 40 B, 00170 Helsinki 17, Finland.

VORWORT

DIE MESSUNG DER BESTANDESBONITÄT

1. und 2. Teil

Theoretische Grundlagen

YRJÖ KANGAS

SELOSTE:

METSIKÖN BONITEETIN MITTAAMINEN

Der Verfasser hat sich in diesem Buch mit dem Problem der Bestandesbonität beschäftigt. In der vorliegenden Arbeit wird die Frage behandelt, wie es möglich wäre, die Bonität von Beständen auf eine im Vergleich zur heutigen Praxis konsequentere und eindeutiger Weise zu bringen. Dies hat den Anstoß dazu gegeben, dass der Verfasser sich diese Aufgabe gestellt hat, deren Ausführung sich dann als viel schwieriger erwies, als man im Voraus ahnen konnte.

Schon gleich zu Beginn der Arbeit stellte sich heraus, dass eine brauchbare Lösung des Bonitierungsproblems — welcher Art sie nun auch sein mochte — nicht nur genügende Aufklärung seiner theoretischen Grundlagen voraussetzte, sondern dass ausserdem die Stütze eines für diesen Zweck geeigneten, möglichst homogenen Kontrollmaterials erforderlich war, mit dessen Hilfe bei der Herausarbeitung der Methodenprinzipie unter den in jedem Falle in Frage kommenden Alternativen die für das ganze Projekt am besten geeignete Lösung herausgefunden werden konnte.

Aufgrund des Obengesagten kann das jetzt vorliegende Forschungsprojekt in vier Teil zerlegt werden, von denen in der jetzt herausgegebenen Untersuchung die allgemeine Theorie der Bonitierungssysteme behandelt wird. Es erschien zweckmässig, diese Seite des Projektes in zwei Teile zu zerlegen. Der erstere beschreibt die betreffende Theorie im ganz allgemeinen Sinne, während der letztere sich ausschliesslich mit den Bonitierungsfunktionen befasst, weil diese nach Ansicht des Verfassers wenigstens bis auf weiteres ihre eigene, im Vergleich zu anderen möglichen Bonitierungssystemen erstrangige Stellung einnehmen. Im dritten Teil des Forschungsprojektes wird das auf Grund des Kontrollmaterials entwickelte System an und für sich sowie

in verschiedenen Aspekten betrachtet. Ein Modell zur Veranschaulichung der Probleme, die in den theoretischen Teilen behandelt werden, ist der Verfasser selbst ist jedoch der Überzeugung, dass das Prinzip des Bonitierungsfunktionsmodells zu welchem man in diesem Zusammenhang gelangt, einen Grund bildet, auf dem offenbar auch in bedeutend weiterem Rahmen Bonitierungsmethoden anwendbar sind, zunächst eben in Nord- und Mitteleuropa, dann allgemein auch in anderen Gebieten, wo die Forstwirtschaft entsprechend weiter auf gleichartigen Beständen aufgebaut ist. Der letzte und zugleich besonders bedeutende Teil des betreffenden Forschungsprojektes ist die Entwicklung von Bonitierungsmodellen, die ausdrücklich für die Praxis angewendet werden können, damit man von diesem Grunde aus schliesslich Bonitierungsfunktionen entwickeln kann, die in der Praxis für die heutigen Wirtschaftsbestände anwendbar sind. Auf die Probleme, die sich bei dieser Frage anschliessen, wird schon in diesem Buch kurz hingewiesen.

Ich habe die Möglichkeit gehabt, meine Arbeit als Forscher der Suomen Akademia auszuführen, wofür ich mich zu besonderem Dank verpflichtet fühle. Die Herren Professoren AARNE NYSSÖNEN und KULLERVO KUUSILA haben sich freundlicherweise mit meiner Untersuchung vertraut gemacht, wofür ich Ihnen meinen besten Dank aussprechen will. Gleichermassen danke ich allen anderen Personen, die auf verschiedene Weise meine Tätigkeit gefördert haben. Ganz besonders dankbar bin ich Frau MARIANNE KAHANPÄÄ, die mit grosser Sorgfalt den Text in die deutsche Sprache übertragen hat. Die Forstwissenschaftliche Gesellschaft Finnlands veröffentlicht freundlicherweise die Untersuchung in ihrer Publikationsreihe.

ISBN 951-631-037-3

Helsinki, im November 1975

HELSINKI 1976

YRJÖ KANGAS

DIE MESSUNG DER BESTANDSBONITÄT

Suomen Metsätieteellisen Seuran julkaisusarjat

ACTA FORESTALIA FENNICA. Sisältää Suomalaisessa metsätaloudesta ja sen perustelusta käsitteleviä tieteellisiä tutkimuksia. Ilmestyy epäsäännöllisin väliajoin niteinä, joista kukin käsittelee yhden tutkimuksen.

SILVA FENNICA. Sisältää suomalaisesta metsätaloudesta ja sen perustelusta käsitteleviä kirjallisia ja käytännöllisiä tutkimuksia. Ilmestyy neljästi vuodessa.

Tilaukset ja julkaisuja koskevat tiedustelut osoitetaan Seuran toimistoon, Unioninkatu 40 B, 00170 Helsinki 17.

Publications of the Society of Forestry in Finland

ACTA FORESTALIA FENNICA. Contains scientific treatises mainly dealing with Finnish forestry and its foundations. The volumes, which appear irregularly, each deal with one study.

SILVA FENNICA. Contains essays and short investigations mainly on Finnish forestry and its foundations. Published four times annually.

Orders for back issues of the publications of the Society, subscriptions, and exchange inquiries can be addressed to the office: Unioninkatu 40 B, 00170 Helsinki 17, Finland.

ISBN 951-651-027-2

Hämeenlinna 1976, Arvi A. Karisto Osakeyhtiön kirjapaino

VORWORT

Der Verfasser hat sich in seiner praktischen Tätigkeit schon seit langem mit der immer wieder aufkommenden Frage beschäftigt, wie es möglich wäre, die Bonitierung von Beständen auf eine im Vergleich zur heutigen Praxis konsequentere und hinsichtlich der Lösung eindeutiger Grundlage zu bringen. Dies hat den Anstoss dazu gegeben, dass der Verfasser sich diese Aufgabe gestellt hat, deren Ausführung sich dann als viel schwieriger erwies, als man im Voraus ahnen konnte.

Schon gleich zu Beginn der Arbeit stellte sich heraus, dass eine brauchbare Lösung des Bonitierungsproblems — welcher Art sie nun auch sein mochte — nicht nur genügende Aufklärung seiner theoretischen Grundlagen voraussetzte, sondern dass ausserdem die Stütze eines für diesen Zweck geeigneten, möglichst homogenen Kontrollmaterials erforderlich war, mit dessen Hilfe bei der Herausarbeitung der Methodenprinzipie unter den in jedem einzelnen Falle in Frage kommenden Alternativen die für das ganze Problems zweckmässigste Lösung herausgefunden werden könnte.

Aufgrund des Obengesagten kann das jetzt vorliegende Forschungsprojekt in vier Teil zerlegt werden, von denen in der jetzt herausgegebenen Untersuchung die allgemeine Theorie der Bonitierungssysteme behandelt wird. Es erschien zweckmässig, diese Seite des Projektes in zwei Teile zu zerlegen. Der erstere beschreibt die betreffende Theorie im ganz allgemeinen Sinne, während der letztere sich ausschliesslich mit den Bonitierungsfunktionen befasst, weil diese nach Ansicht des Verfassers wenigstens bis auf weiteres ihre eigene, im Vergleich zu anderen möglichen Bonitierungssystemen erstrangige Stellung einnehmen. Im dritten Teil des Forschungsprojektes wird das auf Grund des Kontrollmaterials entwickelte System an und für sich sowie

auch von verschiedenen Aspekten betrachtet, zunächst etwa wie ein Modell zur Veranschaulichung der Probleme, die in den theoretischen Teilen behandelt werden. Der Verfasser selbst ist jedoch der Überzeugung, dass das Prinzip des Bonitierungsfunktionsmodelles, zu welchen man in diesem Zusammenhang gelangt, einen Grund bildet, auf dem offenbar auch in bedeutend weiterem Rahmen Bonitierungsmethoden anwendbar sind, zunächst eben in Nord- und Mitteleuropa und im allgemeinen auch in anderen Gebieten, wo die Forstwirtschaft entsprechenderweise auf gleichaltrigen Beständen aufgebaut ist. Der letzte und zugleich besonders bedeutsame Teil des betreffenden Forschungsprojektes ist die Entwicklung von Bonitierungsmodellen, die ausdrücklich für die Praxis angewendet werden können, damit man von diesem Grunde aus schliesslich Bonitierungsfunktionen entwickeln kann, die in der Praxis für die heutigen Wirtschaftsbestände brauchbar sind. Auf die Probleme, die sich an diese Frage anschliessen, wird schon am Schluss des dritten Teiles kurz hingewiesen.

Ich habe die Möglichkeit gehabt, meine Arbeit als Forscher der SUOMEN AKATEMIA auszuführen, wofür ich mich zu besonderem Dank verpflichtet fühle. Die Herren Professoren AARNE NYSSÖNEN und KULLERVO KUUSELA haben sich freundlicherweise mit meiner Untersuchung vertraut gemacht, wofür ich Ihnen meinen besten Dank aussprechen will. Gleichweise danke ich allen anderen Personen, die auf verschiedene Weise meine Tätigkeit gefördert haben. Ganz besonders dankbar bin ich Frau MARIANNE KAHANPÄÄ, die mit grosser Sorgfalt den Text in die deutsche Sprache übertragen hat. Die Forstwissenschaftliche Gesellschaft Finnlands veröffentlicht freundlicherweise die Untersuchung in ihrer Publikationsserie.

Helsinki, im November 1975

YRJÖ KANGAS

O. EINLEITUNG

Die Bonitierung der Waldbestände dürfte in der Praxis ebenso lange angewandt worden sein, wie es organisierte Forstwirtschaft gegeben hat. Die Bonität und die hierfür geschaffenen Klassen haben auch in der Forstwirtschaft, insbesondere im Zusammenhang mit der Forsteinrichtung, von jeher eine zentrale Stellung eingenommen. Gewöhnlich hat man dann eine Beschreibung der Bonitätsstufe der verschiedenen Bestände angestrebt, vor allem wenn Ertragstafeln als Leitfaden für die praktische Forstwirtschaft ausgearbeitet wurden. Diese Klassifizierung hat natürlich auch noch andere praktische Zwecke gehabt; ein Beispiel hierfür ist ihre Anwendung für die Besteuerung der Wälder bei uns in Finnland (vgl. LIHTONEN 1959, S. 128—129).

Die Frage, was unter Bonität, die an und für sich ganz unverkennbar ein gewisses allgemeines Bestandesmerkmal darstellt, eigentlich verstanden wird, scheint früher, da ihre Anwendung zu verschiedenen Zeiten und in verschiedenen Ländern weitgehend von verschiedener Art war, als ein rein praktisches Problem gelöst worden zu sein. Es hat den Anschein, dass sie als Begriff bis in die allerjüngste Zeit hinein nicht eingehender ausgedeutet worden ist. Aufgrund reiner Erfahrung hat man sich damit begnügt, bloss erwägungsmässig nur ein einziges für diesen Zweck geeignetes Bestandesmerkmal zu wählen, auf dem dann jeweils ein subjektives Klassifizierungssystem aufgebaut wurde. Erst im Jahr 1966 hat ASSMANN in seinem Vortrag auf der zweiten Ertragskundetagung in Wien als Erster durch eine ganz eindeutige Definition eines Bonitierungssystems den Bonitätsbegriff im allgemeinen Sinne vorgelegt. Auf diese Auslegung von ASSMANN werde ich später (S. 11) eingehender zurückkommen, weil sie besonders gut dem mathematischen Modell entspricht, das wieder den Ausgangspunkt für den Bonitätsbegriff der vorliegenden Untersuchung abgegeben hat.

Anfänglich wurde in der Forstwirtschaft fast ausschliesslich als Merkmal der Bonität eines Bestandes seine Mittelhöhe angewandt,

später sind jedoch anstatt dessen noch andere Merkmale hinzugekommen, in erster Linie der mittlere jährliche Zuwachs zu einem bestimmten Zeitpunkt, *sellener* auch die Oberhöhe.

Bei uns in Finnland ist man von Anfang an bestrebt gewesen, solche indirekte Bonitierungsgrundlagen zu vermeiden, und hat stattdessen die Klassifizierung der Waldbestände aufgrund der natürlichen Fruchtbarkeit des Waldbodens vorgenommen (vgl. BLOMQUIST 1872). Dieses System hat dann naturgemäss CAJANDERS (1909) auf wissenschaftlichem Grund entwickeltes Waldtypensystem zum Ausgangspunkt genommen, besonders noch weil festgestellt werden konnte (ILVESSALO 1920), dass die Typen durchschnittlich deutlich voneinander abweichendes Bonitätsniveau der Standorte der Bestände anzeigen. Hinsichtlich dieser Bonitierungsunterlage sei hier auf LIHTONEN (1959, S. 116—117) verwiesen, der allerdings schon im gleichen Zusammenhang die Möglichkeit erwähnt, dass »wir binnen kurzem für die Bonitierung der Wälder nach ganz neuen Grundlagen suchen müssen« (auf finnisch, vom Verfasser überstezt). Anderwärts in der Welt ist dieses Verfahren — besonders anfänglich — auf gelegentlich sehr scharfe Kritik gestossen, aber mit der Zeit scheint es auch dort immer mehr Anklang als Kennzeichen des Waldbodens gefunden zu haben.

Ernsthafter scheint man sich mit dem Problem der Bonitierung erst seit relativ kurzer Zeit befasst zu haben. Zwar hat man sich in Mitteleuropa, zuvörderst in Deutschland, zeitweilig mit den Widersprüchen beschäftigt, die zwischen den Werten der Ertragstafeln und der wirklichen Entwicklung der Bestände auftraten. Im allgemeinen ist man aber geneigt gewesen, derartige Fälle nur als durch manche zufallsbedingte Faktoren bedingte Ausnahmen zu erklären. Zum Teil ist man der Sache auch gründlicher nachgegangen, u.a. hat man versucht, diese Probleme aufgrund einer gewissen »dynamischen Bonitierung« zu klären (z.B. ASSMANN 1961, S. 176 und

MITSCHERLICH 1972), aber auch hiergegen sind kritische Stimmen laut geworden.

Einwirkungsfaktoren auf die Bonität des Bestandes, und zwar zunächst die Wirkung gewisser bodenmässiger, zunächst edaphischer Faktoren, sind in Europa bisher ziemlich wenig untersucht worden, was zweifelsohne daher kommt, dass sich derartige Untersuchungen schwer verwirklichen lassen. PATERSONS (1956) auf klimatischen Faktoren fussender sog. GVP-Index hat sowohl Aner-

kennung wie auch Kritik gefunden (vgl. WECK 1962). Ausserdem haben u.a. MOOSMAYER und SCHÖPFER (1972) aufgrund gewisser Standortfaktoren nach funktionellem Zusammenhang zwischen Bonität und Bestand gesucht. Auch in Amerika sind entsprechende Untersuchungen zur Lösung des Bonitätsproblems aufgrund von Standortfaktoren gemacht worden (s. BERUTSEN 1971, S. 14).

Ersthafter scheint man sich mit dem Problem der Bonitierung erst seit relativ kurzer Zeit befasst zu haben. Zwar hat man sich in Mitteleuropa, zuvörderst in Deutschland, zeitweilig mit dem Widerspruch beschäftigt, die zwischen den Werten der Ertragsstatistik und der wirklichen Entwicklung der Bestände anzufassen. Im allgemeinen ist man aber geneigt gewesen, derartige Fälle nur als durch manche zufällige bedingte Faktoren bedingte Ausnahmen zu erklären. Zum Teil ist man der Sache auch gründlicher nachgegangen, u.a. hat man versucht, diese Probleme aufgrund einer gewissen dynamischen Bonitierung zu klären (z.B. ASSMANN 1961, S. 176 und

Die Frage, was unter Bonität, die an und für sich ganz unverständlich ein gewisses allgemeines Bestandsmerkmal darstellt, eigentlich verstanden wird, scheint früher, als ihre Anwendung zu verschiedenen Zeiten in verschiedenen Ländern weitgehend von verschiedener Art war, als ein rein praktisches Problem gelöst worden zu sein. Es hat den Anschein, dass sie als Begriff, der in die alljährliche Zeit hinein nicht eingehender abgeändert worden ist, auf Grund seiner Erfahrung hat man sich damit begnügt, dieses ergebnismässig nur ein einziges für diesen Zweck geeignetes Bestandsmerkmal zu wählen, auf dem dann jeweils ein subjektives Klassifizierungssystem aufgebaut wurde. Erst im Jahr 1966 hat ASSMANN in seinem Vortrag auf der zweiten Ertragskonferenz in Wien als Erster durch eine ganz eindeutige Definition eines Bonitierungssystems den Bonitätsbegriff im allgemeinen Sinne vorgelegt. Auf diese Auslegung von ASSMANN werde ich später (S. 11) eingehender zurückkommen, weil sie besonders gut dem mathematischen Modell entspricht, das wieder den Ausgangspunkt für den Bonitätsbegriff der vorliegenden Untersuchung abgegeben hat.

Anlässlich wurde in der Forstwirtschaft fast ausschliesslich als Merkmal der Bonität eines Bestandes seine Mittelhöhe angewandt,

1. BISHER ANGEWANDTE BONITIERUNGSMETHODEN

Auf dem Kongress der IUFRO im Jahre 1969 hatte eine seiner Sektionen die Aufgabe, den Begriff 'Waldboden' zu definieren und seine Bonitätsklassifizierung zu prüfen. Der auf Veranlassung dieser Sektion veröffentlichte Bericht enthält u.a. Übersichten von den in der Forstwirtschaft in Europa (NYSSÖNEN 1971) und den Vereinigten Staaten (BERUTSEN 1971) auftretenden Bonitierungsproblemen und eine Zusammenfassung von den heutzutage gebräuchlichen Bonitierungsmethoden. Ausserdem werden u.a. in zwei Publikationen von ASSMANN (1961 und 1967) besonders die in Mitteleuropa üblichen Bonitierungsverfahren eingehend besprochen. Es wäre somit zwecklos, sie in diesem Zusammenhang erneut zu referieren. Unten soll nur auf gewisse allgemeine Gesichtspunkte verwiesen werden, die ausgesprochen als Hintergrund der vorliegenden Untersuchung Bedeutung haben können (vgl. auch MOOSMAYER 1971).

Zuvor mag aber doch kurz festgestellt werden, dass die bisherigen Bonitierungsmethoden in zwei grössere Hauptgruppen eingeteilt werden können, die hinsichtlich ihrer Grundidee voneinander abweichen, nämlich

- 1) die relativen Bonitierungen und
- 2) die absoluten Bonitierungen.

Vom Standpunkt dieser Einteilung am meisten von den anderen abweichend, vielleicht am besten qualitativ zu klassifizieren ist unser finnisches Steuerklassensystem, das zu den relativen Methoden gehören dürfte; quantitative Bestandsmerkmale sind in seinem Strukturprinzip überhaupt nicht enthalten, obschon sie bei den praktischen Anwendungen zweifellos Wirkung haben (vgl. ILVESSALO 1956, S. 43). Aber auch anderwärts scheinen von den quantitativen gebräuchlichen Verfahren (vgl. hierüber z.B. ASSMANN 1961, PETRINI 1948 und PRODAN 1965) die meisten relativer Art zu sein, und die von ihnen gelieferten Resultate lassen sich somit nicht miteinander vergleichen (vgl. ERTELD 1971).

Auf absolute Bonitätswerte hinzielende Bonitierungsmethoden gibt es an und für sich ziemlich wenig. Die bekannteste ist vielleicht das amerikanische »site index«-

Prinzip (vgl. z.B. SPURR 1952), worin ein gewisses Bestandsmerkmal (zunächst Volumen oder Höhe), bezogen auf ein passendes Alter (oft 50 Jahre), den Bonitätswert des Bestandes angibt. Auch in Europa ist man bestrebt gewesen, absolut bezweckte Bonitierungsmethoden anzuwenden, zuerst offenbar in Schweden (JONSON 1914). In Deutschland ist als eine solche absolute Lösung allgemein ein Verfahren angewandt worden, das als »Bonitierung der Gesamtwuchsleistung« (dGZ-System) bezeichnet wird. Darin soll der durchschnittliche Gesamtwuchs des Bestandes bis zu einem bestimmten, für zweckmässig erachteten Alter den Bonitätswert des Bestandes angeben. Das System basiert jedoch nach PRODAN (1965, S. 597) »auf der stochastischen Beziehung zwischen Bestandesmittelhöhe und Gesamtwuchsleistung«, die seiner Auffassung gemäss dann eigentlich eine »umgerechnete Höhenbonitierung« ist und somit zu den relativen Klassifizierungsprinzipien gehört. Im ganzen scheint die Frage vom Wesen der bisherigen Bonitierungsmethoden also sehr weitgehend subjektiven Erwägungen unterworfen zu sein.

Im allgemeinen lässt sich wohl sagen, dass in fast allen bisher angewandten Bonitierungsmethoden in dieser oder jener Form sich mehr oder weniger deutlich ein gewisser subjektiver Grundcharakter geltend macht. Schon allein der Umstand, dass das Verfahren auf einem einzigen Bestandsmerkmal fusst, das aufgrund subjektiver Erwägung gewählt wird, führt dazu, dass diese Methode kritisch betrachtet im Grunde für subjektiv gelten muss. Ein solches jeweils angewandtes einzelnes Merkmal vermittelt in Wirklichkeit stets ein bis zu gewissem Grad einseitiges Bild von der Güte des betreffenden Waldbestandes. Ein zweiter wesentlicher allgemeiner Charakterzug der heutigen Verfahren ist es, dass auch die im Prinzip absoluten Methoden bis auf relativ wenige Ausnahmefälle in der Praxis direkt als Klassifizierungen angewandt werden. Aufgrund solcher Klassifizierungen ist es nicht möglich, die Güte der Bestände verschiedener Baumarten oder von diesen gebildeter Mischbestände miteinander zu vergleichen.

2. DIE ZIELE DER UNTERSUCHUNG

Der in der vorliegenden Untersuchung genommene Ausgangspunkt kann im Vergleich zu den früheren für ganz neu gelten. Das Ziel ist nämlich, die Güte des Waldbestandes in die Form einer absoluten Messgrösse zu bringen, deren Werte den absoluten Messwerten jedes anderen Bestandsmerkmals oder beliebigen Werten im weiteren Sinne und die Seite gestellt werden könnten. In diesem Sinne kann also von der Denkweise ausgegangen werden, dass, obgleich die Bonität nur für eines von allen Merkmalen des Bestandes gelten kann, sie zugleich doch insofern ihren eigenen Charakter besitzt, als sie *die Wirkung aller Bestandsmerkmale zusammen einbezieht*, und man sie somit als eine allgemeine Messungsgrundlage für ein die Güte des ganzen Bestandes vorstellendes Merkmal betrachten kann. Ein solches Verfahren kann natürlich auf jedem beliebigen Prinzip aufgebaut sein, sofern es nur seine Aufgabe erfüllt, d.h. in Form eines passenden Bonitätsmasses ein zuverlässiges Bild von der Güte der verschiedenen Bestände liefert. Das methodische Prinzip, die Anwendung der sog. Bonitierungsfunktionen, die der eigentliche Gegenstand der vorliegenden Untersuchung ist, stellt somit nur eine Anwendungsmöglichkeit des obigen Prinzip dar. Es hat aber den Anschein, dass wenigstens bis auf weiteres gerade dies die Lösung ist, die für die Messung der Bonität am zweckmässigsten ausgenutzt werden kann. Zuvörderst daher kommt es, dass in der folgenden Besprechung der allgemeinen Grundlagen der Messung der Bonität die Anwendung der Bonitierungsfunktionen zwangsläufig eine gewisse Sonderstellung einnimmt, ja sogar sehr eingehend dargelegt wird. Dass auch auf das Kontrollmaterial der Untersuchung ausgesprochen dieses Verfahren angewandt worden ist, spielt dabei eine Rolle. Ganz offenbar ist es jedoch so, dass im allgemeinen entsprechende Prinzipien, die bei der Anwendung des Bonitierungsfunktionsprinzips hervortreten, bei jedem beliebigen anderen für die Messung der Bonität entwickelten System zum Vorschein kommen, auch wenn

es hinsichtlich seiner allgemeinen Struktur noch so sehr von dem Bonitierungsfunktionsprinzip dieser Untersuchung abweicht.

Für das Bonitierungssystem selbst sind der vorliegenden Untersuchung folgende zwei Hauptprinzipien zum Ziel gesteckt worden

einerseits

1) die Messung der Bonität auf genügend viele Merkmale zu gründen, wodurch eventuelle Fehlwirkungen möglichst effektiv eliminiert werden können,

und andererseits

2) das Bonitätsmass gleich den anderen Bestandsmerkmalen als eine absolute Messgrösse zum Ausdruck zu bringen, ohne die durch willkürliche diskrete Klassengrenzen verursachten Einschränkungen. Diese Voraussetzung schliesst natürlich nicht die Möglichkeit aus, beim praktischen Bonitieren eine geeignete Klassifizierung heranzuziehen, wenn ein solches Vorgehen zweckmässig erscheint.

