



Die Massenproduktion des Nadelwaldes

von

HENRIK PETTERSON

MITTEILUNGEN DER
FORSTLICHEN FORSCHUNGSANSTALT SCHWEDENS
BAND 45 · NR 1 B

Einführung

In den »Meddelanden från Statens skogsforskningsinstitut« Band 45, erscheint als Nr. 1 A meine Arbeit über »Barrskogens volymproduktion« (Die Massenproduktion des Nadelwaldes). Zum leichteren Verständnis für ausländische Leser wurde die Nr. 1 B in deutscher Sprache ausgearbeitet.

Da die Abhandlung zum Grossteil Auseinandersetzungen enthält, über welche schwer zu referieren ist, wird hier der Originaltext als — teilweise freie — Übersetzung wiedergegeben. Die erforderlichen Einsparungen an Umfang wurden durch Weglassen von Figuren, Tabellen und zusammenhängenden Ableitungen der Formeln erreicht. Die Nummern der übergangenen Teile sind im deutschen Text angegeben und können dadurch leicht im Originaltext aufgesucht werden.

In Übereinstimmung damit werden die übersetzten Figurentexte und Tabellenüberschriften auf ihren richtigen Plätzen in den entsprechenden Kapiteln und Abschnitten des deutschen Textes angeführt, während die Figuren und Tabellen nur im schwedischen Text zu finden sind.

HENRIK PETTERSON

Vorwort

Diese Produktionsuntersuchungen umfassen viele Spezialprobleme, welche in den einzelnen Kapiteln behandelt werden. Bezüglich solcher Details wird auf die Motivierungen im Text verwiesen. Dagegen scheint es geeignet an dieser Stelle auf eine Frage einzugehen, welche die ganze Arbeit betrifft. Ich meine damit den zu erwartenden Einwand, dass der Methode allzuviel Raum gewidmet ist. Der Text ist ja voll mit Formeln. Man ist nicht gewohnt so viele Formeln in einer Produktionsuntersuchung zu sehen.

Es ist richtig, dass dieser Gegensatz zwischen jetzt und früher vorhanden ist. Doch wird er dadurch erklärt, dass eine Produktionsuntersuchung in unserer Zeit ganz andere Voraussetzungen als um die Jahrhundertwende hat, als man in grossem Umfang Ertragstafeln aufstellte. Damals konnte die Methode einfach sein da auch das Material einfach war. Die Durchforstung war schwach und unterschied sich wenig von der früheren Bestandesbehandlung. Während der Versuche wurde die Durchforstung ziemlich konstant gehalten. Wo diese Voraussetzungen gegeben waren, konnten die traditionellen Methoden der Versuchsanstalten angewendet werden (vgl. Kap. 1).

Die schwedische Produktionsforschung begann 20—30 Jahre später als die kontinentale. Unsere Durchforstungsflächen wurden in den Jahren 1902—1925 angelegt. Mit Ausnahme gewisser Flächen, welche ausgeschieden werden mussten, werden diese weiterhin durchforstet und beobachtet. In meiner Untersuchung wurden die Messungen für Kiefer bis zum Jahre 1939 verwendet und für Fichte bis zum Jahre 1940.

Im ersten Dezennium der Versuche wurden die Durchforstungsflächen auf ungefähr gleiche Art wie auf dem Kontinent behandelt. Bald machte sich aber die starke Bewegung geltend, welche in Kap. 2.2 geschildert wird. Bei der Anlage neuer Versuchsflächen wurde überwiegend stark durchforstet und viele Flächen auf denen zuerst schwach durchforstet wurde, führte man zur starken Durchforstungsform über. Die erste Massnahme erschwerte und die zweite verhinderte die Anwendung der traditionellen Bearbeitungsmethoden für unser Material.

Zu einem späteren Zeitpunkt, als über die Bearbeitungsfrage entschieden werden sollte, traten diese Hindernisse in voller Stärke in Erscheinung. Unterdessen waren auch die Forderungen an das Untersuchungsmaterial gewachsen. Die wirtschaftlichen Gesichtspunkte zogen mehr Aufmerksamkeit auf sich. Dadurch war es notwendig die Bestandesentwicklung in den Vordergrund zu stellen. Zuerst wurde die Entwicklung von Stammzahl, Durchmesser und Höhe klargelegt. Mit deren Hilfe wurden Beispiele für die Entwicklung der Masse berechnet, welche in dieser Untersuchung der »Massenproduktion des Nadelwaldes« beschrieben werden. Die entsprechenden Berechnungen der Entwicklung des Wertes sind unter dem Titel »Die Wertproduktion des Nadelwaldes« zur Veröffentlichung vorgesehen.

Das alles erforderte neue Arbeitsmethoden. Es waren Methoden für die Definierung des Ausgangsbestandes erforderlich, Methoden für die Definierung des Durchforstungsbegriffes und Methoden für die Berechnung des Zuwachses. Die Form dieser Methoden hat sich während der Arbeit an der Produktionsuntersuchung herauskristallisiert. Sie gehören daher in gleicher Weise zum Resultat wie die Zahlenangaben.

Indessen habe ich den Text leichter zugänglich zu machen versucht, indem ich mehr am Rande liegende methodische Fragen in den sog. Methodenbeilagen M zusammenfasste, welche im Teil XI zu finden sind. Aus denselben Gründen stehen die verwendeten Funktionen F im Teil XII, die Hilfstabellen H im Teil XIII und die Produktionstabellen P im Teil XIV.

Bezüglich der Produktionstabellen will ich bereits hier anführen, dass nicht alle denselben Wert besitzen. Viele davon sind entstanden, um dringende praktische Bedürfnisse zu decken. Solche Tabellen sind gewöhnlich mit Hilfe von mehr durchgearbeiteten Tabellen konstruiert worden und die Ansprüche an die Konstruktion waren durch die zufällige Verwendung gegeben. Einige davon können kaum als Forschungsergebnis betrachtet werden, sondern sind als Hilfsmittel für praktische Überschlagsberechnungen aufzufassen. Man kann über deren Veröffentlichung im Zweifel sein, aber die Erfahrung hat gezeigt, dass auch eine schwache Stütze oft willkommen ist. Um den Leser über Art der Tabellen zu informieren wurden sie in Zuverlässigkeitsgrade eingeteilt, worüber Näheres in Kap. 26 Abschnitt 8 zu finden ist.

Der Umstand, dass die Methode neu ist, hat ein starkes Bedürfnis nach Konzentration auf die eigenen Linien mit sich gebracht. Ich bin mir vollkommen über den Wert von Vergleichen mit den Resultaten anderer Länder im Klaren, besonders unserer nordischen Nachbarländer, aber um soweit zu kommen müssen wir zuerst unsere eigenen Untersuchungen konsolidieren.

In Übereinstimmung damit hat diese Abhandlung hauptsächlich drei Ziele. In erster Linie wird dargestellt, wie die Untersuchung wirklich durchgeführt wurde. Doch kamen im Laufe der Arbeit neue Gesichtspunkte zu Tage, welche zeigten wie eine solche Untersuchung gemacht werden soll. Hierdurch veranlasste Diskussionen werden in beschränktem Umfang wiedergegeben. Schliesslich wird das forstliche Resultat der Untersuchung gezeigt.

Die angegebenen Aspekte konnten nicht genau auseinandergelassen werden, da jeder Entschluss über den nächsten Bearbeitungsgang von der Auffassung des Bearbeiters beeinflusst worden war. Falls zwischen den genannten Gesichtspunkten ein Gegensatz entstand, beruhte dies gewöhnlich auf Eigenheiten des Materials oder Mangel an Zeit. Doch kann man sagen, dass die Teile I und II hauptsächlich allgemeine Überlegungen enthalten, während die Teile III und IV die Untersuchung selbst näher berühren. In den Teilen V—VII wird der Kontakt mit der Untersuchung gehalten, jedoch die Perspektive auf grösserer Allgemeingültigkeit erweitert. Teil VIII behandelt die Resultate, die Teile IX—XV sind Beilagen.

Da die Abhandlung verschiedene Begriffe enthält, welche für die Mehrzahl der Leser neu sind, war ich über die beste Art der Darstellung stark im Zweifel. Ich habe jedoch die Begriffe bei der ersten Erwähnung ziemlich allgemein beschrieben, um danach die Definitionen durch neue Darstellungen in verschiedenem Zusammenhang zu präzisieren. Diese Arbeitsweise brachte viele Wiederholungen mit sich, welche zumindest teilweise als überflüssig erscheinen. Ich hoffe aber doch, dass das Lesen dadurch erleichtert wird.

Die Bearbeitung begann im Jahre 1927. Das Material genügte damals noch nicht für die Aufstellung von Produktionstabellen, weshalb die Arbeit auf vorbereitende Untersuchungen konzentriert wurde. Vorläufige Mitteilungen über den Gang der Untersuchung wurden durch Vorträge im Schwedischen Forstverein (Svenska skogsvårdföreningen) 1932, im Nordschwedischen Forstverein (Norrlands skogsvårdsförbund) und auf der Forstlichen Hochschule 1936, auf dem Nordischen Forstkongress 1937, bei der Eröffnung der Forstwoche 1941, im Stockholmer Forstmeisterklub (Stockholms Jägmästareklubb) 1944, auf der Forstlichen Hochschule 1947, im Verband Schwedischer Forstingenieure (Sveriges Jägmästares och Forstmästares Riksförbund) 1950 und im Schwedischen Forstverein 1951 bekanntgegeben. Die Vorträge von 1932, 1937 und 1951 wurden veröffentlicht (PETTERSON 1933, 1937 und 1951).

Wenn ich auf die vergangenen Jahre zurückblicke, geschieht das mit grosser Dankbarkeit an alle, welche an dieser Arbeit mitgewirkt haben. In erster Linie danke ich dem jetzigen Chef des Institutes, Prof. MANFRED NÄSLUND, welcher bereits frühzeitig durch seine Arbeit »Die Durchforstungsversuche der Forstlichen Versuchsanstalt im Kiefernwald, Primärbearbeitung« (NÄSLUND 1936) an der Untersuchung mitgeholfen hat. Nach meinem Weggang vom Institut hat Prof. NÄSLUND besonders dadurch zur Untersuchung beigetragen, indem er — teilweise in bedeutendem Ausmasse — Arbeitskräfte zur Verfügung stellte.

Die umfassenden Berechnungsarbeiten wurden seit 1928 von Frau MARGARETA KLEMMING geleitet, welche der zu diesem Zweck eingerichteten Rechnungsabteilung vorstand. Durch sorgfältige Wahl des Personals und ausgezeichnete Führung wurde diese Abteilung zu einer wertvollen Hilfe bei der Arbeit. Den Pioniergeist und die Arbeitsfreude mit der die junge Garde der Rechnungsabteilung die neuen Aufgaben in Angriff nahm habe ich in dankbarer Erinnerung.

Bei vielen früheren Gelegenheiten habe ich von Prof. HARALD CRAMÉR hochgeschätzte Hilfe erhalten und in den letzten Jahren wertvolle Informationen und Ratschläge von fil. lic. BERTIL MATÉRN. Der letztere hatte auch die Liebenswürdigkeit eine Korrektur durchzusehen.

Schliesslich darf ich dem nunmehrigen Prof. PER NYLINDER danken, welcher während gewisser Perioden Teile der Rechnungsarbeit leitete und civiljägmästare SVEN-OLOF ANDERSSON, welcher mir bei der Korrektur behilflich war.

Experimentalfältet im September 1954.

HENRIK PETTERSON.

INHALTSVERZEICHNIS

		Seite	
		Schwed. Text	Deutscher Text
I. GESCHICHTLICHES			
Kap. 1.	<i>Ältere Produktionsuntersuchungen</i>	13	13
1.1.	Einleitung	13	13
1.2.	Der Waldzustand zu Beginn der deutschen Ver- suche	13	13
1.3.	SCHWAPPACHS Methode	14	14
1.4.	Diskussion seiner Methode	16	15
1.5.	Schlussbeurteilung	17	16
Kap. 2.	<i>Schwedische Durchforstungsversuche</i>	17	17
2.1.	Einleitung	17	17
2.2.	Die Versuchsflächen	18	17
2.3.	Die Bearbeitung	19	18
Kap. 3.	<i>Das Material</i>	20	19
3.1.	Einleitung	20	19
3.2.	Die Beobachtungszeit	20	19
3.3.	Die Homogenität des Materiales	21	20
3.4.	Die Gruppierung der Versuchsflächen	21	21
3.5.	Die Variablen	23	22
3.6.	Beschreibung des Materiales	23	22
II. ALLGEMEINE METHODISCHE FRAGEN			
Kap. 4.	<i>Die Hauptzüge des Arbeitsplanes</i>	24	23
4.1.	Ein Programm	24	23
4.2.	Die Notwendigkeit einer Arbeitsverteilung	24	23
4.3.	Die Bestandeseentwicklung	25	24
Kap. 5.	<i>Wahrscheinlicher Zuwachs</i>	26	25
5.1.	Einleitung	26	25
5.2.	Die Gruppeneinteilung	26	25
Kap. 6.	<i>Die Regressionsanalyse</i>	28	26
6.1.	Einleitung	28	26
6.2.	Die besonderen Forderungen der Produktionsfor- schung	30	28
6.3.	Totale Regression	31	29
6.4.	Partielle Regression	33	31
6.5.	Normalgleichungen	35	32
6.6.	Reduzierung der Normalgleichungen	37	32
6.7.	Die Bedeutung der Symbole	38	33
6.8.	Die Umformung zu Abweichungen	40	35
6.9.	Die Lösung der Normalgleichungen	42	36
6.10.	Die Streuung	44	37
6.11.	Quadratsummen	45	38
6.12.	Freiheitsgrade	47	40
6.13.	Die Wahl der Variablen	48	41
6.14.	Die Verminderung der Quadratsumme und die mittleren Fehler	53	44
6.15.	Die Berechnungsarbeit	57	48
6.16.	Kontrollen	58	49

		Seite	
		Schwed. Text	Deutscher Text
Kap. 7.	<i>Bonitierung</i>	60	50
7.1.	Einleitung	60	50
7.2.	Der Einfluss der Durchforstung	60	51
7.3.	Bonitätsanzeiger	61	51
7.4.	Bonität und Höhenentwicklung	62	52
7.5.	Höhenentwicklungskurven	64	54
7.6.	Direkte Bonitierung	71	58
7.7.	Indirekte Bonitierung	72	59
Kap. 8.	<i>Einfluss der Klimaänderungen</i>	74	60
8.1.	Einleitung	74	60
8.2.	Die verschiedenen Zeitbegriffe	74	60
8.3.	Mittleres Klima	74	61
8.4.	Feste Versuchsflächen	75	61
8.5.	Einmalige Untersuchung durch Zuwachsbohrung	76	62
III. REGELUNG DER STAMMANZAHL			
Kap. 9.	<i>Die Stammverteilung</i>	78	64
9.1.	Einleitung	78	64
9.2.	Die normale Stammverteilung und deren Modifikation	78	64
9.3.	Beschnittene Normalverteilungen	81	66
Kap. 10.	<i>Die Entstehung der Stammverteilung</i>	83	68
10.1.	Einleitung	83	68
10.2.	Weite Verbände	84	68
10.3.	Engere Verbände	84	69
10.4.	Sehr enge Verbände	85	69
10.5.	Ungleichaltrige Bestände	85	69
10.6.	Entgegenwirkende Faktoren	85	69
10.7.	Zusammenfassung	85	69
Kap. 11.	<i>Änderung der Stammverteilung</i>	86	70
11.1.	Einleitung	86	70
11.2.	Die Bezeichnungen	86	71
11.3.	Der Durchmesserzuwachs	87	71
11.4.	Der Asymmetriekoeffizient β_3	88	72
11.5.	Der Exzesskoeffizient β_4	88	72
11.6.	Die Zuwachsquotienten R und r	89	73
11.7.	Zusammenfassung	91	74
Kap. 12.	<i>Der Einfluss der Durchforstung auf die Form der Stammverteilung</i>	91	74
12.1.	Einleitung	91	74
12.2.	Niederdurchforstung in der Normalverteilung	92	75
12.3.	Niederdurchforstung in beschnittener Verteilung	94	77
12.4.	Erweiterte Definition von φ	96	78
12.5.	Niederdurchforstung in einer Verteilung für die kein Zuwachs angenommen wird	97	79
Kap. 13.	<i>Selbstdurchforstung</i>	98	80
13.1.	Einleitung	98	80
13.2.	Berechnung der Entwicklung. Allgemeines	100	82
13.3.	Berechnung der Entwicklung. Erste Etappe Siehe M 13	102	83
13.4.	Berechnung der Entwicklung. Zweite Etappe Siehe M 14	103	84
13.5.	Berechnung der Entwicklung. Dritte Etappe Siehe M 15	105	86

		Seite	
		Schwed. Text	Deutscher Text
Kap. 14.	<i>Standarddurchforstung</i>	106	86
14.1.	Einleitung	106	86
14.2.	Berechnung der Entwicklung. Erste Etappe Siehe M 16	107	
14.3.	Berechnung der Entwicklung. Zweite Etappe Siehe M 17	108	
14.4.	Berechnung der Entwicklung. Dritte Etappe Siehe M 18	108	
Kap. 15.	<i>Modifizierte Standarddurchforstung</i>	108	87
15.1.	Einleitung	108	87
15.2.	Die Produktionstabellen von 1947	109	88
15.3.	Vorteile und Grenzen der Methode	111	89
Kap. 16.	<i>Durchforstungsprogramme</i>	111	89
16.1.	Einleitung	111	89
16.2.	Konstante Entnahmeprozente	112	90
16.3.	Das Entnahmeprozent der Kreisflächen des Niederdurchforstungsmomentes	113	91
16.4.	Das Entnahmeprozent des Niederdurchforstungsmomentes bei Nullsetzung von λ	115	93
16.5.	Ein Kompromiss	118	94
16.6.	Die gleichmässige Durchforstung	120	96
16.7.	Die Hochdurchforstung	120	96
16.8.	Die Durchforstungsbezeichnungen	122	98
Kap. 17.	<i>Reflexionen um den φ-Begriff</i>	123	99
17.1.	Einleitung	123	99
17.2.	Die Aufgabe	123	99
17.3.	Die untere Grenze	125	100
17.4.	Die φ -Klassen	125	101
Kap. 18.	<i>Die Entwicklung der Stammzahl</i>	129	104
18.1.	Der Ausgangsbestand	129	104
18.2.	Normaltabellen für die Stammzahl	130	105
18.3.	Zusammenfassung	132	107

IV. BERECHNUNG DES ZUWACHSES

Kap. 19.	<i>Der Zuwachs der Kreisfläche</i>	133	107
19.1.	Einleitung	133	107
19.2.	Untersuchung des Kreisflächenzuwachses der Kiefer	133	108
19.3.	Kontrollen	135	108
19.4.	Der Wertzuwachs	135	109
19.5.	Zusammenfassung	136	109
Kap. 20.	<i>Der Zuwachs des Brusthöhendurchmessers</i>	136	109
20.1.	Einleitung	136	109
20.2.	Die Berechnung	136	109
20.3.	Die Variablen	136	110
20.4.	Einzelne Stämme oder Bestandesmittelstämme	137	110
20.5.	Wahl der realen abhängigen Variablen	137	111
20.6.	Umwandlung der abhängigen Variablen	138	111
20.7.	Logarithmische Umwandlung	138	111
20.8.	Beispiele für Variable zur Berechnung des Zuwachses des Brusthöhendurchmessers	139	112
20.9.	Korrektur des Zuwachses des mittleren Durchmessers	141	114

		Seite	
		Schwed. Text	Deutscher Text
Kap. 21.	<i>Die Entwicklung des Durchmessers</i>	146	118
21.1.	Einleitung	146	118
21.2.	Der Zusammenhang zwischen den späteren Durchmesser D und dem Ausgangsdurchmesser d	146	119
21.3.	Die Regressionskoeffizienten b und B	147	120
21.4.	Die Beschneidungsgrenze α	149	121
21.5.	Zusammengesetzte Entwicklung.....	149	121
21.5.	Die Berechnung von A und B	149	122
21.7.	Die Durchmessertafeln.....	150	122
Kap. 22.	<i>Die Höhenentwicklung</i>	150	123
22.1.	Einleitung	150	123
22.2.	Die Konstruktion der Höhenkurven.....	151	123
22.3.	Eine Zwischenbemerkung.....	152	123
22.4.	Die Bestimmung von A' und B	152	124
22.5.	Die Berechnung der Höhe.....	153	124
Kap. 23.	<i>Die Entwicklung der Masse</i>	153	125
23.1.	Einleitung	153	125
23.2.	Berechnung der Masse mit oder ohne Rinde..	154	125
23.3.	Die Berechnung der Masse ohne Rinde.....	154	125
23.4.	Die Berechnung des Formquotienten.....	155	126
Kap. 24.	<i>Individuelle Auswahl</i>	155	126
24.1.	Einleitung	155	126
24.2.	Die Einflüsse der Auswahl.....	156	127

V. HOMOGENE BESTÄNDE. METHODIK

Kap. 25.	<i>Anlage der Untersuchung</i>	157	128
25.1.	Einleitung	157	128
25.2.	Die Zielsetzung	157	128
25.3.	Typfälle (Entwicklungstypen).....	158	129
25.4.	Die Wahrscheinliche Entwicklung.....	159	130
25.5.	Homogene und heterogene Bestände.....	161	131
Kap. 26.	<i>Das Material</i>	161	132
26.1.	Grenzen des Materiales.....	161	132
26.2.	Zeitbetontes Material.....	162	133
26.3.	Feste Versuchsflächen, welche laufend beobachtet werden.....	164	134
26.4.	Einmalige Untersuchung.....	164	135
26.5.	Wahl der Beobachtungsmethode.....	165	135
26.6.	Die derzeitige Lage der Materialfrage.....	166	136
26.7.	Materialkritik.....	167	138
26.8.	Die Einleitung der Produktionstabellen.....	170	140
Kap. 27.	<i>Funktionen</i>	170	140
27.1.	Die Wahl des Funktionstyps.....	170	140
27.2.	Anpassung.....	170	140
Kap. 28.	<i>Bearbeitung</i>	171	141
28.1.	Ausgangsbestände.....	171	141
28.2.	Die Durchforstungsprogramme.....	172	142
28.3.	Der Zuwachs	173	143

	Seite	
	Schwed. Text	Deutscher Text
Kap. 29. <i>Kritik der Bearbeitung</i>	176	145
29.1. Einleitung	176	145
29.2. Die angewandte Methode	176	146
29.3. Allgemeine Korrekturen	178	148
29.4. Die Mittelstämme der Felder	181	150
29.5. Der Einfluss der Streuung	182	151
29.6. Die Korrektur für die Streuung	184	153
29.7. Die Methode von DWIGHT	184	153
VI. HETEROGENE BESTÄNDE. METHODIK		
Kap. 30. <i>Methodik für Produktionstabellen</i>	187	155
30.1. Einleitung	187	155
30.2. Holzartenmischung	187	155
30.3. Ungleichmässige Verteilung auf der Fläche ...	188	156
30.4. Ungleichaltrigkeit	188	156
30.5. Normale und abnormale Bestände	188	157
Kap. 31. <i>Methodik für kurze Untersuchungen</i>	189	157
31.1. Einleitung	189	157
31.2. Jetzt oder nächstes Mal	189	157
31.3. Die Zuwachsuntersuchung	190	158
31.4. Die Beurteilung des Zuwachses	190	158
VII. HOMOGENE UND HETEROGENE BESTÄNDE		
Kap. 32. <i>Schlusswort über die Methodik</i>	191	159
32.1. Die Disposition der Kapitel I—31	191	159
32.2. Viele Anweisungen sind nur für zufällige Verwen- dung vorgesehen	191	159
32.3. Die Forschung und die Praxis stellen verschie- dene Forderungen	191	159
32.4. Die Zuverlässigkeit der Methoden	192	160
32.5. Schliesslich eine Frage der Beurteilung	192	160
VIII. RESULTAT		
Kap. 33. <i>Massenproduktion und Wertproduktion</i>	194	161
33.1. Einleitung	194	161
33.2. Die Massenproduktion	194	161
33.3. Die Wertproduktion	194	161
Kap. 34. <i>Tabellen für die Massenproduktion</i>	195	162
34.1. Einleitung	195	162
34.2. Die Bezeichnungen des Registers	195	162
34.3. Aufstellung und Anwendung des Registers ...	196	163
34.4. Die Produktionstabellen	196	163
Kap. 35. <i>Vergleiche zwischen den Tabellen</i>	196	163
35.1. Einleitung	196	163
35.2. Wahl des Kriteriums	197	164
35.3. Kiefer, Nordschweden	198	165
35.4. Kiefer, Südschweden	204	169
35.5. Fichte, Nordschweden	206	170
35.6. Fichte, Südschweden	207	171

		Seite	
		Schwed. Text	Deutscher Text
Kap. 36.	<i>Bonität und Massenproduktion</i>	208	172
36.1.	Einleitung	208	172
36.2.	Bonitierung nach JONSON	209	173
36.3.	Die Massenproduktion bei Selbstdurchforstung und Standarddurchforstung	211	175
36.4.	Welcher Typfall stellt das Produktionsvermögen der Bonität dar?	212	176
36.5.	Vergleich mit den Bonitäten JONSON's	213	177
36.6.	Welche Bedeutung hat die Schätzung des Pro- duktionsvermögens?	217	179
Kap. 37.	<i>Kontrollen</i>	219	181
37.1.	Einleitung	219	181
37.2.	Die Hauptzüge der Untersuchung	219	181
37.3.	Theoretische Kontrollen	219	182
37.4.	Praktische Beurteilung	221	183
37.5.	Die Anwendung der Beurteilung	221	184
Kap. 38.	<i>Schlusswort über das Resultat</i>	222	184
38.1.	Einleitung	222	184
38.2.	Betrachtungen zur Wertproduktion	223	185
38.3.	Das Ergebnis der Massenuntersuchung	223	185
38.4.	Bestandesdichte und Massenproduktion. Nicht gepflanzte Bestände	224	186
38.5.	Bestandesdichte und Massenproduktion. Ge- pflanzte und früh durchläuterte Bestände	225	187
38.6.	Freistellung	226	188
38.7.	Zusammenfassung	227	188

IX. SYMBOLE

X. VERZEICHNIS DER ANGEFÜHRTEN LITERATUR

XI. METHODENBEILAGEN

XII. FUNKTIONEN

XIII. HILFSTABELLEN

XIV. PRODUKTIONSTABELLEN

I. Geschichtliches

Kap. I. Ältere Produktionsuntersuchungen

1.1. Einleitung

Obwohl private Untersuchungen schon viel früher betrieben wurden, kann man sagen, dass nach der heutigen Auffassung die Produktionsforschung mit der Entstehung forstlicher Forschungsanstalten begonnen hat. Solche Forschungsanstalten wurden in den Jahren 1870—1882 in verschiedenen deutschen Teilstaaten und in Österreich errichtet, danach folgten u. a. Frankreich 1882, Schweiz 1888, Dänemark 1901, Schweden 1902, Norwegen 1917 und Finnland 1918.

Es besteht nicht die Absicht, die Entwicklung der Produktionsforschung in allen diesen Ländern darzustellen. Doch ist die schwedische Produktionsforschung in wichtigen Punkten andere Wege gegangen als ihre ausländischen Vorgänger. Um die Beweggründe dafür zu motivieren sind wir gezwungen, bestimmte Leitgedanken der älteren Methoden durchzugehen, bevor wir unsere eigene Methoden beschreiben. Wir beschränken uns dabei auf eine einzige Arbeit, welche für die ältere Schule als repräsentativ angesehen werden kann, nämlich SCHWAPPACHS bekanntes Buch »Die Kiefer« (1908).

1.2. Der Waldzustand zu Beginn der deutschen Versuche

Als die deutsche Versuchsanstalt ihre Tätigkeit begann, war es natürlich, dass sich die Arbeit auf einheitliche Bestandestypen konzentrierte, welche geringere Anforderungen an die Untersuchungstechnik stellten. Es kann interessant sein, sich eine Vorstellung darüber zu machen, wie weit solches Material in den deutschen Wäldern zu erhalten war. Wir wollen uns darüber kurz orientieren.

Über den Zustand der deutschen Wälder um 1870 erfährt man Näheres durch SCHWAPPACHS Beschreibung im »Handbuch der Forstwissenschaft« 1913, Abschnitt XVI, S. 1. Nach einem Aufschwung in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts ging die Waldkultur in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts, als der Kahlschlag durch die Plenterung verdrängt wurde, stark zurück. Um 1830 gewannen Kulturmassnahmen, diesmal besonders Pflanzung, im südlichen und westlichen Deutschland wieder an Boden, und um 1850 auch in den Kieferngebieten Nordostdeutschlands. Soweit eine Zusammenfassung von SCHWAPPACHS Darstellung. Daraus scheint hervorzugehen, dass es gegen 1870 alte und sehr junge Kulturbestände in genügendem Ausmass gegeben hat, während vielleicht ein gewisser Mangel an Beständen mittleren Alters der gewünschten Art herrschte.

Über die Bestandespflege schreibt SCHWAPPACH im »Handbuch«, Seite 65: »Die Bestandespflege mittels Durchforstung ist zwar eine seit dem 16. Jh. bekannte Massregel, allein ihre allgemeine Durchführung im forstlichen Betrieb erfolgte doch erst in der 2. Hälfte des 19. Jh. Vorher war sie zwar durch Forstordnungen vorgeschrieben und in der forstlichen Literatur seit deren Entwicklung immer wieder mit der besten Begründung gefordert worden, doch beschränkte sich diese Massregel in der Praxis, von vereinzelt Ausnahmen abgesehen, in der Hauptsache auf die Entnahme des für bestimmte Zwecke geforderten Stangenmaterials und späterhin auch auf den Aushieb des ganz oder fast dürren Holzes.«

Aus dieser Schilderung erhält man den Eindruck, dass die Wälder in denen die Produktionsversuche begonnen wurden, vorher unregelmässig durchforstet oder nur gesäubert worden waren. Wenn wir nun zur eigentlichen Untersuchung übergehen, so ist es wichtig, dies im Gedächtnis zu behalten.

1.3. SCHWAPPACHS Methode

Die Untersuchungen umfassten in der Hauptsache reine, gleichaltrige Bestände, d. h. gleichaltrige Bestände einer Holzart. Die Bestände sollten bei der Anlage vollgeschlossen sein. Wir beschränken uns im Folgenden auf die Kiefer und halten uns an SCHWAPPACHS Darstellung im gleichnamigen Buch.

SCHWAPPACH unterschied 3 Aufgaben: Durchforstungsversuche, Lichtungshiebversuche und Produktionsversuche. Die beiden erstgenannten Aufgaben wurden auf Vergleichsflächen mit möglichst gleichem Ausgangsbestand und verschiedener Behandlung studiert. Um nahezu gleiche Ausgangsbestände zu erhalten wurden die zu vergleichenden Flächen in einem gleichartigen Teil eines Bestandes angelegt. Bei der Produktionsuntersuchung trat die Behandlung mehr in den Hintergrund, hier wurde das Interesse hauptsächlich auf die Abhängigkeit der Produktion von der Bonität gerichtet. Die dafür vorgesehenen Flächen wurden über alle Altersstufen und Bonitäten verteilt.

Für die *Durchforstungsversuche* wurden Bestände im Alter von 23 bis 72 Jahren gewählt und umfassten in der Regel vergleichende Versuche mit schwacher, mässiger und starker Durchforstung. Bis zum Jahre 1908 erstreckten sich die Beobachtungen durchschnittlich über 25 Jahre. Die Bearbeitung beschränkte sich auf den Kreisflächenzuwachs. Für die einzelnen Durchforstungsgrade konnte man zu keinem sicheren Unterschied kommen.

Die *Lichtungshiebversuche* umfassten Vergleiche zwischen Lichtungshieb und Durchforstung, gewöhnlich starker Durchforstung. Für die Versuchsflächen wurden Bestände im Alter von 35 bis 56 Jahren gewählt und die Beobachtungen erstreckten sich im Jahre 1908 über einen Zeitraum von durchschnittlich 15 Jahren. SCHWAPPACH stellte fest, dass fast alle Versuchsflächen mit Lichtungshieb grösseren relativen, aber geringeren absoluten Kreisflächenzuwachs als die entsprechenden Vergleichsflächen hatten. Der Jahresring war also breiter geworden, aber nicht soviel, dass der Zuwachs per Hektar gleich gross wie auf der dichteren Vergleichsfläche geworden war.

Die *Produktionsuntersuchungen* wurden auf 144 festen Versuchsflächen durchgeführt, welche in allen Altersstufen angelegt wurden. Im Jahre 1908 waren von diesen Flächen 39 fünfmal untersucht worden, 83 viermal, 18 dreimal, 3 zweimal und eine Fläche einmal. Das Intervall war in der Regel fünf oder sechs Jahre.

Das Ziel dieser Untersuchungen war die Beschreibung der Gesamtentwicklung eines Bestandes bei verschiedenen Bonitäten und Anwendung einer bestimmten Durchforstungsmethode. Solche Beschreibungen haben verschiedene Benennungen erhalten — wir nennen sie Produktionstabellen. Die Aussichten für einen Fortschritt dieser Arbeit beruhen stark auf der gewählten und zu untersuchenden Durchforstungsform und der früheren Behandlung der Versuchsflächen. Deshalb haben wir uns in diesem Kapitel für die am Beginn der Produktionsuntersuche angewendeten Forstpflagemethoden interessiert. Wären diese Methoden als Unterlage für die Tabellen akzeptiert worden, so wäre die Bearbeitung einfach gewesen. Der gesamte Wald hätte in diesem Fall die Bestandesentwicklung bei der gewählten

Durchforstungsart illustriert. Indessen musste die Behandlung geändert werden — dieser Versuch wurde gemacht um neue Methoden zu studieren. Die frühere schwache Durchforstung wurde verstärkt und als »mässig« bezeichnet. Dadurch wurde die Kontinuität in der Behandlung der Versuchsfläche unterbrochen und wir müssen mit einer daraus entstandenen Änderung der Bestandesentwicklung rechnen. Diese Frage wird später in Kap. 1.4 behandelt. Vorher soll jedoch SCHWAPPACHS Verfahren in einer kurzen Übersicht dargestellt werden.

Die Bearbeitung der Produktionsflächen erfolgte durch graphischen Ausgleich in zwei Etappen: Zuerst wurde eine Bonitierungstabelle erstellt und dann mit deren Hilfe eine Anzahl von Produktionstabellen berechnet.

Die Bonitierungstabelle wurde auf folgende Art ausgearbeitet. Die von jeder Fläche bei jeder Untersuchung erhaltenen Bestandesmittelhöhen wurden über dem Alter für die ganze Untersuchung auf einer Tafel eingetragen. Die Beobachtungen für eine Fläche wurden vereinigt und mit Hilfe dieser Kurventeile ein System S-förmiger Stromlinien errichtet, welches die Höhenentwicklung unter Bezugnahme auf das Alter darstellte. Nachdem fünf Bonitäten durch angenommene Mittelhöhen für 100 Jahre definiert worden waren, wurden im Stromliniensystem die Höhenentwicklungskurven dieser Bonitäten eingezeichnet, worauf die Begrenzungskurven zwischen diesen interpoliert wurden.

Die so erhaltenen Kurven wurden für die Sortierung des Materiales nach Bonitäten verwendet. Eine Probefläche, deren Mittelhöhe für das Alter der Fläche zwischen zwei Grenzkurven zu liegen kam, wurde der von ihnen eingeschlossenen Bonität zugeführt. Danach erfolgte die Bearbeitung bonitätsweise. Wir betrachten hier nur die Massennachweisung.

Auf jeder Fläche wurde nach jeder Durchforstung die »Derbholzmasse« sowie die Totalproduktion solchen Holzes errechnet. Als »Derbholz« bezeichnet man bekanntlich alles Holz über der Erde mit mehr als 7 cm Durchmesser, jedoch ohne Baumstumpf. Mittels Verhältniszahlen, welche bei der Kubierung von Probestämmen erhalten wurden, berechnete man auch die »Baumholzmasse«, d. h. alles Holz über der Erde ohne Baumstumpf. Man beachte aber, dass schwedische Produktionsangaben für Nadelholz das Stammholz über der Erde ohne Baumstumpf enthalten, also weder »Derbholz« noch »Baumholz«. Im weiteren Referat über SCHWAPPACHS Arbeit beschäftigen wir uns nur mit der Produktion von »Derbholz«.

Die Totalproduktion T und die Masse V nach der Durchforstung, beide bei der letzten Messung wurden graphisch nach dem Alter ausgeglichen. Darnach erhielt man die Summe aller Durchforstungen (ΣG) nach der Gleichung

$$\Sigma G = T - V \quad (1.3.1)$$

Für jeden Eingriff wurde in der Tabelle die Summe der bisherigen Entnahmen berechnet (laut 1.3.1), worauf die einzelnen Durchforstungen als Differenzen erhalten wurden. Der Zuwachs der Intervalle erschien als Differenz in den Serien der Totalproduktion. Auf diese Weise konnte der gesamte Massennachweis auf dem Ausgleich von zwei Variablen aufgebaut werden.

1.4. Diskussion seiner Methode

Wir wollen nun sehen wie man sich das Funktionieren dieser Berechnung in einem beliebigen Versuchsfall denken kann. Untersuchungen der hier diskutierten Art setzen eine bestimmte Durchforstungsmethode voraus, welche sich in der

Regel von der früheren Behandlung unterscheidet. Um kurze Ausdrücke zu erhalten nehmen wir an, dass die Durchforstung bisher schwach war und beim Versuch stark wird. Ein regelrechter Versuch mit der starken Durchforstung müsste im Ausgangsalter, d. h. bei dem für die erste Durchforstung normalen Alter begonnen und bis zum Endabtrieb fortgesetzt werden. Um die Wartezeit zu verkürzen legt man jedoch Produktionsflächen, beginnend mit dem Ausgangsalter, gleichzeitig in allen Altersstufen an und durchforstet dann einige Jahrzehnte hindurch. Auf diese Weise bekommen alle Altersstufen Einfluss auf das Resultat, bestehen aber überwiegend aus Flächen im falschen Entwicklungsstadium. Die richtige Entwicklung erfahren nur diejenigen Flächen, welche im Ausgangsalter angelegt wurden und somit vom Anfang an stark durchforstet werden. Alle übrigen Flächen haben eine mehr oder weniger lange Zeit schwacher Durchforstung mitgemacht, bevor die starke Durchforstung einsetzte. Flächen, welche im Abtriebsalter angelegt werden sind ausschliesslich von schwacher Durchforstung beeinflusst worden.

Die obige Überlegung dürfte unbestreitbar sein. Die Methode ist eindeutig mit einem Fehler behaftet, welcher jedoch wegfällt, wenn die neue und die alte Durchforstung gleich sind. Je grösser der Unterschied der Durchforstungsprogramme ist, desto grösser wird der Fehler. Wir haben nur den einfachsten Fall betrachtet, den Austausch einer früheren Durchforstungsform durch eine neue. In Wirklichkeit haben die Bestände oft mehrere Behandlungsarten durchgemacht, bevor die Versuchsfläche angelegt wird. Das Resultat stellt dann einen Übergang von der ersten bis zur letzten Durchforstung dar.

Das Ziel der Produktionstabelle ist die Veranschaulichung der aktuellen Durchforstung, also der letzten. Das bedeutet, dass nur die im Ausgangsalter angelegten Bestände die richtige Antwort auf die gestellte Frage geben. Von diesen Flächen kann man alle Daten für m Jahre nach dem Ausgangsalter entnehmen, wenn m die Beobachtungszeit ist. Man setze die Wachstumszeit vom Ausgangsalter bis zum Abtriebsalter = n . Die Angaben der Tabellen, welche von dem hier beschriebenen Standpunkt aus richtig sind, werden dann = $m : n$ oder in Worten ausgedrückt: die Sicherheit der Resultate steigt mit langer Beobachtungszeit und kurzem Wachstum.

1.5. Schlussbeurteilung

Nach dieser allgemeinen Diskussion kehren wir zu SCHWAPPACHS Produktionstabellen zurück. Die Voraussetzungen waren in diesem Fall gut. Die im Versuch angewendete »mässige« Durchforstung, welche nach den heutigen Begriffen ziemlich schwach war, unterschied sich nicht sehr von der früheren Behandlung. Die Beobachtungszeit war bei der Publikation im Jahre 1908 in Durchschnitt 20,4 Jahre. Sicherlich wurden in den Tabellen lange Wuchszeiten nachgewiesen, doch konnten diese bei der Anwendung bedeutend verringert werden, so dass das Verhältnis Beobachtungszeit: Wachstumszeit vom Ausgangsalter günstiger wurde. Vom Standpunkt unserer Prinzipdiskussion aus und mit Rücksicht auf die damalige Lage können diese Tabellen normale Ansprüche befriedigen.

Doch muss unterstrichen werden, dass die Prinzipdiskussion sich auf die Entwicklung der Masse beschränkt, weshalb sich die Schlussbeurteilung nur auf diese bezieht. Andere Daten der Tabellen können nicht objektiv beurteilt werden. Variable wie Stammzahl, Grundfläche, Mittendurchmesser und Formzahl erfordern teils jede für sich einen Ausgleich nach dem Alter, teils muss dafür gesorgt werden,

dass deren Verhältnis zueinander und zu den Variablen der Masse vernünftige Werte erhalten. SCHWAPPACH hat diesen Forderungen durch Einpassung zu genügen versucht. Er spricht von »wiederholtes, ziemlich umständliches und zeitraubendes Probieren«. Dadurch haben die Tabellen einem stark subjektiven Einschlag erhalten, welcher sich der Beurteilung Aussenstehender entzieht.

Kap. 2. Schwedische Durchforstungsversuche

2.1. Einleitung

Zu Beginn des 20. Jahrhunderts brachte man in Schweden dem Wald und seiner Pflege grosses Interesse entgegen. Als Folge davon wurde im Jahre 1903 ein neues Forstpfllegegesetz angenommen, welches von massgebender Bedeutung für unsere Forstwirtschaft war. Dasselbe Interesse führte im Jahre 1902 zur Errichtung eines Institutes für forstliche Forschungstätigkeit. Dieses wurde »Forstliga försöksanstalten (Forstliche Versuchsanstalt)« genannt. 1905 wurde der Name auf »Statens skogsförsöksanstalt (Staatliche Forstversuchsanstalt)« und 1945 auf »Statens skogsforskningsinstitut« (Staatliches Forstversuchsinstitut) geändert.

Schon vom ersten Jahr an haben Produktionsuntersuchungen eine wichtige Aufgabe für dieses Institut gebildet. In den Jahren 1902—1925 wurde eine grosse Zahl von Versuchsflächen angelegt, welche dann ungefähr in 5-jährigen Intervallen durchforstet und untersucht wurden. Diese Arbeiten wurden von 1902—1908 vom ersten Leiter der Anstalt, Jägmästare ALEXANDER MAASS geleitet, 1909—1925 von dessen Nachfolger, Prof. GUNNAR SCHOTTE, sowie 1926—1944 von mir. Spätere Arbeiten haben diese Untersuchung nicht beeinflusst.

Wir kommen später auf eine eingehende Diskussion des angesammelten Materiales zurück. Dieses Kapitel bezieht sich nur auf eine allgemeinere Charakteristik der Planung der Untersuchung, Einsammlung des Materials und Wahl der Bearbeitungsmethode.

2.2. Die Versuchsflächen

Abgesehen von kleineren Abweichungen waren die im vorhergehenden Kapitel beschriebenen Methoden die einzigen, welche um die Jahrhundertwende bekannt waren. Die Zielsetzung unserer Versuchsanstalt war daher gleich denen der Vorgänger. Die Untersuchungen bezogen sich auf gleichartige, reine Bestände mit gleichmässiger Stammverteilung. Mangels eines besseren Ausdruckes nennen wir solche Bestände homogen. Das Vorhandensein homogener Bestände aller Altersstufen war eine wesentliche Voraussetzung für eine erfolgreiche Produktionsforschung.

Als unser Institut gegründet wurde, war die Situation in dieser Hinsicht günstig. In Südschweden hatte man schon lange Kahlschlagwirtschaft mit nachfolgender Kultur in so grossem Masse betrieben, dass genügend homogenes Material vorgefunden wurde. In Nordschweden gab es viele homogene Kiefernbestände, welche durch Selbstsaat nach Waldbränden entstanden waren. Für die nordschwedische Fichte war die Lage jedoch weniger günstig.

Indessen zeigte die Diskussion in Kapitel I, dass man für das Material eine weitere Bedingung stellen musste, wenn die übliche Bearbeitungsmethode zum gewünschten Erfolg führen sollte. Nach dieser Methode war es notwendig, die

Versuchsbestände lange Zeit hindurch nach der Art zu behandeln, welche man auf den Versuchsflächen erproben wollte. Diese Forderung wurde nirgends, weder bei uns noch im Ausland, vollkommen erfüllt. Aber die Annäherung konnte besser oder schlechter sein. In dieser Hinsicht war die Situation in Südschweden schlechter als auf dem Kontinent. Dort wie hier bestand die frühere Bestandespflege in sehr schwacher Durchforstung, aber unsere Versuchsanstalt begann 30 Jahre später als die deutsche und während dieser Zeit wurden die Ansprüche an die zu erprobenden Durchforstungen stark vergrössert. Der Gegensatz zwischen der alten und neuen Bestandespflege war deshalb bei uns schon von Anfang an grösser. Dies galt für Südschweden. In Nordschweden und besonders dessen nördlichem Teil war zum Grossteil nie durchforstet worden und der Gegensatz dadurch noch grösser.

In den ersten Jahren der Tätigkeit folgte die schwedische Versuchsanstalt ziemlich genau den deutschen Vorbildern. In erster Linie wurden vergleichende Durchforstungsflächen angelegt. Nach einigen Jahren folgten andere Flächen, welche als Unterlage für die Erstellung von Produktionstabellen bestimmt waren. Auf diesen Flächen wurde in den ersten Jahren fast ausschliesslich nur schwach niederdurchforstet. Schon 1911 konnte MAASS eine Produktionstabelle für schwach niederdurchforstete Kiefernbestände erstellen.

Indessen war es bald klar, dass die schwedische Forstwirtschaft vor einer Umwälzung stand. Die Papier- und Zelluloseindustrie wurde gewaltig ausgebaut und die Sägewerke senkten die untere Grenze für Rundholz. Die Nachfrage nach geringeren Dimensionen, welche auf diese Weise geschaffen wurde, regte zu Versuchen mit stärkeren Durchforstungsmethoden an. An dieser Reformarbeit nahm SCHOTTE mit lebhaftem Interesse teil. Sein nächstes Ziel war, mit den Versuchsflächen als Anschauungsmaterial direkt die Waldpflege in unserem Lande zu beeinflussen. Dieses Ziel erreichte er auch in bedeutendem Masse.

Nachdem SCHOTTE im Jahre 1908 Leiter der Anstalt geworden war, wurde die Anlage von Versuchsflächen unvermindert fortgesetzt. Dabei wurde mit Vorliebe stark und extra stark niederdurchforstet, um zu sehen wie weit man in dieser Richtung gehen konnte. Viele Versuchsflächen, welche früher für schwache Durchforstung angelegt worden waren, wurden auf stärkere Durchforstungsarten überführt. Dadurch wurde aber der Zusammenhang von Versuchsfläche und Durchforstungsform geschwächt. — Bei der Fichte wurde der sog. Kronendurchforstung grosses Interesse gewidmet.

2.3. Die Bearbeitung

Diese Entwicklung der Zusammensetzung des Materiales erschwerte auf zwei Arten die Anwendung der in Kap. 1 beschriebenen traditionellen Bearbeitungsmethode. Teils wurde durchschnittlich stärker durchforstet und dadurch der Gegensatz zwischen der früheren und späteren Behandlung der Versuchsflächen verschärft. Ausserdem wurde das Material quantitativ geschwächt, indem es auf mehrere Durchforstungsarten verteilt wurde, welche nach der angeführten Methode jede für sich bearbeitet werden sollte.

Als ich zu Beginn des Jahres 1927 die Verantwortung für diese Untersuchung übernahm, wurde die Bearbeitungsfrage aktuell. Die Überlegung folgte dabei der Richtung, welche vorher angegeben wurde. Das Ergebnis davon war, dass die traditionelle Methode für unser Material nicht angewendet werden konnte. Damit soll weder die Methode noch das Material kritisiert werden.

Hingegen war eine Kombination dieser beiden unmöglich. Der alte Weg war versperrt und ein neuer musste gefunden werden.

Wie schon vorher gesagt, wurde die Bedeutung der Versuchsfläche als Untersuchungseinheit durch die Änderung der Behandlungsform verringert. Änderungen der Beobachtungsmethoden und Klimaveränderungen wirkten in der selben Richtung. Als erster Schritt wurden daher die beobachteten Entwicklungsverläufe in kurze Fragmente aufgeteilt und umfassten die Zeit zwischen zwei Durchforstungen. Diese Teilentwicklungen wurden dann als freie Elemente einer Untersuchung betrachtet, in der man den Zusammenhang zwischen dem Zuwachs während des Durchforstungsintervalles und dem Zustand des Bestandes zu Beginn des Intervalles zu erforschen suchte. Eine solche Aufgabe konnte nur mit Hilfe mathematisch statistischer Methoden gelöst werden.

Kap. 3. Das Material

3.1. Einleitung

Eine gleichzeitige Planung für die Sammlung des Materiales und dessen Bearbeitung kann für die meisten Untersuchungen als normal angesehen werden. Die Untersuchung stellt oft Fragen an die Natur, welche bei der Bearbeitung an das Material gerichtet werden müssen. Der Wert der Antwort beruht dann darauf, inwieweit das Material die Natur verkörpert.

Bei forstlichen Produktionsuntersuchungen ist eine zufriedenstellende Koordination von Materialsammlung und Bearbeitung schwer zu erreichen, auch dann, wenn sie gemeinsam geplant werden. In dieser Hinsicht — wie in vielen anderen — bedeutet die statistische Methode einen grossen Fortschritt. Sie präzisiert die Fragestellung und leitet damit die Materialeinsammlung in die richtige Bahn.

Doch ist die hier dargestellte Produktionsuntersuchung auf andere Weise entstanden. Während die Versuchsflächen angelegt und die ursprünglichen Durchforstungsprogramme ausgearbeitet wurden, waren die Schwächen der alten Bearbeitung ebensowenig bekannt wie die neue Methode. Deshalb konnte die Sammlung des Materials nicht mit der Bearbeitung übereingestimmt werden.

Dies ist wichtig für zukünftige Planungen. Die vorliegende Untersuchung traf auf viele Schwierigkeiten, welche bei künftigen Arbeiten gleicher Art vermieden werden können.

3.2. Die Beobachtungszeit

In Kap. 1 wurde der Zusammenhang zwischen dem Durchforstungsprogramm und der notwendigen Beobachtungszeit berührt. Der sachliche Inhalt des Gesagten wird hier in mehr präzisierter Form wiedergegeben. Wenn die frühere Behandlung des Bestandes auf der Versuchsfläche weiter fortgesetzt wird, kann man sich mit einer einmaligen Untersuchung begnügen. Bei bedeutender Änderung der Behandlung muss die Beobachtung genau genommen die ganze Entwicklung von der ersten Durchforstung bis zum Endabtrieb umfassen. Gewöhnlich müssen kürzere Beobachtungszeiten als Kompromiss angenommen werden, doch muss man dabei die Gefahr systematischer Fehler im Auge behalten.

Dies bezieht sich auf die ältere Methode, welche in Kap. 1 beschrieben wurde. Ähnliches gilt auch bei statistischer Bearbeitung, obwohl die Störungen durch die Anpassungsfähigkeit der Methode geringer werden.

Die Bedeutung der Beobachtungszeit für die zufälligen Fehler wird in Kap. 6 diskutiert. Hier soll nur gesagt werden, dass die Sicherheit der Resultate stark von der Zahl der Elemente, d. h. Untersuchungseinheiten, beeinflusst wird. In diesem Material wurde der Zuwachs für Perioden von ungefähr 5 Jahren beobachtet. Jede dieser Beobachtungen stellt ein Element der Untersuchung dar. Das bedeutet, dass das Material jedes fünfte Jahr um ein Element per Versuchsfläche vermehrt wurde.

Als die Bearbeitungsfrage im Jahre 1927 aktuell wurde, war die Lage folgendermassen: Nachdem man den Zuwachs der Bäume durch Kluppierung bestimmt hatte, konnten nur Versuchsflächen ausgenützt werden, welche mindestens zweimal gemessen worden waren. Bei der Kiefer, welche zunächst in Frage kam, fielen dadurch ca 31 % der Versuchsflächen weg. Die übrigen waren im Durchschnitt 12,5 Jahre lang beobachtet worden. Mit Rücksicht auf unsere langen Wachstumszeiten, besonders in Nordschweden, und den grossen Gegensatz zwischen der früheren Behandlung und den Versuchsprogrammen, muss diese Beobachtungszeit als ungenügend bezeichnet werden. Für die gleiche Auffassung sprechen die eben berührten Sicherheitsforderungen. Das Material war für die Erstellung von Produktionstabellen noch nicht fertig.

Bei späteren Gelegenheiten, 1937 und 1947, wurden Produktionstabellen für besondere Zwecke fertiggestellt. Die nun vorliegenden Tabellen wurden teilweise 1951 veröffentlicht. Auf die hier genannten Produktionstabellen kommen wir in Kap. 25 zurück.

3.3. Die Homogenität des Materiales

Die vorhergehende Diskussion war auf homogene Bestände beschränkt, womit in diesem Zusammenhang gleichaltrige, reine Bestände mit gleichmässiger Stammverteilung verstanden werden. Solche Bestandestypen wurden in den im Kap. I berührten älteren Produktionsuntersuchungen angestrebt. In den entsprechenden schwedischen Versuchen wird hinsichtlich der Durchforstungsprogramme von der Tradition bedeutend abgewichen, jedoch an den homogenen Ausgangsbeständen festgehalten. Die hier vorliegende Untersuchung ist an diese Voraussetzung gebunden.

Indessen sind die Begriffe gleichaltrig und rein, welche in der Homogenität enthalten sind, weder in unseren noch in ausländischen Produktionsuntersuchungen vollständig eingehalten worden. Man hat gewisse Unterschiede zugelassen. Die Altersunterschiede haben auf manchen Flächen manchmal 20 Jahre betragen — für einzelne Bäume auch mehr. Die Bestände wurden als rein angesehen, wenn der Anteil anderer Holzarten vor der Durchforstung bei der Anlegung der Versuchsfläche insgesamt nicht 10 % der Kubikmasse erreicht hat. Die Stammverteilung hat in diesem Material keine Schwierigkeiten bereitet, da die Flächen in der Regel in vollgeschlossenen, gleichmässigen Beständen angelegt wurden.

Die Abweichungen von der vollständigen Homogenität, welche also vorkamen, haben auf verschiedene Weise die Bearbeitung beeinflusst. Das von den Baumstümpfen abgelesene Alter wurde nach der Korrektur auf das wirkliche Alter über dem zugehörigen Brusthöhendurchmesser ausgeglichen, worauf das gesuchte Bestandesalter auf der Regressionslinie an der oberen Grenze der Stammverteilung abgelesen wurde. Vorkommende andere Holzarten wurden bis zu einer späteren gemeinsamen Bearbeitung aller Mischungsgrade übergangen.

3.4. Die Gruppierung der Versuchflächen

Diese Untersuchung wurde auf Kiefer und Fichte beschränkt. Die Versuchflächen wurden im Laufe der Bearbeitung auf verschiedene Weise gruppiert. Wir kommen darauf bei der Darstellung der eigentlichen Bearbeitung zurück. Als erste Orientierung kann indessen die Gruppierung der Tabelle 3.4.1 verwendet werden.

Tabelle 3.4.1. Gruppeneinteilung für homogenen Nadelwald

Gruppe	Holzart	Gebiet	Entstehungsart
I	Kiefer	Nordschweden	nicht gepflanzt
II	»	»	gepflanzt
III	»	Südschweden	nicht gepflanzt
IV	»	»	gepflanzt
V	Fichte	Nordschweden	nicht gepflanzt
VI	»	»	gepflanzt
VII	»	Südschweden	nicht gepflanzt
VIII	»	»	gepflanzt

Für die Gebietseinteilung der Kiefer wurde SYLVÉNS Karte (1916 S. 212) verwendet und zu seiner Abteilung »Nordschweden« diejenigen Flächen des Übergangsbereiches hinzugefügt, welche am wahrscheinlichsten dem nördlichen Teil zuzurechnen sind. Die übrigen Versuchflächen scheinen in der Gruppe Südschweden auf.

Für die Fichte wurde als provisorische Grenze zwischen Nord- und Südschweden die im Landwirtschaftsatlas über Schweden (»Jordbruksatlas över Sverige«) angegebene Südgrenze für Nordschweden (»norrländsterrängen«, JONASSON, HÖIJER und BJÖRKMAN, 1937 S. 15) genommen.

Da aber das Material beider Holzarten in der Nähe der Grenzen gering ist, kann eine administrative Grenze, welche in der Regel bequem ist, in der Praxis vorgezogen werden. Vorschlagsweise könnte man die Provinzen Norrland und Dalarna zu Nordschweden rechnen.

Unter der Bezeichnung »Holzart« werden keine Lokalrassen angeführt. Es darf aber nicht vergessen werden, dass ein grosser Teil der gepflanzten Fichte (Gruppe VIII) wahrscheinlich deutscher Herkunft ist.

Die Bezeichnungen für die Entstehungsart enthalten viele Abstufungen, welche hier nicht unterschieden wurden. Der Begriff »Pflanzung« umfasst verschiedene Pflanzungsmethoden und Pflanzungsverbände. Am wichtigsten ist es, dass man in die Gruppe »nicht gepflanzt« die Verjüngungen durch Selbstbesamung und die verschiedenen Arten der Kultursaat aufnehmen musste. Für die Kiefer bedeutet »nicht gepflanzt« in Nordschweden nur Selbstbesamung, während in Südschweden auch die Kultursaat dazugehört.

Nur in den Gruppen I, III und VIII hat das Material die direkte Aufstellung von Produktionstabellen ermöglicht. Für einige andere Gruppen wurden solche Tabellen durch Kombination von direkter und Überschlagsberechnung erstellt. Die Bearbeitung homogener Laubwaldbestände kann durch ähnliche Berechnungen eine gewisse Anleitung erhalten. Hingegen sind, wie bereits angedeutet, Mischbestände und ungleichaltrige Bestände am schwierigsten zu behandeln. Für diese Bestandestypen müssen wir uns bis auf Weiteres mit einfachen Überlegungen,

gestützt von örtlichen Beobachtungen und analogen Verhältnissen der Produktionsvorgänge in den untersuchten Typen, begnügen.

3.5. Die Variablen

Wir werden uns im Folgenden mehr mit den Gruppen I, III und VIII befassen, bei denen das Material für eine regelrechtere Bearbeitung ausreichte. Eine solche Gruppe besteht aus einer Anzahl Versuchsflächen, welche der allgemeinen Definition der Gruppe entsprechen, ansonsten aber ziemlich variieren können. Die Flächen wurden ein oder mehrere Male bei »Revisionen« untersucht, dabei gleichzeitig programmgemäss durchforstet und der Zuwachs zwischen den Revisionen bestimmt.

Im Material fallen Durchforstungsintervall und Zuwachsperiode zusammen, während in der Praxis ein Durchforstungsintervall mehrere Zuwachsperioden umfassen kann. Hauptsache ist, dass keine Durchforstung während einer Zuwachsperiode unternommen wird. Für jedes Element der Untersuchung beobachten wir eine abhängige Variable — in diesem Fall Ausdruck für den Zuwachs während der Periode — und eine Anzahl unabhängiger Variabler, welche den Zustand zu Beginn der Periode beschreiben und daher vom Standpunkt der Statistik aus als Voraussetzungen des Zuwachses betrachtet werden können. Die Bearbeitung will die abhängige Variable als eine Funktion der unabhängigen Variablen ausdrücken. Dies erfolgt durch die Regressionsanalyse.

3.6. Beschreibung des Materiales

Für die Kiefer wird in erster Linie auf NÄSLUNDS Arbeit »Skogsförsöksanstaltens gallringsförsök i tallskog. Primärbearbeitning.« (Die Durchforstungsversuche der forstlichen Versuchsanstalt im Kiefernwald. Primärbearbeitung) (1936) verwiesen. Dort sind genaue Beschreibungen der Versuchsflächen enthalten, wobei besondere Beachtung der Beurteilung von Untersuchungsfehlern geschenkt wird. Seit der Veröffentlichung dieser Arbeit wurden ein Teil der neuen Versuchsflächen in die Untersuchung einbezogen und ausserdem ist auf mehreren Flächen eine Durchforstungsperiode hinzugekommen, indem das Kiefernmaterial bis zum Jahre 1939 ausgenutzt werden konnte. Gewisse Gesichtspunkte für das Material wurden durch die Produktionsbearbeitung aktuell. Solche Zusätze werden, soweit es notwendig ist, in der folgenden Diskussion über die Variablen berücksichtigt.

Für die Fichte gibt es noch keine zusammenhängende Beschreibung des Materiales. Hinsichtlich der Genauigkeit wurden NÄSLUNDS Kiefernstudien auch für die Fichte als wegweisend angesehen. Der wichtigste Grund war aber der, dass sich viele der Fichtenflächen in einer Entwicklung befinden, welche erst nach dem Jahre 1940, als man die Sammlung des Materials für die Produktionsuntersuchung bereits abschliessen musste, besonders interessant wurde. Deshalb wurde von einer unabhängigen Darstellung der Entwicklung bis 1940 abgesehen.

Die Zuwachsberechnung umfasste:

Gruppe	Flächen	Zuwachsperioden
I	66	271
III	52	195
VIII	44	174

II. Allgemeine methodische Fragen

Kap. 4. Die Hauptzüge des Arbeitsplanes

4.1. Ein Programm

In Kap. 2 haben wir gesehen, wie gewisse Eigenschaften des Materiales den Übergang zu statistischer Bearbeitung erzwingen. Damit wurde aber nicht nur ein Ausweg aus einem Dilemma gefunden sondern wir erhielten durch die grosse Beweglichkeit der neuen Methode auch eine ganz andere Zielsetzung. Diese neuen Gesichtspunkte wurden in meinem Vortrag vor der »Svenska skogsvårdsföreningen« (Verein für Waldpflege in Schweden) mit dem Titel: »Skogsförsöksanstaltens gallringsförsök, en bearbetning och ett Program« (Die Durchforstungsversuche der Forstlichen Versuchsanstalt, eine Bearbeitung und ein Programm) (PETTERSON 1933) dargelegt. Dabei wurde das Ziel folgendermassen formuliert:

»Die Durchforstungsversuche der Forstlichen Versuchsanstalt sollen einen festen Grund für die Untersuchungen bilden, welche uns einmal als Anleitung für die bei jeder Kombination von Voraussetzungen wirtschaftlich beste Art der Bestandesbehandlung dienen sollen.

Die Aufgabe umfasst zwei Hauptprobleme: Für verschiedene biologische Voraussetzungen diejenigen Bestandesentwicklungen zu erforschen, welche bei verschiedener Behandlung erhalten werden können und aus all diesen biologisch möglichen Alternativen die unter verschiedenen Verhältnissen wirtschaftlich vorteilhafteste zu wählen.«

4.2. Die Notwendigkeit einer Arbeitsverteilung

Unter biologischen Voraussetzungen werden im Programm alle Faktoren verstanden, welche direkt oder indirekt das Leben der Bäume beeinflussen. Diese beeinflussenden Faktoren zu untersuchen sowie deren Einfluss auf den Bestand, ist eine umfangreiche naturwissenschaftliche Aufgabe, welche unzählige Teilprobleme umfasst. Soweit diese nach und nach gelöst werden, wird auch die Kenntnis über das Leben des Waldes erweitert und vertieft. Dadurch werden zweifellos die Beobachtungen der Forstleute über Einzelheiten der Waldpflege gründlicher und deren Entschliessungen mit grösserer Sicherheit getroffen. Es besteht jedoch nur geringe Aussicht, dass die naturwissenschaftliche Analyse der forstlichen Prozesse jemals zur Beherrschung der Gesamterscheinung führt, den die Bestandesentwicklung darstellt.

