

## Ermittlung von Schätzwerten der natürlichen Grundfläche mit Hilfe ertragskundlicher Bestimmungsgrößen des verbleibenden Bestandes

Dargestellt am Beispiel südbayerischer Fichtenbestände

Von F. FRANZ

Aus dem Institut für Ertragskunde der Forstlichen Forschungsanstalt München

Forstwiss. Zbl. 1965, 84, (11/12), 357-386

### 1. Einleitung

1.1 Wenn wir die absolute Bestockungsdichte eines Waldbestandes auf einfache Weise zahlenmäßig kennzeichnen wollen, so tun wir dies allgemein mit Hilfe eines Bestandes-Grundflächenwertes. Hierbei drücken wir den Momentanwert der Bestockungsdichte in einem gegebenen Alter, z. B. für den Gesamtbestand oder für den verbleibenden Bestand, durch einen *Grundflächen-Befundwert* aus. Für die Kennzeichnung der Bestockungsdichte in einem gegebenen Beobachtungszeitraum verwenden wir in der Regel *Periodenmittel der Bestandesgrundfläche*, wie die von ASSMANN (1949) vorgeschlagene Weisergröße „mittlere Grundflächenhaltung“.

1.2 Wollen wir darüber hinaus die in Grundflächendaten ausgedrückte Bestockungsdichte beurteilen und bewerten, so bedarf es eines Wertmaßstabes, an dem wir die ermittelten Größen messen können. Zu diesem Zweck pflegen wir die Taxvariablen „Grundfläche“ bzw. „mittlere Grundflächenhaltung“ in Relativwerte oder Wertindices<sup>1</sup> überzuführen, deren bestimmende Teilgrößen den Wertmaßstab repräsentieren.

1.3 Der heute praxisübliche Kennwert für die Bezeichnung der relativen Bestandesdichte ist der *Bestockungsgrad*, der das Verhältnis zwischen einer gegebenen Ist-Grundfläche und einer als Maßstabgröße verwendbaren Bezugsgrundfläche wiedergibt (auch als Grundflächenschluß bezeichnet, s. hierzu ERTELD, 1957). Die bekannteste und auch heute noch allgemein verwendete Ausdrucksform des Bestockungsgrades ist der Ertragstafel-Bestockungsgrad (= ET—BG). Wie schon sein Name sagt, ist dieser auf die Bezugsgrundfläche einer Ertragstafel, und zwar stets einer ganz bestimmten, bezogen. Da selbst vergleichbare Tafeln für gegebene Baumart sich in der Grundflächenhaltung zum Teil stark voneinander unterscheiden, ist ein Bestockungsgrad-Wert nur dann aussagefähig, wenn gleichzeitig die Bezugstafel bekannt ist, die zu seiner Herleitung verwendet wurde, z. B.

(Fi), ET—B.G. 0,90 (WIEDEMANN, 1936/42, m. Df.) oder

(Ei), ET—B.G. 0,85 (JÜTTNER, 1955, st. Df.).

1.4 Grundfläche, mittlere Grundflächenhaltung und Bestockungsgrad werden nicht allein als Bestandesdichte-Weiser verwendet, sie sind auch wichtige Kenngrößen für eine weitergehende ertragskundliche und waldbauliche Beurteilung des Bestockungszustandes wie auch für das Herleiten von Erwartungswerten der Bestandesleistung, etwa des laufenden Volumenzuwachses. Wir sollten darum bestrebt sein, für diese Kenngrößen eine Ausdrucksform zu finden, die uns einen höchstmöglichen Weiserwert verspricht.

<sup>1</sup> Die wesentlichen biometrischen Voraussetzungen, die beim Herausbilden von Wertindices zu beachten sind, hat kürzlich ENDERLEIN (1964) in einer sehr aufschlußreichen Arbeit am Beispiel von Selektionsindices dargestellt.

1.5 Sehen wir uns die auf den derzeitigen Ertragstafeln basierenden Bestandestweitewer daraufhin einmal näher an, so müssen wir feststellen, daß deren Weiseruntersuchungen zum Durchforschungs- und Ertragstafelproblem hervorgeht. Dies ist in erster Linie darauf zurückzuführen, daß die Ertragstafel-Bezugsgrundflächen ihrerseits nicht »wertkonstant« sind, kein standörtlich-ökologisches oder anderweitig orientiertes Grundmaß darstellen und biometrisch i. d. R. nicht eindeutig definiert werden können. Hierauf hat ASSMANN mehrfach hingewiesen (1961, 1962, 1964a). Ohne einen begrifflich klar gefaßten Bezugswert kann jedoch ein brauchbares Modell der Bestandesdichte-Kennzeichnung von der eingangs umschriebenen Form letztlich überhaupt nicht aufgestellt werden.

1.6 In seiner Untersuchung der ehemaligen preußischen Buchen-Durchforschungsversuche hat ASSMANN bereits im Jahr 1950 vorgeschlagen, an Stelle der Ertragstafel-Grundfläche die jeweilige standortstypische maximale Grundfläche — auch als natürliche Grundfläche bezeichnet<sup>2</sup> — generell zur Kennzeichnung der Bestandesdichte zu verwenden. Die maximale Grundfläche, die ASSMANN (1961, S. 224) als »standörtlich-mögliche höchste Grundfläche ... lebender Bäume« definiert, stellt einen standörtlich-ökologisch eindeutigen Grundwert (ASSMANN, 1956, S. 259) dar, der sowohl für eine Beurteilung des Bestockungszustandes als auch für Voraussagen des Bestandeszuwachses geeignet ist. Sie erfüllt damit die wesentlichen, im Abschnitt 1.5 genannten Voraussetzungen für einen Modellwert zur Bestandesdichte-Kennzeichnung.

1.7 Eine generelle Kennzeichnung der Bestockungsdichte über die natürliche Grundfläche setzt voraus, daß uns die Grundflächenmaxima für die einzelnen Baumarten, Alter und Höhenbonitäten zumindest als regionale Durchschnittswerte bekannt sind, damit wir sie in gleicher Weise wie die Ertragstafel-Grundflächenwerte anwenden können. Noch besser wäre es natürlich, wenn uns auch die *standortstypischen natürlichen Grundflächen* — wenigstens für die wichtigsten Standortformengruppen und Wuchsgebiete — zur Verfügung stünden. Hiervon sind wir jedoch noch weit entfernt.

1.81 Informationen über die natürliche Grundfläche und ihre Entwicklung in Abhängigkeit von Alter, Höhen-Bonität und Ertragsniveau können nur auf Versuchs- und Probeständen gewonnen werden, die nicht aktiv durchforstet sind (vgl. ASSMANN, 1961, S. 224). In erster Linie sind es die A-Grad-Vergleichsflächen unserer langfristigen Durchforschungsversuche, an denen wir das Wachstum der natürlichen Grundfläche beobachten. Solche Flächen stehen uns jedoch nur in sehr geringer Anzahl zur Verfügung.

1.82 Um die Struktur der natürlichen Grundflächenhaltung hinreichend sicher erfassen zu können, müßte das Netz unserer nicht aktiv durchforsteten Vergleichsflächen wesentlich verdichtet werden. Hierbei müßten wir auf eine ausreichende Belegung der ertragskundlichen Randwert-Bereiche — etwa der besonders niedrigen Bonitäten und Ertragsniveau-Stufen — und auf eine repräsentative standortsgeographische Flächenverteilung besonderes Augenmerk richten.

1.83 Da ein Ausbau des *langfristigen Versuchsflächennetzes* aus mehrerlei Gründen nicht ohne weiteres möglich ist oder doch zumindest längere Zeit in Anspruch nehmen würde, wäre zu überlegen, ob das erforderliche Flächenmaterial nicht auf andere Weise — ohne größeren zeitlichen, personellen und technischen Aufwand — gewonnen werden kann. Hierzu liegen bereits einige ältere Erfahrungen und Anregungen von Seiten des Waldbaues und der Forsteinrichtung vor (z. B. bei der *Anlage von Weiserflächen für örtliche Vorrats- und Zuwachskontrollen*; s. hierzu WEBER-KÜNZ, 1925, und KÜNZ, 1935a, 1935b). Neuere Vorschläge von ertragskundlicher Seite gehen dahin, ein *Weiserflächennetz aus Kontrollflächenpaaren aufzubauen, deren eine Fläche ohne aktive Durchforstung gehalten werden soll* (ASSMANN, 1959). Bei ausreichender Alters-, Bonitäts- und Ertragsniveau-Gliederung könnte ein solches Flächen-netz m. E. verhältnismäßig schnell — bereits nach einer bis zwei Beobachtungsperioden — ein gut stratifiziertes Datenmaterial über den Entwicklungsgang der natürlichen Grundfläche

<sup>2</sup> Die Bezeichnungen »natürliche Grundfläche« und »maximale Grundfläche« werden im folgenden als synonyme Ausdrücke verwendet.

liefern und damit die aus der langfristigen Versuchsflächenaufnahme gewonnenen Meß-ergebnisse in glücklicher Weise ergänzen.

1.84 Der hohe wissenschaftliche Wert eines gut geführten Weiserflächen-Netzes, besonders für die ertragskundliche Forschung, steht m. E. außer Zweifel. Eine andere Frage ist, ob ein solches Netz mit breiter Flächenstreuung in der Praxis auf längere Sicht unter Kontrolle gehalten werden kann. Wie die überwiegend negativen Erfahrungen bei der Betreuung der älteren Weiserflächen der Forsteinrichtung in West- und Südwesdeutschland zeigen, wird dies wahrscheinlich mit mancherlei Schwierigkeiten verbunden sein. Näheres hierüber können nur neue Versuche aussagen, wie etwa die begrüßenswerte Neuanlage eines Weiserflächennetzes in Rheinland-Pfalz, das die dortige Forsteinrichtung in den letzten Jahren systematisch aufgebaut hat.

1.91 Solange wir noch nicht über die erforderlichen Meßwerte der natürlichen Grundfläche verfügen — sowohl was ihre Anzahl als auch was ihre ertragskundliche und standortsgeographische Streuung betrifft — müssen wir die örtlichen natürlichen Grundflächen schätzen. Als Material für die Herleitung von Schätzwerten stehen uns zunächst die Aufnahmeergebnisse der A-Grad-Flächen unserer Durchforschungsversuche, dann aber auch die zahlreichen, in der Mehrzahl veröffentlichten Aufnahmen älterer Ertragsprobenflächen aus der Zeit vor der Jahrhundertwende zur Verfügung.

1.92 Bei der Schätzwertermittlung können wir uns an den Modellen der natürlichen Grundflächenentwicklung orientieren, die in den letzten Jahren für verschiedene Baumarten (Fi, Kie, Bu, Ei) erarbeitet worden sind. Diesen Modellen liegen die langfristigen Aufnahmen von A-Grad-Flächen, vor allem aus bayerischen Versuchsreihen, zugrunde (ASSMANN, 1961 und 1962). Sie geben die Veränderung der natürlichen Grundfläche in Abhängigkeit von einigen wichtigen Ertragsparametern, in erster Linie von der Höhe, wieder.

1.93 In Anhalt an die genannten Modelle wurden unlängst von ASSMANN (1961, 1962, 1964) regionale Durchschnittswerte der natürlichen Grundfläche für gegebene Bestandeshöhen aus älteren Versuchsflächenaufnahmen für die Kiefer (Material: SCHWAPPACH, 1886, 1889; und WEISE, 1880), Fichte (Material: SCHWAPPACH, 1890) und Buche (Material: SCHWAPPACH, 1893) hergeleitet und tabelliert.

1.94 In den bisher vorliegenden regionalen Schätztabellen sind die natürlichen Grundflächenwerte nur nach der Bestandeshöhe (Mittel- oder Oberhöhe), nicht jedoch noch zusätzlich nach Bonitäten gegliedert worden. Ebenso entfiel bisher eine Stratifizierung nach dem Ertragsniveau. In einem neuen, seit Anfang dieses Jahres laufenden Programmabschnitt soll nun versucht werden, die Schätzung der natürlichen Grundfläche durch Einbeziehen beider Bonitätskennwerte (Ober- bzw. Mittelhöhe und Alter) sowie von Bestimmungsgroßen, deren Kombination einen Rückschluß auf das Ertragsniveau zuläßt, zu verfeinern. Hierbei sollen alle Schätzelemente unmittelbar aus dem verbleibenden Bestand bestimmbar sein. Dies ist eine sehr wichtige Bedingung zur Methode der Schätzwertermittlung: Die Orientierung an Werten des verbleibenden Bestandes ist erste Voraussetzung dafür, daß das zu erarbeitende Schätzverfahren in der Praxis überhaupt angewandt werden kann.

1.95 Die Untersuchungen wurden zunächst am *Material der bayerischen Fichten-Durchforschungsversuche* durchgeführt. Über den Verlauf der Arbeiten und die bisherigen Untersuchungsergebnisse soll im folgenden berichtet werden.

Herr Prof. Dr. ASSMANN hat dem Verfasser die umfangreichen Unterlagen seiner Modelluntersuchungen zur natürlichen Grundflächenhaltung und das gesamte Material seiner Forschungsreihenauswertung für diese Arbeit freundlicherweise zur Verfügung gestellt und die Untersuchung durch zahlreiche Anregungen und kritische Hinweise in überaus dankenswerter Weise gefördert.

Alle wesentlichen Rechenarbeiten konnten dank großzügiger Zuteilung von Rechenzeit im IBM-7090-Rechenzentrum in Garching bei München ausgeführt werden. Der Verfasser ist dem Vorstand des Institutes für theoretische Physik der Universität München, Herrn Prof. Dr. Bopp, für diesbezügliche Unterstützung zu Dank verpflichtet. Bei der programmtechnischen Vorbereitung und Abwicklung der Rechenarbeiten wurde der Verfasser von seinen

Kollegen Fm. Dr. KENNEL und Fm. SCHMIDT in dankenswerter Weise unterstützt. Die Mitarbeiter des Instituts, Frau E. HODUREK, Fräulein F. SEIDL und Ing. K. BALLING, bereiteten das Datenmaterial für die Auswertung vor und stellten das Rechenergebnis graphisch und tabellarisch dar. Ihnen allen gebührt herzlichster Dank für ihre Unterstützung.

In der vorliegenden Veröffentlichung wird ein Teilergebnis der Forschungsvorhaben As 5/24 und As 5/25 der Deutschen Forschungsgemeinschaft (Kennwort: Süd-deutsche Fichtenbestände) dargestellt. Der Verfasser dankt der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die großzügige finanzielle Unterstützung, die sie seinen Arbeiten gewährt hat.