Im Hinblick auf diese Möglichkeit ist im Zusammenhang mit der Untersuchung auch versucht worden, die Prinzipien zu klären, auf denen eine solche Klassifizierung bei Bedarf aufzubauen wäre. Das Ziel wäre dann ein Verfahren, nach welchem in der gleichen Bonitätsklasse wirklich möglichst gleichwertige Bestände eingestuft werden könnten, so dass die gebildeten Klassen möglichst homogen wären. Der natürliche Ausgangspunkt eines solchen Klassifizierungsprinzips ist selbstverständlich, dass die Klassengrenzen durch das Material selbst bestimmt werden können, wobei die Homogenität der Klassen eben das ausschlaggebende Kriterium abgibt.

In der vorliegenden Untersuchung war das alleinige Ziel, aus der von dem System der Bonitätsmessung der Bestände gebildeten Problemgruppe nur ihre theoretischen Grundlagen zu entwickeln. Sofern es gelingt, diesen Teil des ganzen mit der Bonität verknüpften Problemnäuels zu entwirren, sind offenbar alle Voraussetzungen gegeben, für die Bonitierungsfrage auch eine Lösung im weiteren Rahmen zu finden, d.h. ihre

TEIL 1. ALLGEMEINE THEORIE DES BONITIERUNGSSYSTEMS

1. DER BEGRIFF DER BONITÄT

11. Die Bonität als Teil des allgemeinen Wachstumsmodells der Bäume

Es versteht sich von selbst, dass vom mathematisch-statistischen Gesichtspunkt auch der Begriff der Bonität sich von dem Modell ableiten lässt, das der Verfasser schon in seiner früheren Untersuchung als allgemeines Modell des Wachstumsprozesses der Bäume dargelegt hat (KANGAS 1968, S. 24–27). Im folgenden soll nur das kurz besprochen werden, was zur Gewinnung eines Bildes vom Inhalt und der Bedeutung der Bonität als ein Teil dieses Gesamtmodelles erforderlich ist.

An und für sich hat jedes Baumindividuum schon seine eigene Wachstumsfunktion. Diese ist jedoch am ehesten nur als einer der Charakterzüge seiner individuellen Struktur aufzufassen. Erst der Bestand wird demgemäss die hierarchische Grundeinheit des allgemeinen Wachstumsmodells bilden. Die Bestände ihrerseits wieder bilden auch vom Gesichtspunkt der Bonitierung Gesamtheiten verschiedener Art, die auch Bestände verschiedener Stufen enthalten können. Diese können als Teilpopulationen einer bestimmten Gesamtpopulation aufgefasst werden. Sie können im Prinzip auf dem verschiedensten Grund aufgebaut sein. Als eine solche Teilpopulation können z.B. alle Bestände gewisser Gebiete oder auch voneinander getrennter Gebietsgruppen, gelten welche ihrerseits wieder im Rahmen eines grösseren Gebiets eine einheitliche Gesamtheit ausmachen, ganz dem entsprechenden Prinzip gemäss wie bei Ertragstabellen, von denen die für die jeweilige Baumart oder Baumartkombination bestimmten alle Bestände mit der betreffenden Struktur als eine Gesamtheit einschliessen. Ein solches System schliesst also nicht aus, dass die gleichen Bestände auch zu mehreren, hierarchisch unterschiedlich einzustufenden Teilpopulationen gehören können. Mathematisch gesehen werden die

Teilpopulationen also nicht exklusiv sein. Hinsichtlich jeder Gesamtpopulation hingegen wird es sich so verhalten. Diese wird nämlich nur von allen denjenigen Beständen gebildet, die ein bestimmtes, gemeinsames Kriterium erfüllen: auf ihre Wachstumsfunktion lässt sich ein gemeinsames Grundmodell anwenden. Dieses ist, anders als in den Teilpopulationen, rein theoretisch, ohne stochastische Eigenschaften. Das von ihm repräsentierte Modell ist die Grundlage ebenso gut für die theoretischen Wachstumsfunktionsmodelle aller Teilpopulationen, die sog. Erwartungswerte, wie auch für die geschätzten echten Funktionen, die sog. Realisationen. Nur so ist es möglich, im Rahmen einer jeden Gesamtpopulation die Eindeutigkeit und Einheitlichkeit aller darin enthaltenen Wachstumsfunktionen zu sichern.

Der Wachstumsvorgang der Bäume kommt als kombinierter Prozess zweier ihrem Wesen nach schroff voneinander abweichender Hauptgruppen zustande. Der eine Teilprozess, die Zeitfaktoren, ist dynamisch, bildet seinem Wesen nach einen rein *evolutionären* stochastischen Prozess. Das Gegenstück zu ihm ist wiederum der andere Teilprozess, dessen Gesamtwirkung deutlich statisch ist und gewissermassen eine Art von *stationärem* »Störungsprozess« bildet.

Zufolge der ausschlaggebenden Bedeutung der *Zeitfaktoren* haben die Wachstumsprozesse der Bäume im ganzen ausgesprochen das Wesen eines deutlich *evolutionären* stochastischen Prozesses. Da sie in Wirklichkeit alle nur einen einzigen Prozess repräsentieren, wird ihre Anzahl im Vergleich zu derjenigen der *Gütefaktoren*, der zweiten Hauptgruppe, niemals gross sein. Trotzdem regulieren sie zum ausschlaggebenden Teil den ganzen Verlauf des Wachstumsprozesses, indem sie den Rhythmus eines jeden Wachstumsereignisses mit allen ihren Eigenschaften bestimmen. Unter den in diesem Zusammenhang geltenden Verhältnissen wird in Teilpopulationen

der betreffende Teilprozess, sowohl hinsichtlich seines Erwartungswerts wie auch seiner Realisationen, in einem mehr oder weniger engen Regressionsverhältnis zum stationären Teilprozess stehen.

Im Gegensatz zum Zeitprozess ist dieser stationäre Teilprozess eine sehr mannigfaltige und komplizierte Gesamtheit von verschiedenen stochastischen Prozessen, die in den Realisationen der Wachstumsfunktionen eben zu Abweichungen führen und ihnen so ihre stochastische Natur verleihen. In Wirklichkeit setzt sich der stationäre Teilprozess hauptsächlich aus zahllosen Kleinprozessen zusammen, die sich entweder einzeln oder gewöhnlicher als Prozesskomplexe verschiedenen Grades geltend machen. Obwohl also jeder dieser Kleinprozesse einen selbständigen, aber doch von den anderen nicht unabhängigen Prozess darstellt, machen sie zusammen eine Gesamtheit aus, die ausgesprochen das Wesen eines deutlich stationären stochastischen Prozesses hat, und auf welcher der Wachstumsprozess der Bäume in seinem zweiten Hauptteil aufgebaut ist. Ausnahmsweise können in diesem allerdings auch evolutionäre Prozesse enthalten sein, die wegen ihrer meist geringen und oft nur zufälligen Wirkung im allgemeinen nicht zum Vorschein kommen. Dennoch kann ein solcher Sonderprozess, wenn er genügend stark und beständig ist, im Lauf langer Zeiten den ganzen Teilprozess einigermaßen wandeln (z.B. Vermoorung, inaktiver Rohhumus usw.). Als eine Frage ganz für sich müssen wiederum die Massnahmen des Menschen behandelt werden, die in oft sehr radikaler Weise auf die Voraussetzungen für den Ertreg des Waldbodens eingreifen. Die Klärung dieses Problems erfordert offenbar spezielle Untersuchungen.

Allgemein gesehen kann man also vom statistisch-mathematischen Standpunkt sagen, dass die Güte eines Bestandes, seine *Bonität*, aus demjenigen Teil des Wachstumsmodells besteht, der sich unter Berücksichtigung der Wirkung des Zeitprozesses als Gesamtwirkung seines *stationären, das Ertragsniveau des Bestandes bestimmenden stationären Prozesses* geltend macht. Dieser tritt in den verschiedenen Realisationen einer jeden Population — sowohl in den

Wachstumsfunktionen selbst wie in den mittels dieser gewonnenen Werten — als Abweichungen von ihrem theoretischen Erwartungswert hervor.

Man muss in diesem Zusammenhang von der Sachlage ausgehen, dass die *Bonität unabhängig von der Einwirkung des Zeitprozesses* ist.

12. Die Bonität als forstwirtschaftlicher Begriff

Oben konnte der Begriff der Bonität vom mathematisch-statistischen Gesichtspunkt als ein anschaulicher und völlig eindeutiger Teil des allgemeinen Wachstumsmodells abgeleitet werden. Im folgenden soll besprochen werden, wie diese Auslegung, angewandt als forstwirtschaftlicher Begriff, sich geltend macht.

In diesem Sinne gibt ASSMANN eine klare und eingehende Definition von den an ein Bonitierungssystem¹⁾ zu stellenden Forderungen. Weil sie vollkommen mit dem oben vom mathematischen Gesichtspunkt dargelegten Grundgedanken übereinstimmt, soll diese seine Definition (1967, S. 45) hier zitiert werden:

»Das Bonitierungssystem muss vor allem eindeutig sein. Das heisst: Es muss das Einstufen von Beständen aller Baumarten in eine *universal gültige, einheitliche* Skala erlauben, die nicht nur *einen unmittelbaren Vergleich*, ohne Umrechnungen, innerhalb einer bestimmten Baumart, sondern auch *zwischen mehreren Baumarten* (oder Baumartkombinationen, vom Verfasser zugesetzt) ermöglicht, die etwa *auf einem gegebenen Standort vorkommen oder angebaut werden können.*» (Kursivierung vom Verfasser.)

Damit diese Definition von ASSMANN für eindeutig gelten kann, müssen die zwei Kriterien, »universal gültig« und »einheitlich« stets erfüllt sein. Hiervon ausgehend lässt sich sagen, dass der Begriff der Bonität folgende Grundzüge enthält:

Das Bonitätsmass muss die Güte des Bestandes in allen Verhältnissen ausdrücken können, mag es sich nun um die gleiche

¹⁾ Vgl., was SLOBODA (1975) in seiner Fussnote darüber aussagt.

Baumart an verschiedenen Standorten handeln oder um die Güteverhältnisse zwischen verschiedenen Baumarten an denselben oder alternativ an mehreren verschiedenen Standorten. In dieser Hinsicht muss der Begriff noch dahingehend erweitert werden, dass er auch alle verschiedenen Möglichkeiten der aus verschiedenen Baumartenkombinationen bestehenden Mischbestände einschliesst. Ferner muss er die verschiedene Verjüngungsart des Bestandes berücksichtigen, sowohl die natürliche als auch die durch Waldanbau stattfindende. Es liegt auf der Hand, dass solche Bestände hinsichtlich ihrer Güte u.U. sogar ganz bedeutsam voneinander abweichen können. Ein Problem für sich wird in diesem Zusammenhang künftig immer mehr die Wirkung der Baumzucht darstellen; hierüber wird aber erst in Zukunft ein zuverlässiges Bild zu gewinnen sein.

Wenn man die oben erwähnten Kriterien von ASSMANN anwendet, hat man vier gleichstellbare Ausgangspunkte zu berücksichtigen, deren gemeinsame Bedeutung für den Gebrauchswert einer entwickelten Methode ausschlaggebend ist. Diese Sachlage ist unabhängig vom Charakter der Bonitieremethode sowie auch davon, auf was für eine Totalpopulation sie angewendet wird. Diese Grundprinzipien, deren Wirkung letzten Endes den wirklichen Wert der entwickelten Methode gemeinsam bestimmt, sind folgende:

1) Für die Güte des Bestandes muss eine Masseinheit entwickelt werden können, die von einer genügend vielseitigen Grundlage ausgehend für einen Bestand das zuverlässige Bonitätsmass anzeigt.

2) Diese Masseinheit der Bonität muss an genügend viele direkte oder indirekte Merkmale gebunden werden können, die sich möglichst leicht hinreichend zuverlässig messen lassen. Ferner muss der Einfluss eines jeden Merkmals auf die Bonität des Bestandes in möglichst einfache Form gebracht werden, m.a.W. diese sollte in dieser Hinsicht mit den anderen entsprechenden Merkmalen möglichst gut übereinstimmen, so dass dadurch das Bonitierungsverfahren im ganzen eine möglichst einfache Form erhält.

3) Die verschiedenen Bestände müssen, unabhängig davon, um welche Baumart

oder Baumartkombination es sich handelt, und wie sie entstanden sind, aufgrund ihres Bonitätsmasses hinsichtlich ihrer Güte völlig einander gleichgestellt werden können.

4) Das Messverfahren für eine Bestandesartgesamtheit muss stets hinsichtlich seiner Repräsentativität auf so vollständigem Beobachtungsmaterial fussen, dass dadurch in allen ihren Beständen das ausreichend exakte Bonitätsmass zu gewinnen ist.

Ausgehend von diesen Grundprinzipien wird die *die Güte eines beliebigen Bestandes anzeigende absolute Masszahl, das Bonitätsmass, der Wert eines bestimmten auf objektive Weise entwickelten und eben für diesen Zweck festgesetzten Messverfahrens sein.*

Auf das so verstandene Bonitätsmass haben also solche qualitativen Faktoren der Bestandesstruktur, an welche seine Werte nicht gebunden sind, keinen Einfluss. Ein charakteristisches Beispiel hierfür ist die Verschiedenheit der Verfahren bei einzelnen Baumarten. Das Bonitätsmass eines gewissen Bestandes zeigt also an, wie gross seine absolute Güte bei Beständen verschiedener Beschaffenheit ist, wenn diese sich regelmässig an bestimmten (mutmasslich unveränderlichen) Standorten entwickelt haben. Eine grundsätzliche Voraussetzung in dieser Hinsicht ist, dass der Bestand sowohl seiner Struktur nach regelmässig ist als auch in seiner Entwicklung alle die von seinem Standort gebotenen Möglichkeiten voll und ganz ausgenutzt hat. Sofern ein Bestand diese Forderungen nicht erfüllt, setzt die Messung seines Bonitätsmasses im Prinzip voraus, dass man auch die Wirkung der jeweiligen Ausnahmefaktoren messen kann, so dass durch Eliminierung dieser Faktoren das Bonitätsmass des fraglichen Bestandes der Wirklichkeit entsprechend ermittelt wird.

Wenn man nun daran geht, ein Bonitieremsystem auf der Grundlage der oben besprochenen Anforderungen zu entwickeln, so ist die Voraussetzung dafür, dass man folgendes finden oder entwickeln kann:

- a) eine diesem Zweck entsprechende *Messungsunterlage*, auf der das Bonitieremsystem zuverlässig aufgebaut werden kann,
- b) eine bestimmte *Masseinheit*, mit deren

Hilfe die Bonität in absoluter Form ausgedrückt werden kann,

c) eine genügende Anzahl von solchen auf möglichst einfache Weise messbaren *Merkmalswerten*, die entweder direkt oder indirekt jeder für sich zuverlässig die wirkliche Bonität des Bestandes beschreiben, sowie

d) eine auf den obigen Punkten zusammen aufzubauende, möglichst zweckmässige, aber doch hinreichend zuverlässige *Messmethode*, und selbstverständlich noch

e) ein bezüglich seiner Repräsentativität

genügend reichliches *Probenmaterial* mit unverzerrter Verteilung, um den Zweck und die Aufgabe einer effektiven Messmethode zu kontrollieren.

Im folgenden Kapitel 3 werden diese verschiedenen Voraussetzungen zunächst im allgemeinen Sinne besprochen. Teilweise werden sie noch eingehender im Zusammenhang mit der getrennt stattfindenden Beschreibung des Bonitierfunktionssystems besprochen, welches auf das Kontrollmaterial im Teil 3 der vorliegenden Untersuchung angewandt worden ist.

Im Falle der Vereinigung mehrerer Bonitierungsverfahren kann das jeweilige Beobachtungsmaterial im ganzen so ausgenutzt werden, dass die von den oben genannten Teilverfahren ergebnen, exakteren Werte als Ausgangspunkt für die weiterlaufenden Methoden gelten. Es gibt natürlich auch andere Möglichkeiten, und selbstverständlich ist es immer zweckensprechend, in bestimmten Verhältnissen solche Methoden anzuwenden, welche weniger verlässliche Messwerte geben, wenn der Zweck der Boniierung oder sonstige entsprechende Ursachen es erlauben.

Die Bonitätsmessung von Beständen werden ja insbesondere in der praktischen Forstwirtschaft für die verschiedensten Zwecke gebraucht, und die Ansprüche an die Zuverlässigkeit wechseln weitgehend von Fall zu Fall. Gerade dann dürfte eine Abgrenzung, die ganze jeweilige Gesamtpopulation deckende Gesamtheit verschiedener Stufen von Boniierungsmethoden sowohl im Hinblick auf die Forschungsmethodik wie auch auf die praktische Forstwirtschaft ihre

regionalen Gesamtheit. Mit der oben erwähnten Gegenständlichkeit als Hintergrund kann man offenbar am besten davon ausgehen, dass man im Rahmen eines hinsichtlich seiner Anwendungsbereichs unterschiedenen Bonitierfunktionssystems zuerst auf seinen verschiedenen Alternativen im engeren Sinne unter Anwendung eines einheitlichen Modells separate Methoden anstellt, weil diese entsprechend zuverlässiger und eingehender zu beurteilen sind, als wie umgekehrt auch für bestimmte regionale Gesamtheit.

Bei der Planung einer gewissen Bonitiermethode wird man sich stets gezwungen sehen, in einer Linie zwei gegensätzliche Faktoren zu berücksichtigen. Dieser alternativen Wahl wird man immer begierig ganz gleichgültig, um was für eine Gesamtheit der Bestände (Tippopulation) es sich handelt. Je homogener diese jeweilig ist, umso verlässlichere Werte werden dann erzielt. Dies gilt ebenso gut für den strukturellen Typus der Bestände, ganzheit unabhängig von ihrer regionalen Lage, wie umgekehrt auch für bestimmte regionale Gesamtheit.

2. GRUNDCHARAKTER UND WIRKUNGSBEREICH DER SYSTEME

Das Ziel bei der Entwicklung von Bonitierungssystemen sollte natürlich im allgemeinen sein, dass man sie tatsächlich als objektiv ansehen könnte, weil erst dadurch den von ihnen ergebenden Resultaten theoretisch gesehen die Zuverlässigkeit garantiert wird, die das Beobachtungsmaterial jeweils ermöglicht. So müssten sich auch alle oben erwähnten Voraussetzungen prinzipiell auf objektivem Boden erfüllen lassen. Trotzdem ist man in der Praxis gezwungen, gewisse Entscheidungen, vor allem die Wahl der Messmethode selbst, in Wirklichkeit auf mehr oder weniger subjektivem Grund aufzubauen, natürlich unter Heranziehung aller möglichen diesbezüglichen Information. Andererseits kann man allerdings sagen, dass die Brauchbarkeit der Methode im Prinzip auch in gewissem Sinne seine Objektivität zeigt. Ausserdem steht nichts im Wege, wenn man, sofern ein solches Vorgehen für begründet erachtet wird, verschiedene willkürliche Alternativen durch mathematisch-statistische Mittel miteinander vergleichen will.

Bei der Planung einer gewissen Bonitierungsmethode wird man sich stets zeigen sehen, in erster Linie zwei gegensätzliche Faktoren zu berücksichtigen. Dieser alternativen Wahl wird man immer begegnen, ganz gleichgültig, um was für eine Gesamtheit der Bestände (Teilpopulation) es sich handelt. Je homogener diese jeweilig ist, umso verlässlichere Werte werden dann erzielt. Dies gilt ebenso gut für den strukturellen Typus der Bestände-ganzheit, unabhängig von ihrer regionalen Lage, wie umgekehrt auch für bestimmte regionale Gesamtheit.

Mit der oben erwähnten Gegensätzlichkeit als Hintergrund kann man offenbar am besten davon ausgehen, dass man im Rahmen eines hinsichtlich seines Anwendungsbereichs umfassenderen Bonitierungssystems zuerst mit seinen verschiedenen Alternativen im engeren Sinne unter Anwendung eines einheitlichen Modells separate Methoden anstrebt, weil diese entsprechend zuverlässiger und eingehender zu begründen sind.

Aus mehreren derartigen Methoden kann man dann betreffs ihres Anwendungsgebiets immer weitere, aber hinsichtlich der Zuverlässigkeit natürlich entsprechend schwächere Methoden zusammenfügen. Als eine theoretische Obergrenze muss notgedrungen eine einzige, für die ganze betreffende Gesamtpopulation herausgebildete Bonitierungsmethode gelten. In diesem Zusammenhang ist es in der Praxis immer unvermeidlich, die Eignung der Bonitierungs-methoden in Betracht zu ziehen: je grösser ihre Anzahl für verschiedene Baumartkombinationen ist, desto verlässlichere Werte sind mit ihnen zu gewinnen, aber desto beschränkter ist auch ihr Anwendungsgebiet, und umgekehrt je grösser das Anwendungsgebiet der Methode wird, umso weniger verlässlich werden auch ihre Werte sein. Trotzdem ist nicht selten die letztere Alternative mit ihren weniger verlässlichen Werten die einzige brauchbare Lösung für die in Frage kommende Bonitierungs-methode.

Im Falle der Vereinigung mehrerer Bonitierungs-methoden kann das jeweilige Beobachtungsmaterial im ganzen so ausgenutzt werden, dass die von den oben genannten Teilverfahren ergebenden, exakteren Werte als Ausgangspunkt für die weitumfassenderen Methoden gelten. Es gibt natürlich auch andere Möglichkeiten, und selbstverständlich ist es immer zweckentsprechend, in betreffenden Verhältnissen solche Methoden anzuwenden, welche weniger verlässliche Messwerte geben, wenn der Zweck der Bonitierung oder sonstige entsprechende Ursachen es erlauben.

Die Bonitätsmasse von Beständen werden ja insbesondere in der praktischen Forstwirtschaft für die verschiedensten Zwecke gebraucht, und die Ansprüche an die Zuverlässigkeit wechseln weitgehend von Fall zu Fall. Gerade dann dürfte eine abgestufte, die ganze jeweilige Gesamtpopulation deckende Gesamtheit verschiedener Stufen von Bonitierungs-methoden sowohl im Hinblick auf die Forschungsarbeit wie auch auf die praktische Forstwirtschaft ihre

Bedeutung haben. Ausgangspunkt wären bei dieser Stufung natürlich, zunächst für den Bedarf der Wissenschaft, die Bonitierungsverfahren, die ein kleines Anwendungsbereich haben, dafür aber umso genauere Messwerte ergeben. Bei uns in Finnland würde dies Funktionen der einzelnen Baumarten und Baumartkombinationen für die verschiedenen Wachstumszonen des Landes bedeuten. Aus diesen könnten als Zwischenstufen auf passenden Approximationsfunktionen (s. hierüber Anhang 2) basierende Lösungen entwickelt werden, die man z.B.

im Staatswald und in Wäldern der Holzindustrie ausnutzen könnte. Die einfachsten, z.T. vielleicht in Tabellen- oder Diagrammform aufgebauten Bonitierungsverfahren wiederum könnten den einfachsten Zwecken dienen, wie z.B. der Praxis der Steuerklassifizierung. Ihre Stellung in dieser Hierarchie bildet eine allgemeine, für alle Baumartkombinationen gültige Bonitierungsverfahren, welche doch auf den erstrangigen Methoden der betreffenden Klimazone aufgebaut werden sollte.

Wenn die Unterteilung in dem Bonitierungsverfahren das Bonitierungsverfahren ist, also ein bestimmtes für alle zu Bonitierenden Bestände gültiges absoluter Wertesystem, dann jeder zu Bonitierende Bestand für die Bonitierung auf diesen oder jenen Wertesystem der jeweils anzuwendenden Bonitierungsmethode übertragen werden können, ganz unabhängig davon, welches Entwicklungstadium der jeweilige Bestand jeweils gegenwärtig präsentiert, es sich als Jugendbestand, im Reifealter oder als alter Bestand zeigt. Wenn man sich nun überlegt, wie diese Teilung der Unterteilung des Bonitierungsverfahrens sich in der Praxis verwirklichen lässt, so muß man zwei verschiedene Probleme zunächst vor sich stellen. Einmal ist es die Frage, wie man die verschiedenen Arten der Bonitierungsmethoden, die sich am besten für die Bonitierungsmethode eignen, in der Praxis anzuwenden weiß, und

es ist dann schon klar, daß man sich bei der Bonitierungsmethode, die man als solche einen passenden absoluten Wertesystem anzuwenden. In Verhältnissen, in denen für die Bestände relative Gleichmäßigkeit und genügend langer Jungerbestand vorliegen, scheint diese Methode am besten zu passen. Als ein Beispiel für andere Alternativen läßt sich als eine zweite in solchen Verhältnissen denkbar die Methode der maximalen Zuwachses des Bestandes anführen, aber der Umstand, daß diese die gleiche Entwicklungstadium des Bestandes besonders in Wirtschaftswäldern nicht genügend anwendbar ist, erklärt, weshalb die diesbezüglichen Möglichkeiten in der Praxis weitgehend ein- geschränkt sind. In Mittelamerika ist für die auf Beständen verschiedenen Alters gründende Bonitierungsmethode als Grundlage für die Bonitierungsmethode der mittleren Höhe auch der Durchmesser vorgeschlagen worden.