Diese Seite des Waldes wird von der Produktionsforschung studiert. Das Wesentliche ist dabei das äussere Geschehen. Die Arbeitsmethode ist die Statistik und muss es sein. Wir wissen nicht, weshalb die Bäume gerade so wachsen, aber wir können beurteilen, wie sie wahrscheinlich unter verschiedenen Voraussetzungen wachsen werden. Unsere wichtigste Stütze bei dieser Arbeit ist die Kenntnis darüber, wie Bäume unter ähnlichen Verhältnissen früher gewachsen sind. Wenn ein Bestand, welcher bestimmte Homogenitätsforderungen erfüllt, bereits vorhanden ist, wird dessen Bonität durch die frühere Höhenentwicklung festgelegt.

Diese Bonität wird dann als eine biologische Voraussetzung für den weiteren Zuwachs des Bestandes betrachtet. Kompliziertere Fälle der Bonitierung werden in Kap. 7 diskutiert.

4.3. Die Bestandesentwicklung

Das Programm will erforschen, welche Entwicklung unter den herrschenden biologischen Verhältnissen durch verschiedene Behandlung erzielt werden kann. Die Faktoren, welche eine solche Entwicklung bestimmen, können auf folgende Gruppen verteilt werden: Allgemeine biologische Voraussetzungen (Klima, Boden, Holzart, Rasse), Ausgangsbestand und Durchforstung. Diese drei bestimmen den Zuwachs. Bei der Erstellung von Produktionstabellen fordert jede dieser Faktorengruppen ihre eigene Methode.

I. Die allgemeinen biologischen Voraussetzungen (Klima, Boden, Holzart, Rasse) werden gewöhnlich durch ein geographisches Gebiet, Holzart und Bonität dargestellt. In einer Produktionstabelle sind diese Voraussetzungen gegeben.

II. Der Ausgangsbestand wird stark von der Art der Entstehung sowie der Entwicklung in den ersten Jahren beeinflusst. Er kann sich sehr typisch entwickeln, wenn er dicht aufgenommen ist und die Entwicklung kann vollkommen regellos sein, wenn die Verjüngung sehr schütter war. Gepflanzte Bestände bekommen eine für sie sehr typische Struktur. Auf Grund dieser Einflüsse können die Ausgangsbestände der Tabellen in den am wenigsten gesetzgebundenen Fällen ziemlich frei gewählt werden, während sie in den mehr gesetzgebundenen Fällen genau berechnet werden müssen. Oft ist es richtig, gewisse strukturbestimmende Daten innerhalb bestimmter Grenzen frei zu wählen, während andere Daten an die gewählten mittels Zusammenhangsuntersuchungen angepasst werden müssen. Der Ausgangsbestand muss natürlich in den Rahmen eingepasst werden, welcher durch die allgemeinen biologischen Voraussetzungen gezogen ist.

III. Die Durchforstung kann in dichten Beständen als Selbstdurchforstung auftreten, also als Naturerscheinung, welche untersucht werden muss. Aktive Durchforstung wird jedoch frei bestimmt und in den Produktionstabellen als Durchforstungsprogramm formuliert. Die Programme wollen eine systematische Verminderung der Stammanzahl erzielen. Dies geht folgendermassen vor sich:

Der Ausgangsbestand wird in relative Durchmesserklassen, s. g. Ausgangsklassen eingeteilt. Jede dieser Klassen wird als Einheit für die restliche Lebenszeit des Bestandes beibehalten. Die ursprüngliche Stammanzahl der Klasse wird fortschreitend mittels Durchforstung verringert, wobei in gewissen Fällen die gesamte Anzahl entnommen wird. Gewöhnlich bleibt aber doch ein Teil der Klasse bis zum Endabtrieb stehen. Ein- oder Auswachsen über die Klassengrenzen findet nicht statt.

IV. Der Zuwachs. Die Bestimmung des Zuwachses in den Produktionstabellen ist eine reine Forschungsaufgabe, welche ganz oder teilweise durch die Regressionsanalyse gelöst wird. Als Resultat der Analyse werden Zusammenhangsfunktionen erhalten, mit deren Hilfe der Zuwachs für verschiedene Kombinationen von Voraussetzungen berechnet werden kann (siehe Kap. 6).

Die wichtigste Zusammenhangsfunktion der vorliegenden Untersuchung bezog sich auf den Zuwachs des Mittendurchmessers. Mit deren Hilfe konnte der Zuwachs auch für andere Durchmesser berechnet werden (siehe Kap. 21).

Bezüglich des Höhenzuwachses wurde nicht der gleiche Weg gewählt, da dieser

Zuwachs an stehenden Bäumen sehr schwer zu bestimmen ist und die Zuverlässigkeit des Materials vor 1927 nicht gross genug erscheint. Statt dessen wurde die Aufmerksamkeit direkt auf die Entwicklungskurven der oberen Höhe gerichtet (siehe Kap. 7).

Mit Hilfe der so erhaltenen oberen Höhe wurde die Höhenkurve über dem Durchmesser für jeden Durchforstungseingriff berechnet. Dabei wurde ein Zusammenhang zwischen den Konstanten der Höhenkurve und der oberen Höhe verwendet und durch eine einfache Regressionsanalyse berechnet (siehe Kap. 22).

Durch diese Berechnungen bestimmte man den Brusthöhendurchmesser und die Höhe für jeden Klassenmittelstamm bei jedem Durchforstungseingriff. Diese Stämme wurden nach NÄSLUNDS Tabellen kubiert. Nach der Multiplikation mit der Stammzahl der Klassen erhielt man die Masse vor und nach der Durchforstung sowie schliesslich die gesamte Massenproduktion (siehe Kap. 28).

Kap. 5. Wahrscheinlicher Zuwachs

5.1. Einleitung

Wie schon früher gesagt, will die Produktionsforschung klar machen, wie der Wald unter verschiedenen Bedingungen wächst. Es geht dabei nicht um die Prognose wie sich einzelne Waldbestände wirklich entwickeln werden. Dazu wäre die vollständige Kenntnis über die Wachstumsgesetze des Waldes sowie den derzeitigen Zustand der dabei tätigen Faktoren und die zukünftigen Veränderungen jedes Bestandes erforderlich. Soweit werden wir niemals kommen. Unsere Aufgabe ist viel anspruchsloser aber gleichwohl ungemein wichtig. Wir suchen die wahrscheinliche Entwicklung von Typbeständen.

Was ist dabei mit wahrscheinlicher Entwicklung gemeint? Die Entwicklung eines Bestandes wird durch den Zuwachs und die Pflege bestimmt. In der Praxis wird die Pflege durch die Anpassung an die bei jedem Eingriff herrschende Lage geformt. Bei den Untersuchungen um die es hier geht, stellt man im Vorhinein ein bestimmtes Pflegeprogramm auf. Unter dieser Voraussetzung ist nur der Zuwachs unbekannt. Um die wahrscheinlichen Entwicklungen von Typbeständen bestimmen zu können müssen wir deren Zuwachs berechnen.

5.2. Die Gruppeneinteilung

Um diese Zielsetzung zu erklären, wollen wir ein Gedankenexperiment machen. Aus einem umfangreichen Beobachtungsmaterial nehmen wir eine Gruppe von Kiefernbeständen, welche alle die Bedingung erfüllen, wonach das Alter 80 Jahre, die Höhe 17 m und die Stammzahl 500 sei. Im Übrigen ist für die Bestände jede mögliche Variation gestattet. Von den Zuwachsmessungen in dieser Gruppe berechnen wir den Mittelwert und die Streuung. Aus statistischen Gründen betrachten wir den Mittelwert als eine Schätzung des wahrscheinlichen Zuwachses der Gruppe und berechnen die Genauigkeit der Schätzung.

Wir können nun, noch immer als Experiment, Alter, Höhe und Stammzahl als Variable betrachten und diese alle vorkommenden Werte annehmen lassen. Indem wir diese Variablen dann auf jede mögliche Art kombinieren, definieren wir eine grosse Zahl neuer Gruppen auf die das Material dann aufgeteilt wird. Innerhalb jeder Gruppe wird wie vorher der wahrscheinliche Zuwachs, die Streuung und die

Genauigkeit berechnet. Diese Berechnungen geben uns also eine Bewertung des wahrscheinlichen Zuwachses für jede mögliche Kombination von Alter, Höhe und Stammzahl.

Nun entsteht die Frage, ob wir nicht genauere Bewertungen zustande bringen können. Als erste Bedingung müssen wir dazu die Streuung innerhalb der Gruppen verringern. Wir fügen versuchsweise noch eine gruppendifinierende Variable hinzu, z. B. den mittleren Durchmesser. Dies bedeutet, dass jede der vorher gebildeten Gruppen in Untergruppen aufgeteilt wird, welche Bestände mit gleichem mittleren Durchmesser umfassen. Dadurch sinkt die Streuung innerhalb der Gruppen, da der mittlere Durchmesser als Variationsursache wegfällt.

Wir setzen auf diese Weise fort und fügen neue gruppendifinierende Variable hinzu. Früher oder später kommen wir zu einer Grenze, wo neue Variabelversuche versagen. Die Streuung des Zuwachses sinkt nicht mehr. Das braucht nicht darauf zu beruhen, dass die zuletzt versuchten Variablen keinen Einfluss auf den Zuwachs haben. Ein solcher Einfluss kann existieren, wurde aber vielleicht schon von früher aufgenommenen Variablen kompensiert, welche mit den zuletzt versuchten in Verbindung stehen.

Um das Bild zu vervollständigen müssen wir hinzufügen, dass eine neue Variable in die Gruppendifinition aufgenommen werden kann, indem wir eine oder mehrere der bisherigen wegnehmen. Ausserdem sind nur solche Variable anwendbar, welche bei der Aussenarbeit beobachtet werden können. Auch wenn wir mit Sicherheit wissen, dass ein Faktor den Produktionsprozess beeinflusst, kann dieser nicht ausgenützt werden, wenn er nicht beobachtet werden kann.

Wir sprachen über den mittleren Durchmesser als Variationsursache und den Einfluss von bestimmten Variablen auf den Zuwachs. Das sind nur Bilder. Was konstatiert werden kann, ist das Vorhandensein von statistischen Zusammenhängen. Inwieweit diese auf direkter Kausalität beruhen oder als Parallelerscheinungen aufzufassen sind, hat für dieses Problem keine Bedeutung.

Der Schluss des Ganzen ist, dass es in jedem Problem einen bestimmten Anteil gruppendifinierender Variable gibt, welcher bei der Anwendung des beschriebenen Verfahrens die grösste Sicherheit für den zu bestimmenden Zuwachs gibt. Die restliche Streuung können wir nicht beseitigen, bevor uns die Forschung eine weitere Präzisierung der Gruppendifinition gibt.

Indessen war, wie schon gesagt, die beschriebene Gruppenbildung nur ein Gedankenexperiment. Dieses kann in Wirklichkeit nicht durchgeführt werden, da die Anforderungen an das Material überwältigend sein würden. Der Gedanke wurde aufgerollt, weil er auf ausgezeichnete Weise zeigt, was bei der besten Arbeitsmethode der Produktionsforschung, der Regressionsanalyse, vor sich geht. Bei einem Vergleich damit wird die Gruppeneinteilung zu einem unerreichbaren Ideal und die Regressionsanalyse zu einer durchführbaren Annäherung.

Kap. 6. Die Regressionsanalyse

6.1. Einleitung

Hinsichtlich der Regressionsanalyse wird auf die statistische Fachliteratur hingewiesen. Hier sollen nur einige Punkte berührt werden, welche für die Anwendung der Analyse innerhalb der forstlichen Produktionsforschung von Bedeutung sind. Diese Übersicht gibt Teile eines Referates von fil. lic. B. MATÉRN wieder.

Die Regressionsanalyse ist auf der Methode der kleinsten Quadrate aufgebaut, welche wahrscheinlich von LEGENDRE 1806 zum ersten Mal beschrieben wurde. Unabhängig von ihm wurde sie von GAUSS 1809 entwickelt.

Die frühere Verwendung der Methode der kleinsten Quadrate fällt in die Fehlertheorie. Eines der Hauptprobleme war dabei die »Ausgleichung vermittelnder Beobachtungen«. Bei solchen Problemen sind gewisse Beobachtungen (Y_1, Y_2, \dots, Y_n) gegeben. Der »wirkliche« Wert von Y ist eine Funktion, deren analytischer Ausdruck bekannt ist, in dem aber unbekannte Parameter (b_1, b_2, \dots, b_k , mit $k < n$) enthalten sind. Der gemessene Wert ist gleich dem wirklichen Wert plus einem Messfehler e_i . Wir haben also

$$Y_i = f_i(b_1, \dots, b_n) + e_i \quad (i = 1, 2, \dots, n) \dots\dots\dots (6.1.1)$$

Wenn die Funktion f_i linear ist oder dazu umgeformt wird, kann man 6.1.1 auf folgende Weise schreiben:

$$Y_i = b_1 X_{1i} + b_2 X_{2i} + \dots + b_k X_{ki} + e_i \dots\dots\dots (6.1.2)$$

Die Grössen X sind dabei bekannt. Es soll der Wert der unbekannt Faktoren berechnet werden. Dazu wird die Methode der kleinsten Quadrate verwendet.

Die Ausdrücke Regression und Korrelation sollen von GALTON um 1880 stammen. Er beschäftigte sich mit linearer Regression und Korrelation von zwei Variablen. Gekrümmte Regression wurde von KARL PEARSON 1905 bearbeitet. Über lineare Regression und Korrelation von beliebig vielen Variablen gibt es eine allgemeine Abhandlung von YULE, 1907.

Diese Verfasser hatten eine Stichprobe (sample) von »Individuen« einer existierenden oder hypothetischen »Population« vor Augen. Für jedes Individuum der Probe wurden die Werte bestimmter messbarer Eigenschaften beobachtet ($Y, X_1, X_2 \dots$). Die Frage lautete: Was für ein Zusammenhang besteht bei der Variation dieser Quantitäten in der Population? Jene Menge welche hier mit Y bezeichnet wird, nahm in der Fehlertheorie gegenüber den übrigen keine Sonderstellung ein. Man hatte besonderes Interesse für ein Mass des Zusammenhanges der Variation und verwendete zu diesem Zweck Korrelationskoeffizienten. Oft wollte man doch ausserdem einen Durchschnittswert für eine der Grössen haben (eine »abhängige« Variable, z. B. Y), wenn man den übrigen »unabhängigen« Variablen gleichzeitig verschiedene Kombinationen der Werte gab. Unter der Voraussetzung, dass der Zusammenhang durch eine lineare Funktion ausgedrückt werden konnte, erhielt man die Regressionsfunktion

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + \dots + b_k X_k \dots\dots\dots (6.1.3)$$

Die Formel 6.1.3. ist von derselben Art wie der Ausdruck für den wahren Wert von Y bei 6.1.2. Der Unterschied liegt in der Bedeutung von X . In der Fehlertheorie sind dies von dem Beobachter festgesetzte Konstanten. In der Korrelationstheorie sind es »random variables« mit Wahrscheinlichkeitsverteilungen.

Scheinbar haben später immer mehr Verfasser auch Fälle mit »non-random«, unabhängigen Variablen, in die Regressionstheorie aufgenommen, also Fälle, bei denen die Korrelationskoeffizienten kaum einen Sinn haben.

Beispielsweise sagt FISHER in »Statistical Methods« (4. Aufl. 1932, S. 120): »The idea of regression is usually introduced in connexion with the theory of correlation, but it is in reality a more general, and, in some respects, a simpler

idea; and the regression coefficients are of interest and scientific importance in many classes of data where the correlation coefficient, if used at all, is an artificial concept of no real utility.«

Die Art der numerischen Berechnung der Grössen b_1, b_2, \dots aus 6.1.2 und 6.1.3 war in der ursprüngliche Korrelationstheorie wie in der Fehlertheorie dieselbe, nämlich die Methode der kleinsten Quadrate. Innerhalb der Fehlertheorie dürfte man zumeist Rechenmethoden angewendet haben, welche sich auf den GAUSS'schen Algorithmus stützen, z. B. diejenigen DOOLITTLES. YULES Berechnungsart dürfte hauptsächlich mit Rücksicht darauf ausgeformt worden sein, dass man von verschiedenen Aspekten aus den Grad und die Art des Variationszusammenhanges innerhalb der Population sehen könne. Sie zielt also nicht direkt auf die Bestimmung der Regression einer bestimmten Variable (Y) auf die für die Variation dieser Variablen relevanten übrigen Variablen ab. Für diese Aufgabe war die Berechnungsart von YULE der früher von GAUSS und seinen Nachfolgern dargestellten Art unterlegen. Für Verfasser, welche nicht an Populationsstudien interessiert sind, musste deshalb der Berechnungsgang von YULE ungeeignet erscheinen. Dies ist der Fall bei FISHER, MILLS und EZEKIEL. Letztere kehrten zur GAUSS'schen Methode der kleinsten Quadrate zurück. Die Priorität dürfte bei TOLLEY und EZEKIEL (1923) liegen. Kurz darnach kommt R. A. FISHER mit »Statistical Methods« (1925).

Soviel über das Referat von MATÉRN. Hier soll nur bestätigt werden, dass die beschriebene Rückkehr zum GAUSS'schen System einen starken und schnellen Aufschwung für die forstliche Produktionsforschung in Schweden zu Folge hatte. Dazu trug die einfache Darstellungsweise der genannten amerikanischen Verfasser wesentlich bei. Besonders ist hier MILLS (1925) zu nennen, welcher in äusserst klarer Weise über die von DOOLITTLE (1878) veröffentlichte Methode berichtete.

In der vorliegenden Untersuchung stellen die Anweisungen DOOLITTLES den Rahmen der Arbeit dar, während die Formeln von YULE für das Verstehen des inneren Zusammenhanges verwendet wurden.

Sowohl MILLS als auch EZEKIEL sagten in früheren Artikeln um 1920, dass ihre Methoden für die Lösung von Korrelationsproblemen bestimmt waren. EZEKIEL nannte 1930 ein Buch, in dem er der Methode DOOLITTLES grossen Raum einräumte, »Die Korrelationsanalyse«. Im Zusammenhang damit wurde diese Bezeichnung einige Jahre lang an der Forstlichen Versuchsanstalt verwendet. Da aber die Arbeiten der Produktionsforschung sachlich gesehen eine Regressionsanalyse darstellen, habe ich vorgezogen diese Bezeichnung zu wählen.

Es muss nochmals unterstrichen werden, dass diese Arbeit von einem Forstmann für Forstleute geschrieben wurde. Verfasser und Leser sind Amateure auf statistischem Gebiet. Dass dieses dennoch betreten wird, erklärt sich aus der Überzeugung, dass dieser Schritt notwendig ist. Die forstliche Produktionsforschung erfordert Zusammenarbeit von Fachleuten verschiedener Zweige, aber die Fragen müssen von Forstleuten gestellt werden und diese werden auch die Resultate anwenden. Es ist deshalb wichtig, dass Forstleute von der Hilfe, welche die statistische Analyse der Produktionsforschung geben kann, zumindest eine Vorstellung haben.

6.2. Die besonderen Forderungen der Produktionsforschung

Im Kap. 5 wurde die Regressionsanalyse mit einer gedachten Gruppeneinteilung des Materiales verglichen, wobei die Gruppen durch eine Anzahl von unabhängigen

Variablen definiert wurden. Für jede dieser Gruppen wurde — gemäss dieser Annahme — der mittlere Zuwachs aus Messungen auf den Versuchsflächen jeder Gruppe berechnet. Diese Mittelwerte wurden als Berechnung des wahrscheinlichen Zuwachses betrachtet.

Hinsichtlich der Voraussetzungen für die Untersuchung stellen Gruppeneinteilung und Regressionsanalyse dieselben Anforderungen an die Bearbeitung. Die unabhängigen Variablen, welche deren Voraussetzungen definieren, müssen jedenfalls so gewählt werden, dass die Definition ausreichend präzisiert ist. Es gibt jedoch einen wichtigen Unterschied zwischen dem gedachten Verfahren und der Regressionsanalyse. Dieser liegt darin, dass man im ersten Fall jede Gruppe separat bearbeitet, während die Analyse das ganze Material auf einmal ausgleicht. Dieser Ausgleich, welcher ein Bestandteil der Analyse ist, hat gute und schlechte Seiten. Er enthält Verbesserungen, da er zufällige — von unzulänglichem Material stammende — Abweichungen von den richtigen Gruppenmittelwerten beseitigt. Dagegen ist der Ausgleich ungünstig, wenn er systematische Abweichungen von den wahren Werten bringt. Solche Abweichungen, welche durch die Steilheit der Funktion entstehen, sind mehr oder weniger unausbleiblich. Es ist unsere Aufgabe, diese so weit als möglich zu verhindern.

Um solchen Fehlern entgegenzuwirken, können verschiedene Methoden verwendet werden. Ein in gewissem Umfang wirkendes Hilfsmittel ist die Umformung oder Überführung von einer oder mehreren unabhängigen Variablen, wenn also die primäre Variable gegen eine Funktion derselben Variable ausgetauscht wird. Eine andere Art ist die Kombination, wobei als neue Variable eine Funktion von mehreren primären Variablen eingesetzt wird.

Eine solche Anpassung der Regressionsfunktion an das Material ist eine ziemlich zeitraubende Angelegenheit. Unterstützung gibt die Streuung um die Funktion. Die Schwierigkeit besteht darin, dass man nicht weiss, in welchem Masse die Abweichungen auf einer unzureichend präzisierten Gruppeneinteilung oder eines Ausgleichsfehlers beruhen. Die immer angestrebte Verbesserung der Funktion kann im ersten Fall durch eine neue primäre Variable erreicht werden, während im anderen Fall eine Umformung oder Kombination Voraussetzung ist. Der einzige mögliche Weg sind wiederholte Versuche, welche durch die Streuung oder ein anderes Mass der Anpassung kontrolliert werden.

Hier beginnen die besonderen Erfordernisse der Produktionsforschung. Während einfachere Regressionsaufgaben sich mit Tendenzen beschäftigen können, bezweckt die Produktionsforschung die Beschreibung der wahrscheinlichen Entwicklung von Waldbeständen. Hierzu sind anpassungsfähige Funktionen erforderlich, welche nur durch sorgfältige Abstimmung auf das Material erreicht werden können. Dazu sind viele Versuche mit verschiedenen Variablen nötig. Die Möglichkeit eine solche Regressionsanalyse durchzuführen ist weitgehend von der Zeit abhängig, welche für jeden Variablenversuch notwendig ist. Wir kommen darauf unter 6.13 zurück.

6.3. Totale Regression

Zuletzt wurde die Regressionsanalyse in verschiedenen Zusammenhängen mit einer gedachten Gruppeneinteilung verglichen. Die Bestimmung einer abhängigen Variablen, z. B. des Zuwachses, welche man in einem gegebenen Fall durch eine Regressionsfunktion erhält, ergibt nach dieser Anschauung eine Berechnung des wahrscheinlichen Wertes des Zuwachses innerhalb derjenigen Gruppe, welche

durch die unabhängigen Variablen der Gruppe definiert wird, von diesem Gesichtspunkt aus betrachtet man zur besseren Erklärung am besten den einfachsten Regressionsfall, nämlich die totale Regression von Y auf X .

Fig. 6.3.1. Durch eine Regressionsanalyse vom Typ $Y = a + bX$ ausgeglichenes Material. Der Umfang des Materials wird durch die strichlierten Linien begrenzt.

In der Fig. 6.3.1 stellen die Punkte Mittelwerte von in X -Klassen gemessenen Y -Werten dar.

Jeder dieser Punkte ist eine Berechnung des wahrscheinlichen Y -Wertes der betreffenden X -Klasse. Solange wir einzelne Klassen allein betrachten, können wir nicht weiter als zu diesen Berechnungen kommen. Die Möglichkeiten werden aber grösser, wenn wir alle Klassen zusammen betrachten. Verbindet man die am nächsten liegenden Punkte, so erhält man eine eckige Kontur. Diese spiegelt unzweifelhaft die Verhältnisse des Materiales wieder, doch wir können daraus keine Allgemeingültigkeit ableiten. Wir wissen, dass die Mittelwerte der Klassen mit zufälligen Fehlern behaftet sind, welche sich bei vermehrtem Material verringern. Könnte man der Fig. 6.3.1 ein unendliches Material zu Grunde legen, so würde die Kontur in grossen Zügen ausgeglichen werden. Die so erhaltene Zusammenhangslinie wäre die gesuchte Regressionslinie. Wir kennen deren Form nicht, können uns ihr aber nähern, indem wir das Material versuchsweise durch Regressionslinien verschiedener Art ausgleichen.

Diese Arbeit wird stark von der Variationsweite des Materials und dessen Lage im Verhältnis zum o-Punkt der X -Skala beeinflusst. Es kommt oft vor, dass eine sonst gerade Regressionslinie in der Nähe des Nullpunktes gebogen werden muss. Diese Notwendigkeit wird aktuell, wenn das Material bis zu dem genannten Gebiet ausgestreckt wird, doch kann dann auch die Form der Kurve durch die Aufteilung des Materiales auf X -Klassen studiert werden. Im anderen Fall, wenn das Material vom Nullpunkt weit entfernt ist, besteht diese Möglichkeit nicht, und die Notwendigkeit der Berechnung dürfte kaum durch die Sortierung des Materiales festzustellen sein. Es ist ziemlich klar dass die Regressionslinie in diesem Fall gerade wird.

Den letztgenannten Fall zeigt Fig. 6.3.1 mit einer Regression der Form

$$Y = a + bX \dots \dots \dots (6.3.2)$$

wobei a positiv ist. Wir setzen voraus, dass a und b durch regelrechte Ausgleichung des Materiales bestimmt wurden.

Wir wollen nun annehmen, dass Y gemäss der Natur der Sache = 0 sein muss, wenn $X = 0$ ist. Um dieser Bedingung zu entsprechen und gleichzeitig das Material in ungefährender Übereinstimmung mit 6.3.2 auszugleichen, müsste die Regressionslinie konvex nach oben gebogen werden, vielleicht nach der Art \sqrt{X} . Wenn die Fig. 6.3.1 aber ein negatives a zeigen würde, müsste bei gleicher Voraussetzung ($Y = 0$ bei $X = 0$) die Regressionslinie konkav nach oben geformt werden, z. B. durch X^2 .

Nachdem für den am stärksten gekrümmten Teil kein Material vorhanden ist, würden solche Krümmungslinien zu oberflächlich sein. In solchen Fällen zieht man daher in der Regel vor, das Material ohne Rücksicht auf den Nullpunkt auszugleichen. Die Regressionslinie wird dann oft gerade. Für nicht beabsichtigte

Konsequenzen in der Nähe des Nullpunktes wird der Bearbeiter durch die Bedingung geschützt, dass die statistischen Resultate nicht ausserhalb der Grenzen des Materiales angewendet werden dürfen. Diese Regel ist so selbstverständlich, dass sie nicht in jedem einzelnen Fall zitiert werden muss.

Zuletzt wurde von geraden und gekrümmten Regressionslinien gesprochen. Dabei ist zu sagen, dass eine Regression nach der Methode der kleinsten Quadrate mit Rücksicht auf die gesuchten Konstanten immer linear ist. Inwieweit die Regressionslinie krumm oder gerade wird, beruht auf der Form und Lage der Variablen.

Man nehme z. B. an, dass X und Y ursprünglich Variablen sind. Wir legen die Punkte (X, Y) in ein Koordinatensystem ein und gleichen den Punkteschwarm aus. Es erweist sich, dass der Zusammenhang approximativ durch die Funktion

$$Y = a + b \sqrt{X} \dots\dots\dots (6.3.3)$$

wiedergegeben werden kann.

Wir bestimmen durch Regressionsanalyse die Konstanten a und b und berechnen die Werte Y' , welche verschiedenen Werten von X entsprechen. Legt man diese Y' -Werte in das Koordinatensystem (X, Y) ein, ist die Regressionslinie gekrümmt, während sie im Koordinatensystem (\sqrt{X}, Y) gerade ist.

6.4. Partielle Regression

Der letzte Abschnitt galt dem Zusammenhang zwischen einer abhängigen und einer unabhängigen Variablen. Gewöhnlich umfasst aber eine Regressionsfunktion mehrere unabhängige Variable. Wir nennen die abhängige Variablen Y und die unabhängigen Variablen $X_2, X_3 \dots X_n$. Unter partieller Regression versteht man Zusammenhänge zwischen Y und einer der unabhängigen Variablen, z. B. X_2 , wobei die übrigen unabhängigen Variablen konstant sind. Die partielle Regression kann von der totalen stark abweichen.

Solange die ursprünglichen Variablen ohne Umbildung in die Analyse übernommen werden können, ist die partielle Regression kein Problem. Es sind dabei nur die Regressionskoeffizienten unbekannt und sie gehen durch die Berechnung hervor. Aus 6.3 wissen wir, dass die Form der totalen Regressionen durch das Material studiert werden kann. Diese Möglichkeit ist bei partiellen Regressionen viel geringer, da diese erst während der Analyse auftreten. Da die letztere wiederum von der Form der Variablen abhängig ist, müssen wir mit Versuchen arbeiten.

Solche Versuche können auf verschiedene Art und Weise durchgeführt werden. Man kann Erfahrungen aus ähnlichen Untersuchungen haben, z. B. mit einer anderen Holzart und dabei eine Variabelform versuchen, welche sich bereits früher als geeignet erwiesen hat. In einem anderen Fall wird der Bearbeiter durch seine Kenntnis über die allgemeinen Verhältnisse des Untersuchungsobjektes unterstützt. Schliesslich kann man eine Vorstellung von der Form der Variablen durch Sortierung erhalten.

Sowohl für die Wahl der Variablen als auch für die Beurteilung von deren Form ist es von Vorteil, wenn man zuerst das Material mit Hilfe einer einfachen Funktion von untransformierten Variablen ausgleicht. Durch eine solche Funktion erhält man für jedes Element einen berechneten Wert Y' und eine Differenz $(Y - Y')$. Diese Differenzen, die s. g. Residualen, haben für die Beurteilung der Variablen eine grundlegende Bedeutung. Schon eine flüchtige Untersuchung der

Residualen unter Berücksichtigung der Eigenschaften eines jeden Elementes, kann wertvolle Hinweise geben. Dies tritt besonders dann ein, wenn der Bearbeiter sein Material gut kennt und bei der Untersuchung nicht bloss die ziffernmässigen Definitionen sieht, sondern das gesamte Bild des Elementes. In der Produktionsforschung stellt jedes Element eine Probestfläche zu einem bestimmten Zeitpunkt dar, solche Bilder sind also hier gemeint.

Wir setzen voraus, dass der Bearbeiter auf einem der genannten Wege oder auf andere Weise eine besondere Auffassung über die Hauptzüge der gesuchten Funktion erhalten hat. Danach sind diese zu präzisieren. Für die Fälle, bei denen gekrümmte Regressionen wahrscheinlich sind, wird man versuchen, diese oft durch einfache Standardkurven auszudrücken, z. B. Parabeln, Hyperbeln oder Exponentialfunktionen. Dabei ist es wichtig, dass die Kurven annäherungsweise richtige Potenzen erhalten, und dass sie richtig im Koordinatensystem liegen. In der letztgenannten Hinsicht erfolgt die vertikale Einpassung automatisch durch die Regressionsanalyse, doch für die horizontale Einordnung ist besondere Sorgfalt erforderlich. Bei Parabeln kann durch die Einführung der untransformierten Variablen eine Erleichterung eintreten. Für Hyperbeln mit $\frac{1}{x}$ erfolgt die ge-

wünschte Verschiebung durch eine Konstante im Nenner, also $\frac{1}{x+a}$.

Es muss aber zugegeben werden, dass keine der angegebenen Methoden vollkommen zufriedenstellt. Für Regressionsanalysen, welche die Produktionsforschung durchführen muss, würde es von unschätzbarem Wert sein, wenn die Wahl der Variabelform auf direktem Wege erfolgen könnte. Eine interessante Methode auf diesem Wege wurde von EZEKIEL (1924, sowie 1930, S. 189) angegeben. Das Verfahren wird in unserem Originaltext unter 6.4.1 bis 6.4.6 beschrieben.

Aus EZEKIEL's eigenen Beispielen geht hervor, dass die Approximation in der hier angegebenen Richtung fortsetzen kann. Bei der Produktionsforschung, wo die unabhängigen Variablen oft sehr zahlreich und untereinander stark korreliert sind, bin ich nicht weiter als bis zur ersten Approximation gekommen. Die weitere Fortsetzung hat nur wachsende Residuale und immer schlechtere Anpassung mit sich gebracht.

Dieses Resultat dürfte auf folgende Weise verständlich werden. Bei der grundlegenden Funktion 6.4.1 wurde der Anteil jeder unabhängigen Variablen bei der Berechnung von Y mittels b -Werten bestimmt, welche bei der Regressionsanalyse erhalten wurden. Dieses Verhältnis wird gestört, sobald die Residuale hinzugefügt werden. Es ist deshalb nicht sicher, dass die einfache Summierung unter 6.4.5 berechtigt ist. Die Anpassung dürfte besser sein, falls das Verfahren bei der ersten Approximation abgebrochen wird und die Funktionen $f'(X)$ als Variable einer neuen Regressionsanalyse auftreten.

6.5. Normalgleichungen

Dieser Punkt knüpft an MILLS (1938, Appendix A) an und umfasst 6.5.1 bis 6.5.7.

6.6. Reduzierung der Normalgleichungen

Die gemäss 6.5 aufgestellten Normalgleichungen wurden nach DOOLITTLE'S System reduziert. Für die Ausführung der Berechnung wird auf die eingehende

Beschreibung bei MILLS (1938, S. 655) verwiesen. Als Erleichterung der fortgesetzten Überlegungen wurde DOOLITTLES Rechnungsschema hier durch Symbole ausgedrückt (siehe Methodenbeilage M 1). Dabei wurden einige kleinere Änderungen bei der Aufstellung gemacht.

In unserem Schema bezeichnen:

Block 1 die Zeilen 1—2 bei MILLS
 » 2 » » 3—6 » »
 » 3 » » 7—11 » » usw.

Die Reziprokkolonne hat bei uns keine Nummer, da die Nr. 1 der ersten Kolonne im Block 1 vorbehalten war. MILLS' Kolonne 5 enthält Produkte mit Y , welche bei uns X_0 genannt werden, weshalb diese die Überschrift 0 erhielt. Die Kontrollkolonne 6 blieb weg, da die doppelte Rechnung für unsere Arbeiten vorteilhafter ist.

Die Methodenbeilage M 1 ist für den Normalfall 6.5.5 erstellt und umfasst vier Blöcke. In der Tafel werden die Termen der Normalgleichung mit n bezeichnet, die Summen mit s und die Koeffizienten mit c . Z. B. bedeutet s_{34} die Summe der Kolonne 4 in Block 3.

Die Summen erhält man, indem man zum Normalgleichungsterm bestimmte Produkte cs addiert. Im Block 1 gibt es keine solchen Produkte, weshalb die Normalgleichungstermen dort als Summe fungieren.

Das Reziprok des Blockes ist der reziproke Wert der Summe im Diagonalfeld. Der Faktor R stellt den reziproken Wert mit umgekehrtem Vorzeichen dar. Die Koeffizienten c der verschiedenen Kolonnen erhält man durch Multiplikation der entsprechenden Summen mit R .

Die Bildung der cs -Produkte verlangt eine nähere Erklärung. Im Block 3 gibt es z. B. fünf Reihen. In der ersten Reihe stehen die Normalgleichungstermen, in der zweiten die ersten cs -Produkte, in der dritten Reihe die zweiten cs -Produkte, in der vierten Reihe die Summen s der Normalgleichungsausdrücke und in der fünften Reihe die Koeffizienten c .

Im Block 3 enthalten z. B. alle ersten cs -Produkte denselben Koeffizienten, welcher aus dem Diagonalfeld des Blockes 1 stammt, also c_{13} . Die in jedem dieser Produkte enthaltene Summe s erhält man aus der betreffenden Kolonne des ersten Blockes und in den speziellen Kolonnen s_{13} , s_{14} und s_{10} . Auf dieselbe Weise erhält man den Koeffizienten aller anderen cs -Produkte von Block 2 in der Kolonne des Diagonalfeldes, also c_{23} . Die in jedem dieser Produkte enthaltene Summe s erhält man vom zweiten Block in der betreffenden Kolonne und beträgt in den speziellen Kolonnen s_{23} , s_{24} und s_{20} .

6.7. Die Bedeutung der Symbole

Falls man nur die Normalgleichungen reduzieren will dürften die Anleitungen unter 6.6 genügen. Für das Verstehen der Resultate ist es aber sehr wünschenswert, dass die Ansprüche etwas höher gestellt werden. Deshalb wird im Folgenden die Bedeutung der unter 6.6 verwendeten Symbole diskutiert. In ganz elementarer Weise wird dabei an Bezeichnungen und Formeln von drei für die meisten Forstleute bekannten Arbeiten angeschlossen, nämlich YULE (1927), YULE und KENDALL (1937) und MILLS (1938). Forschungsinteressierten wird empfohlen, sich bei den genannten Verfassern in die Ableitung der Bezeichnungen und Details einzusetzen

(siehe bes. YULE, Kap. 12; YULE u. KENDALL, Kap. 14; sowie MILLS, Kap. 10 u. 16) und ev. als Anwendungsübung die Ableitungen in meiner Methodenbeilage M 2 durchzurechnen.

Dieser Diskussion liegt das Gleichungssystem 6.5.7 zu Grunde. Dort werden die Variablen mit Y und W bezeichnet. Für leichteren Kontakt mit den angegebenen Verfassern werden hier die Variablen mit X bezeichnet, jedoch mit der Ausnahme, dass die abhängige Variable bei uns X_0 genannt wird. Der Mittelwert z. B. von X_2 wird A_2 genannt und die Abweichung ($X_2 - A_2$) als x_2 bezeichnet. Das letztgenannte Symbol wird erst später verwendet. Weiters wird hier — wie bei den genannten Verfassern — der Korrelationskoeffizient mit r bezeichnet. In anderen Fällen werden die in meinem Kap. 11 angegebenen Bezeichnungen verwendet, nämlich ρ für den Korrelationskoeffizienten und ν für den σ -Zuwachs.

Für die im vorletzten Absatz erwähnten Formeln sind einige Beispiele unter 6.7.1 bis 6.7.12 des schwedischen Textes zu finden.

Die Formeln sind aus den Voraussetzungen der Methode der kleinsten Quadrate abgeleitet und zeigen von verschiedenen Gesichtspunkten aus, was bei der Anwendung dieser Methode geschieht. Man kann diese inneren Zusammenhänge umgehen, indem man kategorisch den äusseren Regeln folgt, z. B. DOOLITTLE'S Rechenschema. Man darf aber nicht vergessen, dass die Zusammenhänge auch hinter diesem Schema existieren.

Unter 6.7.11 steht z. B. auf der linken Seite $b_{02.34}$. Die Ziffern 0 und 2 links vom Punkt werden primäre Indizes genannt. Sie bedeuten, dass b für die Regression von X_0 auf X_2 gilt. Deren Ordnung zueinander kann daher nicht umgeworfen werden. Die Ziffern 3 und 4 rechts vom Punkt werden sekundäre Indizes genannt. Sie sagen aus, dass b eine partielle Regression von X_0 auf X_2 bedeutet, wobei auch X_3 und X_4 in der Funktion vorkommen. Die Reihenfolge von 3 und 4 ist also nebensächlich.

6.7.10 zeigt, dass der Korrelationskoeffizient r die gleichen Indizes wie b hat. Bei r kann indessen die Reihenfolge der primären Indizes 0 und 2 ohne sachliche Änderung vertauscht werden.

Gemäss 6.7.4 hat das mittl. Produkt p dieselben Indizes wie r . Die Reihenfolge der primären oder sekundären Indizes untereinander ist auch hier ohne Bedeutung.

Die mittl. Abweichung σ und die Streuung S haben nur einen primären Index. Bei den sekundären Indizes ist die Reihenfolge unwesentlich.

Mein Ziel ist nun, die rein formellen Symbole in M 1 mit sachlich definierten Symbolen zu ersetzen. Zuerst werden in der ersten Reihe jedes Blockes die dazugehörigen Termen der Normalgleichung geschrieben. Danach erfolgt die Berechnung nach den Anweisungen in M 1. Die neuen Ausdrücke werden in der Beilage M 3 eingesetzt, welche also eine Umschreibung von M 1 darstellt.

Im Block 1, wo keine cs -Termen vorkommen, erscheinen die Termen der Normalgleichungen als Summen. Aus der Summe des Diagonalfeldes wird R durch Invertierung und Vorzeichenänderung berechnet. Danach erhält man alle Koeffizienten c durch Multiplikation jeder Summe mit R .

Auch im Block 2 sind die Umformungen so einfach, dass sie sofort durchgeführt werden können. Sie bauen auf den Formeln 6.7.1 und 6.7.2 auf.

Hinsichtlich der übrigen Blöcke ist es günstig, einige Beispiele durchzurechnen. Man sieht dann bald, nach welchen Regeln die Summen und Koeffizienten gebildet werden. Zu diesem Zweck wurden die Ableitungen von s_{33} , s_{34} , s_{30} , s_{44} und s_{40} in die Methodenbeilage 2 aufgenommen.

6.8. Die Umformung zu Abweichungen

Besonders bei grösseren Regressionsanalysen ist es oft am bequemsten, die eigentlichen X -Variablen in der Normalgleichung zu verwenden, wie dies in der Beilage M 3 geschehen ist. Für die Diskussion über die Bedeutung der Rechnung ist es aber vorteilhaft, statt dessen die Abweichungen x zu betrachten. Wir müssen daher die Beilage M 3 zu M 4 umformen, welche letztere auf Abweichungen fusst. Zuerst müssen dabei die Normalgleichungen zu Funktionen von x umgeformt werden. Wir gehen von den Normalgleichungen in Beilage M 3 aus, stellen uns aber das Gleichungssystem unter der Diagonale mit Hilfe der aufgezeigten Symmetrie vervollständigt dar. Um die Aufstellung zu vereinfachen werden die Multiplikationen mit 100 und 10 000 im Block 1 weggelassen.

Die Überlegung schliesst an ein Verfahren von TOLLEY und EZEKIEL (1923) an, über welches von MILLS (1938 S. 652) berichtet wird. Da in diesem Zusammenhang keine Missverständnisse auftreten können, wird die vollständige Bezeichnung der Regressionskoeffizienten der genannten Verfasser vereinfacht, z. B. $b_{13,24}$ zu b_3 . Die Art des Gedankenganges geht aus 6.8.1 bis 6.8.4 des schwedischen Textes hervor.

Das System wird auf gewöhnliche Weise in der Beilage M 4 reduziert, wobei Block 2 wie Block 1 in M 3 behandelt wird, Block 3 wie vorher Block 2 usw.

Wir sehen, dass die Summen und Koeffizienten in M 3 und M 4 für jeden Block gleich sind. Das bedeutet, dass auch die Resultate gleich sind, falls die Konstante a in beiden Fällen nach der Gleichung I unter 6.8.1 berechnet wird.

Wenn die Variablen X zu Abweichungen umgeformt werden, wird das System 6.8.3 aufgelöst und die Berechnung von a erfolgt danach ohne Schwierigkeit.

Dagegen können Komplikationen auftreten, wenn man den ersten Block in solchen Systemen streicht, in denen die ursprünglichen Variablen X in den Normalgleichungen enthalten sind. Die Massnahme ist nur dann berechtigt, wenn a bei freier Berechnung 0 oder fast 0 würde.

Dazu kommt man vorzugsweise in zwei Fällen. Einmal mit der Gewohnheit, den mittl. Fehler der Koeffizienten zu berechnen. Man hat vielleicht eine Funktion mit a ausprobiert und gefunden, dass diese gemeinsame Konstante einen sehr grossen mittl. Fehler hat. Da man dies als Schönheitsfehler betrachtet, will man die schlechte Konstante loswerden und macht deshalb eine Regression ohne a . In solchen Fällen ist a gewöhnlich klein, weshalb das Nullsetzen keine grösseren Störungen verursacht.

Der andere Fall ist gefährlicher. Wir setzen voraus, dass die ursprünglichen Variablen X ausgeglichen werden sollen. Man stellt sachlich fest, dass die Funktion = 0 sein muss, da alle unabhängigen Variablen = 0 sind. Deshalb wird der erste Block, welcher sonst ein a liefert, gestrichen und die Reduzierung beginnt mit dem zweiten Block. Wenn nun das Material ein a haben »will«, so wird dadurch die Reduzierung derart verdreht, dass nicht einmal die Berechnung eines freistehenden a laut Gleichung I unter 6.8.1 helfen kann. Am besten kontrolliert man ein solches System so, dass man in der Funktion zum Schluss eine Konstante einsetzt, z. B. 100, welche dann wie eine Variable behandelt wird. Diese Konstante, multipliziert mit dem der Funktion zugehörigen b , ist deren richtiges a . Ist dieses a klein, kann es weggelassen werden.

6.9. Die Lösung der Normalgleichungen

Wir gehen auf die Gleichungssysteme 6.5.3 und 6.5.4 zurück. Dort ist in Übereinstimmung mit der Ableitung jede Gleichung $= 0$ gesetzt. Bei 6.5.5, 6.5.6 und 6.5.7 wurden die Ausdrücke unter der Diagonale weggelassen. Die Zeilensummen sind daher nicht $= 0$. Man kann indessen eine ursprüngliche Gleichung rekonstruieren, d. h. die dritte, indem man vom Ausdruck in Block 1, Kolonne 3 ausgeht und nach unten bis zum Diagonalfeld fortsetzt. Danach folgt man Block 3 nach rechts. Die so abgelesene Gleichung ist $= 0$.

Wenn wir in der Beilage M 1 dieselbe Abgrenzung zum Feld über der Diagonalen finden wie in 6.5.5, so hat dies eine andere Bedeutung. In der Beilage M 1 bilden die Koeffizienten c reduzierte Normalgleichungen, wobei die Abwesenheit von Ausdrücken unter der Diagonale durch sukzessive Elimination entstand. Im reduzierten System steht jede Gleichung auf jeder Zeile ganz ausgeschrieben und die Summe ist $= 0$.

Im System 6.5.3 bis 6.5.7 werden die unbekanntenen Regressionskoeffizienten mit a , b , c und d bezeichnet. Unsere entsprechenden Koeffizienten werden b_1 , b_2 , b_3 und b_4 genannt. Diese wurden in den Beilagen M 1, M 3 und M 4 nicht ausgeschrieben, sie sollen aber als Faktoren in den Ausdrücken der Gleichungen erscheinen, bevor diese summiert werden.

Die Koeffizienten c in jedem Block erhält man, indem die Summen der Blocks mit der Grösse R multipliziert werden, welche den reziproken Wert mit umgekehrtem Vorzeichen der Summe im Diagonalfeld darstellt. Deshalb ist c in der Diagonale immer $= -1$.

Der Regressionskoeffizient z. B. in Kol. 3 ist b_3 . Das Produkt bc wird deshalb im Diagonalfeld $= -b_3$. Wir gehen damit auf die rechten Glieder über, welche bereits vorher $= 0$ waren. Wir erhalten dadurch ein System, welches in der Tab. 6.9.1 wiedergegeben wird.

Tab. 6.9.1 sagt uns, dass $b_4 = c_{40}$ ist. Diesen Wert erhält man durch Reduktion. In unserem Beispiel erhält man b_3 , indem man b_4 in die Gleichung 3 einsetzt, und b_2 durch Einsetzen von b_4 und b_3 in die Gleichung 2. Auf ähnliche Weise erhält man b_1 .

Im Anschluss an die Diskussion unter 6.7 muss hervorgehoben werden, dass b_4 eine Verkürzung der vollständigen Bezeichnung ist. Es war natürlich unsere Absicht, den partiellen Regressionskoeffizienten von X_0 auf X_4 in einer Funktion zu bestimmen, wo auch X_2 und X_3 auftreten. Ein solcher Koeffizient wird $b_{04.23}$ geschrieben. Es kann von Interesse sein zu sehen, wie die Absicht durchgeführt wurde. Wir haben laut 6.9.1 und M 3

$$b_4 = c_{40} = \frac{\hat{p}_{04.22}}{\sigma_{4.23}^2} = \frac{r_{04.23} \cdot \sigma_{0.23} \cdot \sigma_{4.23}}{\sigma_{4.23}^2} = r_{04.23} \cdot \frac{\sigma_{0.23}}{\sigma_{4.23}} = b_{04.23}$$

Durch eine etwas kompliziertere Berechnung erhält man mit Hilfe der Tab. 6.9.1, Beilage M 3, sowie der Formeln 6.7.4, 6.7.11 und 6.7.9

$$b_3 = b_{03.24} \quad \text{und}$$

$$b_2 = b_{02.34}$$

In der Tabelle 6.9.1, Block 1 sind laut M 3 die Koeffizienten c gleich den Mittelwerten der Variablen, dividiert durch 100. Wie unter 6.8.2 werden die Mittelwerte mit A bezeichnet. Wir erhalten

$$100 b_1 = A_0 - b_2 A_2 - b_3 A_3 - b_4 A_4.$$

Aber die rechte Seite ist laut 6.8.2, Gleichung I = a, daraus

$$a = 100 b_1.$$

Man beachte, dass die Beilage M 3 auf dem Gleichungssystem 6.5.7 aufbaut, wo die Variable W_1 aus den angegebenen Gründen = 100 gesetzt wurde. Hätte man statt M 3 das Gleichungssystem 6.5.6 verwendet, in dem $W_1 = 1$ gesetzt wurde, hätten wir

$$b_1 = A_0 - b_2 A_2 - b_3 A_3 - b_4 A_4,$$

erhalten, und daraus

$$a = b_1.$$

Wir ersehen aus der Beilage M 3, dass die Multiplikation mit 100 nur den ersten Block beeinflusst. Sie hat deshalb keinen Einfluss auf die Regressionskoeffizienten b_2, b_3 usw. und auch nicht auf a . Nur der Hilfsfaktor b_1 wird geändert: er wird mit 100 dividiert.

Alle hier diskutierten Koeffizienten bezogen sich auf eine Funktion mit vier Variablen. Wenn wir uns auf die ersten drei Blöcke in M 3 beschränken, wird der letzte Koeffizient $b_3 = c$ 30. Daraus folgt

$$b_3 = \frac{\hat{p}_{03.2}}{\sigma_{3.2}^2} = \frac{r_{03.2} \cdot \sigma_{0.2} \cdot \sigma_{3.2}}{\sigma_{3.2}^2} = r_{03.2} \cdot \frac{\sigma_{0.2}}{\sigma_{3.2}} = b_{03.2}.$$

Bei Beschränkung auf die ersten zwei Blöcke wird der letzte Koeffizient $b_2 = c$ 20. Daraus

$$b_2 = \frac{\hat{p}_{02}}{\sigma_2^2} = \frac{r_{02} \cdot \sigma_0 \sigma_2}{\sigma_2^2} = r_{02} \cdot \frac{\sigma_0}{\sigma_2} = b_{02}.$$

6.10. Die Streuung

Bei der Regressionsarbeit suchen wir eine Funktion, welche — abgesehen vom Ausgleich zufälliger Abweichungen — sich so nahe als möglich an das Material hält. Die Anpassung kann durch die Streuung um die Funktion beurteilt werden.

Bei MILLS (1938) beginnt die Ableitung dieser Grösse auf Seite 643. Das Resultat wird in der Formel (7) angegeben und zwar:

$$S_y^2 = \frac{\sum Y^2 - a \sum (W_1 Y) - b \sum (W_2 Y) - c \sum (W_3 Y) - d \sum (W_4 Y)}{N}.$$

Die Bezeichnungen der Formeln sind dieselben wie im Gleichungssystem 6.5 in dieser Arbeit. Wir bezeichnen nun die Variablen laut Beilage M 3 und die Regressionskoeffizienten wie unter 6.9. Die Formel lautet dann:

$$S_{0.234}^2 = \frac{\sum X_0^2 - a \sum X_0 - b_{02.34} \sum X_0 X_2 - b_{03.24} \sum X_0 X_3 - b_{04.23} \sum X_0 X_4}{N} \quad (6.10.1)$$

Bevor die Streuung durch Regressionen verringert wird, muss sie mit der mittl. Abweichung der abhängigen Variablen identisch sein. Wir können deshalb die

Formel kontrollieren, indem wir nach Nullsetzung der Koeffizienten b die Abweichung untersuchen. Dann wird

$$S_0^2 = \frac{\sum X_0^2 - a \sum X_0}{N} \dots\dots\dots (6.10.2)$$

Wie unter 6.8 werden die Mittelwerte der Variablen mit A bezeichnet. Für die Regressionskoeffizienten werden verkürzte Bezeichnungen verwendet. Dann ist

$$a = A_0 - b_2 A_2 - b_3 A_3 - b_4 A_4.$$

Wenn man b_2 , b_3 und b_4 nullsetzt, wird

$$a = A_0 = \frac{\sum X_0}{N}.$$

Daraus

$$S_0^2 = \frac{\sum X_0^2}{N} - \frac{(\sum X_0)^2}{N^2} = \sigma_0^2 \dots\dots\dots (6.10.3)$$

Die Formel 6.10.1, welche allgemein verwendet wurde, setzt voraus, dass die Regressionskoeffizienten vor der Streuung berechnet werden. In versuchsweisen Analysen, welche man oft abbrechen möchte, erweist sich diese Arbeitsweise als schwierig, besonders wenn die Zahl der Variablen gross ist. Deshalb wurde in der Produktionsforschung dieses Verfahren gegen ein neues ausgetauscht. Bevor wir hierauf zurückkommen, wollen wir ein paar wichtige Begriffe diskutieren.

6.11. Quadratsummen

Die Realitäten, welche in diesem Abschnitt behandelt werden, decken sich fast ganz mit den Formeln unter 6.7. Das Interesse für diese Relationen und die Fähigkeit sie zu beherrschen dürfte indessen vergrössert werden, wenn man sie auch von anderen Gesichtspunkten aus betrachtet. Mit diesem Ziel will ich hier einige Definitionen anführen, welche von BONNIER und TEDIN in der Arbeit »Biologisk variationsanalys« (Biologische Variationsanalyse) (1940) formuliert wurden.

Das statistische Material besteht aus Angaben von Massen oder anderen Grössen. Die Grössen werden Variaten genannt. Wir betrachten zuerst eine Sammlung von n Variaten gleicher Art. Den Mittelwert davon erhält man durch Addition der Variaten und Division mit n .

Wir nehmen nun an, dass wir den Unterschied zwischen jeder Variate und dem Mittelwert berechnen, sowie, dass diese Unterschiede quadriert und die so erhaltenen Quadrate summiert werden. Wir erhalten so die Quadratsumme aller Abweichungen oder kurz die Quadratsumme. Ziel dieser Überlegung ist die Präzisierung der Begriffe. Deshalb gehen wir darüber hinweg, dass die Quadratsumme auf eine bequemere Art, als die beschriebene, ausgerechnet werden kann. Wir haben, wenn S in diesem Referat eine Summe bezeichnen darf, die

$$\text{Quadratsumme} = S (x - \bar{x})^2 \dots\dots\dots (6.11.1)$$

und

$$s^2 = \text{mittl. Quadrat} = \frac{\text{Quadratsumme}}{n - 1} \dots\dots\dots (6.11.2)$$

Bei der Berechnung des Mittelwertes wurde die Variatensumme mit n dividiert, während die Quadratsumme unter 6.II.2 mit $n - 1$ dividiert wurde. Der Anlass dazu kann unter BONNIER und TEDIN (1940, S. 19) nachgelesen werden. Unter 6.II.2 stellt $n - 1$ die Anzahl der Freiheitsgrade dar. Damit wird die Zahl der Abweichungen verstanden, welche beliebig gewählt werden können, da der Mittelwert gegeben ist.

Unter 6.II.2 wurde das mittl. Quadrat für die gegebenen Variaten angegeben. Man kann auch das mittl. Quadrat für den Mittelwert berechnen. Das setzt eine Variation des Mittelwertes voraus. Wir kommen zu der Auffassung, dass der Mittelwert variiert, indem wir die gegebene Sammlung als Stichprobe aus einer unendlichen Menge betrachten, eine sog. statistische Population. Wir denken uns, dass viele Sammlungen von n Variaten zufällig aus dieser Population genommen werden. Jede solche Sammlung hat einen Mittelwert und ein mittl. Quadrat. Wir erhalten also viele Mittelwerte und für diese kann ein mittl. Quadrat berechnet werden, welches folgendermassen definiert wird.

$$\text{mittl. Quadrat des Mittelwertes} = \frac{s^2}{n} \dots \dots \dots (6.II.3)$$

Die klassische Analyse verwendet die Quadratwurzel des mittl. Quadrates als Mass für die Variation. Daraus erhält man durch 6.II.2

$$s = \text{Standardabweichung oder Streuung} \dots \dots \dots (6.II.4)$$

und aus 6.II.3

$$\frac{s}{\sqrt{n}} = \text{mittl. Fehler des Mittelwertes} \dots \dots \dots (6.II.5)$$

In dieser kurzen Übersicht haben wir nur die Variation einer Variate studiert. Es bleibt die Variation von zwei Variaten zu betrachten, welche wir x und y nennen.

Zuerst wird die Produktsumme berechnet, d. h. die Summe aller Produkte der Abweichung von x eines Variatenpaares vom Mittelwert \bar{x} und der Abweichung y im selben Variatenpaar vom Mittelwert \bar{y} . Wir erhalten die

$$\text{Produktsumme} = S (x - \bar{x}) (y - \bar{y}) \dots \dots \dots (6.II.6)$$

Dann erhält man das mittl. Produkt analog der Berechnung des mittl. Quadrates durch Dividieren der Produktsumme mit $n - 1$, also das

$$\text{mittl. Produkt} = \frac{S (x - \bar{x}) (y - \bar{y})}{n - 1} \dots \dots \dots (6.II.7)$$

Der Regressionskoeffizient wird als Quotient des mittl. Produktes und des mittl. Quadrates der unabhängigen Variate x definiert. Aber nachdem diese beiden Zahlen aus der Produktsumme bzw. aus der Quadratsumme in x nach der Division mit derselben Zahl $n - 1$ entstanden sind, wird als Formel für den Regressionskoeffizienten

$$b = \frac{S (x - \bar{x}) (y - \bar{y})}{S (x - \bar{x})^2} \dots \dots \dots (6.II.8)$$

verwendet.

Der Korrelationskoeffizient wird als Quotient des mittl. Produktes und der Quadratwurzel des Produktes der beiden mittl. Quadrate definiert. Aber da man auch hier mit dem gemeinsamen Divisor $n - 1$ kürzen kann, sieht die Formel für den Korrelationskoeffizienten so aus

$$r = \frac{S(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{S(x - \bar{x})^2 \cdot S(y - \bar{y})^2}} \dots\dots\dots (6.11.9)$$

Um die gemessenen Werte y von den berechneten Werten der Regressionslinie zu unterscheiden, werden die letzteren hier mit Y bezeichnet. Dann ist das

$$\text{Restquadrat} = S(y - Y)^2 \dots\dots\dots (6.11.10)$$

Der Unterschied zwischen der Quadratsumme in y und dem Restquadrat, also $S(y - \bar{y})^2 - S(y - Y)^2$ ist der

$$\text{Regressionsteil der Quadratsumme} = \frac{[S(x - \bar{x})(y - \bar{y})]^2}{S(x - \bar{x})^2} \dots (6.11.11)$$

Zur Quadratsumme gehören $n - 1$ Freiheitsgrade. Dem Regressionsteil der Quadratsumme entspricht nur ein Freiheitsgrad, also entsprechen dem Restquadrat $n - 2$ Freiheitsgrade.

Daraus folgt das

$$\text{mittl. Restquadrat} = \frac{S(y - Y)^2}{n - 2} \dots\dots\dots (6.11.12)$$

Ebenso wie der Mittelwert hat auch der Regressionskoeffizient ein mittl. Quadrat. Laut BONNIER und TEDIN (Kap. 28) ist das mittl. Quadrat des Regressionskoeffizienten

$$= \frac{S(y - Y)^2}{(n - 2) S(x - \bar{x})^2} \dots\dots\dots (6.11.13)$$

Analog mit 6.11.5 ist der

mittl. Fehler des Regressionskoeffizienten = der Quadratwurzel des mittl. Quadrates des Koeffizienten $\dots\dots\dots (6.11.14)$

Schliesslich ist der Regressionsteil, ausgedrückt als Proportion der ganzen

$$\text{Quadratsumme} = \frac{[S(x - \bar{x})(y - \bar{y})]^2}{S(x - \bar{x})^2 \cdot S(y - \bar{y})^2}. \text{ Diese Zahl ist aber laut 6.11.9} = r^2 \quad (6.11.15)$$

6.12. Freiheitsgrade

Unter 6.11 behandelten wir den Begriff Freiheitsgrade unter Hinweis auf die verwendete Literatur. Dieser Begriff bedeutet, dass man z. B. bei der Berechnung von mittl. Quadraten und mittl. Produkten nicht mit der ganzen Anzahl N dividieren soll, sondern mit der unter bestimmten Gesichtspunkten »freien« Anzahl. Für die Regressionsanalyse bedeutet die angegebene Forderung, dass das mittl. Restquadrat so berechnet werden soll, dass man das Restquadrat durch die Zahl der Elemente N , vermindert um die Zahl der Konstanten in der Funktion, dividiert.

Bei der Anwendung dieser Regel stösst man auf theoretische Probleme, welche als noch nicht gelöst anzusehen sind. Wir wollen die Sache ganz kurz durch eine praktische Überlegung erklären.

Wenn wir Funktionen mit dem geringsten Restquadrat anstreben würden, könnten wir in die Kalkulation eine grosse Zahl von Variablen einbeziehen. Nun suchen wir stattdessen das kleinste mittl. Restquadrat, aber auch in diesem Fall würde sich dieselbe Tendenz zeigen, wenn die Division mit N erfolgen würde. Ein solcher Ausgang wäre unbillig, besonders bei geringem Material, also kleinem N -Wert. Gegen Übertreibungen in dieser Richtung sind wir insofern geschützt, als die Zahl der Regressionskoeffizienten der Funktion die Zahl N vermindern soll, bevor das mittl. Restquadrat und die Streuung berechnet wird.

Es gibt indessen andere Konstante, zu denen man schwerer Stellung nehmen kann. Damit meinen wir Grössen, welche die Form der Variablen definieren. Es scheint natürlich zu sein, dass auch auf solche Konstanten Rücksicht genommen werden muss. Sonst wäre es möglich, die Streuung durch komplizierte Variablen zu vermindern, welche mit Hilfe des Materiales konstruiert werden. So weit dürfte Einigkeit herrschen. Aber wo liegt die Grenze? Oft werden z. B. andere Potenzen als die erste abgezogen. Doch kann die erste Potenz genau so mit Hilfe des Materiales gewählt sein, wie höhere oder niedrigere Potenzen. Trotzdem wird niemand diese Fälle als gleichwertig betrachten. Und wie soll man N verringern, wenn es sich um graphische Variable handelt?

Die graphischen Regressionen können in diesem Zusammenhang als Hilfsmittel für die Wahl der Form der Variablen angesehen werden. Um die Freiheitsgrade zu bestimmen, dürfte es notwendig sein, die gezeichneten Regressionen numerisch auszugleichen. Hat man auf diese Weise Erfahrungen gesammelt, dann wird es vielleicht möglich sein, die Freiheitsgrade der verschiedenen Regressionstypen okulär zu beurteilen. EZEKIEL (1930) ging diesen Weg.

Der Begriff Freiheitsgrad ist wichtig bei geringem Material. Bei den hier bezeichneten Untersuchungen erstrebt man eine grosse Anzahl von Elementen. Je mehr dieser Wunsch erfüllt werden kann, desto geringer wird die Bedeutung der Zahl der Konstanten.