## 2. Materialgrundlage

2.1 Die Möglichkeiten, die natürliche Grundfläche aus Bestimmungsgrößen des verbleibenden Bestandes herzuleiten, lassen sich mit hinreichender Sicherheit nur an Hand solcher Versuchsreihen abschätzen, die sowohl eine schwach durchforstete Bestandsfläche als auch mäßig oder stark durchforstete Vergleichsflächen enthalten. Die natürliche Grundfläche soll aus Ertragsselementen der Durchforstungsflächen geschätzt werden. Das Versuchsmaterial muß außerdem die üblichen ertragskundlichen und ver-suchstechnischen Voraussetzungen erfüllen, nämlich in erster Linie weitgehende Alters- und Standortgleichheit innerhalb der Versuchsreihe und gleicher Zeitpunkt der Aufnahme wie auch der Durchforstung in allen Flächen gleicher Versuchsreihe.

Die letztgenannte Voraussetzung ist hier insofern wesentlich, als die meisten Teilrechnungen zur Fixierung der Schätzmethode eine paarweise Zuordnung von Ertragsselementen der A-Grad- und B-Grad-Flächen bzw. der A-Grad- und C-Grad-Flächen erfordern (s. Abschn. 2.3.). Eine solche Zuordnung ist jedoch nur dann möglich, wenn — im Rahmen eines gewissen Korrekturspektrums — die beiden miteinander zu kombinierenden Bestimmungsgrößen (z. B.  $G [B-Grad]/G [A-Grad]$ ) die gleiche ertragskundliche Ausgangslage haben.

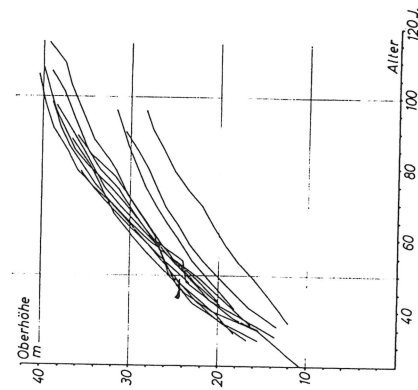


Abb. 1. Altersoberhöhenkurven der A-Flächen aus 13 südbayerischen Fichten-Versuchsreihen (vgl. Tabelle 1)

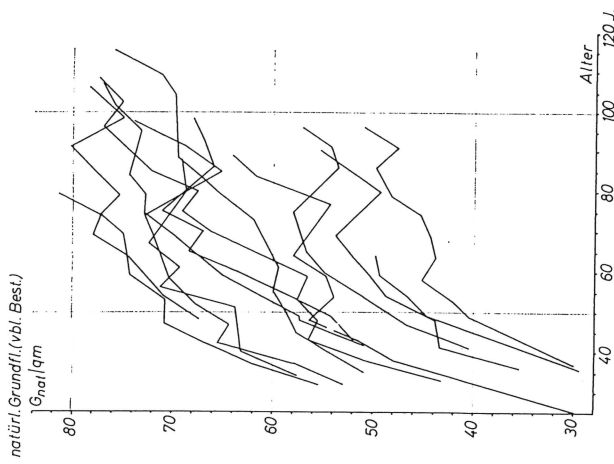


Abb. 2. Alterskurven der Grundfläche (vbl. Bestand) von 13 südbayerischen A-Flächen (vgl. Tabelle 1)

Rahmenwerte der ertragskundlichen Bestimmungsgrößen für die Herleitung von Schätzwerten der natürlichen Grundfläche

Tabelle 1

Versuchsreihe	Beob. seit	Beob. Periode in Jhr.	Anzahl der Vfl.-Aufnahmen			Beobachtete Altersperiode	Mittlere Ho-Bonität			Grundflächenrahmen vbl. Bestand			Durchm.-Diff.-% $\Delta d\%$			Ertragsniveau			
			A	B	C		A	B	C	A	B	C							
Berzigau 65..	1902	54	8	8	8	34-88	39	39	39	58-55	42-37	34-34	35-34	18	36	36	36	35	
Denklingen 5..	1883	80	13	13	13	35-115	37	37	37	51-48	42-41	40-40	21	36	36	36	21	18	
Eggharting 72..	1907	54	10	10	10	36-90	32	33	32	55-55	47-49	27-35	20	20	20	20	20	20	
Eggharting 73..	1906	55	10	10	10	41-96	33	34	33	40-58	38-28	36-35	19	19	19	19	19	19	
Fürstenefeldb. 9..	1871	59	11	11	11	37-96	28	29	28	51-30	31-27	51-51	20	20	20	20	20	20	
Freising 23..	1871	64	11	11	11	25-89	36	36	36	64-30	55-29	50-48	17	17	17	17	17	17	
Illertissen 12..	1871	28	5	5	5	36-64	35	35	35	50-48	29-47	24-44	15	15	15	15	15	15	
Otobereun 8..	1883	74	13	13	13	32-106	39	39	39	80-55	75-51	38-34	14	14	14	14	14	14	
Otobereun 69..	1903	31	6	6	6	48-79	39	39	39	81-67	73-47	35-32	30	30	30	30	30	30	
achsenried 2..	1883	75	13	13	13	32-107	37	38	37	53-43	77-68	22-15	15	15	15	15	15	15	
achsenried 3..	1883	75	13	13	13	33-108	38	38	38	43-42	70-61	22-13	13	13	13	13	13	13	
achsenried 67..	1902	55	10	10	10	43-98	38	38	38	51-48	67-38	26-23	13	13	13	13	13	13	
achsenried 68..	1902	55	10	10	10	42-97	38	38	38	74-51	69-48	24-20	14	14	14	14	14	14	
Alle VR zusammen			133	129	133														

2.2 Für die methodische Untersuchung standen zunächst 13 Fichten-Versuchsreihen zur Verfügung. Alle 13 Reihen liegen in Südbayern und gehören der mittleren und oberen Ertragsniveau-Stufe bayerischer Fichtenbestände (nach der neuen Fichten-Ertragstafel für Bayern von ASSMANN-FRANZ, 1963) an. Das Versuchsmaterial umfaßt:

- Die Oberhöhenbonitäten 28 bis 40 (nach der obengenannten Tafel), vgl. Abb. 1; einen Altersbereich von 25 bis zu 115 Jahren;
- einen natürlichen Grundflächenrahmen von 29 bis 55 qm im jüngeren Alter (25 bis 35 Jahre), bis 51 bis 81 qm im höheren Alter (80- bis 115jährig), vgl. Abb. 2; natürliche Bestockungsgrade der Durchforstungsflächen abwärts bis zu 0,6.
- Insgesamt wurden 133 Aufnahmen schwach durchforsteter Bezugsflächen (A-Grad) und 262 Aufnahmen mäßig und stark durchforsteter Vergleichsflächen (B- und C-Grad) ausgewertet.

Den A-Grad-Werten wurden in einer ersten Daten-Kombination (A/C-Kombination) 133 Aufnahmen stark durchforsteter Vergleichsflächen gegenübergestellt. Für die zweite Kombination von Flächenwerten (A/B-Kombination) konnten nur 129 A-Grad-Aufnahmen verwendet werden, weil nur 129 vergleichbare B-Grad-Aufnahmen zur Verfügung standen (in der VR Grafrath 9 fiel die B-Fläche nach 7 Aufnahmen vorzeitig aus. Die A- und C-Fläche wurden je einmal aufgenommen). Die Gesamtzahl an Wertpaaren A/C und A/B beträgt somit  $133 + 129 = 262$ .

In Tabelle 1 sind die hier interessierenden ertragskundlichen Bestimmungsgrößen nach dem Ergebnis der 13 Versuchsreihenaufnahmen als Rahmenwerte zusammengestellt.

Nähere Angaben über die meisten der in Tabelle 1 aufgeführten Flächen - besonders was den Versuchsstandort, den ertragskundlichen Zustand bei Versuchsbeginn, Störungen im Versuchsablauf und notwendige Korrekturen der Originalaufnahmen anbetrifft - finden wir in der Waldertragskunde von ASSMANN (1961, Abschnitte III und IV, 2).

### 3. Schätzfunktion für die natürliche Grundfläche (vgl. Bestand)

#### 3.1 Orientierung am Modell der natürlichen Grundflächenentwicklung in Abhängigkeit von Alter, Oberhöhe und Ertragsniveau

3.1.1 Über die biometrischen Merkmale, die das Grundflächenwachstum unbehandelter Bestände bei verschiedenen Kombinationen von Ertragsselementen kennzeichnen, geben uns die im Abschnitt 1 genannten Modelle Aufschluß, die ASSMANN in den letzten Jahren für zahlreiche Versuchs- und Wuchsreihen verschiedener Baumarten entwickelt hat. Gleichsam eine Zusammenfassung dieser Einzelmodelle (soweit sie sich auf die Fichte beziehen) bietet die neue mehrgliedrige Fichten-Ertragstafel für Bayern (ASSMANN-FRANZ, 1963). Dem in die Tafel einbezogenen Modell der natürlichen Grundflächenentwicklung liegt die in vielen Einzeluntersuchungen bestätigte Hypothese zugrunde, daß

- bei gegebenem Ertragsniveau<sup>3</sup> in erster Linie die Bestandesoberhöhe, ferner das Bestandesalter die maßgeblichen (rechnerischen) Bestimmungsgrößen für die natürliche Grundfläche sind;
- bei gegebenem Altershöhenbefund eine enge Beziehung zwischen dem Faktorenkomplex Ertragsniveau und der natürlichen Grundfläche besteht.

<sup>3</sup> Das Ertragsniveau ist ausgedrückt in der Gesamtwachstumleistung an Holzvolumen für gegebene Ober- bzw. Mittelhöhe (allgemeines Ertragsniveau) und für gegebenen Altershöhenwert (spezielles Ertragsniveau) und für gegebenen Ertragsniveau (1963).

Diese Beziehung hat eine so günstige Bestimmtheit, daß sie umgekehrt - bei Vorgabe eines gemessenen oder geschätzten natürlichen Grundflächenwertes - zu einer Schätzung der ansonsten schwer zu fassenden Größe „Ertragsniveau“ unter praxisüblichen Bedingungen besonders geeignet erscheint (ASSMANN, 1961, S. 226).

So ist z. B. die Anzahl lebender Bäume, die ein Standort mit knapper Wasserversorgung unter natürlichen Bestockungsbedingungen zu ernähren vermag, deutlich geringer als auf einem Standort gleicher Höhenbonität mit reichlicher Wasserversorgung. Diesen Unterschieden in der natürlichen Grundflächenhaltung bonitätsgleicher Standorte gehen Unterschiede in der Gesamtwachstumleistung, d. h. im Ertragsniveau der beiden Standorte, weitgehend parallel, was auf einen hohen Zeigerwert der natürlichen Grundfläche hinweist (Näheres hierzu s. ASSMANN, 1961, S. 224 ff.). Bei keinem anderen Ertragsselement<sup>4</sup> konnte bisher eine so weitgehende

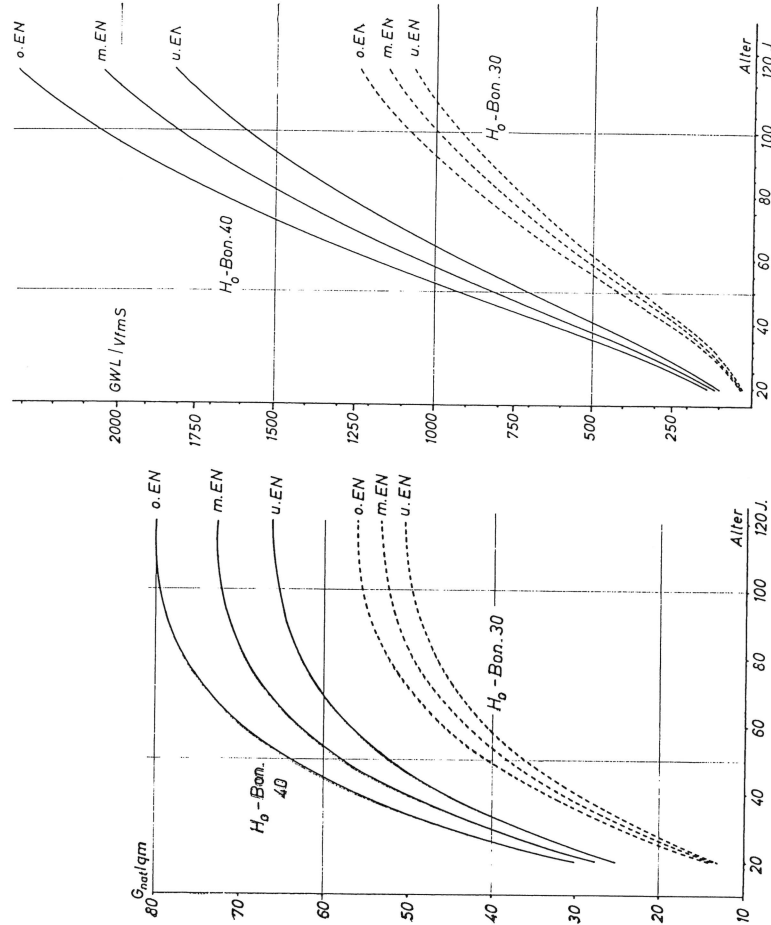


Abb. 3. Entwicklung der natürlichen Grundfläche (vgl. Bestand) (links) und der Gesamtwachstumleistung an Schafholzvolumen bei optimaler Bestockungsdichte (rechts), aufgetragen über dem Bestandesalter.  $H_0$ -Bonitäten 40 und 30 der vorläufigen Fichten-Ertragstafel für Bayern 1963, unteres, mittleres und oberes Ertragsniveau

Stratifizierbarkeit in Abhängigkeit vom Ertragsniveau nachgewiesen werden wie bei der natürlichen Grundfläche.

In wie hohem Grade das standörtliche Ertragsniveau die natürliche Grundflächenhaltung und die Gesamtwachstumleistung an Holzvolumen *gleichzeitig* prägt, kommt sehr klar in der Gegenüberstellung der Kurvenverläufe dieser beiden Ertragsselemente über der Bestandesoberhöhe und dem Alter zum Ausdruck. Eine solche Gegenüberstellung zeigt Abb. 3 am Beispiel des o.g. ET-Modells für die drei Ertragsniveau-Stufen der  $H_0$ -Bonitäten 40 und 30. Auf dieser Abb. ist die Entwicklung der natürlichen Grundfläche (vgl. Bestand) und der Gesamtwachstumleistung (bei optimaler Bestockungsdichte) über dem Alter dargestellt.

<sup>4</sup> Bestimmungsgrößen, die durch Kombination mehrerer Ertragsselemente (z. B. Lichteinwirkung, Bodenbeschaffenheit, etc.) entstehen.