Die Frage, welche Weise die natürlich für alle Teilpopulationen eines Bestandes Gesamtpopulation die gleiche sein muß, werden die Daten bis zu dem vom betrachteten Bonitierungssystem vorzugeleiteten Bonitierungsmethode übertragen, um nachfolgend die Bonitierungsmethode in der Praxis anzuwenden. Kapitel 12 dieses Teils behandelt, weshalb in diesem Zusammenhang nur die das Bonitierungsmethode betreffenden Probleme hier kurz zu erwähnen. Die wichtigsten Ergebnisse dieser Frage gibt zugleich der Ausschlag für die Effektivität des ganzen Systems und hat somit eine ganz entscheidende Bedeutung für das Gelingen des ganzen Systems. Das Bonitierungsmethode ist natürlich im Rahmen der ganzen Teilpopulation ein und dasselbe. Es kann jedoch für gewisse unterschiedliche Einzelfälle etwa für die Zwecke einer Forschungsarbeit geschiedlich sein, das man exzeptionell eine vom allgemeinen

ausser der mittleren Höhe auch der Durchmesser vorgeschlagen worden. (Mittlerweile 1952). Es erscheint auch durchaus denkbar, dass man die Bonitierungsmethode unter Heranziehung anderer Merkmale in solchen Verhältnissen direkt auf den mittleren Durchmesser gründen könnte. Ferner kann man in Gebieten, wo die Wachstumschwierigkeit der Bestände in sehr weiten Grenzen variiert, die Unterteilung ganz ungekehrt setzen um zu einem effektiveren Bonitierungsmethode zu kommen. Somit könnte diejenige Alternative der Bestände oder eventuell einer von ihnen gebildet sein, in welcher sie zusammen einen bestimmen als Unterteilung erwarten Gesamtergebnis ergeben, dann ein der Wirtschaftlichkeit besser entsprechendes Bonitierungsmethode angeben.

In dieser Untersuchung wird nur die mit dem Bestandesalter verknüpfte Unterteilung näher besprochen, weil eben das Alter das am besten beschriebenen Bestandes bis zu

3. DIE BILDUNG EINES BONITIERUNGSSYSTEMS

31. Die Unterlage eines Bonitierugssystems

Als an die Messung der Bonität gebundene Unterlage kommt prinzipiell natürlich jede beliebige, für diesen Zweck geeignete Grundlage in Frage. In Mittel- und Nordeuropa ist man schon seit den Anfängen der rationalen Forstwirtschaft gewöhnt, als solche einen passenden absoluten Alterszeitpunkt anzuwenden. In Verhältnissen, in denen für die Bestände relative Gleichaltrigkeit und genügend langer Umtrieb charakteristisch sind, scheint dieses Prinzip seinen Zweck auch gut zu erfüllen. Als ein Beispiel für andere Alternativen lässt sich als eine zweite in solchen Verhältnissen denkbare Unterlage der Zeitpunkt des maximalen Zuwachses des Bestandes anführen, aber der Umstand, dass dieser die späteren Entwicklungsstadien des Bestandes besonders in Wirtschaftswäldern nicht genügend eindeutig erklärt, schränkt die diesbezüglichen Möglichkeiten in der Praxis weitgehend ein. In Mitteleuropa ist für die auf Beständen verschiedenen Alters gründende Plenterwirtschaft als Grundlage für die Bonitierung ausser der mittleren Höhe auch der Durchmesserzuwachs vorgeschlagen worden (MITSCHERLICH 1952). Es erscheint auch durchaus denkbar, dass man die Bonitierung unter Heranziehung geeigneter Merkmale in solchen Verhältnissen direkt auf den mittleren Durchmesser gründen könnte. Ferner kann man in Gebieten, wo die Wachstumsgeschwindigkeit der Bestände in sehr weiten Grenzen variiert, die Unterlage ganz umgekehrt setzen, um zu einem effektiven Bonitierungsverfahren zu kommen. Somit könnte derjenige Alterszeitpunkt der Bestände oder eventuell einer von ihnen gebildeten Serie, in welcher sie zusammen einen bestimmten, als Unterlage erwägten Gesamtertrag erreichen, dann ein der Wirklichkeit besser entsprechendes Bonitätsmass abgeben.

In dieser Untersuchung wird nur die mit dem Bestandesalter verknüpfte Unterlage näher besprochen, weil eben das Alter des betreffenden Bestandes wenigstens bis auf

weiteres weitaus am häufigsten als Unterlage angewandt wird, ausgesprochen auch in finnischen Verhältnissen und in den entsprechenden forstwirtschaftlichen Gebieten. Auch wurde in der auf das Kontrollmaterial der Untersuchung (Teil 3) angewandten Bonitierungsfunktionsmethode das gleiche Prinzip befolgt.

Wenn die Unterlage in dem Bonitierungsverfahren das *Bonitierungsalter* ist, also ein bestimmter, für alle zu bonitierenden Bestände gleicher absoluter Alterszeitpunkt, muss jeder zu bonitierende Bestand für die Bonitierung auf diese oder jene Weise in das jeweils anzuwendende Bonitierungsalter übertragen werden können, ganz unabhängig davon, welches Entwicklungsstadium der fragliche Bestand jeweils gegenwärtig repräsentiert.

Wenn man sich nun überlegt, wie diese Teilphase der Entwicklung des Bonitierungssystems sich in der Praxis verwirklichen lässt, hat man zwei verschiedene Probleme zu lösen:

- 1) welcher absolute Alterszeitpunkt eignet sich am besten für das Bonitierungsalter, und
- 2) auf welche Weise, die natürlich für alle Teilpopulationen einer bestimmten Gesamtpopulation die gleiche sein muss, werden die Daten bis zu dem vom betreffenden Bonitierungssystem vorausgesetzten Bonitierungsalter übertragen.

Das letztere Problem wird später in Kapitel 32 dieses Teils behandelt, weshalb in diesem Zusammenhang nur die das Bonitierungsalter betreffenden Probleme besprochen werden.

Die möglichst erfolgreiche Lösung dieser Frage gibt zugleich den Ausschlag für die Effektivität des ganzen Systemes und hat somit eine ganz entscheidende Bedeutung für das Gelingen des ganzen Systems. Das Bonitierungsalter ist natürlich im Rahmen der ganzen Totalpopulation ein und dasselbe. Es kann jedoch für gewisse abweichende Einzelfälle, etwa für die Zwecke einer Forschungsarbeit gerechtfertigt sein, dass man exzeptionell eine vom allgemeinen

Bonitierungsalter abweichende Unterlage heranzieht. Jedenfalls muss also auch für diese Fälle das allgemeine Bonitierungsalter als Unterlage der wirklichen Bonitierung ermittelt werden.

Da die Dauer der normalen Entwicklung von Beständen wegen deren unterschiedlichem Wachstumsrhythmus in sehr weiten Grenzen schwankt, kann man hinsichtlich des Bonitierungsalters natürlich zu keiner eindeutigen Entscheidung kommen. Daher muss man stets nach einer solchen Durchschnittslösung suchen, die die Zuverlässigkeit des Bonitätsmasses möglichst wenig beeinträchtigt.

Es ist klar, dass das Bonitierungsalter den Anforderungen der wirtschaftlichen Tätigkeit angepasst werden muss. Aus dieser Sicht kann der Zeitpunkt des maximalen jährlichen Zuwachses nicht in diesem Zusammenhang (vgl. S. 15) angewandt werden. Als eine natürliche Alternative kommt dann das biologische Reifealter der Bestände in Frage, als welches der Zeitpunkt gelten kann, zu welchem der durchschnittliche Zuwachs des Bestandes seinen jährlichen Zuwachs übertrifft (vgl. z.B. ASSMANN 1961). Es ist auch eng mit dem wirtschaftlichen Verjüngungszeitpunkt des Bestandes verknüpft, und somit an und für sich auch mit seinem Umtrieb.

Das oben erwähnte biologische Reifestadium der Bestände hat also sowohl an verschiedenen Standorten wie auch bei verschiedenen Baumarten weitgehende und elastische Variierung. Ausserdem handelt es sich heutzutage bei weitaus den meisten Wäldern um wirtschaftlichen Zielen dienende Entscheidungen. Deswegen gibt es scheinbar keinen berechtigten Anlass mehr, die natürliche biologische Entwicklung des Bestandes als Ausgangspunkt in Frage zu stellen. Es ist somit am zweckmässigsten, die Frage des Bonitierungsalters so zu erwägen, dass man *den Bestand als Objekt wirtschaftlicher Tätigkeit* wenigstens im Rahmen seines Umtriebes *zum Ausgangspunkt nimmt*.

Hiervon ausgehend sind zunächst zwei Alternativen denkbar.

1) man geht entweder vom biologischen Hiebsreifestadium des Bestandes aus, vorausgesetzt, dass es durchschnittlich in den von der wirtschaftlichen Tätigkeit dem

Alter des Bestandes gesteckten Grenzen liegt, oder

2) man erwägt als Unterlage einen gewissen allgemeinen, rationeller wirtschaftlicher Tätigkeit gemässen Verjüngungszeitpunkt.

Auf jeden Fall steht man immer vor der gleichen entscheidenden Frage, ob es möglich ist, einen hinreichend einheitlichen Zeitpunkt herauszufinden, der vor allem im biologischen Sinne für alle Bestände der betreffenden Totalpopulation möglichst gut geeignet wäre. Es sei nochmals wiederholt, dass das Herausfinden eines passenden, und zu möglichst zuverlässigen Messwerten führenden Zeitpunktes als Unterlage *eine der Grundfragen* ist, von denen es abhängt, *wie gut* das jeweils entwickelte *Bonitierungssystem sich in der Praxis bewähren wird*.

32. Die Masseinheit der Bonität

Damit die von ASSMANN an jedes Bonitierungssystem gestellte Voraussetzung, dass alle Bestände untereinander direkt, ohne Umrechnungen zu vergleichen sein müssen, erfüllt wird, ist es ausschlaggebend, dass man eine Masseinheit bildet, deren Skala dieser Voraussetzung genügt. Diese Forderung muss im Rahmen wenigstens einer Gesamtpopulation gelten, aber um wirklich allgemeingültig zu sein, müsste sie alle Bonitierungssysteme einschliessen, was doch kaum möglich sein dürfte. Aber praktisch betrachtet besteht kein Hindernis, auf mehrere Gesamtpopulationen eine gemeinsame Masseinheit der Bonität anzuwenden. In je weiterem Rahmen diese Voraussetzung verwirklicht werden kann, umso grösser wird ihre Bedeutung für die Waldwirtschaft sein.

Jedenfalls muss also eine einheitliche Skala aufgebaut werden können, die imstande ist, wenigstens im Rahmen einer Gesamtpopulation die gestellten Anforderungen zu erfüllen. Sie beruht entscheidend auf dem Prinzip des betreffenden Bonitierungssystems. Allgemein genommen dürfte der Gesamtertrag des Bestandes letzten Endes als der beste Indikator seiner Bonität (vgl. BERNTSEN 1971, S. 22), und somit im allgemeinen als direkter oder indirekter Ausgangspunkt für ihre Masseinheit anzusehen sein. Die

genaue Definierung der mit der Masseinheit der Bonität verknüpften allgemeinen Prinzipien im Hinblick auf alternative Bonitierungssysteme ist jedoch eine schwere Aufgabe. Davon, wie verschiedentlich die Masseinheiten oft gerade wegen der Beschaffenheit des Systems selbst ausfallen können, vermitteln die schon oben besprochenen (S. 15), als mögliches Beispiel angeführten Unterlagen der Bonitierung ein anschauliches Bild, besonders wenn man noch in Betracht zieht, dass bei ein- und derselben Unterlage mehrere alternative Masseinheiten in Frage kommen können. Eine Tatsache ist es ja, dass die Unterlage des Bonitierungssystems im allgemeinen auch die Wahl der dann anzuwendenden Masseinheit massgebend einschränkt. Um ein regelrechtes Abhängigkeitsverhältnis handelt es sich freilich in diesem Zusammenhang nicht. Viel eher kann man von einer qualitativen Korrelation dieser beiden Ausgangspunkte sprechen. Beim Herausarbeiten des Systems kann man daher ganz gut davon ausgehen, dass man erwägungsgemäss den einen der betreffenden Ausgangspunkte als primär ansetzt, und das eventuelle Mitnehmen der anderen ist dann, nicht selten in recht weiten Grenzen, wesentlich abhängig von der Grundlage, auf welcher die Masseinheit am zweckmässigsten aufgebaut wird.

Später, bei der Besprechung der auf das Kontrollmaterial angewandten Masseinheit und ihrer Motivierung (S. 34–35), der allgemeinen Beschreibung der Bonitierungsfunktion, wird der obenbesprochene Umstand sicherlich die mit dem Bildungsprinzip der Masseinheit verknüpften Fragen auch vom allgemeineren Gesichtspunkt beleuchten.

Der Bonitätsbegriff im engeren Sinne setzt voraus, dass der von der diesbezüglichen Messmethode ergebene Messwert an sich zugleich das Bonitätsmass des fraglichen Bestandes angibt. Es wäre dann natürlich, für die Masseinheit der Bonität eine Benennung von den Faktoren, auf welche sie begründet ist, abzuleiten oder ihr sonst eine eigene Benennung zu geben (z.B. »Bon«). Man könnte aber auch einen blossen Messwert, etwa dem Begriff »Bestimmtheitsmass« der mathematischen Statistik entsprechend anwenden, obgleich der Messwert der Bonität seinem Wesen nach ganz anders beschaffen ist.

Wenn dagegen die Anwendung des Bonitätsmasses als praktischer Wert in Frage steht, braucht die Art, auf welche er ausgedrückt wird, also seine Ausdrucksform, nicht mehr unbedingt in der oben besprochenen Weise streng an die Form der Masseinheit gebunden zu sein, obschon ein solches Vorgehen auf jeden Falle die beste Alternative sein dürfte. Letzten Endes handelt es sich in diesem Falle ja im allgemeinen nur um eine Gewohnheit, die sich mit der Zeit ändert, und sicher werden beispielsweise die wirklichen Bonitätsmasse auch in der praktischen Tätigkeit anschaulich verständlich sein.

Ohne Zweifel gibt es nämlich viele Faktoren, die bei der konsequenten Anwendung der ursprünglichen Messergebnisse Schwierigkeiten bereiten. Dann hat man — insbesondere bei der Anwendung auf die praktische Forstwirtschaft — die Möglichkeit in Erwägung zu ziehen, anstatt des eigentlichen Bonitätsmasses einen daraus hergeleiteten Wert anzuwenden, der eventuell zur Zeit besser die Güte des Bestandes veranschaulicht, ohne die Bonitätsverhältnisse zwischen den Beständen im wesentlichen verändert anzuzeigen. Man darf freilich nicht vergessen, dass auch ein solcher Bonitätswert seine Eignungsgrenzen hat, die stets berücksichtigt werden müssen.

33. Die auf die Bonität einwirkenden Bestandesmerkmale

Oben ist bei der Besprechung des Bonitätsbegriffs als Teil des vom Verfasser dargelegten allgemeinen Wachstumsmodells der Bäume konstatiert worden, dass der das Bonitätsniveau der Bestände bestimmende stationäre Teilprozess aus zahllosen Prozessen verschiedener Art und Intensität zusammengesetzt ist. Die allermeisten dieser Einzelprozesse lassen sich nicht getrennt feststellen, sondern sie treten im allgemeinen erst als die Zusammenwirkung einer kleineren oder grösseren Zahl von Faktoren hervor. Im allgemeinen kann man dann erst die so zustandekommende Gesamtwirkung messen und sie als einen die Bonität des Bestandes beeinflussenden Faktor behandeln, der erst als *Bestandesmerkmal* bezeichnet werden kann.

Solche Faktoren sind natürlich zugleich Wachstumsfaktoren. Ihr Wesen und ihre verschiedenen Erscheinungsformen hat der Verfasser schon in seiner früheren Untersuchung über das Wachstum der Bäume (KANGAS 1969, S. 32–33) eingehender behandelt. Die in diesem Zusammenhang vorgebrachten Prinzipien gelten naturgemäss auch für die auf die Bonität der Bestände einwirkenden Faktoren.

So kann man bei der Bonitierung auch die Bestandesmerkmale einteilen einerseits in

— *primäre*, tatsächlich direkt auf die Bonität der Bestände einwirkende Merkmale und andererseits in

— *sekundäre*, die indirekt primäre Faktoren oder gewöhnlicher Faktorengruppen in dieser oder jener Weise mehr oder weniger unverzerrt widerspiegeln.

Die Messung der ersteren in solcher Weise, dass ihre Werte eine zuverlässige Anwendung in der betreffenden Bonitierungsmethode ermöglicht, scheint wenigstens bis auf weiteres nur selten möglich zu sein (vgl. z.B. TAMM etc. 1967).

Somit kommen in den Bonitierungssystemen als Bestandesmerkmale fast ausschliesslich die letzteren in Frage. In diesem Rahmen stellen eine Gruppe für sich die Bestockungsmerkmale dar, oft als »taxatorische Faktoren« bezeichnet, mit denen solche eng mit der Bestockung des Bestandes verknüpfte Kennzahlen gemeint sind, die ihrerseits den Bestand in dem betreffenden Alters- und Entwicklungsstadium gut charakterisieren. Im folgenden werden ausgesprochen aus der Sicht der Bonitierungsfrage alle diese oben erwähnten Gruppen näher besprochen.

Zuvor muss freilich festgestellt werden, dass in letzter Zeit zur Deckung des ständig zunehmenden Holzbedarfs in der Forstwirtschaft Ziele gesteckt werden mussten, die oft in sehr radikaler Weise von der naturgemässen Entwicklungstendenz abweichen, welche bei uns bis jetzt für die Forstwirtschaft charakteristisch gewesen ist. Die Auswirkung solcher Massnahmen auf die Standorte und auf diesem Wege auf die Struktur der Bestände ist derart radikal, dass sich vorläufig unmöglich voraussagen lässt, wie ihre Entwicklungstendenz und so ihr Einfluss auf die Bonität sich gestalten

wird. Für unverkennbar kann es jedoch gelten, dass sie die allgemeinen biologischen Prinzipien der Bonitierung keineswegs ändern werden. Es genügt daher in diesem Zusammenhang, auf diese künftigen Ausichten nur zu verweisen.

Vom Standpunkt der Bonitierung lassen sich also die in Frage kommenden Bestandesmerkmale zweckentsprechend in folgende drei Gruppen einteilen:

a. Prinzipiell kommt die grundlegende Bedeutung den faktischen, *primären* Bestandesmerkmalen zu, die unmittelbar die Entwicklung des Bestandes beeinflussen, und somit theoretisch keinerlei Fehlwirkungen haben können.

Schon oben ist darauf hingewiesen worden, dass die direkte Messung solcher Faktoren im allgemeinen unmöglich oder unzweckmässig ist. Doch sind einige von ihnen relativ einfach festzustellen. Diese sind öfters qualitativer Art und machen daher am besten eine Bestandesart (Teilpopulation) für sich aus. Derartige Bestandesmerkmale sind vor allem die Baumart oder Baumartkombination, die Behandlungsweise des Bestandes, die Entstehungsweise des Bestandes (natürlich oder angebaut) sowie Baumzucht, Entwässerung, Düngung u.a. entsprechende Massnahmen, auf welche letzterwähnte vom Standpunkt der Bonitierung zum grössten Teil als künftiger Aspekt schon oben verwiesen wurde.

Von anderen primären Bestandesmerkmalen kommen eigentlich nur die *grossklimatischen Faktoren* in Frage, wenn man das Ausmass der Anwendungsmöglichkeit einer bestimmten Bonitierungsmethode erwägt. Der Auffassung des Verfassers gemäss soll man die Kriterien von ASSMANN auf die Weise deuten, dass die grossklimatischen Faktoren als ein die Bonität messendes Merkmal in die Bonitierung selbst einbezogen werden sollten. Am besten kann man davon ausgehen, dass *ihre Wirkung sich eben in dem Bonitätsmass äussert*.

Fast alle anderen primären Bestandesmerkmale, wie etwa bestandesinneres Mikroklima, Bodenvegetation und Humusschichten sowie vor allem edaphische Faktoren, dürften, was das Bonitierungsproblem betrifft, noch ungenügend zu erklären sein (vgl. S. 5). Offenbar ist noch viel diesbe-

zügliche Forschungsarbeit erforderlich, ehe zuverlässige Bonitierungsverfahren auf ihnen aufgebaut werden können.

b. Gewöhnlich kann man die auf die Bonität des Bestandes einwirkenden Faktoren leichter mit Hilfe scheinbarer *sekundärer* Bestandesmerkmale herausbringen. Solche Faktoren haben meistens keinen direkten Einfluss auf die Bonität des Bestandes, sondern ihre Bedeutung liegt darin, dass sie ein genügendes Korrelations- oder Regressionsverhältnis zu so vielen primären Bestandesmerkmalen besitzen, dass sich mit deren Hilfe die Wirkung der primären Faktoren zuverlässig herausbringen lässt (vgl. ADEM—ENKE, 1970). Wenn dies der Fall ist, können solche sekundäre Bestandesmerkmale u.U. bei der Bildung eines Bonitierungssystems die primären Merkmale ausgezeichnet ersetzen.

Weil diese indirekten Bestandesmerkmale an sich jedoch keinerlei Einfluss auf die Bonität des Bestandes haben, muss man mit ihrer Anwendung vorsichtig sein und sich auf die passende Weise genügend von ihrer Brauchbarkeit überzeugen. Da sie indessen in der Regel den Vorteil haben, dass sie ausreichend genau und relativ leicht zu messen sind, sollte ihre Verwendung stets in Betracht gezogen werden. Auf jeden Fall muss man voraussetzen, dass man sie tatsächlich mit der genügenden Genauigkeit messen kann, und dass ihre Heranziehung zur Messung der Bonität auch *wirklich ihrem Zweck entspricht*.

Sofern es solche qualitative Bestandesmerkmale gibt, deren Berücksichtigung bei der Messung der Bonität als Bestandesmerkmal zweckdienlich erscheint, müssen sie für diesen Zweck in irgendeiner Weise auf eine brauchbare Messungsskala gebracht werden können. Dies ist jedoch im allgemeinen eine ungewöhnlich schwierige Aufgabe. Derartige ihrem Wesen nach als qualitativ zu deutende Faktoren, wie Bodenvegetation, Steinigkeit des Bodens und Vermooring sowie die allgemeine Bodenart, wären sicherlich brauchbare Hilfsmittel für die Messung der Bonität, wenn es in der Praxis nicht nahezu unüberwindliche Schwierigkeiten machte, sie in den Rahmen einer brauchbaren Skala zu bringen. Sofern sich ihre Heranziehung nur im Hinblick auf die Anwendung der Messungsergebnisse

irgendwie als möglich erweist, sollte sie stets in Erwägung gezogen werden.

c. Die *Bestockungsmerkmale* repräsentieren unter den indirekten Bestandesmerkmalen deutlich eine Gruppe für sich, die ihrem Wesen nach gänzlich von den anderen abweicht, und sie sind zugleich ein sehr anschauliches Beispiel von der Brauchbarkeit der indirekten Bestandesmerkmale, wie die Resultate des Kontrollmaterials der vorliegenden Untersuchung zeigen werden. Die Eigenschaft, dank welcher die Bestockungsmerkmale so bedeutsame und zuverlässige Bonitätsmerkmale sind, ist *ihr echtes und festes Korrelationsverhältnis zum Bestand selbst*. Als eine konsequente Folge dieser Tatsache gilt es umgekehrt, dass es mittels der Bestockungsmerkmale des Bestandes möglich ist, die Bonität des Bestandes zu messen, und im Prinzip umso vielseitiger und vollständiger, je mehr verschiedene Merkmale mitgenommen werden können. Letzten Endes entscheiden jedoch andererseits die der Zweckmäßigkeit entsprungenen Gesichtspunkte, welche Merkmale im Hinblick auf das Ziel des jeweiligen Bonitierungssystems mitgenommen werden.

Im allgemeinen kann man von der Sachlage ausgehen, dass die Bestockungsmerkmale eines Bestandes verschiedene Erscheinungsformen seiner Struktur widerspiegeln. Diese Mannigfaltigkeit der Erscheinungsformen, die auch in ihren gegenseitigen Korrelationen hervortreten wird, führt eben dazu, dass eine Bonitierungsverfahren keinesfalls aufgrund eines einzigen Bestockungsmerkmals aufgebaut werden darf. Je vielseitiger man die Bonität mit Hilfe von verschiedenen Bestockungsmerkmalen herausbringen kann, umso zuverlässiger gestaltet sich das Messergebnis.

Ein anderer Grund dafür, die Bonitierung auf Bestockungsmerkmalen aufzubauen, ist andererseits die Tatsache, dass sich die meisten von ihnen leicht und bei Bedarf mit grosser Genauigkeit messen lassen. Da im Lauf der Zeit ausgesprochen zuverlässige Messmethoden für die Bestockungsmerkmale entwickelt worden sind, hat dieser Umstand natürlich eine erstrangige Bedeutung für die Zuverlässigkeit der von der Bonitierungsmethode ergebenden Messwerte. In späterem Zusammenhang (Teil 3) kommen diese Charakterzüge anschaulich zum Vorschein.