6.13. Die Wahl der Variablen

Zuvor haben wir öfter betont, dass die für jede Regressionsanalyse wichtige Variabelwahl bei den Problemen der Produktionsforschung besonders grosse Anforderungen stellt. Die Zahl der Variablen, welche auf die Lösung solcher Aufgaben Einfluss haben können, ist sehr gross und unsere Kenntnis über die Form, welche sie in der Analyse erhalten sollen, ist sehr begrenzt. Besonders bei der Behandlung neuer Probleme sind wir gezwungen, uns vorzutasten. Diese Arbeit kann wesentlich durch unabhängige Detailuntersuchungen erleichtert werden, doch die endgültige Prüfung erfolgt in der eigentlichen Regressionsanalyse.

Diese Verhältnisse stellen hohe Ansprüche an die Analysenmethode. Sie muss so geformt sein, dass Variabelversuche in genügendem Ausmass gemacht werden können, ohne dass der Zeitaufwand und die Kosten übermässig hoch werden. Wir wollen nach diesem Gesichtspunkt die MILLSSche Version des Verfahrens von DOOLITTLE prüfen. Diese Darlegung dürfte ein richtiges Bild über die Art der Behandlung solcher Arbeiten um 1930 geben. MILLS beschreibt folgende Momente:

1. Bildung von Normalgleichungen
2. Reduktion des Gleichungssystemes
3. Lösung » »
4. Berechnung der Streuung.

Durch das 4. Moment erhält man eine Beurteilung der untersuchten Variablen im Gesamten. Es ist aber möglich, dass die Funktion durch Weglassen dieser einzelnen Variablen oder ev. Wiedereinsetzen nach Umformung verbessert werden kann. Für das Suchen von solchen Variablen verwendete die Produktionsforschung den prozentuellen mittl. Fehler der Regressionskoeffizienten. Daher wurde subjektiv beurteilt, welche mittl. Fehler gutgeheissen werden konnten. In dieser Hinsicht trat eine Wechselwirkung ein, so dass die Forderungen sich nach dem richteten, was bisher erreicht worden war. Bei »schweren« Variablen, welche man aus sachlichen Gründen behalten wollte, konnte sich die Toleranz weiter strecken als für die übrigen. Als Resultat der Prüfung wurden oft eine oder mehrere Variablen ausgeschlossen oder »geworfen«, wie der Fachausdruck lautete. Im Anschluss daran können wir MILLS' Bericht mit folgenden Momenten vervollständigen:

5. Berechnung des mittl. Fehlers der Regressionskoeffizienten
6. »Wurf« einer bestimmten Variabel
7. Neue Reduktion des Gleichungssystemes in dem Teil, welcher nach dieser Variablen folgt
8. Lösung des ganzen übrigen Gleichungssystemes
9. Neue Berechnung der Streuung
10. Neue Berechnung des mittl. Fehlers der Regressionskoeffizienten.

Die mit der Ausmusterung einer Variablen verbundene Arbeit beruht auf deren Platz im System. Der Wurf der ersten Variablen bedeutet, dass der grösste Teil der Rechnung erneuert werden muss, während beim Wurf der letzten Variablen nur unbedeutende Arbeit erfordert wird.

Für die beschriebene Methode ist es bezeichnend, dass die Lösung (Mom. 3) vor der Berechnung der Streuung erfolgt (Mom. 4), sowie, dass die Berechnung des mittl. Fehlers (Mom. 5) vor dem Wurf (Mom. 6) erfolgt. Während der Arbeit mit Produktionsfragen zu Anfang der dreissiger Jahre machte ich einige Änderungen bei dieser Methode. Dadurch entstand eine neue, für die Produktionsforschung angepasste Version von DOOLITTLES Schema. Die neue Methode wurde ab 1934 für alle hierher gehörenden Arbeiten der Forstlichen Forschungsanstalt verwendet.

Es muss sofort betont werden, dass die genannten Änderungen das Resultat nicht beeinflussen. Das Ziel war die Verminderung der Arbeit und das wird so gut wie immer erreicht. Bei sehr einfachen Problemen kann die Einsparung unbedeutend sein aber bei grösseren Untersuchungen, welche Forschungscharakter tragen, ist sie entscheidend für die Möglichkeit der Durchführung der Arbeiten.

Die neue Methode stellt das Mom. 3 teilweise und die Momente 4 und 5 nach dem Wurf ganz zurück. In diesem Zusammenhang sei bemerkt, dass der Wurf, welcher im Beispiel durch eine einzige Variable dargestellt ist, ganze Serien von Variabelversuchen umfassen kann. Die angegebenen Momente setzen in der Regel aber erst dann ein, wenn die Variabelaufstellung definitiv ist. Die Methode beruht auf folgender Überlegung:

Die Anpassung einer Funktion an das Material wird primär durch die Quadratsumme der Abweichungen gemessen. Es ist daher verständlich, dass die Beurteilung des Wertes einer einzelnen Variablen in der Funktion auf der Verminderung der Quadratsumme beruht, den die Variable erzielt. Wir betrachten zuerst den einfachsten Fall, die Variable steht am Schluss der Funktion. Z. B. die Variable 4 in der Beilage M1 und M 3.

Laut der unter 6.7 verwendeten Definitionen der mittl. Abweichung σ ist die

ganze Quadratsumme = $N\sigma_0^2$. Nach Einführung der Variablen 2 und 3 ist das Restquadrat = $N\sigma_{0,23}^2$ und durch die Variable 4 sinkt es weiter auf $N\sigma_{0,234}^2$. Die hier folgende Ableitung beruht auf den unter 6.7 zitierten Relationen. Wir nehmen an, Δ_4 = der Verminderung der Quadratsumme durch die Variable 4 und erhalten

$$\Delta_4 = b_{04,23}^2 N\sigma_{4,23}^2 \dots \dots \dots (6.13.1)$$

und laut Reduktionstafel M 3 ist

$$c_{40} s_{40} = -b_{04,23}^2 N\sigma_{4,23}^2 \dots \dots \dots (6.13.2)$$

Aus 6.13.1 und 6.13.2 folgt

$$\Delta_4 = -c_{40} s_{40} \dots \dots \dots (6.13.3)$$

Mit Hilfe der einfachen Relation 6.13.3 kann man unmittelbar nach der Reduktion des Gleichungssystems — also ohne Lösung und Streuungsberechnung — die Verminderung der Quadratsumme niederschreiben. Diese Verminderung Δ bezieht sich immer auf eine bestimmte Variable in einem bestimmten System, nämlich demjenigen, in dem die Variable zuletzt steht. In einer Funktion mit vier Variablen ist also nur Δ_4 voll ausschlaggebend. Indessen wirkt Δ_3 ebenso aufklärend, aber nur für jene Funktion, welche im dritten Block endet. Für die Hauptfunktion mit vier Variablen ist Δ_3 nicht beweisend, kann aber eine gewisse Hilfe für die Beurteilung der Wirkung der dritten Variable in der Hauptfunktion sein. Der letztgenannte Effekt, also die Verminderung der Quadratsumme, wird hier mit Δ'_3 bezeichnet.

Die unmittelbare Anwendung der Δ -Werte bezieht sich also auf die letzte Variable der Funktion oder eine andere Variable, welche durch sukzessiven Wurf am Schluss zu stehen kommt. Diese Möglichkeit hat grosse Bedeutung. Bei der Aufstellung einer Regressionsfunktion beginnt man nämlich mit den »besten« Variablen. Welche diese sind, ist bei einem neuen Problem oft schwer zu beurteilen, aber man kommt bald in eine Situation, in der die Arbeit eine Variation ähnlicher Aufgaben darstellt. Dann ist die Wahl der besten Variablen leicht. Der erste Teil der Funktion erhält dadurch den Charakter eines Skelettes, welches nicht geändert wird, während der andere Teil der Funktion versuchsweise verschiedene Zusammensetzung erhalten kann. Bei dieser Arbeitsweise ist es von grossem Vorteil, dass die Berechnung der Δ -Werte am Schluss beginnt und beliebig abgebrochen werden kann. Treten am Ende der Funktion mehrere schlechte Variable auf, brauchen diese nicht sukzessiv geworfen zu werden, sondern man sieht sofort deren gemeinsamen Effekt, welcher durch die Δ -Summe ausgedrückt wird, und kann sie auf einmal werfen.

Nach dieser Aussortierung wird das System gelöst (siehe 6.9). Mit Hilfe der erhaltenen b -Werte und dem Δ der Reduktionstafel kann man teilweise die Variablen beurteilen, welche nicht am Ende stehen.

Die Formel 6.13.3 zeigt den Effekt einer Variable 4, wenn diese am Ende steht. Innerhalb derselben Funktion ist natürlich der Effekt einer bestimmten Variabel von ihrer Stellung nicht abhängig. Aber der einfache Ausdruck 6.13.3 gilt nur dann, wenn die Variable am Schluss steht.

Wir wollen nun annehmen, dass wir eine Variable beurteilen wollen, z. B. X_2 , welche auf einem anderen Platz in einer Funktion mit vier Variablen steht als dem

letzten. X_2 soll die Quadratsumme um Δ'_2 vermindern. Wir stellen uns provisorisch vor, dass X_2 zum 4. Block verschoben wird. Dann ist

$$\Delta'_2 = -c_{40} s_{40}$$

Indessen erhalten diese Symbole einen neuen Inhalt, da sich das Ganze auf X_2 bezieht und nicht auf X_4 . Die Änderung erfolgt dadurch, dass man alle Bezeichnungen für X_4 mit den entsprechenden für X_2 ersetzt. Wir erhalten laut Beilage M 3 und den Relationen unter 6.7 die Gleichung 6.13.4. Die folgende Diskussion unter 6.13.5 bis 6.13.7 kann im schwedischen Text nachgelesen werden.

Falls die unabhängigen Variablen nicht korreliert sind, wird $q = 1$ und Δ' , welches in diesem Spezialfall mit Δ'' bezeichnet wird

$$= \left(\frac{b_{02.34}}{b_{02}} \right)^2 \Delta_2 \dots \dots \dots (6.13.7)$$

Da q nicht grösser sein kann als 1, stellt Δ_2'' den grösstmöglichen Wert von Δ'_2 dar. Wenn sich dieser Wert als zu niedrig erweist, ist es sicher, dass die Variable verworfen werden muss. Dagegen gibt ein genügend grosses Δ_2'' keine Garantie für die Beibehaltung der Variablen.

Da das System auf jeden Fall gelöst werden soll, führt die Verwendung von 6.13.7 nur wenig Mehrarbeit mit sich. Man sollte deshalb diese Kontrolle nicht versäumen, welche eine untaugliche Variable enthüllen kann bevor man zur nächsten Etappe kommt und dadurch viel Arbeit erspart.

In diesem Zusammenhang sei betont, dass 6.13.6 auch als Hilfe für mehr chanceartige Würfe dienen kann. Für q , welches zwischen 0 und 1 variiert, kann man versuchsweise z. B. den Mittelwert 0.5 einsetzen. In gewissen Fällen missglückt der Versuch, so dass eine Variable verworfen wird, welche eigentlich stehen bleiben sollte. Ein solcher Fehlschluss vermehrt die Arbeit, ist aber für das Resultat ohne Bedeutung. Der Verlust wird nämlich von der Δ -summe der neuen Reduktion registriert und hat zur Folge, dass die Variable wieder in die Funktion eingesetzt wird, und zwar meist am Schluss.

Im Vorhergehenden haben wir Methoden für die Bestimmung der Verminderung der Quadratsumme beschrieben. Unter günstigen Verhältnissen — wenn die betreffende Variable am Schluss steht oder die Verminderung auffallend gering ist — sind diese Methoden für den Erfolg ausschlaggebend. In anderen Fällen ist das Resultat eine unsichere Beurteilung. Wir gehen nun zu der definitiven Berechnung des Anteiles der einzelnen Variablen bei der Verminderung der Quadratsumme über. Dieses Berechnungsmoment ist zeitraubend und wurde deshalb solange aufgeschoben bis das System so gut als möglich zurecht geformt war.

6.14. Die Verminderung der Quadratsumme und die mittleren Fehler

Bei der Berechnung der Verminderung der Quadratsumme und des mittl. Fehlers der Regressionskoeffizienten werden zuerst die Gewichte der Koeffizienten bestimmt. Von WHITTAKER und ROBINSON (1926 Mom. 122) wird dieses Problem nach der Determinantenmethode behandelt. Eine elementare Darstellung gibt HELMERT (1924, 3. Kapitel, § 1, III, und § 3). Wir folgen dem Letztgenannten.

Das von HELMERT beschriebene Verfahren bedeutet im Prinzip, dass man von

jeder der m Gleichungen m Systeme bildet, wenn die Anzahl der Regressionskoeffizienten m st. Die linke Seite besteht aus den Produktsummen der Normalgleichungen, multipliziert mit den Koeffizienten Q , welche gesucht werden. Die Produkte mit X_0 werden weggelassen. In jedem System wird eine Gleichung $= 1$ gesetzt und die übrigen $= 0$. In der Praxis wird im ersten System die erste Gleichung $= 1$ gesetzt, im zweiten die zweite usw. Die so gebildeten Systeme werden Gewichtsgleichungen genannt.

In diesem Schema werden zwei Vereinfachungen gemacht. Teils werden die ursprünglichen Normalgleichungen gegen die reduzierten Normalgleichungssysteme ausgetauscht, welche in der Beilage M 1 gezeigt werden, mit Ausnahme der Kolonne 0. Wo die Ziffer 1 auf der rechten Seite vorkommt, soll diese in der Zeile für die Summen stehen. Nach DOOLITTLES Schema erhält man die Koeffizienten c auf der letzten Zeile, indem man die Summen mit dem R des Blockes multipliziert, d.h. dem »Reziprok« mit umgekehrtem Vorzeichen. In einer Tafel über die Koeffizienten c , welche uns in diesem Zusammenhang allein interessieren, steht deshalb R auf der rechten Seite der Gleichungen, welche $= 1$ gesetzt wurden. Für alle übrigen Gleichungen ist die rechte Seite $= 0$.

Jedes System wird mit der Blocknummer bezeichnet, in welchem die rechte Seite $= R$ ist. Wenn die Funktion fünf Variable hat, beginnen wir mit dem System 5, in dem R_5 auf der rechten Seite von Block 5 steht. Im System 4 steht R_4 auf der rechten Seite des Block 4 und Block 5 wird ausgelassen. Überhaupt werden alle Gleichungen ausgelassen, welche nach dem Block stehen, dessen Nummer das System trägt. Das geschieht deshalb, weil die genannten Gleichungen für die Berechnung der Koeffizienten Q nicht nötig sind.

Die Berechnung von Q wird in der Beilage M 5 über das Zuwachsprozent des Durchmessers für Kiefer, Südschweden, nicht gepflanzt, gezeigt. Die Koeffizienten c werden ebenso bezeichnet wie in der Beilage M 1, so dass z. B. c_{23} den Koeffizienten im Block 2, Kolonne 3, darstellt. Die Q -Werte werden auch mit zwei Ziffern bezeichnet, wovon die erste das System und die Zweite die Kolonne angibt. Das heisst, dass alle Q im selben System und derselben Kolonne in allen Blocks gleich sind. Nach DOOLITTLES Schema sind alle Koeffizienten in der Diagonale, also c mit quadratischen Indizes, $= -1$. Im System 5, Block 1, Kolonne 1 (hier ausgelassen) müsste stehen $-Q_{51}$. Die Bezeichnung wurde mit umgekehrtem Vorzeichen auf die rechte Seite gebracht. Auf dieselbe Weise erhielten die Bezeichnungen Q_{52} , Q_{53} , Q_{54} und Q_{55} ihren Platz auf der rechten Seite.

Auf der rechten Seite von Block 5 stand früher R_5 , welches nun auf die linke Seite gebracht wurde. Damit ist das System für die Lösung von unten fertig, nämlich auf dieselbe Weise, welche in der Tabelle 6.9.1 für die Berechnung der Regressionskoeffizienten verwendet wurde. Als Ausgangspunkt haben wir $Q_{55} = -R_5$. Dieser Wert wird mit allen Koeffizienten in der Kolonne 5 multipliziert. Im Block 4 erhalten wir dadurch Q_{54} , welches in der Kolonne 4 eingesetzt wird und eine Berechnung von Q_{53} ermöglicht. Genau so verfahren wir in den übrigen Kolonnen.

HELMBERT zeigt in seiner zitierten Arbeit (1924, 3. Kap. § 1, III), dass z. B.

$$Q_{21} = Q_{12}$$

ist.

Bei der Lösung von System 4 wird im Block 4 der Koeffizient Q_{45} benötigt. Den besitzen wir nicht, aber stattdessen benutzen wir Q_{54} vom System 5, Block 4.

Dieser Ausweg hat es uns ermöglicht, alle Gleichungen wegzulassen, welche nach dem Block stehen, dessen rechte Seite = 1 gesetzt wurde.

Bevor wir weitergehen, können wir die Beilage M 5 betrachten. Ihr liegen die Koeffizienten c und die Reziproken mit umgekehrtem Vorzeichen (R) aus M 3 zu Grunde. Dort ist, wie schon gesagt, die Variable W_1 im grundlegenden System 6.5.5 gleich 100 gesetzt worden (Fall A). Wir wollen diesen Fall mit einem anderen vergleichen, in dem $W = 1$ ist (Fall B). Welchen Einfluss haben die verschiedenen W_1 -Werte auf die entsprechenden Q -Werte?

Aus M 3 geht hervor, dass die Änderung von W_1 nur den ersten Block beeinflusst. Verglichen mit Fall B, werden in diesem Block alle c durch 100 und das Reziprok des Blockes durch 10 000 dividiert.

Da die Berechnung von Q von unten weiter fortsetzt, kann nur der erste Block von der Änderung berührt werden. In den Systemen 5, 4, 3 und 2 wird Q im ersten Block, also Q_{51} , Q_{41} , Q_{31} und Q_{21} , ein Hundertstel des entsprechenden Q im Fall B. Im System 1, Block 1, tritt derselbe Einfluss der Änderung für c auf, aber hier kommt der Einfluss von R_1 hinzu, welcher Ausdruck mit 10 000 dividiert wurde, sowie derjenige der Werte Q_{12} , Q_{13} , Q_{14} und Q_{15} , welche durch 100 dividiert wurden. Im Ausdruck für Q_{11} wird auf diese Weise jeder einzelne Term ein Zehntausendstel des entsprechenden Terms im Fall B und folglich wird Q_{11} im Fall A ein Zehntausendstel von Q_{11} im Fall B.

In der vorher zitierten Arbeit von HELMERT wird der mittl. Fehler der Regressionskoeffizienten abgeleitet. Laut Kap. 3, § 1, (26), ist z. B.

$$\mu_2 - \mu \sqrt{Q_{22}} \dots \dots \dots (6.14.1)$$

wobei μ_2 der mittl. Fehler im Koeffizienten für die Variable 2 ist und μ der mittl. Fehler einer Beobachtung.

Als Folge davon betont HELMERT, dass die Koeffizienten Q mit quadratischen Indizes, also Q_{11} , Q_{22} , Q_{33} usw. die reziproken Gewichte der Regressionskoeffizienten sind, da das Gewicht einer Beobachtung = 1 gesetzt wurde.

Mit unseren Bezeichnungen wird 6.14.1 z. B. für die Variable 3:

$$\epsilon_3 = S_{0.3k} \sqrt{Q_{33}} \dots \dots \dots (6.14.2)$$

Diese Formel wurde in der Produktionsuntersuchung für die Berechnung des absoluten mittl. Fehlers der Regressionskoeffizienten verwendet. Das Resultat wurde in Prozente der Koeffizienten umgerechnet und diente in dieser Form als Indikator für den Effekt jeder Variablen.

Es ist gleichwohl offensichtlich, dass die Verminderung der Quadratsumme einen mehr adäquaten Ausdruck für den Wert einer Variablen darstellt. Wir haben unter 6.13 gesehen, wie diese Verminderung in den einfachen Fällen festgestellt wurde, wo die betreffende Variable am Schluss steht oder dorthin gestellt werden kann, sowie für schwache Variable. Sobald die Koeffizienten berechnet sind, kann die Beurteilung indessen auf alle Variablen erstreckt werden.

Die Verminderung der Quadratsumme, z. B. durch die Variable 2, wird wie vorher mit Δ'_2 bezeichnet. Wir verwenden die Relationen aus 6.7 und erhalten:

$$\Delta'_2 = \frac{b^2_{0.2k}}{Q_{22}} \dots \dots \dots (6.14.3)$$

Nachdem wir die Regressionskoeffizienten und die entsprechenden Q -Werte mit quadratischem Index berechnet haben, kann also die Verminderung der Quadratsumme mittels einer einfachen Rechnung erhalten werden. Es bleibt zu beurteilen, ob die Verminderung für die Beibehaltung der Variablen ausreicht.

Früher, als man die Variablen mit Hilfe der mittl. Fehler beurteilte, erfolgte eine ziemlich freie Prüfung. Wie schon unter 6.13 gesagt, zog man die Grenze für die Anerkennung nach dem, was bis damals erreicht worden war. Bei besonders interessanten Variablen konnte die Toleranz ziemlich weit gehen. Man hat allen Grund, die Verminderung der Quadratsumme auf dieselbe Weise zu betrachten.

Durch die frühere Praxis wurden grössere Erfahrungen über die unter verschiedenen Verhältnissen erstrebaren mittl. Fehler gesammelt. Wir können diese Erfahrungen bei der Prüfung der Verminderung der Quadratsumme ausnützen. Wenn der mittl. Fehler p % des Regressionskoeffizienten b_3 ist, so ist laut 6.14.2

$$\frac{p^2}{10\ 000} = \frac{S^2_{0.3k} Q_{33}}{b^2_{0.3k}}$$

woraus laut 6.14.3

$$\frac{p^2}{10\ 000} = \frac{S^2_{0.3k}}{A'_3} \quad \text{folgt.}$$

Daraus

$$A'_3 = \frac{10\ 000}{p^2} \cdot S^2_{0.3k} \dots \dots \dots (6.14.4)$$

Die Formel ist für die Berechnung des kleinsten Wertes von A' bestimmt, welcher einer bestimmten Forderung gegenüber p entspricht. $S^2_{0.3k}$ ist das S^2 der aktuellen Funktion.

Wir kommen nun auf die Formel 6.14.3 zurück. Nachdem die Lösung von b sowie von Q vom Schluss aus beginnt, braucht die arbeitsraubende Berechnung des Gewichtes nicht auf einmal geplant werden. Man kann mit weniger Blocks beginnen. Trifft man auf eine Variable, welche geworfen werden muss, werden die Gewichte in den vorhergehenden Blocks verändert. Es ist deshalb günstig, Schritt für Schritt vorzugehen. Wo ein Wurf nicht erforderlich ist, wächst das System, bis es schliesslich die ganze Funktion umfasst. Die Formel 6.14.3 ergibt dann die definitive Prüfung der Variablen.

Nachdem diese bestimmt sind, können wir die Restquadrate berechnen

$$NS^2_{0.234} = N\sigma_0^2 - A_2 - A_3 - A_4 \dots \dots \dots (6.14.5)$$

worin A die Verminderung der Quadratsumme bei der Vermehrung der Funktion mit neuen Variablen bezeichnet.

Daraus erhält man die mittl. Restquadrate

$$S^2_{0.234} = \frac{N\sigma_0^2 - \sum_4 A}{N - n} \dots \dots \dots (6.14.6)$$

wobei n die Anzahl der Konstanten in der Funktion ist, und

$$\sum_4 A = A_2 + A_3 + A_4$$

6.15. Die Berechnungsarbeit

Als erster Schritt wird bei einer Regressionsanalyse eine Zusammenfassung des Materiales aufgestellt, welche für jedes Element die beobachteten Werte der Variablen der Aufgabe angibt. In bestimmten Fällen müssen diese zu mehr oder weniger komplizierten Funktionen umgewandelt werden. Ausserdem müssen die ursprünglichen und die umgewandelten Variablen zur Erleichterung der Rechenarbeit oft weiter umgewandelt werden. Es ist z. B. wünschenswert, dass die Variablen ungefähr dieselbe Grössenordnung besitzen. Dies kann erreicht werden, indem jede Variable mit einem geeigneten Faktor multipliziert und das Resultat zu einer ganzen Zahl abgerundet wird. Weist eine Variable verschiedene Vorzeichen auf, so kann sie ganz positiv gemacht werden, indem in jedem Element die Beobachtung um eine Konstante vermehrt wird.

Bei der Produktionsuntersuchung sind die Variablen durch solche Umformungen auf drei, manchmal auch auf vier Ziffern heruntergedrückt worden. Diese Werte sind dann während der ganzen Analyse festgeblieben. Nach der Fertigstellung der Materialzusammenstellung werden die Produktsummen berechnet, welche in den Normalgleichungen enthalten sein sollen. An der Forstlichen Forschungsanstalt wurden zu diesem Zwecke seit 1930 Lochkartenmaschinen verwendet. Im Prinzip werden die Lochkarten für jede Variable nach Einer, Zehner und Hunderter, manchmal auch Tausender sortiert, worauf man sämtliche Variablen jeder Gruppe summiert. Die Übertragung zu Produktsummen erfolgte verschieden, je nach der verwendeten Maschine. Bei meinen Arbeiten wurden Hollerithmaschinen verwendet. Die Gruppensummen wurden mit den einstelligen Sortierungsziffern multipliziert und die Schlussumme in der Maschine gesammelt.

Bei der Lösung und Reduktion der Gleichungen wurden manchmal — bes. bei Publikationen — die Umformungen rückgängig gemacht. Dabei wurden die verwendeten Faktoren in die Regressionskoeffizienten b eingeschmolzen und die Zusatzkonstanten wurden nach der Multiplikation mit den erhaltenen b zu a addiert. Eine Wirkung solcher Zusatzkonstanten verdient Beachtung: Bei der Reduktion ohne a (vergl. 6.8) wird das endgültige a der Funktion nicht = 0.

Aus dem Vorhergehenden ist ersichtlich, dass die Normalgleichungen im Verhältnis zur Materialzusammenstellung genau sind. Die bei der Reduktion berechneten Summen und Koeffizienten sind jedoch nicht genau. Es entsteht die Frage, wie weit die Approximation getrieben werden soll. Hinsichtlich der Summen wird eine geringste Anzahl sicherer Dezimalstellen für jeden Ausdruck erstrebt, was bewirkt, dass gleich viele — oder annähernd gleich viele — Dezimale in der eigentlichen Summe sicher sind. Nachdem diese den Charakter einer Differenz hat, kann auch eine bedeutende Anzahl von Dezimalen nur für wenige signifikative Ziffern Platz lassen. Im Diagonalfeld bestimmen diese Ziffern die Signifikanz bei den »Reziproken« und beeinflussen dadurch die Signifikanz der Koeffizienten des Blockes.

Damit habe ich nur an die Notwendigkeit erinnern wollen, dass man vor dem Beginn der Arbeit die Anzahl der Dezimalen der Summen und die Zahl der signifikativen Ziffern für die »Reziproken« und Koeffizienten bestimmen sollte. Deren Anzahl braucht nicht konstant zu sein, es soll aber eine Regel für deren Bestimmung vorhanden sein.

In dieser Hinsicht steht die Produktionsforschung für sich allein da. Wir haben unter 6.2 gesehen, dass Untersuchungen dieser Art viele Versuche mit vielen

Variablen umfassen müssen. Man weiss zu Beginn der Arbeit nicht, wie viele Variable und vor allem welche in der endgültigen Regression enthalten sein werden. Unter solchen Verhältnissen ist es besser, den Dezimalstellenbedarf zu über- als zu unterschätzen.

In der vorliegenden Untersuchung wurden die *cs*-Produkte mit 6 Dezimalen berechnet, wovon die letzte bei der Schlusssumme geworfen wurde. Für das erste »Reziprok« wurden 14 signifikative Ziffern genommen und spätere mit ebensovielen signifikativen Ziffern wie in der invertierten Diagonalsumme. Die Koeffizienten erhielt man durch Multiplizieren der Feldsumme mit dem *R* des Blockes, und dabei wurden alle Dezimalen mitgenommen.

Bei der Durchführung der Arbeit wurden Karten verwendet, welche in Kolonnen eingeteilt waren und Blocks als Untereinteilung enthielten. Eine oder mehrere Karten enthielten die Normalgleichungen (mit grüner Schrift). Eine andere Serie (weisse Karten) stellte die Summen dar und eine dritte (gelbe Karten) die Koeffizienten. Dadurch wurde die kombinierte Multiplikation von Summen und Koeffizienten wesentlich vereinfacht.

Um die Multiplikation von Summen und Koeffizienten mit genügend vielen Stellen ausführen zu können, wurden die beiden Faktoren nach folgendem Schema geteilt:

Summen: $A = \text{ganze Zahlen}$
 $B = \text{Dezimalstellen}$
 Koeffizienten: $C = \text{ganze Zahlen} + 9 \text{ Dezimalstellen}$
 $D = \text{übrige Dezimalstellen}$

Bei der Multiplikation erhielt man

$$(A + B)(C + D) = AC + AD + BC + BD.$$

Daraus wurde *BD* geworfen, was bei den angegebenen Voraussetzungen das Resultat nicht beeinflusst. Auf einem Formular wurden unter *AC*, *AD* und *BC* die in der Rechenmaschine gesammelten Produkte eingetragen, welche z. B. im Block 3, Kolonne 3 Teile der Summe $c_{13} s_{13} + c_{23}$ darstellen. Die Feldsumme s_{23} erhielt man durch Addition der Normalgleichungsglieder n_{33} und der Summe von *AC*, *AD* und *BC*.

6.16. Kontrollen

Unter 6.6 wurde gesagt, dass die Kontrollkolonne 6 bei DOOLITTLES Schema weggelassen wurde, weil die doppelte Rechnung bei unseren Arbeiten vorteilhafter war. Dieses Urteil bezog sich auf die Verhältnisse am Anfang der Untersuchung. Im allgemeinen ist es wahrscheinlich, dass die Wahl der Kontrollmethode von Fall zu Fall bestimmt werden muss. Ein wichtiger Faktor ist die Zahl des Personals und dessen Zusammensetzung. Hat man viele Anfänger und nur wenig trainierte Mitarbeiter, verwendet man in erster Linie die Doppelrechnung. Dies wird im Durchschnitt teurer, aber wir gewinnen Zeit, was in gewissen Fällen ausschlaggebend sein kann. Wo ein häufiger Wurf von Variablen vorauszusehen ist, und wo eine grosse Anzahl von signifikativen Ziffern notwendig erscheint, ist die Doppelrechnung zu erwägen. Andererseits wurde die DOOLITTLESche Kontrolle durch die Aufstellung der verschiedenen Rechenfaktoren auf Karten erleichtert. Die Methode eignet sich am besten für standardisierte, nicht zu eilige Arbeiten

und für geübtes Personal. Als wichtiges Plus sei bemerkt, dass diese Methode demjenigen, der die Arbeit ausführt, wahrscheinlich grössere Genugtuung gibt.

Die Kontrolle der Regressionskoeffizienten und Koeffizienten Q wird an die Reduktionstafel angeschlossen, welche in der Beilage M 1 und M 3 veranschaulicht wurde. Wir gehen von den Normalgleichungen 6.5.4 aus, verwenden aber die Bezeichnungen aus M 1, M 3 und 6.9.1. Zwei Fälle, welche durch den Wert der unter 6.5.4 vorkommenden Variablen W_1 definiert sind, werden ausgesondert (vgl. 6.14).

Fall A. $W_1 = 100$. Diese Annahme liegt der Produktionsuntersuchung zu Grunde und wurde in Tab. M 3 verwendet. Wir denken uns M 3 unter der Diagonale auf die in der Motivierung zu 6.5.5 angedeutete Weise komplettiert. Dann wird z.B. Block 2:

$$b_1 100 \sum X_2 + b_2 \sum X_2^2 + b_3 \sum X_2 X_3 + b_4 \sum X_2 X_4 - \sum X_0 X_2 = 0 \dots (6.16.1)$$

Falls diese Rechnung mit den bei der Lösung gefundenen b -Werten ausgeführt wird, weicht die rechte Seite wahrscheinlich ein wenig von 0 ab. Die Abweichung entsteht durch Mängel in der Reduktion oder der Lösung, was meist auf den verwendeten Abrundungsregeln beruht und also kein Rechenfehler ist.

Die Koeffizienten Q können nach HELMERT kontrolliert werden (1924, 3. Kap. § 3, 39). Nach der Umschreibung auf dieselben Bezeichnungen wie unter 6.16.1 erhalten HELMERTS Formeln dasselbe Aussehen, welches sie unter 6.16.2 haben.

Fall B. $W_1 = 1$. Unter 6.16.1 wird der erste Term unter dieser Voraussetzung $= b_1 \sum X_2 = a \sum X_2$. Für $W_1 = 100$ war derselbe Term $= b_1 100 \sum X_2 = a \sum X_2$. Die übrigen Termen werden nicht berührt. Also beeinflusst die Änderung nicht die Kontrolle.

Unter 6.16.2 entstehen beim Übergang zu $W_1 = 1$ folgende Änderungen:

Erste Gleichung: Der erste Term auf der rechten Seite verliert den Faktor 100, aber Q_{11} wird mit 10 000 multipliziert, also eine 100fache Nettovergrößerung. Bei den übrigen Termen wird Q 100fach vergrößert. Also wird auch b_1 100fach vergrößert, welches mit der Berechnung unter 6.9 übereinstimmt.

Übrige Gleichungen. Die ersten Termen auf der rechten Seite verlieren den Faktor 100, doch wird Q 100fach vergrößert, so dass keine Änderung entsteht. Die übrigen Termen werden nicht berührt. Die Regressionskoeffizienten bleiben also unverändert, was bereits unter 6.9 konstatiert wurde.

Kap. 7. Bonitierung

7.1. Einleitung

Der Begriff Bonitierung ist in der Forstwirtschaft ein Ausdruck für die Ertragsfähigkeit. Im Worte Fähigkeit liegt eine Möglichkeit, es dreht sich also nicht darum, was ein Boden abwirft, sondern was er abwerfen kann. Die Antwort auf diese Frage beruht auf den Eigenschaften des Standortes und der Holzarten sowie der Waldpflege, wenn wir unter diesem Begriff alle Massnahmen für die Anlage, Pflege und den Endabtrieb des Bestandes zusammenfassen. Für die Antwort ist es ausserdem ausschlaggebend, was unter Ertrag verstanden wird. In dieser Untersuchung wird damit das ganze Stammholz über dem Boden ohne die Stöcke bezeichnet. Alle dürften sich darüber einig sein, dass sich der Bonitätsbegriff auf die Masse des Ertrages, in der Regel mit Rinde, bezieht und dass es

sich um den mittleren Zuwachs handelt. Prinzipiell dürfte mit der Bonität der grösste mittlere Zuwachs gemeint sein, aber im Anschluss an die übliche Praxis wurde dieser Wert hier durch den mittleren Zuwachs bei 100 Jahren ersetzt.

Daraus dürfte hervorgehen, dass die Bonitätsfrage, vom Ertragsstandpunkt aus gesehen, ein Spezialfall des grossen Produktionsproblemcs ist. Der Ertrag verschiedener Bonitäten bildet das Resultat der Produktionsforschung. Er kann deshalb nicht als Voraussetzung für diese Forschung verwendet werden.

Indessen braucht die Produktionsforschung eine Form für die Beurteilung der Entwicklungsfähigkeit der Versuchsbestände. Für diese Zwecke hat man seit langem die Entwicklung der Höhe in Verbindung mit dem Alter verwendet. Ein Beispiel für das Verfahren wurde unter 1.3 beschrieben. Bei jeder Revision der Versuchsflächen wurde die Höhe und das Alter bestimmt. Die gemessenen Höhen wurden graphisch über dem Alter aufgetragen und zu Kurven ausgeglichen. Auf diese Weise erhielt man Höhenentwicklungskurven für jede der 5 Bonitäten, welche durch ihre Höhe im Alter von 100 Jahren definiert wurden.

Gemäss diesem System stellte die Bonitierung also eine Beurteilung der Höhe bei 100 Jahren dar. Die Ertragsfähigkeit der Bonität ging aus der Produktionsuntersuchung hervor. In dieser Hinsicht stimmt die Bonitierung in dieser Arbeit mit der alten Methode überein. Doch wurden in mehreren Punkten wichtige Veränderungen gemacht, welche in den Abschnitten 7.2—7.7 behandelt werden.

7.2. Der Einfluss der Durchforstung

Es liegt in der Natur der Sache, dass die Bonität ein Ausdruck für das Wachstum ist. Der Einfluss, den eine Durchforstung auf das Wachstum hat, gehört also zum Bonitätsbegriff. Doch hat jede Durchforstung, welche nicht vollkommen gleichförmig ist, eine unmittlere Wirkung, die den Mittelstamm des Bestandes oder der Gruppe ändert. Bei unserer gebräuchlichsten Pflegeform, der Niederdurchforstung, erhält der mittl. Durchmesser auf diese Weise eine Vergrösserung, welche »unechter Zuwachs« genannt wurde. Wir verallgemeinern den Begriff »unecht« soweit, dass er alle Änderungen des Mittelstammes umfasst, welche nur durch den Einfluss der Durchforstung zustande kommen. Sobald man also die Bonitierung mit Hilfe des Mittelstammes vornimmt, besteht die Gefahr, dass das Resultat durch eine unechte Bonitätsänderung verfälscht wird.

Man kann rein schematisch von zwei Arten unechter Bonitätsänderung sprechen. Wenn die Durchforstung bezüglich des Durchmessers ungleichförmig ist, kann diese den Durchmesser des Mittelstammes und dadurch indirekt seine Höhe ändern (erste Art). Oder die Durchforstung lässt den Durchmesser unverändert, beeinflusst aber dessen Höhe durch überwiegende Entnahme unter oder über der mittl. Höhe (zweite Art).

7.3. Bonitätsanzeiger

Die Beurteilung eines Bonitierungssystemes muss mit Rücksicht auf die Bestände erfolgen auf denen das System aufgebaut ist. Diese Bestände werden fortan Bonitätsgrundlagen genannt.

Bei der Bonitierung nach älteren Methoden wurde die mittl. Höhe des Bestandes als Indikator benutzt. Dadurch bestand die Gefahr unechter Bonitätsänderung der ersten Art. Solange die Anwendung auf Bestände begrenzt war, welche einiger-

massen der Bonitätsgrundlage gleichten, hatte diese Fehlerquelle weniger Bedeutung.

In unserem Land wurde die Bonitierungsfrage durch JONSON (1914) aufgeworfen. Als Bonitätsgrundlage verwendete er Tabellenbestände, welche von MAASS (1911) und SCHWAPPACH (1902 und 1908) berechnet worden waren. Diese Tabellen galten für schwache oder mässige Durchforstungen in solchen Beständen, welche im Ausgangsstadium vollgeschlossen waren. Doch sollte die Bonitierung in Beständen angewendet werden, welche sich von der Unterlage oft bedeutend unterschieden. In solchen Fällen war das Risiko für unechte Bonitätsänderungen gross. Dem konnte man wohl teilweise mit Korrekturen begegnen, doch waren diese schwer durchzuführen und verminderten die Objektivität des Verfahrens.

Auf Grund dieser Unannehmlichkeiten wollte ich die mittl. Höhe gegen einen anderen Bonitätsindikator austauschen. Ein solcher ist die obere Höhe, welche von WEISE (1880) bei der ersten Bearbeitung des preussischen Kiefernmaterials benutzt wurde. Dabei teilte man die Stämme in fünf Klassen mit gleicher Stammzahl ein. Die obere Höhe definierte WEISE mit der mittleren Höhe der grössten Stammklasse. Das ist klar ausgedrückt. Man muss zugeben, dass die Möglichkeit unechter Bonitätsänderung dadurch geringer ist als bei einer anderen mittl. Höhe. Trotzdem kann die Durchforstung Bonitätsverschiebungen mit sich führen, welche wir vermeiden wollen.

In diesem Zusammenhang sei bemerkt, dass ILVESSALO (1920) eine obere Höhe benutzte, und damit wahrscheinlich die Höhe der herrschenden Stämme meinte. Indessen hat in seiner Arbeit (über unberührte Bestände) die obere Höhe mehr Aufklärungscharakter. Die Bonitierung erfolgte nämlich nach Waldtypen.

Wir haben gesehen, dass WEISE die Höhenbeobachtungen nach rechts, gegen die obere Grenze der Stammverteilung verschoben hat. Bei meiner Behandlung dieser Frage ging ich bis aufs äusserste. Die obere Höhe eines Bestandes wird dabei jenes Mass, das in einer über den Durchmesser errichteten Höhenkurve an der oberen Grenze der Stammverteilung abgelesen wird. In der Praxis erfolgt diese Ablesung für einigermassen normale Bestände bei den grössten Durchmessern.

Verwendet man die obere Höhe als Bonitätsanzeiger, so fällt bei Selbstdurchforstung, Niederdurchforstung und gleichmässiger Durchforstung jede unechte Bonitätsänderung der ersten Art weg. Dagegen bleibt — wie bei den übrigen genannten Methoden — die unechte Bonitätsänderung der zweiten Art zurück. Zur Klarlegung dieser Komplikation ist eine Untersuchung erforderlich, welche noch nicht erfolgen konnte. Bis auf Weiteres müssen wir uns mit der Feststellung dieser Tatsache begnügen.

7.4. Bonität und Höhenentwicklung

Aus dem Vorhergehenden ist zu ersehen, dass die Bonitierung der Produktionsuntersuchung auf der oberen Höhe beruht. Diese wird aus der Höhenkurve an der oberen Grenze der Stammverteilung abgelesen. Aus den unter 22.3 diskutierten Gründen wird die obere Grenze $d_{3\sigma}$ genannt. Analog dazu wurde die obere Höhe mit $h_{3\sigma}$ bezeichnet.

Der Bonitätsbegriff wurde mit gleichaltrigen und im übrigen homogenen Beständen verbunden, in denen die obere Durchmessergränze nicht durch Durchforstungen verschoben wurde. Gemäss dem System wird die Bonität mit dem Ausdruck h_{100} bezeichnet, welcher die obere Höhe $h_{3\sigma}$ bei 100 Jahren darstellt. Alle Bestände der hier angegebenen Art, welche im Alter von 100 Jahren eine

obere Höhe von 20 Meter aufweisen, gehören zu $h_{100} = 20$, unabhängig vom Verlauf der Höhenentwicklung.

Dagegen hat die Form der Höhenentwicklung einen starken Einfluss auf die Produktion von Masse und Wert. Sie beeinflusst besonders stark den für forstwirtschaftliche Kalkulation wichtigen Kapitalwert W . Schliesslich ist die Kenntnis über die Höhenentwicklung bei der Bonitierung nötig, d. h. bei der Beurteilung von h_{100} mit Hilfe der oberen Höhe für ein beliebiges Alter. In der Figur 7.4.1 werden Höhenentwicklungskurven für verschiedene Bonitäten der Kiefer, Nordschweden, nicht gepflanzt, gezeigt.

Fig. 7.4.1. Entwicklung der oberen Höhe für verschiedene Bonitäten bei h_{100} , Kiefer, Nordschweden, nicht gepflanzt, unberührte Bestände.

Die Variation der Höhenentwicklung innerhalb der Bonität h_{100} dürfte vor allem auf den verschiedenen Entstehungsarten beruhen. Bei Pflanzungen tritt der Höhenzuwachs schneller ein und erreicht längere Wipfeltriebe als in dichten Selbstverjüngungen. Deshalb wurden in den Produktionstabellen für gepflanzte und nicht gepflanzte Bestände verschiedene Höhenentwicklungskurven verwendet. Die Korrektur erfolgte so, dass gepflanzte Bestände die obere Höhe von 1,3 m früher erreichten als nicht gepflanzte Bestände, während die Kurve für 0 und 100 Jahre gleich blieb. Folglich müssen gepflanzte Bestände in ihrer späteren Entwicklung kürzere Wipfeltriebe haben als nicht gepflanzte.

Diese Ansicht mag vielleicht allzu schematisch erscheinen. Wirkliche Bestände können sich oft in vielfach anderer Weise entwickeln als die hier angegebenen. Natürlich ist das so. Aber der Zweck dieser Arbeit ist es, die Aufmerksamkeit auf wichtige, oft vorkommende Fälle zu lenken. Das verwendete Schema setzt voraus, dass der Standort und die Erbanlagen der Höhenentwicklung eine Grenze setzen, welche durch keine Pflegemassnahme überschritten werden kann. Hätten die Kurven bis zu dieser Grenze gezogen werden können, hätte man kaum gegen die Konstruktion Einwendungen machen können. Diese Verschärfung der Bearbeitung gehört jedoch zu einem späteren Forschungsstadium. Derzeit ist die Situation folgendermassen: Mit Rücksicht auf die Notwendigkeit der Kontinuität war es wünschenswert, dem 100-Jahralter seine entscheidende Stellung bei der Bonitierung beibehalten zu lassen. Wird das befolgt, so müssen sich die Höhenentwicklungskurven einer Bonität bei 100 Jahren schneiden.

Die früher erwähnte Korrektur erfolgt bis auf weiteres so, dass das Alter für gepflanzte Bestände von 1,3 m Höhe um 30 % gesenkt wurde. Das Alter für diese Höhe erhielt für nicht gepflanzte Bestände das Zeichen t . Für gepflanzte Bestände ist das entsprechende Alter t' , also $0,7 t$. Beispiele für alternative Höhenentwicklungen, welche auf diese Weise erhalten wurden, werden in den Hilfstabellen H 3 und H 4 gezeigt. Für Kiefer, Nordschweden, $h_{100} = 20$, enthält die Fig. 7.4.2 alternative Höhenentwicklungskurven für verschiedene Altersquoten $q = \frac{t'}{t}$.

Fig. 7.4.2. Entwicklung der oberen Höhe für verschiedene Altersquotienten q in Brusthöhe. Dabei ist $q = \frac{t'}{t}$ d. h. der Quotient aus dem aktuellen Alter beim Erreichen der Brusthöhe und dem entsprechenden Alter in unberührten Beständen.

Jede Bonität oder Bonitätsnuance wird also durch eine bestimmte Höhenentwicklung gekennzeichnet. Indessen können Bestände mit derselben Höhenent-

wicklung sehr verschiedene Eigenschaften aufweisen, welche hauptsächlich auf der Ausgangslage und der Behandlung beruhen. Einer Bonität eine bestimmte Ertragsfähigkeit zuzuschreiben, ist daher nur dann möglich, wenn die Variation durch eine oder mehrere Bedingungen präzisiert ist. Wir kommen darauf bei der Diskussion der Produktionstabellen zurück.

7.5. Höhenentwicklungskurven

I. Bezeichnungen:

x = Totales Alter

t = Alter beim Erreichen von 1,3 m

$z = x - t$ = Anzahl Jahresringe in Brusthöhe (1,3 m)

$y = h_{3\sigma}$

Als Grundfunktion wurde die Kurve

$$y = \left(\frac{x}{a + bx} \right)^n \dots \dots \dots (7.5.1)$$

gewählt, welche für $n > 1$ S-förmig ist. Daraus folgen die Konstanten χ und β laut 7.5.2 und 7.5.3.

II. Um weiter zu kommen, müssen wir n bestimmen. Dazu werden Beobachtungen benützt, welche auf den Versuchsflächen des Institutes in unberührten Beständen gemacht wurden. Die Bearbeitung umfasste 496 Flächen, welche soweit als möglich auf Holzart, Provinz und okularbestimmte Bonität nach JONSON gleichmässig verteilt wurden. Auf jeder dieser Flächen wurden bei der Untersuchung fünf nach bestimmten Regeln ausgewählte Probestämme gefällt. Unter diesen waren Repräsentanten für die ganze Fläche und für die fünf stärksten Stämme der Fläche. Von den gefällten Probestämmen wurden die längsten für diese Untersuchung verwendet. Prinzipiell wurde die mittl. Höhe an der oberen Grenze der Stammverteilung erstrebt. Bei der Wahl der Probestämme bestand eine gewisse Möglichkeit, der praktischen oberen Grenze (dem stärksten Stamm), nahe zu kommen, dagegen wurde die theoretische obere Grenze, welche gewöhnlich höher liegt, nie erreicht. Die Wahl des höchsten Probestammes kann als Kompensation dafür betrachtet werden. Durch diese Wahl wurden ausserdem extreme »Wolfsbäume« ausgeschlossen, das sind Stämme, welche sich unter gleichzeitiger Verdrängung anderer besonders stark entwickelt haben.

Bei Untersuchungen in unberührtem Wald wurden die gefällten Stämme auf vielfache Weise untersucht. Dazu wurde für die Bonitätsbestimmung die Höhe h jedes Stammes verwendet, sowie die Zahl der Jahresringe x_3 , z_1 und z_2 (bei 1 %, 30 % und 70 % der Höhe). Um die Arbeit zu vereinfachen wurde x_3 als das Alter des Stammes bei der Höhe h angenommen. Das Alter bei 0,3 h wurde x_1 genannt und bei 0,7 h x_2 . Daraus folgt $z_1 = x_3 - x_1$, und $z_2 = x_3 - x_2$. Auf dieselbe Weise wie unter 7.5.2 wurden die Differenzen χ_1 und χ_2 laut. 7.5.4 und 7.5.5 gebildet.

Für $Q = \frac{\chi_1}{\chi_2}$ erhielt man durch Division zwei Ausdrücke, nämlich 7.5.6 und

7.5.7.

Für die Wahl von n war die Kenntnis über die Verteilung des Materials auf n -Klassen erwünscht. Da eine Berechnung von n für jeden Probestamm nicht

in Frage kam, wurde statt dessen Q für die Klassengrenzen $n = 0,5, 1,5, 2,5, 3,5$ usw. laut 7.5.6 errechnet. Ebenso wurde Q für alle Probestämme laut 7.5.7 berechnet, worauf man die gesuchte n -Frequenz durch Errechnen der Stammanzahl innerhalb der Grenzen von Q erhielt.

Aus der Tab. 7.5.8 geht hervor, dass $n = 2$ die höchste Frequenz in Nordschweden hat, während $n = 3$ in Südschweden am höchsten liegt. Es ist also nicht die Holzart, welche den Unterschied ausmacht, sondern das geographische Gebiet. Von diesen Kulminationspunkten fällt die Frequenz rasch bei wachsendem n . Dieser Fall geht mit Sicherheit in der zusammengefassten Gruppe »Högre« (Höhere) weiter. Die hohen Prozente für diese Gruppe entstehen nicht durch hohe Frequenzen in den Klassen mit ganzen Zahlen von n , sondern beruhen darauf, dass die Gruppe eine äusserst hohe Zahl solcher Klassen umfasst.

Mit Hilfe des Vorhergehenden können wir $n = 2$ als den wahrscheinlichsten Exponenten für die Höhenentwicklungskurven in Nordschweden und $n = 3$ als den wahrscheinlichsten Exponenten für die Höhenentwicklungskurven in Südschweden betrachten, unter der Voraussetzung, dass es sich um solche Bestände handelt, welche im Material über unberührten Wald enthalten sind.

Soweit die Untersuchung. Es bleibt zu beurteilen, in welchem Ausmass diese Erfahrungen bei der Bonitierung von Beständen verwendet werden können, welche einer einigermaßen normalen Pflege unterliegen. Unter 7.4 stützte sich die Diskussion auf ein Schema, nach welchem der Standort und die Erbanlagen der Höhenentwicklung eine Grenze setzen, welche durch Pflegemassnahmen nicht überschritten werden kann. Falls dies stimmt, muss die zweite Phase der Höhenentwicklung bei der Höhenzuwachs abnimmt, ein besserer Ausdruck für die Bonität sein, als die erste Phase, bei der der Höhenzuwachs grösser wird. In diesem frühen Zustand ist der unberührte Naturbestand oft starken Hemmungen ausgesetzt, welcher die S-form übertreibt und ein hohes n hervorruft. Da das Resultat der genannten Untersuchung für gepflegten Wald verwendet werden soll, dürfte man mit gutem Grund jene n -Klassen ausscheiden können, welche durch hohes n und niedrige Frequenz charakterisiert sind. Wir können — so scheint mir — uns mit gutem Gewissen an die n -Werte 2 und 3 halten, welche die grösste Frequenz aufweisen.

Der Gegensatz, welcher durch $n = 3$ in Südschweden und $n = 2$ in Nordschweden dargestellt wird, ist von grossem Interesse. Für die Kiefer dürfte dieses Resultat durch eine ziemlich verbreitete Meinung unterstützt werden, nach welcher die nordschwedische Kiefer einen geraderen Entwicklungsverlauf und nachhaltigeren Höhenzuwachs besitzt, als die südschwedische. Für die Fichte kann die allgemeine Gültigkeit des Resultates aber bezweifelt werden. Die Lage wird bedeutend klarer werden, sobald Probestämme, welche die obere Höhe darstellen, auch für gepflegte Bestände erhalten und mittels Zuwachsbohrung untersucht werden können. Bis dahin dürfte es am richtigsten sein, Nord- und Südschweden in dieser Hinsicht gleichzustellen. Dies geschah auch bei dieser Bearbeitung, und es wurde $n = 3$ für das ganze Land angenommen.

III. Nach der Bestimmung von n wurde laut 7.5.4 die Differenz χ_1 weggelassen und durch χ_0 ersetzt, welcher Ausdruck unter 7.5.2 gleich χ ist. Das bedeutet, dass der Messpunkt 0,3 h gegen den festen Messpunkt 1,3 Meter ausgetauscht wurde. χ_2 blieb laut 7.5.5 stehen. In die χ -Ausdrücke wurde $n = 3$ eingesetzt. Für jeden Probestamm erhielt man

$$\chi_0 = \left(\frac{1}{1,3} \right)^{1/3} - \left(\frac{1}{h} \right)^{1/3}$$

$$\chi_2 = \left(\frac{1}{0,7 h} \right)^{1/3} - \left(\frac{1}{h} \right)^{1/3}$$

sowie

$$R = \frac{\chi_2}{\chi_0} = \frac{\left(\frac{10}{7} \right)^{1/3} - 1}{\left(\frac{1}{1,3} \right)^{1/3} - 1} = \frac{z_2 \chi_0}{z_0 \chi_2} \dots \dots \dots (7.5.10)$$

Daraus laut M 6 für jeden Probestamm

$$t = x_0 = \frac{R z_0 (z_0 - z_2)}{z_2 - R z_0} \dots \dots \dots (7.5.11)$$

wobei z_0 die Anzahl Jahresringe bei 1,3 m und z_2 die Anzahl Jahresringe bei 0,7 h ist.

Man beachte, dass 7.5.11 nicht das Alter des Stammes enthält. Die Kurve wurde durch die Höhen 1,3 Meter, 0,7 h und h unter Beachtung der Zuwachszeiten z_0 und z_2 eingelegt und zeigt also, wie das Material nach Erreichen von 1,3 Meter wächst. Man kann die Berechnung von t unter der Voraussetzung von $n = 3$ als eine Extrapolierung der durch die Höhen definierten Kurve betrachten.

Laut 7.5.10 steigt R bei wachsendem n, und laut 7.5.11 steigt t bei wachsendem R. Also wird t bei wachsendem n grösser.

IV. Nach der Ableitung von t wurde χ_2 weggelassen und nur mehr mit χ_0 kalkuliert, welches auch als χ geschrieben wird, da keine Verwechslung möglich ist. Tabellen wurden ausgearbeitet, aus denen man χ unter dem entsprechenden Wert h erhält, und zwar teils für $n = 2$ (Tab. H 1) und teils für $n = 3$ (Tab. H 2). Da in dieser Untersuchung $n = 3$ gewählt wurde, wird nur die Tab. H 2 verwendet.

Für jeden Probestamm wurde laut 7.5.3

$$\beta = \chi \left(1 + \frac{t}{z_0} \right) \dots \dots \dots (7.5.12)$$

und

$$\chi_{100} = \beta \left(1 - \frac{t}{100} \right) \dots \dots \dots (7.5.13)$$

berechnet, worauf h_{100} aus den χ -Tabellen unter χ_{100} genommen wurde.

V. Für eine Verallgemeinerung der t-Werte wurde eine Verbindung von t und h_{100} benötigt. Eine graphische Aufstellung erbot zu einem Ausgleich nach der Funktion

$$t = a + \frac{b}{h_{100}} \dots \dots \dots (7.5.14)$$

Bei der Wahl der Ausgleichsmethode muss auf die Beschaffenheit des Materials und Zweck der Untersuchung Rücksicht genommen werden. Das Material stammte aus unberührten Beständen, aber die Höhenentwicklungskurve soll vor allem in durchforsteten Beständen verwendet werden. Die Schwierigkeiten, welche

durch diesen Gegensatz entstehen könnten, wurden durch die Konstruktion von 7.5.11 stark verringert. Es blieb aber eine gewisse Unklarheit, welche mich davon abhielt, dieses Detail mittels Regressionsanalyse zu bearbeiten. Statt dessen erhielt der mit Hilfe der Mittelwerte durchgeführte Ausgleich den Charakter einer Überschlagsberechnung. Zur Stützung dieser Konstruktion wurde die willkürliche Annahme verwendet, dass die Funktion 7.5.14 bis zum Wert $h_{100} = 1,3$ extrapoliert werden könnte. Daraus erhielt man b laut 7.5.16, worin M einen Mittelwert darstellt. Weiters wurde a laut 7.5.15 berechnet. Durch Einsetzen der berechneten a und b in 7.5.14 erhielt man die primären t -Werte der Tabelle 7.5.17.

Die Werte in Tab. 7.5.17 gelten für nicht gepflanzte Bestände. Es wird vorausgesetzt, dass t in gepflanzten Beständen laut 7.4 korrigiert wird. Wahrscheinlich hat diese Korrekturnotwendigkeit viel grössere Reichweite. Es kann erwartet werden, dass die Beurteilung von t auch in den Gruppen »gepflanzt« und »nicht gepflanzt« abgestuft werden muss und dass auch auf ganz andere Faktoren Rücksicht zu nehmen ist. Hier werden der Forschung weite Gebiete eröffnet. Derzeit dürfen wir uns mit dem allernächsten Ziel begnügen: die Voraussetzungen für jene Zahlen klar zu machen, mit denen wir arbeiten.

Es wäre von grossem Interesse, eine Kontrolle für die t -Werte in der Tab. 7.5.17 zu haben. Derzeit fehlt leider das Material dafür. Erforderlich dazu ist die Bestimmung von Alter und Höhe zu zwei verschiedenen Zeitpunkten in Beständen jenes Typs, welcher in den Produktionstabellen angegeben wird. Man kann dabei auf dieselbe Weise wie bei den unberührten Beständen vorgehen, also durch Zuwachsbohrung einzelner Probestämme in verschiedener Höhe, oder auch durch Beobachtung der oberen Höhe im selben Bestand mit ausreichendem Zeitabstand. Untersuchungen der erstgenannten Art sind in dem Programm für die neue Produktionsuntersuchung enthalten, wovon die Untersuchungen unberührter Bestände nur eine Teilarbeit darstellten. Es schien deshalb nicht geeignet, jetzt eigene Untersuchungen dieser Art zu beginnen. Die Anwendung des zweiten Ausweges wurde in meiner Arbeit deshalb verhindert, weil die Höhenmessungen vor 1927 unsicher waren und die Zeit von diesem Jahr bis zum Abschluss der Materialeinsammlung für diese Arbeitsweise zu kurz war.

Indessen können Anhaltspunkte für die Beurteilung der berechneten t -Werte aus dem Material unberührter Bestände erhalten werden. Dort wurde die Anzahl der Jahresringe teils bei 1 % der Stammlänge und ausserdem bei 1,3 m gezählt. Der Unterschied zwischen diesen Messungen und dem t des unberührten Bestandes ist um soviel Jahre geringer, als zum Erreichte der Höhe von 1 % notwendig war. Als Repräsentant für die »unberührten« t ist diese Differenz etwas zu gering.

Bei gewöhnlicher Durchforstung ohne vorhergehende Jungwuchspflege ist der Bestand bei Erreichen von 1,3 m unberührt. Trotzdem gibt es einen Unterschied, der auf der Art des Aufkommens beruht. Eine Produktionsfläche soll homogen sein. Sie soll mit gewissen Toleranzen nur eine Holzart enthalten und gleichaltrig sein. Sie soll auch nicht jahrelang unterdrückte Kümmerlinge enthalten und nicht stark überschirmt gewesen sein. Bei der Wahl einer unberührten Fläche können ähnliche Forderungen aufgestellt werden, aber mit viel geringerer Schärfe. Es gibt daher eine natürliche Tendenz zu stärkerem t auf der unberührten Fläche als auf der durchforsteten. Obwohl die gemessene Jahresdifferenz zwischen 1 % und 1,3 m ein wenig geringer ist als ein »unberührtes« t , kann sie mit gutem Grund grösser als das t der entsprechenden Durchforstungsfläche angenommen werden. Zum Vergleich mit den berechneten t -Werten in der Tab. 7.5.17 wurden deshalb

die genannten Jahresdifferenzen, welche in Zukunft beobachtete t genannt werden, in der Tab. 7.5.18 zusammengestellt. Angaben, welche auf weniger als fünf Probestämmen beruhen, wurden ausgeschlossen.

Wie erwartet liegen die Werte in der Tabelle 7.5.18 im Allgemeinen höher. Ausnahmen bilden Kiefer, Nordschweden, $h_{100} = 20$ sowie Fichte, Nordschweden $h_{100} = 20$ und 24, welche einen Fehlbetrag von 0,82, 1,42 und 1,58 Jahren aufweisen. Diese Abweichungen sind kleiner als jene Zeit, welche vermutlich für das Aufwachsen bis zu 1 % der Baumhöhe notwendig ist. In Wirklichkeit ist also die angenommene Regel unverändert

Für Fichte, Südschweden, sind die in unberührten Beständen gemessenen t -Werte hoch und ungleichmässig. Da ich diese Flächen nicht gesehen habe, kann ich nur vermuten, dass die Verjüngungen zuerst stark überschirmt waren, vielleicht meist durch Birke.

7.6. Direkte Bonitierung

Die Resultate von 7.5 wurden in erster Linie für die Erstellung von Bonitierungstabellen verwendet. Dabei wurde teils die Tab. H 3a ausgearbeitet, welche die Entwicklung der oberen Höhe mit zunehmendem Alter zeigt und ausserdem Tab. H 4, welche die Entwicklung der oberen Höhe mit der Zahl der Jahre bei 1,3 m angibt. In beiden Fällen wird die obere Höhe h_{30} für ganze 10 Jahre angegeben.

Zum Vergleich mit Tab. H 3a enthält Tab. H 3b die Höhe der mittl. Kreisfläche für 10-jährige Altersintervalle. Die Angaben wurden aus den Produktionstabellen mit den Durchforstungsprogrammen $L_5 G_{10,10}$ in Nordschweden und $L_5 G_{10,5}$ in Südschweden genommen.

Die Höhenangaben der Tabellen beziehen sich auf eine bestimmte Holzart und ein bestimmtes geographisches Gebiet, sowie eine bestimmte Verjüngungsart und die Bonität h_{100} . Beispiele für die Berechnung der Tabellen H 3a und H 4 finden sich im Originaltext unter I—III.

Beide Tabellen, H 3a und H 4 sind auf zehnjährigen Intervallen aufgebaut. Alle Werte $\frac{t}{z}$, welche für H 4 notwendig sind, stehen daher als $\frac{t}{x}$ in der Berechnung von H 3a. Dadurch wird die Berechnung von H 4 bedeutend erleichtert.

Die Tabellen H 3a und H 4 sind in erster Linie für direkte Bonitierung bestimmt. Deshalb ist es notwendig, dass der in Frage kommende Bestand den Bedingungen der Tabellen entspricht. Man beachte, dass es sich hierbei nur um die Höhenentwicklung und nicht um die Produktion handelt. Ein Bestand muss hinsichtlich Holzart, geographischem Gebiet und Verjüngungsart derselben Gruppe angehören wie die Tabelle. Weiters muss der Bestand mit geringen Toleranzen homogen sein und darf keine Schäden oder Eingriffe aufweisen, welche die obere Höhe unmittelbar beeinflusst haben. Schliesslich ist bei direkter Bonitierung erforderlich, dass das t des Bestandes einigermaßen mit der Tabelle übereinstimmt.