3.12 In dem Ertragsstufenmodell ist die natürliche Grundflächenentwicklung (vgl. Bestand) in Form einer Altersgrundflächenkurve ( $G_{nat}$  = natürliche Grundfläche,  $A$  = Bestandesalter) mit dem Ausdruck

$$G_{nat} = \gamma_0 \cdot e^{-c_1 \cdot \ln A} + c_2 \cdot \ln^2 A \quad (1)$$

enthalten<sup>5</sup>. Der bestimmende Einfluß der Oberhöhe und des Ertragsniveaus auf die Entwicklung der natürlichen Grundfläche kommt in den Leitbeziehungen zum Ausdruck, mit denen die Koeffizienten der Grundbeziehung (1) bestimmt werden. Diese werden in zwei Stufen hergeleitet (s. hierzu ASSMANN-FRANZ, 1965):

1. Bestimmung der ersten Koeffizientenstufe für gegebenes Ertragsniveau (EN) mit Hilfe der Ertragsniveau-Einsprunggleichungen:

$$c_{00} = 3,20425 - 0,09313 \cdot EN + 0,00501 \cdot EN^2 \quad (2)$$

$$c_{01} = 0,02245 + 0,00467 \cdot EN - 0,00013 \cdot EN^2 \quad (3)$$

$$c_{10} = 4,83397 + 0,10243 \cdot EN + 0,00052 \cdot EN^2 \quad (4)$$

$$c_{11} = 0,00343 - 0,03684 \cdot EN + 0,00018 \cdot EN^2 \quad (5)$$

$$c_{20} = 9,16326 - 0,15964 \cdot EN - 0,11240 \cdot EN^2 \quad (6)$$

$$c_{21} = -3,43958 + 0,07225 \cdot EN + 0,03212 \cdot EN^2 \quad (7)$$

2. Bestimmung der Koeffizienten der Grundbeziehung (1) für gegebene  $H_0$ -Bonität ( $H_0$ ) aus der ersten Koeffizientenstufe für gegebenes Ertragsniveau [Gleichungen (2) bis (7)] mit Hilfe der Leitbeziehungen (zweite Koeffizientenstufe):

$$G_{nat} \text{ (Max-Wert)} = \gamma_{00} \cdot e^{c_{01} \cdot H_0} \quad (8)$$

$$A_{G_{nat}} \text{ (Max-Wert)} = \gamma_{10} \cdot e^{c_{11} \cdot H_0} \quad (9)$$

$$c_2 = 1/c_{20} + c_{21} \cdot \ln H_0 \quad (10)$$

$$c_1 = A_{G_{nat}} \text{ (Max-Wert)} \cdot -2 \cdot c_2 \quad (11)$$

$$c_0 = \ln G_{nat} \text{ (Max-Wert)} - c_1 \cdot \ln A_{G_{nat}} \text{ (Max-Wert)} - c_2 \cdot \ln^2 A_{G_{nat}} \text{ (Max-Wert)} \quad (12)$$

Hierbei bedeuten:

$G_{nat}$  (Max-Wert) = natürliche Grundfläche zum Zeitpunkt der Kulmination der Altersgrundflächenkurve;

$A_{G_{nat}}$  (Max-Wert) = Zeitpunkt der Kulmination der Altersgrundflächenkurve;

$$\gamma_0 = e^{c_0}$$

$$\gamma_{00} = e^{c_{00}}$$

$$\gamma_{10} = e^{c_{10}}$$

3.13 Auf Abb. 4 ist das Modell der Altersentwicklung der natürlichen Grundfläche (vgl. Bestand) am Beispiel der 4 m gestuften Bonitätskurven für die drei Ertragsniveaustufen der vorläufigen Fichten-Ertragstafel für Bayern 1963 dargestellt.

Zur Charakterisierung der Kurvenverläufe einige kurze Bemerkungen: Die Anfangswerte der Kurven werden — etwa bis zum Alter 50 — maßgeblich durch die vorgegebene Begründungszahl mitbestimmt, die für dieses Modell verhältnismäßig niedrig, mit rund 5000 bis 6000 (maximal 8000 bei den unteren Bonitäten), angesetzt wurde. Typisch für die Altersentwicklung der natürlichen Grundfläche ist der steile Anstieg ihrer Kurve bis etwa zum Beginn des Altholzstadiums. Danach nehmen die Grundflächenwerte nur noch geringfügig zu, bis sie etwa im Alter 115 bis 125 — nach Ertragsniveau-Stufen und Bonitäten verschieden — mit Werten um 66 qm (u. EN) bis 80 qm (o. EN) in der besten Bonität ( $H_0$ -Bon. 40) und um 39 bis 40 qm in der schlechtesten Bonität ( $H_0$ -Bon. 20) ihr Maximum erreichen. In den folgenden Jahren vermag das bis dahin erreichte hohe Niveau der natürlichen Grundflächenhaltung nicht mehr gehalten zu werden. Die natürlichen Grundflächenwerte gehen langsam zurück (ASSMANN-FRANZ, 1965).

<sup>5</sup> Eine ausführliche Diskussion dieses Funktionstyps und eine Beurteilung seiner ertragskundlichen Brauchbarkeit (in erster Linie zum Beschreiben des Zuwachsganges) hat in jüngster Zeit

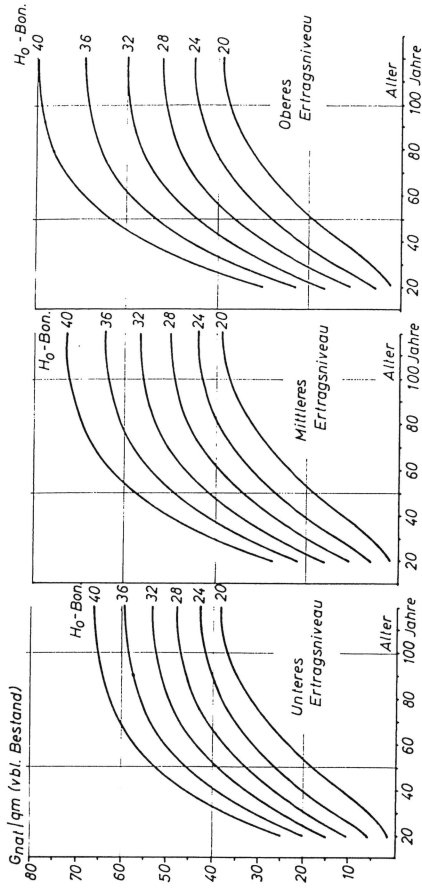


Abb. 4. Bonitätskurven der natürlichen Grundfläche (vgl. Bestand) für die drei Ertragsniveaustufen der vorläufigen Fi-ET 1963 für Bayern. 4-m-Bonitätsstufen

### 3.2 Schätzelemente

3.21 Die Gliederungsmomente, die in dem oben geschilderten Grundflächenmodell enthalten sind, lassen sich unschwer in das Modell einer Leitbeziehung übernehmen, mit deren Hilfe Schätzwerte der natürlichen Grundfläche aus Bestimmungsgrößen des verbleibenden Bestandes hergeleitet werden sollen. Zwei Gruppen von Einflußfaktoren, welche den Wert der natürlichen Grundfläche bestimmen, werden hiernach von der Schätzfunktion zu erfassen sein:

1. Die „primären“<sup>6</sup> Einflußfaktoren, die den Faktorenkomplex „Bonität“ kennzeichnen. Dies sind

a. das Bestandesalter,

b. die Oberhöhe (= mittlere Höhe des Grundflächen-Mittelstammes der 100 stärksten Bäume je ha) als ein weitgehend eingriffsstabiler Bestandeshöhenwert.

Der Bestimmungsanteil der beiden Größen Alter und Oberhöhe wird in einer primären Einordnungsbeziehung<sup>7</sup> erfaßt. Beide Bestimmungsgrößen können unmittelbar am verbleibenden Bestand erhoben werden.

2. Die „sekundären“<sup>6</sup> Einflußfaktoren, die den Faktorenkomplex „Ertragsniveau“ kennzeichnen.

Das Ertragsniveau kann am verbleibenden Bestand nicht unmittelbar erhoben werden. Zu seiner Einschätzung sind Weisergrößen (bzw. Kombinationen von solchen) aus dem verbleibenden Bestand erforderlich, die

a. auf Hiebseingriffe empfindlich reagieren und Durchforstungseinflüsse nachhaltig auszuweisen vermögen und

b. bei vorgegebener (oder geschätzter) Eingriffsstärke das bestandesindividuelle Ertragsniveau widerspiegeln.

Der Bestimmungsanteil der Weisergrößen wird in einer sekundären Trennbeziehung ausgedrückt.

<sup>6</sup> Die Bezeichnungen „primär“ und „sekundär“ kennzeichnen hier nicht eine kausale Rangfolge, sondern eine rechnerische Anordnung von Funktionsteilen innerhalb einer statistischen Gesamtfunktion.

<sup>7</sup> Den Begriff Einordnungsbeziehung zur Kennzeichnung der Altershöhen-Bestimmtheit hat

3.22 Grundlage für die Formulierung der Weisergrößen sind, wie die eben genannten Voraussetzungen erkennen lassen, Merkmale der Stammzahl-/Durchmesser-Verteilung des verbleibenden Bestandes, wobei ein effizientes Durchforstungskriterium sicherlich den besten Weiserwert erwarten ließe. Ein solches Durchforstungskriterium von hinreichend hoher Effizienz haben wir jedoch noch nicht.

Wie die ersten Ergebnisse eines zur Zeit im Münchner Ertragskunde-Institut laufenden Untersuchungsprogramms erkennen lassen, besitzen die bisher erarbeiteten Durchforstungskriterien, z. B. die Kennwerte von KRENN (1946) und PETERSON (1955), noch nicht die für den vorliegenden Anwendungsfall erforderliche Trennschärfe. Sie lassen sich überdies schwer in Schätzelemente überführen. In einem in Kürze anlaufenden Testprogramm, in dem die Entwicklung von Stammzahlfrequenzreihen unter verschiedenen Ausgangs- und Eingriffsbedingungen simuliert wird, soll versucht werden, die biometrischen Faktoren, welche die Frequenzveränderung bestimmen, und auch die Kriterien für ihre Beurteilung besser als bisher zu fassen. Wertvolle Hinweise für die Lösung dieser Aufgabe bieten — neben den obengenannten Untersuchungen von KRENN und PETERSON sowie einigen älteren Studien (CAJANUS, 1914; LÖNNROT, 1926) — vor allem die richtungweisenden Arbeitsergebnisse von PRODAN (1953) zum Frequenzreihenproblem.

3.23 Als Näherungslösung für eine das Ertragsniveau kennzeichnende Trenngröße hat sich, nach den bisherigen Untersuchungsergebnissen, eine Kombination der Ertragsrelevante Bestandesgrundfläche (vbl. Bestand) und Durchmesserdifferenzprozent<sup>8</sup> recht gut bewährt. Es zeigte sich nämlich, daß — bei Vorgabe eines Niederdurchforstungsmoments und unter sonst gleichen Bedingungen —

- bei gleicher Grundfläche des verbleibenden Bestandes eine Durchmesserfrequenz i. d. K. eine um so höhere natürliche Grundfläche ausweist, je geringer das ihr zugeordnete Durchmesserdifferenzprozent ist oder, anders ausgedrückt, je eine gegebene Grundfläche des verbleibenden Bestandes um so näher an dem ihr zugeordneten natürlichen Grundflächenwert liegt, je größer das Durchmesserdifferenzprozent der ihr zugrunde liegenden Durchmesserfrequenz ist.

3.24 Die Schätzfunktion für die natürliche Grundfläche enthält somit folgende Ertragslemente:

- Bestandesalter und Oberhöhe (Schätzelemente der primären Einordnungsbeziehung);
- Grundfläche (vbl. Bestand) und Durchmesserdifferenzprozent (Schätzelemente der sekundären Trennbeziehung).

3.25 Um einen ersten Einblick in die Verteilung der Bestimmungsgewichte zwischen den Variablen (einschließlich der abhängigen Variablen „natürlichen Grundfläche“) zu erhalten, wurde ihr Weiserwert zunächst an Hand einer Faktorenanalyse<sup>9</sup> untersucht. Hierbei wurden an Stelle des Durchmesserdifferenzprozentes dessen Eingangsgroßen Oberdurchmesser und Mitteldurchmesser in die Analyse eingegeben. Das Ergebnis zeigt Tabelle 2. Die Faktorenanalyse bestätigt die in den Abschnitten 3.1 und 3.21 bis 3.23 beschriebenen Grundbeziehungen zwischen den Weisergrößen des verbleibenden Bestandes und der natürlichen Grundfläche<sup>10</sup>.

<sup>8</sup> Das Durchmesserdifferenzprozent ist gleich der in Prozenten des Oberdurchmessers  $d_0$  ausgedrückten Differenz zwischen dem Ober- und dem Mitteldurchmesser (vbl. Bestand)  $d_0-d_m$ :  $\Delta d/d_0 = 100 (d_0-d_m)/d_0$  (vgl. FRANZ, 1963).

An Stelle des Durchmesserdifferenzprozents kann auch der einfache Durchmesserquotient  $d_m/d_0$  verwendet werden. Die beiden Größen sind gegenläufig.

<sup>9</sup> Die Faktorenanalyse hat der Verfasser mit dem Programm BMD 03 M aus der Biomedical Computer Program-Bibliothek f. d. IBM 7090 der School of Medicine, UCLA, Los Angeles, California, USA, durchgeführt.

<sup>10</sup> Einzelne, durch planwidrige Hiebseingriffe abgesenkte A-Grad-Grundflächen wurden durch geringfügige Anhebung vor Eingabe in die Faktorenanalyse und die anschließenden Regressionsanalysen in korrigierte Rechengrößen überführt. Die zum Vergleich mit den Schätzwerten herangezogenen „wirklichen“ A-Grad-Grundflächen (vgl. Abschnitte 3.43 ff.) blieben

Tabelle 2

### Ergebnis einer Faktorenanalyse von sechs ertragskundlichen Eingangsgroßen der regionalen Leitbeziehung

(N = 262; Werte B bis E f. d. Df-Flächen). Rotierte Faktor-Matrix nach drei Iterationszyklen

Eigenschaft	Faktor			
	1	2	3	4
A Alter	.9292*	.2855	.0702	.0115
B Oberhöhe	-.8268*	.5410+	-.0308	.0304
C Oberdurchmesser	-.8750*	-.4754	-.0302	-.0311
D mittlerer Durchmesser	-.8825*	-.4404	-.1565+	-.0085
E Grundfläche vbl. Bestand	-.3404	.8109*	.0961+	-.0043
F natürliche Grundfläche	-.3922	.8386*	-.1581+	.0039
Eigenwerte	4.97243	.55226	.05662	.00210
kumulat. Anteil an der Gesamtvarianz	.8287	.9208	.9302	.9306

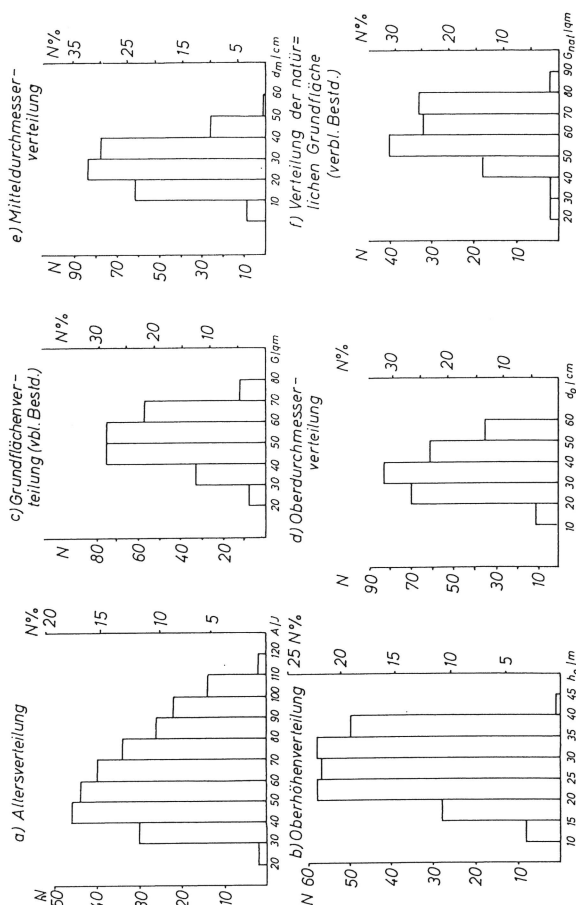


Abb. 5. Häufigkeitsverteilung der Meßwerte bei Stufengliederung der einzelnen Ertrags-elemente (Werte b) bis e) für die Durchforstungsflächen

Die Faktorenanalyse lieferte vier Faktoren. Zwei von ihnen (die Faktoren 1 und 2) haben reales Aussagegewicht, wie ihre Eigenwerte und ihr kumulativer Anteil an der Gesamtvarianz erkennen lassen. Faktor 3 vermittelt zusätzliche, orientierende Information.