34. Das Beobachtungsmaterial

351. Beschaffenheit des Materials

Wenn auch die Kriterien von ASSMANN für die Entwicklung eines Bonitierensystems nicht ausdrücklich voraussetzen, dass ein Beobachtungsmaterial benutzt wird, muss man selbstverständlich von der Tatsache ausgehen, dass ein geeignetes Kontrollmaterial immer schon zur Entwicklung eines Systems heranzuziehen ist. Nach seinem Prinzip ist es wieder eine Sache für sich, dass beim Ausarbeiten einer gewissen Bonitierungsmethode ein Stichprobenmaterial von möglichst vollständiger Repräsentativität die Voraussetzung für eine geeignete, unverzerrte Lösung ist.

Rein theoretisch genommen setzt die Ausarbeitung jedes beliebigen Bonitierungsverfahrens voraus, dass es auf einem nach Stichprobenmethoden gesammelten Beobachtungsmaterial aufgebaut wird, das für diesen Zweck insofern genügend repräsentativ ist, als sich mit ihm erschöpfende und unverzerrte Ästimate erzielen lassen. Dafür sollte also eine ausreichende Serie von Dauerversuchsflächen aus verschiedenartigen Standorten zur Verfügung stehen, so dass diese eine die ganze Teilpopulation deckende Serie ausmachen, und auf denen im betreffenden Bestand (eventuell bei Bedarf in mehreren sukzessiven Beständen) in regelmässigen Zeitabständen alle für das betreffende Bonitierungssystem erforderlichen Messungen durchgeführt worden sind. So machen diese Versuchsflächen zusammengesetzte Entwicklungsserien aus, die sich vom Entstehen des Bestandes am liebsten bis zum Ende des Umtriebes, wenigstens jedoch bis zu dem Zeitpunkt, den die Unterlage des betreffenden Bonitierungssystems voraussetzt, erstrecken. Im Prinzip ist es nur aufgrund eines solchen Materials möglich, das Bonitätsmass eines jeden Bestandes ganz zuverlässig festzustellen. Es ist jedoch ohne weiteres klar, dass sich dieser theoretische Ausgangspunkt niemals vollkommen verwirklichen lässt. Jedoch lässt sich im allgemeinen das Ausmass, bis zu welchem das jeweils zur Verfügung stehende Beobachtungsmaterial den obigen theoretischen Anforderungen der Repräsentativität tatsächlich entspricht, je nach

dessen Beschaffenheit wenigstens schätzen oder oft sogar schlechthin messen.

Bei uns in Finnland dürften Dauerprobestflächen, wie sie das obige Prinzip als Grundlage verlangt, vorläufig noch nicht in genügender Zahl zur Verfügung stehen. Dahingegen dürfte man u.a. in Mitteleuropa (und natürlich auch in anderen Gebieten mit entsprechenden Voraussetzungen), wo die planmässige Forstwirtschaft viel länger betrieben worden ist, und wo auch die Entwicklung von Beständen mit Hilfe von langfristigen Versuchsflächen schon seit langem systematisch untersucht worden ist, auf ASSMANN'S Kriterien beruhende Bonitierungsmethoden derart entwickeln können, dass ihre Resultate auch im kritischen Sinne voll stichhaltig wären.

Das Obengesagte braucht jedoch nicht als die alleinige Voraussetzung für ein Beobachtungsmaterial beim Ausarbeiten eines Bonitierungsverfahrens angesehen zu werden. Es gibt ja auch andere Möglichkeiten, diese auf Grund eines andersartigen Beobachtungsmaterials zu ersetzen, und zwar je nach dessen Beschaffenheit und Repräsentativität unter Umständen sogar mit völlig entsprechender Zuverlässigkeit. Als solche Materialalternativen kommen dann zunächst in Frage

a) solche Dauerversuchsflächen, von denen Messungsergebnisse nur aus einem Teil der ganzen Entwicklungsperiode des Bestandes vorliegen, und

b) ein von dem Standpunkt, nach welchem das betreffende Verfahren ausgearbeitet wird, zweckentsprechendes Material von Gelegenheitsprobestflächen. Beispielweise beim Kontrollmaterial der vorliegenden Untersuchung musste diese Entscheidung herangezogen werden.

An das Material der obenbeschriebenen Alternativen muss dann, abgesehen von Ausmass, Repräsentativität und genügend vielen Bestandesmerkmalen, noch die Anforderung gestellt werden, dass daraus ausgesprochen auch die für die Masseinheit der Bonität erforderlichen Angaben erhältlich sind. Natürlich wäre im Prinzip auch ein Material denkbar, das aus Proben von beiden Alternativen (a und b) zusammengesetzt wäre. Dann müsste man sich aber zur Frage seiner Repräsentativität schon mit dem

erforderlichen sachgemässen Vorbehalt verhalten.

Eine ganz wesentliche Voraussetzung für die Verwendung eines solchen andersartigen Materials anstelle von Dauerversuchsflächen ist es, dass es die Anforderung einer gewissen *Homogenität* erfüllen muss. Als eine solche kann man naturgemäss die innere Streuung der aus ihm zu bildenden Berechnungsgruppen heranziehen. Diese können nämlich als die rechnerischen Einheiten des jeweils verfügbaren Materials den Dauerversuchsflächen gleichgestellt werden. Allgemein betrachtet kann man nämlich von dem Prinzip ausgehen, dass die Streuung der obigen Berechnungsgruppen in entsprechenden Verhältnissen derselben der bestandesweisen Dauerversuchsflächen entspricht. Eine Methode, die im Gruppierungsprinzip des Materials von Gelegenheitsprobenflächen angewandt werden kann, wird im folgenden Kapitel besprochen. Im Licht der an dem Kontrollmaterial gemachten Erfahrungen hat es den Anschein, dass man, — sofern ein solches, die unvermeidlichen Anforderungen erfüllendes Material zugänglich ist — auf dessen Grundlage auch eine Bonitieremethode ausarbeiten kann, mit deren Hilfe sich ebenso zuverlässige Ergebnisse erzielen lassen, wie mit den Dauerversuchsflächen.

ASSMANN'S Bonitätsprinzip setzt ja voraus, dass der Bestand geschlossen gewachsen ist. Er nützt also, unter der Einwirkung anderer betreffender Wachstumsfaktoren, die Ertragsvoraussetzungen des Standortes in ihrer Gesamtheit aus (vgl. S. 12). Wenn man es aber, wie es z.B. heutzutage in den finnischen Wäldern allgemein ist, mit Beständen zu tun bekommt, deren Gesamtertrag, gewöhnlich infolge einer mehr oder weniger unregelmässigen Struktur, unvollkommen ist, stösst man bei ihrer Bonitierung auf ganz neue Probleme, die jedoch der Bildung von diese Beständen betreffenden Bonitierungsmethoden nicht im Wege stehen. Wie schon bei der Besprechung des Bonitätsbegriffs hervorgegangen ist (S. 13), setzt die Bonitierung solcher Bestände jedoch gewisse unerlässliche zusätzliche Daten voraus. Bei der Messung der Bonität solcher Bestände ist es — natürlich bis zu einer gewissen Grenze — somit auch im kritischen Sinne sicherlich möglich, in diesem Falle befriedigende oder

wenigstens leidliche Messwerte zu gewinnen, welche der Praktik jedenfalls recht gut dienen. Dies erfordert selbstverständlich seine eigene Lösungen.

Ogleich die oben besprochenen Probleme eigentlich nicht zu diesem allgemeinen Teil gehören, seien im Folgenden noch einige Hinweise auf diesen Aspekt des ganzen Bonitierungsproblems gegeben. Falls es eine Möglichkeit gibt, eine Messeinheit zu finden oder zu entwickeln, die von anderen Faktoren unabhängig ist, so dass sie nicht die Kenntnis des Gesamtertrages erfordert, und auf sie praktisch genommen die Bestandstruktur nicht einwirkt, kann man für die Bonitierung prinzipiell die gleichen Methoden wie für regelmässig entwickelte Bestände anwenden. Wenn man dagegen die Messeinheit in Korrelation mit einem oder mehreren Bestandesmerkmalen aufbauen muss, könnte man eine aufgrund von geeigneten, regelmässig entwickelten Beständen ausgearbeitete Bonitierungsmethode als Grundlage zur Bildung eines Vermittlungsverfahrens heranziehen. Ein solches Vermittlungsverfahren könnte z.B. so entwickelt werden, dass bei allen Merkmalen die Ausgangspunkte für seine Ausarbeitung die Abweichungen der Beobachtungsergebnisse vom Niveau der Funktion der regelmässigen Bestände wären. Die aufgrund dieser Abweichungen geschätzten Vermittlungsfunktionen werden dann in die Funktionen der betreffenden regelmässigen Bestände eingefügt. Mit den auf solche Weise ergänzten Funktionen dürfte es möglich sein, wenigstens mit leidlicher Genauigkeit einen bedeutenden Teil der unregelmässigen Bestände zu messen.

Es ist ohne weiteres klar, dass es auch andere, sogar vielleicht bessere Wege zur Messung der Bonität in unregelmässigen Beständen gibt, so dass die obenbeschriebenen Hinweise zunächst nur als ein Beispiel von den verschiedenen diesbezüglichen Möglichkeiten zu verstehen sind.

Es sei hier noch auf das verwiesen, was am Schluss im Zusammenhang mit der Beschreibung der für das Kontrollmaterial ausgearbeiteten Bonitierungsmethode (Teil 3) im Licht ihrer Ergebnisse über diese Fragen in Bezug zunächst auf die finnischen Verhältnisse gesagt ist.

342. Die Gruppierung des Beobachtungsmaterials

Oben sind als mögliches Beobachtungsmaterial zuvörderst zwei Alternativen erwogen worden: ein möglichst repräsentatives Dauerversuchsflächenmaterial oder ein aus Gelegenheitsprobenflächen bestehendes Material. Der Gebrauch von Dauerversuchsflächen für die Entwicklung einer bestimmten Bonitieremethode ist an sich ganz einfach, wenn daraus unmittelbar alle die Daten erhältlich sind, die zur Bildung eines Bonitierungssystems benötigt werden. Ganz umgekehrt verhält es sich bezüglich der Gelegenheitsprobenflächen: Einzeln für sich kann man sie nicht als Grundlage für die Entwicklung eines Bonitierungssystems benutzen, sondern sie müssen für diesen Zweck auf geeignete Weise gruppiert werden.

Bei der Anwendung von Gelegenheitsprobenflächen sollte man das Beobachtungsmaterial vielleicht am besten zuerst in eine geeignete Anzahl verschiedener Entwicklungsserien einteilen, mit deren Hilfe dann die jeweils erforderlichen Daten zu beziehen sind. Auf diese Weise ist es möglich, die durch die Unterschiede der Bonität der Probenflächen bedingten Fehlwirkungen möglichst eindeutig zu gestalten.

Man könnte leicht den Eindruck bekommen, dass als Grundlage für eine solche Gruppierung ganz naturgemäss ein in der Praxis bereits angewandtes Bonitierungssystem geeignet wäre, in dessen Klassen das Material eingestuft würde. Erst für jede einzelne dieser Klassen würde dann nach einem passenden Verfahren eine eigene Entwicklungsserie gebildet. Aufgrund einer solchen Gruppierung des Materials könnte man nach dem Trennverfahren (siehe darüber z. B. TATSUOKA 1971) Bonitierungssysteme aufstellen. Dieses Verfahren hat aber die Schwäche, dass man von einer im Voraus durchgeführten Gruppierung ausgeht, wobei die darin enthaltenen Fehler sich auch in dem zu entwickelnden Bonitierungssystem auswirken. Auch in dem Kontrollmaterial der vorliegenden Untersuchung war ursprünglich beabsichtigt, diese Methode auf Grund der Waldtypen zur Entwicklung des Bonitierungssystems heranzuziehen, aber die Ergebnisse der so durchgeführten Berechnungen zwangen den Verfasser binnen kur-

zem, nach einer ganz neuen Grundlage zu suchen.

In letzter Zeit ist jedoch ein mathematisch-statistisches Verfahren, die sog. Taxometrie entwickelt worden (s. z.B. SCHNELL 1964 und IHM etc. 1972), die auf dem umgekehrten Prinzip basiert wie das Trennverfahren. Sie geht nämlich aus von dem Gedanken, dass die Zusammensetzung des jeweils zur Verfügung stehenden Beobachtungsmaterials selbst entscheidet, was für eine Gruppierung zu seiner effektivsten Ausnutzung führt und ihm in diesem Sinne die maximale Wirksamkeit verleiht (s. SOKAL-SNEATH 1963). Derartige Methoden sind besonders in biologischen taxonomischen Untersuchungen angewandt worden (z.B. IHM etc. 1967). Diese Verfahren haben jedoch den Nachteil, dass sie sehr komplizierte Lösungen nach sich ziehen, und zwar umso schwierigere, je mehr Merkmale mitgenommen werden. Sie erfordern ausnahmslos die Anwendung eines geeigneten Iterationsverfahrens (Vgl. z.B. LEUSCHNER-HEINE 1973) und dann natürlich auch die Hilfe von elektronischer Datenverarbeitung.

Nahe verwandt mit diesem Verfahren ist ferner eine andere Gruppierungsmethode, die sog. Clusteranalyse (siehe darüber z.B. BÜTNER 1975 oder eingehender BIJNEN 1973), die auf dem Minimum der Quadratsumme innerhalb der vorher bestimmten Anzahl der Gruppen gründet. Diese Voraussetzung hat eben in der hier besprochenen Hinsicht ihre Schwäche, weil diese Anzahlen nicht im Voraus bekannt sind. Darum eignet sich diese Methode nicht zum Ausgangspunkt für die Gruppierung von Gelegenheitsprobenflächen.

Auf Grund der Ideen beider Methoden hat der Verfasser versucht, eine vereinfachte Methode zu entwickeln, die besonders für den hier in Frage stehenden Zweck möglichst gut geeignet wäre. Zugleich wurde auch das Ziel angestrebt, dass man sie bei Bedarf auch mit einfacheren Hilfsmitteln, z.B. mit einem Kleinkomputer von ausreichender Kapazität durchführen könnte. Im Vergleich zu den eigentlichen taxometrischen Verfahren hat diese Methode den wesentlichen Charakterzug, dass jede Einheit des zu gruppierenden Materials in die Form einer einzigen geeigneten Grösse, eines *Indexes*, für den im folgenden das Symbol y_i

benutzt wird, gebracht wird, wobei zugleich seine Regression mit allen jeweiligen Merkmalen getrennt berücksichtigt wird. In diesem Falle ist es natürlich auch möglich, dass ein solcher Index hinsichtlich seiner Struktur dem Bonitätsmass der betreffenden Einheit entspricht. Das Auffinden eines möglichst geeigneten Indexes für diesen Zweck ist von grösster Bedeutung; es kann sogar ausschlaggebend dafür sein, wie die ganze Methode glücken wird.

Der Gruppierungsprozess geht dabei theoretisch richtig davon aus, dass das Beobachtungsmaterial in seiner Ganzheit behandelt wird, und die auf diesem Grunde erzielten Indizes bilden dann die eigentliche Unterlage für die Gruppierungsoperation. Man dürfte jedoch in der Praxis, natürlich wenn die Struktur des Indexes es ermöglicht, davon ausgehen können, dass man das Material schon vorher erwägungsgemäss auf eine geeignete Weise einteilt, damit der ganze Gruppierungsprozess, vielleicht sogar erheblich, schneller vonstatten gehe. Ein solches Vorgehen hat aber immer seine Schwächen, und es kann eventuell mit Fehlern behaftet sein, sodass es u.U. zu sogar bedeutsamer Verzerrung in der endgültigen Gruppierung kommen kann.

Der eigentliche Rechenvorgang ist dann der, dass zunächst die Werte, die für das Material als eine Ganzheit gewonnen worden sind, der Grösse nach geordnet werden. Danach geht die Gruppierung folgendermassen weiter:

Die erste Phase der Berechnung ist die Prüfung der Gruppierung so, dass man das Material in mehrere alternative Zahlen ($k = 2, 3, \dots$) von Gruppen einteilt, wobei ganz nach dem Prinzip der Clusteranalyse die Bedingung gestellt wird, dass die Quadratsumme innerhalb der Gruppen zusammen möglichst klein sein soll. Für jede Gruppenzahl k , wo in dem Material das Symbol der einzelnen Gruppen j ist, und in jeder Gruppe n_j Einheiten sind, bedeutet die obige Bedingung folgende Formel:

$$(24 a) \quad \sum_k \sum_j (y_{ij} - \bar{y}_j)^2 = \text{Minimum} = \sum (SQ)_{k(\text{inn})}$$

Als eigentliches Ziel dieser Gruppierung des Beobachtungsmaterials ist das Aufsuchen einer wenigstens hinreichenden, d.h. der

Mindestklassenzahl anzusehen. Beim Suchen nach dieser Gruppenzahl kann das entsprechende Kriterium wie im Fall des Trennverfahrens als Ausgangspunkt angewendet werden (vgl. z.B. LINDER 1960 S. 247): das Verhältnis zwischen den Gruppenmittelwerten zur Streuung innerhalb der Gruppen muss möglichst gross sein.

Dieses Verhältnis soll dann auf den betreffenden Charakteristiken basieren. Die Varianz innerhalb der Gruppen erhält man für jede Alternative der Gruppenzahl k auf die normale Weise aufgrund der Formel (24 a) und der entsprechenden Zahl von Freiheitsgraden, die als Differenz zwischen der Gesamtzahl N der Materialeinheiten und der betreffenden Anzahl der Klassen k gebildet werden, also

$$(24 b) \quad s_{k(\text{inn})}^2 = \frac{(SQ)_{k(\text{inn})}}{N - k}$$

Der Testwert, der demjenigen zwischen den Gruppen entspricht, besteht seinerseits aus dem Mittelwert von den Quadraten der Differenzen der aufeinanderfolgenden Gruppenmittelwerte $(\bar{y}_j - \bar{y}_{j+1})^2$.

Weil in den verschiedenen Gruppen eine unterschiedliche Anzahl von Einheiten enthalten ist, gewichtet man in diesem Falle jede Differenz am besten so, dass die Quadratsumme der Differenzen der aufeinanderfolgenden Gruppenmittelwerte die Form

$$(24 c) \quad \sum_k w_j (\bar{y}_j - \bar{y}_{j+1})^2 = (SQ)_{k(\text{zw})}$$

erhält.

Die Gewichtung bleibt natürlich letzten Endes der Erwägung überlassen. In Frage kann, wie üblich, folgendes allgemeines Gewichtungsprinzip kommen:

$$(24 d) \quad w_j = \frac{n_j}{s_j^2}$$

(vgl. z.B. STEEL-TORREY 1960, S. 181),

worin $n_j = n_j + n_{j+1}$ und s_j^2 die Varianz für die Differenz zwischen den zwei Mittelwerten (s. z.B. STEEL-TORREY, op. c., S. 81) ist. Besonders in Fällen aber, in denen die Anzahl der benachbarten Gruppenpaare (im allgemeinen) beträchtlich variiert, kann als Gewichtung auch eine Form in Frage

kommen, welche diese Tatsache vielleicht besser in Betracht zieht. Somit erhält der Mittelwert \bar{n} die Form folgenden Mittelwertes (vgl. z.B. PFANZAGL 1962, S. 221):

$$(25 a) \quad \bar{n}_j = \frac{1}{k-1} \left(\sum n_j - \frac{\sum n_j^2}{\sum n_j} \right).$$

Da in diesem Falle jeder Gewichtungsfaktor w_j aus dem Mittelwert zweier sukzessiver Klassen j und $j+1$ ($k=2$) besteht, erhält man für ihn folgende Form:

$$(25 b) \quad w_k = \frac{2n_j n_{j+1}}{n_j + n_{j+1}}$$

Das Mittelwert zwischen den quadratischen Gruppendifferenzen ist dann

$$(25 c) \quad m_{k(zw)}^2 = \frac{(SQ)_{k(zw)}}{\sum_{k-1} w_j}$$

Das Ziel soll dann sein, dass das Verhältnis zwischen den beiden Testwerten möglichst gross wird

$$(34 d) \quad T = m_{k(zw)}^2 : s_{k(inn)}^2 = \text{Maximum},$$

dessen Kulminationsphase die gesuchte Gruppenzahl aussagt.

Obgleich die Verteilung der Differenzenquadrate der Mittelwerte nicht bekannt ist, könnte man doch annehmen, dass die Verteilung des Testwertes T die Verteilung des eigentlichen F -Werts auf genügende Weise approximiert.

Theoretisch genommen sollte natürlich der Wahrscheinlichkeitswert (P) der betreffenden Verteilung dasjenige Kriterium sein, auf welches die Entscheidung des oben besprochenen Gruppierungsprozesses begründet würde. Bei der jetzt besprochenen Methode bildet sich jedoch sein Wert so hoch, dass man schon aus den Testwerten an sich die gesuchte Mindestzahl der Gruppen leicht konstatieren kann. Je grösser die jeweilig anzuwendende Gruppenzahl ist, desto zuverlässigere Ergebnisse ergibt selbstverständlich das auf deren Grund entwickelte Bonitierungssystem. Von einer gewissen Grenze an ist natürlich diese Sachlage nicht mehr zweckdienlich, und eben darum hat die oben besprochene

Gruppeneinteilung des ganzen Materials eine besondere Bedeutung.

Es kommt häufig vor, dass die Anzahl in den einzelnen, oft benachbarten Gruppen sehr verschieden ist. Dann kommt man leicht in die Situation, dass die Testwerte T ihre Kulmination nicht immer eindeutig aussagen. Jedoch lässt sich auch in solchen Fällen fast ausnahmslos leicht eben diejenige Phase feststellen, die der gesuchten Mindestzahl der Gruppen entspricht.

Noch ein weiterer Umstand ist zu beachten. Es kann vorkommen, dass eine oder sogar mehrere Gruppen in der endgültigen Gruppierung unzweckmässig wenig Einheiten enthalten. Dann ist es am besten, solche Gruppen zu einer der benachbarten Gruppen hinzuzufügen oder alternativ auf beide zu verteilen. In Fällen dieser Art ist es im allgemeinen notwendig, die Testwerte T der so entstandenen neuen Gruppierung festzustellen, damit sie möglichst zweckmässig würde.

35. Der Gebrauch von Hilfsfunktionen

Wenn man verschiedene Methoden zur Messung der Bonität entwickeln will, ist man nicht selten gezwungen, geeignete Hilfsfunktionen heranzuziehen, um die jeweils an die Methode gestellten Bedingungen erfüllen zu können. Das Wesen dieser Hilfsfunktionen ist natürlich letzten Endes davon abhängig, auf was für ein Bonitierungs-system sie jeweils angewandt werden. Meistens dürften sie jedoch mit der Beschreibung der verschiedenen Seiten des Entwicklungsprozesses der Bestände zu tun haben. Dies schliesst natürlich nicht die Möglichkeit aus, dass für die Entwicklung eines Bonitierungssystems auch Hilfsmittel geeignet sein könnten, die auf ganz anderen Grundlagen aufgebaut sind.

Im Prinzip sollten *vom mathematischen Gesichtspunkt* aus die wesentlichsten Anforderungen an verschiedene Hilfsfunktionsmodelle die entsprechenden sein, die schon an die Wachstumsfunktionen gestellt worden sind (vgl. z.B. THOMASUS 1964). Als solche kommen zunächst folgende Eigenschaften in Frage:

— die Form der Funktion soll hinsichtlich ihrer Struktur der von ihr verursachten

Einwirkung auf die betreffenden Bestände entsprechen.

— die Form der Funktion sollte möglichst einfach sein, aber doch alles für die Wirkung des entsprechenden Faktors Wesentliche einschliessen, und

— die Funktion sollte konsistent sein, also die von ihr beschriebene Einwirkung in ihrer Gesamtheit, d.h. auch ausserhalb des Beobachtungsmaterials, möglichst wahrheitsgetreu ausdrücken können.

Es muss besonders hervorgehoben werden, dass diese Anforderungen stets gleichzeitig, gewissermassen als gleichwertige Teile einer bestimmten Gesamtheit zu betrachten sind. Die gemeinsame Signifikanz im Rahmen dieser Gesamtheit ist jeweils massgebend für das jeder einzelnen Anforderung zuteil werdende individuelle Gewicht. In die obigen mathematischen Grundanforderungen muss stets noch ein seinem Wesen nach zuvörderst *biologischer Grund* gesteckt werden, damit das Bonitierungssystem auch in diesem Sinn zum zweckentsprechenden Resultat führen kann.