Dies alles kann man sehen und zufriedenstellend beurteilen. Dagegen gibt es einen wichtigen Faktor, welchen man nicht sehen kann, nämlich den Einfluss der Durchforstung auf den echten Zuwachs der oberen Höhe. Auf Grund der Unsicherheit der Höhenmessungen vor 1927 konnte diese Frage nicht in die durchgeführte Untersuchung aufgenommen werden. Analog zur Überlegung unter 7.4 ist es meiner Ansicht nach wahrscheinlich, dass die Durchforstung den Höhenzuwachs in jüngerem Alter beeinflussen kann, dass aber die Höhe im Alter von 100

Jahren im Grossen und Ganzen nicht verändert wird. Indessen sind das nur Spekulationen. Wie die Durchforstung praktisch auf den echten Höhenzuwachs einwirkt, kann natürlich nur durch Untersuchungen bestimmt werden.

7.7. Indirekte Bonitierung

Leider kann nur ein ganz geringer Teil unserer Bestände mit Recht durch direkte Anwendung der Tabellen H 3a und H 4 bonitiert werden. Oft weicht der Bestand in irgendeiner Hinsicht von den Bedingungen ab und dann muss der Einfluss der Abweichung auf die Bonität beurteilt werden. Die Bonitierung gilt in diesem Fall nicht dem wirklichen Bestand, sondern einem gedachten, welcher mit Hilfe des wirklichen konstruiert werden kann.

Die Notwendigkeit einer solchen Korrektur wechselt stark. Wir betrachten zuerst einige Bestandestypen, bei denen nur kleinere Ausgleichungen erforderlich sind. Es kommt sehr oft vor, dass das wirkliche Alter t bei 1,3 m nicht mit der Tabelle übereinstimmt. Für die Gruppe »gepflanzt« wurden besondere Tabellen ausgearbeitet, in denen das t' bei 1,3 m mit $0,7t$ eingesetzt wurde. Die gepflanzten Bestände stellen also einen unabhängigen Typ dar, dessen Höhenentwicklung gesucht wird. Die Fälle mangelnder Übereinstimmung mit der Tabelle, welche zuvor gemeint waren, haben einen anderen Charakter. Dort wird die Abweichung vom Alter in Brusthöhe als zufällig betrachtet und die Höhenentwicklung der Tabelle nach 1,3 m akzeptiert. In solchen Fällen wird das Alter ausgeglichen, was durch die Verwendung der Tabelle H 4 automatisch erfolgt.

Nicht selten reicht die abnorme Entwicklung in der Jugend über 1,3 m hinaus. Besonders in theoretischen Untersuchungen kann die Beachtung solcher Störungen von Interesse sein. Die Überlegung bleibt dieselbe wie hier, bloss der Anschluss an die Tabelle erfolgt später.

Die Forderung nach Homogenität kann in bestimmten Fällen stark gemindert werden. Bestände verschiedener Holzart und verschiedenen Alters können sogar direkt bonitiert werden, falls eine herrschende Holzart vorhanden ist oder in einer Holzart eine herrschende Altersgruppe, welche für die Messung der oberen Höhe und das entsprechende Alter homogen genug ist. In Übergangsfällen, wo die Voraussetzungen für die direkte Bonitierung fehlen, kann man sich oft mit Korrekturen helfen, deren Grösse zu beurteilen ist.

Auch die Bestandesbehandlung kann Korrekturen bei der Bonitierung hervorrufen. Die Tabelle setzt voraus, dass Eingriffe im obersten Bestand nicht stattgefunden haben. Für Eingriffe früherer Zeit ist es schwer den Einfluss zu erkennen. Nach kürzlich erfolgter Hochdurchforstung oder Abtrieb der stärksten Stämme kann dagegen der Bestand leicht rekonstruiert und bonitiert werden.

Ohne Zweifel gibt es viele Fälle, in denen eine zufriedenstellende Bonitierung mit hauptsächlichlicher Hilfe des jetzigen Bestandes erreicht werden kann, allerdings mit Korrekturen der einen oder anderen Art. Indessen bleiben viele Bestände übrig, welche nicht auf diese Weise bonitiert werden können. Hierher gehören sehr heterogene Bestände und Bestände, welche vor längerer Zeit hochdurchforstet oder plenterartig genutzt wurden, sowie Rest- und aufgelöste Bestände. Eine grosse Gruppe bilden die Fälle, bei denen man nach einer anderen Holzart als der jetzigen bonitieren möchte. Und schliesslich, aber nicht weniger wichtig, ist es notwendig Kahlflächen zu bonitieren.

In solchen Fällen wendet die Praxis eine gefühlsmässige Beurteilung der Bonitätsklasse oder der Ertragsfähigkeit an. Für wissenschaftliche Untersuchungen, und später auch für die Praxis, wäre es aber wertvoll, wenn diese schwer zu beurteilenden Bestandestypen für eine auf Messungen beruhende Bonitierung zugänglich gemacht werden könnten. Das kann durch die Regressionsanalyse geschehen. Alle Versuchsflächen, welche in der vorliegenden Produktionsuntersuchung verwendet wurden, sind durch die Berechnung von h_{100} bonitiert worden. Gleichzeitig wurde der Standort jeder Fläche durch Messungen beschrieben, welche auch auf Kahlschlägen ausgeführt werden konnten. Es muss daher möglich sein, eine Regressionsfunktion zu bilden, welche bei bekannten standortsbeschreibenden Aufnahmen wahrscheinliche Werte für h_{100} ergeben. In dem Mass wie die naturwissenschaftliche Analyse die Standortsbeschreibungen verbessern kann, können neue Zusammenhangsfunktionen ausgearbeitet werden, welche die Berechnung von h_{100} sicherer machen.

Was hier über die alten Versuchsflächen gesagt wurde, gilt ebenso für alle anderen Versuchsflächen, für die h_{100} berechnet werden kann. Nach Erhalt der Funktionen können diese für alle Böden verwendet werden, welche innerhalb der Grenzen des Materiales liegen. Das ist die ideale Form der indirekten Bonitierung.

Kap. 8. Einfluss der Klimaänderungen

8.1. Einleitung

Es steht ausser Frage, dass der forstliche Ertrag stark vom Klima beeinflusst wird. Soll aber entschieden werden, welche Klimafaktoren wirksam sind und welchen Effekt deren Einfluss hervorbringt, dann müssen wir uns mit grösserer Vorsicht ausdrücken. Die Zurückhaltung ist noch mehr berechtigt, wenn wir den Effekt des Klimas auf den Zustand der Bestände und Bäume beurteilen wollen.

Solche Fragen werden mit Hilfe der Regressionsanalyse nach der früher beschriebenen Methode gelöst. Von diesem Gesichtspunkt aus gibt es keinen Anlass, die Klimavariablen besonders zu betonen. Dagegen scheint es notwendig, bestimmte allgemeine Reflexionen über die Rolle des Klimas in der Produktionsforschung anzustellen. Was hier gesagt wird ist bekannt, aber es dürfte gleichwohl am Platze sein, daran zu erinnern.

8.2. Die verschiedenen Zeitbegriffe

Wir treffen in der Produktionsforschung auf zwei Zeitbegriffe, welche auseinandergehalten werden müssen. Der eine ist unsere Zeitrechnung, welche durch das Kalenderjahr angegeben wird und hier Kalenderzeit genannt wird. Der zweite ist das Alter.

Wechsel des Klimas spielen sich während der Kalenderzeit ab. Die Entwicklung einer Versuchsfläche geht auch in der Kalenderzeit vor sich, kann aber ausserdem als eine Funktion des Alters betrachtet werden. Da viele Versuchsflächen für die Berechnung der wahrscheinlichen Entwicklung verwendet werden, wird diese nur als Verlauf in der Altersskala dargestellt.

8.3. Mittleres Klima

Während der Entwicklung vom Pflanzenstadium bis zum Abtriebsalter erlebt ein Bestand gute und schlechte Zuwachsjahre. Auf die Ursachen dieses Wechsels soll hier nicht eingegangen werden, es dürfte aber unbestreitbar sein, dass dieser hauptsächlich als ein direkter oder indirekter Einfluss der Klimaänderungen anzusehen ist. Oft vereinen sich die einzelnen guten oder schlechten Jahre zu ganzen Perioden. Während der Lebenszeit eines Bestandes werden diese Abweichungen mehr oder weniger ganz ausgeglichen, sodass die Totalproduktion und h_{100} dem Resultat bei einem mittleren Klima ziemlich gut entsprechen.

Ähnliche Verhältnisse treten ein, wenn die wahrscheinliche Bestandesentwicklung berechnet wird. Diese bezieht sich auf die Zukunft, aber wir kennen das zukünftige Klima nicht. Wir sind gezwungen uns auf die verflossene Zeit zu stützen, doch nicht auf gute oder schlechte Jahre, sondern auf den Zuwachs bei mittlerem Klima.

Der Begriff mittl. Klima ist gewöhnlich gleichbedeutend mit dem mittl. Klima des Materiales. Bei der Regressionsanalyse verwendet man die Klimamessungen des Materiales als Variable und befreit damit zumindest teilweise die Werte, welche die Bestandesentwicklung angeben, von klimatischen Störungen. Nach Fertigstellung der Ausgleichsfunktion, kann diese an das mittl. Klima angepasst werden, indem die Klimavariablen mit den Mittelwerten des Materiales konstant gehalten werden. Man kann — und das ist einer der grossen Vorteile der Regressionsanalyse — die Klimavariablen auch bei anderen Werten als den Mittelwerten des Materiales zu Konstanten erheben. Dadurch kann die Funktion an verschiedene klimatische Typfälle angepasst werden, allerdings nur innerhalb der Grenzen des Materiales.

8.4. Feste Versuchsflächen

Für die hier vorgelegte Untersuchung, wurde das Material auf festen Versuchsflächen eingesammelt. Diese wurden sukzessiv in den Jahren 1902—1925 angelegt und ungefähr jedes fünfte Jahr revidiert. Das jüngste Material stammt von 1940. Da die Beobachtungen sich über einen so langen Zeitraum erstreckten, scheint das Risiko für einseitigen Klimaeinfluss sehr klein zu sein.

Dagegen sind die Voraussetzungen für eine Detailanalyse in diesem Material weniger günstig. Der für die Berechnung wichtige Durchmesserzuwachs in Brusthöhe wurde als Differenz wiederholter Kluppung auf der Rinde erhalten. Es wurden also die periodischen Zuwächse gemessen und diese variieren viel weniger als der jährliche Zuwachs. Wegen Personalmangel mussten die Revisionen vielfach auf die Vegetationszeit verlegt werden und es war nicht möglich jedes Mal zum selben Zeitpunkt wiederzukommen. Deshalb wurde die Messung des Durchmesserzuwachses teils durch die bei der Messung mit Rinde vorhandene Unsicherheit beeinflusst, und ausserdem durch die Unklarheit der Anzahl Jahresringe und den Bruchteilen davon, welche den Durchmesserzuwachs darstellt. Die Genauigkeit der Messungen muss also hier bedeutend geringer sein als dort, wo durch Zuwachsbohrung solche Fehler eliminiert sind.

Die klimatischen Angaben sind ebenfalls mit Unsicherheitsfaktoren behaftet. Der Abstand der Versuchsfläche bis zur nächsten meteorologischen Station ist oft weit und die Höhenlage kann gegenüber jener der Station stark abweichen.

Das Klima der Station während einer kurzen Zuwachsperiode kann durch den

Mittelwert einer langen Beobachtungszeit (Normalklima) und durch die Abweichungen von diesem Mittelwert charakterisiert werden. Die Bedeutung normal-klimatischer Werte, besonders hinsichtlich von Jahrestemperaturen, wurde in der Untersuchung durch die Aufteilung in Nord- und Südschweden gemindert. Die Anwendung der Abweichungen der Stationen vom Normalklima für die Versuchsf lächen wurde durch lokale Verschiedenheiten zwischen den Flächen und Stationen erschwert.

Aus allen diesen Gründen haben sich die Klimavariablen in dieser Untersuchung nur wenig bemerkbar gemacht. Forschungen über die Klimaeffekte dürften, zumindest anfangs, am erfolgreichsten sein, wenn sie auf Spezialuntersuchungen konzentriert werden, bei denen Voraussetzungen und Effekte mit grösstmöglicher Schärfe beobachtet werden können.

8.5. Einmalige Untersuchung durch Zuwachsbohrung

Bei einmaligen Untersuchungen wird die Aussenarbeit nur auf ein paar Jahre verteilt. Der Zuwachs wird für Perioden gemessen, die höchstens dem Intervall zwischen zwei Durchforstungen entsprechen. Man nehme an, dass die zu untersuchende Periode fünf Jahre sei, und dass diese durch die Aufteilung der Aussenarbeit eine Verschiebung von einigen Jahren erfahren kann. Alle beobachteten Entwicklungen haben sich dann in einem Zeitraum von etwas mehr als fünf Kalenderjahren abgespielt. Sind diese Jahre gut gewesen, so ist der gemessene Zuwachs im Grossen und Ganzen für alle Bonitäten und Altersstufen höher als normal. Eine auf solchen Messungen beruhende Produktionstabelle würde einen viel zu hohen Ertrag angeben.

Um solchen Verdrehungen des Resultates vorzubauen, müssen bei einmaligen Untersuchungen besondere Massnahmen ergriffen werden. Eine Möglichkeit ist z. B. in die Regressionsanalyse klimatische Daten als unabhängige Variable einzusetzen und diese in der Schlussfunktion für Mittelwerte, welche grössere Allgemeingültigkeit haben als die Mittelwerte des Materiales, zu Konstanten zu erheben. Dieses Verfahren setzt aber voraus, dass die Klimavariablen des Materiales in ausreichendem Masse variieren. In einer offensichtlich guten oder schlechten Periode, für welche die Korrektur am notwendigsten ist, kann man erwarten, dass die Klimavariation gering ist. Für den hier diskutierten Bedarf müssen wir uns daher nach einem anderen Ausweg umsehen.

Das grösste Interesse ziehen Methoden auf sich, welche Vergleiche mit dem gemessenen Zuwachs darstellen. In seiner Arbeit »Den gamla norrländska gran-skogens reaktionsförmåga efter genomhuggning» (Die Reaktionsfähigkeit des alten Nordländischen Fichtenwaldes nach Durchhauung) charakterisiert NÄSLUND (1942) die Klimaänderung mit Hilfe der Jahresringentwicklung auf unberührten Probeflächen. Dabei wurde die Verminderung der Jahresringe mit steigendem Alter durch numerischen Ausgleich für jede Fläche eliminiert. Die gemessenen Jahrringbreiten wurden in Prozent der entsprechenden ausgeglichenen Werte ausgedrückt und diese Zahlen Jahrringindex genannt. Schliesslich wurden alle unberührten Flächen zu einer mittl. Jahrringindexserie zusammengeschlagen, bei dem jedes Kalenderjahr durch eine solche Zahl charakterisiert wurde.

Mit Hilfe des Jahrringindex wurde dann ein Klimaindex ausgearbeitet, welcher aber in diesem Zusammenhang von geringerem Interesse ist. Das für uns wesentliche ist der Jahrringindex. Bei einmaligen Untersuchungen besteht — wie wir

gesehen haben — die Gefahr, dass das Produktionsniveau auf Grund der Klimaänderung falsch beurteilt wird. Es erhebt sich nun die Frage, ob solchen Störungen mit Hilfe des Jahrringindex vorgebaut werden kann.

Wie schon gesagt wurde NÄSLUNDS Index vom Material unberührter Beständen abgeleitet. Dadurch wich man der Variation aus, welche durch ungleichartige Behandlung entsteht. In den Jahren 1941—1949 sammelte die Forstliche Forschungsanstalt sehr viel Beobachtungsmaterial aus unberührten Beständen in allen Teilen des Landes. Dadurch erhielt man Unterlagen für eine allseitige Betrachtung über die Wachstumsweise des Urwaldes. Dieses Material konnte bis inklusive 1949 dazu verwendet werden, jedes Kalenderjahr durch einen Jahrringindex zu charakterisieren, doch sind für die darauffolgenden Jahre neue Beobachtungen in unberührtem Wald notwendig. Dieser Waldtyp verringert sich aber sehr rasch und deshalb wird diese Arbeitsmethode in naher Zukunft nicht mehr möglich sein.

Aus dieser Situation gibt es hauptsächlich zwei Auswege. Man kann das vorhandene Jahrringmaterial mittels Regressionsanalyse behandeln und dadurch den Zusammenhang zwischen Jahrringindex und den Standortvariablen, in erster Linie den klimatischen, berechnen. Mit den erhaltenen Funktionen kann der Jahrringindex auch für Kalenderjahre nach 1949 berechnet werden, sobald die klimatischen Daten vorliegen. Man darf aber die Reichweite einer solchen Funktion nicht überschätzen. Sie wird ja den Klimasituationen während einiger verflossener Dezennien angepasst. Wir alle wissen, dass sich eine langsame Änderung des Klimas in unserem Lande vollzieht, doch sind die Ursachen hierfür unbekannt, und es ist daher schwer zu beurteilen, wie lange die Anpassung der Funktion gelten kann.

Eine mehr indirekte Methode besteht darin, auf dem ständig sich erneuernden Material der Reichswaldschätzung aufzubauen. Jedes Jahr erhält man die Messungen für das neue Kalenderjahr. Wählt man diesen Weg, so verzichtet man auf die Forderung nach unberührten Beständen und untersucht statt dessen den Klimaeinfluss auf die Wirtschaftsbestände. Die letztgenannten variieren stärker als die unberührten Bestände, was in diesem Fall unangenehm ist. Indessen kann man dem entgegenwirken, indem man die Untersuchungen auf genau definierte Gruppen beschränkt, welche für jedes Kalenderjahr gleich abgegrenzt werden.

III. Regelung der Stammanzahl

Kap. 9. Die Stammverteilung

9.1. Einleitung

In Kap. 1 und 2 wurde über die gleichmässige Verteilung der Stämme auf der Fläche gesprochen. Da die Durchforstungsversuche in der Regel in vollgeschlossenen Beständen angelegt und die Durchforstungen später immer mit Rücksicht auf die geeignete »Stellung« der Stämme durchgeführt wurden, dürfte die Verteilung der Stämme auf den Versuchsflächen normalen Ansprüchen genügen. Jene Stammverteilung aber, welche unter der Überschrift dieses Kapitels zu verstehen ist, ist etwas ganz anderes. Hier ist die Verteilung der Stammanzahl auf Durchmesserklassen in Brusthöhe gemeint. Solche Verteilungen sind wertvolle Beiträge, zum Verständnis der Bestandesstruktur und Wachstumsweise (vgl. LÖNNROTH 1926, LAPPI-SEPPÄLÄ 1930, NÄSLUND 1936).

9.2. Die normale Stammverteilung und deren Modifikation

Als Grundform der Stammverteilung wählen wir die normale Frequenzfunktion $\varphi(x)$, welche um den Nullpunkt symmetrisch ist. (Fig. 9.2.1.).

Fig. 9.2.1. Normale Häufigkeitsfunktion.

Diese Funktion kann so modifiziert werden, dass sie von der Grundform durch Asymmetrie oder Exzess abweicht. Wir betrachten zuerst die Asymmetrie, welche für unser Problem am meisten Bedeutung hat. Im Anschluss an die angelsächsische Terminologie nennen wir eine Asymmetrie positiv, wenn der längere »Schwanz« auf der rechten Seite ist (Fig. 9.2.2), und negativ, wenn der längere Schwanz links ist (Fig. 9.2.3).

Fig. 9.2.2. Verteilung mit positiver Asymmetrie.

Fig. 9.2.3. Verteilung mit negativer Asymmetrie.

Wie bekannt verwendet CHARLIER sowie andere nordische Verfasser, u. a. NÄSLUND (1936) die entgegengesetzte Ausdrucksform. Meine Abweichung davon wird mit dem Wunsch begründet, mit der nunmehr herrschenden Auffassung konform zu gehen, aber vor allem deshalb, da sich die angelsächsische Terminologie besser für die Probleme der Produktionsforschung eignet.

In der Fig. 9.2.4 zeigt die Stufenkurve (Histogramm) die beobachtete Stammanzahl per ha in Durchmesserklassen. Die Figur stammt von NÄSLUND (1936, Seite 36).

Fig. 9.2.4. Stufenkurve, welche die Stammanzahl per ha in cm-Klassen auf einer Probefläche darstellt. Die Stammverteilung ist durch eine Kurve nach CHARLIERS A-serie ausgeglichen.

Die Stammverteilung des Diagrammes ist ein Ergebnis der Geschichte des Bestandes bis zur ersten Durchforstung sowie dieses Eingriffes. Die Unregelmässigkeiten der Verteilung beruhen hauptsächlich auf der geringen Grösse der Fläche,

welche den Ausgleich zufälliger Einflüsse erschwerte. Dieser Mangel kann bis zu einem gewissen Ausmass durch statistischen Ausgleich der auf der Fläche gemachten Beobachtungen ersetzt werden. Eine solche Bearbeitung erleichtert die Beschreibung der Fläche und trägt zur Verallgemeinerung des Ergebnisses bei. In der Fig. 9.2.4 stellt die grobe Kurve einen Ausgleich nach CHARLIERS A-Serie dar (CHARLIER 1906 und 1920).

Die primäre Frequenzverteilung, das Histogramm, kann durch seine Momente charakterisiert werden. Damit sind, wenn nichts anderes gesagt wird, die Zentralmomente gemeint, d. h. die Momente um den Mittelwert. Der Ausgleich will eine kontinuierliche Kurve mit denselben Momenten wie das Histogramm erreichen.

Hinsichtlich der Berechnung der Momente wird auf Lehrbücher verwiesen, z. B. CRAMÉR (1949). In unserem Fall beruht das Zentralmoment auf verschiedenen Potenzen der Durchmesserabweichungen vom arithmetischen Mittel. Zweites Moment oder Moment zweiter Ordnung wird das Mittel der Quadrate der Durchmesserabweichungen genannt. Dieses Moment ist also mit dem Quadrat der mittl. Abweichung identisch. Drittes Moment ist das Mittel der kubierten Durchmesserabweichungen usw. Ein Moment höherer Ordnung als der zweiten wird gewöhnlich in Relation zur entsprechenden Potenz der mittl. Abweichung gesetzt. Dadurch erhalten wir unter Verwendung von CRAMÉRS (1949) Bezeichnungen:

$$\text{das Asymmetriemass } \gamma_1 = \frac{\mu_3}{\sigma^3} \text{ und}$$

$$\text{das Exzessmass } \gamma_2 = \frac{\mu_4}{\sigma^4} - 3$$

wobei μ_3 und μ_4 das dritte und vierte Moment darstellen.

Eine Frequenzfunktion $f(x)$, welche mässig von der normalen Frequenzfunktion $\varphi(x)$ abweicht, kann nach der folgenden Gleichung CRAMÉRS approximiert werden (CRAMÉR 1949, Formel 7.5.1):

$$f(x) = \varphi(x) - \frac{\gamma_1}{3!} \varphi^{(3)}(x) + \frac{\gamma_2}{4!} \varphi^{(4)}(x) + \frac{10\gamma_1^2}{6!} \varphi^{(6)}(x)$$

worin $\varphi^{(3)}(x)$, $\varphi^{(4)}(x)$ und $\varphi^{(6)}(x)$ der dritte, vierte und sechste Differentialquotient von $\varphi(x)$ ist.

Bei Vergleich mit CHARLIERS entsprechender Funktion (1920, S. 67) finden wir, dass die Gleichungen bis zum vierten Differentialquotienten identisch sind, wenn CHARLIERS Koeffizienten β_3 und β_4 folgendermassen geschrieben werden:

$$\text{der Asymmetriekoeffizient } \beta_3 = -\frac{1}{6} \cdot \gamma_1$$

$$\text{der Exzesskoeffizient } \beta_4 = \frac{1}{24} \cdot \gamma_2$$

was vollkommen mit der Bedeutung der Definitionen CHARLIERS übereinstimmt. Der zuvor genannte Gegensatz zwischen Angelsachsen, denen sich CRAMÉR anschliesst, und der nordischen Gruppe, representiert von CHARLIER, stellt also nur ein Sprachenproblem dar. Die ersteren nennen eine Asymmetrie positiv, wenn das

dritte Moment positiv ist, während die letzteren dieselbe Bezeichnung verwenden, wenn der Asymmetriekoeffizient positiv ist und das Moment also negativ.

Dieses Problem über die Terminologie ist natürlich kein Hindernis dafür, neben anderen Charakteristika, welche nicht vom genannten Gegensatz berührt werden, auch NÄSLUNDS Asymmetriekoeffizienten zu verwenden.

Die auf diese Weise modifizierte Normalkurve gilt, wie schon gesagt, für Stammverteilungen mit mässiger Abweichung von der normalen. In solchen Fällen ist die Kurve von grossem Wert für die Veranschaulichung der Durchschnittstendenzen im Material. Die schwächsten Partien der Kurve sind die Flügel, wo negative Frequenzen erhalten werden können. Für die Produktionsforschung ist der rechte Flügel, also die obere Grenze der Verteilung, besonders bedeutungsvoll. Wir müssen verlangen, dass diese Grenze bei Niederdurchforstung und gleichmässiger Durchforstung nicht verändert wird und sie muss so klar definiert sein, dass der Grenzzuwachs berechnet werden kann. Diese Forderung wird von der modifizierten Normalkurve nicht erfüllt. Deshalb kann sie für die Erstellung von Produktionstabellen nicht verwendet werden.

9.3. Beschnittene Normalverteilungen

Bei der hier vorgelegten Untersuchung hat die Normalkurve als Skelett gedient, aber sie wurde den jeweiligen Verteilungen durch Beschneidung angepasst. Die Fig. 9.3.1 zeigt eine normale Stammverteilung, bei der der Mittelwert der Durchmesser Mn und deren mittlere Abweichung σn ist.

Fig. 9.3.1. Normale Stammverteilung, begrenzt von $Mn - 3\sigma n$ und $Mn + 3\sigma n$.

Die Normalkurve setzt voraus, dass sehr grosse und sehr kleine Durchmesser vorhanden sein können, obwohl deren Frequenzen sehr niedrig sind. In unseren Kalkulationen sehen wir von diesen extrem niedrigen Frequenzen ab, welche auf das Resultat nur unbedeutenden Einfluss haben. Wir schneiden — im Anschluss an eine oft angewendete Praxis — die Teile der Normalkurve weg, welche ausserhalb der Punkte $Mn - 3\sigma n$ und $Mn + 3\sigma n$ liegen. Dadurch erhalten wir die klar definierte obere Grenze für die Stammverteilung, welche zuvor gefragt war. In bestimmten Zusammenhängen bezeichnen wir die obere Grenze mit L .

Aus der so begrenzten Normalkurve erhalten wir andere Stammverteilungstypen durch Beschneidung. Während der rechte Flügel bei $L = Mn + 3\sigma n$ bleibt, wird der linke Flügel sukzessive auf Punkte zwischen $Mn - 3\sigma n$ und $Mn + 3\sigma n$ verlegt. Wir erhalten auf diese Weise die Werte für die untere Grenze der Stammverteilung, welche unter 9.3.2 zu finden sind.

Tab. 9.3.2. Untere Grenze der Stammverteilung

Durchmesser	$Mn - 3\sigma n$	$Mn - 2\sigma n$	$Mn - \sigma n$	Mn	$Mn + \sigma n$	$Mn + 2\sigma n$	$Mn + 3\sigma n$
Abweichungen							
Δ von Mn . . .	$-3\sigma n$	$-2\sigma n$	$-\sigma n$	0	$+\sigma n$	$+2\sigma n$	$+3\sigma n$
$i = \frac{\Delta}{\sigma n}$	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
$\varphi = 3 - i$	6	5	4	3	2	1	0

Bei unseren Voraussetzungen kann sich eine Verteilung nicht weiter nach links erstrecken als bis zum Punkt $Mn - 3\sigma n$. In diesem Fall ist die Verteilung symmetrisch und die Basis $6\sigma n$. Eine solche Verteilung wird durch die Bezeichnung $\varphi = 6$ charakterisiert. Wird die Beschneidungsgrenze um ein σn nach rechts verschoben, wird die Basis $5\sigma n$ und $\varphi = 5$ usw. Im Punkt L , also an der oberen Grenze der Stammverteilung, ist $\varphi = 0$.

φ gibt also die Beschneidungsgrenze an, welche die untere Grenze der beschnittenen Verteilungen ist. Dadurch charakterisiert φ die ganze Verteilung. Die Verbindung von φ und der Form von beschnittenen Verteilungen wird in Fig. 9.3.2 veranschaulicht. Z. B. für $\varphi = 4$ liegt die Verteilung zwischen diesem φ -Wert und $\varphi = 0$.

Fig. 9.3.2. Zusammenhang von φ und der Form beschnittener Verteilungen.
Z. B. für $\varphi = 4$ liegt die Verteilung zwischen diesem φ -Wert und $\varphi = 0$.

Aus dem Gesagten geht hervor, dass alle beschnittenen Verteilungen Teile einer Normalverteilung darstellen, deren mittl. Abweichung σn ist. Die Basen der beschnittenen Verteilungen, also die Abstände von der Beschneidungsgrenze bis zum rechten Flügel, werden relativ durch φ ausgedrückt. Die absoluten Abstände sind $\varphi\sigma n$.

Zur Charakterisierung beschnittener Verteilungen sind bestimmte Daten notwendig, welche aus existierenden Normaltabellen entnommen werden können (PEARSON 1924, CRAMÉR 1949). Mit diesen als Ausgangspunkt wurden für verschiedene φ die relativen mittl. Durchmesser M' , gerechnet von der Beschneidungsgrenze aus, und die relativen mittl. Abweichungen σ' berechnet. Beide Faktoren sind durch σn als Einheit ausgedrückt. Die Berechnungen der relativen Faktoren werden in der Methodenbeilage M 7 angegeben. Die Resultate stehen in der Hilfstabelle H 5, welche für jedes angegebene φ auch den Quotienten $\frac{M'}{\sigma'}$ angibt, welcher für die Definition von Verteilungen verwendet werden kann.

Man nehme an, dass die Stämme einer Probefläche gezählt wurden, und hierauf der arithmetische mittlere Durchmesser M_s und die mittl. Abweichung σ_s auf gewohnte Weise berechnet wurde. Gemäss zuvor ist $\sigma_s = \sigma' \sigma n$. Die untere Grenze der Stammverteilung (Beschneidungsgrenze) wird mit α bezeichnet. Dann ist nach den angegebenen Definitionen

$$M_s = \alpha + M' \sigma n = \alpha + \frac{M'}{\sigma'} \cdot \sigma_s$$

$$\frac{M_s - \alpha}{\sigma_s} = \frac{M'}{\sigma'} \dots\dots\dots (9.3.3)$$

Wenn wir α bestimmen können, erhält man also laut 9.3.3 $\frac{M'}{\sigma'}$. Daraus erhält man φ durch die Tabelle H 5. Diese Methode wurde für selbstdurchforstete Bestände verwendet, in denen α klein ist und = 0 gesetzt werden kann.

Hier ist zu erwähnen, dass φ nicht überall eindeutig eine Funktion von $\frac{M'}{\sigma'}$ ist. Bei $1,218 < \frac{M'}{\sigma'} < 1,732$ gibt es zwei φ -Werte, je einen auf beiden Seite von

$\varphi = 1,7$ (ungefähr). Indessen kommen in dieser Untersuchung keine niedrigeren φ -Werte als 1,7 vor.

Für durchforstete Bestände wurde φ statt dessen erfahrungsmässig beurteilt, worauf $\frac{M'}{\sigma'}$ aus der Tabelle H 5 genommen und α nach 9.3.3 berechnet wurde.

Auf diese Weise wurde die Anzahl der φ -Typen begrenzt und damit die Anwendung der Hilfstabellen erleichtert.

Vom theoretischen Standpunkt aus wäre es angenehmer, in beiden Fällen dieselbe Methode zu verwenden. Indessen mussten in dieser Untersuchung die praktischen Gründe den Ausschlag geben.

Kap. 10. Die Entstehung der Stammverteilung

10.1. Einleitung

Die Entwicklung der Waldbestände vom Pflanzenstadium bis zur ersten Durchforstung wurde bisher noch wenig studiert. Dieses Problem musste bisher vor Aufgaben mit unmittelbarer praktischer Anwendung zurückstehen. Ich bin aber überzeugt, dass gründliche Untersuchungen auf diesem Gebiet von grossem Wert für die Forschung und damit für die Forstwirtschaft sein würden.

Bei der derzeitigen Lage des Problemes müssen wir uns mit einer Überlegung behelfen, welche nur teilweise kontrolliert werden kann. Wie in Kap. 9 gehen wir von der normalen Wahrscheinlichkeitsfunktion aus, welche von GAUSS als Glied der Fehlertheorie abgeleitet wurde. Es hat sich aber gezeigt, dass die Funktion auch auf vielen anderen Gebieten verwendet werden kann, wo eine Variable als die Summe von vielen, untereinander unabhängigen Komponenten angesehen werden kann. Da diese Bedingung nicht erfüllt ist, erwarten wir Verteilungen, welche mehr oder weniger von der normalen abweichen. Von besonderem Interesse ist die Entstehung schiefer (asymmetrischer) Verteilungen.

Es ist klar, dass die folgende Überlegung nicht irgendwelche Probleme lösen will. Es soll nur die Aufmerksamkeit auf gewisse Verhältnisse gerichtet werden, von denen angenommen wird, dass sie von Bedeutung für das Ergebnis sind. Wir wollen nur einige Beispiele aus der frühesten Bestandesentwicklung betrachten.

10.2. Weite Verbände

Angenommen, eine Fläche wird in gleichmässigem Verband gepflanzt, die Kultur entwickelt sich gut und es sind keine Nachbesserungen notwendig. Der Bestand wird also vollkommen gleichaltrig. Der Verband soll so weit sein, dass jedes Stämmchen während einer Übergangszeit vollkommen unabhängig von den anderen wachsen kann. Es treten keine Ausfälle durch Krankheiten ein. Auf Grund von Verschiedenheiten in der Erbanlage und im Milieu wachsen die Pflanzen verschieden schnell bis Brusthöhe (1,3 m). Zuerst kommen einige schnell wachsende Individuen, darnach die grosse Masse der mittelmässigen und schliesslich einige langsam wachsende. Wenn wir graphisch die Pflanzenanzahl über der Zuwachsgeschwindigkeit, dargestellt durch Pflanzenhöhe oder Länge des Wipfeltriebes, auftragen, so werden wir wahrscheinlich eine Frequenzkurve erhalten, welche der normalen Wahrscheinlichkeitsfunktion entspricht.

Nachdem unsere Pflanzen die Bruthöhe erreicht haben, werden sie höher und stärker. Einige Jahre nach dem Aufkommen der letzten Pflanze betrachten wir die Stammverteilung mit Hilfe der Durchmesser in 1,3 m Höhe. Wahrscheinlich finden wir dann die Schnellwachsenden am rechten Flügel der Verteilung und die Langsamwachsenden am linken Flügel. Dazwischen liegt, wie vorher, die grosse Masse. Obwohl ohne Material nichts bewiesen werden kann, kann man annehmen, dass die Stammverteilung in Bruthöhe ungefähr dieselbe Form erhält wie die Höhenverteilung. Folgt die letztere der Normalkurve, so kann man annehmen, dass dies die Durchmesserverteilung ebenso tut.

10.3. Engere Verbände

Die Pflanzenanzahl sei diesmal so gross, dass die schlechteren Pflanzen dem wachsenden Druck von den besseren Pflanzen ausgesetzt sind. Auch in diesem Fall entwickeln sich die besten Pflanzen normal, aber die Höhenentwicklung der schlechteren verspätet sich. Dadurch wird der linke Flügel länger und die Höhenzuwachsverteilung negativ asymmetrisch.

Wie unter 10.2 setzen wir voraus, dass die Durchmesserverteilung bald nach dem Erreichen der Bruthöhe ungefähr dieselbe relative Form wie die Höhenzuwachsverteilung aufweist. Sie wird also negativ asymmetrisch.

10.4. Sehr enge Verbände

Weitere Vermehrung der Pflanzenanzahl verstärkt die unter 10.3 gefundene Tendenz zu negativer Asymmetrie. Aber diese Tendenz wird früher oder später von einem entgegenwirkenden Prozess aufgehoben: der Selbstdurchforstung. Wenn die Zahl der Pflanzen sehr gross ist, kann die Selbstdurchforstung die von Anfang an mittelguten Pflanzen erreichen, also die Klasse, deren Frequenz am grössten ist. Man kann dann einen steilen Anstieg der Durchmesserverteilung um diesen Punkt erwarten. Dadurch wird eine Tendenz zu positiver Asymmetrie hervorgerufen.

10.5. Ungleichaltrige Bestände

Bisher haben wir vorausgesetzt, dass ein gepflanzter Bestand keine Altersunterschiede aufweist. Das ist nicht einmal auf den Versuchsflächen immer der Fall und noch weniger in der Praxis. Bei natürlicher Verjüngung durch Selbstbesamung muss man mit einer Anzahl von ein wenig älteren und deshalb stark vorwüchsigen Stämmen rechnen. Diese verursachen in der Durchmesserverteilung eine positive Asymmetrie.

10.6. Entgegenwirkende Faktoren

Nicht selten ist die laut 10.3 und 10.4 negative Symmetrie mit positiver Asymmetrie laut 10.4 und 10.5 vereinigt. Die Stammverteilung kann dadurch zwei Spitzen erhalten.

10.7. Zusammenfassung

Schliesslich muss erwähnt werden, dass der angenommene Zusammenhang der Höhenzuwachsverteilung und der Durchmesserverteilung natürlich nach Gutdünken gewählt wurde. Es ist möglich, dass die Verbindung komplizierter ist und

die Überlegung dadurch beeinflusst wird. Derzeit fehlt jedoch das Material für eine Entscheidung in dieser Frage.

Die vorhergehende Übersicht wurde auf Annahmen aufgebaut, welche den Voraussetzungen nach als angepasst beurteilt wurden. Wir haben festgestellt, dass die Stammverteilung in schütterten und vollkommen gleichaltrigen Beständen wahrscheinlich eine Normalkurve darstellt, während man bei dichten und weniger gleichaltrigen Beständen eine positive Asymmetrie erwarten kann. Bei mässiger Dichte, wobei die schwächeren Pflanzen unter Druck stehen, jedoch ohne stärkere Selbstdurchforstung, muss wahrscheinlich mit negativer Asymmetrie gerechnet werden. Dieser Typ dürfte eine Übergangsform darstellen. Schon zum Zeitpunkt für die erste Durchforstung wird die Selbstdurchforstung als so stark beurteilt, dass sie eine Umkehr zu positiver Asymmetrie hervorruft.

Die auf diese Weise erhaltene Auffassung möchten wir gerne durch Vergleiche mit ausgeführten Beobachtungen kontrollieren. Leider fehlt das Material für den Zeitraum, welcher durch die vorhergehende Diskussion berührt wird. Unterstützung, wenn auch nur in geringerem Ausmass, erhält man durch die Stammverteilungen, welche auf den Versuchsflächen unmittelbar vor deren erster Durchforstung beobachtet wurden. Aus bekannten Gründen erfolgte diese erste Durchforstung in der Regel viel später als normal. Deshalb kann nur eine geringe Anzahl von Flächen den Zustand zur Zeit der ersten Durchforstung darstellen.

Dadurch, dass der Vergleich an den Beginn der Durchforstungen verlegt wurde, dürfte die in der Diskussion hervorgetretene negative Asymmetrie in der Hauptsache wegfallen. In diesem Fall haben wir dann nur zwei Verteilungstypen zu erwarten, nämlich den normalen und den positiv asymmetrischen.

Der betreffende Vergleich erfolgt im Kapitel II. Vorher müssen jedoch einige der wichtigsten Voraussetzungen untersucht werden.

Kap. II. Änderung der Stammverteilung

II.1. Einleitung

Die Bestände werden durch Durchforstung und Zuwachs verändert. Dadurch wird die Stammverteilung modifiziert, welche in dieser Untersuchung durch normal begrenzte oder beschnittene Normalverteilungen dargestellt ist. Die Änderung kann die Form der Stammverteilung, ausgedrückt durch φ , deren Lokalisierung, angegeben durch die relative Beschneidungsgrenze λ , und deren Grössenmasse beeinflussen. Die letztgenannten sind die totale Stammanzahl S und die mittlere Abweichung σn in der Normalverteilung, von der die jeweilige Verteilung einen Teil darstellt. Die Einflüsse von Durchforstung und Zuwachs sollen im Folgenden getrennt betrachtet werden, doch möchte ich zuerst über einige Detailuntersuchungen sprechen, welche beide betreffen.

Bei der Beurteilung dieser Untersuchungen muss man folgendes bedenken.

1. Das Material umfasst Versuchsflächen in möglichst homogenen Beständen. Ein direkter Vergleich mit den oft heterogenen Beständen der Praxis ist daher nicht berechtigt.

2. Die Versuchsflächen wurden in Beständen mit sehr unterschiedlichem Alter angelegt. Die Mittelwerte, welche z. B. für die 1. Revision berechnet wurden, verbergen grosse Altersunterschiede. Doch sind zwischen den Revisionen immer ca. fünf Jahre vergangen.

3. Die Durchforstung wurde nach Instruktionen durchgeführt, welche die Durchforstungsform und den Stärkegrad in Verbindung mit bestimmten Baumklassen definierten, wobei die Bäume nach ihrer Stellung im Bestand, Kronenentwicklung, Stammform usw. eingeteilt wurden (SCHORTE 1912).

4. Aus den in Kap. 2 angeführten Gründen wurden die Flächen nicht immer nach denselben Instruktionen behandelt sondern die Durchforstung wurde nicht selten zweimal geändert. Ein Studium des Einflusses der einzelnen Programme muss sich daher auf isolierte Durchforstungsperioden beschränken.

11.2. Die Bezeichnungen

Beschnittene Normalverteilungen sind Teile gedachter Normalverteilungen mit dem arithmetischen Mitteldurchmesser Mn und der mittl. Abweichung σn (vgl. Fig. 9.3.1). Der mittl. Durchmesser einer beschnittenen Verteilung wird mit M_s bezeichnet und die mittl. Abweichung mit σ_s .

Der Zustand vor der Durchforstung hat den Index 1 — nach der Durchforstung den Index 2. Das Zeichen [] bezeichnet den vorhergehenden, das Zeichen { } den nächsten Zeitpunkt.

α bezeichnet die untere Grenze der beschnittenen Verteilung, L die obere Grenze. Die Form der Verteilung wird durch den Strukturfaktor φ angegeben, woraus man den relativen mittl. Durchmesser M' (von der unteren Grenze gerechnet), die relative mittl. Abweichung σ' und den Stammzahlquotienten $F(\varphi)$ ableiten kann. Die Stammzahl per ha wird mit S bezeichnet.

Näheres über die Stammverteilung enthält Kap. 12.

11.3. Der Durchmesserzuwachs

Für Kiefer, Nordschweden und Südschweden, erfolgte um 1930 eine Untersuchung des Durchmesserzuwachses für die numerierten Stämme der Versuchsfächen. Die Bearbeitung bezog sich auf verschieden lange Perioden von der ersten Revision nach der Durchforstung bis zur letzten zugänglichen Revision, ebenfalls nach der Durchforstung. Die untersuchten Perioden umfassten 5—28 Jahre. Nur die bei der letzten Revision stehengebliebenen Bäume wurden in Betracht gezogen. Das Material wurde bei der Revision 1 in 2 cm-Klassen eingeteilt, worauf der mittl. Durchmesser klassenweise für beide Zeitpunkte berechnet wurde. Die späteren Durchmesser D wurden graphisch über den früheren Durchmessern d aufgetragen und der Zusammenhang durch die Regressionsfunktion

$$D = a + bd \dots\dots\dots (11.3.1)$$

ausgedrückt.

Die Diagramme zeigten eine auffallend gute Anpassung an die gerade Linie. Sicherlich gab es Ausnahmen, besonders am rechten Flügel, doch waren diese für eine Biegung der Regressionslinie nicht stark genug. Daraus wurde der Schluss gezogen, dass der Ausgleich geradlinig, wie unter 11.3.1, erfolgen sollte.

Dagegen wurden die erhaltenen Konstantwerte bis jetzt nicht ausgenutzt. Gegen eine Bearbeitung der Konstanten sprach die kurze Beobachtungszeit und besonders der Umstand, dass gerade während dieser Jahre die Durchforstungsrichtlinien geändert wurden. Versuche, die Konstanten mit bestimmten Zustandsvariablen zu korrelieren, hatten, wahrscheinlich aus diesem Grunde, wenig Erfolg.

Die Regressionslinie von 11.3.1 ergibt für jeden Durchmesser am Beginn der Periode den wahrscheinlichen Durchmesser am Ende der Periode. Aus der Formel geht hervor, dass die wahrscheinlichen Durchmesser dann erhalten werden, wenn man jeden Anfangsdurchmesser mit b multipliziert und um a vermehrt. Keine dieser Operationen beeinflusst die Form der Stammverteilung. Solange wir annehmen, dass die Durchmesser sich gemäss 11.3.1 entwickeln, müssen wir auch voraussetzen, dass die Form der Verteilung durch den Zuwachs nicht verändert wird (siehe Kap. 29).

11.4. Der Asymmetriekoeffizient β_3

Indessen gibt es um die Regressionslinie eine Streuung, welche darauf beruht, dass nicht alle Stämme mit gleichem Anfangsdurchmesser gleich schnell wachsen. Wir sehen ein, dass die einzelnen Bäume sich nur ausnahmsweise genau nach 11.3.1 entwickeln, und fragen, wie diese Abweichungen auf die Form der Stammverteilung einwirken. Dieses Problem wird am besten durch das Studium wirklicher Verteilungen beantwortet.

Bei NÄSLUNDS Primärbearbeitung des Durchforstungsmateriales wurden für jede Fläche und Revision die Asymmetrie- und Exzesskoeffizienten vor und nach der Durchforstung ausgerechnet (NÄSLUND, 1936, Tab. II). Uns interessieren hauptsächlich die Asymmetriekoeffizienten. Wenn wir einen solchen Koeffizienten vor der Durchforstung mit der entsprechenden Angabe nach der Durchforstung auf derselben Zeile vergleichen, erhalten wir eine Vorstellung über die Formänderung der Verteilung durch die Durchforstung. Vergleichen wir statt dessen den Koeffizienten nach der Durchforstung mit den Koeffizienten vor der Durchforstung der nächsten Revision, welcher auf der nächsten Zeile steht, so erhält man ein Mass der Formänderung durch den Zuwachs.

Solche Vergleiche zeigt die Beilage M 8, wo für den besseren Überblick ein Mittelwert der Koeffizienten jeder Revision verwendet wurde. Diese Vereinfachung wurde als zulässige betrachtet, da weniger als 4 % aller Zuwachsperioden umgekehrte Vorzeichen aufweisen. Die Änderung der Koeffizienten durch eine Durchforstung brachte in 9,7 % der Fälle eine Vorzeichenänderung mit sich. Indessen hat dies bei unserer Untersuchung, wo die Durchforstung gegeben ist, keine Bedeutung. Bei der Berechnung des Zuwachseinflusses wurden in den Mittelwerten nach der Durchforstung am Beginn der Periode nur die Koeffizienten für jene Flächen mitgenommen, welche auch vor der Durchforstung am Ende der Periode gemessen wurden, also Flächen, für welche eine spätere Revision vorhanden war.

Wir sehen in M 8, vor der Durchforstung, dass β_3 bei der ersten Revision — 0,079 ist, was bei der hier angewendeten Terminologie positive Asymmetrie bedeutet. Der numerische Wert des Koeffizienten wird im allgemeinen bei späteren Revisionen geringer, d. h. die Verteilung entwickelt sich zum Normalen hin.

11.5. Der Exzesskoeffizient β_4

Auch dieser Koeffizient, welcher ein Mass für die Spitze der Stammverteilung ist, wurde von NÄSLUNDS Tabelle II (1936) in eine Tabelle überführt, welche den Einfluss der Durchforstung und des Zuwachses zeigt. Wir sehen in M 9, vor der Durchforstung, dass β_4 bei der ersten Revision — 0,005 ist, und dass der numerische Wert des Koeffizienten bei späteren Revisionen grösser wird, d. h. die Verteilung

entwickelt sich vom Normalen weg. Der Grund für diesen Entwicklungsgang liegt hauptsächlich beim Zuwachs. Indessen sind die gezeigten Exzesse so gering, dass sie in diesem Zusammenhang übergangen werden können.

11.6. Die Zuwachsquotienten R und r

Wir definieren

$$R = \frac{Ms1}{[Ms2]}$$

$$r = \frac{\sigma s1}{[\sigma s2]}$$

In dieser Untersuchung wurde R durch Regressionsfunktionen berechnet, welche direkt aus dem Material abgeleitet wurden. Anfangs wollte ich r auf dieselbe Weise berechnen, fand aber, dass die Grundlagen für eine freie Beurteilung von R und r noch zu schwach waren. Das Zusammenspiel dieser zwei Faktoren ist nämlich so empfindlich, dass deren Relationen untereinander kontrolliert werden müssen. Deshalb wurde nur R durch Regression bestimmt, während r aus R nach einer angenommenen Regel abgeleitet wurde. Wir kommen darauf unter 21.3 zurück.

Um allgemeine Zuwachsvoraussetzungen zu eliminieren, welche R und r beeinflussen, wurde der Quotient $\frac{r}{R}$ gebildet.

Es hat sich gezeigt, dass dieser Quotient von der Behandlungsmethode beeinflusst wird. Der Zusammenhang ist aus den Beilagen M 10 für Kiefer und M 11 für Fichte zu ersehen, wo Mittelwerte von $\frac{r}{R}$ für verschiedene Behandlungsgruppen angegeben werden. Tabelle 11.6.1 enthält als Beispiel einen Auszug aus der Beilage M 10. Die Zahlen beziehen sich auf Kiefer, Südschweden nicht gepflanzt.

Es ist offensichtlich, dass $\frac{r}{R}$ bei stärkerer Niederdurchforstung geringer wird. Nebenbei kann bemerkt werden, dass Fichte, Südschweden, gepflanzt, eine Gruppe enthält, welche mit starker Kronendurchforstung behandelt wurde (siehe Beilage M 11). Der Gruppenmittelwert von $\frac{r}{R}$ übersteigt ein wenig den Mittelwert der Selbstdurchforstung (1,089). Dieses Verhältnis unterstreicht, dass der Verlauf von $\frac{r}{R}$ in der Tab. 11.6.1 einem Niederdurchforstungseffekt gleichkommt.

Wir kommen nun auf die Formel 11.3.1 zurück, welche lautete

$$D = a + bd$$

Solange es sich um dieselben Stämme handelt, z. B. während einer Periode in der nicht durchforstet wird, kann 11.3.1 umgeformt werden um für mittl. Durchmesser Gültigkeit zu haben. Wir erhalten

$$Ms1 = a + b [Ms2]$$

Bezüglich a und b siehe Originaltext, Formel 11.6.2 bis 11.6.5.

In den Formeln 11.6.4 und 11.6.5 sind die Produkte der Faktoren q und $\frac{r}{R}$ enthalten. Beide Faktoren sind für Untersuchungen zugänglich, welche die Beurteilung von a und b verbessern können. Für $\frac{r}{R}$ haben wir bereits in Tab. 11.6.1 einen offensichtlichen Einfluss der Bestandesbehandlung festgestellt. Weitere Untersuchungen sollten sich vor allem auf die Bedeutung des Zeitfaktors für den Korrelationskoeffizienten und $\frac{r}{R}$ einrichten.

Der letzte Absatz bezieht sich auf Hilfsmittel für die Erstellung von Produktionstabellen. Es wird vorausgesetzt, dass der Kontakt mit dem Material durch den Zuwachsquotienten R des mittl. Durchmessers, der durch eine Regressionsfunktion berechnet wird, aufrecht erhalten wird. Die Entwicklung des mittl. Durchmessers wird abwechselnd vom R der Zuwachsperioden und vom Einfluss der Durchforstung bestimmt, welchen wir durch das φ -System beherrschen (vgl. Kap. 17). Auf diese Weise erhält man den mittl. Durchmesser M_{S1} vor der Durchforstung für jeden Eingriffszeitpunkt. Die laut 11.3.1 gerade Regressionslinie muss durch den Punkt $[M_{S2}]$, M_{S1} gehen. Die Diskussion unter 11.6 bezieht sich auf die Neigung b der Regressionslinie, welche wiederum das a der Regression beeinflusst. Den Zusammenhang zwischen diesen Konstanten und R zeigt Fig. 11.6.6.

Fig. 11.6.6. Zusammenhang zwischen den Konstanten der Regressionslinie und R . $a + b [M_{S2}] = M_{S1} = [M_{S2}]$.

11.7. Zusammenfassung

Aus den unter 11.3 angeführten Gründen nehmen wir an, dass die Durchmesserentwicklung linear laut 11.3.1 erfolgt. In diesem Fall müssen wir auch voraussetzen, dass die Form der Stammverteilung durch den Zuwachs nicht verändert wird.

Andererseits wurde unter 11.4 und 11.5 gezeigt, dass die Verteilungsform durch den Zuwachs geändert werden kann. Dieser Gegensatz beruht darauf, dass das aufgeworfene Problem in diesen Fällen ein anderes war als unter 11.3.1. Dort suchten wir die wahrscheinliche Entwicklung jeder Durchmesserklasse, welche vom mittl. Zuwachs der Klasse bestimmt wird. Die Resultate unter 11.4 und 11.5 stammen dagegen aus totalen Stammverteilungen, welche durch den mittl. Zuwachs und die Streuung um diesen bestimmt werden. Näheres darüber enthält Kap. 29.

Kap. 12. Der Einfluss der Durchforstung auf die Form der Stammverteilung

12.1. Einleitung

Eine Durchforstung wird gleichförmig genannt, wenn man aus jeder Stammklasse prozentmässig dieselbe Stammzahl entnimmt. Spricht man von Stammverteilung so meint man gewöhnlich die Stammfrequenz in Durchmesserklassen. Von diesem Gesichtspunkt aus wird die Durchforstung gleichförmig, wenn derselbe Prozentsatz an Stämmen aus jeder Durchmesserklasse entnommen wird. Eine auf diese Weise begrenzte Gleichförmigkeit wird nicht gestört, wenn die Ent-

nahme innerhalb der Durchmesserklassen z. B. auf bestimmte Höhentypen oder bestimmte Qualitäten konzentriert wird.

Es ist klar, dass eine gleichförmige Durchforstung nicht die Form der Stammverteilung ändert. Die Fragestellung gilt in diesem Kapitel daher der ungleichförmigen Durchforstung. Schon von Anfang an wurde gesagt, dass die vorliegende Arbeit hauptsächlich homogene Bestände betrifft. Da die natürliche Behandlungsform in solchen Wäldern die Niederdurchforstung ist, wird diese der Überlegung zu Grund gelegt. Andere Arten ungleichförmiger Durchforstung werden später diskutiert.

Bei der Durchforstung der Versuchsflächen wurde sehr auf die individuelle Beschaffenheit der Stämme sowie, obwohl weniger genau, auf das Erreichen eines geeigneten Abstandes der Stämme Rücksicht genommen. Dies ist aber bei der Erstellung einer Produktionstabelle leider nicht möglich. Indessen können uns die bei der Detailarbeit auf den Flächen gewonnenen Erfahrungen helfen die Durchforstungsprogramme der Produktionsforschung, welche schematische werden müssen, zu definieren.

Unter 11.4 werden einige Zahlen von den Durchforstungen auf den Versuchsflächen in Kiefernbeständen angegeben. Dieses Material zeichnet sich durch positive Asymmetrie in der Ausgangslage aus und die Behandlung war überwiegend niederdurchforstungsartig. Es zeigte sich, dass die eigentliche Durchforstung — abgesehen vom Zuwachs — eine Entwicklung in Richtung zur Normalverteilung mit sich führte. Ich habe diese Entwicklung als typisch für die Niederdurchforstung betrachtet. Im Anschluss daran habe ich angenommen, dass die Niederdurchforstung einer ursprünglichen Normalverteilung in weiterer Normalität resultiert.

12.2. Niederdurchforstung in der Normalverteilung

Wir präzisieren unter 9.3 den Begriff normal als begrenzte Normalverteilung, wobei die »Schwänze« ausserhalb der Punkte $Mn - 3\sigma n$ und $Mn + 3\sigma n$ weggetrennt wurden. Die übrigen Verteilungen wurden durch Beschneidung begrenzter Normalverteilungen enthalten, wobei der rechte Flügel unverändert belassen wurde, die untere Grenze der Verteilung (Beschneidungsgrenze) jedoch verschiedene Lagen erhielt. Sowohl normale als beschnittene Verteilungen wurden durch den Faktor φ charakterisiert, welcher die Relation zwischen der Basis der Verteilung und der mittl. Abweichung der Normalverteilung σn ausdrückt. Für normale Verteilungen wurde $\varphi = 6$.

Fig. 12.2.1 zeigt eine begrenzte Normalverteilung I, von der nach der Niederdurchforstung die ebenso normale Verteilung II übrigbleibt.

Fig. 12.2.1. Begrenzte Normalverteilung I, wovon nach dem Niederdurchforstungsmoment die begrenzte Normalverteilung II übrig bleibt. Die Kurven berühren einander in einem Punkt mit der Abszisse $x = i$.

Die Niederdurchforstung ändert die Basis der Verteilung um den Quotienten u' , welcher < 1 ist, wodurch der linke Flügel nach rechts eingezogen wird. Die Basis ist vor und nach der Durchforstung gleich $6\sigma n$, woraus

$$\sigma n_2 = u' \sigma n_1 \dots \dots \dots (12.2.2)$$

folgt.

Da I und II normal sind, ist φ — laut unserer bisherigen Definition — in beiden Fällen = 6. Wir haben φ nur als einen Ausdruck für die Form der Stamm-

verteilung betrachtet. Von diesem Standpunkt aus wird φ beim Durchforsten einer Normalverteilung nicht beeinflusst. Trotzdem geschieht etwas, der linke Flügel entfernt sich nämlich von seiner Ausgangslage. Wir kommen darauf unter 12.4 zurück.

Die Verkürzung der Basis, welche durch 12.2.2 erreicht wird, kann mit einer Stammmentnahme von sehr ungleichmässiger Stärke verbunden werden. In der Figur 12.2.1 bezeichnet die Verteilung II die grösste Stammzahl, welche bei der angegebenen Basisverkürzung erreicht werden kann. Als Folge davon definieren wir die Niederdurchforstung als von zwei Momenten zusammengesetzt, nämlich dem Niederdurchforstungsmoment, welches die Verteilung von I auf II vermindert und ein damit kombiniertes Moment gleichmässiger Durchforstung welches von II $\psi' \cdot II$ übrig lässt. Die ganze Niederdurchforstung wird also durch die Quotienten u' und ψ' charakterisiert.

Die Kurve II erhält ihre höchste Lage dort, wo sie I in einem unbekanntem Punkt mit der Abszisse $x = i$ berührt. In diesem Punkt werden die Ordinaten gleich. Auch die Differentialquotienten müssen gleich sein, nachdem II sonst I schneiden und in einem nahegelegenen Punkt höher als I liegen müsste, was unnatürlich ist.

In der Figur 12.2.1 kann der Punkt $x = i$ als Beschneidungsgrenze für diejenigen Teile von I und II betrachtet werden, welche rechts von i liegen. Die Strecke zwischen i und dem rechten Flügel ist gemeinsam für die Fälle I und II. Diese Strecke ist

$$\begin{aligned} \text{im Fall I} &= \varphi_1 \sigma n_1 \\ \text{» » II} &= \varphi_2 \sigma n_2, \end{aligned}$$

wobei φ_1 und φ_2 die Kurventeile rechts von i darstellen. Daraus erhält man

$$\varphi_1 \sigma n_1 = \varphi_2 \sigma n_2 = \varphi_2 u' \sigma n_1, \text{ und weiter}$$

$$\varphi_2 = \frac{\varphi_1}{u'} \dots \dots \dots (12.2.3)$$

Aus der in M 12 gezeigten Rechnung ist

$$i_1 = \frac{3}{1 + u'} \dots \dots \dots (12.2.4)$$

und

$$i_2 = \frac{3u'}{1 + u'} \dots \dots \dots (12.2.5)$$

Wenn I_1 die Stammzahl in I und I_2 die Stammzahl in II ist, so erhält man aus der zitierten Berechnung

$$\frac{I_2}{I_1} = u' e^{-\frac{4.5(1-u')}{(1+u')}} \dots \dots \dots (12.2.6)$$

Der Faktor $e^{-\frac{4.5(1-u')}{(1+u')}}$ wird aus einer e^{-x} Tabelle (HAYASHI 1938) mit $x = \frac{4.5(1-u')}{(1+u')}$ abgelesen. Mit Hilfe der Formel 12.2.6 wurde die Tabelle H 6 konstruiert, welche für Normalverteilungen die verschiedenen Werten von u' entsprechen, den Stammzahlquotienten $\frac{I_2}{I_1}$, bei der Entnahme durch ein Nieder-

durchforstungsmoment angibt. Auf Grund der Einfachheit der Formel ist es vorteilhafter die dazwischenliegenden Werte zu berechnen, als in der Tabelle zu interpolieren.

Die Änderung der Stammverteilung durch Niederdurchforstung zeigt die Fig. 12.2.7.

Fig. 12.2.7. Änderung der Stammverteilung durch Niederdurchforstung. Die strichlierte Fläche stellt die Entnahme mittels Niederdurchforstungsmoment dar, die punktierte Fläche die Entnahme mittels Moment gleichm. Durchforstung.

12.3. Niederdurchforstung in beschnittener Verteilung

Die Figur 12.3.1 zeigt dieselben Kurven I und II, welche wir in der Fig. 12.2.1 betrachtet haben.

Fig. 12.3.1. Dieselben Kurven wie in Fig. 12.2.1 mit einer im Punkt $\varphi = 4$ der Kurve I eingelegten Beschneidungsgrenze.

Statt der hypothetischen Grenze im Punkt i haben wir eine Beschneidungsgrenze gezogen, welche den unteren Grenzen natürlicher Verteilungen entspricht. In der Figur ist diese Linie im Punkt $\varphi = 4$ der Kurve I gezogen. Wir bezeichnen die φ -Werte der Kurve wie früher mit φ_1 und φ_2 , doch gelten diese hier für andere φ -Werte als bei den gleichen Bezeichnungen unter 12.2.1.

Das Wesentliche der Überlegung zu 12.2.1 war, dass die zwei Kurven eine gemeinsame Basis hatten, welche mit den Faktoren jeder Kurve ausgedrückt werden konnte. Das ist auch hier der Fall. Die Strecke zwischen der Beschneidungslinie und dem rechten Flügel ist für die Kurven I und II gemeinsam. Wir erhalten wie früher

$$\varphi_1 \sigma n_1 = \varphi_2 \sigma n_2 = \varphi_2 u' \sigma n_1 \text{ und daraus}$$

$$\varphi_2 = \frac{\varphi_1}{u'} \dots \dots \dots (12.3.2)$$

Wie schon unter 12.1 gesagt wurde, haben beschnittene Verteilungen die Tendenz, bei Niederdurchforstung in normale Verteilungen überzugehen. Deshalb war es wünschenswert, die Niederdurchforstungen beschnittener Verteilungen nach den Regeln für normale Verteilungen behandeln zu können. In der Praxis bietet diese Erweiterung des Problem es keine Schwierigkeiten. Zuerst denkt man sich die Durchforstung in der imaginären Verteilung durchgeführt, deren Teil die gegebene Verteilung ist. Mit dieser Hilfe wird dann die Änderung der beschnittenen Verteilung durch die Durchforstung berechnet. Zu diesem Zweck enthält die Tabelle H 5 für jeden φ -Wert Angaben über die entsprechende Frequenz $F(\varphi)$, ausgedrückt als Quotient der normal beschnittenen Normalkurve. Als Einfluss des Niederdurchforstungsmomentes auf die Stammzahl S der gegebenen Verteilung erhalten wir also

$$\left(\frac{S_2}{S_1}\right)' = \frac{I_2}{I_1} \cdot \frac{F(\varphi_2)}{F(\varphi_1)} \dots \dots \dots (12.3.3)$$

Der Apostroph beim S -Quotienten gibt an, dass es sich hier nur um ein Niederdurchforstungsmoment handelt. Unter 12.3.3 erhält man $\frac{I_2}{I_1}$ aus der Tabelle H 6 unter u' sowie $F(\varphi_2)$ und $F(\varphi_1)$ aus der Tabelle H 5 unter φ_2 und φ_1 .