Die Matrix der Faktorenladungen weist beim Faktor 1 hohe Werte für Alter, Oberhöhe und die beiden Durchmesser aus, dagegen nicht für die beiden Grundflächen-Variablen. Faktor 1 ist ein zeitorientierter und in höherem Alter zunehmend gliedernder Faktor. Er kommt in den primär bonitätsgebundenen (mit Alter und Höhe gekoppelten) Ertragsmomenten zum Ausdruck und umschreibt bis zu einem gewissen Grad auch die waldbauliche Ausgangslage (Bestockungsdichte, Stammzahlhaltung) zu Versuchsbeginn. Faktor 2 ist demgegenüber als Ausdruck für das Ertragsniveau zu interpretieren, das sich besonders in den hohen Werten für die beiden Grundflächen-Variablen widerspiegelt. Faktor 3 schließlich umschreibt die Strukturveränderung durch Stammzahlabgang. Vergleichsweise hohe Werte haben die beiden Grundflächen-Variablen und der mittlere Durchmesser, wobei zwischen der Grundfläche des

aktiv durchforsteten Bestandes einerseits sowie dessen mittlerem Durchmesser und der zugeordneten natürlichen Grundfläche andererseits die bekannten Gegenläufigkeiten bestehen. Je geringer die verbleibende Grundfläche, um so stärker der mittlere Durchmesser und um so größer die Differenz zur entsprechenden natürlichen Grundfläche.

3.26 Auf Abb. 5 ist dargestellt, wie das Untersuchungsmaterial bei den einzelnen Ertrags-elementen verteilt ist, wobei auch hier die Verteilung des Durchmesserdifferenzprozentes zunächst in die Verteilungen ihrer Eingangsgroßen Oberdurchmesser und Mitteldurchmesser zerlegt worden ist. Die Verteilung des Durchmesserdifferenzprozentes zeigt Abb. 6.

Alle Verteilungen sind eingipflig. Sie lassen sich dem Verteilungstyp einer Normalverteilung ohne Schwierigkeiten zuordnen, die Verteilungen mit  $\pm$  ausgeprägten Asymmetriemerkmalen (insbesondere die Altersverteilung) nach einfacher Transformation (z. B. log-Transformation).

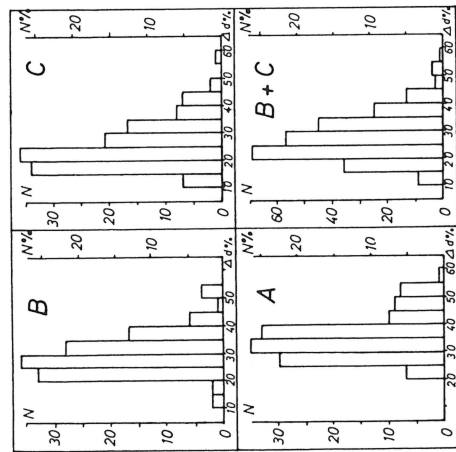


Abb. 6. Häufigkeitsverteilung des Durchmesserdifferenzprozentes der A-, B- und C-Grad-Flächen und der Durchforstungsflächen (B- und C-Grad) zusammengefaßt

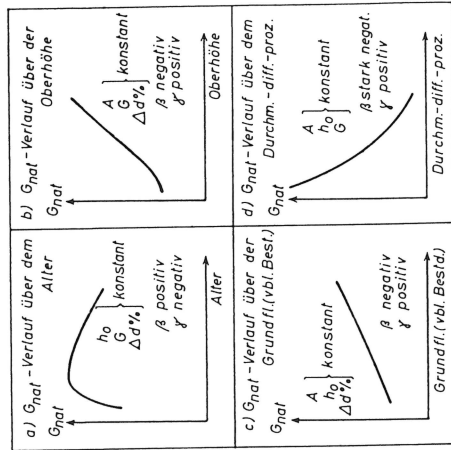


Abb. 7. Verlauf der partiellen Grundbeziehungen zwischen den vier Ertrags-elementen Alter, Oberhöhe, Grundfläche (vbl. Bestand) und Durchmesserdifferenzprozent und der natürlichen Grundfläche. Grundbeziehung:  $y = a + \beta \cdot x + \gamma \cdot x^2$

### 3.3 Schätzfunktion

3.31 Die Beziehungen zwischen den im Abschnitt 3.24 aufgezählten vier Ertrags-elementen und der natürlichen Grundfläche wurden an Hand mehrerer Typen von statistischen Ausgleichsfunktionen regressionsanalytisch untersucht<sup>11</sup>. Der Regressions-

<sup>11</sup> Verwendet wurde das Rechenprogramm WRAP. Hierbei handelt es sich um ein sog. abbautes Regressionsprogramm: Ausgehend von der Regression zwischen der natürl. Grundfl. und allen eingegebenen x-Größen wird das x-Variablen-Feld schrittweise um die Bestimmungsgrößen mit nichtsignifikantem Bestimmungsgewicht (ausgedrückt im „F-Ratio“) verkleinert. Als erste Größe wird die x-Variablen mit dem geringsten partiellen Bestimmungsgewicht entnommen und so weiter. Die Entnahme nichtsignifikanter Variabler wird fortgesetzt, bis die vorgegebene Signifikanzschwelle (F-Level) erreicht ist und die Folge-Regression nur noch solche x-Variablen enthält, deren partielles Bestimmungsgewicht oberhalb des Schwellenwertes liegt. Als Schwellenwert wurde allgemein F für  $p=0,01$  eingegeben. Die Ausgleichsfunktion in Tab. 4 (II) ergab sich nach zwei Eliminierungsschritten.

analyse lag die in mehreren Einzeluntersuchungen bestätigte Hypothese zugrunde, daß die *partiellen Grundbeziehungen* zwischen den einzelnen Ertragsgrößen und der natürlichen Grundfläche nicht linear sind und ganz allgemein einer Funktion vom Typ  $y = a + \beta \cdot x + \gamma \cdot x^2$  folgen (wobei  $\beta$  und  $\gamma$  bei einigen Ertragsgrößen positiv, bei anderen negative Werte annehmen; vgl. Abb. 7).

Der gegebenen Variablenkombination am besten angepaßt war eine Modell-situation, welche die unabhängigen Bestimmungsgrößen als log-transformierte Werte vorgibt. In diesem Transformationsfall wurden die besten Schätzungen der natürlichen Grundfläche erzielt, insbesondere in den Randwertbereichen der Ertrags-elemente, z. B. in sehr hohem Alter, bei besonders niedriger und besonders großer Oberhöhe, bei sehr geringem Durchmesserdifferenzprozent usw.

3.32 Die vier Ertrags-elemente wurden in folgende Bestimmungsgrößen übergeführt:

$x_1 = \log A$ , $x_2 = x_1^2$	(A	=	Bestandesalter)
$x_3 = \log h_0$ , $x_4 = x_3^2$	(h <sub>0</sub>	=	Oberhöhe der durchforsteten Vergleichsfläche)
$x_5 = \log G$ , $x_6 = x_5^2$	(G	=	Grundfl./vbl. Bestd./der durchforsteten Vergleichsfl.)
$x_7 = \log \Delta d \%$ , $x_8 = x_7^2$	( $\Delta d \%$	=	Durchmesserdifferenzprozent der durchforsteten Vergleichsfläche)

Die abhängige Variable  $y = G_{nat}$  ( $G_{nat}$  = Grundfläche [vbl. Bestd.] der A-Grad-Fläche – hier gleich der natürlichen Grundfläche gesetzt –).

Um den störenden Einfluß eventueller (geringer<sup>12</sup>) Bonitätsunterschiede zwischen den A-Grad-Bezugsflächen und den Durchforstungsflächen (B- und C-Grad) auf das Schätzergebnis eliminieren zu können, wurden zwei weitere x-Variablen eingegeben:

$$x_9 = \log \frac{h_0 (A\text{-Fläche})}{h_0 (Df\text{-Fläche})}; \quad x_{10} = x_9^2$$

Ist die Oberhöhe der A-Fläche gleich der Oberhöhe der Durchforstungsfläche, so sind  $x_9$  und  $x_{10}$  gleich 0 und erhalten kein Bestimmungsgewicht. Bestehen dagegen Unterschiede zwischen den Oberhöhen, so werden  $x_9$  und  $x_{10}$  als Bestimmungsgrößen wirksam (vgl. Abschnitte 3.34 und 3.35).

3.33 In Tab. 3 sind die einfachen Korrelationskoeffizienten für alle sinnvollen Kombinationen der y- und x-Variablen, bezogen auf das gesamte Untersuchungs-material (N = 262), wiedergegeben. Tab. 3 zeigt, daß zwischen den Variablen zahlreiche Wechselbeziehungen bestehen. Neben den erwartungsgemäß hohen Werten für die Altershöhenbeziehung sind auch die Koeffizienten für das  $A/\Delta d \%$ - und das  $h_0/\Delta d \%$ -Verhältnis beachtlich. Zur natürlichen Grundfläche lassen  $G$ ,  $h_0$  und  $\Delta d \%$  eine enge Korrelation erkennen. Die Korrekturvariablen  $x_9$  und  $x_{10}$  zeigen zu den übrigen Bestimmungsgrößen keine nennenswerte Beziehung.

3.34 Aus der Zusammenfassung der partiellen Grundbeziehungen der vier Ertrags-elemente und der Korrekturvariablen zur natürlichen Grundfläche wurde eine Leitbeziehung gebildet, die alle zehn im Abschnitt 3.32 aufgezählten Bestimmungsgrößen enthält:

$$G_{nat} = a_0 + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + \dots + a_9 \cdot x_9 + a_{10} \cdot x_{10} \quad (13)$$

<sup>12</sup> In dem verwendeten Material sind nur geringe Bonitätsdifferenzen enthalten. Bestehen größere Bonitätsunterschiede zwischen den zu vergleichenden Flächenpaaren (über 3 F<sub>0</sub>-Bon.-Einh.), so wird der hier vorgenommene Ausgleich wahrscheinlich nicht mehr befriedigen. Er müßte dann mit Hilfe stärker differenzierender Faktoren verfeinert werden.





in optimaler Ausdrucksform – darstellt, für die Bestimmung von natürlichen Ausgangswerten der Bestandesdichte aus sekundär veränderten Bestockungsmerkmalen besitzt. Der negative Regressionskoeffizient für  $\Delta d\%$  zeigt an, daß der Schätzwert der natürlichen Grundfläche um so höher ausfällt, je geringer – unter sonst konstanten Bedingungen – das Durchmesserdivergenzprozent ist (vgl. Abschn. 3.23).

In der primären Einordnungsbeziehung haben die Variablen, die auf die Oberhöhe zurückgeführt werden ( $x_3$  und  $x_4$ ), etwa die gleiche Bedeutung wie die Altersvariablen  $x_1$  und  $x_2$ . Die F-Werte für die vier Größen liegen zwischen 10 und 22.

Bemerkenswert ist, daß auch die beiden Korrekturvariablen  $x_9$  und  $x_{10}$  ein eindeutiges Bestimmungsgewicht haben. Dies Rechenergebnis hat in allen den Fällen Bedeutung, in denen zwischen den paarweise verglichenen Flächen A/B bzw. A/C Bonitätsunterschiede bestehen.

In der Leitbeziehung für die praktische  $G_{nat}$ -Schätzung sind die beiden Korrekturvariablen nicht mehr enthalten. Die Schätzfunktion lautet dann:

$$G_{nat} = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_4 \cdot x_4 + b_5 \cdot x_6 + b_7 \cdot x_7 \quad (15)$$

3.36 Eine weitergehende Prüfung des Einflußgewichtes des Durchmesserdivergenzprozentos ergab, daß dies nicht noch zusätzlich am mittleren Durchmesser (oder a. d. Stammzahl) orientiert zu werden braucht:

Die Einbeziehung des mittleren Durchmessers neben dem Durchmesserdivergenzprozent in die Schätzfunktion führt zu keiner verbesserten Information. Das besagt, daß es – in dem durch das Material erfaßten Rahmen der Ertrags Elemente – für die Bestimmung der natürlichen Grundfläche ohne Bedeutung ist, ob eine gegebene Grundfläche des verbleibenden Bestandes aus vielen Stämmen mit geringem Mitteldurchmesser oder aus wenigen Stämmen mit großem Mitteldurchmesser gebildet wurde, sofern nur das Durchmesserdivergenzprozent gleich ist.

In weiteren Untersuchungen mit einem breiter gestreuten Material ist noch zu klären, ob diese Hypothese allgemein aufrechterhalten werden kann.

3.37 Die Leitbeziehungen für die einzelnen Versuchsreihen (vgl. Tab. 4) lassen nur teilweise die gleiche Gliederung der Bestimmungsgewichte wie die Regionalbeziehung erkennen.

Eine Aussage über die Bedeutung der einzelnen Bestimmungsgrößen ist hier jedoch nur bedingt möglich. Da die Ertrags Elemente innerhalb einer Versuchsreihe in der Regel viel weniger streuen und weit schwächer gegliedert sind, läßt sich ihr partieller Bestimmungsanteil vielfach nicht so klar herausarbeiten als bei der regionalen Leitbeziehung, die aus dem breiten Streurahmen der Ertrags Elemente aller dreizehn Versuchsreihen hergeleitet wurde.