Eigene Bedeutung hat ihrerseits die Tatsache, dass die Modelle der Einwirkung verschiedener Bestandesmerkmale in dem betreffenden Bonitierungssystem möglichst viele strukturelle Berührungspunkte haben sollten, so dass sie so wenig wie möglich komplizierend auf das endgültige Bonitierungssystem einwirken könnten. Somit wäre es vom Standpunkt des ganzen Systems immer vorteilhaft, dass die anzuwendenden Hilfsfunktionsmodelle möglichst

wenig voneinander abweichen. Davon, wie weitgehend sich diese Voraussetzung verwirklichen lässt, hängt letzten Endes die ganze Konstruktion des zu bildenden Bonitierungssystems ab. Im umgekehrten Falle wiederum entsteht aus diesem ein so kompliziertes System, dass es u.U. nur ein theoretisches, praktisch kaum brauchbares Gebäude darstellt. In der Praxis bedeutet dies an und für sich das Bestreben, in jedes zu bildende System Bestandesmerkmale möglichst ähnlicher Art hineinzuziehen (z.B. nur Bestockungs- oder nur edaphische Merkmale). Grundsätzlich kann man von der Regel ausgehen, dass das System desto brauchbarere Messwerte liefert, je einfacher seine Struktur ist. Obwohl man heutzutage mit Hilfe der elektronischen Datenverarbeitung selbst sehr komplizierte Methoden anwenden kann, sind andererseits die mit ihnen verbundenen Messungen der Bestandesmerkmale meistens sehr mühselig. Und wenn man auch mit komplizierten Systemen zu rechnerisch scheinbar zuverlässigeren Ergebnissen kommt, braucht dies doch nicht unbedingt zu bedeuten, dass die so gewonnenen Messwerte in Wirklichkeit so genau wären, dass dadurch der Arbeitsaufwand entsprechend aufgewogen würde.

Eine weitere nicht-mathematische grundlegende Anforderung an ein Modell der Hilfsfunktionen ist es, dass diese sich auf das ganze Wirkungsbereich des betreffenden Bonitierungssystems, d.h. auf alle seine gebietlichen oder baumartsweisen Teilpopulationen anwenden lassen.

4. ÜBER DIE KLASSIFIZIERUNGEN DER BONITÄTSMASSE

Obleich es der eigentliche Zweck des Bonitätsmasses ist, dass es einem normalen stetigen Messwert entspricht, könnte es in gewissen Fällen zweckdienlich sein, auch Bonitätsklassen zu bilden. Aus diesem Grund sollen im folgenden auch einige prinzipielle Gesichtspunkte über die Klassifizierungen der Bonitätsmasse kurz behandelt werden.

Die bisher fast einzige Form der Bonitierung von Beständen ist die Bonitätsklassifizierung gewesen. Neben Aufgaben, die genauere Daten erfordern, wird sie selbstverständlich auch weiterhin besonders in der praktischen Forstwirtschaft für vielerlei Zwecke benötigt. Aber mindestens in der wissenschaftlichen Forschung wäre es angebracht, zur absoluten Messung der Bonität überzugehen, d.h. zum Gebrauch des Bonitätsmasses, da dieses vollständiger auf eine gewisse Weise die Güte des Bestandes im allgemeinen Sinne charakterisiert.

Ausgangspunkt für die Bonitätsklassifizierung soll jedoch stets das Bonitätsmass selbst sein, aufgrund dessen der betreffende Bestand in die seiner Bonität entsprechende Klasse eingestuft wird. In solchen Fällen ist es natürlich, dass dann zur Bonitierung eine genügend einfache Approximationsmethode angewandt wird.

Bei der Anwendung des Klassifizierungssystems kann man natürlich am einfachsten so vorgehen, dass man die für den jeweiligen Zweck am besten geeignete Klassifizierung nur aufgrund erwägungsgemäßer Festlegung der Grenzen zwischen den Klassen vornimmt, wobei man anhand des an dem Bestand gemessenen Bonitätsmasses feststellen kann,

in welche Klasse der betreffende Bestand gehört. Dieses Verfahren kann man noch effektiver gestalten, indem man die Bonitierungsmethode so umbildet, dass sie direkt das für die Klassifizierung geeignete Bonitätsmass gibt, wodurch die Klassifizierung zu einer ganz einfachen Aufgabe wird. Ein solches Verfahren könnte man vielleicht am besten als *künstliches* Klassifizierungsprinzip bezeichnen.

Wenn man die Bonitätsklassifizierung auf eine wissenschaftlich sachgemässere Basis bringen will, muss jedoch unbedingt ein passendes Kriterium gegeben werden, auf welches die Verteilung der betreffenden Totalpopulation in verschiedene Klassen gegründet werden kann. Auf diese Weise kommt man zu einem möglichst *natürlichen* Klassifizierungssystem.

Wenn man so vorgeht, kann man natürlich *im Voraus die Anzahl* der geeigneten Bonitätsklassen erwägen, aber man kann sie auch so zustandekommen lassen, dass sie *der natürlichen Verteilung* der betreffenden Totalpopulation entspricht. Derartige Klassen kann man dann auch zusammenlegen, wenn die Voraussetzung gilt, dass die Klassenverteilung möglichst gut ihrem Zweck entspricht. In diesem natürlichen Klassifizierungssystem kann man zweckdienlich die geeigneten Teile der schon im Kapitel 342 besprochenen Clusteranalyse heranziehen. Es ist ja gewiss möglich, anstelle dieses Verfahrens für die Klassifizierung auch ein anderes Kriterium zu finden, das vielleicht noch besser die natürliche Klassifizierung der verschiedenen Bestände zum Ausdruck bringt.

1. DER BEGRIFF DER BONITIERUNGSFUNKTION

In der vorliegenden Untersuchung ist als Bonitierungsverfahren die *Bonitierungsfunktion*, die im folgenden eingehender behandelt wird, besonderes Gewicht gelegt worden. Man muss jedoch immer in Betracht ziehen, dass diese Methode in der Tat nur als eine alternative Lösung zur Bonitierung der Bestände aufzufassen ist. Es möge jedoch noch einmal die Tatsache betont werden, dass es bei der Bonitierung der Bestände nach den im ersten Teil besprochenen allgemeinen Prinzipien wenigstens bis auf weiteres als am zweckmässigsten erscheint, die Methode in irgendeiner Weise aufgrund des Funktionsprinzips zu entwickeln. Als zweiter allgemeiner Gesichtspunkt muss noch in diesem Zusammenhang beachtet werden, was schon früher (S. 17 ff.) über die Unterlagen der Bonitierungsverfahren gesagt worden ist. Weiter verleiht der Umstand, auf was für Bestandesmerkmalen die Methode jeweils aufgebaut wird, dieser natürlich ihr eigenes Gepräge. Somit hat z.B. die Beschaffenheit des Kontrollmaterials der vorliegenden Untersuchung dahin geführt, dass die für dieses Material entwickelten, im Teil 3 besprochenen Bonitierungsfunktionen aufgrund gewisser Bestockungsmerkmale gebildet worden sind.

Obgleich die hier besprochene Methode zur Entwicklung der Bonitierungsfunktion allen allgemeinen Forderungen genügt, hat sie natürlich auch ihre Sonderzüge. Deswegen wurde es für gerechtfertigt erachtet, die Bonitierungsfunktion hier in erster Linie nur von dieser Basis ausgehend zu behandeln. Auf diese Weise kann man nämlich auch im allgemeinen Sinne wenigstens in der Hauptsache die für die Bonitierungsfunktion als Methodeform wesentlichen Charakterzüge hervorbringen. Wenn es jedoch in diesem Sinne angebracht ist, gewisse Gesichtspunkte allgemeiner Art besonders hervorzuheben, werden diese im Folgenden zur Sprache gebracht.

Wie schon aus der Bezeichnung hervorgeht, wird versucht, bei der Anwendung des Bonitierungsfunktionsprinzips zur Messung der Bonität die Abhängigkeitsbeziehung

zwischen der Bonität selbst und den für zweckdienlich erachteten Bestandesmerkmalen heranzuziehen. Die erstere, also der *Ausgangswert des Bonitätsmasses*, wird als zu erklärende (abhängige) Veränderliche in eine Regressionsbeziehung zu einer im Prinzip beliebig grossen Anzahl von Bestandesmerkmalen gebracht, die dann als erklärende (unabhängige) Veränderliche in der so gebildeten Regressionsgleichung wirken. Eine solche Regressionsgleichung kann natürlich entweder lineare oder nicht-lineare Form haben. Man muss jedoch bezüglich der Anzahl der unabhängigen Bestandesmerkmale, vor allem hinsichtlich der nicht-linearen Alternative, ganz besonders erwägen, ob der eventuelle Gewinn an Wirksamkeit der Funktion die vermehrten Schwierigkeiten ihrer Konstruktion und Anwendung aufwiegt, die dadurch bedingt sind, dass die Methode entsprechend komplizierter wird. Es hat den Anschein, dass eine bezüglich Zahl und Beschaffenheit der unabhängigen Variablen (Bestandesmerkmale) zweckentsprechende mehrfache *lineare* (oder so umgewandelte) Regressionsfunktion am besten ihre Aufgabe als Bonitierungsfunktion beim Messen der Bonität erfüllt.

Es muss in diesem Zusammenhang noch einmal ganz besonders hervorgehoben werden, dass das von einer für die Praxis gutgeheissenen Bonitierungsfunktion gelieferte Ergebnis keine Schätzung ist, sondern ein *reiner Messwert*, das *eigentliche Bonitätsmass*, genau im gleichen Sinne wie auch die anderen Bestandesmerkmale. Somit ist seine *Messung* tatsächlich eine Massnahme, die der Messung aller anderen Bestandesmerkmale entspricht. Aus dem Obengesagten ergibt sich andererseits, dass eine fertig bearbeitete, für den Gebrauch akzeptierte Bonitierungsfunktion ein Messungsverfahren ist, das im folgenden als *eigentliche Bonitierungsfunktion* bezeichnet wird, und in keinem Sinne als mathematisches Modell gelten kann. Den betreffenden Schätzungsfunktionen entsprechen im Bonitierungsfunktionssystem zunächst die später im Anhang 2 zu besprechenden Approximationsfunktionen (S. 44–45), weil sie nur auf der

eigentlichen Bonitierungsfunktion beruhende Schätzungen ergeben.

Die das Bonitätsmass (B) ergebende Bonitierungsfunktion kann man in Form der folgenden allgemeinen Formel ausdrücken

$$(29) \quad F(B) = f(t_i, b_j) \quad (i=1,2,\dots) \\ (j=1,2,3,4,\dots)$$

worin t die im allgemeinen Wachstumsmodell (vgl. S. 10–11) enthaltenen Altersfaktoren und b entsprechend seine Gütefaktoren repräsentiert.

Die ersteren haben zuvörderst die Aufgabe, die für die Bonitierungsfunktion eines jeden Bestandes erforderlichen Daten auf die Unterlage der betreffenden Bonitierung, das Bonitierungsalter (vgl. S. 16), zu übertragen, wo die Messung der Bonität mittels den betreffenden Gütefaktoren vor sich geht. Aber in diesem Falle handelt es sich ja in Wirklichkeit nur um ein einziges Bestandesmerkmal, das *Alter* des Bestandes, obwohl dieses vielleicht in der Funktion selbst in Form mehrerer Variablen (Altersfaktoren) enthalten ist. Ihre Anzahl bleibt im Vergleich zur Anzahl der zweiten, die Gütefaktoren des Bestandes anzeigenden Variablengruppe im allgemeinen deutlich geringer.

Bei den letzteren ist die Situation hinsichtlich der verschiedenen alternativen Veränderlichen ganz umgekehrt wie bei den Altersfaktoren. Im Prinzip ist ihre Anzahl als unabhängige Veränderliche in der Bonitierungsfunktion überhaupt nicht begrenzt, wie bei der Besprechung der Bonität als Teil des allgemeinen Wachstumsmodells (S. 16) schon deutlich gesagt worden ist. In diesem Sinne kann man nur die Anforderung stellen, dass jede von ihnen als Bestandesmerkmal auf die Güte des fraglichen Bestandes so viel Einfluss hat, dass sie tatsächlich eine signifikante Bedeutung in dem von der betreffenden Bonitierungsfunktion ergebenden Bonitätsmass besitzt.

Andererseits ist es klar, dass man in der Praxis gezwungen ist, die Anzahl der in die jeweilige Bonitierungsfunktion als unabhängige Veränderliche mitzunehmenden Bestandesmerkmale zu begrenzen, damit die Funktion eine sinnvolle, ihre Aufgabe zweckdienlich erfüllende Gesamtheit bildet. *Dies ist eine der Grundvoraussetzungen für die Konstruie-*

rung einer brauchbaren Bonitierungsfunktion. Sie müsste einerseits genügend vollkommen sein, um mit ihrer Hilfe zuverlässige Bonitätsmasse für den Bestand gewinnen zu können, und andererseits wieder müsste ihre Struktur so einfach sein, dass sich ihre Anwendung in der Praxis zweckmässig verwirklichen lässt.

Die Lösung des obigen Problems wird letzten Endes immer ausschlaggebend dafür sein, wie gut die jeweilige Bonitierungsfunktion in der Praxis ihren Zweck erfüllt. Auf diese Frage braucht in diesem Zusammenhang nicht näher eingegangen zu werden. Es genügt, ganz allgemein festzustellen, dass man bei der Entwicklung der Bonitierungsfunktion einerseits erwägen muss, welche Bestandesmerkmale in jedem Bonitierungsfunktionsmodell in Frage kommen, und andererseits — am besten unter Heranziehung geeigneter Testmethoden — wie viele und welche von den in Frage kommenden Alternativen schliesslich in die betreffende Bonitierungsfunktion mitgenommen werden.

Das auf die obige Weise entwickelte Funktionsmodell ist eben diejenige *theoretische Bonitierungsfunktion* der Totalpopulation, welcher die Funktion jeder ihrer Teilpopulationen in ihrer Struktur gleichkommen muss, wenn für irgendeine von ihnen die *Messungsmethode des Bonitätsmasses*, d.h. die betreffende *eigentliche Bonitierungsfunktion* ausgearbeitet wird. Ausgehend von den von dieser Methode gewonnenen Werten, und indem man die Genauigkeit des Bonitätsmasses herabsetzt, kann man die Konstruktion der betreffenden Bonitierungsfunktion vereinfachen, und mit Hilfe dieser *Approximationsfunktion* für den Bestand Bonitätsmasse erzielen, die den jeweiligen Anforderungen noch genügen. Ausserdem hat dieses Bonitierungssystem noch den Vorteil, dass man vielleicht bei Bedarf mehrere eigentliche Bonitierungsfunktionen zu einer Vereinigungsfunktion vereinigen kann, die allerdings u.U. ungenauere Bonitätsmasse ergibt als die ursprünglichen. Derartige Lösungen kann man auch als *Annäherungsfunktionen* bezeichnen, weil sie ausgesprochen den Zweck haben, den dem Bonitätsmass entsprechenden *Annäherungswert* zu geben. Diese Probleme werden im Anhang 1 eingehender behandelt.

2. DIE ENTWICKLUNG DER BONITIERUNGSFUNKTION

Wie früher bereits hervorgegangen ist, kann man sagen, dass das endgültige Modell der Bonitierungsfunktion praktisch aus zwei Hauptgruppen von Bestandesmerkmalen zusammengesetzt wird. Sie sind also, um es nochmals zu wiederholen, folgende:

a) die *Altersfaktoren*, die auf die Berücksichtigung der Differenz von dem betreffenden Altersstadium her bis zum Bonitierungsalter des Bestandes im Modell hinzielen, sowie

b) die in der Bonitierungsfunktion eigentlich die Bonität des Bestandes anzeigenden Bestandesmerkmale, also die *Gütefaktoren*, als welche sowohl den Baumbestand wie den Standort betreffende Bestandesmerkmale in Frage kommen. Weiter üben alle bestandesinneren, vor allem mikroklimatische und andere die Lebensfähigkeit der Bäume betreffende Faktoren eine bedeutende Wirkung auf die Bonität des Bestandes aus.

Wie schon in früherem Zusammenhang hervorgegangen ist, haben im Bonitierungsfunktionsmodell die Altersfaktoren die — man kann sagen — einzige Aufgabe, die bei der Messung der Bonität erhaltenen Ergebnisse des zu bonitierenden Bestandes und seine verschiedenen Bestandesmerkmale in das betreffende *Bonitierungsalter* zu übertragen. Dahingegen haben sie keinen Einfluss auf die Bonität des Bestandes selbst (vgl. S. 11). Es ist freilich möglich, dass in der Praxis auch in dieser Hinsicht etwas Verzerrung vorkommt; letzten Endes ist dies jedoch davon abhängig, wie gut die betreffende Bonitierungsfunktion für die jeweilige Teilpopulation geeignet ist.

Besonders bedeutsam hinsichtlich der Mitnahme der Gütefaktoren ist es, wie geschmeidig die Altersfaktoren im jeweiligen Modell als Gesamtheit eingefügt werden können. Der Umstand, dass in der Struktur des Modells auch im allgemeinen stets die grösstmögliche Einfachheit angestrebt werden soll, beeinflusst natürlich auch das Verhältnis zwischen Altersfaktoren und Gütefaktoren in der ganzen Bonitierungsfunktion. Wenn es unter den letzterwäh-

ten Faktoren gibt, die nicht mit dem Entwicklungsrhythmus des Bestandes in Zusammenhang stehen, ist ja ihre Darstellungsform in diesem Sinne nicht beschränkt, obwohl auch bei diesen die Einfachheit des Funktionsmodells gewisse Grenzen setzt.

In der Struktur der Bonitierungsfunktion sind ihre beiden Faktorengruppen, die Alters- und die Gütefaktoren, paradoxerweise gewissermassen gegensätzlich angeordnet: Je einfacher und einheitlicher sich das Verhältnis der Gütefaktoren zu den Altersfaktoren darstellen lässt, umso einfacher gestaltet sich auch deren Anteil am ganzen Bonitierungsfunktionsmodell. Wenn hier wieder besonders Zuverlässigkeit angestrebt wird, muss im Funktionsmodell jedes Bestandesmerkmal entsprechend genauer in das Bonitierungsalter übertragen werden. In dieser gegensätzlichen Situation ergibt natürlich im Prinzip der beste Kompromiss auch das beste Endresultat. Wenn also das Ziel im ganzen eine möglichst einfache Form des jeweils zu konstruierenden Bonitierungsfunktionsmodells ist, müsste versucht werden, den Anteil der Altersfaktoren einzuschränken, indem man hinsichtlich der Gütefaktoren möglichst gleichförmige Modelle anstrebt.

Was die auf die Bonität des Bestandes einwirkenden Bestandesmerkmale betrifft, sei hier nur ganz allgemein festgestellt, dass als solche im Prinzip jedes beliebige Merkmal in Frage kommen kann, sofern nur seine Wirkungsbeziehung zur Bonität vom Standpunkt der Gesamtheit signifikant ist. Sofern ein solcher Faktor messbarer Natur ist, bringt seine Mitnahme ins Modell keine wesentlich neuen Fragen mit sich. In denjenigen Fällen hingegen, wo es zweckentsprechend erscheint, in das Modell einen seiner Wirkung nach qualitativen Faktor einzubeziehen, ist die Voraussetzung, dass man ihn in Form einer messbaren Grösse ausdrücken kann. Als ein zunächst nur theoretisches Beispiel von einem solchen Bestandesmerkmal könnte man sich denken, dass der Standort in Form eines Waldtyps in das geplante Bonitierungsfunktionsmodell

einbezogen wird. Absolute Voraussetzung für dieses Verfahren ist es dann aber, dass man für das Waldtypensystem eine zu diesem Zweck ausreichend messbare Skala konstruieren kann, mit deren Hilfe jeweils die betreffenden Werte auf diese oder jene Weise — u.U. sogar durch blosser Schätzung — festgelegt werden können. Näher braucht auf diese Seite der Entwicklung des Bonitierungs-funktionsmodells wohl nicht eingegangen zu werden.

Die Frage, wie viele und was für einwirkende Faktoren in das Funktionsmodell schliesslich einbezogen werden, ist im Prinzip mit Hilfe der normalen mathematisch-

statistischen Testmethoden beim Wählen der unabhängigen Variablen eines gewissen Regressionsmodells zu entscheiden. Rein schematisch darf man in diesem Falle natürlich nicht vorgehen; tatsächlich liefern diese Testergebnisse nur die Basis für zweckentsprechende Erwägungen. Erst die gemeinsame und geglückte Anwendung dieser beiden bringt die beste Lösung. Allgemeiner Grundsatz bleibt jedenfalls der alte, schon früher genannte Ausgangspunkt: je einfacher man das Modell für die Bonitierung gestalten kann, umso brauchbarer wird auch die Funktion sein.

Die Entwicklungsfunktion eines bestimmten Bestandesmerkmals ($= k$) kann man zu dem betreffenden Zeitpunkt ($= t$) und für die verschiedenen Altersklassen ($= t_m$) in Form der folgenden allgemeinen Gleichung ausdrücken:

$$k(t) = f(t_m)$$

Die zweite Hilfsfunktion, die Abhängigkeitsfunktion (Symbol f), hat in der Entwicklung der Bonitierungsfunktion eine doppelte Aufgabe: — einerseits die schon früher erwähnte Bilanzierung der Regressionskoeffizienten verschiedener Bestandesmerkmale der einzelnen Bonitierungsfunktion sowie (eventuell)

— andererseits ihre Ausnutzung zur taxometrischen Behandlung des Beobachtungsmaterials.

In der Abhängigkeitsfunktion treten umgekehrt wie in der Entwicklungsfunktion — ausser den Altersklassen als unabhängige Variable auch andere Bestandesmerkmale auf, deren Regression oder Korrelation zu dem in Frage stehenden Merkmal offenbar beim Konstruieren der Bonitierungsfunktion Bedeutung hat.

In der Abhängigkeitsfunktion werden dazu diejenigen Bestandesmerkmale, die vom Standpunkt der Bonitierung besondere Bedeutung haben, als Hilfsfunktionen in der Bonitierungsfunktion in den Relationen zwischen den verschiedenen Bestandesmerkmalen nach dem relativen Gleichgewicht zu streben. Wie aus der Besprechung der Ergebnisse des Kontrollmaterials zu Teil 3 anschaulich hervorgeht, wird, ist diese letztere Möglichkeit besonders für eine gewisse Bilanzierung in der Konstruktion der ganzen Bonitierungsfunktion bedeutsam.

Die endgültige Form ist an und für sich ausschlaggebend abhängig von der Anwendungswiese der entsprechenden Hilfsfunktionen.

Es ist klar, dass die Hilfsfunktionen in anderen Bonitierungsfunktionsmodellen völlig von den hier beschriebenen abweichen können, aber die gleichen allgemeinen Grundsätze gelten für sie auch dann. Die Hilfsfunktionen beim Konstruieren einer jeden Bonitierungsfunktion beruhen ja letzten Endes stets auf der Unterlage, die für sie beim Bonitieren jeweils angewandt wird.

Die Entwicklungsfunktion eines bestimmten Bestandesmerkmals ($= k$) kann man zu dem betreffenden Zeitpunkt ($= t$) und für die verschiedenen Altersklassen ($= t_m$) in Form der folgenden allgemeinen Gleichung ausdrücken:

$$k(t) = f(t_m)$$

Die zweite Hilfsfunktion, die Abhängigkeitsfunktion (Symbol f), hat in der Entwicklung der Bonitierungsfunktion eine doppelte Aufgabe: — einerseits die schon früher erwähnte Bilanzierung der Regressionskoeffizienten verschiedener Bestandesmerkmale der einzelnen Bonitierungsfunktion sowie (eventuell)

— andererseits ihre Ausnutzung zur taxometrischen Behandlung des Beobachtungsmaterials.

In der Abhängigkeitsfunktion treten umgekehrt wie in der Entwicklungsfunktion — ausser den Altersklassen als unabhängige Variable auch andere Bestandesmerkmale auf, deren Regression oder Korrelation zu dem in Frage stehenden Merkmal offenbar beim Konstruieren der Bonitierungsfunktion Bedeutung hat.

In der Abhängigkeitsfunktion werden dazu diejenigen Bestandesmerkmale, die vom Standpunkt der Bonitierung besondere Bedeutung haben, als Hilfsfunktionen in der Bonitierungsfunktion in den Relationen zwischen den verschiedenen Bestandesmerkmalen nach dem relativen Gleichgewicht zu streben. Wie aus der Besprechung der Ergebnisse des Kontrollmaterials zu Teil 3 anschaulich hervorgeht, wird, ist diese letztere Möglichkeit besonders für eine gewisse Bilanzierung in der Konstruktion der ganzen Bonitierungsfunktion bedeutsam.

Die endgültige Form ist an und für sich ausschlaggebend abhängig von der Anwendungswiese der entsprechenden Hilfsfunktionen.

Es ist klar, dass die Hilfsfunktionen in anderen Bonitierungsfunktionsmodellen völlig von den hier beschriebenen abweichen können, aber die gleichen allgemeinen Grundsätze gelten für sie auch dann. Die Hilfsfunktionen beim Konstruieren einer jeden Bonitierungsfunktion beruhen ja letzten Endes stets auf der Unterlage, die für sie beim Bonitieren jeweils angewandt wird.