Wenn auch das Moment für gleichmässige Durchforstung berücksichtigt wird, erhält 12.3.3 folgendes Aussehen:

$$\frac{S_2}{S_1} = \left(\frac{S_2}{S_1}\right)' \cdot \psi' \dots\dots\dots (12.3.4)$$

und daraus für bestimmte Probleme

$$\psi' = \frac{S_2}{S_1} : \left(\frac{S_2}{S_1}\right)' \dots\dots\dots (12.3.5)$$

12.4. Erweiterte Definition von φ

Gemäss früheren Definitionen bezeichnen α und L die untere und obere Grenze einer Stammverteilung. Bei Niederdurchforstung ist

$$L - \alpha_1 = \varphi_1 \sigma n_1$$

$$L - \alpha_2 = \varphi_2 \sigma n_2,$$

daraus

$$\varphi_2 = \frac{L - \alpha_2}{L - \alpha_1} \cdot \frac{\varphi_1}{u'} \dots\dots\dots (12.4.1)$$

In Verteilungen, welche nach der Durchforstung beschnitten bleiben, ist $\alpha_2 = \alpha_1$ und daraus

$$\varphi_2 = \frac{\varphi_1}{u'} \dots\dots\dots (12.4.2)$$

somit derselbe Ausdruck wie 12.3.2.

Bei der Niederdurchforstung in normalen Verteilungen wird die untere Grenze nach rechts verschoben, woraus folgt

$$\alpha_2 > \alpha_1, \text{ und}$$

$$\varphi_2 < \frac{\varphi_1}{u'} \dots\dots\dots (12.4.3)$$

Nachdem die beschnittenen Verteilungen oft in normale übergehen, will man gerne dasselbe Prinzip für alle verwenden. Wir wollen untersuchen, ob dies möglich ist.

In einer beschnittenen Verteilung fällt die untere Grenze mit der Beschneidungsgrenze zusammen. Der Fall, wo ein solcher Bestand normal wird, kann auf zwei verschiedene Arten behandelt werden. Man kann den normalen Bestand als bei $Mn - 3 \sigma n$ beschnitten betrachten. Dabei fallen die beiden Grenzen zusammen und φ wird = 6 konstant, während α durch die Durchforstung grösser wird. Alternativ kann man die frühere Beschneidungsgrenze beibehalten, wodurch $\alpha_2 = \alpha_1$ wird und φ_2 gemäss 12.4.2 entwickelt wird. Die Verteilung ist dann rechts vom Punkt α ohne Stämme. Die Bedeutung dieser Alternatives, welche in der vorliegenden Untersuchung verwendet wurde, geht klarer unter 12.5 hervor, wo wir den Durchforstungsverlauf in einer Verteilung betrachten, von der wir annehmen, dass sie keinen Zuwachs hat. Indessen müssen bereits hier folgende Gesichtspunkte unterstrichen werden.

Durch die letztgenannte Methode können wir die Entwicklung auch dann fortsetzen, wenn der Faktor φ den Wert 6 erreicht hat. Dabei muss natürlich beachtet werden, dass φ den Wert 6 nicht als Formfaktor übersteigen kann. Höhere Werte von φ haben nur für die Lokalisierung der Verteilung Bedeutung. Sobald φ grösser als 6 ist, bleibt die Verteilung normal, aber der linke Flügel wird durch die Durchforstung nach rechts verschoben.

12.5. Niederdurchforstung in einer Verteilung, für die kein Zuwachs angenommen wird

Die Figur 12.5.1 zeigt eine begrenzte Normalverteilung, von der angenommen wird, sie hätte keinen Zuwachs. Die Verteilung wird mehrmals niederdurchforstet und dies jedesmal in der Figur registriert. Nach jeder Durchforstung bleibt eine begrenzte Normalverteilung zurück. Alle Kurven in Fig. 12.5.1 sind daher normal.

Fig. 12.5.1. Begrenzte Normalverteilung, bei welcher die Stammzahl unter Beibehaltung der normalen Form der Verteilung durch wiederholte Niederdurchforstung reduziert wird. Die untere Grenze wird allmählich nach rechts verschoben.

Fig. 12.5.2 zeigt dasselbe Kurvensystem wie Fig. 12.5.1, doch mit dem Unterschied, dass bei $\varphi = 4$ eine Beschneidungslinie gezogen ist. Links von dieser Linie wurden die nicht reellen Kurven weggelassen. Die übrigen Kurven zeigen den Verlauf der Durchforstung in der beschnittenen Verteilung. Wir sehen, dass die Verteilung auch nach der 3. Durchforstung beschnitten ist, sich aber dann zu einer normalen entwickelt.

Fig. 12.5.2. Die Kurven der Fig. 12.5.1, wurden hier im Punkt $\varphi = 4$ beschnitten. Nach der vierten Durchforstung ist die Verteilung normal. Im rechten Teil der Figur sind die Grenzen einer φ -Klasse eingezeichnet (vgl. 17.4).

An dieser Stelle passiert das laut 12.4.2 berechnete φ den normalen Grenzwert 6.

Nachdem die Verteilung normal geworden ist, entfernt sich die untere Grenze von der ursprünglichen Beschneidungsgrenze. Der Abstand ist dann immer $(\varphi - 6) \sigma_n$. Nebenbei kann bemerkt werden, dass der Abstand des mittl. Durchmessers von der ursprünglichen Beschneidungsgrenze in normalen Beständen $(\varphi - 3) \sigma_n$ beträgt.

Wir haben angenommen, dass die betrachtete Verteilung keinen Zuwachs hat. In diesem Fall geht die ganze Entwicklung des Bestandes innerhalb des in Fig. 12.5.2 gegebenen Rahmens vor sich. Die Beschneidungsgrenze α_0 des Ausgangsbestandes wird während der ganzen Zeit als Hilfe für die Berechnung von φ beibehalten.

Beim oberen Grenzpunkt L gibt es keine Schwierigkeiten. Nach der Niederdurchforstungsdefinition wird der Bestand bis zur oberen Grenze gelichtet, doch wird diese durch die Durchforstung nicht verschoben. Bei der hier angegebenen Voraussetzung, Verteilung ohne Zuwachs, wird also der Punkt L im Entwicklungsdiagramm 12.5.2 nicht bewegt.

Wir kommen nun zum Punkt α zurück, welcher, abgesehen vom Zuwachs während der ganzen Entwicklung $= \alpha_0$ ist. Das absolute Mass α wird durch Division mit σ_n zu einer relativen Zahl λ umgeformt. Wir definieren für die Ausgangslage

$$\lambda_0 = \frac{\alpha_0}{\sigma_{n0}} \dots \dots \dots (12.5.3)$$

Da α durch die Durchforstung nicht verändert wird, erhält man für einen beliebigen Durchforstungszeitpunkt

$$\lambda_1 \sigma n_1 = \lambda_2 \sigma n_2 = \lambda_2 u' \sigma n_1$$

und daraus

$$\lambda_2 = \frac{\lambda_1}{u'} \dots \dots \dots (12.5.4)$$

In die Fig. 12.5.2 wurde ausserdem eine Durchmesserklasse eingezeichnet, deren Grenzen mit Hilfe der φ -Skala ausgedrückt wurde. Darauf kommen wir unter 17.4 zurück.

Kap. 13. Selbstdurchforstung

13.1. Einleitung

In unberührten Beständen, in welchen Selbstdurchforstung auftritt, herrscht eine Art natürliches Gleichgewicht, welches von grossem Interesse ist. Sicherlich ist das Gleichgewicht von Klimaänderungen abhängig und daher ziemlich labil. Aber im Grossen gesehen können wir daraus viel über den Bedarf der Bäume und die Möglichkeiten des Standortes lernen.

Deshalb stellen selbstdurchforstete Bestände ein lockendes Objekt für die Produktionsforschung dar. Untersuchungen in solchen Wäldern sind ausserdem für die Feststellung der Ausgangslagen der Durchforstungen notwendig.

In der praktischen Forstwirtschaft bestimmen wir gewöhnlich selbst über die Durchforstungsentnahmen, weshalb sich das Problem auf die Bestimmung des Zuwachses beschränkt. Bei der Selbstdurchforstung müssen sowohl die Produktion als auch der Abgang berechnet werden. Das verwendete Verfahren wird im Folgenden durch Beispiele aus Kiefernbeständen beschrieben. In dieser Gruppe gab es eine kleinere Anzahl von Selbstdurchforstungsflächen, doch waren diese nur kurze Zeit beobachtet worden, so dass die Zahl der Elemente, welche in diesem Fall ausschlaggebend ist, für eine selbstständige Bearbeitung nicht ausreichte. Deshalb wurden aktive Durchforstungsflächen zu Hilfe genommen. Zum Studium der Stammverteilung bei Selbstdurchforstung wurden die Selbstdurchforstungsflächen zusammen mit Beobachtungen über den Zustand von Durchforstungsflächen vor der ersten Durchforstung bearbeitet. Eine ähnliche Zusammenschlagung von Zuwachsbeobachtungen wurde zuerst versucht und war natürlich vorteilhaft für die Resultate der Selbstdurchforstung. Indessen war es wichtiger, so genau als möglich den Zuwachs bei aktiver Durchforstung zu bestimmen, weshalb die Zuwachsfunktionen ab 1947 nur auf den Durchforstungsflächen beruhten. Zum Vergleich von Selbstdurchforstung und aktiver Durchforstung war es auch weiterhin wünschenswert, dass beide Gruppen mit derselben Zuwachsfunktion berechnet wurden. Deshalb wurden vom genannten Jahre an die Zuwachsfunktionen der aktiven Durchforstung auch für die Selbstdurchforstung verwendet.

Der natürliche Stammausfall hat hauptsächlich zwei Gründe: zu dichte Stellung und Kalamitäten. Die letztere Ursache kommt nur fallweise und sehr unregelmässig vor, weshalb Prognosen sehr unsicher sind. Viel greifbarer ist die Selbstdurchforstung infolge Platzmangel. Sie lässt jährlich eine relativ geringe Anzahl von Stämmen absterben. Bei der Erstellung einer Produktionstabelle kann man dieser Entwicklung nicht im Einzelnen folgen, sondern der Nachweis erfolgt in

Perioden, hier fünf oder zehn Jahre. Zuwachs und Ausfall stehen in der Tabelle am Ende der Periode.

Werden Bäume durch Kalamitäten getötet, kann der Zuwachs bis zum Schluss normal sein. Beim Ausfall wegen Platzmangel, auf welchen sich diese Diskussion hauptsächlich bezieht, sinkt der Zuwachs bevor die Bäume absterben gewöhnlich auf einen unbedeutenden Betrag herab. Es kann bezweifelt werden, dass Zuwachsfunktionen, welche aus aktiv durchforstetem Material abgeleitet wurden, diesen Rückgang erkennen lassen können. Dieses Problem ist zwar wenig untersucht, aber es verdient bemerkt zu werden, dass die Zuwachsfunktionen Faktoren für die Bestandesdichte enthalten, welche eine Anpassung an die besonderen Verhältnisse der Selbstdurchforstungsbestände ermöglichen.

Es ist offenbar, dass die absterbenden Bäume in den selbstdurchforsteten Beständen ein Problem darstellen. Das gilt nicht nur für den wirklichen Verlauf des Zuwachses sondern auch für unsere Möglichkeiten, an Stämmen, welche im Zeitpunkt der Untersuchung bereits einige Jahre dürr waren, Messungen zu machen, welche sich auf den Zustand beim Absterben beziehen. Dazu kommt, dass die dürren Bäume nach dem Jahre des Absterbens verschieden lange stehen bleiben bis sie zu Boden fallen. Viel sicherer kann der Zustand nach der Selbstdurchforstung beurteilt werden. Der Bestand setzt sich dann nur aus lebenden Bäumen zusammen und seine Struktur hat sich durch den Druck verhältnismässig stabiler biologischer Faktoren nach gewissen Gesetzen gefestigt.

Mit Rücksicht darauf wurde der Zustand nach der Selbstdurchforstung das Ausgangsstadium für die Produktionsuntersuchung. Dabei wird im allgemeinen der Zustand vor der Durchforstung mit dem Index 1 und der Zustand nach der Durchforstung mit dem Index 2 bezeichnet. Dieselben Bezeichnungen wurden bei der Selbstdurchforstung verwendet, wo die Zustände vor dem Abzug des Dürrholzes »Einser« und nach dieser Operation »Zweier« genannt werden. Im Ausgangsalter sind die »Zweier bei Selbstdurchforstung« Ausgangszustand für die Tabellen über aktive Durchforstung, aber in diesem Zusammenhang werden sie »Einser«, genauer »Einser bei Durchforstung« genannt. Der Begriff »Zweier bei Durchforstung« bezieht sich auf jene Bäume, welche nach der aktiven Durchforstung übrig sind.

Bestände, welche weder durchläutert noch durchforstet wurden, werden gewöhnlich unberührte genannt. Dieser Begriff umfasst die selbstdurchforsteten Bestände und darüber hinaus auch Bestände, welche von Anfang an so schütter waren, dass keine Selbstdurchforstung eintrat. Da sich in meinem Material keine unberührten und gleichzeitig schütterten Bestände finden, konnten sie bei dieser Untersuchung nicht studiert werden. Es ist aber doch wahrscheinlich, dass diese nicht so gesetzgebunden sind, zumindest nicht in derselben einfachen Weise wie die Selbstdurchforstungsbestände. In den vielen Fällen, wo die Selbstdurchforstungsnatur der Bestände offenbar ist und nicht besonders betont werden braucht, dürfte es aber gestattet sein, den kürzeren Ausdruck »unberührt« zu verwenden.

Da der Stammasfall bei der Selbstdurchforstung von natürlichen Prozessen geregelt wird, welche wir nicht beeinflussen können, kann man hier nicht von Durchforstungsprogrammen sprechen. Indessen kann die Selbstdurchforstung durch fingierte Programme im Detail studiert und deren Wirkungsweise beschrieben werden. Es liegt in der Natur der Sache, dass die Selbstdurchforstung infolge Platzmangel den Charakter der Niederdurchforstung haben muss. Wir können

annehmen, dass sowohl ein Niederdurchforstungsmoment als auch ein Moment für gleichmässige Durchforstung vorhanden ist. Eine Untersuchung der Selbstdurchforstung wird sich daher am besten auf die Bestimmung der Faktoren u' und ψ' konzentrieren. Darnach können Produktionstabellen auf dieselbe Art wie bei aktiver Durchforstung erstellt werden.

13.2. Berechnung der Entwicklung. Allgemeines

Als Beispiel wurde »Kiefer, Nordschweden, nicht gepflanzt« gewählt. Die Berechnung erfolgte in drei Etappen, welche unter 13.3, 13.4 und 13.5 nachgewiesen werden. Die allgemeinen Gesichtspunkte, welche in diesem Abschnitt angeführt werden, wurden zum Grossteil an verschiedenen Stellen in früheren Kapiteln erwähnt. Zur Erleichterung für den Leser werden sie hier zusammengestellt und, wo notwendig, vervollständigt.

Der Berechnung wird der arithmetische Mittendurchmesser Ms_2 zu Grunde gelegt. Darauf kommen wir in den einzelnen Abschnitten zurück. Angaben über mittl. Abweichung und Stammzahl wurden mit Hilfe statistischer Funktionen erhalten, welche aus dem zusammengeworfenen Material von Selbstdurchforstungs- und Durchforstungsflächen abgeleitet wurden. Von diesen Funktionen drückt die eine, (F 1.1), den Zusammenhang zwischen der mittl. Abweichung σs_2 und Ms_2 aus, während die andere, (F 1.2), den Zusammenhang zwischen der Stammzahl S_2 und Ms_2 zeigt, alles in selbstdurchforsteten Beständen. Die übrigen Angaben wurden nach der Formel 9.3.3. und der Hilfstabelle H 5 berechnet. Die Formel lautet

$$\frac{Ms - \alpha}{\sigma s} = \frac{M'}{\sigma'} \dots\dots\dots (9.3.3)$$

Darin ist

- α = der Durchmesser an der unteren Grenze der Stammverteilung (Beschneidungsgrenze),
- M' = der relative mittl. Durchmesser, gerechnet von der Beschneidungsgrenze, und
- σ' = die relative mittl. Abweichung.

Der Quotient $\frac{M'}{\sigma'}$ steht in der Tabelle H 5 und kann zum Ablesen oder Interpretieren des Form- und Lokalisierungsfaktors φ verwendet werden.

Wir sind also imstande φ zu bestimmen, wenn wir die linke Seite von 9.3.3 berechnen können. Bei 13.2 ist Ms gegeben (siehe 13.3—13.5) und σs wird durch die statische Funktion berechnet. Die Möglichkeit φ zu erhalten beruht hier auf der Berechnung von α .

In dieser Untersuchung wurde für selbstdurchforstete Bestände $\alpha = 0$ gesetzt. Damit habe ich nur ausdrücken wollen, dass α in diesen Beständen niedrig, und dass das Material für eine genauere Berechnung unzureichend ist. In Wirklichkeit kann kein Durchmesser, also auch nicht α , kleiner als der kleinste Wipfeltriebdurchmesser werden, was LÖNNROTH bereits 1926 hervorhob. Indessen habe ich diesen Standpunkt im vorliegenden Fall, wo die Berechnung schematisch werden muss, als ziemlich subtil betrachtet. Wenn wir vom genannten Minimum absehen, kann die untere Grenze der Verteilung als im Nullpunkt der Durchmesserskala liegen bleibend angesehen werden, solange neue Stämme über die Brusthöhe wachsen. Eine Untersuchung dieses Problems wird aber deshalb kompliziert,

weil natürliche Bestände selten homogen sind. Neue Pflanzen können in kleinen Lücken lange nach dem Zeitpunkt Bruthöhe erreichen, zu welchem dies in den dichteren Teilen des Bestandes unmöglich ist. Eine scharfe Fixierung der unteren Grenze setzt daher eine Durcharbeitung des Homogenitätsbegriffes voraus.

Ein φ , welches unter der Annahme $\alpha = 0$ berechnet wurde, gilt natürlich nur unter dieser Bedingung. Man könnte glauben, dass eine solche Bedingung eine schwere Belastung darstellt, doch ist dies kaum der Fall. Der Zweck der Produktionstabellen ist nämlich, den Vergleich von Typ-Beständen zu ermöglichen. Wir dürfen nicht vergessen, dass die eigentliche Typbildung eine Vereinfachung darstellt, welche Kleinlichkeiten der Wirklichkeit ausgleicht. Die Hauptsache ist, dass wir die Voraussetzungen im Auge behalten, welche hinter unseren Resultaten liegen. Es ist dann eine Sache der Beurteilung, bei der Anwendung die Resultate an die Voraussetzungen der Wirklichkeit anzupassen.

Durch die Wahl von 11.3.1 als Ausdruck für den Durchmesserzuwachs haben wir uns an die Annahme gebunden, dass der Zuwachs nicht die Form der Stammverteilung ändert (vgl. 11.7). Als Konsequenz daraus nehmen wir an, dass die Strukturfaktoren φ , σ' , M' und $F(\varphi)$ durch den Zuwachs nicht geändert werden. Sicherlich sterben zwischen den einzelnen Revisionen Stämme ab, davon sehen wir aber ab, indem wir solche Stämme erst bei der nächsten Revision abschreiben. Bei dieser Registrierungsweise, welche allgemein verwendet wird, wird auch die Stammzahl S durch den Zuwachs nicht verändert. Deshalb wird jede Änderung der aufgezählten Faktoren in die Durchforstung verlegt.

Im Folgenden bedeutet eine eckige Klammer [] Angaben in der vorhergehenden Kolonne und eine geschlungene Klammer { } Angaben in der nächstfolgenden Kolonne. Auf diese Weise wird für zwei aufeinanderfolgende Kolonnen z. B.

$$\varphi_1 = [\varphi_2]$$

13.3. Berechnung der Entwicklung. Erste Etappe. Siehe M 13

Die Berechnung erfolgt für alle Bonitäten gemeinsam. Der arithmetische mittlere Durchmesser nach der Selbstdurchforstung, mit Ms_2 bezeichnet, steht am linken Rand der Tabelle. Dabei hat Ms_2 angenommene Werte erhalten, welche in ganzen und halben Zentimetern mit Rinde ausgedrückt wurden. Der Umfang der Durchmesserklassen wurde mit Rücksicht darauf gewählt, dass der Übergang von einer Kolonne in die andere womöglich der fünfjährigen Zuwachsperiode entsprechen soll.

Mit Hilfe der statischen Funktionen, auf welche unter 13.2 hingewiesen wird, wurden in jeder Kolonne die dem mittl. Durchmesser entsprechenden Werte von σs_2 und S_2 berechnet. Ausserdem wurde in jeder Kolonne φ_2 nach der Formel 9.3.3. berechnet.

Laut 12.3.2 ist

$$u' = \frac{\varphi_1}{\varphi_2} = \frac{\varphi \text{ vor der Durchforstung}}{\varphi \text{ nach der Durchforstung}} \dots\dots\dots (13.3.1)$$

Wir nehmen nun an, dass der Bestand die Durchmesserskala im Tabellenkopf so durchläuft, dass die dort angegebenen mittl. Durchmesser sukzessive zu Zeitpunkten erreicht werden, welche bis auf Weiteres unbekannt sind. Wir haben früher (siehe 13.2) angenommen, dass bestimmte Strukturfaktoren, darunter φ , durch Zuwachs nicht verändert werden. Dann ist

$$\varphi_1 = [\varphi_2] \text{ und}$$

$$w' = \frac{[\varphi_2]}{\varphi_2} \dots\dots\dots (13.3.2)$$

Unter φ wird in der Tabelle H 5 die relative mittl. Abweichung σ' der Verteilung abgelesen, welche durch die mittl. Abweichung σn der grundlegenden Normalverteilung als Einheit ausgedrückt wurde. Daraus folgt die absolute mittl. Abweichung der Verteilung nach der Selbstdurchforstung

$$\sigma s_2 = \sigma_2' \sigma n_2, \text{ und}$$

$$\sigma n_2 = \frac{\sigma s_2}{\sigma_2'} \dots\dots\dots (13.3.3)$$

Wir definieren

$$R = 1 + \frac{\hat{p}}{100} = \frac{M_{s1}}{[M_{s2}]} \dots\dots\dots (13.3.4)$$

und berechnen R , \hat{p} und M_{s1} laut 13.3.5 bis 13.3.7.

Man beachte, dass die Änderung von $[M_{s2}]$ zu M_{s1} durch den Zuwachs hervorgerufen wurde. Danach wird M_{s1} zu M_{s2} durch Abzug des Selbstdurchforstungsholzes geändert.

13.4. Berechnung der Entwicklung. Zweite Etappe. Siehe M 14

Hier soll M 13 zu einem Entwicklungsverlauf nach dem Alter umgeformt werden. Dazu ist zuerst das Ausgangsalter zu wählen und danach die Wachstumszeit von Kolonne zu Kolonne zu berechnen. Nachdem diese Faktoren von der Bonität beeinflusst werden, kann sich 13.4 nur auf eine bestimmte Bonität beziehen. Unser Beispiel gilt für die Bonität $h_{100} = 20$.

Die Holzausbeute hängt von der Stammlänge ab und es wurde daher als günstig betrachtet, die Ausgangslage in allen Bonitäten auf eine bestimmte Höhe zu verlegen. In dieser Untersuchung wurde als Ausgangspunkt jenes Alter gewählt, in dem die obere Höhe ($h_3\sigma$) 8 Meter am nächsten kommt. Sicherlich kommt es oft vor, dass eine so frühe Durchforstung nicht wirtschaftlich ist, aber in solchen Fällen ist das Studium des Eingriffes interessant für die Wirtschaftlichkeit der Durchläuterung.

Bei der Selbstdurchforstung verlieren diese Gesichtspunkte ihre ursprüngliche Bedeutung. Um jedoch Vergleiche mit der aktiven Durchforstung zu erleichtern wurde für die Untersuchung der Selbstdurchforstung dieselbe Ausgangshöhe gewählt.

Für 13.4 brauchen wir einen Ausgangspunkt in der Durchmesserskala. Diesen erhält man, indem man den mittl. Durchmesser M_{s2} sucht, welcher, unter gegebenen Verhältnissen, der oberen Höhe von 8 Meter entspricht. Bei regelrechter Behandlung dieser Aufgabe müsste genügend Material von selbstdurchforsteten Beständen eingeholt und mit dessen Hilfe die Regression des mittl. Durchmessers auf die obere Höhe des Bestandes berechnet werden. Den gesuchten mittl. Durchmesser könnte man dann auf der Regressionslinie bei der Abszisse von 8 m ablesen.

Indessen ist die Bezeichnung »selbstdurchforsteter Bestand« nicht eindeutig. Bei solchen Beständen gibt es grosse Variationen in der Dichte, welche verschiedene

mittl. Durchmesser zur Folge haben. Auch im besten Fall kann uns deshalb die angegebene Regression nur einen Mittelwert des gesuchten mittl. Durchmessers für die mittleren Verhältnisse des Materials geben. Für andere Voraussetzungen würde ein vom Mittelwert abweichendes Resultat die richtige Lösung darstellen. Für ein grosses und gut verteiltes Material könnte die richtige Lösung durch eine kompliziertere Regression berechnet werden, aber bei anderen Fällen müsste man bei der Wahl der möglichen Lösungen der Beurteilung vertrauen.

Bei unserer Produktionsuntersuchung hat die Zusammensetzung des Materials keine Berechnung eines mittl. Durchmessers zugelassen, welcher als Mittelwert für die Gruppe »selbstdurchforstete Bestände« hätte bezeichnet werden können. Die berechneten Resultate mussten als Beispiel betrachtet werden. Für die endgültige Wahl des mittl. Durchmessers im Ausgangsstadium waren wir bei richtiger Kalkulation noch mehr auf die Beurteilung angewiesen. Bezüglich der jetzt behandelten Gruppe »Kiefer, Nordschweden, nicht gepflanzt, $h_{100} = 20$ «, wurde der mittl. Durchmesser mit Rinde bei einer oberen Höhe von 8 m mit 4,3 cm berechnet. Mit Rücksicht auf den ungewöhnlichen Schlussgrad des Materials wurde der entsprechende Durchmesser in den Produktionstabellen mit 5 cm angenommen.

Es verdient hervorgehoben zu werden, dass eine solche Beurteilung eine mehr oder weniger bewusste Wahl der Materialgruppe darstellt. Der mittl. Durchmesser von 5 cm gilt für bestimmte Bestandestypen, während z. B. die mittl. Durchmesser 4 oder 6 cm andere Bestandestypen voraussetzen. Wir kommen hier wieder auf den Standpunkt, welcher den roten Faden dieser Untersuchung darstellt: ist: jedes Resultat baut auf bestimmten Voraussetzungen auf und gilt nur für diese.

In der Bonitierungstabelle für $h_{100} = 20$ (siehe H 3 a) wird die obere Höhe von 8 m unter 38 Jahren abgelesen (nächstliegende ganze Zahl). Dieses Alter wird in die Beilage M 14 unter $Ms_2 = 5,0$ übertragen. Für die Berechnung der weiteren Entwicklung brauchen wir den Zeitraum n von Kolonne zu Kolonne. Dies geschieht mit Hilfe der Zuwachsfunktion des mittl. Durchmessers (F 1.3), welche dabei auf folgende Weise verwendet wird.

Nach der Formel 13.3.4 wächst der mittl. Durchmesser in n Jahren von $[Ms_2]$ auf Ms_1 mit p %, in fünf Jahren also $\frac{5p}{n}$ %. Das durch die Funktion berechnete Zuwachsprozent bezieht sich auf fünf Jahre und wird mit p'_5 bezeichnet. Daraus erhält man

$$\frac{5p}{n} = p'_5 \text{ woraus}$$

$$n = \frac{5p}{p'_5} \text{ ist und}$$

das Alter in jeder Kolonne = Ausgangsalter + $n_1 + n_2 + n_3 + \dots$

Diese Alterstufen wurden in M 14 übertragen. Mit Rücksicht auf kommende Interpolationen wurden sie mit zwei Dezimalstellen berechnet.

Die Konstruktion der Zuwachsfunktionen und deren Anwendung wird ausführlich in Kap. 20 diskutiert. Hier sollen nur einige Punkte berührt werden, in denen die normale Anwendung von derjenigen in selbstdurchforsteten Beständen abweicht. Die Ausnahmen beziehen sich auf den Faktor w der Variable 2 und den Faktor E der Variablen 4 und 5. Von diesen Faktoren ist

w = die Durchmessersumme per ha vor der ersten Durchforstung,

E = die Anzahl Jahre von der ersten Durchforstung bis zum aktuellen Zeitpunkt.

Man kann die Sache so ausdrücken, dass der Zuwachs während der ganzen Lebenszeit des Bestandes von der Dichte des Ausgangsstadiums in einer sich mit der Zeit ändernden Weise beeinflusst wird. Bei aktiver Durchforstung ist w für den ganzen Entwicklungsverlauf konstant, während E mit zunehmendem Alter wächst.

Indessen gibt es bei Selbstdurchforstung kein Ausgangsstadium. Alle Altersstufen sind in dieser Hinsicht gleichwertig. Deshalb wurde bei Selbstdurchforstung jede Revision als die erste betrachtet, d. h. w erhielt jedesmal einen neuen Wert. Als Folge davon wurde für alle Altersstufen $E = 0$ gesetzt.

13.5. Berechnung der Entwicklung. Dritte Etappe. Siehe M 15

In dieser Etappe erfolgt der Übergang von den durchmesserbestimmten Altersstufen unter 13.4 auf andere gewünschte Altersstufen. Dabei werden die mittl. Durchmesser der Altersstufen interpoliert, worauf die übrigen Faktoren mit Hilfe der unter 13.3 verwendeten Zusammenhänge verwendet werden.

Nach dieser Umwandlung werden bestimmte Stammzahlfaktoren hinzugefügt, welche bisher übergangen worden waren. Wenn wir nur Produktionstabellen erstellen wollen, können wir uns damit begnügen, die Stammanzahl S_2 jeder Revision zu bestimmen. Dazu wird die statische Funktion (F 1.2) für den Zusammenhang von S_2 und Ms_2 verwendet. Es ist indessen von grossem Interesse, die Programme für aktive Durchforstung durch die Kenntnis der Strukturänderungen bei der Selbstdurchforstung, welche durch die Faktoren u' und ψ' charakterisiert werden, zu unterbauen. Der Faktor u' wurde bereits früher erläutert. Es bleibt also ψ' zu berechnen. Zu diesem Zweck wird die Beilage M 15 um jene Faktoren erweitert, welche laut 12.3 für die Berechnung von ψ' erforderlich sind (siehe 12.3.5). Bei dieser Berechnung werden die »Einser« von 12.3 in »Zweier« umgewandelt wie z. B.

$$S_1 = [S_2]$$

Kap. 14. Standarddurchforstung

14.1. Einleitung

In Kap. 13 wurde die Selbstdurchforstung in homogenen, gleichaltrigen Beständen als Niederdurchforstung charakterisiert. Vom praktischen Standpunkt aus ist diese Durchforstung sichtlich zu schwach, da ja der Ertrag vor dem Endabtrieb als Dürholz anfällt. Andererseits sind schwache Durchforstungen von grossem Interesse, da die starke Durchforstung die Massenproduktion zu verringern scheint. Wir suchen daher — zuerst zu Studienzwecken — eine Durchforstung, welche zwar so schwach als möglich, aber stark genug ist, um die Selbstdurchforstung zu verhindern. Sie soll gerade noch der Selbstdurchforstung vorgehen. Diese Durchforstungsart ist zu Vergleichen mit anderen Behandlungsmöglichkeiten bestimmt und wird Standarddurchforstung genannt.

Die folgende Überlegung bezieht sich auf einen gedachten Versuch mittels Standarddurchforstung in der Gruppe »Kiefer, Nordschweden, nicht gepflanzt«. Es werden dieselben Voraussetzungen angenommen wie für das Selbstdurchforstungsbeispiel in Kap. 13.

Bei der Durchführung einer ersten Durchforstung treffen wir oft auf Bestände

in denen die Selbstdurchforstung im Gange ist. Es sind lebende und abgestorbene Bäume vorhanden. Aus den in Kap. 13 angeführten Gründen beziehen sich unsere Untersuchungen nur auf die im Ausgangsstadium lebenden Bäume. Diese Stämme, welche die Selbstdurchforstung überstehen, werden in den Durchforstungsversuchen als Bestand vor der Durchforstung bezeichnet.

Folglich sind im Ausgangsstadium der Bestand nach der Selbstdurchforstung und der Bestand vor der Standarddurchforstung identisch. Man kann daher billigerweise annehmen, dass die vorher zitierten statischen Funktionen ($F_{1.1}$ und $F_{1.2}$), welche vom Material nach der Selbstdurchforstung abgeleitet wurden, auch für die Bestände vor der Standarddurchforstung Gültigkeit haben. Diese Funktionen beziehen sich auf Zusammenhänge zwischen mittl. Abweichung und mittl. Durchmesser, sowie zwischen Stammzahl und mittl. Durchmesser. Da die Bestandesstruktur in der Hauptsache von diesen Faktoren bestimmt wird, nehmen wir an, dass die beiden Bestände gleich sind, wenn der mittl. Durchmesser nach der Selbstdurchforstung des ersten Bestandes denselben Wert erreicht wie vor der Standarddurchforstung des zweiten Bestandes. Da der Standardbestand schütterer ist und daher schneller wächst, kann eine solche Übereinstimmung nicht zum gleichen Zeitpunkt erreicht werden. Unsere Annahmen ergeben den Eindruck, dass beide Bestände dieselbe Entwicklung, aber verschieden schnell, durchmachen.

Durch den Anschluss der Standarddurchforstung an die Selbstdurchforstung werden viele Ziffern für die beiden Entwicklungstypen gleich. Derjenige, welcher sich in die Gedankengänge, vertieft hat, kann bei der Arbeit solche Zwischenglieder übergehen und direkt die bestimmenden Werte niederschreiben. Zur leichteren Übersicht wird jedoch die Standardberechnung in der Abhandlung als unabhängige Kalkulation wiedergegeben.

Kap. 15. Modifizierte Standarddurchforstung

15.1. Einleitung

Die Standarddurchforstung, welche im letzten Kapitel beschrieben wurde, ist zweifellos niederdurchforstungsartig. Es liegt daher nahe, die Niederdurchforstung als modifizierte Standarddurchforstung zu definieren. Besonders bei schwachen Durchforstungen ist dies wertvoll und kann als Garantie gegen das Entstehen der Selbstdurchforstung angewendet werden.

Bei dieser Arbeitsweise wird der Standardeingriff durch die Änderung von u' und ψ' modifiziert. Von diesen Faktoren ist — wie wir vorher gesehen haben — u' der Quotient der Basis der Normalverteilung, welche nach dem Niederdurchforstungsmoment übrig bleibt und ψ' der Quotient der Stammanzahl nach dem Niederdurchforstungsmoment, welcher nach dem Moment der gleichmässigen Durchforstung stehen bleibt. Beide Faktoren sind daher ≤ 1 .

Daraus geht hervor, dass die Standarddurchforstung verschärft wird, wenn man u' oder ψ' vermindert. Bei der Konstruktion eines Niederdurchforstungsprogrammes kann man beide oder nur einen der beiden Faktoren vermindern. Man kann auch den einen vermindern und den anderen vermehren. Der letztgenannte Fall verdient mehr Interesse als ich dafür erübrigen konnte. Es ist nämlich offenbar so, dass das Niederdurchforstungsmoment nicht gleich stark sein braucht, wenn der Bestand durch ein kräftigeres Moment der gleichmässigen Durchforstung als

bei der Selbstdurchforstung aufgelichtet wird. Hier haben die Bestandestypen grosse Bedeutung. Auch bei mehr schematischen Durchforstungsversuchen will man oft die Massenentnahme konstant halten, um den Einfluss der Durchforstungsart zu untersuchen, welche durch die Kombination von u' und ψ' bestimmt wird.

Die Änderung von u' und ψ' wird am leichtesten durch das Multiplizieren aller u' der Standarddurchforstung mit einem Koeffizienten c und aller ψ' mit einem Koeffizienten h erreicht. Wir erhalten dann

$$u'' = cu' \text{ und } \psi'' = h\psi' \dots\dots\dots (15.1.1)$$

Wenn beide Faktoren vermindert werden sollen, müssen also c und h kleiner sein als 1. Der Leser dürfte überrascht davon sein, wie wenig diese Koeffizienten von 1 abzuweichen brauchen um einen bedeutenden Effekt zu erhalten. Das beruht darauf, dass derselbe Koeffizient bei jeder Durchforstung als neuer Faktor eines fortlaufenden Produktes auftritt. Daraus folgt auch, dass ein bestimmter Koeffizientenwert mit dem Durchforstungsintervall zusammenhängt, für den er berechnet wird. In der vorliegenden Untersuchung bezieht sich die Durchforstungsdefinition immer auf fünfjährige Intervalle, unabhängig von der Zeit zwischen den Durchforstungen. Dadurch wird das Programm ein Ausdruck für die Lichtung des Bestandes auf lange Sicht. Bei der Verwendung eines solchen Programmes können die Durchforstungen in verschiedenen Intervallen wiederholt werden, deren Länge in der Rubrik »Intervall« angegeben wird. Wiederholen sich die Durchforstungen oft, wird die Entnahme geringer.

Indessen kann die Konstruktion einer modifizierten Standarddurchforstung auch andere Änderungen erfordern als diejenigen von u' und ψ' . Unter 15.2 wird eine Untersuchung in nordschwedischem Kiefernwald nachgewiesen, wobei eine übertrieben grosse Stammanzahl schon bei der ersten Durchforstung mittels einer Stammklassendurchforstung verringert wurde, welche ausser der programmässigen Entnahme 30 % der Stammanzahl umfasste. Diese zusätzliche gleichmässige Durchforstung bei der ersten Revision wurde in der Durchforstungsdefinition mit GI 0,7 bezeichnet. Auch in diesem Fall bedeutet also die Zahl den übrigbleibenden Teil der Stammanzahl.

Ausser der besonderen Bezeichnung GI 0,7 enthalten die Programme für die genannte Untersuchung verschiedene Niederdurchforstungsbezeichnungen, z. B. L 0,96 0,96, wobei L Niederdurchforstung bedeutet. Die erste Zahl ist der Koeffizient c für u' , die letzte der Koeffizient h für ψ' .

15.2. Die Produktionstabellen von 1947

Für Kiefer, Nordschweden, nicht gepflanzt, wurde eine Tabellenserie in Vorlesungen am 9. und 16. XII 1947 an der Königl. Forstl. Hochschule vorgelegt. Die Hauptresultate wurden als einfache Vervielfältigungen verteilt. Wir kommen später auf die Resultate zurück und wollen uns jetzt nur mit den Durchforstungsprogrammen beschäftigen. Diese gehen aus der Tabelle 15.2.1 hervor.

Die Programme E—G sind Spezialuntersuchungen.

Für die Tabellen A, B und C wurden Durchforstungsprozente von Stammmassen für die Bonitäten $h_{100} = 12, 16, 20$ und 24 bei Entnahme in zehnjährigen Intervallen berechnet. In der Tabelle D nur für die Bonität $h_{100} = 20$. Diese Angaben stehen in der Beilage M 19.

Beim Studium von M 19 darf die erste Durchforstung nicht einbezogen werden,

welche von zwei Störungen beeinflusst wird. Als Folge der Schematisierung der Stammverteilung hat die Standarddurchforstung die Tendenz bei den ersten Entnahmen etwas niedrig zu werden. Diese Tendenz tritt bei modifizierter Standarddurchforstung ebenfalls wieder auf. Auf der anderen Seite werden die Entnahmen in den Programmen B, C und D durch die zusätzliche gleichmässige Durchforstung stark vergrössert.

Im Programm A zeigen die Durchforstungsprozente für die verschiedenen Bonitäten einen ähnlichen Verlauf gegenüber dem Alter, mit steigenden, kulminierenden und fallenden Prozenten. In den Programmen B, C und D ist dies kaum zu merken.

Abgesehen von den genannten Verhältnissen zeigt die Beilage M 19 eine bemerkenswerte Übereinstimmung von Bonitäten und Altersstufen. Wenn die für zehn Jahre berechneten Altersstufen auf ein Jahr umgerechnet werden, erhalten wir folgende abgerundete Entnahmeprozente:

Programm A.....	1 %
» B.....	2 %
» C.....	3 %
» D.....	4 %

Zum Vergleich wurden die jährliche Durchforstungsprozente der Stammasse für die drei wichtigsten Niederdurchforstungsgrade von Kiefer, Nordschweden, nach NÄSLUNDS Tab. II berechnet (NÄSLUND, 1936):

Schwache Niederdurchforstung.....	1,75 %
Starke »	2,85 %
Sehr starke »	3,61 %

Diese Zahlen scheinen ca 10 % niedriger zu sein, als die Entnahme laut Programm B, C und D. Wir erhalten dadurch eine Konnektion zwischen den berechneten Programmen und bekannten Durchforstungsformen.

15.3. Vorteile und Grenzen der Methode

Die modifizierte Standarddurchforstung hat einen offensichtlichen Vorteil durch die nahe Verbindung mit der natürlichen Entwicklung bei der Selbstdurchforstung. Von solchen Untersuchungen kann viel gelernt werden. Dagegen bringt die Methode eine gewisse Gebundenheit bereits bei der Anwendung der Niederdurchforstung mit sich und für andere Durchforstungsformen kann sie nicht verwendet werden. Deshalb wurde nach dem Jahre 1947 eine beweglichere Form des Durchforstungsprogrammes gesucht.

Kap. 16. Durchforstungsprogramme

16.1. Einleitung

Bei der Wahl der Durchforstungsprogramme waren die Erfahrungen unter 15.2 wegweisend. Die beschriebenen Versuche mit modifizierter Standarddurchforstung, welche vom natürlichen Entwicklungsverlauf der Selbstdurchforstung abgeleitet wurden, zeigten sich hinsichtlich der Durchforstungsprozente der Stammasse als

sehr konstant. Diese Prozente waren ziemlich unabhängig vom Alter und der Bonität. Die Resultate gaben Anlass zum Versuch, die Durchforstungsprogramme durch ein für jedes Programm konstantes Entnahmeprozent der Stammasse zu definieren.

Die eigentliche Wahl von Masseprozenten als Durchforstungsindikator dürfte kaum auf Widersprüche von Seiten der Forstwirtschaft stossen. Die Praxis verwendet gerne diesen Faktor für die Beurteilung von Durchforstungen. Dagegen können die Meinungen über die Verwendung derselben Entnahmeprozente für alle Alterstufen geteilt sein. Indessen soll eine Produktionstabelle ja nicht blind angewendet werden. Durch das konstante Entnahmeprozent wird eine übersichtliche und zusammenfassende Erfassung der Durchforstung für den ganzen Entwicklungsverlauf erstrebt. Dadurch wird es möglich, ein Durchforstungsniveau zu wählen, welches auf lange Sicht geeignet ist. Davon ausgehend können dann die Details des Programmes geformt werden, und zwar entweder durch Korrekturen in der Tabelle oder erst bei der Anwendung.

Die Gründe, welche bei der Wahl des Durchforstungsindikators für die Entnahmeprozente der Stammasse sprechen, tun dies genau so für Entnahmeprozente der Kreisfläche. Es muss zugegeben werden, dass dieser Faktor in der Praxis weniger üblich ist. Es ist dies bloss ein Rechenfaktor, welcher kaum jemals dasselbe Interesse erhalten kann wie die wirtschaftlich wichtige Masse. Andererseits kann das Entnahmeprozent der Kreisfläche genauer berechnet werden und die Resultate erhalten grössere Reichweite.

16.2. Konstante Entnahmeprozente

Die Überlegungen unter 16.1 geben zu der Frage Anlass, welche Möglichkeiten wir haben, um Produktionstabellen erstellen zu können, wenn die Durchforstungsprozente gegeben sind. Man könnte meinen, dass dies eine einfache Sache wäre. Wenn wir einen Bestand mit 100 m³ haben und nehmen davon 25 % heraus, so bleiben 75 m³ übrig.

Indessen ist die Aufgabe etwas komplizierter. Die Forderung eines bestimmten Durchforstungsprozentes ist nicht die einzige Bedingung. Die Behandlungsmethode soll z. B. eine Niederdurchforstung und zwar einer bestimmten Art sein. Wir haben früher die Niederdurchforstung als Kombination eines Niederdurchforstungs- und eines Momentes gleichmässiger Durchforstung definiert. Wenn das erstere im Verhältnis zum letzteren stark ist, dann erhält der Eingriff ausgeprägten Niederdurchforstungscharakter, im entgegengesetzten Fall nähert er sich der reinen gleichmässigen Durchforstung. Die Niederdurchforstung wurde früher als eine Durchforstungsform betrachtet, welche nur durch die Stärke der Durchforstung variiert wird. Bei unserer jetzigen Arbeitsweise genügt diese Einteilung nicht, sondern wir müssen die Durchforstungsform und die Durchforstungsstärke durch die hier berührten Kombinationstypen ersetzen.

Es ist zu beachten, dass die Aufgabe, welche wir diskutieren, sich auf Untersuchungen bezieht. Diese sollen in zweiter Linie als Unterstützung der Praxis dienen, aber zuerst gilt es zu untersuchen, wie die Bestandesentwicklung unter verschiedenen Bedingungen vor sich geht. Deshalb sind wir an Einzelheiten interessiert, an denen die Praxis vorbeigeht.

Die Beschreibung verschiedener Durchforstungsmethoden ist in dieser Abhandlung auf der Stammverteilung aufgebaut, d. h. auf der Verteilung der Stammanzahl

auf Durchmesserklassen. Die Form der Stammverteilung wird vom Faktor φ charakterisiert. Bei der Niederdurchforstung wird das Niederdurchforstungsmoment vom Faktor u' definiert, welcher das Verhältnis zwischen φ_1 vor der Durchforstung und φ_2 nach der Durchforstung angibt. Das gleichzeitige Stammklassendurchforstungsmoment wird vom Faktor ψ' bestimmt, welcher die für alle Durchmesserklassen gleichbleibende Quote der stehengebliebenen Stämme angibt.

Die Faktoren u' und ψ' beziehen sich auf einzelne Durchforstungen. Beide Faktoren können während der ganzen Entwicklungszeit konstant sein, sie können sich aber auch mit zunehmendem Alter ändern. Das letztere ist in der Regel mit u' der Fall. Deshalb wird ein Niederdurchforstungsprogramm durch ein bestimmtes Ausgangsstadium sowie durch eine u' -Serie und eine ψ' -Serie definiert.

Bei der Aufstellung einer Produktionstabelle genügen diese Angaben für die Bestimmung des Verlaufes der Durchforstung. Nach Aufstellung der Tabelle können die Durchforstungsprozente für die Stammzahl, Grundfläche und Masse direkt daraus entnommen werden. Nachdem wir uns in diesem Abschnitt für Durchforstungsprozente interessieren, geschieht dies daher nicht, um solche Lücken auszufüllen, sondern als Glied bei der Planung der Produktionsuntersuchungen. Nur wenige Durchforstungsprogramme können durch Produktionstabellen erläutert werden. Die Wahl des Programmes für die Tabellenarbeit wird daher eine wichtige Angelegenheit und zu diesem Zweck müssen wir in der Lage sein, die Wirkungen des Durchforstungsprogrammes im Voraus zu beurteilen.

Die Möglichkeit, ein Durchforstungsprogramm im Voraus zu beurteilen, beruht in erster Linie auf dem Programm selbst. Eine gleichmässige Durchforstung entnimmt allen Stammklassen denselben Prozentsatz an Stämmen, Kreisfläche und Masse. Die Vorausbeurteilung des Verlaufes der Durchforstung macht in diesem Fall keine Schwierigkeiten. Solche treten erst bei der Behandlung ungleichförmiger Durchforstungen auf. Die wichtigste davon ist die Niederdurchforstung, auf welche sich dieses Kapitel in erster Linie bezieht. Da die Schwierigkeiten ausschliesslich auf dem Niederdurchforstungsmoment der genannten Durchforstung beruht, beschränken wir uns auf dieses.

16.3. Das Entnahmeprozent der Kreisflächen des Niederdurchforstungsmomentes

Nach einer Ableitung in der Beilage M 20 ist

$$\frac{G_2}{G_1} = (u')^2 \cdot \left(\frac{S_2}{S_1}\right)' \cdot \frac{(\sigma_2')^2 + (\lambda_2 + M_2')^2}{(\sigma_1')^2 + (\lambda_1 + M_1')^2} \dots \dots \dots (16.3.1)$$

In dieser Formel ist G die Kreisfläche und

$$\lambda = \frac{\alpha}{\sigma^n} \dots \dots \dots (16.3.2)$$

λ stellt also die untere Grenze der Stammverteilung dar. Wie schon vorher betont, ist M' der mittl. Durchmesser, gemessen von der unteren Grenze. Folglich ist $\lambda + M'$ ein Mass für den ganzen Durchmesser, ausgedrückt durch die normale Abweichung σ^n .

Unter Hinweis auf die Diskussion unter 12.4 kann behauptet werden, dass α durch die Durchforstung nicht verändert wird. Dann ist

$$\lambda_2 \sigma_{n2} = \lambda_1 \sigma_{n1}$$

$$\lambda_2 = \frac{\lambda_1}{u'} \dots\dots\dots (16.3.3)$$

Laut Ableitung im Originaltext ist

$$\lambda_1 = \frac{0,04 M_1' + [\lambda_2]}{0,96} \dots\dots\dots (16.3.6)$$

Im Laufe der Entwicklung erhält also λ abwechselnd veränderte Werte, teils nach der Durchforstung laut 16.3.3 und teils nach dem Zuwachs laut 16.3.6.

Die übrigen Faktoren unter 16.3.1 werden durch φ bestimmt. Nähere Anweisungen sind für u' unter 12.3.2 und für $\left(\frac{S_2}{S_1}\right)'$ unter 12.3.3 zu erhalten. M' und σ' erhält man direkt oder durch Interpolieren aus der Hilfstabelle H 5, wo diese Faktoren unter φ angegeben sind.

In M 21 und M 22 wird die Anwendung von 16.3.1 gezeigt. Dort wird p als Entnahmeprozent der Kreisfläche des Niederdurchforstungsmomentes angenommen, also

$$p = 100 \left(1 - \frac{G_2}{G_1} \right) \dots\dots\dots (16.3.7)$$

Die Arbeit geht darauf hinaus, für einen Bestand mit gegebenem φ_1 jenes φ_2 zu finden, welches p den gewünschten Wert p' gibt. Das geschieht dadurch, dass die Versuchswerte $p(I)$ und $p(II)$ für Kombinationen von φ_1 und zwei passend gewählten φ_2 -Werten berechnet werden, welche mit $\varphi_2(I)$ und $\varphi_2(II)$ bezeichnet werden. Darnach wird durch Interpolation jener Wert φ_2' gesucht, welcher dem gesuchten Prozent p' entspricht. Wir erhalten

$$\frac{\varphi_2' - \varphi_2(I)}{\varphi_2(II) - \varphi_2(I)} = \frac{p' - p(I)}{p(II) - p(I)}$$

Setzt man die rechte Seite = q , dann ist

$$\varphi_2' = q \varphi_2(II) + (1 - q) \varphi_2(I) \dots\dots\dots (16.3.8)$$

Da wir angenommen haben, dass φ , durch den Zuwachs nicht verändert wird, tritt dieses φ_2' bei der nächsten Durchforstung als φ_1 auf. Die übrigen Strukturfaktoren, also nicht λ , werden durch φ bestimmt und daher unverändert in die nächste Durchforstung übernommen. λ_1 wird nach 16.3.6 berechnet und λ_2 nach 16.3.3.

Bei den zweiten und den folgenden Durchforstungen wird wie bei der ersten verfahren.

Die Beilage M 21 ist über den Durchforstungsnummern aufgebaut. Für jede Durchforstung wird φ_1 im Tabellenkopf angegeben, also das φ_1 des Ausgangsstadiums in der ersten Kolonne und in den übrigen Kolonnen die durch Interpolation erhaltenen Werte früherer φ_2 , welches als φ_1 in den entsprechenden Kolonnen gelten. Aus der Ableitung geht hervor, dass die φ_1 der Tabelle die gesuchte φ -Serie dar-

stellen. Die gesuchte u' -Serie erhält man auf gewöhnliche Weise durch die φ -Quotienten.

Ausser diesen Ergebnissen enthält die Tabelle M 21 die für die Berechnung erforderlichen Angaben, welche von φ_1 abgeleitet werden.

Die Beilage M 22 ist eine Hilfstabelle, welche Interpolationen nach 16.3.8 erleichtert. Die Tabelle enthält unabhängige Gruppen zu zwei Kolonnen, welche dasselbe φ_1 aber verschiedene φ_2 , zuvor als $\varphi_2(I)$ und $\varphi_2(II)$ bezeichnet, haben. In diese Kolonnen werden zuerst jene Daten eingesetzt, welche von φ_2 abgeleitet werden und dann die für die Berechnung von $p(I)$ und $p(II)$ notwendigen Relationen zwischen φ_1 und jedem φ_2 .

Unter 16.2 wurde gesagt, dass es unter den angegebenen Voraussetzungen nur eine u' Serie gibt, welche die Bedingungen erfüllt. Dies gilt für die prinzipielle Lösung. Bei der praktischen Anwendung können natürlich durch Interpolationen und Abrundungen abweichende Resultate erhalten werden.

In der Tabelle H 7 werden für verschiedene φ -Werte im Ausgangsstadium die gemäss dem oben Gesagten berechnete Entwicklung von φ , u' und $P(u')$ gezeigt. Unter $P(u')$ ist das zu einem bestimmten Zeitpunkt aufgelaufene Produkt u' zu verstehen.

16.4. Das Entnahmeprozent des Niederdurchforstungsmomentes bei Nullsetzung von λ

Durch die Formel 16.3.1, welche der Methode unter 16.3 zu Grunde liegt, werden auf der rechten Seite alle Variablen ausser λ von φ bestimmt. Dabei definiert φ die Form der Stammverteilung und λ deren Lage. Begriffsmässig darf λ in der Definition der Stammverteilung nicht fehlen. Hier soll aber diskutiert werden, ob λ durch einen praktischen Kompromiss vernachlässigt werden kann.

Bei der Beurteilung dieser Frage müssen wir festhalten, dass es sich hier um eine Durchforstung handelt, also eine menschliche Massnahme, welche wir nach eigenem Ermessen formen können. Man kann bei dieser Frage nicht von richtig oder falsch sprechen, wohl aber von geeignet und ungeeignet. Die Vernachlässigung von λ beeinflusst die u' -Serie und die Entnahmeprozente. Dadurch wird das nominelle Durchforstungsprogramm in ein reelles Programm mit abweichender Konstruktion umgewandelt. Die Produktion und die absoluten Entnahmen gemäss dem wirklichen Programm werden dagegen mit Hilfe des mittl. Durchmessers, welcher vom Nullpunkt der Durchmesser skala aus gemessen wird und der mittl. Abweichung berechnet, weshalb diese Resultate durch das Vernachlässigen von λ nicht berührt werden.

Wenn eine Produktionstabelle fertig ist, können — wie bereits unter 16.2 hervorgehoben wurde — die Durchforstungsprozente von Stammzahl, Kreisfläche und Masse direkt aus der Tabelle entnommen werden. Die genannten Prozente definieren in korrekter Weise das wirkliche Durchforstungsprogramm und die Produktionstabelle gibt »richtigen« Bescheid über die dabei erreichte Produktion. »Richtig« bedeutet in diesem Zusammenhang, dass keine Fehler vorhanden sind, welche aus der 0-Setzung von λ im Durchforstungsprogramm resultieren könnten.

Nach der genannten Änderung gibt also jede Tabelle eine richtige Antwort, jedoch auf eine andere Frage als die beabsichtigte. Das letztere ist natürlich ein Übelstand, welcher jedoch nicht überschätzt werden darf. In der Produktionsforschung kommen die wichtigsten Resultate durch Vergleich mehrerer Fälle mit verschiedenen Voraussetzungen zu Stande. Es hat nur wenig Bedeutung,

welches die gegebenen Fälle sind, aber die Hauptsache ist, dass deren Resultate und deren Voraussetzungen, darunter die Durchforstungsprogramme, definiert werden können.

In dieser Hinsicht gibt es einen qualitativen Unterschied zwischen den nominalen und reellen Programmen, welche zuvor gestreift wurden. Die ersteren haben einfache und übersichtliche Definitionen, welche am besten mit ganzen Zahlen ausgedrückt werden. Die Entnahmeprocente werden für alle Altersstufen als gleich angenommen. Die reellen Programme, welche durch Berechnung erhalten werden, werden durch Zahlen mit Dezimalstellen definiert und die Entnahmeprocente werden im Laufe der Entwicklung geändert. Dieser Unterschied drückt aus, was durch das Nullsetzen von λ verloren geht.

Andererseits hat die Nullsetzung einen bedeutenden Zeitgewinn zur Folge. Dieser entsteht nicht so sehr dadurch, dass die Ausrechnung der Formel 16.3.1 erleichtert wird, sondern mehr dadurch, dass die Anzahl Durchforstungsfälle stark vermindert wird, was wieder den Bedarf an Hilfstabellen heruntersetzt.

Als ich mich im Frühjahr 1948 von der Abhängigkeit zur Standarddurchforstung freimachen wollte (siehe Kap. 15), war die zur Verfügung stehende Zeit sehr knapp. Das erstrebte Ziel war zu dieser Zeit eine Regelung der Massentnahme. Um dieses Problem besser erfassen zu können, wollte ich vorläufig den unter 16.3.1 veröffentlichten Gedankengang verwenden, sah mich aber gezwungen, $\lambda = 0$ zu setzen. Bei der Berechnung wurde also die Formel

$$\frac{G_2}{G_1} = (u')^2 \cdot \left(\frac{S_2}{S_1}\right)' \cdot \frac{(\sigma_2')^2 + (M_2')^2}{(\sigma_1')^2 + (M_1')^2} \dots\dots\dots (16.4.1)$$

zu Grunde gelegt.

Nach dieser Formel sollte die φ -Entwicklung und u' -Serie auf dieselbe Art wie unter 16.3 berechnet werden können. Indessen wurde eine einfachere Methode gewählt, welche hier nur angedeutet werden soll. Deren Konstruktion geht aus dem Originaltext und Beispielen in M 23 und M 24 hervor.

Aus der so erhaltenen φ -Serie wird die dazugehörige u' -Serie laut 12.3.2 hervorgeholt. Als Endresultat der p' -Gruppe stehen in der Tabelle M 24 die fortlaufenden Produkte ($P(u')$ der u' -Serie. Dieser Faktor wird am einfachsten nach der Relation

$$P(u') = \frac{\varphi_0}{\varphi_n} \dots\dots\dots (16.4.3)$$

berechnet.

Die auf diese Weise berechnete Entwicklung von φ , u' und $P(u')$ geht aus der Tabelle M 25 hervor.

16.5. Ein Kompromiss

Die Methoden 16.3 und 16.4 unterscheiden sich vor allen Dingen durch die Behandlung von λ , aber auch durch die Art der Interpolation. Zur Orientierung werden in der Tabelle 16.5.1 drei verschiedene Berechnungsergebnisse für eine erste Durchforstung gezeigt. In den drei Fällen ist φ_1 gleich, weshalb der Durchforstungsgrad durch φ_2 gemessen werden kann. Je stärker das Niederdurchforstungsmoment, desto mehr steigt φ_2 .

Wir betrachten den Fall III als richtig. II ergibt wegen der einfacheren Interpolation eine etwas stärkere Durchforstung. I hat dieselbe Interpolation wie II, ergibt aber durch das Nullsetzen von λ eine viel stärkere Durchforstung.

Zur näheren Information können wir eine Produktionstabelle studieren, welche nach der Methode unter 16.4 errichtet wurde. Dazu wird die Tabelle P 13, Kiefer, Nordschweden, nicht gepflanzt, $h_{100} = 20$ gewählt. Wir verwenden unsere ursprünglichen Werte, welche eine Stelle mehr als die gedruckte Tabelle besitzen. Unter 16.8 wird gesagt, dass sich alle Durchforstungsprogramme auf fünfjährige Intervalle beziehen, unabhängig von der angewendeten Länge der Periode. Dadurch wird das Problem des Durchforstungsniveaus von dem des Intervalles unabhängig gemacht. Im Anschluss an die Tabelle P 13 wird das Durchforstungsprogramm L 5 G 10, 10 zitiert, bei dem die Entnahme einer Durchforstung jedes fünfte Jahr 5 % als Niederdurchforstungsmoment und 10 % als Moment einer gleichmässigen Durchforstung beträgt. Primär sind es Prozente der Kreisfläche. Die Angabe 10 nach dem Beistrich gibt das verwendete Intervall an.

Bei einer Fünfjahres-Entnahme von z. B. 10 % bleiben 0,9 stehen. Eine Zehnjahres-Entnahme lässt $0,9^2 = 0,81$ stehen. Nach diesem Vorbild werden die für zehn Jahre geltenden Durchforstungsprozente in Prozente für fünf Jahre wie in folgendem Beispiel, welches sich auf das Durchforstungsprozent der Kreisfläche eines 38-jährigen Bestandes in Tabelle P 13 bezieht, umgewandelt.

Für zehn Jahre: Entnahme laut Tabelle.....	0,2784
Es bleibt stehen.....	0,7216
Für fünf Jahre: Es bleibt stehen $\sqrt{0,7216} =$	0,8495
Entnahme.....	0,1505

Angenommen die totale Entnahme ist p %, das Niederdurchforstungsmoment x % und das Stammklassendurchforstungsmoment y %. Dann ist

$$\left(1 - \frac{p}{100}\right) = \left(1 - \frac{x}{100}\right) \left(1 - \frac{y}{100}\right)$$

und daraus

$$p = x + y - \frac{xy}{100}$$

sowie

$$x = \frac{p - y}{1 - \frac{y}{100}}$$

In unserem Beispiel ist die Entnahme 0,1505 und daraus $p = 15,05$. Laut Programm ist $y = 10$, woran sich genau gehalten wurde. Wir erhalten

$$x = \frac{15,05 - 10}{0,9} = 5,61$$

Auf diese Weise wurden die Entnahmeprozente des Niederdurchforstungsmomentes der Kreisfläche und der Masse für alle Altersstufen der Tabelle P 13 berechnet. Die Resultate zeigt Tabelle 16.5.2, welche sich auf die Methode unter 16.4 bezieht. Für die Methode 16.3 fehlen uns die Massenentnahmeprozente. Die Prozente für die Kreisfläche brauchen nicht berechnet zu werden, da sie nach der Konstruktion der Methode — abgesehen von kleineren Anpassungsfehlern — = p' werden müssen, welcher Wert in diesem Fall = 5 ist.

Mit Rücksicht auf das Entnahmeprozent der Kreisfläche muss also 16.3 als richtig betrachtet werden, während 16.4 Werte ergibt, welche nicht unbedeutend zu hoch sind. Viel bessere Übereinstimmung mit dem gewünschten Wert $p' = 5$ zeigt — in der Tabelle 16.5.2 — das Entnahmeprozent der Masse. Dieses Verhältnis ist besonders in den jüngeren Altersstufen zu bemerken, welche einen dominierenden Einfluss auf das wirtschaftliche Resultat haben.

Damit sind wir bei dem Kompromiss angelangt, welcher in der Überschrift zum Abschnitt 16.5 gemeint ist. Bei der Aufstellung des Durchforstungsprogrammes für bestimmte Produktionstabellen wurde ein Entnahmeprozent der Kreisfläche angestrebt, welches mit fünf festgelegt wurde. Durch eine Vereinfachung der Methode, welche zur Zeit der Bearbeitung als notwendig angesehen wurde, stiegen die Entnahmeprozente der Kreisflächen weit über fünf, während die Entnahmeprozente der Masse diese Zahl nur mässig überschritten. Bei schematischer Beschreibung der in den Tabellen tatsächlich angewendeten Durchforstungsform, musste daher der grundlegende Wert $p' = 5$ für die Masse gelten.