So sind besonders die Varianzen der Grundflächenhaltung und des Durchmesserdivergenzprozentos in vielen Versuchsreihen nur gering. Ein signifikantes Einflußgewicht dieser beiden Ertragsgrößen kann in solchen Fällen an Hand der verfügbaren Meßwerte noch nicht festgestellt werden. Die wichtigsten rechnerischen Bestimmungsgrößen in diesen Versuchsreihen-Leitbeziehungen sind die Variablen der primären Einordnungsbeziehung, in erster Linie die  $b_0$ -Variablen  $x_3$  und  $x_4$ .

3.38 Hinzu kommt, daß das Material neben datenmäßig hinreichend gesicherten Versuchsreihen auch einige Reihen mit nur wenigen Versuchs aufnahmen enthält. Die geringe Zahl der Meßwerte in diesen Reihen beeinträchtigt die Sicherheit der Parameterbestimmung für deren Leitbeziehungen.

Bei zwei Versuchsreihen mit besonders geringer Datengrundlage (I 12, O 69) ist das Verhältnis zwischen der Anzahl der Meßwerte und der Zahl der Kurvenparameter so ungünstig, daß von einem Datenausgleich im Sinne einer Reduktion des Datenmaterials schon nicht mehr gesprochen werden kann. Die bestandsindividuellen Verhältnisse werden in diesem Fall zwar sicher, gleichsam „meßwerttypisch“ erfaßt. Der verallgemeinernde Aussagewert solcher Ausgleichskurven ist jedoch gering. In Tabelle 4 wurden darum die auf die beiden ungenügend datengesicherten Leitbeziehungen zurückgeführten Kennwerte eingeklammert.

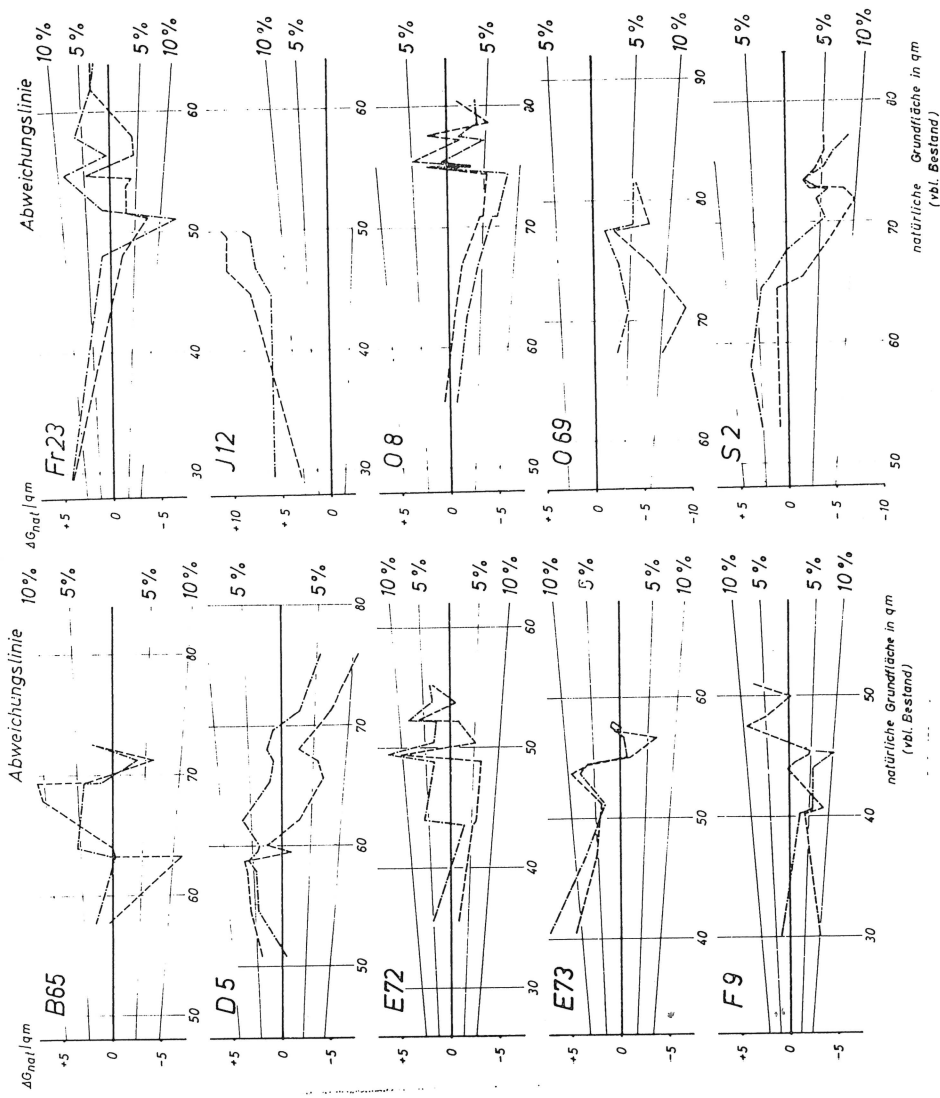


Abb. 8. Differenzkurven Schätzwert minus wirklichem Wert, aufgetragen über steigender natürlicher Grundfläche. Werte für die regionale Leitbeziehung

--- Schätzungen aus den Bestimmungsgrößen der C-Fläche

--- Schätzungen aus den Bestimmungsgrößen der C-Fläche

Die flächentypischen Leitbeziehungen lieferten, wie auch aus dem folgenden Abschnitt hervorgeht, erwartungsgemäß wesentlich genauere Schätzungen als die regionale Leitbeziehung.

### 3.4 Schätzfehler

3.41 Wie die multiplen Bestimmtheitsmaße in Tab. 4 zeigen, bestehen zwischen der natürlichen Grundfläche und der Gesamtheit der Bestimmungsgrößen enge Beziehungen. Für die regionale Leitbeziehung ist  $B = 0,89$ , während in den flächentypischen Schätzfunktionen B allgemeine Werte über 0,9 erreicht.

Die bedingte Standardabweichung der berechneten von den wirklichen Werten beträgt bei Anwendung der regionalen Schätzfunktion ca.  $\pm 4$  qm und bei Gliederung nach Versuchsreihen rund  $\pm 1$  bis  $\pm 3$  qm. Die entsprechenden prozentischen Abweichungen liegen bei 6,5 % nach der Regionalbeziehung und bei 2 bis 4 % nach den Regressionen der einzelnen Versuchsreihen. Alle genannten Bestimmtheits- und Abweichungsgrößen lassen erkennen, daß der Weiserwert der verwendeten Leitbeziehung (14) sehr hoch ist.

3.42 Die Fehlerangaben in Tab. 4 ermöglichen zwar eine summarische Beurteilung des Weiserwertes der Leitbeziehung, sie vermitteln jedoch noch keinen Einblick in die Schätzfehlerstruktur in den einzelnen Versuchsreihen. Die praktische Brauchbarkeit einer Schätzfunktion können wir letztlich nur dann richtig beurteilen, wenn wir nicht nur über die durchschnittliche Fehlergrößen Bescheid wissen, sondern auch die Gliederung der Schätzfehler im gesamten, durch das Material vorgegebenen Anwendungsbereich, besonders jedoch in den Randwertzonen kennen (etwa bei besonders niedrigem und sehr hohem Alter, bei den sehr niedrigen und den sehr hohen Bonitäten und Grundflächenhaltungen usw.). Zu diesem Zweck wurden die Einzelabweichungen zwischen den wirklichen und den berechneten natürlichen Grundflächen näher untersucht.

3.43 Abb. 8 zeigt die Differenzen zwischen den nach der regionalen Leitbeziehung berechneten Sollwerten und den Istwerten (O-Linie) in den 13 Versuchsreihen, aufgetragen über steigender natürlicher Grundfläche (wirkliche Werte).

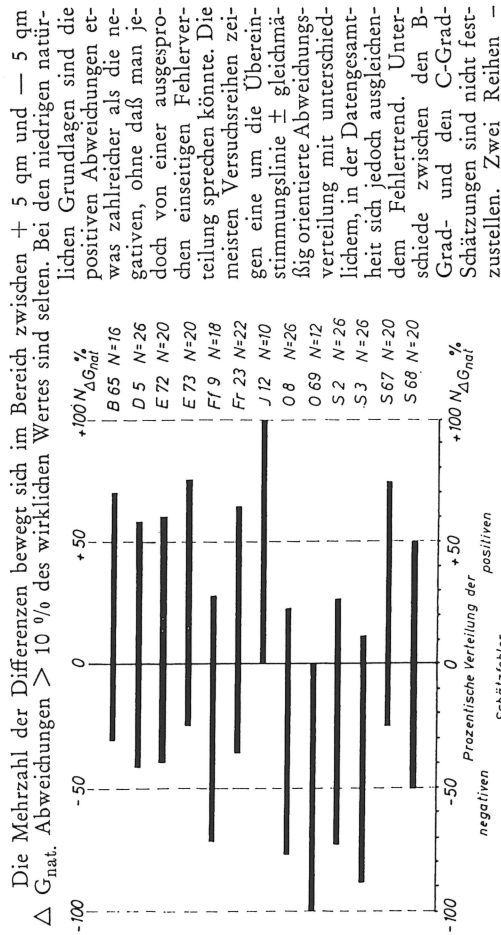


Abb. 8. Gliederung der Schätzfehlerhäufigkeiten nach positiven und negativen Abweichungen (n. d. regionalen Leitbeziehung)

lungen. In einigen anderen Reihen – Betzigau 65, Sachsenried 2, Sachsenried 67 und 68 – finden sich stärkere kurzperiodische, i. d. R. positive Anschläge der Differenzkurven.

Auf Abb. 9 sind die relativen Schätzfehlerhäufigkeiten nach der regionalen Leitbeziehung für die 13 Versuchsreihen in positive und negative Abweichungswerte stratifiziert worden. Auffallend sind einige stark einseitig orientierte Schätzfehlerhäufigkeiten. So sind in der VR I 12 die Abweichungen der geschätzten von den wirklichen Werten ausnahmslos positiv: Die Schätzfehler summieren sich einseitig von 0 bis 100 % in positiver Richtung. Umgekehrt wurde für die VR O 69 die natürliche Grundfläche eindeutig zu gering veranschlagt, wie die einseitig von 0 bis -100 % verlaufende Summenlinie ihrer Schätzfehlerhäufigkeiten erkennen läßt. Hervorzuheben ist auch der hohe Anteil negativer Schätzfehler in der VR Sachsenried 3 ( $N_{\%} \Delta G_{nat} = 88$ ,  $N_{\%} \Delta G_{nat} = 12$ ). In dieser Versuchsreihe bestehen einige vom Versuchsreihendurchschnitt abweichende Bestockungsverhältnisse. VR S 3 ist aus Saat entstanden, hat lange auf allen Teilflächen eine außerordentlich hohe Stammzahl (7500 — 5000) gehalten und wies noch in höherem Alter überdurchschnittliche Durchmesserdifferenzprozente auf.

Die flächentypischen Leitbeziehungen der genannten Versuchsreihen liefern demgegenüber wesentlich günstigere Schätzwerte. Am Beispiel der beiden Reihen mit den größten Abweichungshäufigkeiten, den VR I 12 und O 69, werden auf Abb. 10 (oben) die Abweichungen zwischen den geschätzten und den wirklichen natürlichen Grundflächen (= O-Linie) nach der bestandsindividuellen Herleitung dargestellt. Auf der gleichen Abbildung (unten) sind die Altersgrundflächenkurven nach der Schätzung dem „wirklichen“ Kurvenverlauf der natürlichen Grundfläche gegenübergestellt. An Stelle der vielparametrischen flächentypischen Leitbeziehungen wurden für die Herleitung der Kurven auf Abb. 10 reduzierte Schätzbeziehungen verwendet, die nur noch zwei Bestimmungsgrößen enthalten. Das ungünstige Verhältnis zwischen der Zahl der Parameter der Leitbeziehung und der Anzahl der Meßwerte in diesen beiden Reihen wurde damit beseitigt. Die reduzierten Schätzbeziehungen wurden durch „Abbau“ der flächentypischen Leitbeziehungen gewonnen, wobei der F-Level für die Eliminierung zusätzlicher Variablen so weit erhöht wurde, daß nur noch die beiden für die Varianzklärung wichtigsten Bestimmungsgrößen in der Schätzfunktion verblieben. Die verbliebenen Bestimmungsgrößen sind Oberhöhen- und Altersvariable (vgl. die Erläuterungen zu Abb. 10).

Auf Abb. 11 ist die Häufigkeitsverteilung der Abweichungswerte Istwert minus Schätzwert, gegliedert nach Stufen von 4 qm Breite, dargestellt. Bei Schätzung nach der regionalen Leitbeziehung (vgl. Abb. 11, linke Seite) liegen über 70 % aller Einzel-

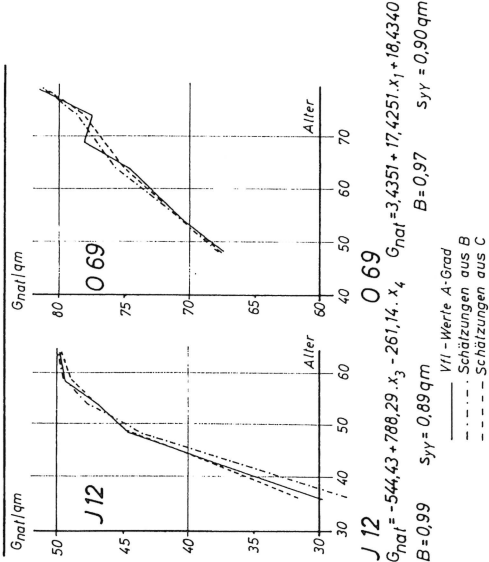
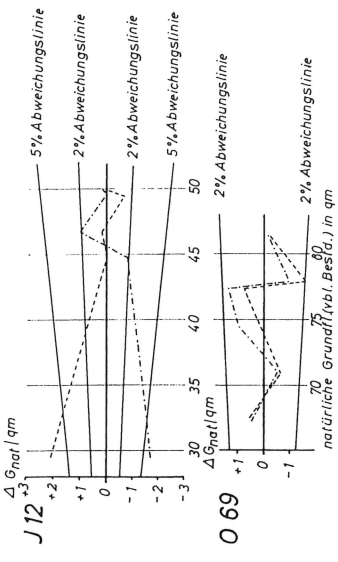


Abb. 10. Reduzierte Schätzbeziehungen für die Wuchsreihen Illertissen 12 und Ortobauern 69. — Oben: Abweichungen zwischen den geschätzten und den wirklichen natürlichen Grundflächen (= O-Linie), aufgetragen über steigender natürlicher Grundfläche, unten: Altersgrundflächenkurven nach der Schätzung, verglichen mit den Kurvenverläufen nach der Versuchsreihenaufnahme