3. DIE HILFSFUNKTIONEN DER BONITIERUNGSFUNKTION

Da früher (Kapitel 35 im Teil 1) die Hilfsfunktionen bereits vom allgemeinen Gesichtspunkt der Bonitierungssysteme besprochen worden sind, sollen im folgenden nur die Hilfsfunktionen für den Fall dargelegt werden, wo ihnen das Bonitierungsalter zugrunde liegt, zunächst auf Grund derjenigen Erfahrungen, welche im Zusammenhang mit dem Konstruieren des für das Kontrollmaterial entwickelten Systems gemacht worden sind. Man darf nämlich mit Recht voraussetzen, dass mindestens die in ihnen enthaltenen strukturellen Prinzipien allermeistens hervortreten, selbst wenn die betreffende Bonitierungsfunktion auf einem wesentlich anderen Grund aufgebaut wäre. In diesem Sinne können sie als anschauliche Beispiele für die Hilfsfunktionen der Bonitierungsfunktion auch im allgemeinen gelten.

Für das erwähnte Funktionsmodell sind für zwei verschiedene Zwecke Hilfsfunktionen angewandt worden:

a) um die Beobachtungswerte von dem betreffenden Alter bis zum Bonitierungsalter zu übertragen, und

b) um mit ihrer Hilfe in der eigentlichen Bonitierungsfunktion in den Relationen zwischen den verschiedenen Bestandesmerkmalen nach dem relativen Gleichgewicht zu streben. Wie aus der Besprechung der Ergebnisse des Kontrollmaterials im Teil 3 anschaulich hervorgehen wird, ist diese letztere Möglichkeit besonders für eine gewisse Balancierung in der Konstruktion der ganzen Bonitierungsfunktion bedeutsam. Die endgültige Form ist an und für sich ausschlaggebend abhängig von der Anwendungsweise der entsprechenden Hilfsfunktionen.

Es ist klar, dass die Hilfsfunktionen in anderen Bonitierungsfunktionsmodellen völlig von den hier beschriebenen abweichen können, aber die gleichen allgemeinen, mit der Entwicklung des Bestandes verknüpften Grundzüge gelten für sie auch dann. Die Hilfsfunktionen beim Konstruieren einer jeden Bonitierungsfunktion beruhen ja letzten Endes stets auf der Unterlage, die für sie beim Bonitieren jeweils angewandt wird.

Die *Entwicklungsfunktion* (Symbol f_e) beschreibt in erster Linie die Entwicklung des Bestandes und eines gewissen Bestockungsmerkmals *ausschliesslich abhängig vom Alter*. Im Zusammenhang mit der Messung der Bonität hat sie ausgesprochen die Aufgabe, die erforderlichen Daten vom Zeitpunkt der Messung auf das Bonitierungsalter zu übertragen. Zweckmässigkeitsgründe setzen hier eine möglichst einfache Form der Funktion voraus; doch muss sie immer der betreffenden Entwicklung erschöpfend entsprechen. Gerade aus der zuverlässigen Übertragung der Bonitierungsdaten ergibt sich offenbar auch der Grund, auf dem die Zuverlässigkeit der Bonierungsfunktionen in erster Linie basiert.

Die Entwicklungsfunktion eines bestimmten Bestandesmerkmals (= k) kann man zu dem betreffenden Zeitpunkt (= i) und für die verschiedenen Altersfaktoren (= t_m) in Form der folgenden allgemeinen Gleichung ausdrücken:

$$(32) \quad f_{e_{(ki)}} = f(t_{mi}).$$

Die zweite Hilfsfunktion, die *Abhängigkeitsfunktion* (Symbol f_r), hat in der Entwicklung der Bonitierungsfunktion eine doppelte Aufgabe:

— einerseits die schon früher erwähnte Balancierung der Regressionskoeffizienten verschiedener Bestandesmerkmale der eigentlichen Bonitierungsfunktion sowie (eventuell)

— andererseits ihre Ausnutzung zur taxometrischen Behandlung des Beobachtungsmaterials.

In der Abhängigkeitsfunktion treten — umgekehrt wie in der Entwicklungsfunktion — ausser den Altersfaktoren als unabhängige Variable auch andere Bestandesmerkmale auf, deren Regression oder Korrelation zu dem in Frage stehenden Merkmal offenbar beim Konstruieren der Bonierungsfunktion Bedeutung hat.

In der Abhängigkeitsfunktion werden dazu diejenigen Bestandesmerkmale, die vom Standpunkt der Bonitierung besondere Be-

deutung haben, in eine Regressionsbeziehung zu den in diesem Sinne weniger bedeutungsvollen gesetzt. Man kann dann mit diesen Funktionen in gewissen Fällen solche leicht gebräuchliche Bestandesmerkmale, die sonst ohne Beachtung bleiben könnten, zur Entwicklung der Bonitierungsfunktion heranziehen. Mathematisch lässt sich die Abhängigkeitsfunktion folgendermassen darstellen:

$$(35) \quad f_{ri} = f(t_{mi}, b_{ki}),$$

worin die für notwendig erachteten Bestandesmerkmale (b_k) enthalten sind.

Im Hinblick auf den grundlegenden Charakter der Entwicklungsfunktion wäre es am sachdienlichsten, sofern sich kein anderes Vorgehen als besonders vorteilhaft erweist, in den betreffenden Abhängigkeitsfunktionen, wenn das gleiche Bonitierungsfunktions-

modell in Frage steht, die gleiche Altersfaktorenkombination zu befolgen.

Für die Abhängigkeitsfunktion kommen besonders die Bestockungsmerkmale in Frage. Doch ist zu bedenken, dass auch andere Bestandesmerkmale einzubeziehen sind, soweit ein solches Vorgehen aus irgendeinem Grunde zweckentsprechend erscheint. Es ist klar, dass zunächst für die Abhängigkeitsfunktion bei der Entwicklung von Bonitierungs-systemen in anderem Zusammenhang auch ganz andere Aufgaben in Frage kommen können, als was oben besprochen ist. Dies setzt jedoch voraus, dass sie eine Korrelations- oder Regressionsbeziehung entsprechender Art zum Bestand oder dessen Standort haben. Natürlich kann noch ein anderer Grund eine derartige Erweiterung der Anwendung der Abhängigkeitsfunktion erforderlich machen.

4. DIE MASSEINHEIT DER BONITIERUNGSFUNKTION

41. Der Inhalt einer Masseinheit

Ein sehr einfacher und klarer theoretischer Ausgangspunkt für die Messung der Bonität von Beständen ist es, dass man versucht, sie in eine möglichst passende Form *aufgrund des Gesamtertrags* bis zum Bonitierungsalter *zum Ausdruck zu bringen*. Selbstverständlich kann man auch ausschliesslich von der Holzmenge des Bestandes ausgehen, also von ihrer Gesamtmasse (vgl. z.B. BERUTSEN 1971, S. 22). Bei den bisher vorgelegten Bonitierungsprinzipien handelte es sich fast ausnahmslos eben um diese Alternative, obwohl dies nicht immer ausdrücklich hervorgehoben worden ist. In der in diesem Zusammenhang dargelegten Form ist der Ausgangspunkt des Bonitätsmasses an sich sehr einfach: Die Bonität des Bestandes ist umso besser, je grösseren Wert der Gesamtertrag jeweils hat. Der Verwirklichung dieses Prinzips steht jedoch rein theoretisch genommen das Hindernis im Wege, dass seine Messung in verschiedenen Beständen auf Schwierigkeiten stösst, die kaum zu überwinden sind, wenn man bedenkt, dass das Bonitätsmass unabhängig von den Fluktuationen im Wert des Holzes sein sollte. Einerseits die ständigen Veränderungen im Wertverhältnis zwischen den verschiedenen Holzsorten, und zugleich die Unmöglichkeit, die Richtung seines allgemeinen Trendes auf dem Weltmarkt im Rahmen eines ganzen Umtriebes vorauszusagen, machen dieses Vorgehen praktisch unausführbar (vgl. DELORME etc. 1975). Man ist also gezwungen, bei der Suche nach einer Masseinheit der Bonität ausnahmslos einen ganz anderen Indikator für den Wert der Bestockung heranzuziehen.

Als ein Beispiel von verschiedenen in dieser Hinsicht in Frage kommenden Alternativen wird zunächst über die Methode berichtet, die auf das Kontrollmaterial angewandt worden ist. Diese Alternative ist keineswegs die einzig mögliche. Es ist nicht ausgeschlossen, dass ein anderer Ausgangspunkt zu besserem Resultat führen könnte. Doch hat das Analysieren der

Prinzipien der für das Kontrollmaterial entwickelten Masseinheit auch im weiteren Sinne seine Bedeutung, weil es für die Suche nach der Entwicklung der in anderen eventuellen Bonitierungsfunktionssystemen anzuwendenden Masseinheiten Hinweise geben kann.

Die Frage der Masseinheit ist nun so gelöst worden, dass der Einheitswert des Gesamtertrags in einer Art und Weise dargestellt wird, die möglichst gut nach dem den wirklichen Einheitswert kompensierenden Wert strebt, und trotzdem der für die eigentliche Aufgabe dieser Untersuchung, die Bonitierung selbst, erforderlichen allgemeinen Funktion angepasst ist. Dieses Verfahren kann freilich für etwas zu approximativ gelten, aber andererseits bringt es getrennt von der Gesamtmasse die wesentlichsten Wertcharaktere jedes einzelnen Bestandes in gewissem Sinne stabil hervor.

Der Ausgangspunkt der auf das Kontrollmaterial angewandten Masseinheit der Bonität wird mit einem eigenen Ausdruck bezeichnet, nämlich als Ausgangswert des Bonitätsmasses des betreffenden Bestandes, weil das ganze Bonitierungssystem immer auf Grund dieser Werte bearbeitet wird.

Der *Ausgangswert* ist zusammengesetzt aus zwei Teilen, auf denen er aufgebaut werden kann, nämlich

- die Gesamtmasse und
- deren Einheitswert

Es ist am einfachsten und natürlichsten, als ersten Teil des Ausgangswertes die Gesamtmasse in Festgehalt mit Rinde anzusetzen. Anderwärts in der Welt wird die Gesamtmasse natürlich in der jeweils in dem betreffenden Land gängigen Holzeinheit ausgedrückt. Die Gesamtmasse wiederum setzt natürlich bei der Bonitierung voraus, dass darin auch die Holzpartien aller verschiedenen Abgangsphasen bis zum Bonitierungsalter berücksichtigt werden.

Der zweite wesentliche Teil im Ausgangswert des Bestandes ist also sein Einheitswert der jeweiligen Holzmasseinheit. Da es

sich um die Bonität von Waldbeständen handelt, die an sich keineswegs an den Zeitpunkt eines Holzabgangs anknüpft, kann der Geldwert des Holzes nicht als Indikator für den Einheitswert der Gesamtmasse in Frage kommen. Es muss also nach einer einfacheren, wenschon dann allgemeineren, aber doch ihrem Zweck entsprechenden Lösung gesucht werden.

Nach reiflicher Erwägung verschiedener möglicher Alternativen kam man zu dem Resultat, dass ein zweckentsprechendes und auch sehr brauchbares Merkmal für den Ausgangswert die Dimensionsverhältnisse sind. Da man auch danach streben sollte, sie in möglichst einfacher Form dem Ausgangswert hinzuzufügen, kommt in erster Linie der mittlere Durchmesser des Bestandes, in geeigneter Weise ausgedrückt, in Frage. Zu dieser Entscheidung hat ganz wesentlich der Umstand beigetragen, dass die Bedeutung der Dimension als Wertfaktor des Holzes ständig im Abnehmen begriffen zu sein scheint. Da jedoch kaum zu erwarten ist, dass dieser Faktor seine diesbezügliche Bedeutung ganz verliert, wenigstens nicht in näherer Zukunft, dürfte es bis auf weiteres gerechtfertigt sein, den *mittleren Durchmesser* des Bestandes als *Kennzahl* anzuwenden, die im jeweiligen Falle den allgemeinen relativen Wert *des Einheitswerts* der Gesamtmasse darstellt. Das Wesen dieser Kennzahl kann man dann in gewünschter Weise betonen, je nachdem, mit welcher Gewichtung man die verschiedenen Baumindividuen berücksichtigen will. Gleichermassen könnte man die Sache durch die Form der Funktion beeinflussen, die man zwischen dem mittleren Durchmesser und dem Einheitswert des Bestandes herrschen lässt. Das Handlichste ist natürlich die einfache lineare Funktionsform, deren Anwendung noch mit der schon oben besprochenen abnehmenden Bedeutung der Holzdimension gut begründet ist.

Wie aus dem Obensagten hervorgeht, besteht der tatsächliche *Ausgangswert* aus dem *Produkt* der dem Bonitierungsalter entsprechenden *Gesamtmasse* und deren *mittleren Durchmesser*, was als ihr Logarithmus ihrer Summe entspricht. Im folgenden Kapitel werden eingehender verschiedene Alternativen besprochen, diesen *eigentlichen*

Bonitätsmesswert in eine für die Praxis zweckmässige Form zu bringen.

Schliesslich sei noch bemerkt, dass die Masseinheit der Bonität natürlich stets an ihren eigenen Ausgangswerten anknüpft und dementsprechend symbolisiert werden kann. Doch ist es durchaus möglich, sie nur in Form eines reinen Zahlenwerts oder mit dem eigenen Symbol (z.B. »B« = Bonitätsmass) versehen auszudrücken. Besonders wichtig dagegen ist es, dass sie für diejenige ganze Bestandesgesamtheit (eine oder mehrere Gesamtpopulationen), die eine gemeinsame Masseinheit hat, aus auf den gleichen Masseinheiten fussenden Teilwerten zusammengesetzt ist.

42. Die Ausdrucksform des Bonitätsmasses

Das von der Bonitierungsfunktion ergebene *eigentliche Bonitätsmass* kann als *seine beste Ausdrucksform* gelten, deren Anwendung als allgemeine Messgrösse prinzipiell nichts im Wege steht. Es müssen dann nur stets die Sonderzüge berücksichtigt werden, die jeweils durch ihren Grundcharakter bedingt sind.

Der allgemeineren Anwendung eines solchen *eigentlichen Bonitätsmesswertes* setzen jedoch die menschlichen Gewohnheiten gewisse Grenzen, weil erst die Gewöhnung mit der Zeit dazu führen wird, dass man seinen tatsächlichen Wert zu begreifen lernt. Es kann daher u.U. lange Zeit in Anspruch nehmen, bis das *eigentliche Bonitätsmass* sich durchsetzt. Deswegen lässt sich denken, dass ausgesprochen für den praktischen Gebrauch auch nach anderen Ausdrucksformen für das *Bonitätsmass* zu suchen wäre. In Frage kämen dann zunächst Verfahren, an die man schon von früherher gewöhnt ist. Aber auch diese haben, eben weil sie auf früherem Brauch beruhen, hier ihre Schwächen. Für *wissenschaftliche Aufgaben* müssen die *eigentlichen Bonitätsmesswerte* auf jeden Fall als die unbedingte Entscheidung gelten. Ein Problem für sich ist es, wenn eine Bonitierungsfunktion in logarithmischer Form gebildet ist. Ohne Zweifel vermag es in diesem Falle sachdienlich, wenn nicht sogar als unvermeidliche Voraussetzung anzusehen

sein, auch die eigentlichen Bonitätsmasse als entlogarithmierter Messwert darzustellen. Aber auch dann muss man alle Rechnungen, die auf den eigentlichen Bonitätsmassen fussen, mit den ursprünglichen logarithmischen Werten durchführen.

Sofern es jedoch unerlässlich erscheint, die Bonitätsmesswerte auf irgendeine andere Weise zum Ausdruck zu bringen, kommen natürlich zunächst solche Werte in Frage, die in eine für den betreffenden Zweck geeignete Form gebracht sind. Man darf jedoch nicht vergessen, dass sie *niemals* genau *die gleiche Information* über das Bonitätsmass zum Ausdruck bringen können wie die eigentlichen Messungsergebnisse.

Die oben besprochenen umgeformten Eratzwerte können in zwei Hauptgruppen eingeteilt werden:

1. *Die relativen Werte*, die den früher gebräuchlichen Bonitätswerten entsprechen (vgl. z.B. ILVESSALO 1965, S. 377). Als deren Ausgangspunkt wählt man am besten einen zweckdienlichen Vergleichspunkt aus dem Varitationsbereich der Bonitätsmasse. Dabei sollte man natürlich die Umformung nach Möglichkeit auf solche Weise ausführen, dass ihre Werte im entsprechenden Mengenverhältnis wachsen, wie auch die Gütestufe des betreffenden Bestandes sich ändert.

2. *Transformierte absolute Bonitätsmesswerte*, die jeder für sich auf dem eigentlichen Bonitätsmass beruhen. Dabei kann es vorteilhaft sein, dass ein solcher Wert irgendeinem schon früher bekannten Bestandesmerkmal (z.B. Bestandesvolumen) entsprechend ausgedrückt wird.

wirklichen ursprünglichen Messungsergebnis fällt das Gewicht im allgemeinen auf ausgeht und die Übertragung ins Boni- bestimmte Bestandesmerkmale, aber mit

5. DER AUSGANGSWERT DER BONITIERUNGSFUNKTION UND SEINE BESTIMMUNG

Die Bildung der Bonitierunsfunktion ist als mathematisch-statistische Aufgabe die normale Schätzung der Parameter einer Regressionsgleichung, worin die auf ihrer Masseinheit fussenden, für jede Beobachtungseinheit gebildeten Masszahlen die abhängigen Variablen ausmachen. Sie werden in der vorliegenden Untersuchung als *Ausgangswerte* des Bonitätsmasses bezeichnet, wie schon früher (S. 28) besprochen wurde. Unabhängige Variable sind natürlich die Bestandesmerkmale, die für diesen Zweck in die Bonitierunsfunktion genommen worden sind. Besonders wesentlich für die Ausgangswerte ist es, dass *ihre Aufgabe* sich ganz und gar *auf die Schätzung der Bonitierunsfunktion beschränkt*.

Die in der obigen Weise gebildete *Bonitierunsfunktion* ist erst die *Messmethode*, die jedem Bestand aufgrund der in der betreffenden Bonitierunsfunktion enthaltenen Bestandesmerkmale den Funktionswert verleiht, der dann als eigentliches *Bonitätsmass* angewandt wird. *Auf ihm*, also nicht auf dem Ausgangswert des betreffenden Bestandes, *gründen auch alle die Berechnungen*, die nach der Schätzung der Bonitierunsfunktion für ihre Verwertung durchgeführt werden.

Vom allgemeinen Standpunkt sind noch zwei Aspekte zum Ausgangswert zu berücksichtigen. Im Prinzip müsste er ganz unkorreliert sein mit den Bestandesmerkmalen, die in der Bonitierunsfunktion jeweils unabhängig Variable sind, oder sonstige so entwickelt werden können. Diese Voraussetzung kommt in der Praxis jedoch offen-

bar nur ganz selten in Frage. Meistens muss man wohl so vorgehen, dass die Ausgangswerte der zu bildenden Funktion irgendwie an die Bestandesmerkmale gebunden sind, die zugleich erklärende Merkmale der Bonitierunsfunktion sein werden. Dieser Umstand setzt seinerseits wiederum denjenigen mathematisch-statistischen Verfahren ihre Grenzen, mit denen die betreffende Schätzung genauer analysiert werden soll. Dieser Gesichtspunkt an sich ist jedoch kein Hindernis für die Durchführung solcher mathematisch-statistischer Operationen. Theoretisch setzt die Beurteilung ihrer Resultate nur voraus, dass man die betreffende Korrelationsbeziehung kennt. Wo sich dies nicht verwirklichen lässt, muss man bei der Beurteilung der Ergebnisse die Wirkung dieser Sachlage aufgrund allgemeiner Kenntnis rein erwägungsmässig in Betracht ziehen. Wesentlich ist es also, dass man im Bedarfsfalle freilich die betreffenden Tests durchführen kann, man muss aber bei ihrer Auslegung mit der nötigen Vorsicht vorgehen. Dass hinsichtlich des betreffenden Ausgangswertes sich eine gewisse Abhängigkeit feststellen lässt, braucht also keineswegs die Brauchbarkeit der Bonitierunsfunktion zu beeinträchtigen. *Bei der Messung der Bonität handelt es sich* in Wirklichkeit *stets nur um die Bildung einer gewissen Regressionsbeziehung*. In dieser Hinsicht kann man immer ein statistisch-mathematisch zuverlässiges Resultat erzielen, neben welchem eventuelle *Signikanz- und Zuverlässigkeitstests* nur zweitrangige Bedeutung haben.

6. ÜBER DAS BEOBACHTUNGSMATERIAL DER BONITIERUNGSFUNKTIONEN

In früherem Zusammenhang (Kap. 341 im Teil 1) ist das für das Konstruieren von Bonitierungssystemen erforderliche Beobachtungsmaterial im allgemeineren Sinne behandelt worden, weshalb jetzt nur diejenigen wesentlichen Gesichtspunkte besprochen werden sollen, die bei der Bildung von Bonitierungsfunktionen hervortreten.

Die Dauerversuchsflächenserien, deren Messungen in regelmässigen Abständen die ganze Umtriebszeit des Bestandes hindurch, mindestens jedoch bis zu dem jeweils in Frage stehenden Bonitierungsalter durchgeführt werden, stellen in dieser Hinsicht keine besonderen Probleme dar. Bei manchen Baumarten mit kurzer Umtriebszeit wäre es dann theoretisch denkbar, dass im Bonitierungsalter mehr als eine Umtriebszeit enthalten wäre; dies ist aber schon ein Problem für sich.

Auch wenn es auf normalen Dauerversuchsflächen möglich wäre, zum gemeinsamen Ausgangswert aller betreffenden Messungsergebnisse die gemessene Gesamtmasse und den Mitteldurchmesser bis zum Bonitierungsalter als solche zu nehmen, ist es für die Brauchbarkeit der eigentlichen Bonitierungsfunktion sicherlich *zweckmässiger*, dass zuerst der auf einer jeden Dauerversuchsfläche anzuwendende Ausgangswert mit Hilfe seiner eigenen geschätzten Bonitierungsfunktion berechnet wird, wobei in der ganzen Entwicklungszeit das normale Bonitierungsalter angewandt wird. Dies sollte so vor sich gehen, dass alle in den verschiedenen Phasen der betreffenden Versuchsfläche durchgeführten Messungen berücksichtigt werden. Wenn im Zusammenhang mit einer bestimmten Messungsphase auch ein Abgang stattfindet, sollen in dieser Phase die Bestandesmerkmale sowohl vor wie nach dieser Massnahme gemessen berücksichtigt werden. Im Hinblick auf das Bildungsprinzip der Bonitierungsfunktion führt ein solches Vorgehen offenbar zu einer erheblich brauchbareren Lösung. Dies trägt dazu bei, die Unterschiede in der Entwicklung der verschiedenen Dauerversuchsflächen beim Ausarbeiten der eigentlichen Bonitierungsfunktion

auszugleichen. Erst aufgrund des so erhaltenen versuchsflächenweisen Bonitätsmasses wird danach jede Phase der betreffenden Dauerversuchsfläche mit einem gemeinsamen Ausgangswert bei der eigentlichen Schätzung der betreffenden Bonitierungsfunktion mitgenommen.

Sofern man wiederum Gelegenheitsprobenflächenmaterial heranziehen muss, müssen daraus zunächst möglichst homogene Gruppen gebildet werden, die in gewisser Weise den einzelnen Dauerversuchsflächen im Dauerversuchsflächenmaterial entsprechen. Das für diesen Zweck geeignete Verfahren ist schon früher (Kap. 342 im Teil 1) besprochen worden. Wenn es zweckentsprechend erscheint, kann das Material auch auf einer erwägungsmässigen Unterlage gruppiert werden, sofern die Gruppen nur ausreichend homogen sind (vgl. S. 00).

Wenn man aufgrund eines solchen Materials den Ausgangswert bestimmt, können u.U. geeignete Entwicklungsfunktionen gefunden werden, und bei der Behandlung des Beobachtungsmaterials ist dann auch ihre Berechnung für jede einzelne Gruppe die erste Aufgabe. Dabei ist es am besten, dass man diesen Schritt für jeden (eventuellen) Teilwert der Masseinheit der Bonität getrennt durchführt. So erhält man für jede Gruppe des Materials die vorbereitenden gemeinsamen, dem Ausgangswert entsprechenden Berechnungswerte, die dem nächsten Schritt der Behandlung des Materials, der Bestimmung der endgültigen probeflächenweisen Ausgangswerte, zugrunde gelegt werden.

Die zweite Phase des Rechenvorgangs ist die Bestimmung der einzelnen Ausgangswerte der Probenflächen, die bei Bedarf auch getrennt für jeden Teilwert der Masseinheit durchgeführt werden soll. Das Prinzip ist in diesem Falle ganz natürlich: die relative Abweichung der einzelnen Probenflächen vom Niveau der ganzen Gruppe muss im Bonitierungsalter die gleiche bleiben, wie sie in dem Messungsalter der betreffenden Probenfläche war. Dieses Prinzip lässt sich leicht so verwirklichen, dass man vom

wirklichen ursprünglichen Messungsergebnis ausgeht und die Übertragung ins Bonitierungsalter mit Hilfe der Entwicklungsfunktion der betreffenden Gruppe vornimmt, wobei das ursprüngliche Verhältnis zum Niveau der Gruppe erhalten bleibt.

Natürlich trifft es keineswegs immer zu, dass dieses tatsächlich bis zum Bonitierungsalter unverändert bleibt oder das gleiche gewesen ist. Auf jeden Fall bringt es jedoch die individuellen Abweichungen einer jeden Probefläche deutlich zum Vorschein.