16.6. Die Gleichmässige Durchforstung

Das einfache Prinzip dieses Programmes wurde bereits zuvor beschrieben: man entnimmt allen Durchmesserklassen denselben Prozentsatz der Stammzahl und damit annäherungsweise denselben Prozentsatz an Kreisfläche und Masse. Es ist klar, dass eine solche Durchforstung nicht die Form der Stammverteilung ändert. Aus denselben Gründen wie für die Niederdurchforstung nehmen wir an, dass die Form der Stammverteilung auch durch den Zuwachs nicht geändert wird. Die relative Stammverteilung, welche hier durch φ ausgedrückt wurde, bleibt daher solange bestehen, als die gleichmässige Durchforstung weitergeht.

Dadurch, dass φ nicht geändert wird, bleiben alle Strukturaktoren, welche durch φ bestimmt werden, ebenfalls unverändert. u' ist während der ganzen Durchforstungszeit = 1.

Deshalb kommt die Durchforstung nur durch ψ' zum Ausdruck, welches den stehenbleibenden Teil der Stammzahl, Kreisfläche oder Masse darstellt. Bei konstantem Entnahmeprozent ist ψ' konstant und das fortlaufende Produkt $P(\psi')$ kann als $(\psi')^n$ geschrieben werden.

Die formelle Behandlung der gleichmässigen Durchforstung ist also sehr einfach. Die Schwierigkeiten liegen auf einer anderen Ebene und beruhen vor allem darauf, dass die gleichmässige Durchforstung so wenig untersucht ist. Bei Tabellenversuchen mit schwacher gleichmässige Durchforstung in dichten Beständen besteht die Gefahr, ein Auftreten der Selbstdurchforstung zu übersehen, was bei ähnlichen Fällen in der Wirklichkeit vorkommen würde.

16.7. Die Hochdurchforstung

Diese Durchforstungsform besteht aus einem Hochdurchforstungsmoment, welches den rechten Flügel stärker beeinflusst, und einem Moment für die gleichmässige Durchforstung, welches alle Durchmesserklassen gleich stark trifft. Wir setzen wie früher voraus, dass der Ausgangsbestand homogen ist. In solchen Beständen wird eine Hochdurchforstung der hier geschilderten Art ziemlich artifizuell: das Program ist mehr ein gedankliches Problem und eine Hilfe für die Beurteilung bestimmter extremer Fälle.

In der Figur 16.7.1 ist I eine begrenzte Normalverteilung, welche durch ein Hochdurchforstungsmoment auf die Höhe der gleicherweise normalen Verteilung II erniedrigt wird.

Fig. 16.7.1. Hochdurchforstung in einer begrenzten Normalverteilung. Die Figur zeigt nur das Hochdurchforstungsmoment.

Die Figur erinnert an das Niederdurchforstungsbild 12.2.1, wo der rechte Flügel fest war und die Basis von links her verkürzt wurde. Hier belassen wir statt dessen den linken Flügel fest und verkürzen die Basis auf der rechten Seite.

Die Figur 16.7.2 zeigt dieselbe Kurve wie 16.7.1, doch ist diese im Punkt $\varphi(I) = 3,5$ abgeschnitten. Zur Verdeutlichung der Bilder wurde die Grösse der Entnahmen stark übertrieben — man kann sich die Umwandlung der Stammverteilung als Resultat mehrerer Durchforstungen denken.

Fig. 16.7.2. Die Verteilungen der Figur 16.7.1. sind hier im Punkt $\varphi(I) = 3,5$ beschnitten.

Die Berechnung dieses Falles wird am besten aus der Verkürzung von rechts entwickelt, welche auf zwei Arten definiert werden kann. Wir erhalten

$$\varphi_1 \sigma n_1 - \varphi_2 \sigma n_2 = 6 \sigma n_1 - 6 \sigma n_2,$$

und daraus

$$(\varphi_1 - 6) \sigma n_1 = (\varphi_2 - 6) \sigma n_2$$

$$\varphi_2 - 6 = \frac{\varphi_1 - 6}{u'} \dots \dots \dots (16.7.3)$$

Beim Aufbau einer Produktionstabelle muss $(\varphi - 6)$ laut 16.7.3 entwickelt werden, und zwar auf dieselbe Weise wie bei der Niederdurchforstung für die Entwicklung von φ . Danach ist $(\varphi - 6)$ in φ umzuwandeln.

Um einen allgemeinen Überblick über die Entwicklungstendenzen der Hochdurchforstung zu erhalten ist es indessen vorteilhaft, 16.7.3 folgendermassen umzuformen:

$$\varphi_2 = 6 - \frac{6}{u'} + \frac{\varphi_1}{u'}$$

$$\varphi_2 - \varphi_1 = 6 \left(1 - \frac{1}{u'}\right) - \varphi_1 \left(1 - \frac{1}{u'}\right) = (\varphi_1 - 6) \left(\frac{1}{u'} - 1\right). \quad (16.7.4)$$

In diesem Ausdruck ist die zweite Klammer immer Positiv. Theoretisch können drei Fälle eintreffen:

I $\varphi_1 < 6$.	Dann ist $\varphi_2 < \varphi_1$.
II $\varphi_1 = 6$.	» » $\varphi_2 = \varphi_1$.
III $\varphi_1 > 6$.	» » $\varphi_2 > \varphi_1$.

Bei der Hochdurchforstung wird daher die Entwicklungsrichtung von φ vom Ausgangsstadium abhängig. Die eingeschlagene Richtung wird solange beibehalten als die Hochdurchforstung weitergeht.

Die Berechnung von u' erfolgt analog mit der unter 16.3 beschriebenen Methode, welche sich auf das Entnahmeprozent der des Niederdurchforstungsmomentes Kreisfläche bezog.

Da Hochdurchforstungsversuche in unserem Materialfehlen, war eine An-

wendung der vorliegenden Bearbeitungsmethodé in der vorliegenden Untersuchung nicht möglich. Sicherlich wurden einige Hochdurchforstungstabellen ausgearbeitet, doch hatten die dabei verwendeten Methoden mehr den Charakter einer überschlagsweisen Berechnung (siehe M 26).

Durch die Hochdurchforstung werden jene Bäume entfernt, welche im Ausgangsstadium die obere Grenze der Durchmesservertelung darstellten. Die Stämme der neuen Grenze, deren Durchmesser L ist, entsprechen nicht mehr dem Ausgangsdurchmesser L_0 . Sie entsprechen vielmehr einem berechenbaren Ausgangsdurchmesser, welcher in M 26.3 »korr. L_0 « genannt wird. Wir erhalten

L = obere Grenze der Verteilung im Zeitpunkt $n = A + B$ (korr. L_0)
 LL = die Lage, welche die obere Grenze zum Zeitpunkt n gehabt haben sollte, falls man die stärksten Stämme nicht weggenommen hätte, $= A + B L_0$.
 Dieser Durchmesser wird der Höhenberechnung zu Grunde gelegt.

16.8. Die Durchforstungsbezeichnungen

Für die Bezeichnung der Durchforstungsprogramme wurden Formeln verwendet, z. B.

für Niederdurchforstung $L 5 G 10, 10$
 » gleichmässige Durchforstung $G 15, 10$
 » Hochdurchforstung $H 3 G 12, 10$

In diesen Formeln ist L das Niederdurchforstungsmoment, G das Moment für gleichm. Durchforstung und H das Hochdurchforstungsmoment. Die letzte Zahl gibt die Länge des Intervalles in Jahren an.

Aus dem Vorhergehenden ist zu ersehen, dass der Zweck der Durchforstungsprogramme eine Regelung der Stammzahl nach Durchmesserklassen in Brusthöhe ist. Unter solchen Umständen liegt es nahe, die Durchforstungsstärke der Programme durch Entnahmeprozente der Kreisfläche auszudrücken. Auf diese Weise können Produktionstabellen ausgearbeitet werden, bei denen die Durchforstung jedesmal den vorausbestimmten Prozentsätzen sehr nahe kommt. Sicherlich sind dafür genaue Vorbereitungen notwendig, wie etwa unter 16.3, doch brauchen diese bei der Planung auf längere Sicht nicht abschreckend zu wirken, weil es einmalige Mehrarbeiten sind. Deshalb glaube ich, dass die Durchforstungsprogramme am besten durch die Entnahmeprozente der Kreisfläche zu definieren sind.

Die Zifferbezeichnungen der Formeln beziehen sich auf Entnahmen in Prozent für fünf Jahre. Indessen erfolgt die Berechnung mit den stehenbleibenden Prozentsätzen, welche fortlaufende Multiplikationen zulassen. Für das Program $L 5 G 10, 10$, welches zwei fünfjährige Perioden für jedes Intervall aufweist, wird die Kalkulation folgendermassen:

Nach jedem fünften Jahr bleibt $0,95 \cdot 0,90 = 0,8550$ übrig
 » » zehnten » » $0,8550^2 = 0,7310$ »
 Entnahme jedes zehnte Jahr $= 0,2690$,

also 26,90 % der Kreisfläche.

Unter 16.5 wurde gesagt, dass die Entnahmeprozente der Durchforstungsformeln eine etwas andere Bedeutung in den folgenden Produktionstabellen erhalten haben. Diese Abweichung war indessen ein Notausweg, welcher der nun gezeigten Prinziplösung unterlegen ist.

Kap. 17. Reflexionen um den φ -Begriff

17.1. Einleitung

Für die Beurteilung der Produktionsprobleme ist es notwendig, die Stammverteilung von Beständen zu untersuchen. In der vorliegenden Untersuchung wurden für diesen Zweck neue Hilfsmittel verwendet, welche beschnittene Normalverteilungen genannt wurden. Diese wurden durch den Faktor φ definiert. Die Methode, welche in diesem Zusammenhang ausgearbeitet wurde, wird im Folgenden als φ -System bezeichnet.

17.2. Die Aufgabe

In diesem Kapitel soll das φ -System geprüft und vervollständigt werden. Zum besseren Verständnis werden daher gewisse Gesichtspunkte wiederholt, welche schon früher gestreift wurden.

Die Bestände, welche in den Produktionstabellen beschrieben werden, sind mehr oder weniger theoretisch aufgebaut. Bei der statistischen Behandlung solcher Aufgaben wird der Kontakt mit der Wirklichkeit durch Zusammenhangsfunktionen aufrechterhalten, welche mit Hilfe des Materiales berechnet werden. Diese Funktionen geben Bescheid über Zustand und Zustandsänderungen, welche unter bestimmten Voraussetzungen wahrscheinlich sind.

Der Ausgangsbestand einer Produktionstabelle entstammt daher nicht direkt der Wirklichkeit. Er ist eine Konstruktion auf der Basis von bestimmten, für die Tabelle gegebenen Haupteigenschaften. Diese wurden mit sekundären Eigenschaften komplettiert, deren wahrscheinliche Werte mit Hilfe von Zusammenhangsfunktionen aus den gegebenen Werten abgeleitet wurden. Der Ausgangsbestand ist also ein Typbestand. Dieser darf und muss schematisch sein.

Jeder Typbestand vertritt eine genau definierte Gruppe: er kann als Mittelwert der Gruppe betrachtet werden. Darin liegt eine Möglichkeit, die typische Stammverteilung unter verschiedenen Voraussetzungen festzustellen. Dies ist jedoch eine Sache der Zukunft. Derzeit müssen wir uns damit begnügen, bestimmte allgemeine Züge festzuhalten.

In NÄSLUNDS Primärbearbeitung des Kiefernmaterials (1936) zeigt die Tabelle V, hier N V genannt, die Verteilung der Stammzahl auf Durchmesserklassen. Bei der Verwendung der Tabelle im hier gedachten Sinn muss beachtet werden, dass die erste Durchforstung des Materiales oft viel später als im Ausgangsalter der Produktionstabellen erfolgte, sowie, dass die Frequenz in der niedrigsten vorkommenden Durchmesserklasse in solchen Fällen missweisend ist, wo nur ein Teil des Klassenumfanges in die Verteilung fällt.

Unter Beachtung dieser Umstände sagt uns die Tabelle N V, dass die Stammverteilung im Ausgangsstadium oft grosse Ähnlichkeit mit einer der in Fig. 9.3.2 gezeigten beschnittenen Verteilungen hat. Die Ähnlichkeit ist in verschiedenen Fällen an der unteren Grenze der Verteilung weniger deutlich. Die auftretenden Verschiedenheiten sind in starkem Masse nur scheinbar, da sie auf der Klasseneinteilung der Tabelle N V beruhen, sie können aber auch von tatsächlichen Abweichungen zwischen der Wirklichkeit und den beschnittenen Verteilungen verursacht werden. Darauf kommen wir im nächsten Abschnitt zurück.

Auch wenn die Überlegung — wie in dieser Untersuchung — auf die homogenen Bestände begrenzt wird, tritt doch eine bedeutende Variation in der Stammverteilung des Ausgangsbestandes auf. Grosse Verschiedenheiten wurden durch die Art der Verjüngung verursacht, wie z. B. Selbstbesamung, Saat oder Pflanzung, sowie durch die verschiedene Dichte der Kulturen und die Läuterungen vor der ersten Durchforstung. Es steht noch nicht fest, wie eng sich alle diese Stammverteilungen an die beschnittenen Normalverteilungen anschliessen. Es ist aber klar, dass die Anpassung nicht vollständig zu sein braucht. Die Verwendungen von Produktionstabellen erfolgt in vielen anderen Fällen durch analoge Schlussfolgerungen — es ist daher verständlich, dass eine bestimmte Toleranz auch hinsichtlich der Verteilungstypen geduldet wird. Andererseits wäre es unrealistisch, Produktionstabellen aufzustellen, deren Ausgangsverteilungen stark von den entsprechenden wirklichen Beständen abweichen.

Bei der Durchforstung haben wir freiere Hände. Es ist unsere Aufgabe, Variationen in der Durchforstung zu erreichen — dann entscheidet das Produktionsresultat, welche der Durchforstungsarten am besten ist. Von diesem Standpunkt aus hätten wir das Recht, jede Art von Durchforstung zu versuchen. Man beachte, dass sich die Überlegung auf statistische Bearbeitungsversuche und nicht auf Feldversuche bezieht. Aber auch die ersteren sind kostspielig und die Untersuchung muss daher begrenzt werden. Die Bande, welche wir uns im Kap. 16 auferlegt haben, sind mit Rücksicht darauf und dem Wunsch motiviert, die Resultate übersichtlicher und für die Praxis zugänglicher zu machen.

In einer Hinsicht ist ein Vergleich mit dem Material von grossem Interesse. Eine der Hauptstützen des φ -Systemes ist die Annahme, dass sich beschnittene Verteilungen durch die Niederdurchforstung zu normalen entwickeln und dass die Niederdurchforstung einer Normalverteilung weitere Normalität zur Folge hat (vgl. 11.4 und 12.1). Auch dieses Problem wird in der Tab. N V erläutert. Die Bestände der Tabelle, welche fast ausschliesslich niederdurchforstet wurden, zeigen eine deutliche Entwicklung von positiver Asymmetrie zu normaler Verteilung. Dieselbe Tendenz tritt mit noch grösserer Schärfe in einer Untersuchung hervor, welche unter 11.4 dieser Abhandlung zitiert wird (vgl. M 8). Die Entwicklung zum Normalen geht mit verschiedener Geschwindigkeit vor. Daran passen wir uns durch die u '-Serie an, welche allein Änderungen von φ zustande bringt.

Ausser durch das Ausgangsstadium und die Durchforstung wird die Bestandesentwicklung vom Zuwachs beeinflusst. Das Problem des Einflusses des Zuwachses auf die relative Stammverteilung, welche wir hier diskutieren, wird in Kap. 11 behandelt. Die dort angeführten Resultate sind in gewisser Hinsicht widersprechend, doch wird unter 11.3 mit guten Gründen bewiesen, dass der wahrscheinliche Zuwachs die Form der Verteilung nicht ändert.

17.3. Die untere Grenze

Es ist für das φ -System charakteristisch, dass die untere Grenze der Verteilung im Bild vertikal ist. Diese Grenzziehung kann mit der Wirklichkeit besonders bei stark beschnittenen Verteilungen, z. B. bei $\varphi = 3$, in Konflikt kommen. Gleichwohl kann die Anpassung auch in diesem Fall zufriedenstellend sein, wenn die untere Grenze nahe dem Nullpunkt der Durchmessersekala liegt, d. h. wenn α einen niedrigen Wert hat. In diesem Fall muss die Abgrenzung der Verteilung nach

links vertikal oder fast vertikal sein. Je mehr aber die Grenze vom Nullpunkt entfernt ist, umso wahrscheinlicher wird es, dass die wirkliche Grenzlinie geneigt oder nach rechts gebogen ist.

Mangelnde Anpassung an die untere Grenze erfordert besondere Aufmerksamkeit, da sie eine Folge des eigentlichen Systems und mit diesem untrennbar verbunden ist. Andere Schwierigkeiten, z. B. die richtige Lage der oberen Grenze, beruhen dagegen auf der Anpassung und können durch Verbesserung dieser beseitigt werden.

Wir haben also festgestellt, dass die vertikale Grenzlinie des φ -Systemes von der wirklichen unteren Grenze, von der angenommen wird, dass sie nach rechts geneigt ist, in bestimmten Fällen abweichen kann. An und für sich müsste die Neigungsänderung einen Wegfall von kleinen Stämmen der Wirklichkeit unter der φ -Grenze und einen Zuschuss von ebensovielen etwas stärkeren Stämmen oberhalb der φ -Grenze mit sich führen, also eine Vergrößerung des mittl. Durchmessers. Da aber der mittl. Durchmesser — zumindest in dieser Untersuchung — gegeben ist, muss der Zusammenhang komplizierter sein.

Gerade deswegen, weil der mittl. Durchmesser gegeben ist, dürfte die Ausformung der unteren Grenze der Stammverteilung das Produktionsresultat nicht so sehr beeinflussen können, dass die genannte Abweichung unangenehm wird. Diese Auffassung wird noch bestärkt, wenn man beachtet, dass die kleinen Bäume an der unteren Grenze in der Regel nur unbedeutenden Einfluss auf Masse und Wert haben.

17.4. Die φ -Klassen

Die Ableitung von φ ist in der Tabelle 9.3.2 beschrieben. Daraus geht hervor, dass φ die Lage eines Punktes auf der Normalkurve bestimmt. Primär wird die Lage als Abweichung vom Mittelwert Mn der Normalverteilung ausgedrückt. Nachdem diese Abweichung durch Division mit der mittl. Abweichung σn der Normalverteilung dimensionslos gemacht wurde, wird sie zu φ umgewandelt, welches die Abweichung vom rechten Flügel mit umgekehrtem Vorzeichen darstellt. In Übereinstimmung damit hat φ am rechten Flügel den Wert 0, im Zentrum 3 und am linken Flügel 6.

Da jede beschnittene Verteilung ein Teil einer Normalverteilung ist, bestimmt das φ eines Punktes in der Normalverteilung auch dessen Lage in beschnittenen Verteilungen.

In dieser Untersuchung wurde φ dazu verwendet, Stammklassen oder Stammverteilungen zu charakterisieren. Das geschah durch die Angabe von φ an der unteren Grenze der Verteilung oder der Klasse. Dabei wurde die Bezeichnung φ bei der ganzen Verteilung beibehalten, und bei der Definition von Stammklassen durch φ' ersetzt. Die Klassenmitten wurden mit φ'_m bezeichnet.

Eine φ -Klasse ist also der Teil einer Normalverteilung welcher zwischen zwei φ -Grenzen liegt. Die Wahl des Klassenumfangs ist beliebig, jedoch gibt ein kleiner Umfang bei gleichzeitiger Mehrarbeit bessere Resultate.

Die Fig. 17.4.1 zeigt eine beschnittene Normalverteilung, deren untere Grenze α und deren obere L ist. Diese Grenzen, sowie σn , sind in Zentimetern ausgedrückt.

Fig. 17.4.1. Beschnittene Normalverteilung, in der die untere Grenze α und die obere Grenze L eingezeichnet ist. Zur Erläuterung von 17.4.3 ist ein beliebiger Durchmesser D eingetragen.

Wir erhalten das φ der Verteilung

$$\varphi = \frac{L - \alpha}{\sigma n} \dots\dots\dots (17.4.2)$$

Für einen Durchmesser D in der Verteilung wird ebenso definiert:

$$\varphi' = \frac{L - D}{\sigma n} \dots\dots\dots (17.4.3)$$

Für $D = \alpha$ wird $\varphi' = \varphi$ und für $D = L$ wird $\varphi' = 0$. Zwischen diesen Grenzen ändert sich φ' linear.

Man nehme nun an, dass die Figur 17.4.1 eine Ausgangsverteilung darstellt, in der $\varphi = \varphi_0$ ist. Wir wollen die Umwandlungen dieser Verteilung durch Durchforstungen untersuchen und teilen zu diesem Zweck die Verteilung in Klassen ein. Wenn die geeignete Anzahl Klassen mit a angenommen wird, so wird der Klassenbereich $= \frac{\varphi_0}{a}$. Die untere Grenze der ersten Klasse fällt mit der unteren Grenze der Verteilung zusammen und ist daher $\varphi'_0 = \varphi_0$. Für die übrigen Klassen wird φ'_0 dadurch berechnet, dass allmählich der Klassenbereich $\frac{\varphi_0}{a}$ von φ_0 abgezogen wird.

Wir wollen nun die Figur 12.5.2 auf Seite 98 betrachten, welche sich auf eine Stammverteilung mit $\varphi = 4$ bezieht. Wir nehmen weiter an, dass die Figur einen Ausgangsbestand zeigt. Die in der Figur eingezeichnete Klasse ist dann eine Ausgangsklasse. Die Klassengrenzen stellen Durchmesser dar, weshalb diese Klassen alle Bäume umfassen, welche innerhalb dieser Durchmesser liegen. Die Fläche der Klasse zwischen der x -Achse und der obersten Kurve stellt die Stammzahl dar.

Da die Stammzahl durch den Zuwachs nicht verändert wird, können wir die unter 12.5 geäußerte Ansicht verwenden, wonach die Verteilung keinen Zuwachs aufweist. In diesem Fall vollzieht sich die ganze Entwicklung in dem in Figur 12.5.2 angegebenen Rahmen. Die feineren Kurven geben die restliche Stammzahl nach späteren Eingriffen an. Das Gesagte gilt auch für die Klassen.

Die Klassengrenzen in der Fig. 12.5.2 beziehen sich in erster Linie auf den Ausgangsbestand, verändern sich aber während der weiteren Entwicklung nur wenig. Was bleibt dann konstant? In Wirklichkeit verändern sich die klassenbestimmenden Durchmesser — ausgedrückt in Zentimetern — durch den Zuwachs. Wir sehen davon ab und gehen zur dimensionslosen φ -Skala über. Aber auch φ und φ' werden durch verschiedenformige Durchforstung geändert. Das konstante Element ist der Rahmen, welcher von der Stammverteilung im Ausgangsstadium gebildet wird. Die Klasse hat nur eine Definition, welche während der ganzen Entwicklung Gültigkeit hat, nämlich die primären Klassengrenzen φ'_0 .

Zwischen diesen Klassengrenzen gab es im Ausgangsstadium bestimmte Stämme. Als Konsequenz der gegebenen Definition werden diese als für dauernd zu dieser Klasse gehörig betrachtet. Viele dieser Stämme verschwinden im Laufe der Entwicklung durch Durchforstungen, doch bleibt ein Teil davon bis zum Endabtrieb stehen. Die Annahmen über das Hinein- und Hinauswachsen über die Klassengrenzen sind mit dieser Auffassung vereinbar.

In der obigen Überlegung bedeutet φ einen Zustand vor der Durchforstung, weshalb die Bezeichnung laut früheren Definitionen φ_1 sein müsste. Nach der Durchforstung wird wie früher die Bezeichnung φ_2 verwendet. Wir nehmen an, dass es sich um eine Niederdurchforstung handelt. In der Klasse i wird

$$\varphi_1' = \varphi_1 - \frac{(i-1)\varphi_1}{a} \dots\dots\dots (17.4.4)$$

woraus folgt

$$\frac{\varphi_1'}{u'} = \frac{\varphi_1}{u'} - \frac{(i-1)\varphi_1}{a} \cdot \frac{1}{u'}$$

und

$$\frac{\varphi_1'}{u'} = \varphi_2 - \frac{(i-1)\varphi_2}{a} \dots\dots\dots (17.4.5)$$

Bei 17.4.5 stellt die rechte Seite φ' nach der Durchforstung in der Klasse i dar weshalb diese Seite als $= \varphi_2'$ geschrieben werden kann. Wir erhalten

$$\varphi_2' = \frac{\varphi_1'}{u'} \dots\dots\dots (17.4.6)$$

Dieser Ausdruck ist analog mit der Formel 12.3.2, welche sich auf den Zusammenhang zwischen φ_2 und φ_1 bezieht.

In einer u' -Serie ist laut 16.4.3 das fortlaufende Produkt

$$P(u') = \frac{\varphi_0}{\varphi}$$

woraus

$$\varphi = \frac{\varphi_0}{P(u')} \dots\dots\dots (17.4.7)$$

und

$$\varphi' = \frac{\varphi_0'}{P(u')} \dots\dots\dots (17.4.8)$$

Die Überlegungen ab 17.4.4 wollten die Zusammenhänge klarmachen. Bei der Durchführung der Arbeit ist es jedoch am bequemsten, jedesmal auf dieselbe Weise wie beim Ausgangsstadium zu verfahren und φ' durch allmählichen Abzug der Klassenweite $\frac{\varphi}{a}$ zu berechnen. Wir können dadurch die Stammzahl für alle Klassen und Durchforstungen berechnen. Der Entwicklungsgang der Stammzahl kann in jeder Klasse verfolgt werden. Dieses Problem wird in Kap. 18 behandelt.

Bei der Entwicklung von φ laut 17.4.7 erreicht man — wenn das Niederdurchforstungsmoment nicht zu schwach ist — bald einen Fall, wo φ über 6 ansteigt. Das bedeutet, dass sich die untere Grenze von der ursprünglichen Beschneidungsgrenze entfernt (vgl. die zwei letzten Absätze von 12.4 sowie 12.5). Auch im angegebenen Fall, wo φ 6 übersteigt, soll die φ' -Serie durch allmählichen Abzug der Klassenweite $\frac{\varphi}{a}$ von φ berechnet werden. Bei fortschreitender Niederdurchforstung steigen alle φ' -Werte, zuerst die erste Klasse usw. Wenn die Entwicklung nicht

unterbrochen wird, geht jeder φ' -Wert bei irgend einem Eingriff über 6 hinaus. Vor diesem Zeitpunkt gehört die ganze Klasse der Stammverteilung an. Nachdem die obere Grenze der Klasse, also φ' in der nächsten Klasse, 6 passiert hat, befindet sich die Klasse ganz ausserhalb der Stammverteilung. Während des Entwicklungsverlaufes, wo der Normalwert 6 innerhalb der Klassengrenzen liegt, ist nur ein Teil der Klasse in der Stammverteilung enthalten.

Bei der Niederdurchforstung hat dieser Grenzfall wenig Bedeutung. In dieser Untersuchung, welche für die Erfüllung der Forderungen der Praxis beschleunigt werden musste, wurde daher die Stammzahl der geteilten Klassen vernachlässigt. Dieses Verfahren kann aber bei Hochdurchforstung nicht verwendet werden. Vom Standpunkt der Forschung aus wäre es natürlich am angenehmsten, beide Durchforstungsformen gleich zu behandeln, was eine genaue Berechnung der geteilten Klasse auch bei der Niederdurchforstung erfordern sollte.

Kap. 18. Die Entwicklung der Stammzahl

18.1. Der Ausgangsbestand

Unsere erste Massnahme bei der Erstellung einer Produktionstabelle ist die Wahl des Ausgangsstadiums. Dieses Problem wurde bereits bei verschiedenen Gelegenheiten gestreift, doch werden der besseren Übersicht wegen hier die wichtigsten Punkte zusammen mit einigen neuen wiederholt.

- I. Die obere Höhe des Ausgangsbestandes beträgt 8 Meter.
- II. Eine Produktionstabelle bezieht sich immer auf eine bestimmte Bonität. Auf der Höhenkurve der Bonität wird bei 8 Meter das Alter abgelesen. Die nächstliegende ganze Zahl gibt das Alter des Ausgangsbestandes an.
- III. Eine Bonität kann mehrere Höhenkurven haben, z. B. für gepflanzte und nicht gepflanzte Bestände. Bei solchen Fällen wird jenes Alter gewählt, welches der Höhe von 8 Meter der aktuellen Kurve am nächsten liegt.
- IV Im einfachsten Fall wird der mittlere Durchmesser mit Hilfe von statistischen Funktionen gewählt, welche aus dem Material unberührter Bestände abgeleitet wurden. Falls man der Ansicht ist, dass das Material nicht den allgemeinen Voraussetzungen der Tabelle entspricht, kann eine Korrektur des mittl. Durchmessers begründet sein. Siehe z. B. 13.4. Dieser Standpunkt muss besonders beachtet werden, da das Material von aus Selbstbesamung hervorgegangenen Beständen für die Berechnung der gepflanzten Bestände verwendet werden muss oder umgekehrt.
- V. Mit dem ev. korrigierten mittl. Durchmesser als unabhängige Variable wird die mittlere Abweichung berechnet; die Stammzahl mit Hilfe statistischer Funktionen aus unberührten Beständen.
- VI. Die Form der Verteilung und deren Lage hängen laut 9.3.3:

$$\frac{Ms - \alpha}{\sigma s} = \frac{M'}{\sigma'}$$

von einander ab. Man kann entweder α annehmen und φ aus $\frac{M'}{\sigma'}$ berechnen, oder φ annehmen und α berechnen. In beiden Fällen ist der prinzipielle Gedankengang

gleich, aber die letztere Alternative bietet bessere Möglichkeiten für die Rationalisierung der Arbeit. Die folgende Darlegung beschäftigt sich hauptsächlich mit dieser Alternative.

18.2. Normaltabellen für die Stammzahl

Wenn das φ des Ausgangsbestandes aus einer geringen Anzahl abgerundeter Werte gewählt wird, kann die Ausarbeitung der Produktionstabellen durch Normaltabellen für die Stammzahl bedeutend erleichtert werden.

Wie bereits gesagt wurde, bildet die Entwicklung der Stammzahl nur bei ungleichförmiger Durchforstung ein Problem. Unter diesen Behandlungsformen ist die Niederdurchforstung die unvergleichlich wichtigste. Die Diskussion in diesem Abschnitt schliesst daher an die Niederdurchforstung an. Andere Methoden erfordern Änderungen der Arbeitsweise, aber der Gedankengang ist so ähnlich, dass die Demonstration des genannten Durchforstungstyps genügen dürfte.

Laut 12.3.3 und 12.3.4 ist

$$\frac{S_2}{S_1} = \frac{I_2}{I_1} \cdot \frac{F(\varphi_2)}{F(\varphi_1)} \cdot \psi_2' \dots\dots\dots (18.2.1)$$

Dies ist das Resultat einer einzigen Durchforstung. Da die Stammzahl vom Zuwachs nicht verändert wird, stellen die Faktoren mit dem Index 2 auch den Zustand vor der nächsten Durchforstung dar. Der Zustand nach der nächsten Durchforstung wird mit dem Index 3 bezeichnet. Wir erhalten für 2 Durchforstungen

$$\frac{S_2}{S_1} \cdot \frac{S_3}{S_2} = \frac{I_2}{I_1} \cdot \frac{I_3}{I_2} \cdot \frac{F(\varphi_2)}{F(\varphi_1)} \cdot \frac{F(\varphi_3)}{F(\varphi_2)} \cdot \psi_2' \cdot \psi_3'$$

dann ist

$$\frac{S_3}{S_1} = \frac{I_3}{I_1} \cdot \frac{F(\varphi_3)}{F(\varphi_1)} \cdot P(\psi') \dots\dots\dots (18.2.2)$$

Auf diese Weise können wir den Sprung vom Ausgangsbestand zum Bestand nach der Durchforstung für jede Durchforstung der ganzen Entwicklung in einem machen. Als Ausdruck dafür wird für den Index 1 in 18.2.2 der Index 0 des Ausgangsstadiums eingesetzt. Spätere Fälle werden ohne Index gelassen. Daraus entsteht die allgemeine Formel

$$\frac{S}{S_0} = \frac{I}{I_0} \cdot \frac{F(\varphi)}{F(\varphi_0)} \cdot P(\psi') \dots\dots\dots (18.2.3)$$

Der in der Formel enthaltene I -Quotient wird unter 12.2.6, allerdings nur auf eine Durchforstung bezogen, definiert. Bei der Erstreckung auf mehrere Durchforstungen wird u' mit dem aufgelaufenen Produkt $P(u')$ ersetzt. $F(\varphi)$ und $F(\varphi_0)$ wird der Tabelle H 5 unter φ und φ_0 entnommen.

Wir haben unter 16.8 die Durchforstungen mit Hilfe von Formeln definiert, z. B. für Niederdurchforstung L 5 G 10, 10, wobei die Zahlen bei L und G die Entnahmeprozente für jedes fünfte Jahr darstellen. Die letzte Zahl gibt die Länge des Intervalles in Jahren an. Man sieht leicht ein, dass durch die Variation dieser drei Zahlen viele Durchforstungsprogramme erhalten werden können. Für jede solche Kombination eine Normaltabelle zu errichten, wäre unmöglich.

Doch wurde bereits bei der Festlegung des Arbeitsplanes eine Massnahme getroffen, welche die Zahl der Kombinationen wesentlich verringert. Für alle Durchforstungsprogramme ist jedes fünfte Jahr eine Wiederholung des Eingriffes gedacht. In Übereinstimmung damit werden die Normaltabellen nur für fünfjährige Intervalle erstellt. Wenn man dann zehnjährige Intervalle anwenden will, so wird nur jede zweite Zeile der Normaltabelle benutzt.

Unter 18.2.3 stellt $P(\psi')$ das Stammklassendurchforstungsmoment dar. Dieser Faktor hat einen vom Programm abhängigen Wert für jede Durchforstung, trifft aber alle φ -Klassen gleich stark und gilt daher für eine ganze Zeile in der Tabelle gemeinsam. Diese Rechenoperation ist so einfach, dass besondere Normaltabellen für die Kombination von Niederdurchforstungsmoment und dem Moment der gleichmässigen Durchforstung nicht notwendig sind.

Vor allem werden Normaltabellen für das Niederdurchforstungsmoment benötigt. Wir müssen die restliche Stammzahl für jede Durchforstung berechnen und danach diese Stämme auf die φ -Klassen verteilen. Die erste Kalkulation erfolgt nach der Formel

$$S' = \frac{I}{I_0} \cdot \frac{F(\varphi)}{F(\varphi_0)} \cdot S_0 \dots \dots \dots (18.2.4)$$

Die Berechnung setzt die Kenntnis über die Entwicklung von φ voraus, welche den $F(\varphi)$ -Quotienten direkt, sowie den I -Quotienten durch u' und $P(u')$ bestimmt. Eine Berechnung von φ wird unter 16.3 gezeigt. Die Arbeit wird durch die Forderung nach einem bestimmten Entnahmeprozent der Kreisfläche sehr kompliziert. Doch handelt es sich hier um eine einmalige Arbeit und die Grundlage, welche die Durchforstungsprogramme auf diese Weise erhalten, ist so wertvoll, dass das Opfer als begründet angesehen werden darf. In der Tabelle H 7 wird die Entwicklung von φ gezeigt, welche erreicht wird, wenn φ_0 3, 4, 5 oder 6, und das vom Niederdurchforstungsmoment verursachte Entnahmeprozent 1, 3 oder 5 ist.

Es bleibt übrig, für jeden Durchforstungseingriff die Stämme auf φ -Klassen zu verteilen, welche durch den Faktor φ' an der unteren Grenze der Klassen definiert werden. Wir setzen voraus, dass die φ' -Werte durch die Berechnung laut 17.4 bekannt sind. Zur Orientierung wollen wir eine Tabelle über die Normalverteilung der Wahrscheinlichkeitskalkulation betrachten und wählen dafür CRAMÉR, 1949, Tabelle I. Das x der Tabelle entspricht unserem $(3 - \varphi)$. Die Funktion $\Phi(x)$ in der zweiten Kolonne stellt die Fläche der bekannten Frequenzkurve $\varphi(x)$ dar, welche in der dritten Kolonne steht. Die ganze Fläche zwischen $-\infty$ und $+\infty$ hat den Wert 1 erhalten. $\Phi(x)$ gibt den Teil der Fläche an, welcher zwischen $-\infty$ und x fällt. Für negative x ist $\Phi(x) = 1 - \Phi(-x)$.

Bei der Anwendung auf unser Problem beziehen sich die Teilflächen auf die Stammzahl. Man nehme eine Stammverteilung mit $\varphi = 4$, die Teilfläche mit Σy und die Stammzahl mit S an. In dieser Verteilung liegt eine φ -Klasse zwischen den φ' -Werten 2 und 1,8. Die Teilfläche der Klasse ist y und deren Stammzahl s .

Den angegebenen φ' -Werten entsprechen die x -Werte 1,0 und 1,2. Daraus das y der Klasse = 0,88493 — 0,84134 = 0,04359. Die ganze Verteilung liegt zwischen $x = 3$, wo $\Phi(x) = 0,99865$ ist und $x = -1$, wo $\Phi(x) = -0,84134 = 0,15866$, daraus $\Sigma y = 0,99865 - 0,15866 = 0,83999$. Daraus erhält man

$$s = \frac{0,04359}{0,83999} \cdot S$$

oder allgemein

$$s = \frac{y}{\Sigma y} \cdot S \dots\dots\dots (18.2.5)$$

Wenn die Entwicklung der Stammzahl für eine besondere Tabelle berechnet werden soll, wird die Stammzahl des Ausgangsbestandes für S_0 in 18.2.4 eingesetzt. Hier sollen aber Normaltabellen für die Stammzahlentwicklung erhalten werden und für diesen Zweck dürfte es am besten sein, S_0 einen ziemlich hohen, stark abgerundeten Wert, z. B. 10 000 zu geben. Bei der praktischen Anwendung ist es dann leicht, die ganze Tabelle mit dem Quotienten aus der Stammzahl des Ausgangsbestandes und 10 000 zu multiplizieren.

Die Stammzahlen, welche der Entwicklung von φ in der Tabelle H 7 entsprechen, werden in der Tab. H 8 dargestellt. Dort wird vorausgesetzt, dass die Stammzahl des Ausgangsbestandes 10 000 ist.

18.3. Zusammenfassung

Nach dem oben Gesagten wird eine Normaltabelle für die Entwicklung der Stammzahl in drei Etappen ausgearbeitet.

1. Die Entwicklung von φ wird laut 16.3 berechnet.
2. Die aus dem Niederdurchforstungsmoment zurückgebliebene Stammzahl S' wird für jede Durchforstung laut 18.2.4 berechnet. Dabei wird S_0 mit 10 000 angenommen.
3. S' wird auf φ -Klassen laut 18.2.5 verteilt.

Die Punkte 1—3 beziehen sich auf die Normaltabelle. Bei der Anwendung soll jedesmal die ganze φ -Klassenzeile mit $P(\psi')$ und die ganze Tabelle mit $\frac{S_0}{10\ 000}$ multipliziert werden.

Die Berechnung von $P(\psi')$ kann durch die Tabelle H 9 erleichtert werden.

IV. Berechnung des Zuwachses

Kap. 19. Der Zuwachs der Kreisfläche

19.1. Einleitung

Für die Berechnung der Bestandesentwicklung ist die Bestimmung des Zuwachses der Bäume notwendig. Dieser kann durch direkten Ausgleich des Massenzuwachses erhalten werden. Man kann auch Detailentwicklungen wie die Änderungen des Durchmessers, der Höhe und der Form ausgleichen, sowie danach aus diesen den Massenzuwachs berechnen. Solche Berechnungen können vor allem für einzelne Bäume, Klassenmittelstämme oder Summen per Hektar berechnet werden. Die die Resultate werden durch die absolute oder relative Masse ausgedrückt.

Bei Beginn der Bearbeitung war es notwendig, zwischen allen diesen Möglichkeiten zu wählen. Während der ersten Jahre dominierte das Interesse für die Sicherheit der Prognosen. Von diesem Gesichtspunkt aus war es — wie wir gleich

sehen werden — wünschenswert, dass die Resultate durch Summierung kontrolliert werden konnten. Leider war der Massenzuwachs für diesen Zweck nicht anwendbar, weil die Höhenmessungen im älteren Material zu unsicher waren. Dagegen war es kein Hindernis für die Verwendung der Kreisfläche vorhanden, deren Zuwachs sehr eingehend studiert wurde.

19.2. Untersuchung des Kreisflächenzuwachses der Kiefer

Das Resultat einer solchen Untersuchung wurde im Exkursionsführer des »1937 års Nordiska skogskongress. Exkursion II« (Nordischer Forstkongress 1937. Exkursion II) publiziert. Siehe PETTERSON 1937: »Utvecklingsprognoser för skogsbestånd« (Entwicklungsprognosen für Waldbestände).

Dabei wurde das ganze Land als geografische Einheit betrachtet und das Material konnte in vier Behandlungsgruppen eingeteilt werden, nämlich 1., 2. und 3. Periode, sowie spätere Perioden. Die gemeinsame Bearbeitung vom Material des ganzen Landes erforderte Rücksicht auf gewisse Klimavariablen, welche sich bei regionaler Bearbeitung nicht geltend gemacht hätten (vgl. Kap. 8).

Der Originaltext berührt an dieser Stelle einen im Jahre 1937 durchgeführten Versuch den Zeitfaktor bei den Durchforstungsreaktionen zu studieren. Dieses Problem ist aber noch unklar. Deshalb konnte diese Anregung bei der Berechnung der vorliegenden Produktionstafeln nicht ausgenützt werden.

In den »Entwicklungsprognosen« ist die Streuung für die erste Periode 21 %, für die zweite 18,6 %, für die dritte 15,7 % und für die übrigen Perioden 16,4 %. In diesen Streuungen sind auch eventuelle Berechnungsfehler enthalten. Die bei der Bearbeitung verwendeten Zahlen für den jährlichen Zuwachs der Kreisfläche erhielt man durch Abzug der berechneten Kreisfläche nach der Durchforstung am Beginn der Perioden von der berechneten Kreisfläche vor der Durchforstung am Ende der Periode und Division der Differenz mit der Anzahl der Jahre der Periode. Dabei muss man damit rechnen, dass die beiden Kreisflächenberechnungen und die Bestimmung der effektiven Länge der Periode mit Fehlern behaftet sein können.

Der gesamte Berechnungsfehler kann nicht für jede Fläche berechnet werden. Deshalb konnte auch keine Korrektur erfolgen. Die Streuungen, welche die Abweichungen des gemessenen Zuwachses von dem mit Funktionen berechneten Zuwachs angeben, sind deshalb auch grösser als die Streuungen, welche man erhalten hätte, wenn wir den wirklichen mit dem berechneten Zuwachs hätten vergleichen können.

19.3. Kontrollen

Um einen besseren Einblick in dieses wichtige Problem zu bekommen, wurde sowohl der gemessene als auch der berechnete Zuwachs jeder Fläche für die erste und zweite Periode, bezeichnet mit Σ_2 , für die erste, zweite und dritte Periode, bezeichnet mit Σ_3 , usw. summiert. Für jede dieser Summengruppen wurde flächenweise die Differenz zwischen dem berechneten und dem gemessenen Zuwachs genommen und hierauf die mittl. Abweichung berechnet (Tab. 19.3.1).

Wie es scheint, ist die mittlere Abweichung zwischen den beiden Serien in der Summe für fünf Perioden auf 7,9 % herabgesunken. Dazu können auch andere Ausgleichen beigetragen haben, aber wahrscheinlich beruht dies wesentlich auf dem Eliminieren von Fehlern der dazwischenliegenden Beobachtungen. Die Bestimmung der beobachteten Σ_5 beruht auf sechs Messungen, von denen nur die erste

und die letzte für die Berechnung der Summe von Bedeutung sind. Von sechs Messfehlern haben wir uns also durch Summierung von vier befreit, während zwei übrig bleiben. Wir können daraus den Schluss ziehen, dass auch die Zahl 7,9 zu hoch ist, wenn wir sie als Mass für die mittl. Abweichung zwischen der Wirklichkeit und den laut Funktionen berechneten Zuwachssummen für fünf Perioden betrachten.

19.4. Der Wertzuwachs

Mit Rücksicht auf die praktischen Ziele der Produktionsforschung war es wichtig, auch den Wertzuwachs zu erfassen. Hierzu waren Kenntnisse über Einzelheiten der Bestandesentwicklung erforderlich. Als Hilfsmittel wurden Angaben über die Durchforstungen des Materiales verwendet. Für die bei jeder Durchforstung entnommenen Stämme wurde die Stammverteilung auf Durchmesserklassen und der Durchmesser D_{mg} des Kreisflächenmittelstammes berechnet. Die Stammverteilungen wurden nach ganzen Zahlen des D_{mg} sortiert und in jeder D_{mg} -Gruppe eine mittlere Verteilung berechnet, welche in % der Kreisfläche ausgedrückt wurde. Auf dieselbe Weise wurden auch Prozentserien für den Endabtrieb ausgearbeitet.

Mit Hilfe dieser Prozentserien konnten die Erträge der Kreisflächentabellen nach Dimensionen verteilt werden. Solche Zahlen, bezogen auf die Totalproduktion für 100 Jahre in 16 von den Produktionstabellen, welche unter »Entwicklungsprognosen« Tab. 7 zitiert werden, wurden in einem Vortrag auf der Exkursion II des Nordischen Forstkongresses 1937 bekanntgegeben.

19.5. Zusammenfassung

Die in diesem Kapitel beschriebenen Methoden begannen mit der Gesamtheit und gingen auf Einzelkeiten über. Das Problem wurde von aussen in Angriff genommen. Das brachte wohl eine gute Kontrolle der Totalproduktion jedoch eine deutliche Unsicherheit in den Details mit sich. Indessen gewannen die Details in dem Masse an Bedeutung als der Wert in den Vordergrund trat. Da wurde die Arbeitsweise geändert, man begann von innen und baute die Gesamtheit als eine Summe der Teile auf. Diese Anschauung hat die jetzt vorliegende Untersuchung gekennzeichnet.

Kap. 20. Der Zuwachs des Brusthöhendurchmessers

20.1. Einleitung

Das Programme, welches unter 19.5 angedeutet wurde, stellt den Zuwachs des Brusthöhendurchmessers in den Vordergrund. Wir werden in den folgenden Kapiteln sehen, wie die Bestandesentwicklung von diesem Ausgangspunkt aus aufgebaut wird. Vorher muss aber die eigentliche Berechnung des Zuwachses diskutiert werden.

20.2. Die Berechnung

erfolgt durch die Regressionsanalyse. Diese umfasst zwei sehr verschiedenartige Momente: Die Wahl der Variablen und die Zusammenhangsuntersuchung. Das letztere Moment ist stark gesetzgebunden und braucht nicht für jeden einzelnen

Fall besonders diskutiert zu werden. In dieser Hinsicht wird nur auf Kap. 6 hingewiesen. Dagegen muss die Wahl der Variablen für jedes neue Problem oder zumindest für jede neue Art von Problemen überlegt werden.

20.3. Die Variablen

Wir unterscheiden wirkliche oder reale und umgewandelte oder transformierte Variable. Der Inhalt des Begriffes Variable geht vielleicht am besten aus der gedachten Gruppeneinteilung in Kap. 5 hervor. Die realen unabhängigen Variablen sind gruppeneinteilend und die reale abhängige Variable ist jener Faktor, welcher für jede Gruppe gesucht wird. Wenn der partielle Zusammenhang zwischen einer abhängigen und einer unabhängigen Variable gekrümmt wird, kann ein geradliniger Zusammenhang durch Umwandlung der unabhängigen Variablen erhalten werden. In bestimmten Fällen ist es vorteilhaft die abhängige Variable umzuwandeln (vgl. Kap. 6).

20.4. Einzelne Stämme oder Bestandesmittelstämme

Bei der Wahl der abhängigen Variable kommen wir auf eine wichtige Prinzipfrage. Wir haben bereits gesagt, dass wir den Zuwachs des Brusthöhendurchmessers suchen, der also eine abhängige Variable sein soll. Bisher wurde aber die Frage offen gelassen, ob sich die Berechnung auf einzelne Bäume oder den Bestandesmittelstamm beziehen soll. Wir beziehen uns im Folgenden mit der ersten Alternative auf die Methode »Einzelstämme« und mit der zweiten auf die Methode »Mittelstämme«.

Die Wahl der Methode wird von der Beschaffenheit des Materials und vom Zweck der Untersuchung beeinflusst. Auf den Produktionsflächen wurde der Zuwachs durch wiederholte Messung des Durchmessers mit Rinde bestimmt. Diese Masse sind ziemlich unscharf, haben aber die Neigung, sich zu einem mittl. Zuwachs für die ganze Probefläche auszugleichen, was für die »Mittelstämme« spricht. In diesem Zusammenhang muss hervorgehoben werden, dass die Revisionen der Flächen auf Grund von Personalmangel teilweise auch während der Vegetationszeit vorgenommen werden mussten, weshalb die Zuwachszeit nicht genau bestimmt ist. Daraus entstandene Fehler treffen aber auch den mittleren Zuwachs und beeinflussen daher nicht die Wahl der Methode.

Wichtiger als die angeführten Gesichtspunkte ist dagegen die Rücksichtnahme auf den Zweck der Untersuchung. Aus 17.4 geht hervor, dass der Ausgangsbestand in relative Durchmesserklassen, φ -Klassen genannt, eingeteilt wird. Diese werden für den Bestand dauernd beibehalten, sodass hinaus- oder hineinwachsende Stämme nicht vorkommen. Deshalb wird die totale Bestandesentwicklung vom Zuwachs der φ -Klassen bestimmt. Bei der Erstellung einer Produktionstabelle soll für jede Durchforstung der Durchmesser für jede φ -Klasse berechnet werden.

Bei der Methode »Einzelstämme« werden diese Zahlen direkt durch die Regressionsfunktion erhalten, welche zu diesem Zweck besondere Variable enthalten muss. Die Methode »Mittelstämme« bestimmt dagegen nur einen Hilfsfaktor, den Zuwachs des Bestandesmittelstammes, worauf der Zuwachs der φ -Klassen durch Konstruktion erhalten wird.

Welche Methode vorteilhafter ist, beruht auf den Umständen. Die Analyse einzelner Stämme ist die einzig anwendbare Methode in stark heterogenen Bestän-

den. In mässig heterogenen Beständen können beide Methoden verwendet werden. Dieselbe Möglichkeit gibt es in homogenen Beständen, doch treten dort die Vorteile der Konstruktion so stark hervor, dass die Methode »Mittelstämme« in der Regel als überlegen anzusehen ist.

20.5. Wahl der realen abhängigen Variablen

Produktionstabellen beziehen sich, wie schon gesagt, auf möglichst homogene Bestände. Es gibt daher Gründe, welche der Methode »Mittelstämme« den Vorzug geben.

Die Länge der auf den Versuchsflächen gemessenen Zuwachsperioden betrug ca fünf Jahre. Da ein jährlicher Durchschnitt nur für Perioden von dieser Länge gilt, wurde jeder Zuwachs auf fünf Jahre umgerechnet.

In Übereinstimmung damit¹ wurde als reale abhängige Variable der Zuwachs von fünf Jahren für den mittl. Durchmesser mit Rinde gewählt.

20.6. Umwandlung der abhängigen Variablen

Nach verschiedenen Versuchen wurde der letztgenannte Zuwachs in Prozente des mittl. Durchmessers mit Rinde am Beginn der Periode umgewandelt und mit p_5 bezeichnet. Als endgültiger Ausdruck für die abhängige Variable wurde $\log. p_5$ in der Regressionsanalyse eingesetzt. Die Gründe der letzten Umwandlung werden unter 20.7 mit Rücksicht auf alle Variablen, die abhängigen und die unabhängigen, behandelt.

20.7. Logarithmische Umwandlung

Wir gehen von einer Regressionsfunktion der einfachsten Art aus, also

$$y = a + bx_2 + cx_3 \dots \dots \dots (20.7.1)$$

wobei die Kleinbuchstaben x und y ursprüngliche Variablen bezeichnen und nicht Abweichungen vom entsprechenden Mittelwert wie unter 6.7.

Nach Bestimmung der Koeffizienten a , b und c nimmt man von jedem Element die Differenz zwischen dem beobachteten und dem berechneten Wert von y . In bestimmten Fällen sind diese Differenzen (Residuale) niedrig genug und die Funktion kann akzeptiert werden. Aber oft ist die Anpassung nicht zufriedenstellend. Gewöhnlich ersetzt man dann irgendeinen Ausdruck x , z. B. x_2 , mit einer niedrigeren oder höheren Potenz. Wir erhalten z. B.

$$y = a + bx_2^2 + cx_3 \dots \dots \dots (20.7.2)$$

Die Prüfung erfolgt auf dieselbe Weise wie unter 20.7.1. Erfüllt das Resultat nicht die gestellten Ansprüche, wird eine andere Potenz von x_2 oder eine Änderung von x_3 versucht. Auch in diesem kleinen Beispiel gibt es so viele denkbare Variablemöglichkeiten, dass die versuchsweise Arbeit als wenig rationell erscheint. Es ist wünschenswert die richtigen Exponenten errechnen zu können.

Wir wollen nun eine andere einfache Funktion betrachten:

$$y = a \cdot x_2^b \cdot x_3^c \dots \dots \dots (20.7.3)$$

Um die Funktion bearbeiten zu können logarithmieren wir und erhalten

$$\log y = \log a + b \log x_2 + c \log x_3 \dots\dots\dots (20.7.4)$$

Die Berechnung erfolgt wie unter 20.7.1. Funktionen der Art von 20.7.4 werden normalerweise für die Bestimmung von $\log y$ verwendet, woraus dann y berechnet werden kann. Doch wurde die Funktion hier zur Verdeutlichung der Form der Variablen von 20.7.3 angeführt. Wir haben die gesuchten Exponenten b und c als Koeffizienten der logarithmischen Variablen erhalten. Diese Exponenten gelten aber für 20.7.3, wo die unabhängigen Variablen ein Produkt bilden und es ist nicht sicher, dass sie in Funktionen der Art

$$y = \alpha + \beta x_2^b + \gamma x_3^c \dots\dots\dots (20.7.5)$$

verwendet werden können. Trotzdem kann ein Versuch begründet sein. Gewöhnlich rundet man dabei b und c auf ganze Zahlen oder invertierte ganze Zahlen ab. Die Rechnung wird dann wie unter 20.7.2 ausgeführt. Das Ganze bleibt aber doch ein Versuch. Unser Wunsch, die Form der Variablen durch Rechnung bestimmen zu können wurde nicht verwirklicht, zumindest nicht ganz.

Die obigen Überlegungen gingen von 20.7.3 aus. Wir lösen nun diesen Zusammenhang auf und betrachten danach die logarithmischen Variablen nur als gekrümmten Zusammenhang. Es wird dann eine Frage der besseren Eignung sein, ob man eine bestimmte Variable logarithmisch oder z. B. durch eine Hyperbel ausdrücken will. Nichts hindert daran, die einzelnen Variablen in einer Funktion auf verschiedene Weise auszudrücken. Die erreichte Anpassung ist das entscheidende Kriterium.

20.8. Beispiele für Variable zur Berechnung des Zuwachses des Brusthöhen-
durchmessers

Die Regressionsfunktionen, welche bei der Ausarbeitung der Produktionstabellen für die Berechnung des Zuwachses des Brusthöhendurchmessers verwendet wurden, werden in den Funktionsbeilagen nachgewiesen. Die folgende Diskussion hat die Funktionen für Kiefer, Nordschweden, nicht gepflanzt (siehe Tabl. F 1) zur Grundlage.

Bezeichnungen:

- p_5 = Zuwachsprozent des mittleren Durchmessers für fünf Jahre.
- w = Durchmessersumme mit Rinde in Meter per ha vor der ersten Durchforstung.
- $z+t$ = Alter zu Beginn der Periode.
- E = Anzahl Jahre nach der ersten Durchforstung bis zum Beginn der Periode.
- Seb = Stammanzahl per ha nach der Durchforstung zu Beginn der Periode.
- Meb = mittl. Durchmesser mit Rinde in Zentimeter nach der Durchforstung zu Beginn der Periode.

Diskussion:

- Die Variablen $x_0 = \log p_5$
- $x_2 = \log w$ und
- $x_3 = \log (z+t)$

wurden laut 20.7.4 gebildet. Für die Variable x_2 gilt folgendes:

Die Durchmessersumme w ist proportional zur Umfangssumme in Brusthöhe und approximativ proportional zur Kambiumsumme in Brusthöhe, alles per ha. Eine Variable gleicher Art wurde im Originaltext unter 19.2 diskutiert und gleichzeitig auf »Entwicklungsprognosen für Waldbestände« Tabelle 4 hingewiesen. Diese Variable hatte einen positiven Koeffizienten.

Unter 19.2 war der Kreisflächenzuwachs eine abhängige Variable. Man konnte es leicht verstehen, wenn dieser Zuwachs durch die Grösse des wachsenden Organs positiv beeinflusst wurde. Aber der positive Effekt der Bestandesdichte vor der ersten Durchforstung blieb durch mehrere Durchforstungen hindurch erhalten: das Entscheidende hierfür scheint zu sein, dass die Kambiumsumme gross gewesen ist.

Unter 20.8 ist die abhängige Variable ein umgewandeltes Zuwachsprozent des Durchmessers. Dieses kann im Grossen und Ganzen in lichterem Beständen als grösser erwartet werden. Indessen enthält die Funktion Ausdrücke für den mittl. Durchmesser und die Stammanzahl, welche diesen Effekt aufnehmen. Wenn alle Variablen ausser x_2 konstant sind, wird — nachdem der Koeffizient für x_2 positiv ist — das Zuwachsprozent in den Fällen grösser in denen die Kambiumsumme grösser als in anderen vergleichbaren Fällen gewesen ist. Bei den angegebenen Voraussetzungen bedeuten jedoch grössere Zuwachsprozente des Durchmessers auch grösseren Kreisflächenzuwachs, weshalb das Resultat mit 19.2 übereinstimmt.

Solche Überlegungen sind nicht beweisend. Man macht sie zum besseren Verständnis der Probleme. Tatsache im Kap. 20.8 ist, dass das Zuwachsprozent des Durchmessers einen berechenbaren Zusammenhang mit der Durchmessersumme vor der ersten Durchforstung hat. Tatsache ist auch, dass die Kambiumsumme einen starken Zusammenhang mit der Durchmessersumme besitzt. Es ist aber nicht sicher, dass die Bedeutung der Durchmessersumme auf diesem Zusammenhang beruht,

Die Variable $x_6 = f(Seb)$. Wir treffen hier eine Umwandlung, welche oft gute Dienste für die Orientierung in neuen Problemen zeigt. Laut Definition ist $Seb =$ Stammanzahl per ha nach der Durchforstung zu Beginn der Periode. Eine einfache Überlegung sagt uns, dass die Variable die Form $\log Seb$ (mit negativem Koeffizient) haben kann, aber wir betrachten es als möglich, dass der Ausdruck $\log (Seb + \Delta)$ besser ist. In der Regression wird die Variable $\log Seb$ eingesetzt und zur Kontrolle ausserdem die Variable Seb . Die Methode will durch Änderung von Δ in der Hauptvariablen $\log (Seb + \Delta)$ soweit als möglich den Effekt der Kontrollvariablen wegnehmen. Die Erfahrung hat gezeigt, dass man bald die Beurteilung der notwendigen Änderung an Grösse und Richtung erlernt. Das richtige Δ zeigt sich durch das Verschwinden des Effektes der Kontrollvariablen.

Hier muss hinzugefügt werden, dass die definitive Prüfung der Form der Variablen durch die Quadratsumme erfolgt. Die Kontrollvariable verhilft uns verhältnismässig schnell zu einer wahrscheinlich annehmbaren Form der Variablen.

Die Variable $x_7 = f(Meb)$. Nach der Definition ist Meb der mittl. Durchmesser in cm nach der Durchforstung am Beginn der Periode. Die Grundform der Variable kann als $\frac{1}{Meb}$ (mit positivem Koeffizient) angenommen werden. Das Bedürfnis nach einem Zusatz für Meb wird durch die Kontrollvariable Meb auf ähnliche Weise wie für x_6 untersucht.

Die Variable $x_4 = f(E)$. E bezeichnet die Anzahl Jahre nach der ersten

Durchforstung. Die Grundform der Variablen wird mit $\frac{I}{E}$, bei eventueller Umwandlung zu $\frac{I}{E + \Delta}$, angenommen. Die Überlegung folgt denselben Linien wie für x_7 .

Im Variabelverzeichnis wurde angegeben

$$x_4 = \frac{I}{E + 30}$$

Die Variable $x_5 = f(E)$. Bei der Prüfung der Residuale konnte eine Neigung zur Kulmination über E festgestellt werden. Deshalb wurde versucht, x_4 mit der Variablen

$$x_5 = \frac{\log(E + 30)}{E + 30}$$

zu komplettieren.

In dieser Variable wurde ohne Prüfung der für x_4 erhaltene Wert von $\Delta = 30$ akzeptiert. Aus dem Variabelverzeichnis geht hervor, dass x_5 positiv und x_4 negativ wurde. Die Variablen waren gleich stark (siehe ε %). Der gemeinsame Effekt von x_4 und x_5 kulminierte bei $E = 7,9$.

20.9. Korrektur des Zuwachses des mittl. Durchmessers

Ab Kap. 20.6 wurde die Berechnung des Zuwachsprozentes p_5 des mittl. Durchmessers behandelt. Bei der Anwendung wird daraus der Faktor

$$R = 1 + \frac{p_5}{100} \dots\dots\dots (20.9.1)$$

gebildet und daraus laut 11.6 für eine Fünfjahresperiode

$$Ms1 = R [Ms2] \dots\dots\dots (20.9.2)$$

Die Funktionen für die Berechnung von p_5 wurden nach einer Methode angepasst, welche bereits früher, besonders unter Kap. 6, beschrieben wurde. Dasselbe erfolgte für die übrigen Variablen, welche die Bestandesentwicklung ausdrücken. Mit Hilfe dieser Funktionen wurden Produktionstabellen für verschiedene Typfälle erstellt und der Aufbau der Tabellen in den Kap. 21—29 beschrieben.

Die Produktionstabellen sind das praktische Resultat der Untersuchung. Deshalb ist die Frage: wie gross ist die Zuverlässigkeit der Tabellen?, für uns von grossem Interesse. Auch wenn die einzelnen Funktionen zufriedenstellend sind, kann man über deren gemeinsames Resultat im Zweifel sein. Und vor allem: sind die verschiedenen Typfälle im Material ausreichend vertreten?

Es ist aber zu spät diese Fragen erst dann aufzuwerfen, wenn die Tabellen bereits fertig sind. Wenn das Resultat nicht gebilligt werden kann, muss alles umgearbeitet werden. Es ist natürlich richtig, dass das entgeltige Urteil über die Untersuchung erst nach Beendigung derselben gefällt werden kann, aber diesem muss durch subjektive Überlegungen schon viel früher vorgegriffen werden, solange nämlich eine Korrektur noch möglich ist.

Die Aufgabe dürfte deutlicher werden, wenn wir zuerst einige Beispiele für solche Schlussurteile diskutieren. Wir treffen dabei verschiedene Schwierigkeiten, aber alle haben dieselbe Ursache, nämlich den Mangel an sicheren Kriterien.

Da das Material ohne Rücksicht auf statistische Bearbeitung eingesammelt wurde, ist keine ziffernmässige Genauigkeitsbestimmung möglich. Gleichwohl muss zugegeben werden, dass die statistische Methode unter der Voraussetzung, dass deren Regeln genau befolgt werden ziemlich grosse Genauigkeit bietet. Eine wichtige Regel ist, dass die Resultate solcher Analysen nur innerhalb der Grenzen des Materials gelten. Es stellt eine Schwäche der vorliegenden Untersuchungen dar, dass diese Regeln nicht immer befolgt werden konnten. Unser Ziel ist die Erstellung von Produktionstabellen, welche den ganzen Entwicklungsverlauf von der ersten Durchforstung bis zum Endabtrieb zeigen. Da die Versuchsflächen nur während eines Bruchteiles dieser Zeit beobachtet wurden, konnte einer Anwendung der Resultate ausserhalb bestimmter Materialgrenzen nicht entgangen werden.