Illertissen 12 und Ortobauern 69. — Oben: Abweichungen zwischen den geschätzten und den wirklichen natürlichen Grundflächen (= O-Linie), aufgetragen über steigender natürlicher Grundfläche, unten: Altersgrundflächenkurven nach der Schätzung, verglichen mit den Kurvenverläufen nach der Versuchsreihenaufnahme

Auf Abb. 11 ist die Häufigkeitsverteilung der Abweichungswerte Istwert minus Schätzwert, gegliedert nach Stufen von 4 qm Breite, dargestellt. Bei Schätzung nach der regionalen Leitbeziehung (vgl. Abb. 11, linke Seite) liegen über 70 % aller Einzel-

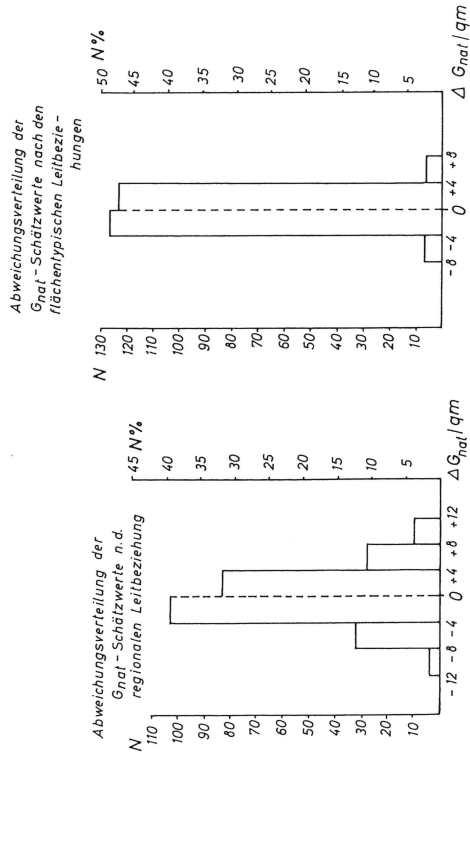


Abb. 11. Häufigkeitsverteilung der Abweichungswerte Schätzwert minus Istwert. — Links: Schätzungen nach der regionalen Leitbeziehung, rechts: Schätzungen nach den flächentypischen Leitbeziehungen

werte in der geringsten Abweichungsstufe ( $\pm 4$  qm). Bei den größeren Differenzen handelt es sich in der Mehrzahl nicht um „echte“ Schätzfehler, sondern um Abweichungen, die auf Mängel in der Versuchsführung (planwidrige Eingriffe auf den A-Flächen, Abkehr vom Niederdurchforschungsmoment auf den Durchforstungsflächen u. a.) zurückzuführen sind (s. hierzu auch folgende Abschnitte). Die Verteilung der Abweichungswerte nach den flächentypischen Leitbeziehungen ist erwartungsgemäß weitaus günstiger (vgl. Abb. 11, rechte Seite). Hier liegen rund 95 % aller Differenzen in der Stufe der geringsten Abweichungen ( $> 8$  qm) kommen überhaupt nicht vor.

3.44 Die aufgezählten Abweichungen von der durchschnittlichen Schätzfehlerverteilung lassen sich allgemein ohne Schwierigkeiten an

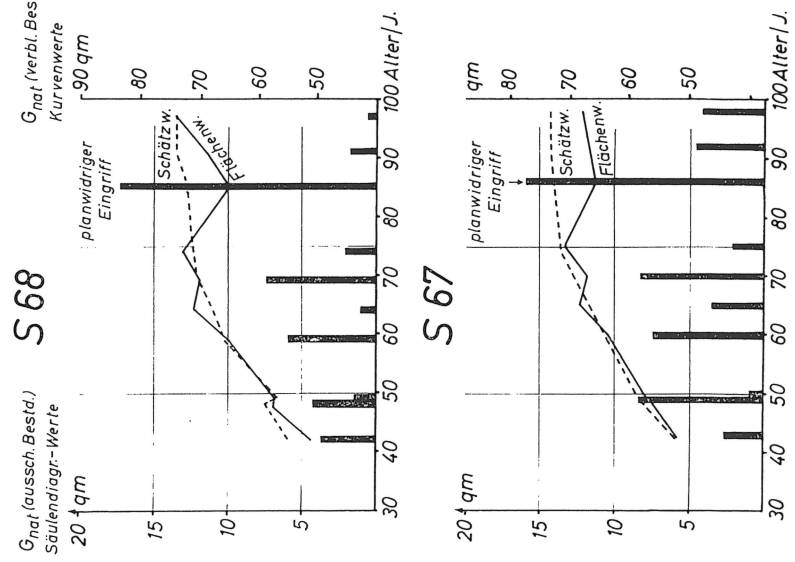


Abb. 12. Gegenüberstellung von Grundflächenentnahme und verbleibender Grundfläche auf den A-Flächen der VR Sachsenried 67 und 68. ---- Schätzungen aus den Bestimmungsgrößen der B-Fläche

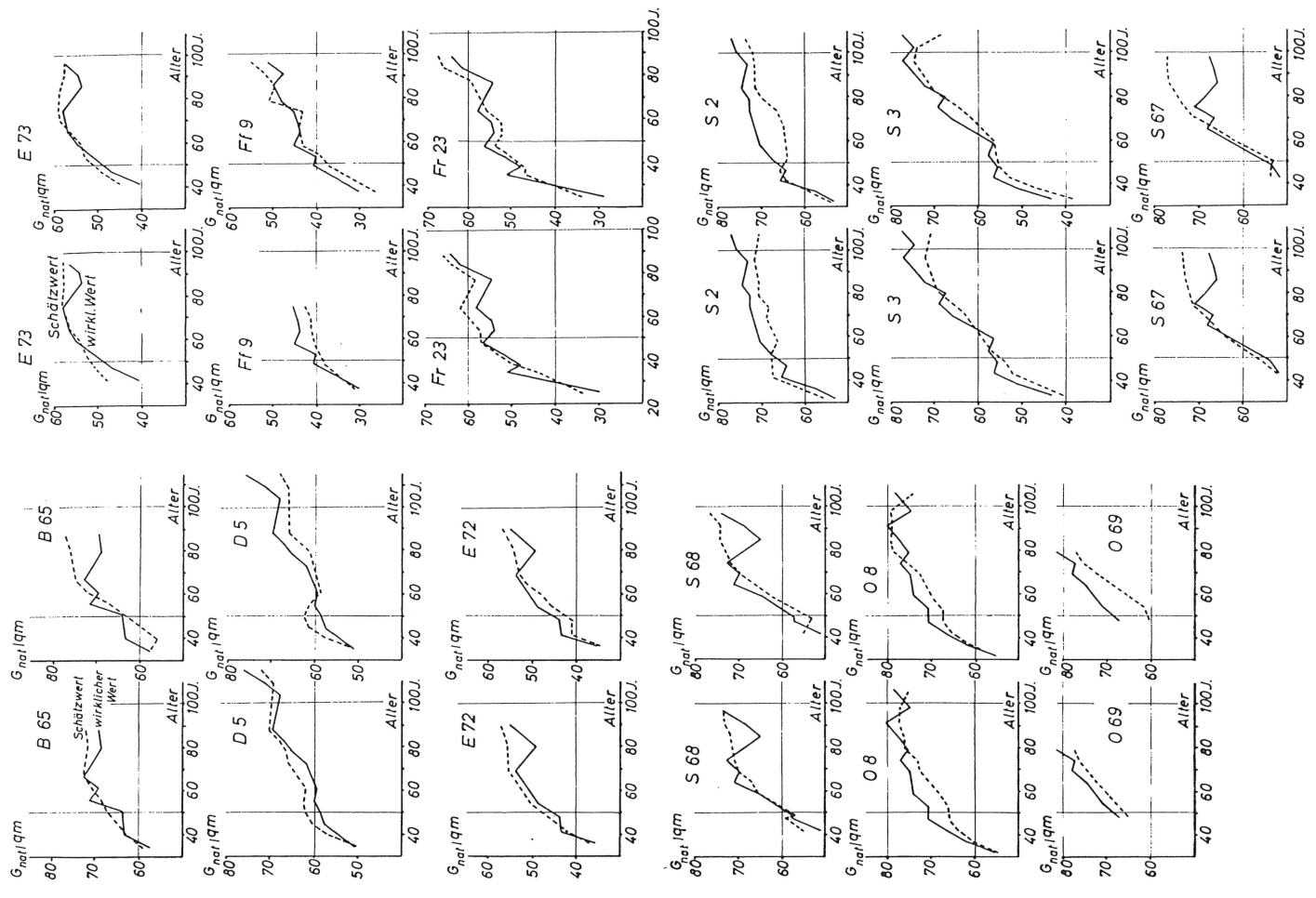


Abb. 13. Alterskurven der natürlichen Grundfläche — = A-Flächenwerte (Istwerte). ---- = Schätzwerte. Links: Gegenüberstellung der Istwert-Linie mit der Schätzwert-Linie aus den Bestimmungsgrößen der B-Fläche; rechts: Gegenüberstellung der Istwert-Linie mit der Schätzwert-Linie aus den Bestimmungsgrößen der C-Fläche. — Schätzungen nach der regionalen

Hand der Flächenaufnahmen begründen. Als Ursachen kommen in Betracht:

1. Verminderung der natürlichen Grundflächenhaltung durch aktive Eingriffe vor Versuchsbeginn (Illertüssen 12),
2. Planwidrige Eingriffe auf der A-Fläche im Beobachtungszeitraum (Betzigau 65, Sachsensried 67 und 68, zum Teil Eghartung 72 und 73 und Freising 23), dadurch Verminderung der Bezugsgrundfläche.

Den Einfluss planwidriger Grundflächensenkung auf den Schätzfehler zeigt Abb. 12 am Beispiel der Versuchsreihen Sachsensried 67 und 68. Auf dieser Abbildung sind die Grundflächenaufnahmen auf der A-Fläche dem Ist- und Schätzwertverlauf der natürlichen Grundfläche (vgl. Bestand) gegenübergestellt. Ab Alter 80 dürfte in beiden Versuchsreihen die Schätzwertkurve wahrscheinlichere Werte liefern als die Kurve der „wirklichen“ Grundflächen. Das gleiche gilt für Betzigau 65, die beiden Eghartinger Reihen und die VR Freising.

3. Veränderungen der Stammzahl-Durchmesser-Verteilung der Durchforstungsflächen durch einzelne Hiebseingriffe, die über das Niederdurchforstungsmoment hinausgehen und daneben ein Moment gleichmäßiger Durchforstung, stellenweise sogar ein Hochdurchforstungsmoment enthalten. Erkennbare Merkmalsprägungen dieser Art finden wir in den VR Sachsensried 2 und Ottobeuren 69.

4. Ausgeprägte „standortstypische Individualität“ der als Schätzelemente verwendeten ertragskundlichen Bestimmungsgrößen. Ein Teil der Schätzfehler in der VR Illertüssen 12 und Ottobeuren 69 wird wahrscheinlich auf solche standortstypische Merkmalsprägung zurückzuführen sein.

3.45 Die – insgesamt gesehen – günstige Schätzfehlerstruktur spiegelt sich in einer guten Übereinstimmung der Schätzwertkurven mit den Alterskurven der natürlichen Grundfläche nach der Versuchsflächenaufnahme wider. Die wichtigsten Ursachen für die in einigen Versuchsflächen erkennbaren stärkeren Unterschiede zwischen den beiden Kurven wurden bereits erwähnt (s. Absn. 3.44). Ein unbefriedigendes Schätzergebnis zeigen lediglich die Flächenwerte 0 69 A/C (s. Abb. 13) und I 12 A/B und A/C. Hierfür dürften, wie bereits erwähnt, in erster Linie standörtliche und behandlungsmäßige Eigentümlichkeiten die Ursache sein. Fehlerhafte Aufnahmen konnten nicht festgestellt werden.

#### 4. Tabellierung von Schätzwerten der natürlichen Grundfläche nach der regionalen Leitbeziehung

4.1 Um die natürliche Grundfläche auf einfache Weise aus den Ertragsmomenten des verbleibenden Bestandes schätzen zu können, wurde die regionale Leitbeziehung (14) in einer mehrgliedrigen Tafel mit den Eingangsgrößen Alter, Oberhöhe, Grundfläche

Tabelle 5

Tabellierungsrahmen für die regionale Leitbeziehung

Ertragsmoment	Bestandesalter																				
	Rahmenwerte																				
	40	50	60	70	80	90	100	110	120												
Oberhöhe	15	20	19	24	23	28	27	32	31	36	32	37	34	39	35	40	36	42			
Grundfläche	23	45	27	49	30	52	33	55	36	58	39	61	42	64	45	67	48	70			
Durchmesser-	25	50	25	50	25	50	20	45	20	45	20	45	20	45	10	35	10	30			
differenzprozent																					
$\Delta d^0/b$																					

Tabelle 6  
Auszug aus der  $G_{nat}$ -Schätztabelle  
nach der regionalen Leitbeziehung