Beim Ausarbeiten der Ausgangswerte kommt auch die Verwertung der Abhängigkeitsfunktion in Frage. Wenn bloße Entwicklungsfunktionen angewendet werden,

fällt das Gewicht im allgemeinen auf bestimmte Bestandesmerkmale, aber mit Hilfe von Abhängigkeitsfunktionen lassen sich die verschiedenen Merkmale in der endgültigen Bonitierungsfunktion gleichwertiger herausbringen. Dabei kann der Gebrauch der Abhängigkeitsfunktionen in Erwägung gezogen werden. Mit ihrer geeigneten Anwendung ist es möglich, durch eine bemerkenswerte Balancierung in der Einwirkung verschiedener Merkmale einen brauchbaren Vorteil mitzubringen, ohne dass in der endgültigen eigentlichen Bonitierungsfunktion in seiner Information etwas Wesentliches verloren würde.

Die Bonitierungsarbeiten sind in der Regel in zwei Phasen unterteilt. In der ersten Phase wird die Bestandesaufnahme durchgeführt, wobei die verschiedenen Merkmale des Bestandes erfasst werden. In der zweiten Phase werden die ermittelten Werte in die Bonitierungsfunktion eingebracht, um die endgültigen Bonitierungsmerkmale zu erhalten. Die Bonitierungsarbeiten sind in der Regel in zwei Phasen unterteilt. In der ersten Phase wird die Bestandesaufnahme durchgeführt, wobei die verschiedenen Merkmale des Bestandes erfasst werden. In der zweiten Phase werden die ermittelten Werte in die Bonitierungsfunktion eingebracht, um die endgültigen Bonitierungsmerkmale zu erhalten.

Die Bonitierungsarbeiten sind in der Regel in zwei Phasen unterteilt. In der ersten Phase wird die Bestandesaufnahme durchgeführt, wobei die verschiedenen Merkmale des Bestandes erfasst werden. In der zweiten Phase werden die ermittelten Werte in die Bonitierungsfunktion eingebracht, um die endgültigen Bonitierungsmerkmale zu erhalten. Die Bonitierungsarbeiten sind in der Regel in zwei Phasen unterteilt. In der ersten Phase wird die Bestandesaufnahme durchgeführt, wobei die verschiedenen Merkmale des Bestandes erfasst werden. In der zweiten Phase werden die ermittelten Werte in die Bonitierungsfunktion eingebracht, um die endgültigen Bonitierungsmerkmale zu erhalten.

ANHANG 1.

Die Bonitierungsmethoden der Mischbestände

Die von ASSMANN (vgl. S. 11) an die Bonitierungssysteme gestellte Bedingung ihrer Allgemeingültigkeit schliesst ausser reinen Beständen auch alle verschiedenen Mischbestände ein. Solche Bestände machen ja schon jetzt — auch wenn die Verhältnisse in den Tropen ausser acht gelassen werden — einen beträchtlichen Teil von allen in der Forstwirtschaft vorkommenden Bestandarten aus, und ganz offenbar werden sie künftig immer mehr bevorzugt werden.

Die Mischbestände können auf Grund ihrer Herkunft in folgende zwei Haupttypen eingeteilt werden:

1) solche Bestände, die entweder von selbst oder, besonders heutzutage, durch Anbau entstanden sind, und die sich in einer einheitlichen und in Hinsicht auf ihre Baumartkombination beständigen Zusammensetzung entwickelt haben, oder

2) solche hauptsächlich natürlich entstandene Mischbestände, die entweder von selbst oder durch die Abholzung ihre jeweilige Baumartkombination während ihrer Entwicklung so erhalten haben, dass im Rahmen des betreffenden Gebietes annähernd alle in Frage kommenden möglichen Baumartkombinationen ganz regellos vorkommen können.

Im Hinblick auf die beiden Alternativen möchte man die Entwicklung von Bonitierungsmethoden auf ganz verschiedenem Wege ausführen. Im folgenden werden die wesentlichsten Züge der Methodik der beiden Fälle kurz betrachtet.

Die erste Alternative setzt ja voraus, dass eine bestimmte Baumartkombination in einem weiteren Gebiet vorkommt, so dass ihre Bestände ein ausgedehntes oder u.U. mehrere gesonderte Gebiete ausmachen. Dann bietet sich ganz naturgemäss die Möglichkeit, eine solche Gesamtheit als eine selbständige Bestandesart zu behandeln, für die am zweckmässigsten ihre eigene Bonitierungsfunktion ausgearbeitet wird. Dieses setzt natürlich voraus, dass genügend

Beobachtungsmaterial zur Verfügung steht. Diesem Prinzip entsprechende Ertragstafeln sind ja in West- und Mitteleuropa schon jetzt ziemlich allgemein im Gebrauch. Es hat den Anschein, dass der Anteil verschiedenartiger Mischbestände dort ständig im Zunehmen ist. Eine Methode für eine Mischbestandart wird natürlich nach den gleichen Prinzipien gebildet wie auch bei den reinen Beständen. Bei Bedarf muss die Variation der Baumartverhältnisse in den einzelnen Beständen berücksichtigt werden. Hinzu kommt noch, dass zu entscheiden ist, ob als Bestandesmerkmale die Beobachtungswerte für beide (oder alle) Baumarten getrennt oder als den ganzen Bestand gemeinsam repräsentierender Wert berücksichtigt werden. Es ist natürlich auch möglich, dass nur ein Teil der Merkmale für jede betreffende Baumart getrennt in die betreffende Bonitierungsmethode mitgenommen wird, indem die anderen für alle Baumarten als ein gemeinsames Merkmal behandelt werden. Für die Zuverlässigkeit der Bonitätsmasse bedeutet die Anwendung der ersteren Alternative natürlich einen Gewinn, aber zugleich vermehrt sich dadurch sehr schnell die Kompliziertheit der Methode, und entsprechend wird auch die Bearbeitung des Beobachtungsmaterials mühevoller. Bei der Bildung einer Methode muss man stets besonders erwägen, bis zu welchem Grade die Vermehrung dieser Kompliziertheit des Verfahrens dem Zweck entspricht. Wieder handelt es sich darum, dass man die sachdienlichste Lösung ausgesprochen auf der Basis der Anforderungen findet, die von der jeweiligen Aufgabe an die Methode gestellt werden.

In Nord- und Osteuropa, wo die Wälder noch zum grössten Teil natürlich verjüngt sind, bilden die Mischbestände ein ganz anderes Problem. In diesen Gebieten ist dieses ausserdem relativ viel bedeutsamer als das oben Besprochene. In den Wäldern dieses Gebiets kommen nämlich fast alle möglichen Bestandesarten vor, von reinen Beständen bis zu den Mischbeständen mannigfaltigster Baumartkombinationen. Dass

die Schwierigkeiten sehr gross sind, wenn man für diese regellosen Mischbestandsgebiete Bonitierungsverfahren entwickeln will, versteht sich von selbst.

Die konsequenteste Entscheidung zur Entwicklung der Bonitierungsverfahren für die obenbeschriebenen Fällen ist selbstverständlich auch hier eine auf das eigene Material stützende Alternative, im allgemeinen nach denselben Prinzipien, wie schon oben besprochen wurde. Der Art der betreffenden Verhältnisse gemäss wird natürlich die Bearbeitung des Beobachtungsmaterials viel beschwerlicher und entsprechend auch die Konstruktion der Bonitierungsverfahren deutlich komplizierter. Ein Problem für sich bilden in diesen Wäldern ausserdem die Ausgangswerte sowie auch ihre Unregelmässigkeiten in der Struktur der Bestände. Sie sollen erst in dem letzten Teil dieser Untersuchungsserie behandelt werden, wo nach einer möglichst effektiven Lösung dieser beiden Probleme gesucht wird.

Bei der Entwicklung der Bonitierungsverfahren für die Mischbestände stösst man immer auf zwei Probleme, die bei der Bearbeitung von reinen, nur eine Baumart enthaltenden Bestandesarten gar nicht in Frage kommen. Diese zwei im Verhältnis zu dem oben Besprochenen neuen Probleme bestehen einerseits

1) aus dem unähnlichen Wachstumsrhythmus verschiedener Baumarten, und andererseits

2) aus der Variation des Anteils der betreffenden Baumarten in verschiedenen Beständen der jeweiligen Bestandesart.

Diese Probleme finden im ersten der früher erwähnten Mischbestandstypen ihre Lösung im allgemeinen ziemlich einfach. Besonders betrifft dies die Unähnlichkeit im Wachstum der verschiedenen Baumarten der jeweiligen Mischbestandsart. Es hat auf Grund des Kontrollmaterials den Anschein, dass in den meisten Fällen in der jeweiligen Mischbestandsart die einzelne Bäume in ihrem Wuchs sich einander so weitgehend anpassen (vgl. auch KANGAS 1969, S. 99), dass der Wachstumsrhythmus hier faktisch als gemeinsam für alle ihre Baumarten gleich angesehen werden kann. Der ganze Bestand

bildet als ein mit der reinen Bestandsart gleichgestelltes, in den Hauptzügen auf die entsprechende Weise eine einheitliche Ganzheit. Unter diesen Umständen kann man dabei im allgemeinen davon ausgehen, dass bei Bonitierungen die Unterschiede bezüglich der Altersfaktoren unbeachtet bleiben können.

Ganz ähnlich scheint der Sachverhalt betreffs der Baumverhältnisse und ihrer bestandesmässigen Variation zu sein. Tatsächlich ist es meistens bei der Entwicklung der jeweiligen Bonitierungsverfahren auch in dieser Hinsicht nicht nötig, eine Entscheidung herauszufinden, damit ein brauchbares Verfahren gewonnen würde. In diesem Zusammenhang wird dieses Problem nicht eingehender zur Behandlung aufgenommen, weil die gleichen Fragen im Folgenden, beim Betrachten des zweiten Haupttypus der Mischbestände einer gründlicheren Prüfung unterzogen werden. In diesem Zusammenhang werden nur die zwei Alternativen behandelt, welche für diesen Zweck am besten geeignet zu sein scheinen. Soweit es zweckmässig ist, in die Struktur der in Frage kommenden Bonitierungsverfahren ein Bestandesmerkmal (z. B. die Stammzahl oder eventuell die Grundfläche) nach Baumarten getrennt miteinzubeziehen, erscheint es ganz natürlich, die Einwirkung der Mengenverhältnisse der verschiedenen Baumarten nebenbei mit aufzunehmen. Wenn diese Alternative ausgeschieden ist, kommen als die andere Alternative die Mengenverhältnisse zwischen den verschiedenen Baumarten in Frage. Die Form, in welcher man dies in dem jeweiligen Falle verwirklicht, ist letzten Endes abhängig von der Konstruktion des betreffenden Bonitierungsverfahrens.

Es ist ja selbstverständlich, dass falls auch für die Wälder von dem letzteren Mischbestandstyp ein brauchbares Beobachtungsmaterial zur Verfügung steht, diese Möglichkeit immer verwertet werden muss. Im Prinzip können in diesem Falle dieselben Verfahren geeignet sein, welche oben beschrieben worden sind. Doch müssen die ganz verschiedenartige Grundlage der Entwicklung der Bestände beider Typen immer in Betracht gezogen und die entsprechenden Gesichtspunkte bei der Konstruktion der Bonitierungsverfahren berücksichtigt werden.

Ganz offenbar trifft man jedoch die obige Möglichkeit in Wirklichkeit recht selten, und darum sollen im folgenden andere Möglichkeiten etwas näher betrachtet werden.

Als eine solche Alternative wäre es denkbar, dass man die Bonitierung der Mischbeständepopulationen etwa folgendermassen durchführen könnte. Mit der Bonitierungsfunktion einer jeden seiner Baumarten für sich wird für den betreffenden Bestand sein eigenes Bonitätsmass gemessen. Danach könnte man auf Grund dieser baumartengemässen Bonitätsmasse und des Anteils der betreffenden Baumarten für die betreffende Bestandesart auf eine geeignete Weise die engültige Bonitätsfunktion entwickeln.

Man sieht, dass hier eine beschwerliche und komplizierte Totalmethode in Frage steht. Vor einer endgültigen Stellungnahme zu dieser Alternative müsste man ihre Möglichkeiten gründlich untersuchen und im positiven Fall auf deren Grund die erforderlichen Methoden entwickeln. Dieses Verfahren könnte man als *Kombinationsfunktionen* bezeichnen.

In den obenbesprochenen Fällen wären jedoch die erforderlichen Bonitierungsverfahren offenbar als *Vereinigungsmethoden* herauszuarbeiten. Solche Methoden können gebildet werden, indem man die für die reinen Bestände verschiedener Baumarten ausgearbeiteten Bonitierungsmerhoden in geeigneter Weise vereinigt. Mit deren Hilfe könnte man dann imstande sein, in verschiedenen Mischbeständen das Bonitätsmass mit genügender Genauigkeit zu messen. Freilich muss schon von vornherein betont werden, dass sich derart erzielte Methoden hinsichtlich der Zuverlässigkeit natürlich kaum mit den Methoden vergleichen lassen, die sich auf eigenes Beobachtungsmaterial gründen. Wenn es jedoch gelingt, die so gestellte Aufgabe in zweckdienlicher Weise zu lösen, lassen sich auf diesem Wege für die Mischbestände im allgemeinen sicherlich genügend zuverlässige Bonitätsmasse gewinnen.

Aufgrund dessen, was sich über die mit den Mischbeständen verknüpften Probleme im Licht des Kontrollmaterials schliessen lässt, werden im folgenden kurz einige

Punkte behandelt, die wesentliche Bedeutung für die Lösung der ganzen Frage haben.

Die grundsätzliche Voraussetzung für eine solche Vereinigungsfunktion ist es natürlich, dass die verschiedenen Baumarten untereinander gleichwertig mitgenommen werden. Wenn die auf der Streuung fussende Zuverlässigkeit der einzelnen Methoden verschiedener Baumarten ungefähr gleich ist oder in der Vereinigung als Gewichtung mitgenommen wird, dürften mit Hilfe geeigneter Vereinigungsmethoden befriedigende Ergebnisse zu erzielen sein.

Beim Bilden einer Methode von dieser Art dürfte es genügen, dass man nur die empfindlichsten, wirksamen Bestandesmerkmale nach Baumarten getrennt mitnimmt, während die übrigen für alle Baumarten gemeinsam angewandt werden. Die Frage, wie die Merkmale auf diese Alternative zu verteilen sind, wird am besten mit Hilfe von geeigneten Testen entschieden. Dabei müsste es als massgebendes Prinzip angesehen werden, dass beim Testen die Gütefaktoren immer so behandelt werden, dass die Altersfaktoren eliminiert sind. So lässt sich offenbar am einfachsten entscheiden, welche Bestandesmerkmale für eine solche Vereinigungsfunktion am besten geeignet sind. Hinsichtlich der Zeitfaktoren dagegen scheint das entsprechende Verfahren nicht erforderlich zu sein, sondern beim Vergleich zwischen ihrer Wirkung können die Gütefaktoren für alle Baumarten als eine Ganzheit in Betracht gezogen werden, weil sie bei verschiedenen Baumarten viel weniger variieren. Auch hier muss man beim Deuten der betreffenden Testwerte bestrebt sein, den rechten Mittelweg zwischen einerseits der Zuverlässigkeit und anderseits der Brauchbarkeit der Methode in der Praxis zu finden.

Ein Problem ganz für sich beim Entwickeln von Bonitierungsmethoden für Mischbestände sind die Baumartverhältnisse und ihre Variation in einzelnen Beständen, wenn sie durch verschiedene Bestandesmerkmale nicht auf genügende Weise mitgenommen können werden. Sofern eine gewisse Mischbestandsart, für die man eine eigene Bonitierungsfunktion herausarbeiten will, nur aus zwei Baumarten besteht, lässt sich das Verhältnis zwischen den Baumarten recht einfach in Betracht ziehen. Dann ist das einfachste Merkmal das quantitative Ver-

hältnis zwischen den beiden Baumarten auf Grund eines geeigneten Bestockungsmerkmals (zunächst der Stammzahl).

Diese Methode verlangt nur das Hinzufügen eines einzigen erklärenden Merkmals zur betreffenden Bonitierungsmethode. Auch in den Vereinigungsmethoden für mehrere Baumarten dürfte eine solche, den verhältnis-

mässigen Anteil der Baumarten anzeigende Ausdruckweise ein zweckmässiges Merkmal sein. Mit Hilfe geeigneter Umwandlungsverfahren dürfte es möglich sein, sie in eine von der jeweils zu entwickelnden Bonitierungs- methode erforderte Form zu bringen, welcherart deren Strukturprinzip nun auch sein mag.

Die Entwicklung von Approximations- methoden, wenn diese sich für die praktische Forstwirtschaft besser eignen. Als solche einfache Mittel für die Messung der Bonität mit der jeweils erforderlichen Genauigkeit wiederum kommen zuvorderst in Frage entweder a) aus der eigentlichen Bonitierungs- methode entwickelte, bis in die verschiedenen Stufen vereinfachte Verfahren, oder b) für die allerersten praktischen Aufgaben) in passender Form aufgestellte numerische Tafeln oder alternativ auf die entsprechende Weise hergestellte Diagramme, die für den jeweiligen Zweck geeignet sind. Es muss nochmals hervorgehoben werden, dass diese Tafeln und Diagramme ebenfalls stets auf dem Grund der eigentlichen Bonitätsaufgebaut werden sollen. Es liegt auf der Hand, dass die Auswahl derjenigen Bestandselemente, die jeweils in dem Approximationsverfahren eines gewissen Bonitierungs-systemes zur Messung der Bonität angewandt werden, möglichst

Informationen, zugleich aber auch der Zweck, für welchen die betreffende Approximations- methode bestimmt ist, eine bedeutende Rolle spielen. Für die oben beschriebene Aufgabe stehen zahlreiche verschiedene mathematisch-statistische Methoden zur Verfügung. Die Wahl der jeweils anzuwendenden Methode gibt den letzten Fäden für die Konstruktion des jeweiligen Bonitierungs-systemes den Ausschlag. Es erübrigt sich daher, in diesem Zusammenhang näher auf die verschiedenen verfügbaren Methoden einzugehen. Besonders Aufmerksamkeit verdient jedoch eine Methode, weil es in fast allen Fällen möglich ist, sie für die Konstruktion einer Approximationsmethode heranzuziehen. Ganz unabhängig davon, wie einfach die betreffende Approximationsmethode eigentlich ausgedacht ist, bietet diese Methode, die Faktorenanalyse (siehe davon z.B. Wernan, 1974), auf die richtige Weise aufzulösen; immer eine gute Grundlage für

den Bonität angewandt werden, möglichst in dem Approximationsverfahren eines gewissen Bonitierungs-systemes zur Messung der Bonität angewandt werden, möglichst die Entwicklung von Approximations- methoden ist immer als Rückersatz für beschränkte Messungen anzusehen. Die Entwicklung von Approximations- methoden, wenn diese sich für die praktische Forstwirtschaft besser eignen. Als solche einfache Mittel für die Messung der Bonität mit der jeweils erforderlichen Genauigkeit wiederum kommen zuvorderst in Frage entweder a) aus der eigentlichen Bonitierungs- methode entwickelte, bis in die verschiedenen Stufen vereinfachte Verfahren, oder b) für die allerersten praktischen Aufgaben) in passender Form aufgestellte numerische Tafeln oder alternativ auf die entsprechende Weise hergestellte Diagramme, die für den jeweiligen Zweck geeignet sind. Es muss nochmals hervorgehoben werden, dass diese Tafeln und Diagramme ebenfalls stets auf dem Grund der eigentlichen Bonitätsaufgebaut werden sollen. Es liegt auf der Hand, dass die Auswahl derjenigen Bestandselemente, die jeweils in dem Approximationsverfahren eines gewissen Bonitierungs-systemes zur Messung der Bonität angewandt werden, möglichst

ANHANG 2.

Die Approximationsmethoden

Wie bereits in früherem Zusammenhang gesagt worden ist (S. 15), setzt die zweckdienliche Anwendung der Messungsmethoden der Bonität in der Praxis voraus, dass aus der *eigentlichen*, d.h. vollständigen Bonitierungsmethode einfachere Methoden entwickelt werden können, deren Ergebnisse für den jeweils in Frage stehenden Zweck genügend zuverlässig sind. Diese *Approximationsmethoden* können, was die Einfachheit ihrer Konstruktion betrifft, verschiedenen Grades sein, und das Wesen der betreffenden Aufgabe entscheidet dann in der Praxis, in wie einfacher Form sie jeweils am besten angewandt werden.

Das eigentliche Bonitierungssystem wird in seiner ursprünglichen Form zuvörderst folgendermassen angewandt:

- 1) einerseits für den Bedarf der *wissenschaftlichen Forschung* oder andere Zwecke, die entsprechende Genauigkeit erfordern,
- 2) sowie andererseits, was besonders zu beachten ist, *immer als Basiswerte* für die Entwicklung von Approximationsmethoden, wenn diese sich für die praktische Forstwirtschaft besser eignen.

Als solche einfachere Mittel für die Messung der Bonität mit der jeweils erforderlichen Genauigkeit wiederum kommen zuvörderst in Frage entweder

- a) aus der eigentlichen Bonitierungsmethode entwickelte, bis in die verschiedenen Stufen vereinfachte Verfahren, oder
- b) (für die allereinfachsten praktischen Aufgaben) in passender Form aufgestellte numerische Tafeln oder alternativ auf die entsprechende Weise hergestellte Diagramme, die für den jeweiligen Zweck geeignet sind.

Es muss nochmals hervorgehoben werden, dass diese Tafeln und Diagramme ebenfalls *stets auf dem Grund der eigentlichen Bonitätsmasse* aufgebaut werden sollen.

Es liegt auf der Hand, dass die Auswahl derjenigen Bestandesmerkmale, die jeweils in den Approximationsmethoden eines gewissen Bonitierungssystems zur Messung der Bonität angewandt werden, möglichst

objektiv erfolgen sollte. Dies führt selbstverständlich zur Verwendung mathematisch-statistischer Methoden, zunächst der verschiedenen Testverfahren. Das Ziel ist, eben auf deren Grundlage zu entscheiden, wie viele und welche Merkmale vom rein mathematisch-statistischen Gesichtspunkt in die jeweilige Approximationsmethode einbezogen werden sollten.

Besonders nachdrücklich muss jedoch betont werden, dass die mathematisch-statistischen Verfahren *auf keinen Fall an sich schematisch* angewandt werden dürfen, sondern dass sie nur die Grundlage für die Überlegungen abgeben. Erst die Signifikanz des Ergebnisses ist ausschlaggebend dafür, wieviel Gewicht auf sie gelegt werden darf. Die Ergebnisse der in die Frage einbezogenen, öfters alternativen Verfahren dienen dabei nur als eine Grundlage für die Erwägung der zweckmässigen Konstruktion der betreffenden Approximationsmethode. Schliesslich bleibt die endgültige Entscheidung ihrer Konstruktion auf der Grundlage der Erwägung, in der zwar in jedem Falle die mathematisch-statistischen Informationen, zugleich aber auch der Zweck, für welchen die betreffende Approximationsmethode bestimmt ist, eine bedeutende Rolle spielen.

Für die oben beschriebene Aufgabe stehen zahlreiche verschiedene mathematisch-statistische Methoden zur Verfügung. Die Wahl der jeweils anzuwendenden Methode gibt letzten Endes für die Konstruktion des jeweiligen Bonitierungssystems den Ausschlag. Es erübrigt sich daher, in diesem Zusammenhang näher auf die verschiedenen verfügbaren Methoden einzugehen.

Besondere Aufmerksamkeit verdient jedoch eine Methode, weil es in fast allen Fällen möglich ist, sie für die Konstruktion einer Approximationsmethode heranzuziehen. Ganz unabhängig davon, wie einfach die betreffende Approximationsmethode eigentlich ausgedacht ist, bietet diese Methode, die Faktorenanalyse (siehe davon z.B. WEBER, 1974), auf die richtige Weise aufgefasst, immer eine gute Grundlage für

die Entwicklung der jeweiligen Approximationsmethoden.

Unter *Approximationsmethoden* werden hier wiederum solche Bonitierungs-funktionsmodelle verstanden, in denen als Altersfaktoren und Bestandesmerkmale nur ein Teil von den Merkmalen der eigentlichen Bonitierungs-funktion mitgenommen wird. Aufgrund des früher Gesagten werden selbstverständlich die *Ausgangswerte* beim Schätzen ihrer Parameter die von der entsprechenden eigentlichen Bonitierungs-methode einer jeden einzelnen Beobachtungseinheit ergebenden *wirklichen Bonitätsmasse* sein.

Natürlich haben die verschiedenen Approximationsmethoden der gleichen eigentlichen Bonitierungs-methode eine Effektivität verschiedenen Grades, u.a. abhängig von der Zahl der die Bonität erklärenden Bestandesmerkmale. Daher soll auch von diesen je nach dem Wesen der jeweils in Frage stehenden Aufgabe eine Methode mit der für den Zweck am besten geeigneten Approximationsstufe gewählt werden.