Eine solche Überschreitung der Grenzen erfolgte für die Variablen x_4 und x_5 unter 20.8. Die Zeit E , welche seit der ersten Durchforstung vergangen ist, ist im Material auf höchst 30 Jahre begrenzt, während sie in den Produktionstabellen 80 Jahre übersteigen kann. Die Anwendung der Funktionen stellt daher ein gewaltsames Extrapolieren dieser Variablen dar. Das Problem kann auch nicht durch Vernachlässigen von x_4 und x_5 gelöst werden, denn dann werden diese auf die Mittelwerte während der kurzen Beobachtungszeit festgelegt. Schon die nächste Bearbeitung dieses Materials wird genauer, aber die Extrapolierungsgefahr muss noch viele Jahre im Auge behalten werden.

Auf Grund dieser und ähnlicher Fehlerquellen suchte ich Hilfe von Kriterien ausserhalb des Materiales zu erhalten. Diese Frage wird in den Kap. 29 und 37 diskutiert. Daraus geht hervor, dass die endgültige Beurteilung einer Produktionstabelle oft schwierige Probleme enthalten kann. Manchmal kann man den Vergleich nicht in Zahlen ausdrücken, sondern muss sich mit der Angabe von Tendenzen begnügen. Noch mehr ist dies der Fall, wenn es sich um ein vorläufiges Urteil handelt.

Eine solche Beurteilung muss schon frühzeitig angeben, ob der berechnete Zuwachsquotient R des mittl. Durchmessers korrigiert werden soll. Diese Notwendigkeit kann auftreten, wenn die beabsichtigte Anwendung nicht mit dem Material korrespondiert. In solchen Fällen gibt es so wenig Anhaltspunkte, dass es sich nicht um eine feinere Abstufung handeln kann. Wenn eine Korrektur notwendig ist, muss sie eine ziemlich allgemeine Form erhalten.

In dieser Untersuchung ging dem Beschluss über die Korrektur folgende Überlegung voraus. Ältere Produktionstabellen zeigen (vgl. SCHWAPPACH, 1923), dass das Massenzuwachsprozent, berechnet für die Perioden zwischen zwei Durchforstungen, von der Bonität ziemlich unabhängig ist. Diese Stabilität beruht im Wesentlichen auf bestimmten Voraussetzungen für den Tabellenaufbau, welche heute noch Geltung haben. Während der Entwicklung gehört ein Tabellenbestand immer derselben Bonität an und wird nach einem mehr oder weniger geregelten Programm behandelt. Der Zustand eines Bestandes zu Beginn einer Durchforstungsperiode ist daher eine Folge der Faktoren Bonität und Durchforstungsprogramm, welche einen entscheidenden Einfluss auf den Zuwachs während der Periode haben. Auf guten Bonitäten wird der Zuwachs und der Holzvorrat gross sein und auf schlechten Bonitäten klein, aber das Verhältnis zwischen diesen, ausgedrückt

durch das Zuwachsprozent, erwies sich in der Hauptsache als eine Funktion des Alters.

Eine Klimaverbesserung, welche plötzlich die Bonität erhöht, erfordert daher für Berechnungen auf längere Sicht keine Korrektur von R . Ein bestimmter Standort wird durch die Änderung einer höheren Bonität zugeführt, aber die Produktionstabelle wird nicht beeinflusst. Anders wird das Verhältnis, wenn die Änderung einen bereits bestehenden Bestand betrifft. Der frühere Bestand bleibt dann als Resultat der früheren Bonität bestehen, aber der Zuwachs wird überwiegend durch die neue Bonität beeinflusst. Das Zuwachsprozent steigt, und R muss während einer Übergangszeit korrigiert werden. Langsam entsteht wieder ein Ausgleich zwischen Zuwachs und Vorrat, wodurch die unkorrigierte Produktionstabelle die Gültigkeit zurückerhält.

Auf ähnliche Weise wirken andere Veränderungen, welche für den Zuwachs Bedeutung haben. Ein starkes Zurückbleiben kann seine Ursachen in ungünstigen Bodenverhältnissen haben (z. B. Fichtenpflanzung auf Heidekrautboden). Überschirmung durch andere Holzarten (z. B. wenn Fichte unter Birke aufkommt) sowie extreme Kalamitäten. Wenn das Hindernis wegfällt, trägt der Bestand in der Regel noch dessen Merkmale, während der Zuwachs normal wird oder, in bestimmten Fällen, übernormal. Das Zuwachsprozent steigt und R muss während einer Übergangszeit korrigiert werden.

Mit Rücksicht auf die oben angeführten Gesichtspunkte wurde die Notwendigkeit der Korrektur in der Produktionsuntersuchung beurteilt. Dabei wurde vorausgesetzt, dass die Resultate der Regressionsanalyse für die Zeit, welche die Untersuchung umfasste, also für Kiefer bis 1939 und für Fichte 1940 innerhalb der Grenzen des Materials Geltung haben sollten. Die Korrektur bezog sich auf die wahrscheinliche Anwendungszeit, welche auf ein paar Jahrzehnte veranschlagt wurde. Man beachte, dass es sich hier um eine Vorbeurteilung handelt, welche auf unsichere Indizien gegründet werden musste. Die Frage, wieweit die dadurch veranlassten Korrekturen berechtigt sind, muss auf die endgültige Beurteilung der Tabellen nach deren Fertigstellung verschoben werden. Hierauf kommen wir in Kap. 29 und 37 zurück.

Die vorläufige Beurteilung fiel folgendermassen aus.

Kiefer, Nordschweden, nicht gepflanzt. Unter nicht gepflanzt wird in dieser Gruppe nur Wald verstanden, welcher aus Selbstbesamung hervorgegangen ist. Das Material besteht ganz aus Beständen, welche nach Bränden entstanden. Die Bestände sind in der Regel dicht und gehören oft jenem Typ an, welcher als »übergeschlossen« bezeichnet wird. Da Versuchsflächen in allen Altersstufen angelegt wurden, erfolgte die erste Durchforstung durchschnittlich sehr spät.

Die Produktionstabellen wurden auf die Altersstufen beschränkt, für welche praktisches Interesse vorlag, und daher können Vergleiche nur für jüngere Versuchsflächen erfolgen. Diese waren in der Jugend meist stark gehemmt, weshalb die letzte Entwicklung einen stärkeren Zuwachs auf den Flächen aufweisen dürfte als die Tabellenbestände. Da wir an die wirkliche Entwicklung anknüpfen wollen, welche in Zukunft erwartet werden kann, ist eine Korrektur begründet. Vom eben besprochenem Standpunkt aus wäre es am nächstliegenden gewesen, die Höhenentwicklung zu korrigieren, aber bei der Durchführung der Arbeit wurde den allgemeinen Überlegungen gefolgt, welche zu einer Erhöhung von R führten.

Nach ÅNGSTRÖM (1939) liegt das Jahresmittel für die Temperatur in Stockholm derzeit um $0,5^\circ$ höher als zu Beginn des 19. Jahrhunderts. Nach Norden wird der

Unterschied noch grösser, nach Süden geringer. Das Problem des Einflusses der Temperaturänderung auf den forstlichen Zuwachs wurde noch nicht genügend untersucht. Man kann aber doch annehmen, dass eine Verbesserung des Zuwachses erfolgte und im Grossen und Ganzen weitergeht, zumindest in Nordschweden, was wiederum für eine Erhöhung von R spricht.

Zu der Zeit, als der grösste Teil der Versuchsflächen angelegt wurde, war in Nordschweden die Durchforstung eine äusserst selten angewandte Art der Holznutzung. In jungen Beständen und solchen mittleren Alters war die Durchforstung der Versuchsflächen der einzige Eingriff für weite umliegende Gebiete. Das Durchforstungsholz konnte nicht abgesetzt werden und blieb nicht selten liegen. All dies ergab Voraussetzungen für den Angriff von Insekten, welche den beobachteten Zuwachs herabgesetzt haben können. Selbst sah ich die Versuchsflächen erst gegen Ende der Zwanziger Jahre. Mein Eindruck war, was ich auch oft aussprach, dass der Zustand vieler Flächen schlecht war. Nach einigen Jahren wurde dies indessen besser und das Bild wurde normal. Diese Reflexionen und Beobachtungen haben mich davon überzeugt, dass der Zuwachs während der Beobachtungszeit herabgesetzt war. In einer darauf folgenden Übergangszeit dürfte es notwendig sein, R durch eine Korrektur zu erhöhen.

Kiefer, Südschweden, nicht gepflanzt. Die Gruppe besteht aus Beständen, welche durch Selbstbesamung, Breitsaat und Flächensaat hervorgegangen sind. Die Hindernisse, welche für Nordschweden diskutiert wurden, kommen auch hier vor, wenn auch in kleinerem Umfang. In einer Hinsicht besteht aber für diese Gruppe eine grössere Korrekturnotwendigkeit als für Nordschweden. Ein Anteil von Fichte auf den Kiefernflächen ist häufiger und hat innerhalb der möglichen Grenzen grösseren Umfang. Solche eingesprengte Fichten wurden in der Untersuchung überall vernachlässigt. Für den so angegebenen reinen Kiefernbestand wurden die Voraussetzungen des Zuwachses korrekt angegeben, aber der beobachtete Zuwachs war etwas geringer, als er ohne das Vorhandensein der Fichten gewesen wäre. Die Fichten verschwanden sobald als möglich bei den Durchforstungen; indessen bewirkten sie solange sie standen eine gewisse Zuwachshemmung. Die angegebenen Gesichtspunkte dürften eine Erhöhung des berechneten Zuwachses motivieren.

Fichte, Südschweden, gepflanzt. Diese Gruppe besitzt keine wirklich über-alten Versuchsflächen. Die untersuchten Bestände waren gewöhnlich in sehr dichten Verbänden aufgewachsen, und die erste Durchforstung erfolgte nach der heutigen Auffassung viel zu spät. Als Folge davon dürften sie dazu neigen, kurz vor dem Abtriebsalter besser zu wachsen als andere Bestände der entspr. Bonität.

Die Gruppe ist durch hohen und bemerkenswert nachhaltigen Höhen- und Massenzuwachs ausgezeichnet. Dazu können die früheren Hemmungen beigetragen haben. Es ist möglich, dass diese Tatsache teilweise auf einer Klimaänderung beruht, deren Einflüsse noch nicht untersucht wurden. Gleichwohl dürfte es wahrscheinlicher sein, dass diese Zuwachsvergrösserungen durch vorübergehende Bodenprozesse hervorgerufen wurden, welche damit zusammenhängen, dass die untersuchten Bestände die erste Fichtengeneration auf diesem Boden darstellen.

In dieser Situation scheint eine Erhöhung des Zuwachses berechtigt, jedoch nicht bis zum Niveau der letzten — nach der Einsammlung des Materials gemachten — Messungen. Derzeit soll nur ein Schritt in diese Richtung angestrebt werden; es ist möglich, dass die Erhöhung später nach einer besseren Klärung der Situation fortgesetzt werden soll.

Zusammenfassung. Wir haben in allen Gruppen Gründe für eine vorübergehende Erhöhung des berechneten Zuwachses gehabt. In bestimmten Fällen haben diese Gründe eine Vergrößerung des Höhenzuwachses mit indirektem Einfluss auf die Masse verursacht; in anderen Fällen unterstützt die Überlegung eine direkte Erhöhung des Massenzuwachses, welche annähernd durch eine Erhöhung des Zuwachses des mittl. Durchmessers erfolgen kann.

Da es sich hier nur um eine summarische Korrektur handelt, erhält diese am besten überall dieselbe Form. Die Gründe für eine Korrektur sind am stärksten für Fichte, Südschweden, gepflanzt und am schwächsten für Kiefer, Südschweden, nicht gepflanzt. Doch dürfte auch in dieser Hinsicht in den verschiedenen Gruppen derselben Linie zu folgen sein.

Bei der Beurteilung der Korrekturform kommen zwei Alternativen am ehesten in Frage: proportionale Erhöhung von R oder p . Man nehme versuchsweise an

$$I \quad R' = 1,0 fR, \text{ daraus}$$

$$p' = fR + p \dots\dots\dots (20.9.3)$$

$$II \quad p'' = Fp \dots\dots\dots (20.9.4)$$

Wenn die Koeffizienten f und F so zugeschnitten sind, dass p' und p'' dieselben Mittelwerte erhalten, wird bei zunehmendem Alter p'' sicherlich stärker sinken als p' . Da das Bedürfnis einer Erhöhung von R , welches aus der Diskussion hervorgeht, hauptsächlich für die spätere Entwicklung gilt, ist dies ein Grund für den Vorzug von p' .

Bezüglich der Korrekturgrösse wird daran erinnert, dass nicht die ganze Änderung im Resultat zum Vorschein kommt. In der Zuwachsfunktion ist nämlich der Mittendurchmesser als Variable enthalten. Das Zuwachsprozent wird verringert, wenn M grösser wird, und dadurch wird die eingeleitete Vergrößerung abgebremst.

Die Formel 20.9.3 gibt eine Vorstellung von der oberen Grenze der Korrektur. Wenn für eine fünfjährige Periode $p = 5$ ist, wird $R = 1,05$. Für $f = 1$ ist dann $p' = 6,05$. Schon das ist eine kräftige Korrektur. Wenn stattdessen $f = 2$ ist, wird $fR = 2,10$ und $p' = 7,10$. Gegenüber einer Korrektur von dieser Grösse wird man misstrauisch.

Aus obigen Gründen wurde bei der vorläufigen Beurteilung der Wert $f = 1$ gewählt und der Faktor R überall durch den Faktor

$$R' = 1,01 R \dots\dots\dots (20.9.5)$$

ersetzt.

Kap. 21. Die Entwicklung des Durchmessers

21.1. Einleitung

Die Bestandesentwicklung wird in erster Linie durch die Stammzahlentwicklung charakterisiert. Man beginnt mit der Stammzahl des Ausgangsbestandes und verteilt diese auf Ausgangsklassen (siehe 4.3 und 17.4). Jede solche φ -Klasse wird für das restliche Bestehen des Bestandes beibehalten. Ein Hinaus- oder Hineinwachsen über die Klassengrenzen findet nicht statt.

Es ist klar, dass wir die ganze Bestandesentwicklung beherrschen, wenn wir der Entwicklung in jeder Klasse zu folgen vermögen, soweit diese aus dem wechselweisen Einfluss von Durchforstung und Zuwachs resultiert. Zu diesem Zweck müssen wir für jede Klasse und jede Durchforstung teils die Stammzahl und teils die verschiedenen Klassenmittelstämme berechnen, welche dem aktuellen Problem entsprechen. Die Formulierung zielt darauf ab, dass die Klassenmittelstämme für Durchmesser, Kreisfläche, Masse und Wert nicht zusammenfallen. Die Untersuchung dieses Problems ist jedoch eine zeitraubende Angelegenheit, welche in diesem Zusammenhang nicht behandelt werden konnte. Kreisfläche, Masse und Wert wurden daher nur provisorisch für die Durchmessermittelstämme der Klassen berechnet. Die so erhaltenen Resultate können später mit Rücksicht auf die besonderen Problemstellungen korrigiert werden. Das Problem der Durchmesserentwicklung eines Bestandes wird dadurch auf eine Berechnung der Durchmessermittelstämme der φ -Klassen jeder Durchforstung und des Endabtriebes beschränkt.

21.2. Der Zusammenhang zwischen dem späteren Durchmesser D und dem Ausgangsdurchmesser d

Eine unter 11.3 zitierte Untersuchung ergab folgenden Zusammenhang:

$$D = a + bd \dots \dots \dots (21.2.1)$$

Für den Grossteil der Versuchsflächen war das Verhältnis zwischen der geraden Regressionslinie und dem Material auffallend gut. Diese Beobachtung wurde den Durchmesserberechnungen der Produktionsuntersuchung zu Grunde gelegt. Es wurde vorausgesetzt, dass die Regressionslinie gerade sein sollte und die Arbeit ging darauf hinaus, die Konstanten in jedem einzelnen Fall zu bestimmen.

Nach 11.6.2 und 11.6.3 ist

$$a = (R - b) [Ms_2] \dots \dots \dots (21.2.2)$$

und

$$b = \varrho \cdot \frac{\sigma_{s1}}{[\sigma s_2]} = \varrho \cdot r \dots \dots \dots (21.2.3)$$

Der Korrelationskoeffizient ϱ unter 21.2.3 muss beachtet werden, solange es sich um eine Sammlung von Beobachtungen handelt, wie z. B. 11.6.1. In der Produktionsuntersuchung haben wir indessen angenommen, dass sich die Durchmesser laut 11.3.1 entwickelten. Alle gesuchte Punkte liegen dann auf der Regressionslinie, woraus teils

$$\varrho = 1 \dots \dots \dots (21.2.4)$$

folgt und ausserdem die Tatsache, dass die Form der Verteilung durch den Zuwachs nicht verändert wird, daher

$$r = \frac{\sigma_{s1}}{[\sigma s_2]} = \frac{\sigma_1' \sigma n_1}{[\sigma_2' \sigma n_2]} = \frac{\sigma n_1}{[\sigma n_2]} \dots \dots \dots (21.2.5)$$

Daraus erhält man in unserem Fall

$$b = r = \frac{\sigma n_1}{[\sigma n_2]} \dots \dots \dots (21.2.6)$$

Im Folgenden werden die Bezeichnungen a und b für Ausdrücke reserviert, welche sich auf die Änderung während einer Zuwachsperiode ohne dazwischenlie-

gende Durchforstung beziehen. Wo es sich um mehrere Zuwachsperioden handelt, wie unter 21.2.1, werden die Bezeichnungen A und B verwendet.

Für die Produktionstabellen konnte die Entwicklung Schritt für Schritt berechnet werden, also mit a und b . Indessen habe ich vorgezogen, bei jeder Durchforstung auf die Ausgangsdurchmesser zurückzugehen, weshalb die Konstanten mit A und B bezeichnet wurden.

Der Zusammenhang zwischen einfachen und zusammengesetzten Perioden geht aus 21.2.7 und 21.2.8 hervor, wo der Ausgangsdurchmesser mit D_0 bezeichnet wurde.

21.3. Die Regressionskoeffizienten b und B

In einem früheren Stadium dieser Arbeit wollte ich r auf dieselbe Weise wie R berechnen, also durch eine unabhängige Regressionsfunktion, welche direkt aus dem Material abgeleitet wurde (vgl. 11.6). Der Versuch fiel nicht sehr glücklich aus. Es erwies sich als schwierig oder vielleicht unmöglich, diese beiden Faktoren auf eine zufriedenstellende Weise in Übereinstimmung zu bringen. Deshalb ging ich dazu über, R nur durch Regression zu bestimmen. r erhielt man dann durch Untersuchungen der Beziehungen dieses Faktors zu R .

In der Tabelle 11.6.1 wird ein schönes Beispiel der Verbindung zwischen $\frac{r}{R}$ und den auf den Versuchsflächen angewendeten Niederdurchforstungsgraden gezeigt. Man erhält dadurch den Eindruck, dass weitere Forschungen in dieser Richtung interessante Resultate ergeben müssten. Indessen glaube ich nicht, dass das Problem bereits für eine Detailanwendung reif ist. Teils ist es unklar, inwieweit die erhaltenen Quotienten mit dem Niederdurchforstungsmoment oder mit dem Moment gleichmässiger Durchforstung zusammenhängen und ausserdem treten auch hier Schwierigkeiten auf, welche auf der kurzen Beobachtungszeit beruhen.

Deshalb habe ich mich zu der provisorischen Lösung entschlossen, $\frac{r}{R}$ mit einem angenommenen Wert konstant zu halten. Für die Wahl dieses Wertes geben die obigen Formeln eine gewisse Anleitung. Hier wird daran erinnert, dass sich die Produktionstabellen auf wahrscheinliche Zustände, ausgedrückt durch Punkte auf der Regressionslinie, beziehen, weshalb in diesem Fall $b = r$ ist (vgl. 21.2.8).

Wenn man unter 21.2.1 die Konstante $a = 0$ setzt, erhalten alle Durchmesser dasselbe Zuwachsprozent. Das stimmt aber nicht mit den praktischen Erfahrungen überein. Man sieht gewöhnlich, dass die kleinsten Stämme ein grösseres Zuwachsprozent haben. In solchen Fällen muss a positiv sein.

Es soll indessen nicht bestritten werden, dass man bei regelrechtem Ausgleichen ein negatives a erhalten kann. Gewöhnlich betrachtet man ein solches Resultat als Zeichen dafür, dass die Regression gekrümmt sein sollte. Jedenfalls können grosse negative Wert von a nicht akzeptiert werden, da dies leicht zu unwahrscheinlichen Konsequenzen führt.

Bei unserer provisorischen Beurteilung von b erheben wir deshalb die Forderung, dass a positiv sein soll. Diese Bedingung kann laut 21.2.2 als

$$b < R \dots\dots\dots (21.3.1)$$

geschrieben werden.

In der Tabelle 11.6.1 ist die Mehrzahl der nachgewiesenen $\frac{r}{R} > 1$. Aber nach

11.6.3 ist $\frac{b}{R} < \frac{r}{R}$, weshalb die Annahme unter 21.3.1 nicht ein Widerspruch zur Tabelle zu sein braucht. Bei der augenblicklichen Lage des Problems sind aber die relativ hohen Tabellenquotienten ein Grund dafür, $\frac{b}{R}$ nicht allzusehr unter 1 herabzusetzen.

Laut 20.9.3 wurde aus den angegebenen Gründen R gegen $R' = 1.01 R$ ausgetauscht. Nachdem die Korrektur auch hier erfolgte, bezog sich die Beurteilung auf den Quotienten $\frac{b}{R'}$. Nach einigen alternativen Versuchen wurde die Beziehung

$$b = 0,96 R' \dots\dots\dots (21.3.2)$$

gewählt. Nach der Bestimmung von b für jede Zuwachsperiode wird das fortlaufende Produkt $p(b)$ berechnet, welches laut 21.2.9 der Regressionskoeffizient für die zusammengesetzte Entwicklung vom Ausgangsbestand bis zum entsprechenden Zeitpunkt ist. $P(b)$ wird in solchen Zusammenhängen mit B bezeichnet.

21.4. Die Beschneidungsgrenze α

Diese Grenze wird unter 9.3 definiert und unter 12.4 diskutiert. Solange die Verteilung beschnitten ist, stellt die Beschneidungsgrenze α gleichzeitig die untere Grenze der Verteilung dar. In diesem Entwicklungsstadium wird die Grenze durch Durchforstungen nicht verändert. Nachdem die Verteilung normal geworden ist, wird dagegen die untere Grenze bei Niederdurchforstung nach rechts verschoben. Indessen wird für α weiterhin — aus Gründen, welche unter 12.4 und 12.5 angegeben sind — die frühere Beschneidungsgrenze beibehalten. Unter dieser Voraussetzung gilt allgemein, dass α durch Durchforstungen nicht verändert wird. In Übereinstimmung damit wird α nur durch Zuwachs entwickelt. Wir erhalten für eine Periode

$$\alpha = a + b [\alpha] \dots\dots\dots (21.4.1)$$

Laut 21.2.2 und 21.3.2 ist

$$a = (R' - b) [Ms_2] = 0,04 R' [Ms_2] \dots\dots\dots (21.4.2)$$

Daraus folgt

$$\begin{aligned} \alpha &= R' \{0,04 [Ms_2] + 0,96 [\alpha]\} \\ &= R' C \dots\dots\dots (21.4.3) \end{aligned}$$

Setzt man

$$\begin{aligned} q &= \frac{b}{R'}, \text{ so folgt allgemein} \\ \alpha &= R' \{(1-q) [Ms_2] + q[\alpha]\} \dots\dots\dots (21.4.4) \end{aligned}$$

21.5. Zusammengesetzte Entwicklung

Laut 21.2.8 ist bei zusammengesetzter Entwicklung

$$D_4 = A_4 + B_4 D_0 \dots\dots\dots (21.5.1)$$

In diesem Ausdruck kann A_4 als eine Summe nach 21.2 aufgebaut werden. Man kommt aber leichter zum Ziel indem eine Gleichung verwendet wird, welche einen Spezialfall von 21.5.1 darstellt, nämlich

$$\alpha_4 = A_4 + B_4 \alpha_0 \quad \dots \dots \dots (21.5.2)$$

und daraus

$$A_4 = \alpha_4 - B_4 \alpha_0 \quad \dots \dots \dots (21.5.3)$$

21.6. Die Berechnung von A und B

Die Berechnungen, welche in diesem Kapitel diskutiert wurden, werden in einer Tafel nachgewiesen, welche alle erforderlichen Konstanten A und B ergeben soll. In dieser ist laut 21.2.7

$$B = P(b)$$

und laut 21.5.3

$$A = \alpha - B\alpha_0$$

Beim Ausarbeiten der Tafel ist es wichtig, dass die Länge des Durchforstungsintervalles beachtet wird. Die Definitionen der verschiedenen Momente der Durchforstungsprogramme (z. B. L 5 G 10) beziehen sich immer auf fünfjährige Intervalle. Wenn das Intervall aber zehn Jahre sein soll, wird die erste Durchforstung z. B. so durchgeführt, dass $P(u')$ und $P(\psi')$ jene Werte erhalten, welche nach der Grundtabelle erst bei der zweiten Durchforstung erreicht werden sollen (vgl. 16.3 und 18.2).

Ein Beispiel für die angegebene Berechnung gibt die Methodenbeilage M 27 welche sich auf Kiefer, Nordschweden, nicht gepflanzt, $h_{100} = 20$, Durchforstungsprogramm L 5 G 10, 10 bezieht.

21.7. Die Durchmesser tafeln

Mit Hilfe der Werte von A und B , welche nach 21.6 erhalten wurden, können wir eine Durchmesser tafel erstellen, in der die mittl. Durchmesser der φ -Klassen für jede Durchforstung angegeben sind. Eine solche Tafel wird in der Beilage M 28 gezeigt. Sie bezieht sich auf dieselben Typfälle, welche der unter 21.6 zitierten Beilage M 27 zu Grunde liegen.

Über der Tabelle stehen bestimmte Bedingungen, welche die Durchmesser berechnung beeinflussen, nämlich $\varphi_0 \sigma n_0$ und α_0 . Von diesen Werten wurde $L_0 = \alpha_0 + \varphi_0 \sigma n_0$ berechnet. Die Grundlinie der Verteilung im Ausgangsstadium ist $L_0 - \alpha_0 = \varphi_0 \sigma n_0$. Bei der Aufteilung in zwölf Klassen wird der Umfang einer Klasse = $\frac{\varphi_0 \sigma n_0}{12}$. Die erste Klassenmitte liegt eine halbe Klasse rechts von α_0 . Danach

folgen die übrigen Klassenmitten mit je einem Klassenabstand. Schliesslich wird zwecks Kontrolle der letzten Klassenmitte eine halbe Klasse hinzugefügt und die Summe wird = L_0 .

Auf diese Weise erhält man nach Berechnung der ersten Klassenmitte alle übrigen durch die Maschine. Die erhaltenen mittl. Durchmesser, welche sich alle auf das Ausgangsstadium beziehen, werden hinter d_0 im Tabellenkopf in Zentimetern eingetragen.

Die eigentliche Tabelle besteht aus zwei Zeilen für jedes Durchforstungsalter. In der ersten werden die Ausgangsdurchmesser mit der Konstanten B laut 21.6

multipliziert und in der zweiten Zeile wird das Produkt in Übereinstimmung mit demselben Abschnitt um die Konstante A vermehrt. Die so berechneten mittl. Durchmesser beziehen sich auf den Zustand nach der Durchforstung.

Wir haben früher genau zwischen den mittl. Durchmessern vor und nach der Durchforstung unterschieden. Ein solcher Unterschied wurde innerhalb der φ -Klassen nicht gemacht. Voraussetzung dazu ist, dass die Stämme, welche einer φ -Klasse entnommen werden, ungefähr gleich stark sind wie die stehenbleibenden. Dieses Problem wird eingehender in Kap. 24 diskutiert.

Kap. 22. Die Höhenentwicklung

22.1. Einleitung

Nach der Bestimmung der mittl. Durchmesser aller φ -Klassen für alle Durchforstungen ist unsere nächste Aufgabe die Berechnung der diesen Durchmessern entsprechenden Höhen. Dabei wird die von NÄSLUND bei der Primärbearbeitung dieses Kiefernmaterials ausgearbeitete Höhenkurve als Grundlage angenommen (NÄSLUND, 1936). Die Funktion hat folgendes Aussehen:

$$y - 1,3 = \frac{x^2}{(a + bx)^2} \dots\dots\dots (22.1.1)$$

oder als

$$\frac{1}{\sqrt{y - 1,3}} = \frac{a}{x} + b \dots\dots\dots (22.1.2)$$

geschrieben.

Die Konstanten a und b wurden von NÄSLUND für jedes Element durch Regressionsanalyse berechnet (vgl. NÄSLUND, 1936, Tab. III).

22.2. Die Konstruktion der Höhenkurven

Beim Aufbau einer Produktionstabelle muss für jede Durchforstung eine Höhenkurve konstruiert werden. Dabei ist ein Punkt der Kurve bekannt, nämlich die obere Höhe $h_{3\sigma}$, also die Höhe des Durchmessers, welcher die obere Grenze L der Stammverteilung darstellt. Im Übrigen muss die Kurve mit Hilfe jener Erfahrungen berechnet werden, welche auf andere Weise erworben wurden.

Zu diesem Zweck wird die Bezeichnung für die obere Höhe in die Formel 22.1.1 eingesetzt, nämlich $h_{3\sigma} = y$ und $L = x$. Nachdem es sich erwiesen hat, dass der Exponent 2 gewöhnlich zur Kiefer gehört, wird er durch die Bezeichnung n ersetzt. Die gesuchten Konstanten A und B werden laut 22.2.1 bis 22.2.4 berechnet.

22.3. Eine Zwischenbemerkung

Gemäss der früher angeführten Gründe hat die Grösse L eine entscheidende Bedeutung bei der Berechnung der oberen Höhe. Durch Meinungsänderungen, welchen beim Vordringen auf neue Gebiete kaum entgangen werden kann, musste indessen die Definition von L im Laufe der Arbeit geändert werden, wodurch die Höhenberechnung beeinflusst wurde. Es gab drei Höhenbezeichnungen, welche mit unseren jetzigen Bezeichnungen folgendermassen formuliert werden können:

I. $L = Ms + 3\sigma s$. Dieser Ausdruck wurde von NÄSLUND (1936) verwendet.

Die Formulierung, welche ursprünglich von mir vorgeschlagen wurde, ist für asymmetrische Verteilungen missweisend. Während dieser Zeit (zwanziger Jahre) hatte man zwar Interesse für diese Verteilungsarten, doch gab es keine für uns geeignete Art für die Bestimmung der oberen Grenze. Die Definition wurde als ein Schritt in die richtige Richtung betrachtet.

II. $L = Mn + 3\sigma n$. Das ist die Lösung des φ -Systemes (vgl. Kap. 17). Der Ausdruck ist richtig, aber zur Verringerung der Arbeit wurde angenommen, dass die untere Grenze der Ausgangsverteilung im Nullpunkt der Durchmesserskala liegt. Als Folge davon wurde $L = \varphi\sigma n$.

III. Dieselbe grundlegende Definition wie unter II aber ohne Festlegung der unteren Grenze der Ausgangsverteilung. Dadurch wurde $L = \alpha + \varphi\sigma n$. Diese Formulierung wurde in den Produktionstabellen verwendet. Davon wurde insofern eine Ausnahme gemacht, als bestimmte Regressionsfunktionen, welche laut II ausgearbeitet wurden, zwecks Zeitgewinn auch unter III zur Anwendung kamen. Wir kommen darauf unter 22.4 zurück.

In allen drei Fällen wurde die obere Grenze der Stammverteilung durch einen mittleren Durchmesser plus der dreifachen entsprechenden mittl. Abweichung bestimmt. Deshalb erhielt der Grenzdurchmesser die Bezeichnung $d_{3\sigma}$ und die obere Höhe des Bestandes, also die Höhe von $d_{3\sigma}$, die Bezeichnung $h_{3\sigma}$. Später wurde $d_{3\sigma}$ durch L ersetzt.

22.4. Die Bestimmung von A' und B

Laut 22.2 können A' und B bestimmt werden, wenn K bekannt ist. Deshalb wurde K im Laufe einer früheren Bearbeitung durch einfache Regressionen berechnet, wobei $b(h_{3\sigma} - 1,3) \frac{1}{n}$ eine abhängige und $h_{3\sigma}$ eine unabhängige Variable war. Die Konstanten b wurden aus der unter 22.1 zitierten Tabelle III von NÄSLUND entnommen, während sie für Fichte in Südschweden direkt aus dem Material berechnet wurden. Weiters war $h_{3\sigma}$ die Höhe von L laut Definition II (siehe 22.3) und n wurde nach verschiedenen Versuchen für Kiefer mit 2 und für Fichte mit 3 angenommen. Durch diese Funktionen erhielt man in jeder Bearbeitungsgruppe eine Tabelle, in der K für verschiedene Werte von $h_{3\sigma}$ angegeben war. Von K wurden laut 22.2 die entsprechenden Werte von A' und B abgeleitet.

Da die Bearbeitung die Bestimmung von L laut Definition II später durch die Definition III, also mit α , ersetzte, sollten die genannten Regressionen und Tabellen eigentlich umgearbeitet werden. Indessen war die Zeit knapp und der Unterschied in den Endresultaten wurde als gering beurteilt. Die Tabelle wurde bis auf Weiteres beibehalten und ist unter der Bezeichnung H 10 zu finden.

Nachdem für Fichte, Nordschweden, verwendbares Material nicht vorhanden ist, ist diese Gruppe in der Tabelle H 10 nicht vertreten. Im Notfall dürften die Konstanten für Kiefer, Nordschweden, verwendet werden können.

22.5. Die Berechnung der Höhe

Wir gehen nun auf die Höhen h der φ -Klassen bei verschiedenen Eingriffen über. Angenommen, das Ausgangsalter ist 38 Jahre. Die obere Höhe $h_{3\sigma}$ bei diesem Eingriff erhält man durch Interpolation in der Tabelle H 3a. Die diesem $h_{3\sigma}$ entsprechenden A' und B werden aus der Tabelle H 10 interpoliert. Der Durchmesser der oberen Grenze L und die mittl. Durchmesser d gehen aus der Durchmessertafel hervor. Wir erhalten in jeder Klasse

$$\frac{1}{(h-1,3)^{\frac{1}{n}}} = \frac{A'L}{d} + B \dots\dots\dots (22.5.1)$$

und daraus h .

In dieser Weise ist fortzusetzen.

Kap. 23. Die Entwicklung der Masse

23.1. Einleitung

Die Kap. 21 und 22 resultieren in Tafeln, welche die Bestandesentwicklung in einer Produktionstabelle von verschiedenen Gesichtspunkten aus beschreiben. Im Kap. 21 werden die mittl. Durchmesser aller φ -Klassen für jeden Eingriff gesucht und im Kap. 22 werden die diesen Durchmessern entsprechenden Höhen berechnet. Damit wurde die Möglichkeit gewonnen, die Masse der Mittelstämme nach den kleineren Funktionen NÄSLUNDS und den dazugehörigen Tabellen (NÄSLUND, 1934, 1940 und 1947) zu bestimmen. In den zitierten Arbeiten hat NÄSLUND auch Massenfunktionen errechnet, welche ohne Durchmesser und Höhe auch die Rindenprozentage in Brusthöhe und das Kronenverhältnis enthalten. Für diese Funktionen wurden Hilfstabellen von NÄSLUND und HAGBERG (1950 und 1952) veröffentlicht. Es wäre sicher vorteilhaft, wenn die grösseren Funktionen bei der Arbeit für die Produktionstabellen verwendet werden könnten. Doch müssten dann auch — ausser dem Durchmesser und der Höhe — die Rindenprozentage in Brusthöhe und das Kronenverhältnis für die Mittelstämme aller φ -Klassen und Eingriffe berechnet werden. Dabei stösst man auf noch ungelöste Probleme. Indessen wurde in der vorliegenden Untersuchung der einfachere Weg gewählt.

23.2. Berechnung der Masse mit oder ohne Rinde?

Da in meinem Material alle Durchmesser mit Rinde gerechnet wurden, wäre es naheliegend gewesen, auch die Massen mit Rinde anzugeben. Dagegen sprach die Tatsache, dass die Untersuchung von Anfang an auf die Berechnung des Wertes abzielte und dafür war die Masse ohne Rinde notwendig. Es blieb nur zu entscheiden, ob die Masse mit Rinde zusätzlich berechnet werden sollte.

Vom Standpunkt der Produktionsforschung aus gab es kaum Gründe dafür. Das Ziel dieser Arbeiten waren Vergleiche von Typfällen, deren Behandlung verschieden war, während die übrigen Voraussetzungen gleich waren. Es war unwahrscheinlich, dass eine Änderung des gemeinsamen Rindentypes eines Vergleichspaars eine andere Rangordnung der Behandlungsarten zur Folge haben sollte.

Dagegen gab es ein konventionelles Motiv für die Angabe der Masse mit Rinde. Die Praxis war diese Zahlen gewohnt und wollte sie behalten. Deshalb hätte ich gerne die Tabellen mit den Massen mit Rinde komplettiert, doch der Mangel an Zeit erlaubte dies nicht. Als Kompromiss wurde der Rindenquotient aus der Masse mit Rinde und der Masse ohne Rinde in der Methodenbeilage M 35 angegeben.

23.3. Die Berechnung der Masse ohne Rinde

Zuerst wurden bei dieser Arbeit Funktionen für den Zusammenhang zwischen der doppelten Rindendicke und dem Durchmesser mit Rinde berechnet. Dabei

verwendeten wir dasselbe Material und dieselbe Einteilung in vier Gruppen, welche NÄSLUNDS Tabellen zu Grunde liegt. Die Funktionen finden sich in der Beilage »Funktionen« unter den Nummern F 1.5, F 3.5, F 5.5 und F 8.5.

Danach wurde eine Hilfstabelle für jede der vier Gruppen aufgestellt (Kiefer in Nord- und Südschweden, Fichte in Nord- und Südschweden). Mit Hilfe der Rindenfunktionen wurden alle angegebenen Durchmesser in Masse ohne Rinde umgewandelt. Diese Durchmesser wurden, ebenso wie die Höhe, in NÄSLUNDS Massenfunktionen ohne Rinde eingesetzt. Die so erhaltenen Massen wurden in den Hilfstabellen angegeben, welche also für die Kombination von Durchmesser und Höhe mit Rinde die Masse ohne Rinde enthielten. Diese Tabellen leisteten in der Produktionsuntersuchung dort, wo die Rindenfunktionen gegeben waren, gute Dienste. Bei anderen Arbeiten will man oft die Rindenfunktion variieren, was die Anwendung meiner Tabellen ausschliesst. Deshalb wurden sie hier nicht veröffentlicht.

Gleichgültig ob man NÄSLUNDS Tabellen oder meine Umformung derselben verwendet, kann folgendes von Interesse sein. Die Tabellenwerte sind in Zentimetern und Metern angegeben. Bei der Massenberechnung einer Produktionstabelle kommt zumindest eine Dezimalstelle beim Durchmesser und auch bei der Höhe vor. Das erfordert also doppelte Interpolation. Diese erfolgt bequem nach dem in der Beilage M 29 gezeigten Schema.

23.4. Die Berechnung des Formquotienten

Mit Formquotient ist hier das Verhältnis aus den Durchmessern bei 60 % und 20 % der Baumhöhe gemeint, also $\frac{d_{60}}{d_{20}} = F$ (vgl. EDGREN und NYLINDER, 1949—1950). Dieser Begriff wird von uns erst dann verwendet, wenn wir zur Ausformung und Bewertung der Stämme übergehen und gehört daher genau genommen nicht zu dieser Publikation. Indessen hängt die Berechnung des Formquotienten so eng mit der Massenberechnung zusammen, dass ein kurzer Überblick am Platze ist.

Die Berechnung des Formquotienten beruht auf denselben Durchmessern mit und ohne Rinde und denselben Höhen, welche für die Massentabellen verwendet werden. Statt NÄSLUNDS kleineren Funktionen für die Masse ohne Rinde wurden in diesem Fall seine entsprechenden Funktionen für die Formzahlen verwendet.

Mit Hilfe dieser Funktionen wurde eine Formquotiententabelle ausgearbeitet welche in derselben Art wie die Massentabelle aufgebaut ist. Wie diese, bezog sich auch die Formquotiententabelle auf die speziellen Rindenfunktionen der Produktionsuntersuchung, weshalb eine Veröffentlichung nicht motiviert erschien. Für Aufgaben, bei denen die Rindenfunktionen von meinen abweichen, sind EDGREN und NYLINDERS Tabellen am geeignetsten. Beide Methoden erfordern doppeltes Interpolieren, welches vorteilhaft laut M 29 erfolgt, am besten in Verbindung mit der Massenberechnung.

Kap. 24. Individuelle Auswahl

24.1. Einleitung

Bei der Niederdurchforstung werden Stämme entnommen, deren Durchmesser geringer ist als der mittl. Durchmesser des Bestandes. Folglich wird dieser durch

die Durchforstung erhöht, was etwas ungenau als unechter Zuwachs bezeichnet wird. Diese Stufen in der Entwicklung des mittl. Durchmessers machten auf Grund des φ -Systemes in der Untersuchung keinerlei Schwierigkeiten.

Auf dieselbe Weise wird der mittl. Durchmesser in jeder φ -Klasse durch die Durchforstung vergrößert. Auch diese Änderung kann nach dem φ -System berechnet werden, obwohl hierfür mehr Arbeit erforderlich ist. Diese Möglichkeit brauchte aber nicht in Anspruch genommen zu werden, da die Untersuchung auf den mittl. Durchmessern der φ -Klassen aufgebaut ist.

In diesen beiden Fällen wurde die Entnahme durch die Änderung der Stammfrequenz in den Durchmesserklassen charakterisiert. In diesem Kapitel wird aber etwas anderes bezweckt. Wir wollen die Einflüsse einer individuellen Auswahl von Stämmen mit demselben Durchmesser feststellen.

24.2. Die Einflüsse der Auswahl

Die Durchforstungsprogramme, welche in den Produktionstabellen geprüft werden, sind durch Anweisungen für die Verminderung der Stammzahl in den Durchmesserklassen definiert. Bei jeder Durchforstung und in jeder Durchmesserklasse, absolut oder relativ, wird ein nach diesen Regeln bestimmter Teil der Stammzahl entnommen. Dagegen sagt das Programm nichts über die Wahl der Stämme, welche entnommen werden sollen.

Mit Rücksicht auf die Sorgfalt, mit welcher die Forstpflge die individuelle Auswahl behandelt, kann dieser Mangel bedenklich erscheinen. Wir wollen daher die Produktionstabellen mit den Versuchsflächen, denen sie zu Grunde liegen, etwas näher vergleichen. Bei Durchforstung der Versuchsflächen wurde angestrebt, die von allen Gesichtspunkten aus besten und am günstigsten stehenden Stämme stehen zu lassen. Diese Auswahl hat die entnommenen und die stehengebliebenen Bäume beeinflusst.

Bezüglich der abgetriebenen Stämme hat die Zuwachsfähigkeit und die Lage derselben keine Bedeutung. Soweit die Auswahl von diesen Faktoren bestimmt wurde, können sie bei der Berechnung des Durchforstungsholzes übergangen werden. Dagegen gibt es Stämme, welche wegen krummen Wuchses, Fäulnis und anderer Qualitätsfehler ausgeschieden werden. Solche Stämme haben ungefähr dieselbe Masse wie der Durchschnitt der Durchmesserklasse, deren Wert kann aber viel geringer sein. Die Vernachlässigung dieser Ausscheidungsgründe hat zur Folge, dass die Durchforstungswerte der Tabelle mehr oder weniger zu hoch werden. Es darf aber nicht vergessen werden, dass die Qualitätsfehler auf den Versuchsflächen ungewöhnlich gering sind. Für jene Bestandestypen, welche in den Produktionstabellen dargestellt werden, kann dieser Auswahlseffekt als unbedeutend betrachtet werden.

Dagegen hat die Auswahl zweifellos grossen Einfluss auf die weitere Entwicklung des Bestandes. Sie beeinflusst die Versuchsflächen und damit die Zuwachsfunktionen, welche von den Flächen abgeleitet werden. Auf diese Weise wird das Resultat der individuellen Prüfung auf die Produktionstabellen übertragen, welche daher eine Auswahl desselben Grades, wie die auf den Versuchsflächen angewendete, darstellen. An und für sich hat diese Auswahl ein sehr hohes Niveau, aber leider werden diese Einflüsse durch die kurze Beobachtungszeit beschränkt. Indessen dürften die Tabellen eine vollkommen normale individuelle Auswahl darstellen.

V. Homogene Bestände. Methodik

Kap. 25. Anlage der Untersuchung

52.1. Einleitung

Die gesamte hier vorliegende Untersuchung behandelt homogene Bestände. In den Kapiteln 9—24 haben wir Entwicklungsdetails solcher Bestände diskutiert. Wir gehen nun dazu über, jene Gesamtentwicklungen zu betrachten, welche durch das Zusammenwirken von Teilentwicklungen entstehen. Dabei werden die Kapitel 25—29 homogenen Bestände gewidmet.

Es liegt in der Natur der Sache, dass die Darlegung in den restlichen Kapiteln, also vom Kapitel 25 an, mehr von Diskussionen beherrscht ist, als in jenen Kapiteln, welche sich mit den Berechnungsmethoden beschäftigen. Ich kann mir vorstellen, dass es Leser gibt, welche sich für den Gedankengang interessieren, aber nicht für Details. Es ist zu erwarten, dass solche Leser kleinere oder grössere Teile der vorhergehenden Kapitel überspringen und mit dem zusammenhängenden Teil ab Kapitel 25 zu lesen beginnen. Mit Rücksicht darauf wurden verschiedene, in früheren Kapiteln angeführte Gesichtspunkte, von denen angenommen wurde, dass sie für die allgemeinen Betrachtungen Bedeutung hätten, in die folgende Darlegung eingeflochten.

25.2. Die Zielsetzung

Die forstliche Produktionsforschung zielt darauf hin, die Entwicklung und den Ertrag unter verschiedenen natürlichen Bedingungen und verschiedener Behandlung kennenzulernen. Da die Holzernte eines Bestandes teils aus Durchforstungen und teils aus dem Endabtrieb besteht, und da die Grösse des Endabtriebes und dessen Beschaffenheit von der Grösse und Art der Durchforstung abhängt, ist es notwendig, den ganzen Entwicklungsverlauf bis zum Endabtrieb zu betrachten. Die Entwicklungszeit, die somit überblickt werden muss, umfasst mehrere Dezennien und erreicht oft hundert Jahre.

Für die forstliche Produktionsforschung ist es von grossem Wert, Beobachtungen und Beschreibungen von zusammenhängenden Entwicklungsreihen zu besitzen, die am besten kurz vor dem Zeitpunkt zu dem gewöhnlich die erste Durchforstung gemacht wird beginnen und bis etwas über das gewöhnliche Abtriebsalter hinaus ausgedehnt werden. Auf Grund der langen Beobachtungszeit müssen solche Arbeiten permanenten Institutionen übertragen werden.

In unserem Land ist die Forstliche Versuchsanstalt u. a. für die Sammlung und Bearbeitung von Produktionsmaterial zuständig. In den Jahren 1902—1925 wurden von der Anstalt eine grosse Anzahl von Versuchsflächen angelegt, welche indessen — teilweise auf Grund anderer Zielrichtungen als das hier aufgestellte — auf alle Alterstufen verteilt wurden. Frühzeitig begonnene Durchforstungsreihen sind daher wenig vertreten. Jedoch nähern sich einige der zuerst angelegten Probenflächen in Südschweden dem Stadium, welches dem Begriff »ganzer Entwicklungsverlauf« entspricht. In Nordschweden dauert es noch mehrere Jahrzehnte bis wir soweit kommen. Die vorliegende Untersuchung war vollkommen auf die Arbeit mit

kurzen Entwicklungsfragmenten angewiesen. Aus verschiedenen Gründen, auf die wir später zurückkommen, dürfte diese Arbeitsweise auch in der Zukunft dominieren. Trotzdem hat die Vorstellung eines ganzen Entwicklungsverlaufes eine grundsätzliche Bedeutung für die Produktionsforschung. Wir laufen weniger Gefahr die kurzen Fragmente fehlzudeuten, wenn wir immer die gesamte Entwicklung vor Augen haben.

Indessen entspricht der Verlauf der tatsächlichen Entwicklungen nicht ganz dem, was wir suchen. Sie verzeichnen im Detail den Entwicklungsgang, welcher im verflossenen Zeitraum eine Folge der verschiedenen wirklichen und sich oft ändernden Voraussetzungen geworden ist. Die Ergebnisse der Produktionsforschung sind dagegen für die Anwendung in der Zukunft bestimmt und hinsichtlich der Zukunft können wir nur die wahrscheinliche Entwicklung eines Entwicklungstypus (Typfall) beurteilen. Unsere Beobachtungen in den Waldbeständen müssen deshalb zu Entwicklungstypen (Typfällen) verallgemeinert werden. Diese werden in den Ertragstafeln dargelegt.

25.3. Typfälle (Entwicklungstypen)

Ein echter Typfall ist auf Beobachtungen gegründet, welche sein Material darstellen. Die Definition eines Typfalles kann daher mit der Definition des Materiales beginnen.

Die vorliegenden Tabellen beruhen auf Versuchsflächen, welche in homogenen Beständen über das ganze Land angelegt wurden. Bei der Bearbeitung wurde das Material auf acht schematisch abgegrenzte Gruppen aufgeteilt, nämlich:

Gruppe	I	Kiefer	Nordschweden	nicht gepflanzt
»	II	»	»	gepflanzt
»	III	»	Südschweden	nicht gepflanzt
»	IV	»	»	gepflanzt
»	V	Fichte	Nordschweden	nicht gepflanzt
»	VI	»	»	gepflanzt
»	VII	»	Südschweden	nicht gepflanzt
»	VIII	»	»	gepflanzt

Es scheint, dass in diesen Gruppen alle homogenen Bestände von Kiefer und Fichte unseres Landes Platz finden. Jedoch war die Frequenz sehr verschieden. Nur in den Gruppen I, III und VIII reichte das Beobachtungsmaterial zu selbständiger Bearbeitung aus, während für die Bearbeitung anderer Gruppen andere Wege beschritten werden mussten (vgl. 3.4).

Die acht Gruppen sind also Materialklassen. Dadurch, dass jeder Typfall einer bestimmten Materialgruppe angehört, wird als erste Bedingung deren Definition zum Typfall übergeführt.

Die Materialgruppen sind Einheiten bei der statistischen Bearbeitung. Dabei wird jede Gruppe durch Regressionsanalysen auf Zusammenhänge untersucht, welche für die Tabellenarbeit Bedeutung haben. Auf diese Weise erhält man Zusammenhangsfunktionen, welche für die gesamte Gruppe gelten. Im Verhältnis zum Typfall der Gruppe betrachten wir die Funktionen als sekundäre Bedingungen.

Schliesslich werden einzelne Typfälle teils durch die primären und sekundären Bedingungen der Gruppe und teils durch die für den Typfall geltenden tertiären Bedingungen, wie Klima, Bonität, Grunddefinition der Ausgangslage und das Durchforstungsprogramm definiert.

25.4. Die Wahrscheinliche Entwicklung

Die Entwicklung eines Bestandes wird von dessen Zustand im Ausgangsstadium sowie von Durchforstungen und Zuwachsleistungen bestimmt, welche abwechselnd in die Entwicklung eingreifen. Bei der Ausarbeitung von Ertragstafeln haben wir es mit Ausgangsbeständen zu tun, welche wahrscheinlich oder gewählt sind, Durchforstungen, welche ebenfalls wahrscheinlich oder gewählt sind und Zuwachsleistungen, welche wahrscheinlich, aber niemals gewählt sind..

Wir verweilen einen Augenblick beim Begriff wahrscheinlich. Es gibt natürlich nichts, was ganz allgemein wahrscheinlich ist, sondern ein solches Urteil muss auf gewissen Voraussetzungen aufbauen. Wenn nach der wahrscheinlichen Zuwachsleistung gefragt wird müssen wir zuerst wissen, welcher Zuwachs gemeint ist, z. B. Vergrösserung des Durchmessers, der Höhe oder der Masse und was eigentlich wächst, z. B. Kiefer aus natürlicher Besamung in Nordschweden, Bonität $h_{100} = 20$ usw. und welche besondere Verhältnisse diesen Zuwachs wahrscheinlich beeinflussen.

Der wahrscheinliche Zuwachs kann mit wechselnder Genauigkeit durch Untersuchungen bestimmt werden. Dabei wird der Zusammenhang zwischen einer abhängigen Variablen, z. B. der Zuwachs des mittleren Durchmessers in fünf Jahren, berechnet, und einer Anzahl von unabhängigen Variablen, welche ebenso wie gewisse Gruppendifinitionen (vgl. 25.3) die Voraussetzungen des Zuwachses angeben. Die Zusammenhangsberechnung erfolgt durch die Regressionsanalyse, welche ausführlich im Kapitel 6 beschrieben ist. Wir übergehen die eigentliche Berechnung, halten aber fast, dass diese in Ausgleichsfunktionen resultiert, mit deren Hilfe der wahrscheinliche Wert der abhängigen Variablen für jede Kombination unabhängiger Variablen approximativ berechnet werden kann.

Man erhält eine Vorstellung von der Art des Zusammenhanges, indem man das vorhergehende Beispiel ein wenig modifiziert. Hier werden die Werte des Materiales durch Punkte im Koordinatensystem dargestellt. Falls man sich aber die unabhängigen Variablen in Klassen eingeteilt denkt, dann gehört jede Versuchsfläche einer nach Klassen definierten Untergruppe an, welche, wenn das Material gross ist, Beobachtungen einer Anzahl von Versuchsflächen enthalten kann. Diese haben dieselbe Gruppendifinition und deren unabhängige Variable sind fast gleich, können aber im übrigen frei variieren. Von den Zuwachsbeobachtungen in einer solchen Untergruppe werden der Mittelwert und die Streuung berechnet. Aus statistischen Gründen betrachten wir den Mittelwert als eine Schätzung des wahrscheinlichen Zuwachses der Untergruppe. Mit Hilfe der Streuung kann die Sicherheit der Schätzung berechnet werden.

Wir kommen auf die Ausgleichsfunktion zurück. Deren Ergebnis kann von den Materialpunkten abweichen, oder, falls wir eine Klasseneinteilung voraussetzen, von den Mittelwerten der abhängigen Variablen aus den Untergruppen. Der Ausgleich, welcher ein unerlässliches Glied in der Analyse ist, hat Vor- und Nachteile. Er bedeutet Verbesserungen, weil er zufällige Abweichungen von den rich-

tigen Mittelwerten der Gruppen wegnimmt. Dagegen wird der Ausgleich schädlich, wenn er systematische Abweichungen von den wahren Werten herbeiführt. Solche Abweichungen, welche durch die Steilheit der Funktionen entstehen, sind mehr oder weniger unausbleiblich. Es ist unsere Aufgabe diese soweit als möglich zu begrenzen.

Die vorhin geführte Erörterung bezog sich auf die Berechnung eines wahrscheinlichen Zuwachses. Jedoch geht aus 25.4, Absatz eins, hervor, dass die Produktionsforschung sich auch mit dem wahrscheinlichen Zustand (Ausgangsbestand) und anderer wahrscheinlicher Zustandsänderungen als den durch Zuwachs (Durchforstung) herbeigeführten, beschäftigen muss. Beide Fälle kommen in Beständen vor, die aus natürlicher Besamung hervorgegangen sind und wo sowohl die Art des Ausgangsbestandes als auch die während der Dauer des Bestehens eines Bestandes sich vollziehende natürliche Auslese von natürlichen Vorgängen bestimmt werden und daher nicht frei gewählt werden können.

Der Begriff wahrscheinlicher Ausgangsbestand kann auch in den durch künstliche Bestandesbildung entstandenen Beständen vorkommen. Man stelle sich eine Anzahl Bestände vor, die auf einer bestimmten Art von Standorten nach einem bestimmten Programm gepflanzt wurden. In diesem Fall hängt die Art des Bestandes von der natürlichen Entwicklung von Zeitpunkt der Pflanzung bis zur ersten Durchforstung ab.

Solche Beispiele können vervielfacht werden. Bei der Behandlung dieser Probleme werden, soweit es möglich ist, jene Methoden angewendet, welche für den Zuwachs beschrieben wurden.

Wir kommen im Folgenden auf verschiedene Seiten dieser Berechnungen zurück. Hier soll nur hervorgehoben werden, dass die Möglichkeiten stark vom Material begrenzt werden. Es ist daher wichtig, dass die Sammlung des Materiales und die nachherige Bearbeitung gleichzeitig geplant werden.

Hinsichtlich der vorliegenden Untersuchung konnte diesem Wunsche nicht nachgekommen werden. Als die Versuchsflächen angelegt und die Durchforstungsprogramme ausgearbeitet wurden, konnte an diese Bearbeitungsmethode noch nicht gedacht werden. Diese Tatsache bedingt gewisse Gegensätze in der Darstellung. Einerseits war es wünschenswert, in grossen Zügen die praktische Bearbeitung darzulegen. Aber andererseits muss es auf längere Sicht wichtiger erscheinen, dass die beste Form der Untersuchung soweit als möglich klargelegt wird. Deshalb wurde die grundsätzliche Lösung in der Regel zuerst behandelt. Infolge von grösseren Abweichungen bei der wirklichen Bearbeitung wird hiemit darauf hingewiesen.

25.5. Homogene und heterogene Bestände

Aus der Überschrift zu Teil V geht hervor, dass die Darlegung auf homogene Bestände begrenzt ist. Wie in Kap. 3.3 näher bezeichnet wurde, werden darunter gleichartige, reine Bestände mit gleichmässiger Verteilung auf der Fläche verstanden, wobei sich beim Anlegen der Versuchsflächen gewisse Abweichungen nicht umgehen liessen. In der vorliegenden Untersuchung war die Beschränkung auf homogene Bestände von selbst gegeben, da das vorhandene Material Beobachtungen in solchen Beständen umfasste. Aber auch grundsätzlich erscheint es zweckmässig, dass die Methode der Produktionsforschung in erster Linie diesem

Material angepasst ist. Erst später kann es sich darum handeln, die dabei gewonnenen Erfahrungen auf nicht homogene, also heterogene Bestände auszudehnen. Die dabei entstehende Fragen werden im Teil VI berührt.

Da die homogenen Bestände nur einen geringen Teil unseres Waldbodens ausmachen, mag es unrealistisch erscheinen, sich so stark damit zu beschäftigen. Ein Grund ist allerdings naheliegend: die Bestandesentwicklung und die Produktion sind bedeutend leichter in homogenen als in heterogenen Beständen zu berechnen. Es ist praktischer, mit den einfacheren Fällen zu beginnen und danach mit Hilfe der gewonnenen Erfahrungen auf die schwierigeren überzugehen.

Die einfache Struktur der homogenen Tabellenbestände erleichtert die Anwendung auch bei der Beurteilung heterogener Bestände. Der Vergleich eines gut definierten mit einem schwächer definierten Fall wird genauer als der Vergleich zweier schwach definierter Fälle. Hierzu kommt noch ein Grund von grosser Bedeutung. Der Hauptzweck der Produktionstabellen ist die Unterstützung bei der Beurteilung der Bestände der Zukunft. Diese werden durch unsere Verjüngungs- und Bestandespflegemassnahmen geformt. Es ist nicht wahrscheinlich, dass wir überall homogene Bestände anstreben, es ist aber sicher, dass diese eine viel grössere Ausbreitung erhalten als bisher.

Kap. 26. Das Material

26.1. Grenzen des Materiales

In den Zusammenhangsuntersuchungen der Produktionsforschung werden die Versuchsflächen teils durch eine Gruppendifinition definiert, z. B. Kiefer, Nordschweden, nicht gepflanzt, und teils durch unabhängige Variable, wie Alter, Stammzahl, Stammverteilung, mittleren Durchmesser und obere Höhe. Bei Untersuchungen dieser Art müssen die definierten Eigenschaften beobachtet werden. Ebenso wird auf jeder Fläche eine unabhängige Variable beobachtet, welche den gesuchten Faktor ausdrückt, z. B. der Zuwachs des mittleren Durchmessers. Alle Beobachtungen zusammen bilden das Material der Untersuchung.

Nachdem wir nun unterstrichen haben, dass das Material aus Beobachtungen und nicht aus den untersuchten Gegenständen besteht, muss jedoch betont werden, dass es sich hier um Beobachtungen in bekannten Beständen handelt, im eben genannten Fall auf den Versuchsflächen.

Es ist klar, dass die gefundenen Zusammenhänge in erster Linie nur für die beobachteten Versuchsflächen gelten. Dadurch dass diese, wie wir voraussetzten, einer gemeinsamen Gruppe angehören, können die Resultate mit gewissem Vorbehalt auch auf Gruppenglieder angewendet werden, die nicht untersucht wurden. Der Vorbehalt bezieht sich auf undeclared Eigenschaften der untersuchten Versuchsflächen, welche diese in eine Sonderstellung versetzen könnten. In solchen Fällen müsste die Anwendung auf Bestände beschränkt werden, die eine gleiche Sonderstellung einnehmen. Als Beispiel kann genannt werden, dass alle Versuchsbestände der Gruppe Kiefer, Nordschweden, nicht gepflanzt, auf Brandflächen entstanden sind. Es ist möglich, dass die Voraussetzungen für den Zuwachs in Beständen die nicht auf Brandflächen entstanden, ganz anders sind.

Hinsichtlich der Bestandeseigenschaften, welche durch Variable ausgedrückt werden, liegen die gesuchten Tabellenwerte oft zwischen den beobachteten Material-

punkten. Nach der Natur der statistischen Methode können diese als mit berechenbarer Sicherheit interpoliert betrachtet werden. Dagegen machen wir einen Schritt in das Unbekannte, wenn wir extrapolieren. Deshalb wollen wir die Grenzen des Materials nicht überschreiten. In komplizierten Fällen kann es schwer werden, die genaue Bedeutung dieses Begriffes klarzumachen. Indessen begnügt man sich gewöhnlich mit der einfacheren Bedingung, dass jede unabhängige Variable im Anwendungsfall innerhalb der Grenzen derselben Variablen im Material bleiben soll.

Bei der Planung einer Produktionsuntersuchung muss man sich darüber im Klaren sein, welche Produktionstabellen angestrebt werden. Diese Tabellen sollen innerhalb der Grenzen des Materials stehen. Die grundsätzliche Frage ist dann, ob das erforderliche Material da ist oder erhalten werden kann.

26.2. Zeitbetontes Material

Das in 26.1 angeführte Beispiel über Bestände, welche auf Brandflächen entstanden sind, gibt uns Anlass darüber nachzudenken, wie zeitbetont unsere Wälder eigentlich sind. Die Waldbrände, welche früher praktisch über alle Kiefernböden Nordschwedens hinweg gegangen sind, haben nun nahezu aufgehört. Die Auswirkungen können noch nicht überblickt werden, sie sind aber sicherlich durchgreifend. Indessen hat nur ein Teil dieser Auswirkungen für die Produktionsforschung Bedeutung. Dieser Teil kann der spezifische genannt werden. Damit wird angedeutet, dass z. B. die Altersverteilung, welche stark durch die Waldbrände, beeinflusst wird und damit auf die absolute Produktion einwirkt, auf unser Problem keinen Einfluss hat. Was wir suchen kann mit grosser Einfachheit als Produktion per ha in jeder Altersklasse angegeben werden.

Es handelt sich also — unter Berücksichtigung dieser Vereinfachung — darum, wieweit die Produktion per ha einer Altersklasse zwischen einer gebrannten und einer ungebrannten Fläche verschieden ist. Dabei darf nicht übersehen werden, dass die Bonität durch das Feuer vielleicht verändert wurde, was natürlich schwer festzustellen ist. Ein lockender Ausweg ist hier die Regressionsanalyse über den Zusammenhang zwischen geschätzter Bonität und beobachteten Standortseigenschaften auf Brandflächen und nicht gebranntem Boden. Jedoch fällt die Möglichkeit weg, falls vergleichbare und für die Bonitierung genügend alte Bestände auf ungebranntem Boden fehlen.