$\Delta d^0/b$	Bestandesalter																			
	Grundfläche vbl. Bestand in qm																			
	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100						
Natürliche Grundfläche bei einer Oberhöhe von . . . m																				
20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	34	
25	49,1	52,2	55,1	57,7	59,0	58,0	60,8	63,4	65,8	67,2	57,5	60,1	58,7	61,1	62,5	64,8	66,2	68,9	35	
30	46,0	49,1	51,9	54,5	57,0	59,6	62,0	64,8	67,2	69,6	62,0	64,8	67,2	69,6	72,0	74,4	76,8	79,2	36	
35	43,4	46,5	49,3	51,9	54,5	57,0	59,6	62,0	64,8	67,2	69,6	72,0	74,4	76,8	79,2	81,6	84,0	86,4	37	
40	41,1	44,2	47,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	38	
20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	39	
25	50,5	53,6	56,4	59,0	61,0	63,4	65,8	68,2	70,6	72,9	65,1	67,5	69,9	72,3	74,7	77,1	79,5	81,9	40	
30	47,4	50,5	53,3	55,9	58,5	61,0	63,4	65,8	68,2	70,6	72,9	75,3	77,7	80,1	82,5	84,9	87,3	89,7	41	
35	44,7	47,8	50,7	53,3	55,9	58,5	61,0	63,4	65,8	68,2	70,6	72,9	75,3	77,7	80,1	82,5	84,9	87,3	42	
40	42,4	45,5	48,4	51,0	53,6	56,2	58,8	61,4	64,0	66,6	69,2	71,8	74,4	77,0	79,6	82,2	84,8	87,4	43	
20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	44	
25	51,9	55,0	57,8	60,4	63,0	65,6	68,2	70,8	73,4	76,0	68,2	70,8	73,4	76,0	78,6	81,2	83,8	86,4	45	
30	48,8	51,9	54,7	57,3	59,9	62,5	65,1	67,7	70,3	72,9	75,5	78,1	80,7	83,3	85,9	88,5	91,1	93,7	46	
35	46,1	49,2	52,0	54,6	57,2	59,8	62,4	65,0	67,6	70,2	72,8	75,4	78,0	80,6	83,2	85,8	88,4	91,0	47	
40	43,8	46,9	49,7	52,3	54,9	57,5	60,1	62,7	65,3	67,9	70,5	73,1	75,7	78,3	80,9	83,5	86,1	88,7	48	
20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	49	
25	53,3	56,4	59,2	61,8	64,4	67,0	69,6	72,2	74,8	77,4	70,0	72,6	75,2	77,8	80,4	83,0	85,6	88,2	50	
30	50,2	53,3	56,1	58,7	61,3	63,9	66,5	69,1	71,7	74,3	76,9	79,5	82,1	84,7	87,3	89,9	92,5	95,1	51	
35	47,5	50,6	53,4	56,0	58,6	61,2	63,8	66,4	69,0	71,6	74,2	76,8	79,4	82,0	84,6	87,2	89,8	92,4	52	
40	45,2	48,3	51,1	53,7	56,3	58,9	61,5	64,1	66,7	69,3	71,9	74,5	77,1	79,7	82,3	84,9	87,5	90,1	53	
20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	54	
25	54,7	57,8	60,6	63,2	65,8	68,4	71,0	73,6	76,2	78,8	81,4	84,0	86,6	89,2	91,8	94,4	97,0	99,6	55	
30	51,6	54,7	57,5	60,1	62,7	65,3	67,9	70,5	73,1	75,7	78,3	80,9	83,5	86,1	88,7	91,3	93,9	96,5	56	
35	48,9	52,0	54,8	57,4	60,0	62,6	65,2	67,8	70,4	73,0	75,6	78,2	80,8	83,4	86,0	88,6	91,2	93,8	57	
40	46,6	49,7	52,6	55,2	57,8	60,4	63,0	65,6	68,2	70,8	73,4	76,0	78,6	81,2	83,8	86,4	89,0	91,6	58	
20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	59	
25	56,1	59,2	62,0	64,6	67,2	69,8	72,4	75,0	77,6	80,2	82,8	85,4	88,0	90,6	93,2	95,8	98,4	101,0	60	
30	53,0	56,1	58,9	61,5	64,1	66,7	69,3	71,9	74,5	77,1	79,7	82,3	84,9	87,5	90,1	92,7	95,3	97,9	61	
35	50,3	53,4	56,3	58,9	61,5	64,1	66,7	69,3	71,9	74,5	77,1	79,7	82,3	84,9	87,5	90,1	92,7	95,3	62	
40	48,0	51,1	54,0	56,6	59,2	61,8	64,4	67,0	69,6	72,2	74,8	77,4	80,0	82,6	85,2	87,8	90,4	93,0	63	

des verbleibenden Bestandes und Durchmesserdifferenzprozent tabelliert. Für Bestandesalter unter 50 (40) sind die Schätzwerte unsicher, weil bis zu diesem Alter die waldbauliche Ausgangslage die natürliche Grundfläche so stark mitbestimmt, daß standortstypische Einflüsse erheblich überdeckt werden können. Als Tafel-Eingangsalter wurde das Alter 40 angesetzt. Der Tafelrahmen ist in Tab. 5 umschrieben. Tab. 6 enthält einen Auszug aus dem Tafelwerk<sup>14</sup>.

<sup>14</sup> Das elektronische Rechenprogramm für die Schätzwertherleitung von  $G_{nat}$  gibt für atypische Schätzfälle mit besonders hohem Durchmesserdifferenzprozent, für welche die Leitbeziehung eine unterhalb der gemessenen Grundfläche des verbleibenden Bestandes liegende natürliche Grundfläche auswirft, automatisch die gemessene Grundfläche als natürliche Grundfläche an.

4.2 Der Aufbau der Schätztafel ist auf Abb. 14 und 15 am Beispiel der Teiltabellen für die Alter 60, 80 und 100 dargestellt. Bemerkenswert ist der stark differenzierende Einfluß, den das Durchmesserdifferenzprozent bei der Schätzwertbestimmung ausübt. (Die Schätzwertkurven über dem  $\Delta d\%$  fallen um so steiler ab, je höher das Bestandesalter ist [vgl. Abb. 14]. Demgegenüber ist der stratifizierende Einfluß der Oberhöhe in allen Altern und Grundflächenbereichen annähernd gleich; vgl. Abb. 15.)

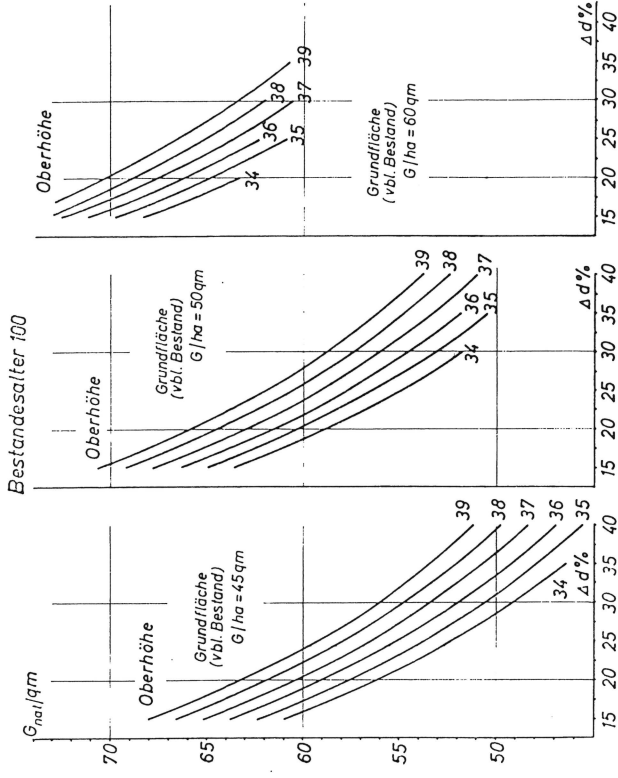


Abb. 14. Fortsetzung

4.3 Das hohe Gliederungsmoment des Durchmesserdifferenzprozentes macht es erforderlich, dessen Eingangsgrößen Oberdurchmesser  $d_o$  und Mitteldurchmesser  $d_m$  so genau wie möglich zu bestimmen. Bereits geringe Ungenauigkeiten bei der  $\Delta d\%$ -Herleitung belasten den Schätzwert der natürlichen Grundfläche mit einem relativ großen Fehler.

5.1 Die geschilderten Untersuchungen, die mit dem Ziel durchgeführt wurden, die natürliche Grundfläche aus Bestimmungsgrößen des verbleibenden Bestandes zu schätzen, sind ein Teilschnitt innerhalb eines größeren Arbeitsprogrammes, in dem eine praktisch gangbare, zuverlässig arbeitende Methode gefunden werden soll, das Ertragsniveau von Fichtenbeständen<sup>15</sup> aus einmalig erhobenen Bestandeskenntnissen herzuleiten (vgl. ASSMANN-FRANZ, 1965). Die natürlichen Grundflächen stellen ein wichtiges Glied beim Aufbau eines Feldes von Schätzelementen dar, aus dem ein

## 5. Ausblick

<sup>15</sup> Nach Abschluß des Fichtenprogramms sollen diese Untersuchungen an anderen Baumarten, in erster Linie an Kiefer und Buche, fortgeführt werden.

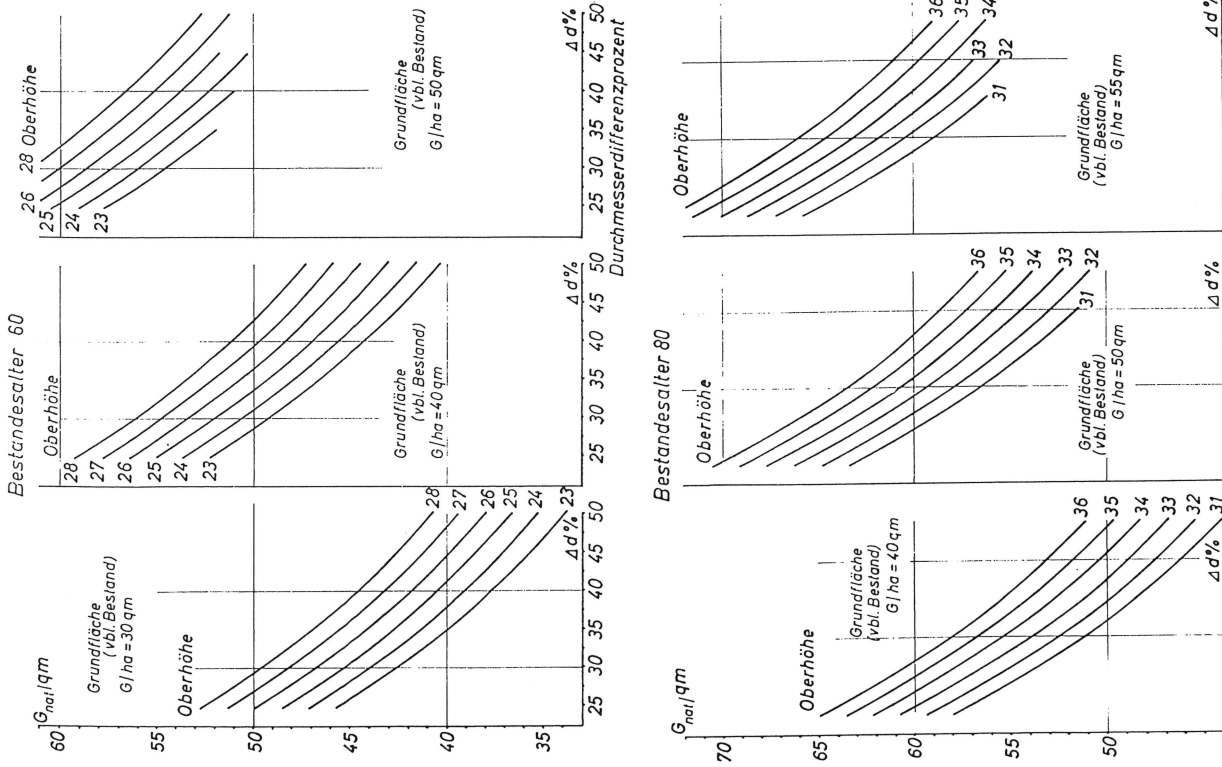


Abb. 14. Graphische Darstellung der regionalen Leitbeziehung zum Schätzen der natürlichen Grundfläche. Bestandesalter 60, 80 und 100; 3 Grundflächenstufen. Schätzelement auf der Abszisse: Durchmesserdifferenzprozent

Der Schätzbeziehung liegt die Grundflächenhaltung schwach durchforsteter Versuchsfleichen (A-Grad-Flächen) zugrunde. Diese ist nicht identisch mit der natürlichen Grundflächenhaltung, die sich in unbehandelten Beständen herausbildet, sondern liegt geringfügig darunter. Der Unterschied zwischen den beiden Grundflächenhaltungen dürfte jedoch so gering sein, daß er praktisch ohne Bedeutung ist.

Wertindex für das Ertragsniveau errechnet werden soll. Zum Bestimmen des Ertragsniveaus sind mehrere, gleichzeitig ablaufende Lösungswege vorgesehen<sup>16</sup>, damit eine möglichst hohe Aussagesicherheit gewährleistet ist.

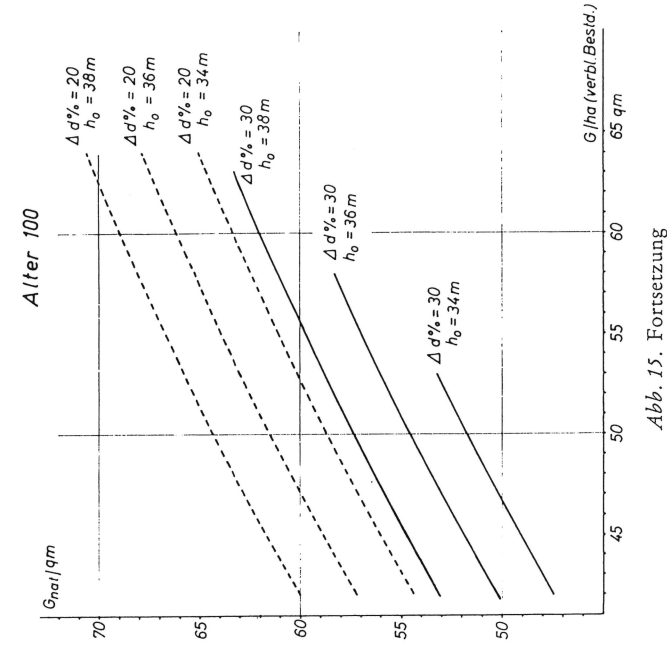


Abb. 15. Fortsetzung

5.2 Einen dieser Lösungswege zeigt Abb. 16. Hier wird das Ertragsniveau (nach dem Modell der vorläufigen Fichten-Ertragstafel für Bayern 1963; vgl. ASSMANN-FRANZ, 1965) über die Eingangsgrößen Alter, Oberhöhenbonität (nach der zit. Tafel) und Schätzwert der natürlichen Grundfläche hergeleitet. Der auf diese Weise gewonnene Ertragsniveau-Kennwert wird mit den auf anderen Wegen (z. B. mit Hilfe eines gut differenzierenden GWL-Schätzverfahrens und über einen Bestandesdichte-Index aus  $d_0$ ,  $d_m$  und  $N$  in Anlehnung an amerikanische Vorstellungen) errechneten Kennwerten zu einem Wertindex verarbeitet<sup>17</sup>. Dieser Wertindex ist die eigentliche Weisergröße für das Ertragsniveau.

5.3 Das (allgemeine) Ertragsniveau ist als eine Grundbeziehung zwischen zwei Bestandesgrößen definiert worden, die zugleich als ertragskundliche Weiser für die standörtliche Produktivität und den physiologischen Leistungszustand von Waldbeständen gelten (vgl. Abschnitt 3.11). Sind die standortstypischen Parameter dieser Beziehung nicht bekannt, was praktisch der Regelfall ist – nämlich immer dann, wenn Höhe und Gesamtwuchsleistung nicht langfristig verfolgt worden sind –, so soll, wie oben beschrieben, das örtliche Ertragsniveau mit Hilfe leicht herzuleitender ertragskundlicher Bestimmungsgrößen aus dem verbleibenden Bestand geschätzt werden.

Eine solche Schätzung muß – selbst wenn das hierbei erzielte Schätzergebnis einen hohen Genauigkeitsgrad erreichen sollte – so lange unbefriedigend bleiben, als nicht

<sup>16</sup> Nach dem derzeitigen Stand der Untersuchungen.

<sup>17</sup> Die Untersuchungen hierzu stehen erst am Anfang.