Was die Struktur der Approximationsmethoden im allgemeinen betrifft, sind auch bei ihrer Bildung die verschiedenen Seiten der Bonitierungs-funktionen *auseinanderzuhalten*: z.B. die Altersfaktoren und die Gütefaktoren, und deren Wirkung auf die

Konstruktion der Approximationsfunktionen muss also völlig unabhängig voneinander betrachtet werden (vgl. S. 29). Trotzdem ist es stets eine unbedingte Voraussetzung, dass die mitgenommenen Merkmale für die Schätzung eines Bonitätsmasses genügen, das hinreichend zuverlässig ist, um ein brauchbares Bild von der Bonität eines jeden Bestandes zu geben.

Ungeachtet des oben besprochenen Prinzips von der einander entsprechenden Stellung der Alters- und der Gütefaktoren sind die Möglichkeiten zur zahlenmässigen Begrenzung der Altersfaktoren viel geringer als bei den Gütefaktoren, was durch die Verschiedenheit des Charakters dieser beiden Faktorengruppen bedingt ist. Demgemäss wird auch in den Approximationsmethoden die Zahl der mitgenommenen Merkmale in der Hauptsache von der Zahl der Gütefaktoren abhängig sein. Die Struktur der bezüglich ihrer Zuverlässigkeit verschiedenstufigen Approximationsmethoden wird in Wirklichkeit letzten Endes von der Anzahl der einbezogenen Gütefaktoren bestimmt, und zwar immer den Anforderungen gemäss, die das Wesen der jeweiligen Anwendungsaufgabe an die betreffende Approximationsmethode stellt.

SCHRIFTTUM

- ADEM, J.—ENKE, H. 1970: Zur Anwendung der Faktorenanalyse als Trennverfahren. — *Biometr. Zeitschr.* 12.
- ASSMANN, E. 1961: *Waldertragskunde*. München.
- » — 1967: Bonitierungsverfahren und Ertragsprognosen. — 2. Internationale Ertragskundetagung in Wien. *Berichte*: 1. Band.
- BERNTSEN, C. M. 1971: Forest Land Classification Schemes in the United States. — Definition of forest land and methods of land and site classification. International Union of Forest Research Organizations. Section 25.
- BIJNEN, E. J. 1973: Cluster analysis. — Tilburg.
- BLOMQUIST, A. G. 1872: Tabeller framställande utvecklingen av jämnåriga och slutna skogsbestånd af tall, gran och björk. — Helsingfors.
- BÜTTNER, J. 1975: Zur Clusteranalyse. — *Biometr. Zeitschr.* 17.
- CAJANDER, A. K. 1909: Über Waldtypen. *Acta Forest. Fenn.* 1.
- DELORME, A.—KNIPPE, W.—KOLZENBURG, CH.—OLISCHLÄGER, K.—SACHSSE, H.—WUJCIAK, R. 1975: Holz heute — und morgen? — *Forstarchiv* 46.
- ERTELD, W. 1971: Zur Bonitierung der Waldbestände. — Die sozialistische Forstwirtschaft 21.
- IHM, P.—HIMMELMANN, G. W.—HINZ, U.—FÜRSCH, H. 1967: Taxometrische Untersuchungen an Epilachna-Stichproben aus Zentralafrika. — *Biometr. Zeitschr.* 9.
- » — — TRAUTNER, R.—WOLF, H. 1971: Lineare algebraische Methoden in der numerischen Taxonomie. — *Biometr. Zeitschr.* 13.
- ILVESSALO, Y. 1920: Metsätyypien taksatooriestä merkityksestä. (Deutsches Referat) — *Acta Forest. Fenn.* 15.
- » — 1956: Suomen metsät vuosista 1921—1924 vuosiin 1951—53. Kolmeen valtakunnan metsien inventointiin perustuva tutkimus. (English Summary). — *Communic. Instit. Forest. Fenn.* 47.1.
- » — 1965: Metsänarvioiminen. — Porvoo.
- JONSON, T. 1914: Om bonitering av skogsmark. — Svenska Skogsvåringsföreningens Tidskrift 12.
- KANGAS, Y. 1968: Beschreibung des Wachstums der Bäume als Funktion ihres Alters. — *Acta Forest. Fenn.* 90.
- LIHTONEN, V. 1959: Metsätalouden suunnittelu ja järjestely. — Porvoo.
- LINDER, A. 1960. *Statistische Methoden*. 3 Aufl. — Basel.
- LEUSCHNER, D.—HEINE, R. 1973: Klassische und statistische Fourieranalyse in der Taxometrie. — *Biometr. Zeitschr.* 15.
- MITSCHERLICH, G. 1952: Der Tannen—Fichten—(Buchen—) Plenterwald. — *Schriftenreihe* d.Bd. Forstl. Versuchs-Anstalt Freiburg, H. 8.
- » — 1972: Zur Frage der dynamischen Bonitierung. — *Allgem. Forst- und Jagdztg.* 127.
- MOOSMAYER, H. U.—SCHÖPFER, W. 1972: Beziehungen zwischen Standortfaktoren und Wuchsleistung der Fichte. — *Allgem. Forst- und Jagdztg.* 127.
- » — 1974: Die Bedeutung einiger Zusammenhänge zwischen Standort und Waldwachstum für die Forsteinrichtung. — *Allgem. Forst- und Jagdztg.* 145.
- NYSSÖNEN, A. 1971: Working Group of the Definition of Forest Land and Methods of Land and Site Classification. — Definition etc. (s. bei BERNTSEN 1971).
- PATERSON, S. S. 1956: The Forest Area of the World and its potential Productivity. — The Royal University of Göteborg, Sweden.
- PETRINI, S. 1948: Skogsuppskattning och skogsinledning. — Stockholm.
- PFANZAGL, J. 1962: *Allgemeine Methodenlehre der Statistik*. II. Teil. — Sammlung Göschen Band 747/747 a. Berlin.
- PRODAN, M. 1965: *Holzmesselehre*. — Frankfurt a.M.
- SCHNELL, P. 1964: Eine Methode zur Auffindung von Gruppen. — *Biometr. Zeitschr.* 6, S. 47—48.
- SLOBODA, B. 1975: Die Bewertung der Standorte mit absoluter Bonitierung. — *Centralbl. f.d. ges. Forstw.* 92.
- SOKAL, R. R.—SNEATH, P. H. 1963: *Principles of numerical taxonomy*. — W. Freeman. San Francisco/London.
- SPURR, S. H. 1952: *Forest Inventory*. — New York.
- STEEL, R. G. D.—TORREY, J. H. 1960: *Principles and Procedures of Statistics*. — New York.
- TAMM, C. O.—TROEDSSON, T.—LUNDMARK, J. E.—PERSSON, O. 1967: Forecasting Forest yield from Observations of Site Characteristics. A critical Discussion. — XIV. IUFRO-Kongress, München 9. September 1967. Referate II, Section 21. München.
- TATSUOKA, M. M. 1971: *Multivariate Analysis: Techniques for Education and Psychological Research*. Chapter 6: Discriminant Analysis.
- THOMASIU, H. 1964: *Allgemeine Betrachtungen über Wachstumskurven und Wachstumsfunktionen*. — *Wiss. Z. Techn. Univers. Dresden* 13.
- WEBER, E. 1974: Einführung in die Faktorenanalyse. — Jena.
- WECK, J. 1962: Überprüfung der Tauglichkeit eines Klimaindex zur Bestimmung forstwirtschaftlichen Produktionspotentials. — Internationaler Verband Forstlicher Forschungsanstalten. 13. Kongress, Wien September 1961. *Berichte*: 2. Teil 25/3.

Seloste:

METSIKÖN BONITEETIN MITTAAMINEN

Tämä tutkimus on osa laajempaa kokonaisprojektiä, jonka tarkoitus on uudelta pohjalta tutkia *metsiköiden boniteetin* mittaamisen menetelmiä ja niiden kehittämistä. Tästä projektista nyt julkaistava osa käsittelee yksinomaan sen teoreettisten perusteiden selvittämisen. Tähän liittyvänä tutkimuksena tullaan vielä erikseen julkaisemaan sen kontrolliaineiston perusteella kehitetyn menetelmän kuvaaminen.

Nyt käsillä olevan tutkimusprojektin lähtökohta on siinä mielessä kokonaan uusi, että sen tavoitteena on sellaisten menetelmien kehittäminen, joiden avulla metsikön boniteetti tulisi konkreettisesti tavalla *mitatuksi* täysin muiden metsikkötunnusten mittaamiseen rinnastettavalla tavalla, jolloin se edustaisi näiden kanssa yhteismitallista metsikön hyvyttä, sen *boniteettimäärää*. Tähänastiseen verrattuna on tavoitteeksi asetettu myös useamman metsikkötunnuksen saaminen mukaan boniteettimäärää mitattaessa. Tällöinkään ei tietenkään ole mitään estettä sille että mitattujen boniteettimäärien perusteella muodostetaan myös boniteettiluokkia, mikäli tarkoituksenmukaisuusyyt sitä edellyttävät.

Osan 1 kappaleessa 1 tarkastellaan boniteetin käsitettä ja tämän bonitointijärjestelmälle asetamia vaatimuksia. Omasta puolestaan on tekijä itse päätenyt soveltamaansa boniteetin käsitteeseen aikaisemmin julkaisemansa (KANGAS 1969) puiden kasvua kuvaavan matemaattisen mallin pohjalta. Käytännössä se on osoittanut täysin vastaavaa ASSMANNIN (1967) esittämää määritelmää. Boniteetin käsitteen koko tutkimukselle ratkaisevan merkityksen vuoksi on syytä tässä yhteydessä esittää tämä sellaisenaan. ASSMANNIN mukaan tietyn bonitointijärjestelmän tulee ennen kaikkea olla *yksiselitteinen*, mikä tarkoittaa, että siinä tulee voida sijoittaa *kaikki metsiköt yhtenäiseen* yleispätevään *asteikkoon*, jolloin ilman välittäviä laskelmia on mahdollista *välittömästi vertailla* keskenään *kaikkien* puulajien tai niiden kombinaatioiden muodostamien *metsiköiden hyvyttä*, kasvatpa nämä tai viljelläänpä niitä minkäläatuisella kasvupaikalla tahansa.

Tämä tavoite joudutaan rakentamaan seuraavien edellytysten toteuttamisen varaan:

a. On löydettävä tarkoitustaan vastaava *menetelmän peruste*.

b. On voitava kehittää tietty *mittayksikkö*, jonka avulla asianomainen boniteettimäärä kulloinkin voidaan mitata.

c. On oltava käytettävissä riittävä määrä mitallisia tai sellaiseksi saatettavissa olevia *metsikkötunnuksia*, niin että niiden avulla metsikön boniteettimäärä on kulloinkin tarkoitustaan vastaavalla tavalla mitattavissa.

d. Lopuksi on kyettävä konstruoimaan *mittausmenetelmä* (esimerkiksi bonitointifunktio), joka sitten yleisesti hyväksytään tarkoitukseensa ja jonka antamat *mittaustulokset* sellaisenaan *ilmaisevat* asianomaisen metsikön *boniteettimäärän*.

On luonnostaan selvää, että kuvatuksen bonitointijärjestelmän luominen edellyttää sopivaa ja riittävän edustavaa *kontrolliaineistoa*, jonka perusteella erilaisia vaihtoehtoja voidaan tarkistaa ja verrata toisiinsa. Sen jälkeen, kun tietty bonitointijärjestelmä on saatu kehitetyksi, tarvitaan sekä edustavuudeltaan että määrältään sellainen *havaintoaineisto*, että sen perusteella voidaan lopulliset bonitointimenetelmät määrittää (estimoida).

Luvussa 3 on lähemmin tarkasteltu kaikkia edellä esitettyjä bonitointijärjestelmän kehittämisen edellytyksiä yksityiskohtaisemmin, missä yhteydessä on tuotu esille sellaisia erilaisia näkökohtia, joilla ilmeisesti on tässä yhteydessä merkitystä.

Luvussa 2 on puolestaan lyhyesti tarkasteltu bonitointijärjestelmien hierarkkista kokoonpanoa ja tähän liittyviä näkökohtia erityisesti niiden yhteenkuuluvuuden ja toisaalta eriaisteisten menetelmien luotettavuuden kannalta.

Luvussa 4 on taas lopuksi tarkastelun kohteena ollut boniteettiluokkien muodostamismahdollisuudet ja tässä esille tulevat ongelmat.

Tämän tutkimuksen toisessa osassa on vielä käsitelty yksityiskohtaisemmin *bonitointifunktioita*, koska näillä tekijän käsityksen mukaan vielä ainakin toistaiseksi tulee olemaan hallitseva asema muunlaisiin bonitointijärjestelmiin verrattuna. Tässä osassa kiinnitetään erityistä huomiota juuri

bonitointifunktioille ominaisiin piirteisiin, joista tässä yhteydessä on syytä todeta pyrkimys mahdollisimman tarkoituksenmukaiseen *bonitointi-ikään* sekä ne menetelmät, joiden avulla kukin bonitoidava *metsikkö* laskelmissa *siirretään siihen*. Vielä lie-nee syytä mainita tämän osan erityisprobleemeista boniteettimäärän lähtöarvon (= riippuvan muutujan mittauseron) muodostamiseen liittyvät ongelmat, koska näiden tunteminen on välttämätön edellytys koko bonitointifunktion estimoimiselle. Oman lukunsa saa boniteettimäärän *ilmaisumuoto*. Usein saattaa nimittäin, lähinnä funktion luonteesta riippuen, varsinainen (todellinen) boniteettimäärä tuntua oudolta, jolloin sen muuntaminen nykykäsityksen pohjalta helpommin tajuttavaan muotoon saattaa vastata tarkoitustaan. Tosiasiassa kuitenkin tässä on viime kädessä kysymys tottumuksesta, jolloin tällaista menetelmää voitane lähinnä pitää vain siirtymisvaihekysymyksenä. Oman erityisen harkintansa vaatii sen sijaan boniteettimäärän ilmaisumuoto silloin, kun sovellettava funktio on logaritminen. Näyttää siltä, että tällaisissa tapauksissa saatetaan hyvin pitää perusteltuna lopullisten boniteettimäärien ilmaisemista tavallisessa (antilogaritmisessa) muodossa.

Tutkimukseen liittyy kaksi liitettä, joista ensimmäinen käsittelee *sekametsiköiden bonitoimista*. Tässä mielessä voidaan metsiköt jakaa kahteen pääryhmään. Näistä edellinen sisältää (usein viljelyteitse syntyneinä) jo aluperin tiettyssä

sekametsikkökokoonpanossa kehittyneet metsikkölajit, kun taas jälkimmäiseen sisältyvät metsäalueet, jotka juuri ovat ominaisia pohjois-Euroopalle ja muille vastaaville metsiensä rakenteen puolesta samankaltaisille metsäalueille. Näille on ominaista, että ne edustavat enimmäkseen luontaisesti syntyneitä, usein epätasaisesti kehittyneitä sekametsiköitä, joiden puulajikokoomuksessa ei esiinny minkäänlaista säännönmukaisuutta, vaan ne vaihtelevat puhtaista metsiköistä alkaen mitä erilaisimpia sekametsikköyhdistelmiä muodostaen. Näiden molempien ryhmien bonitoinnissa esille tulevia kysymyksiä käsitellään tässä tutkimuksessa niissä rajoitetuissa puitteissa, mihin tähänastisten tutkimusten tulokset antavat mahdollisuuksia. Varsinaisesti tämä kuuluukin siihen osaan, jossa käsitellään aikaisempiin tutkimuksiin pohjautuvien käytäntöön sovellettavaksi tarkoitettujen menetelmien kehittämistä.

Lopuksi käsitellään vielä lyhyesti ns. *approksimaatiomenetelmiä*, joilla tarkoitetaan rakenteeltaan mahdollisimman yksinkertaisia, mutta samalla tietenkin mittaustarkkuudeltaan vastaavasti vähäisempiä menetelmiä, vaikka nämä menetelmät perustuvatkin aina varsinaisiin boniteettimääriin. Ne soveltuvat kuitenkin monesti yksinkertaisiin bonitointitehtäviin, nimenomaan käytännön metsätalouden tehtäviin, joissa niiden antaman tuloksen luotettavuus kyllä vastaa asianomaisen tehtävän asettamia vaatimuksia.

1976. Die Messung der Bestandesbonität. 1 und 2. Teil: Theoretische Grundlagen (Measurement of the potential stand goodness. 1. and 2. Vol.: Theoretical foundations) ACTA FORESTALIA FEN-NICA 152. 48 pp. Helsinki.

The study deals with the measurement of stand goodness. The method has earlier been developed by the author (KANGAS 1968) and is based on his general growth model for trees. It fulfills all the criteria set for general goodness systems by ASSMANN (1967). The concepts used in the study represent a completely new approach. Stands are not classified at all, but instead each stand is given a specific value, its *degree of goodness*, fully comparable to its stand characteristics, which describes the overall productivity of the stand. In this way different stands can be compared directly with each other regardless of their age, tree species composition or site, while presupposing that the stand has taken full advantage of the possibilities offered by its structure and site. If necessary, the degree of goodness can be used to develop a suitable classification system.

Author's address: Department of Business Economics of Forestry, University of Helsinki, Unioninkatu 40 B, SF-00170 Helsinki 17, Finland.

1976. Die Messung der Bestandesbonität. 1 und 2. Teil: Theoretische Grundlagen (Measurement of the potential stand goodness. 1. and 2. Vol.: Theoretical foundations) ACTA FORESTALIA FEN-NICA 152. 48 pp. Helsinki.

The study deals with the measurement of stand goodness. The method has earlier been developed by the author (KANGAS 1968) and is based on his general growth model for trees. It fulfills all the criteria set for general goodness systems by ASSMANN (1967). The concepts used in the study represent a completely new approach. Stands are not classified at all, but instead each stand is given a specific value, its *degree of goodness*, fully comparable to its stand characteristics, which describes the overall productivity of the stand. In this way different stands can be compared directly with each other regardless of their age, tree species composition or site, while presupposing that the stand has taken full advantage of the possibilities offered by its structure and site. If necessary, the degree of goodness can be used to develop a suitable classification system.

Author's address: Department of Business Economics of Forestry, University of Helsinki, Unioninkatu 40 B, SF-00170 Helsinki 17, Finland.

1976. Die Messung der Bestandesbonität. 1 und 2. Teil: Theoretische Grundlagen (Measurement of the potential stand goodness. 1. and 2. Vol.: Theoretical foundations) ACTA FORESTALIA FEN-NICA 152. 48 pp. Helsinki.

The study deals with the measurement of stand goodness. The method has earlier been developed by the author (KANGAS 1968) and is based on his general growth model for trees. It fulfills all the criteria set for general goodness systems by ASSMANN (1967). The concepts used in the study represent a completely new approach. Stands are not classified at all, but instead each stand is given a specific value, its *degree of goodness*, fully comparable to its stand characteristics, which describes the overall productivity of the stand. In this way different stands can be compared directly with each other regardless of their age, tree species composition or site, while presupposing that the stand has taken full advantage of the possibilities offered by its structure and site. If necessary, the degree of goodness can be used to develop a suitable classification system.

Author's address: Department of Business Economics of Forestry, University of Helsinki, Unioninkatu 40 B, SF-00170 Helsinki 17, Finland.

1976. Die Messung der Bestandesbonität. 1 und 2. Teil: Theoretische Grundlagen (Measurement of the potential stand goodness. 1. and 2. Vol.: Theoretical foundations) ACTA FORESTALIA FEN-NICA 152. 48 pp. Helsinki.

The study deals with the measurement of stand goodness. The method has earlier been developed by the author (KANGAS 1968) and is based on his general growth model for trees. It fulfills all the criteria set for general goodness systems by ASSMANN (1967). The concepts used in the study represent a completely new approach. Stands are not classified at all, but instead each stand is given a specific value, its *degree of goodness*, fully comparable to its stand characteristics, which describes the overall productivity of the stand. In this way different stands can be compared directly with each other regardless of their age, tree species composition or site, while presupposing that the stand has taken full advantage of the possibilities offered by its structure and site. If necessary, the degree of goodness can be used to develop a suitable classification system.

Author's address: Department of Business Economics of Forestry, University of Helsinki, Unioninkatu 40 B, SF-00170 Helsinki 17, Finland.

ACTA FORESTALIA FENNICA

VEDELLISIÄ NITEITÄ — PREVIOUS VOLUMES

- VOL. 139, 1974. JUHANI PÄIVÄNEN.**
Nutrient Removal from Scots Pine Canopy on Drained Peatland by Rain. Seloste: Ravinteiden siirtyminen sadeveden mukana latvustosta maahan turvemaan männikössä.
- VOL. 140, 1974. OLAVI ISOMÄKI.**
Sahateollisuuden kuorintajätteiden käyttömahdollisuudet. Erityisesti käyttö maanparannusaineena ja kasvualustana. Summary: Using Possibilities of Barking Waste in Sawmill Industry. Specially Using as a Soil Improver and Substrate for Plants.
- VOL. 141, 1974. ROBERT T. BROWN and PEITSA MIKOLA.**
The Influence of Fruticose Soil Lichens Upon the Mycorrhizae and Seedling Growth of Forest Trees. Seloste: Jäkälien vaikutuksesta puiden mykoritsoihin ja taimien kasvuun.
- VOL. 142, 1974. MATTI PALO.**
Goal-setting for Finnish Forest Research Policy of the 1970's. Seloste: Suomen metsäntutkimuspolitiikan suuntaviivat 1970-luvulla.
- VOL. 143, 1975. PEKKA KILKKI and RAIMO PÖKÄLÄ.**
A Long-term Timber Production Model and its Application to a Large Forest Area. Seloste: Pitkän ajan tuotantomalli ja sen sovellutus Keski-Suomen ja Pohjois-Savon piirimetsälautakuntien alueelle.
- VOL. 144, 1975. YRJÖ ILVESSALO ja MIKKO ILVESSALO.**
Suomen metsätyypit metsiköiden luontaisen kehitys- ja puuntuotto-kyvyn valossa. Summary: The Forest Types of Finland in the Light of Natural Development and Yield Capacity of Forest Stands.
- VOL. 145, 1975. PEKKA KILKKI ja MARKKU SIITONEN.**
Metsikön puuston simulointimenetelmä ja simuloituun aineistoon perustuvien puustotunnusmallien laskenta. Summary: Simulation of Artificial Stands and Derivation of Growing Stock Models from This Material.
- VOL. 146, 1975. SEPPO KELLOMÄKI.**
Forest Stand Preferences of Recreationists. Seloste: Ulkoilijoiden metsikköarvostukset.
- VOL. 147, 1975. SEPPO KELLOMÄKI and VARPU-LEENA SAASTAMOINEN.**
Trampling Tolerance of Forest Vegetation. Seloste: Metsäkasvillisuuden kulutuskestävyys.
- VOL. 148, 1975. PENTTI ALHO**
Metsien tuoton alueellisista eroista Suomessa. Summary: Regional Differences in Forest Returns within Finland.
- VOL. 149, 1975. TAUNO KALLIO.**
Peniophora Gigantea (Fr.) Masseur and Wounded Spruce (*Picea abies* (L) Karst.) Part II. Seloste: *Peniophora gigantea* ja kuusen vauriot osa II.
- VOL. 150, 1976. LEO HEIKURAINEN ja JUKKA LAINE.**
Lannoituksen, kuivatuksen ja lämpöolojen vaikutus istutus- ja luonnontaimistojen kehitykseen rämeillä. Summary: Effect of fertilizations, drainage, and temperature conditions on the development of planted and natural seedlings on pine swamps.
- VOL. 151, 1976. JORMA AHVENAINEN.**
Suomen paperiteollisuuden kilpailukyky 1920- ja 1930-luvulla. Summary: The competitive position of the Finnish paper industry in the inter-war years.

KANNATTAJAJÄSENET — UNDERSTÖDANDE MEDLEMMAR

**CENTRALSKOGSNÄMNDEN SKOGSKULTUR
SUOMEN METSÄTEOLLISUUDEN KESKUSLIITTO
OSUUSKUNTA METSÄLIITTO
KESKUSOSUUSLIIKE HANKKIJA
SUNILA OSAKEYHTIÖ
OY WILH SCHAUMAN AB
OY KAUKAS AB
KEMIRA OY
G. A. SERLACHIUS OY
KYMIN OSAKEYHTIÖ
KESKUSMETSÄLAUTAKUNTA TAPIO
KOIVUKESKUS
A. AHLSTRÖM OSAKEYHTIÖ
TEOLLISUUDEN PUUYHDISTYS
OY TAMPELLA AB
JOUTSENO-PULP OSAKEYHTIÖ
KAJAANI OY
KEMI OY
MAATALOUSTUOTTAJAIN KESKUSLIITTO
VAKUUTUSOSAKEYHTIÖ POHJOLA
VEITSILUOTO OSAKEYHTIÖ
OSUUSPANKKIEN KESKUSPANKKI OY
SUOMEN SAHANOMISTAJAYHDISTYS
OY HACKMAN AB
YHTYNEET PAPERITEHTAAT OSAKEYHTIÖ
RAUMA-REPOLA OY
OY NOKIA AB, PUUNJALOSTUS
JAAKKO PÖYRY & CO
KANSALLIS-OSAKE-PANKKI
OSUUSPUU
THOMESTO OY**