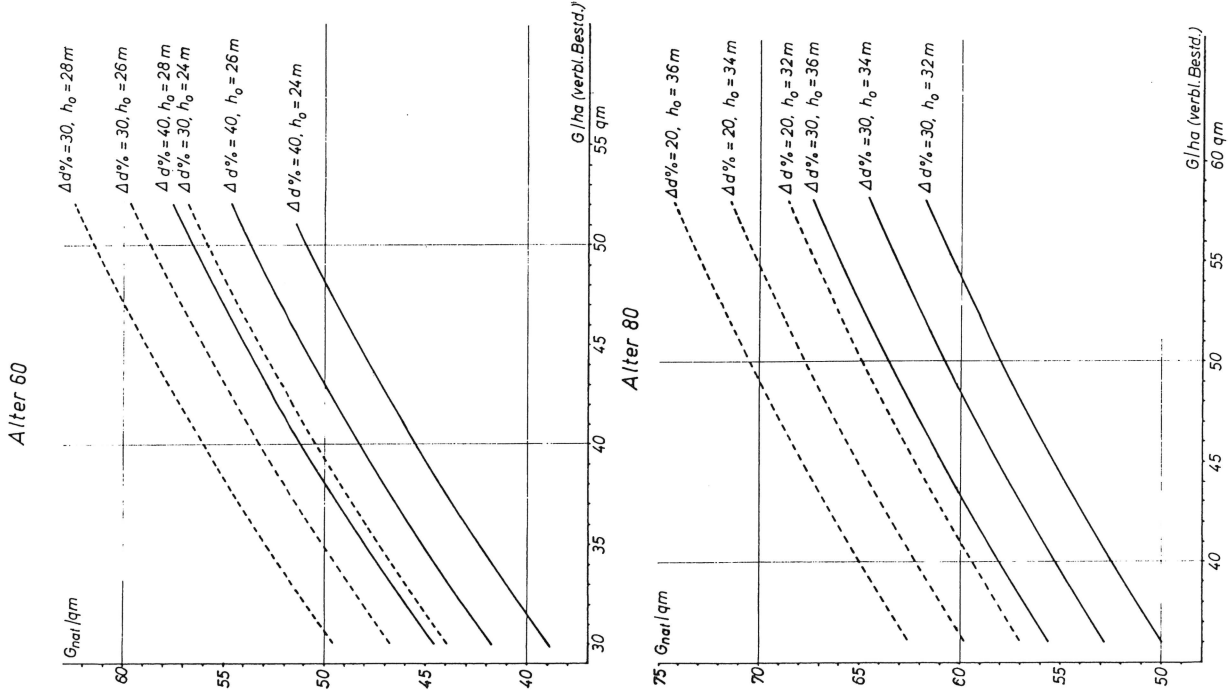


Abb. 15. Graphische Darstellung der regionalen Leitbeziehung zum Schätzen der natürlichen Grundfläche. Bestandesalter 60, 80 und 100; 3 Durchmesserdifferenzstufen. Schätzelement auf der Abszisse: Grundfläche des verbleibenden Bestandes

die bei der Prägung des Ertragsniveaus ursächlich wirksamen standörtlichen und pflanzenphysiologischen Faktoren vor den ertragskundlichen Meßwerten als Schätzelemente verwendet werden.

Der Begriff Ertragsniveau umschreibt einen Faktorenkomplex, der in erster Linie standörtlich und pflanzenphysiologisch begründet ist. Ertragskundliche Kennwerte vermögen diesen Komplex bestenfalls summarisch auszudrücken, sie vermögen ihn jedoch nicht ursächlich zu kennzeichnen. Daraus folgt, daß die verwendeten ertragskundlichen Meßgrößen letztlich nur abgeleitete, sekundäre Schätzelemente liefern können. Es erscheint darum naheliegend, das Ertragsniveau primär aus standörtlichen und pflanzenphysiologischen Merkmalswerten zu schätzen und, gleichsam zusätzlich, diese Schätzung durch Einbeziehen ertragskundlicher Meßgrößen in die Leitbeziehungen zu sichern.

5.4 Der geschilderte Lösungsweg für die Ertragsniveau-Herleitung, der abgewandelt auch für das Bestimmen natürlicher Grundflächenwerte gilt, läßt eine höchstmögliche Aussagesicherheit erwarten. Bei dem Versuch, ihn in das Lösungsmodell einer  $G_{nat}$ - und Ertragsniveau-Schätzung unter praxisüblichen Bedingungen überzuführen, stoßen wir jedoch auf eine Reihe grundsätzlicher Schwierigkeiten. Die erste und zugleich wesentlichste Schwierigkeit betrifft die Formulierung der Schätzelemente: Es ist zur Zeit noch nicht möglich, die erforderlichen bodenkundlichen, pflanzenphysiologischen und klimakundlichen Merkmalswerte wegen der in vielen Fällen noch ungenügenden örtlichen Datierbarkeit dieser Größen zum Schätzen der natürlichen Grundfläche und des Ertragsniveaus generell mit heranzuziehen. Auch Merkmal-Klassierungen aus der Ansprache, d. h. der qualitativen Diagnose der aufgezählten Merkmalsgruppen, können unter praxisüblichen Bedingungen zur Zeit noch nicht gewonnen werden, ganz abgesehen von den erheblichen Schwächen und Unsicherheiten, mit denen die weitere rechnerische Auswertung der auf diese Weise gewonnenen Schätzelemente belastet ist.

Der in Abschnitt 5.3 aufgezeigte Lösungsweg ist somit im Augenblick noch nicht gangbar, und es ist auch noch nicht abzusehen, wann sich eine Möglichkeit hierzu bieten wird. Die Methode der  $G_{nat}$ - und Ertragsniveau-Schätzung ist darum vorerst ausschließlich auf ertragskundliche Bestimmungsgrößen abgestellt worden.

### Zusammenfassung

6.1 Am Material von 133 A-Grad- und 262 B- und C-Grad-Aufnahmen südbayerischer Fichten-Versuchsreihen wurde eine Methode zur Ermittlung von Schätzwerten der natürlichen Grundfläche (vbl. Bestand) entwickelt. Das Verfahren ermöglicht es, aus Bestimmungsgrößen des verbleibenden Bestandes durchforsteter Fichtenbestände die natürliche Grundfläche mit recht hoher Genauigkeit zu schätzen. Die bedingten Standardabweichungen betragen bei Ansatz einer für das gesamte südbayerische Untersuchungsgebiet geltenden regionalen Leitbeziehung rund  $\pm 4$  qm, entsprechend ca. 6,5 % des Mittelwertes der natürlichen Grundfläche. Bei Verwendung standorts-

typischer Leitbeziehungen mit kleinräumigem Geltungsbereich liegen die Abweichungen bei  $\pm 1$  bis 3 qm, entsprechend etwa 2 bis 6 % des jeweiligen Mittels der natürlichen Grundfläche.

6.2 Die Leitbeziehungen sind an einem Modell der Bonitätskurven für die natürliche Grundfläche orientiert, das unlängst im Münchner Institut für Ertragskunde entwickelt worden ist (ASSMANN-FRANZ, 1965). Die einzelnen Schätzelemente der Leitbeziehung wurden aus multiplen Regressionsanalysen hergeleitet. Als wesentliche Bestimmungsgrößen erwiesen sich das Bestandesalter A sowie Oberhöhe  $h_0$ , Grundfläche des verbleibenden Bestandes G und das Durchmesserdifferenzprozent  $\Delta d$  % =  $100 (d_0 - d_m)/d_0$ . Die besten Schätzungen, insbesondere in den Randwertbereichen, lieferte eine Leitbeziehung von der Form

$$G_{nat} = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_4 \cdot x_4 + b_5 \cdot x_6 + b_7 \cdot x_7$$

Hierbei bedeuten

$$x_1 = \log A; x_2 = x^2; x_3 = \log h_0; x_4 = x^2; x_5 = \log^2 G; x_6 = \log \Delta d \text{ \%}$$

Das multiple Bestimmtheitsmaß der Regionalfassung dieser Leitbeziehung liegt bei 0,89. Für die flächentypischen Leitbeziehungen beträgt es allgemein über 0,9.

6.3 Die regionale Leitbeziehung wurde in einer mehrgliedrigen Tafel mit den vier oben genannten Eingangsgrößen tabelliert. Der Anwendungsbereich der Tafel ist zunächst auf einen verhältnismäßig schmalen standörtlichen Bereich innerhalb des südbayerischen Untersuchungsgebietes begrenzt, bis durch zusätzliche Untersuchungen geklärt ist, inwieweit die der Tafel zugrunde liegende Leitbeziehung auch in anderen Erhebungsgebieten Gültigkeit besitzt.

### Summary

Based on 133 A-grade and 262 B- and C-grade surveys in 13 thinning designs of Norway spruce in Southern Bavaria a method of estimating natural basal area is described. This method provides good estimates of natural stand density (in terms of natural basal area values) from sampling data collected in thinned stands. Age, top height, basal area of the thinned stand, and its so-called diameter difference percent  $\Delta d$  % =  $100 \cdot (d_0 - d_m)/d_0$  are used as input variables in the model of natural basal area estimation.

The elements of natural basal area estimation were calculated using multiple regression analysis. From the whole set of data one regional regression valid for the Southern Bavaria research region was computed. The coefficient of determination for the regional regression is 0,89. The standard error of the natural basal area estimate is 4 m<sup>2</sup>. Moreover, for each of the 13 trial plot series separate regressions were calculated.

### Literatur

ASSMANN, E., 1949: Zur Ertragstafelfrage. Forstw. Cbl. 68, 414-430. — ASSMANN, E., 1950: Grundflächen- und Volumenzuwachs der Rotbuche bei verschiedenen Durchforstungsgraden. Forstw. Cbl. 69, 256-286. — ASSMANN, E., 1956: Natürlicher Bestockungsgrad und Zuwachs. Forstw. Cbl. 75, 257-265. — ASSMANN, E., 1959: Zur Verbesserung der Ertragsprognose. Allg.

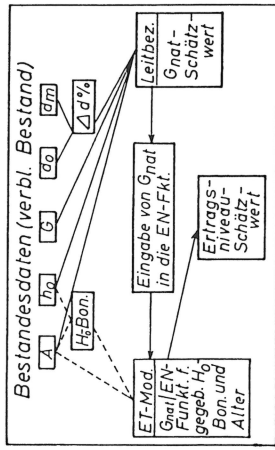


Abb. 16. Herleitung eines an der natürlichen Grundfläche orientierten Schätzelementes zum Bestimmen des Ertragsniveaus (partieller Ertragsniveau-Kennwert). Modell

- Forst- u. Jagdztg. 130, 92-95. — ASSMANN, E., 1961: Waldertragskunde — München-Bonn-Wien, BLV-Verlagsges., 490 S. — ASSMANN, E., 1961a: Wald und Zahl. Allg. Forstzeitschr. 16, 509-511. — ASSMANN, E., 1962: Die Fortentwicklung unserer Ertragstabeln. Allg. Forstzeitschrift 17, 817-820, 839-841. — ASSMANN, E., 1964: Tafel der charakteristischen Grundflächenwerte in Buchenbeständen sowie der möglichen Durchforstungsentnahmen je Jahrzehnt. 1 S., Manuskriptdruck, unveröffentlicht. — ASSMANN, E., 1964a: Empfehlungen für neue Durchforstungsversuche. Allg. Forst- u. Jagdztg. 135, 96-102. — ASSMANN, E., und FRANZ, F., 1963: Vorläufige Fichten-Ertragstafel für Bayern. München, Photodruck-Veröffentl. 1965, 112 S. — ASSMANN, E., und FRANZ, F., 1965: Vorläufige Fichten-Ertragstafel für Bayern. — Autorenreferat — Forstw. Cbl. 84, 13-43. — CAJANUS, W., 1914: Über die Entwicklung gleichaltriger Waldbestände. Acta forestalia Fennica. — ENDERLEIN, G., 1964: Die Bedeutung von Wertindices für die Selektion. Biometr. Zeitschrift 6, 217-245. — ERTELD, W., 1957: Grundflächenschluß und Zuwachs bei Kiefer, Fichte und Buche. Berlin, Akademie-Verlag, 178 S. — EZEKIEL, M., 1956: Methods of correlation analysis. New York, J. Wiley und Sons, 2. Aufl., 531 S. — FRANZ, F., 1963: Durchmesserdifferenzprozent und Vornutzungsprozent. Allg. Forst- u. Jagdztg. 134, 181-197, 201-214. — KRENN, K., 1964: Durchforstkriterien für Fichte. Schriftenreihe der Bad. Forst. VA, H. 1, 15 S. — KÜNZANZ, H., 1935a: Über die Entstehung des Weiserflächensystems. Allg. Forst- u. Jagdztg. 111, 269-275. — KÜNZANZ, H., 1935b: Der Normalwaldbegriff. — Zur theoretischen Grundlegung des Weiserflächensystems. Allg. Forst- u. Jagdztg. 111, 365-373. — LINDER, A., 1960: Statistische Methoden. Basel und Stuttgart, Birkhäuser-Verlag, 3. Aufl., 484 S. — LÖNNROTH, E., 1926: Untersuchungen über die innere Struktur und Entwicklung gleichaltriger naturnormaler Kiefernbestände. Acta forestalia Fennica, Bd. 30, 1-269. — PETERSON, H., 1955: Die Massenproduktion des Nadelwaldes. Mitt. d. Forstl. VA Schwedens, Bd. 45, deutsch S. 392-580. — PRODAN, M., 1953: Die Verteilung des Vorrates gleichaltriger Hochwaldbestände auf Durchmesserstufen. Allg. Forst- Jagdztg. 124, 93-106. — THOMASIIUS, H., 1962: Diskussion der BACKMANSchen Wachstums- und Zuwachsfunktion und der Methoden zur Bestimmung ihrer Konstanten. Archiv f. Forstwesen 11, 1013-1051. — THOMASIIUS, H., 1963: Untersuchungen über die Brauchbarkeit einiger Wachstumsgrößen für die quantitative Standortsbeurteilung. Archiv f. Forstwesen 12, 1267-1323. — THOMASIIUS, H., 1964: Allgemeine Betrachtungen über Wachstumskurven und Wachstumsfunktionen. Wiss. Z. d. TU Dresden, 13, 715-722. — WEBER, E., 1964: Partielle Bestimmtheitsmaße bei Einbezug von Polynomen in multiple lineare Regressionsanalysen. Biometr. Zeitschrift 6, 262-269. — WEBER, K., und KÜNZANZ, H., 1925: Ein Weiserflächensystem zur periodischen Messung der massenbildenden Faktoren in Nutzholzmischbeständen und deren Leistungen (Vorrat und Zuwachs). Allg. Forst- u. Jagdztg. 101, 345-359. — WEILING, 1964: Über Bedeutung und Handhabung der multiplen Regressionsanalyse bei der Untersuchung von Zusammenhängen im biologischen Bereich. Biometr. Zeitschrift 6, 24-36.