Eine andere Faktorgruppe, welche einen Gegensatz zwischen der vergangenen und der kommenden Zeit schaffen kann, ist das Klima. Hinsichtlich der Zukunft können wir uns mit dem Mittelwert einer vergangenen Periode begnügen falls wir nicht eine freie Beurteilung vorziehen. Das Klima des Materials wird durch zugängliche Daten für die betreffende Zeit (vgl. Kap. 8) charakterisiert. Die zukünftigen Resultate erhält man, indem man die Daten des Materiales in den Ausgleichsfunktionen gegen die für die Tabellen gewählten Mittelwerte austauscht.

Am meisten zeitbetont sind jedoch die menschlichen Massnahmen. Diese Tatsache tritt besonders in Nordschweden hervor. Mit Ausnahme der Wälder mit besonders guten Absatzmöglichkeiten, wird in Nordschweden erst seit einigen wenigen Jahrzehnten durchforstet. Die Bestände, in welchen die erste Durchforstung im dafür normalen Alter gemacht wurde, haben noch eine lange Durchforstungszeit vor sich ehe sie für den Endabtrieb reif sind. Es gibt keine alten Bestände, welche in dem für die erste Durchforstung normalen Alter durchforstet

wurden. Gepflanzte Bestände gibt es in Nordschweden nur wenige und nur sehr junge, weshalb deren Entwicklungsgang noch sehr wenig bekannt ist.

In Südschweden hat die Fichte oft eine Entwicklung mitgemacht, welche nicht wiederholt wird. Sie hat sich unter der Birke auf den sich langsam schliessenden Waldweiden hochgekämpft, was seinen Stempel auf die Bestände gedrückt hat.

Diese Beispiele wurden hervorgehoben um zu zeigen, wie abhängig unsere Untersuchungen von den forstlichen Verhältnissen sind. Der Zeiteinfluss ist stark fühlbar: Seine Wellen haben Jahrzehnte umfasst und sich über ganze Landesteile erstreckt. Diese Einflüsse erschweren die Produktionsforschung deswegen, weil das Material sich immer auf die verfllossene Zeit bezieht, aber immer in und für die Zukunft verwendet wird.

In dieser Situation sagen wir folgendes: Die Regressionsanalyse muss auf dem Material aufbauen, sonst ist sie wertlos. Die erhaltenen Funktionen beziehen sich dabei auf einen vergangenen Zeitraum. Die Produktionstabellen zielen aber in die Zukunft und müssen daher diesen Verhältnissen angepasst werden. Soweit die Zukunft durch berechnete oder beurteilte Werte aus den unabhängigen Variablen der Ausgleichsfunktion charakterisiert werden kann, erfolgt die Anpassung durch die Funktion. Falls jedoch die Lage eine neue Gruppdefinition erfordert und eine Korrektur notwendig erscheint, fehlt uns die Grundlage für eine Berechnung der Korrektur. Dagegen gibt es viele Anhaltspunkte für eine Beurteilung (Schätzung, Annahme) (vgl. Kap. 37). Mit Rücksicht auf die Unsicherheit des Resultates genügt es, wenn diese einfach und in Form einer Überschlagsberechnung gehalten wird.

26.3. Feste Versuchsflächen, welche laufend beobachtet werden

Die vorhergehende Darstellung wurde hauptsächlich an die klassische Methode für die Beschaffung von Produktionsmaterial gebunden, nämlich die Beobachtung fester Versuchsflächen. Im Anschluss daran dürfte es zweckmässig sein, an die Vor- und Nachteile dieser Methode zu erinnern.

I. *Vorteile.* Der dominierende Vorteil liegt im Zusammenhang. Unsere Aufgabe ist das Studium der Bestandesentwicklung und wir haben daher grosses Interesse daran, dass wir möglichst langen Entwicklungen folgen können. Je älter der Bestand ist, desto wertvoller wird es, dessen Geschichte zu kennen. Ereignisse, welche der Bestand früher durchgemacht hat, können grosse Bedeutung für seinen jetzigen Zustand haben, obwohl sie jetzt nicht mehr festgestellt werden können.

In Kapitel 24, über individuelle Auswahl, werden recht weitreichende Schlüsse über unser Wissen darüber gezogen, dass die Versuchsflächen sorgfältig und unter ständigen Bestrebungen, die besten und best plazierten Stämme zu begünstigen, durchforstet wurden. Hier dreht es sich aber um Behandlungsnuancen, welche nachher nicht mehr zu erfassen sind.

Ganz allgemein kann gesagt werden, dass die grössten Vorteile der Versuchsflächen auf der pfleglichen Seite liegen.

II. *Nachteile.* Davon gibt es leider viele. Den Durchmesserzuwachs misst man durch Kluppierung mit Rinde in ungefähr fünfjährigen Intervallen. Diese Messung ist an und für sich unsicher und wurde bei der vorliegenden Untersuchung weiter geschwächt. Auf Grund früheren Personalmangels war es nämlich nicht möglich die Messungen immer in die Zeit der Wachstumsruhe oder zumindest in dieselbe

Jahreszeit für dieselbe Versuchsfläche zu verlegen. In solchen Fällen entspricht also der gemessene Zuwachs nicht der Zahl der angegebenen Vegetationsjahre.

Auf Dauerflächen können repräsentative Probestämme nicht gefällt werden. Fragen über Höhenzuwachs, Stammform und Verzweigungstyp können daher nicht auf zufriedenstellende Art beantwortet werden.

Schliesslich sind Versuche auf festen Flächen sehr zeitraubend. Ein ganz durchgeführter Versuch — von der Verjüngung bis zum Endabtrieb — erstreckt sich ja über eine ganze Umtriebszeit. Während einer so langen Wartezeit riskiert man, dass das Pflegeprogramm, welches der Versuch klarlegen soll, inaktuell wird und die Resultate, wenn sie endlich vorliegen, nicht mehr interessieren. Indessen muss hervorgehoben werden, dass die Wartezeit durch Kompromisslösungen verkürzt werden kann, aber dann vermindert sich auch der Wert, den wir einem langen Entwicklungsverlauf beimessen.

Zu dieser Frage kommen wir unter 26.6 zurück.

26.4. Einmalige Untersuchung

I. *Vorteile.* Bei der einmaligen Untersuchung braucht auf die dabei verursachten Schäden keine Rücksicht genommen werden. Der Durchmesserzuwachs wird durch Bohrung untersucht, was genauere Messung bedeutet und garantiert, dass die gewünschten Jahresringe gemessen werden. Repräsentative Probestämme können im gewünschten Ausmass gefällt werden. In Beständen, in denen beide Methoden angewendet werden können, ist der Zeitaufwand für die einmalige Untersuchung immer geringer, oft viel geringer, als bei fortlaufenden Untersuchungen von festen Versuchsflächen.

II. *Nachteile.* Die Unsicherheit der Methode basiert fast ganz auf der früheren Entwicklung. Durch Beobachtung der Stöcke kann man eine Vorstellung über die am kürzesten zurückliegende Durchforstung erhalten. Über die vorhergehende Durchforstung kann kaum eine Aufklärung erhalten werden und die Schicksale des Bestandes vor der ersten Durchforstung sind mehr als dunkel. Es ist möglich, dass diese Nachteile nicht soviel bedeuten, jedoch ist es notwendig, darauf aufmerksam zu machen bis darüber Klarheit herrscht.

26.5. Wahl der Beobachtungsmethode

Man kann natürlich nicht etwas untersuchen was nicht existiert. Die Produktionsforschung ist daher auf die Bestandestypen angewiesen, welche derzeit vorhanden sind oder die es in einer angemessenen Wartezeit geben wird. Weiters stehen Bestandestypen zu unserer Verfügung die es früher gegeben hat und damals auf zufriedenstellende Art beobachtet wurden.

Auf Grund dieser Verhältnisse kann die Wahl der Methode unter verschiedenen forstlichen Epochen sehr unterschiedlich ausfallen. Angenommen, wie vorher in Kap. 1, ein grösserer Forst wurde seit vielen Jahren schwach durchforstet und nun wird eine Änderung in Betracht gezogen. Wir wollen für die künftige Durchforstung Produktionstabellen erstellen. Wir wollen nun sehen, wie die methodische Frage bei drei Durchforstungsalternativen betrachtet werden kann.

I. *Die Durchforstung bleibt schwach.* In diesem Fall kann der ganze Wald als Material verwendet werden. Wir können die wahrscheinliche Entwicklung berechnen, indem z. B. in Beständen aller Altersklassen der Zuwachs für die nächsten

zehn Jahre beobachtet wird. Das kann durch Untersuchung des Bestandes jetzt und in zehn Jahren geschehen, oder indem der Zuwachs der letzten zehn Jahre mittels Zuwachsbohrung festgestellt wird. Beide Methoden können angewendet werden, aber die fortlaufenden Beobachtungen — in diesem Fall nur zwei — dauern 10 Jahre länger, also um ein Durchforstungsintervall mehr. Bei den angegebenen Voraussetzungen hat die »fortlaufende« Alternative wenig für sich, was den Zeitgewinn und die übrigen Vorteile der einmaligen Untersuchung aufwiegen könnte. Deshalb ist die letztgenannte Methode vorzuziehen.

Bestandestypen, welche extreme Fälle einer weiterhin schwachen Durchforstung darstellen, kommen in unberührtem (sich selbst überlassenen) Wald vor. Die vom forstlichen Forschungsinstitut erst vor einiger Zeit unternommenen Untersuchungen von unberührtem Wald wurden in Übereinstimmung damit als einmalige Beobachtungen durchgeführt.

II. *Die neue Durchforstung ist stark.* Die erste Durchforstung wird im Ausgangsalter durchgeführt. Es dauert dann einen ganzen Durchforstungszeitraum, also Wachstumszeit minus Ausgangsalter, bis das ganze für die Produktionstabellen benötigte Material im Wald vorhanden ist. Solange dieser Bedarf nicht gedeckt ist, kann keine Methode ein zufriedenstellendes Resultat erreichen. Es ist angebracht, die unabwendbare Wartezeit durch laufende Beobachtungen der neuen Durchforstungsart auf den festen Versuchsflächen auszunützen. Das Material kann dann am Ende der Wartezeit fertig vorliegen.

Zu diesem Zeitpunkt wird die Situation auf bedeutungsvolle Weise geändert. Im Wald gibt es dann Bestände in allen Altersklassen und Bonitäten, welche unter der Einwirkung der starken Durchforstung entwickelt wurden. Einer Erstellung von Produktionstabellen für starke Durchforstung durch einmalige Untersuchung steht nichts im Wege.

III. *Die neue Durchforstung umfasst alle Stufen von schwach bis extra stark.* Sie variiert für die einzelnen Bestände, ist aber konstant in diesen. Auch in diesem Fall vergeht ein ganzer Durchforstungszeitraum, ehe das ganze für die Produktionstabellen notwendige Material im Wald vorhanden ist. Die Folgen sind die gleichen wie unter II. Die Lage am Ende der Wartezeit gestattet dann, Produktionstabellen für verschieden starke Durchforstungen durch einmalige Beobachtung zu erstellen. Diese Situation bleibt in der Zukunft so lange bestehen, bis die Durchforstung ev. neu standardisiert wird.

26.6. Die derzeitige Lage der Materialfrage

Das Material für die Produktionsuntersuchungen wurde in der Hauptsache nach zwei Richtungen hin angeschafft, nämlich durch vergleichende Durchforstungen und Produktionsflächen in jedem Alter. Beide Methoden wurden in anderen Ländern schon sehr früh angewandt und als unsere Anstalt im Jahre 1902 errichtet wurde, nahm man diese Methoden in das Arbeitsprogramm der Versuchsanstalt auf.

I. *Vergleichende Durchforstungsversuche* umfassen Flächen, welche im selben Bestand, am besten nebeneinander angelegt werden und man durchforstet nach verschiedenen Grundsätzen. Die Lage der Parallelflächen und die Gleichzeitigkeit der Massnahmen wurden als Garantie für einen gleichen Ausgangszustand betrachtet. Indessen hat man gefunden, dass die Gleichheit zwischen den Ausgangsbeständen schwer zu erhalten ist. Vergleiche macht man daher lieber zwischen Produktionstabellen, deren Ausgangszustand absolut gleich ist.

In vergleichenden Durchforstungsversuchen macht man die erste Durchforstung in dem Alter, welches dafür am geeignetsten erscheint. Dieses Alter wird der Ausgangspunkt für Produktionstabellen, welche den Versuch verallgemeinern. Es dauert viele Dezennien, ehe man zum Endalter der Tabellen kommt.

II. *Produktionsflächen in allen Altersstufen, ältere Bearbeitungsmethode.* Um einen Überblick über die Produktion für ein ganzes Bestandesleben zu geben, hat man in allen interessierten Ländern besondere Untersuchungen durchgeführt. Dabei war es notwendig die nach 26.5 erforderliche Wartezeit bedeutend zu verringern. Das geschah durch die gleichzeitige Anlage vieler Versuche in allen Altersstufen. Nach ein paar Jahrzehnten wurden die Beobachtungen gewöhnlich graphisch bearbeitet.

In Kap. 1 wurde gesagt, dass dieses Verfahren verantwortet werden könnte, falls die Durchforstung des Versuches nur mässig von der früheren Behandlung abweicht. Diese Bedingung wurde von den in verschiedenen Ländern um die Jahrhundertwende veröffentlichten Produktionstafeln in der Regel erfüllt. Die Durchforstung vor dieser Zeit war immer schwach und die neue Art, welche auf den Probeflächen versucht wurde, war nach unseren Begriffen mässig. In Schweden waren jedoch die neuen Durchforstungen zum Grossteil so stark, dass die Kontinuerlichkeit bei der Anlage der Versuchsflächen unterbrochen wurde. Solche Unterbrechungen kamen auch weiterhin vor. Während der ersten Jahrzehnte der Versuchsarbeit wuchs das Interesse für starke Durchforstungen immer mehr und führte dazu, dass viele Flächen, welche für schwache Durchforstung angelegt waren, allmählich auf starke und sehr starke Durchforstungen überführt wurden.

Im vorigen Absatz wurde unterstrichen, dass Produktionsversuche mit verkürzter Beobachtungszeit nach der traditionellen Methode behandelt werden können, wenn die Durchforstung nur mässig verschärft wurde. Es kann hinzugefügt werden, dass die in Frage stehende Methode auch bei starker Verschärfung der Durchforstung anwendbar ist, wenn die lange Beobachtungszeit beibehalten wird. Schwierigkeiten entstehen dagegen, wenn die verkürzte Beobachtungszeit mit starker Durchforstung kombiniert wird. Bei der Bearbeitung der schwedischen Produktionsversuche müssen wir daher von der traditionellen Methode Abstand nehmen.

III. *Produktionsflächen in allen Altersstufen. Neue Bearbeitungsmethode.* Aus Gründen, die unter II angeführt wurden, ist das schwedische Produktionsmaterial nach neuen Richtlinien bearbeitet worden. Durch die vorher beschriebenen Programmveränderungen, welche meist unsere ältesten Versuchsflächen trafen, wurde die Bedeutung der Fläche als Versuchseinheit gemindert. In der gleichen Richtung wirkte die Veränderung der Schätzmethode und klimatischen Veränderungen. Der erste Schritt war daher die Aufteilung der beobachteten Entwicklungsreihen in kurze Fragmente, von denen jedes die Zeit zwischen zwei Durchforstungen umfasste. Diese Teilentwicklungen wurden dann als unabhängige Elemente einer Untersuchung betrachtet, in der man den Zusammenhang zwischen dem Zuwachs in diesem Zeitraum und dem Zustand des Bestandes zu Beginn dieses Zeitraumes zu ergründen versuchte. Solche Berechnungen wurden mittels Regressionsanalysen ausgeführt (vgl. Kap. 6).

Diese Art der Produktionsforschung dürfte bestehen bleiben. Auch für die Zukunft müssen wir mit Änderungen der Ansichten über die Waldpflege rechnen. Solche Auffassungsänderungen treffen gleichzeitig Bestände aller Altersstufen. Auf die gleiche Art wirken Klimaänderungen und neue untersuchungstechnische

Methoden. All das bewirkt, dass das Durchforstungsintervall einer Fläche ein besseres Untersuchungselement bildet als die Entwicklung der Fläche während längerer Perioden.

Nachdem dies betont wurde, darf eine Warnung gegen eine Übertreibung in der anderen Richtung ausgesprochen werden, nämlich die Stellung des kurzen Intervalles in der ganzen Bestandesentwicklung überhaupt nicht zu beachten. Viel von dem, was in Kap. 25—29 gesagt wird, ist darauf gerichtet, Anhaltspunkte für die Rücksichtnahme auf den Gesamtverlauf zu geben.

26.7. Materialkritik

Als allgemeine Regel gilt, dass statistische Funktionen nicht ausserhalb der Grenzen des Beobachtungsmaterials verwendet werden dürfen. Diese Forderung wurde so ausgelegt, dass jede unabhängige Variable im Anwendungsfall in den Grenzen des Materials der gleichen Variablen gehalten werden soll (vgl. 26.1). Diese Frage muss diskutiert werden, wenn es sich um Produktionstabellen handelt.

Eine solche Tabelle kann über einen wahrscheinlichen Ausgangsbestand, der innerhalb gewisser Grenzen durch freie Wahl modifiziert werden kann, aufgebaut werden. In jedem Fall wird unser Bild des Ausgangsbestandes von statistischen Funktionen beeinflusst, welche vom Material abgeleitet werden. Dieser Bestand wird durch die Durchforstung nach einem bestimmten Programm behandelt und kann danach während eines Durchforstungsintervalles weiterwachsen. Dabei entwickeln sich Durchmesser, Höhen und Stammassen auf eine Weise die durch besondere Funktionen berechnet wird. Dann folgt eine neue Durchforstung und danach eine neue Zuwachsberechnung mit Hilfe derselben Funktionen wie im ersten Intervall, aber mit neuen Werten für die meisten der unabhängigen Variablen. Als Resultat dieser Berechnungen entsteht schliesslich eine Produktionstabelle.

Nun fragt man sich: Im welchem Verhältnis steht diese Tabelle zu den Grenzen des Materials? In dieser Abhandlung ist auf verschiedenen Stellen die Bedingung aufgestellt worden, dass sich die Produktionstabelle innerhalb der Grenzen des Materials bewegen muss. Das ist natürlich eine verkürzte Schreibweise. Was bedeutet das?

Die Produktionstabelle wurde oft mit einem Bauwerk verglichen. Es liegt in den Grenzen des Materials, wenn es Schritt für Schritt aufgeführt werden kann, ohne dass dessen Grenzen überschritten werden. Die Grenzforderung gilt daher für jede Gelegenheit der Anwendung jeder der statistischen Funktionen.

Besonders in zweifelhaften Fällen ist es von Interesse, eine solche Detailkontrolle durchzuführen. Indessen kann man den gewünschten Bescheid oft schneller erhalten — und von gewissen Gesichtspunkten aus auch sicherer — wenn man ganz real die Existenz eines Kiefernbestandes prüft (vgl. 26.5). Die Fragestellung wird im Folgenden durch ein paar Beispiele erläutert.

Beispiel I. Die Verteilung des Materials in acht Gruppen, wie in 25.3 beschrieben, muss als eine Grobsortierung aufgefasst werden. Die für eine Gruppe angegebene Definition gilt für jedes Glied der Gruppe, jedoch ist der Rahmen der Gruppe so gross, dass viele verschiedene Fälle darin enthalten sein können. Wenn z. B. für die Gruppe I Produktionstabellen erstellt werden sollen, geschieht das mit Hilfe des Materials der Gruppe. Daraus geht hervor, dass die Tabellen nominell die Gruppe repräsentieren, während sie in Wirklichkeit das Material der Gruppe

darstellen. Wenn das Material auf einen bestimmten Teil der Gruppe beschränkt ist, wird auch der Umfang der Produktionstabelle begrenzt. Wir wollen daher die drei Gruppen, welche programmgemäss bearbeitet wurden, von diesem Gesichtspunkt aus betrachten.

Gruppe I. Kiefer, Nordschweden, nicht gepflanzt. Hinter dem weiten Begriff »Kiefer« steht im Material eine ziemlich einheitliche Gruppe, nämlich Kiefer, welche auf Brandflächen naturverjüngt ist und somit örtliche Provenienz hat. »Nordschweden« wird fast ausschliesslich durch Gegenden in tiefen oder mittleren Lagen vertreten und die Bedingung »nicht gepflanzt« ist viel weiter als der wirkliche Materialcharakter, »Selbstbesamung, nicht durchläutert oder durchreisert«.

Gruppe III. Kiefer, Südschweden, nicht gepflanzt. In diese Gruppe gehören sowohl Selbstbesamung als auch Flächen- und Plätzesaat. Durch den Kultureinschlag ist die Provenienz des Materials unsicher. Bei gemeinsamer Bearbeitung der ganzen Gruppe würden die Produktionstabellen ein gemischtes Material darstellen.

Gruppe VIII. Fichte, Südschweden, gepflanzt. Ein Grossteil der Fichte in dieser Gruppe dürfte deutsche Provenienz besitzen. »Südschweden« wird überwiegend durch die südlichsten Landschaften vertreten. Die jetzt im mittleren Alter stehenden Bestände der Gruppe wurden in dichtem Verband gepflanzt und länger undurchforstet gelassen als jetzt richtig erscheint. Die Kronen wurden auf eine Höhe getrieben, welche man jetzt zu vermeiden sucht.

Zusammenfassung des ersten Beispiels. Auf Grund der angegebenen Einseitigkeiten des Materials kann man sich viele Entwicklungstypen (Typfälle) vorstellen, welche unbestritten einer der Gruppen angehören, jedoch genau so gut ausserhalb des Materials der Gruppe liegen. Ein solcher Typfall sollte richtigerweise nicht mit Hilfe der Funktionen der Gruppe konstruiert werden, sondern mittels Funktionen, welche aus dem fehlenden Material abzuleiten wären. Die letztgenannten, welche wir die »richtigen« nennen, können wir jedoch nicht erhalten. Viel wäre jedoch gewonnen, wenn wir mehr allgemein solche Fälle unterscheiden lernten, wo die Gruppenfunktionen und die »richtigen« Funktionen so ähnlich sind, dass die ersteren verwendet werden können. Diese Fähigkeit kann durch Spezialuntersuchungen erworben werden.

Beispiel II. In Kap. 26.5 und 26.6 haben wir den Übergang zu stärkerer Durchforstung betrachtet, der in den ersten Jahrzehnten nach der Jahrhundertwende in allen Altersstufen gleichzeitig durchgeführt wurde. Wir konstatierten, dass es — gerechnet vom Zeitpunkt der Umstellung an — einen ganzen Durchforstungszeitraum dauern müsste, also Wachstumszeit minus Ausgangsalter, bevor das für eine Produktionstabelle notwendige Material im Wald zu erhalten wäre. Solange dieser Bedarf nicht gedeckt sei, könnte keine Methode ein zufriedenstellendes Ergebnis liefern.

Aus diesem Dilemma gibt es keinen anderen Ausweg als entweder die Ansprüche zu verringern oder zu warten. Am besten wendet man natürlich beide Methoden an. Mit anderen Worten: Die Untersuchung muss so angelegt werden, dass sie später, wenn die Zeit dafür gekommen ist, die erwarteten Resultate gibt. Bis dahin müssen wir uns mit Kompromisslösungen helfen.

Diese Haltung ist besonders in unserer Zeit angebracht. Wie hier hervorgehoben wurde sind das Entscheidende in dieser Frage die im Wald vorhandenen Bestandestypen. Kurz vor Durchbruch der Verwendbarkeit kleiner Holzdimensionen, also um die Jahrhundertwende, waren die Voraussetzungen für die Erstellung von

Produktionstabellen nach der Behandlung, die damals gewünscht wurde, sehr günstig. Einige Jahrzehnte später war die Situation total verändert. Man wollte stärkere Durchforstungen einführen, obwohl die Erfahrungen über deren Auswirkung sehr gering waren. Das war die schwerste Zeit der Produktionsforschung. Seither wurden die Möglichkeiten dieses Forschungszweiges unablässig verbessert. In den höchsten Altersstufen herrscht nun — besonders in Nordschweden — ein Mangel an Beständen, welche von der Jugend auf stark durchforstet wurden, jedoch verringert sich dieser Mangel von Jahr zu Jahr. Gleichzeitig wurde die Verschiedenheit der Typen vermehrt, was für die statistische Produktionsforschung ein Vorteil ist.

26.8. Die Einteilung der Produktionstabellen

Der Abhandlung liegen 100 Produktionstabellen bei. Diese wurden in drei Gradbezeichnungen eingeteilt, wovon A berechnete Tabellen angibt, C beurteilte Tabellen und B dazwischenliegende. Zu A gehören Tabellen mit aus eigenem Material durch Regressionsanalyse berechneten Durchmesserentwicklungen und die Entwicklung der oberen Höhe aus direkten Beobachtungen berechnet. C enthält formelle Tabellen, in denen ein Faktor zu Studienzwecken geändert wurde, Tabellen aus fremdem Material, oder sonstwie mit schwachen Unterlagen.

Kap. 27. Funktionen

27.1. Die Wahl des Funktionstyps

In einem früheren Stadium dieser Untersuchung wurde viel Mühe für die Wahl von Funktionstypen aufgewendet. Wie zu erwarten war, erwies es sich, dass man auf verschiedene Art dieselbe Verminderung der Quadratsumme erreichen könnte (vgl. 6.14). Bei einer bestimmten Aufstellung von unabhängigen Variablen führte die erste Umformung oft zu einer bedeutenden Verringerung der Quadratsumme. Nachher konnten durch fortgesetzte Umwandlung nur mehr kleinere Vorteile erreicht werden. Deshalb blieben die angewendeten Funktionen ziemlich einfach.

27.2. Anpassung

Die Anpassung der Funktion an das Material der Gruppe wird durch die Quadratsumme kontrolliert. Es ist jedoch unsicher, wie weit das Material der Gruppe das »richtige« Material des Typfalles ersetzen kann (vgl. 26.7). Diese Ungewissheit ist eine Ursache dafür, die Anpassung des Materials der Gruppe nicht zu weit zu treiben; was ebenfalls für relativ einfache Funktionen spricht.

Dieser Gedankengang scheint der gründlichen Diskussion in Kap. 6 zu widersprechen. Indessen sind die dort angeführten methodischen Feinheiten in erster Linie für die Bearbeitung von zufriedenstellendem Material bestimmt.

Die Funktionen, welche bei der Ausarbeitung der Produktionstabellen verwendet wurden, sind im Teil »XII. Funktionen« zu finden.

Kap. 28. Bearbeitung

28.1. Die Ausgangsbestände

Produktionstabellen beginnen in der Regel mit dem Zeitpunkt der ersten Durchforstung. Da die Notwendigkeit einer Durchforstung und der Sortimentausfall in starkem Zusammenhang mit der Höhe stehen, macht man den ersten wirtschaftlichen Eingriff gewöhnlich bei ungefähr gleicher Höhe in allen Bonitäten. In dieser Untersuchung wird der Ausgangsbestand als das Entwicklungsstadium definiert, bei dem die obere Höhe von 8 m erreicht wird. Ausgangsalter in jeder Bonität ist diejenige volle Anzahl Jahre, welche dem Alter bei 8 m Höhe am nächsten liegt.

Besonders für Nordschweden ist die Ausgangshöhe von 8 m als niedrig anzusehen. Jedoch ist es u. a. die Aufgabe der Tabelle, den Effekt von verschiedenen Ausgangshöhen nachzuweisen und sie muss daher mit einer niedrigeren als der vermutlich geeignetsten Höhe beginnen.

Da die Versuchsflächen in der Regel später als beim Ausgangsalter der Tabellen angelegt wurden, gibt es im Material nur wenige direkte Beobachtungen, welche dieses Entwicklungsstadium berühren. In einer solchen Lage kann man nicht auf Nuancen eingehen, sondern man wird zum Schematismus gezwungen. Das kann ein Nachteil sein, aber die Schematisierung hat auch den Vorteil, dass die Hauptzüge der Entwicklung deutlicher hervortreten.

In der Methodenbeilage M 30 wird die Bestimmung des Ausgangsbestandes ausführlich beschrieben. Wir beschränken uns hier auf ein Beispiel, welches die Berechnung der Gruppe Kiefer, Nordschweden, nicht gepflanzt, zeigt.

In diesem Fall wurde festgestellt, dass die Versuchsbestände der Gruppe nach Selbstbesamung auf Brandflächen aufgekommen sind. Sie erfuhren keine Pflege und waren zum Ausgangszeitpunkt so dicht, dass bereits die Selbstdurchforstung begonnen hatte. In Beständen dieser Art muss die Stammverteilung eine stark beschnittene Form erhalten (vgl. Kap. 17). Mit Rücksicht darauf wurde φ mit dem Wert 3 angenommen.

Die Berechnung erfolgte zuerst für die Bonität $h_{100} = 20$. Das Alter, 38 Jahre, erhielt man durch Interpolieren von 8 m in der Höhenentwicklung für Kiefer, Nordschweden, nicht gepflanzt, $h_{100} = 20$ (siehe Tab. H 3 a). Der dem Alter von 38 Jahren und der oberen Höhe von 8 m entsprechende mittl. Durchmesser M_{SI} wurde mittels Regressionsanalyse berechnet (siehe Tab. M 30.3.1). Daraus $M_{SI} = 4,3$ cm.

Dieser mittlere Durchmesser des Ausgangsbestandes entsprach dem Material am besten. Wollten wir die Entwicklung des Materiales zeigen, müsste $M_{SI} = 4,3$ cm der weiteren Berechnung zu Grunde gelegt werden. Jedoch konnte man sich bei näherer Betrachtung des Materials des Eindrucks nicht erwehren, dass die Versuchsflächen in grossem Umfang extrem dichte Bestände darstellten. Die Versuchsbestände hätten lichter sein können, ohne die Bedingungen des Programmes zu verletzen. Diese lichter Bestände hätten grössere Ähnlichkeit mit den Beständen der Praxis gehabt und das Ergebnis dadurch grösseres Interesse erfahren. Eine Korrektur in dieser Richtung muss als erlaubt angesehen werden, solange sie die Streuung der Regressionsfunktion nicht überschreitet. Deshalb wurde der mittlere Durchmesser von den berechneten 4,3 cm auf angenommene 5,0 cm erhöht.

Mit Hilfe des letztgenannten Wertes erhielt man laut F 1.1 die mittl. Abweichung

$\sigma_{S1} = 2,964$ und laut F 1.2 die Stammanzahl $S_1 = 8920$. Aus den angegebenen Werten von φ , M_{S1} und σ_{S1} , wurde die untere Grenze der Verteilung mit $\alpha = 1,021$ cm und deren obere Grenze mit $L = 16,108$ cm berechnet (vgl. M 30).

Die in den drei letzten Absätzen angeführten Werte definierten den Ausgangsbestand für Kiefer, Nordschweden, nicht gepflanzt, $h_{100} = 20$. Für die übrigen Bonitäten in dieser Gruppe gilt der gleiche Gedankengang. Es zeigte sich, dass für eine Nuancierung der grundlegenden Beurteilungen von φ und M_{S1} das ausreichende Material fehlte. Der Ausgangsbestand ist daher für alle Bonitäten gleich. Der einzige Unterschied liegt im Alter.

Diese Übereinstimmung zwischen den Bonitäten geht aus den Tabellen nicht vollständig hervor, und beruht darauf, dass die Ausgangsbestände durch die obere Höhe von 8 m definiert werden. Dagegen beziehen sich die Kiefernbestände auf das für 8 m in ganzen Zahlen abgerundete Alter. In den Tabellenangaben über den Zustand nach der ersten Durchforstung verursachen diese Abrundungen kleinere Verschiedenheiten zwischen den Bonitäten.

Aus dem oben Gesagten ist zu ersehen, dass die Ausgangsbestände für die Tabellen stark schematisiert wurden. Das war bei dieser Bearbeitung notwendig, es ist aber möglich, dass zukünftige Untersuchungen zu einer Differenzierung der Bonitäten führen können. Dabei ist es wichtig, dass die Versuchsflächen der Bonitäten unter Rücksicht auf die Stammdichte vergleichbar sind. Für die Gruppe »nicht gepflanzt« habe ich dieses Ziel durch die Bedingung zu erreichen versucht, dass die Selbstdurchforstung im Ausgangsbestand begonnen haben soll. Es gibt aber auch andere Möglichkeiten. Ist die Bestandesdichte vergleichbar, so glaube ich nicht, dass man die Ausgangsbestände der Bonitäten zu differenzieren braucht.

28.2. Die Durchforstungsprogramme

Für die Durchforstung kann festgehalten werden, dass diese definiert sein muss. Die ganze Untersuchung ist ja ein Versuch, welcher die beste Behandlungsform herauskristallisieren soll. Der Versuch wird ein Schlag in die Luft, wenn man nicht diejenige Durchforstung definieren kann, welche unter gegebenen Voraussetzungen das beste Resultat ergibt.

Deshalb sind Durchforstungsprogramme notwendig. Bei der Aussenarbeit hat man die Bäume vor sich und kann deren individuelle Eigenschaften sowie ihre Stellung im Bestand beurteilen. Die Programme für eine solche Arbeit werden von subjektiven Beurteilungen auf kurze Sicht beherrscht. Dagegen geben sie nur wenige Anhaltspunkte für eine Bestandesregelung auf lange Sicht. Diesen Mangel auszufüllen ist die Aufgabe der Produktionstabellen. Deren Durchforstungsprogramme sind objektiv und — nach der Natur der Sache — schematisiert.

Die Durchforstungsprogramme der Tabellen sind so konstruiert, dass sie mit drei Zahlen definiert werden können, welche das Hoch- oder Niederdurchforstungsmoment, das Moment gleichmässiger Durchforstung und das Durchforstungsintervall angeben. Als Beispiel kann die Formel L 5 G 10, 10 genannt werden, welche angibt, dass die Durchforstung 5 % des Bestandes mittels einer Niederdurchforstung entnimmt und 10 % vom Rest als gleichm. Durchforstung, wobei beide Werte auf fünf Jahre *berechnet* sind. Die letzte Zahl 10 bedeutet, dass die Durchforstung mit zehnjährigem Intervall wiederholt wird, was eine Erhöhung des Entnahmeprozentes mit sich bringt (vgl. Kap. 16.8). Durch Variation dieser drei

Momente kann man sehr verschiedene Durchforstungsformen erhalten, für die die Stärke der Entnahme und die Verteilung auf Durchmesserklassen berechnet werden kann (vgl. 16.5, letzter Absatz).

Natürlich sollen solche Programme nicht die subjektive Beurteilung ersetzen. Dagegen darf man hoffen, dass sie diese auf wertvolle Weise ergänzen. Sie stellen — vielleicht unvollkommen — diejenige Hilfe für eine Bestandesbewirtschaftung auf lange Sicht dar, welche bei der subjektiven Durchforstung fehlt.

Weiter ist es klar, dass das gleiche Durchforstungsprogramm nicht das Beste für alle Bonitäten zu sein braucht. Die Anwendbarkeit soll möglichst für jede Bonität geprüft werden. Dass dies in dieser Untersuchung nicht geschehen ist, war allein dem Mangel an Zeit zuzuschreiben.

Es ist auch nicht notwendig, dass dasselbe Programm während des ganzen Entwicklungsverlaufes angewendet wird. Das System erlaubt in dieser Hinsicht jede Kombination. Ich glaube aber, dass ein konstantes Programm vorteilhafter ist, da es einen besseren Überblick gibt. Die Nuancierung erfolgt am besten bei der Anwendung.

Viele sind der Meinung, dass infolge des schematischen Charakters der Durchforstungsprogramme deren Wert vermindert wird. Das ist ein Irrtum. Wenn wir wissen, dass ein gewisses schematisches Programm ein besseres Resultat als andere schematische Programme gibt, so gewinnt man dadurch eine Stütze, welche auch bei freier Durchforstung äusserst wertvoll ist.

28.3. Der Zuwachs

Wir sind nun zum dritten Teil der Folge Bestand—Durchforstung—Zuwachs gekommen. Die Berechnung des Zuwachses erfolgt mittels Regressionsanalyse, die in statistischen Funktionen resultiert. Mit deren Hilfe wird dann der Zuwachs der Produktionstabellen unter verschiedenen Voraussetzungen berechnet.

I. *Der Durchmesserzuwachs.* Die grundlegenden Funktionen bezeichnen das Zuwachsprozent des mittleren Durchmessers für fünf Jahre, welcher mit p_5 bezeichnet wird. Daraus der Faktor

$$R = 1 + \frac{p_5}{100} \dots\dots\dots (28.3.1)$$

Aus Gründen die in Kap. 20.9 beschrieben werden, wurde R überall gegen

$$R' = 1,01 R \dots\dots\dots (28.3.2)$$

ausgetauscht. Der Zuwachs besonderer Durchmesserklassen wurde für fünfjährige Perioden nach der Formel

$$D = a + bd \dots\dots\dots (28.3.3)$$

berechnet, wonach der Regressionskoeffizient laut 21.3.2 provisorisch mit

$$b = 0,96 R' \dots\dots\dots (28.3.4)$$

bestimmt wurde.

Die übrigen Berechnungen des Durchmesserzuwachses folgen aus diesen Annahmen. Die Diskussion kann sich daher auf die eigentliche Regressionsanalyse und die Formel 28.3.2, 28.3.3 und 28.3.4 beschränken.

Die Regressionsanalyse ist im Prinzip schematisch. Deren Resultat gibt den wahrscheinlichen Zuwachs der Typfälle an. In diesem Zusammenhang wird unterstrichen, dass die Analyse Berechnungen des wahrscheinlichen Zuwachses nur innerhalb der Grenzen des Materiales ermöglicht. Ausserhalb dieser Grenzen besteht die Gefahr für diejenigen schematischen Fehler, welche beim Extrapolieren auftreten. In der vorliegenden Untersuchung werden die Grenzen des Materiales nach beiden Seiten berührt oder überschritten. So ist im Material die obere Höhe bei der ersten Durchforstung mit wenigen Ausnahmen grösser als unsere Ausgangshöhe von 8 Meter. Für die Gruppe Kiefer, Nordschweden, nicht gepflanzt, wird die Grenze des Materiales am rechten Flügel von zwei Variablen überschritten, welche sich auf die Anzahl Jahre (E) nach der ersten Durchforstung beziehen. In diesem Fall wurde der Bearbeiter vor die Wahl gestellt, entweder die extrapolierten Werte aufzugeben oder sie unter Beobachtung zu halten. Der letztere Ausweg wurde vorgezogen.

Von den oben angeführten drei Formeln scheint 28.3.3 eine stabile Unterlage zu haben. Es würde einwandfrei überzeugendes neues Material notwendig sein, um an dieser Feststellung zu rütteln. Dagegen wissen wir bereits jetzt, dass die Definition von b in 28.3.4 provisorisch ist. Der darin vorkommende Koeffizient 0,96 muss sicherlich mit Rücksicht auf die Durchforstung variieren, aber diese Frage ist nach unserer Ansicht noch nicht genügend erforscht. Auch die Definition von R' in 28.3.2 ist provisorisch, obwohl auf längere Sicht. Für einen Ersatz dieser Korrektur scheinen eingehende Untersuchungen notwendig zu sein.

II. *Der Höhenzuwachs.* Die Entwicklung der oberen Höhe wurde laut Kap. 7 mit Hilfe der S-förmigen Kurve

$$y = \left(\frac{x}{a + bx} \right)^n \dots\dots\dots (28.3.5)$$

berechnet. Darin wurde, nach Bearbeitung einer grossen Anzahl von Beobachtungen in unberührtem Wald, n mit 3 gewählt. Die Kurve wurde in Kap. 7.5.3 in Funktionen des Begriffes χ überführt, der in 7.5.2 definiert wird, das Alter t , bei einer Höhe von 1,3 Meter, und das Bestandesalter x .

Bei der Aufstellung von Produktionstabellen ist h_{100} bekannt. Den entsprechenden Wert χ_{100} entnimmt man aus der Tabelle H 2. Wir erhalten bei 100 Jahren die für die ganze Entwicklung geltende Konstante

$$\beta = \chi_{100} \left(1 + \frac{t}{100-t} \right) = \frac{100 \chi_{100}}{100-t} \dots\dots\dots (28.3.6)$$

und bei jedem Alter

$$\chi = \beta \left(1 - \frac{t}{x} \right) \dots\dots\dots (28.3.7)$$

woraus sich die obere Höhe aus Tabelle H 2 ergibt.

Für n gegeben und h_{100} gegeben, wird also die Entwicklungskurve für die obere Höhe nur von t bestimmt. Mit anderen Worten: Wir legen die Kurve durch die Punkte 0,0; t , 1,3 und 100, h_{100} .

Die Grösse t wird als jenes Alter definiert, in dem die obere Höhe 1,3 Meter erreicht. Diese variiert in der Natur äusserst stark und verdient eine gründliche Untersuchung. Dabei darf nicht vergessen werden, dass der Exponent als bestimm-

ter Wert gewählt ist und wahrscheinlich nicht verändert werden kann. Bei solchen Anwendungen wie die hier behandelten, interessiert uns also nicht das wirkliche t . Wir suchen jenes t , welches erhalten wird, wenn man die Kurve durch drei Höhen legt und unter Beibehaltung des gewählten n -Wertes nach links extrapoliert. Eine solche Berechnung geht aus 7.5.11 hervor.

Auf diese Weise wurde t für gewisse herrschende Probestämme in unberührten Beständen berechnet, worauf die erhaltenen Werte laut 7.5.14 ausgeglichen wurden. Die Resultate wurden in der Tabelle 7.5.17 gesammelt. Diese Tabellenwerte stellen t in unberührten Beständen dar. In den Produktionstabellen für gepflanzte Bestände wurde das Alter bei 1,3 Meter Höhe versuchsweise mit $t' = 0,7 t$ festgesetzt. Wahrscheinlich wird t in Zukunft besser an gepflanzte und ungepflanzte Bestände angepasst werden können.

Nachdem man die obere Höhe auf die angegebene Weise erhalten hatte, wurden die Höhen der einzelnen Durchmesserklassen nach einer in Kap. 22 beschriebenen Methode bestimmt.

III. Die *Masse per Stamm*. Durch die Berechnungen von I und II erhielten wir Durchmesser und Höhe für jedes »Feld« der Stammzahltafel. Mit deren Hilfe wurde in allen Feldern die Kubikmasse per Stamm ohne Rinde mit Hilfe der kleineren Funktionen NÄSLUNDS berechnet (vgl. Kap. 23). In diesem Zusammenhang konstatieren wir nur, dass auch dieses Berechnungsmoment schematisch ist.

IV. Die *Produktion per Hektar*. Nachdem man die Stammmasse in jedem Feld erhalten hatte, konnte die Kubikmasse per Hektar durch Multiplikation mit der Stammzahl des Feldes erhalten werden. Die Arbeit wurde auf folgende Art eingeteilt. Für die Ausgangslage wurde die Stammzahl der φ -Klassen vor der Durchforstung auf einer eigenen Karte verzeichnet. Auf einer zweiten Karte wurde die Stammzahl der φ -Klassen nach jeder Durchforstung registriert. Da die Stammzahl vor einer Durchforstung gleich ist mit der Stammzahl nach der vorhergehenden Durchforstung, konnte die Serie nach der Durchforstung nach einer Verschiebung um eine Stufe für die Berechnung der Kubikmasse vor der Durchforstung verwendet werden. Dabei wurde separat mit der Stammzahl vor und nach der Durchforstung multipliziert, doch erfolgte die Berechnung innerhalb der Serien fortlaufend, so dass die Summe der Produkte in der Maschine gesammelt werden konnte.

Voraussetzung für diese Arbeitsweise ist, dass die Kubikmasse des Feldes per Stamm vor und nach der Durchforstung gleich ist. Diese Frage wurde in Kap. 24 diskutiert. Durch die Berechnung wurden in jedem Fall zwei Summen für die Kubikmasse erhalten, welche den Zustand vor und nach der Durchforstung darstellten. Mit Hilfe dieser Angaben konnten dann die Produktionstabellen auf gewöhnliche Weise zusammengestellt werden.

Kap. 29. Kritik der Bearbeitung

29.1. Einleitung

Grundlegend für eine Produktionstabelle ist die Entwicklung der Stammverteilung. Jede Tabelle hat einen gegebenen Ausgangsbestand, dessen Stammverteilung durch φ charakterisiert wird, welches eine auf bestimmte Art beschnittene Normalverteilung bezeichnet. Bei allen späteren gleichmässigen Durchforstungen bleibt das φ des Ausgangsbestandes unverändert, wird jedoch grösser durch jede Niederdurchforstung.

Die Stammverteilungen werden in relative Durchmesserklassen eingeteilt, welche durch den Wert von φ an den Grenzen der Klassen definiert und deshalb φ -Klassen genannt werden. Die Grenzen erhält man dadurch, dass man vom φ der Verteilung allmählich eine bestimmte Quote, $\frac{\varphi}{a}$, abzieht. In dieser Untersuchung wurde a gewöhnlich mit 12 angenommen. Die φ -Klassen des Ausgangsbestandes werden Ausgangsklassen genannt.

Die Bestandesentwicklung wird in Entwicklungstafeln dargestellt, in denen die Ausgangsklassen Kolonnen bilden und die verschiedenen Durchforstungsfälle Zeilen einnehmen. Jede Niederdurchforstung ändert den φ -Wert der Kolonnen, doch die vom Ausgangsbestand ausgehende Kolonneneinteilung bleibt bestehen. Die Stämme, welche vom Anfang an einer Ausgangsklasse angehörten, bleiben in derselben bis zum Endabtrieb. Ein- oder Auswachsen über die Klassengrenzen findet nicht statt.

Jede Kombination von φ -Klasse und Zeit wird »Feld« genannt. Ein solches Feld entspricht einem bestimmten, vom φ -Wert an dessen oberer und unterer Grenze bestimmten Teil der Normalverteilung. Die Stammzahl des Feldes stellt daher einen leicht zu berechnenden Teil jener Kurve dar, welche den Bestand im aktuellen Zeitpunkt darstellt (siehe Kap. 18).

Bei der weiteren Bearbeitung suchen wir die Kreisfläche des Tabellenbestandes, die Kubikmasse und später auch den Wert, alles per Hektar, vor und nach jeder Durchforstung. Zu diesem Zweck berechnen wir mit Hilfe der genannten Daten den Mittelwert per Stamm, welcher für jedes Feld gilt.

Diese Berechnungen können auf verschiedene Art ausgeführt werden. Unter 29.2 ist eine Zusammenfassung darüber zu finden, wie die Aufgabe in dieser Arbeit gelöst wurde. Danach werden gewisse Züge dieser Methode in Kap. 29.3 und 29.4 diskutiert. Der Einfluss der Streuung und die dadurch veranlasste Korrektur wird in 29.5 und 29.6 behandelt. Schliesslich wird unter 29.7 eine Methode von DWIGHT berührt, welche in wichtigen Teilen von der hier angewandten abweicht.

29.2. Die angewandte Methode

Die Methode stützt sich auf eine Kiefernuntersuchung in Nord- und Südschwe- den, welche unter 11.3 beschrieben wurde. Dabei folgte man der Entwicklung des Durchmessers bestimmter Stämme eines Bestandes vom Ausgangsjahr bis zu einem späteren Zeitpunkt. Es stellte sich heraus, dass der Zusammenhang durch die Regressionsfunktion

$$D = a + bd \dots\dots\dots \text{(siehe 11.3.1)}$$

ausgedrückt werden konnte.

Die Funktion gibt für jeden Durchmesser zu Beginn der Periode den wahrscheinlichen Durchmesser am Ende der Periode an. Um die Regressionslinie gibt es eine Streuung, welche darauf beruht, dass alle Stämme mit demselben Durchmesser nicht gleich schnell wachsen. Auf diese Streuung kommen wir später zurück, aber zuerst wollen wir die wahrscheinlichen Durchmesser betrachten.

Angenommen, die Stammverteilung des Ausgangsbestandes entspricht einer beschnittenen Normalkurve, in der $\varphi = 3$ ist. Aus 11.3.1 geht hervor, dass die wahrscheinlichen Enddurchmesser dann erhalten werden, wenn jeder Ausgangsdurchmesser mit b multipliziert und um a vermehrt wird. Da keine dieser

Operationen die Form der Stammverteilung beeinflusst, werden die wahrscheinlichen Durchmesser am Ende der Periode ebenfalls nach einer beschnittenen Normalkurve mit $\varphi = 3$ verteilt. Solange wir annehmen, dass sich die Durchmesser nach 11.3.1 entwickeln, müssen wir auch voraussetzen, dass die Form der Verteilung durch den Zuwachs nicht geändert wird.

Dementsprechend ist bei der Konstruktion von Typfällen jede Formveränderung der Stammverteilungen auf die Durchforstungseingriffe verlegt worden, während die Zuwachsperioden nur Grössenänderungen nachweisen.

Die Zuwachsberechnung erfolgte durch Regressionsanalyse von Beobachtungen, welche auf fünfjährige Intervalle reduziert wurden. Die grundlegende Untersuchung galt dem Zuwachs des arithmetischen mittl. Durchmessers, welcher durch den Zuwachsquotienten R ausgedrückt wird.

Die Figur 11.6.6 zeigt, wie die Konstanten a und b in der Funktion 11.3.1 mit R zusammenhängen. Wie allgemein bekannt, ist das Zuwachsprozent in homogenen Beständen für die unteren Durchmesserklassen grösser als für die oberen. Daraus schliessen wir, dass das a der Funktion wahrscheinlich positiv ist. In diesem Fall ist nach Fig. 11.6.6 die Konstante b kleiner als R . Andererseits kann b nach den Berechnungen, auf welche in 21.3 hingewiesen wird, nicht ohne weiteres viel kleiner als R sein. Eine gründliche Untersuchung würde wahrscheinlich wertvolle Anhaltspunkte geben können (vgl. 21.3). Da ein solches Studium im Zusammenhang mit der Hauptuntersuchung nicht aufgenommen werden konnte, wurde zu Beginn der Bearbeitung $b = R$ gesetzt.

Laut 21.2.2 wurde dadurch $a = 0$. Allgemein gelten die Konstanten a und b für Perioden von jeweils fünf Jahren, weshalb eine Umrechnung auf die entsprechenden Konstanten A und B für die ganze Entwicklung von der Ausgangslage bis zum aktuellen Durchforstungszeitpunkt (vgl. 21.6) erfolgte. Für $a = 0$ wurde auch $A = 0$. Mit Hilfe von B konnten sodann wahrscheinliche Durchmesser für jede Lage in jeder φ -Klasse bei jedem Durchforstungszeitpunkt berechnet werden.

Mit Rücksicht auf die Unsicherheit der vorliegenden Untersuchung in anderen Teilen wurde bei der Bearbeitung diejenige Form für die Beschreibung der Durchmesserentwicklung gewählt, welche am wenigsten Arbeit erforderte. Jede φ -Klasse liess man in jeder Hinsicht durch den in der Mitte der Klasse liegenden Stamm darstellen. Dementsprechend wurde bei jedem Eingriff der mittl. Durchmesser, die Kreisfläche, die Kubikmasse und der Wert des Bestandes mit Hilfe der Mittensämme der Klassen berechnet.

Aus Bearbeitungsversuchen, welche nach den in diesem Abschnitt vorgezeichneten Richtlinien durchgeführt wurden, ging jedoch hervor, dass die Resultate gegenüber der erfahrungsmässigen Beurteilung gewisse Unterschiede aufwiesen. Der mittlere Zuwachs im Alter von 100 Jahren war oft geringer als der erwartete, während der grösste Durchmesser bei gleichem Alter eine Tendenz zeigte, die als wahrscheinlich angesehene Grenze zu übersteigen.

Zu dem im vorigen Absatz angegebenen Zeitpunkt war aus praktischen Gründen eine starke Erweiterung der Untersuchung erforderlich, damit wichtigere Bestandstypen und waldbauliche Massnahmen einheitlich beleuchtet werden konnten. Dabei wurde ein gewisser Ausgleich der verschiedenen Typfälle untereinander angestrebt, und zwar bis auf weiteres ohne grössere Änderung der herrschenden Auffassung über das mittlere Niveau der Produktion. Als vorläufige Annahme von grosser Tragweite wählte ich im Mai 1948 zwei Korrekturen, welche den festgestellten Tendenzen Rechnung trugen, nämlich

$$\begin{aligned} R' &= 1,01 R \text{ und} \\ b &= 0,96 R' \end{aligned}$$

Es ist noch zu früh, über die Korrekturen abschliessend zu urteilen, doch hat bisher nichts gegen ihre Anwendbarkeit gesprochen. Dagegen wurde die Auffassung über den ursächlichen Zusammenhang vertieft, was zu einer Differenzierung der Korrekturen Anlass geben kann. Jedenfalls wurden diese Korrekturen für sämtliche veröffentlichten Produktionstabellen verwendet, mit Ausnahme gewisser Specialtabellen, welche deshalb im Kapitel »die angewandte Methode« zu finden sind.

29.3. Allgemeine Korrekturen

Die in den letzten Absätzen des Kap. 29.2 berührten Korrekturen wurden durch die Resultate motiviert. Solche Korrekturen sind in der Regel zufällig. Sie können durch Mängel im Material oder in der Bearbeitungsmethode verursacht werden. Sobald diese Mängel beseitigt sind, werden die Wirkungen der Korrekturen von den Hauptfunktionen aufgenommen.

Es gibt jedoch Fälle, bei denen eine Korrektur beibehalten werden muss, da dies die bequemste und beste Weise ist, einen bestimmten Zusammenhang auszudrücken. Wir kommen unter 29.6 auf einen Fall zurück, welcher vermutlich diese Eigenschaft besitzt.

Die Vergleiche zwischen verschiedenen Korrekturen, welche unter 29.2 dargestellt sind, wurden später vervollständigt und in der Tabelle 29.3.1 zusammengestellt. Die angeführten Ziffern wurden aus zwölf Produktionstabellen für Kiefer, Nordschweden, nicht gepflanzt, $h_{100} = 20$, genommen. Von diesen Produktionstabellen wurden nur drei in dieser Arbeit publiziert. Die übrigen wurden als Berechnungsalternativen betrachtet, welche nur im vorliegenden Zusammenhang Interesse haben. In der Tabelle 29.3.1 setzt jeder Berechnungsversuch einen Zuwachsquotienten R' voraus, welcher entweder $= R$ oder $= 1,01 R$ ist, und einen Regressionskoeffizienten b , der entweder $= R'$ oder $= 0,96 R'$ ist.

Tabelle 29.3.1. Einwirkung verschiedener Annahmen für R' und b auf den mittleren Zuwachs ohne Rinde und grössten Durchmesser L für ein Alter von 100 Jahren. Die Bezeichnung LL , welche nur bei Hochdurchforstung vorkommt, stellt den Durchmesser dar, welcher der oberen Höhe entspricht.

Bei der Beurteilung der Tabelle 29.3.1 darf nicht vergessen werden, dass das Untersuchungsmaterial keine gleichmässige oder Hochdurchforstung enthält. Die Tabellen, welche diese Bezeichnungen erhalten haben, sind ein Ausdruck für die berechnete Entwicklung des Ausgangsbestandes der Niederdurchforstungstabellen und zwar unter der Voraussetzung, dass diese gemäss einem bestimmten Programm gleichmässig oder hochdurchforstet werden, dass sich der Zuwachs nach den Zuwachsfunktionen des Niederdurchforstungsmaterials entwickelt, sowie dass die Konstruktion von Typfällen im übrigen auf den Voraussetzungen der Niederdurchforstungstabellen beruht.

Besonders die letztgenannte Bedingung interessiert uns im vorliegenden Zusammenhang. In der Tabelle für gleichmässige Durchforstung P 3 und Hochdurchforstungstabelle P 21 wurden zwei Korrekturen verwendet, welche für die Niederdurchforstung als geeignet angesehen wurden. Ob diese Anwendung der Korrekturen begründet ist, bleibt eine offene Frage zu der wir gleich zurückkommen.

Wir wollen vorerst die beiden Korrekturen mehr allgemein betrachten und beginnen mit dem Faktor 1,01. Sein Effekt bei der Niederdurchforstung wird dadurch erhalten, indem man z. B. die Reihe 4 mit der Reihe 2 vergleicht. Die Korrektur mit 1,01 vermehrt den Zuwachs mit 11,7 % und L mit 8,3 %. Die entsprechenden Grössen für die gleichmässige Durchforstung sind 10,6 % und 7,5 %, sowie bei Hochdurchforstung 10,7 % und 7,8 %.

Die Wirkung des Faktors 0,96 bei Niederdurchforstung geht z. B. aus dem Vergleich der Reihe 4 und Reihe 3 hervor. Eine Korrektur mit 0,96 vermindert den mittleren Zuwachs mit 4,6 % und L mit 20,4 %. Die entsprechenden Zahlen für die gleichmässige Durchforstung sind 9,3 % und 27,4 % und für Hochdurchforstung 7,8 % und 26,8 %.

Der gemeinsame Effekt der beiden Faktoren 1,01 und 0,96 bei Niederdurchforstung kommt durch Vergleich der Reihe 4 und Reihe 1 zum Ausdruck. Die Korrekturen vergrössern den Zuwachs mit 7,3 % und vermindern L um 13,6 %. Bei gleichmässiger Durchforstung vermehrt sich der mittlere Zuwachs um 0,7 % und L wird um 21,9 % vermindert, während sich bei Hochdurchforstung der mittlere Zuwachs um 2,2 % vermehrt und L um 21,2 % vermindert wird.

Der gesamte Einfluss der Korrekturen auf den mittleren Zuwachs kann für die Niederdurchforstung als mässig und für die beiden anderen Durchforstungsformen als unbedeutend bezeichnet werden. Im Gegensatz dazu ist die Verminderung des grössten Durchmessers L bei der Niederdurchforstung stark und bei den anderen Formen sehr stark. Da L in engem Zusammenhang mit dem Wert der Totalproduktion per Volumseinheit steht, ist diese Verminderung von grossem Interesse. Besonders bemerkenswert ist die bedeutende Verminderung von L bei der gleichmässigen Durchforstung und der Hochdurchforstung.

Beim Vergleich von Tabellen verschiedener Durchforstungsformen erwies es sich, dass die Wertproduktion bei der Niederdurchforstung viel höher war als bei der gleichmässigen und der Hochdurchforstung. Diese Frage gehört zur Abhandlung über den Produktionswert und wird hier nur im Vorbeigehen berührt. Die Produktionstabellen beziehen sich auf homogene Bestände und es gibt in diesem Fall keinen Grund die Überlegenheit der Niederdurchforstung zu bezweifeln. Dagegen kann man über die Grösse der Veränderung, die zum grössten Teil auf der Korrektur 0,96 beruht, im Zweifel sein. Diese Korrektur ist der Niederdurchforstung scheinbar gut angepasst, es ist aber nicht sicher, dass sie auch bei den anderen Durchforstungsformen begründet ist. Im Kap. 11.6 wurde der Zusammen-

hang des mit dem Korrekptionsquotienten $\frac{b}{R}$ stark verbundenen Quotienten $\frac{v}{R'}$

und der Behandlungsmethode diskutiert. Daraus ging hervor, dass $\frac{v}{R}$ die niedrigsten

Werte bei extrem starker Niederdurchforstung erhielt. Es ist daher wahrscheinlich, dass unsere Niederdurchforstungskorrektur 0,96 für die gleichmässige und die Hochdurchforstung mit höheren Werten ersetzt werden muss. Ein Vergleich der Reihen 11 und 12 in der Tabelle 29.3.1 ergibt, dass auch eine mässige Erhöhung der Korrekturen das Resultat bedeutend verbessern kann. Doch kommen gleichmässige und Hochdurchforstung im Material nicht vor, weshalb die Frage in dieser Untersuchung nicht gelöst werden konnte. Sie scheint aber grosse Aufmerksamkeit zu verdienen.

Die in der Tabelle aufscheinende grosse Wirkung einer Verminderung von b um nur 4 % kann möglicherweise überraschen. Bereits eine Änderung um 1 %

würde eine merkliche Verminderung ergeben. Dies beruht darauf, dass die übrigbleibenden Quotienten jedesmal mit dem fortlaufenden Produkt der aufgelaufenen übrigen Quotienten multipliziert werden.

29.4. Die Mittelstämme der Felder

Bei aktiver Durchforstung wird die Stammzahl in jedem Feld durch den Ausgangsbestand und das Durchforstungsprogramm bestimmt. Beide sind gegeben und werden als fehlerfrei angenommen. Die Zuverlässigkeit der Produktionsberechnung beruht in diesem Fall auf den Mittelstämmen der Felder, mit denen die Stammzahlen multipliziert werden.

Das Problem der Mittelstämme wird in diesem Abschnitt nur von statischen Gesichtspunkten aus betrachtet. Die Diskussion berührt die Verhältnisse eines Tabellenbestandes zu einem gegebenen Zeitpunkt.

Im Kap. 29.1 wurde gesagt, dass ein Feld einem bestimmten Teil der Normalverteilung entspricht, dessen obere und untere Grenze durch den φ -Wert bestimmt wird. Daher sind die Durchmesserfrequenzen im Feld bekannt und ermöglichen eine bequeme Berechnung des mittleren Durchmessers und der mittleren Abweichung im Feld.

Die Berechnung der Lage des mittl. Durchmessers in der φ -Skala erfolgt analog mit der Berechnung von M' in M 7.4.3. Dadurch, dass auch die obere Grenze der Kurve beweglich gemacht wird, erhält die Formel folgendes Aussehen:

$$\nu_1' = M = \frac{A(i) - A(j)}{C(j) - C(i)} \dots\dots\dots (29.4.1)$$

wobei M der mittlere Durchmesser des Feldes ist und zwar gemessen vom Nullpunkt der Normalkurve und ausgedrückt in der mittl. Abweichung der Kurve σn . Daraus

ist
$$Mr = Mn + M\sigma n \dots\dots\dots (29.4.2)$$

wobei Mr der mittl. Durchmesser des Feldes ist, gemessen vom Nullpunkt der Durchmesserskala.

Durch die bewegliche obere Grenze wird auch die Formel für das andere Nullpunktsmoment von dem in M 7.4.5 gegebenen Ausdruck auf

$$\nu_2' = \frac{iA(i) - jA(j) + C(j) - C(i)}{C(j) - C(i)} \dots\dots\dots (29.4.3)$$

geändert. Daraus erhalten wir

$$\sigma r^2 = \nu_2 = \nu_2' - M^2 \dots\dots\dots (29.4.4)$$

wobei σr die mittl. Abweichung des Feldes ist.

Für die ganze Kurve haben wir früher den Durchmesser des Kreisflächenmittelstammes mit Dmg bezeichnet, daraus z. B. laut 6.7.1 der Zusammenhang

$$Dmg^2 = Ms^2 + \sigma s^2 \dots\dots\dots (29.4.5)$$

Für die Anwendung auf ein Feld erhalten wir analog

$$Dmgy^2 = Mr^2 + \sigma r^2 \dots\dots\dots (29.4.6)$$

Die Gleichung drückt das bekannte Verhältnis aus, dass der Kreisflächenmittelstamm grösser als der arithm. Mittelstamm ist. Bei der Berechnung der mittl. Kubikmasse und des mittl. Wertes pro Stamm für jedes Feld, kommen empirische Faktoren hinzu, welche von Fall zu Fall beurteilt werden müssen. Der Ausgangspunkt für diese Berechnungen ist der Kreisflächenmittelstamm des Feldes. Es ist offensichtlich, dass die mittl. Kubikmasse normalerweise grösser ist als die Masse des Kreisflächenmittelstammes und dass der Mittelwert normalerweise den Wert des Massenmittelstammes übersteigt.

Wir wollen nun einen Ausgangsbestand betrachten, für den alle Durchmesser gegeben sind. Diese bilden eine Verteilung mit gegebenem φ . Die Kreisfläche des Bestandes, Kubikmasse und Wert können durch Messung Stamm für Stamm und Summierung erhalten werden. Doch können die angegebenen Grössen mit ziemlicher Genauigkeit durch Bestimmung des Mittelstammes der φ -Klassen (Felder) berechnet werden.

Wenn wir zu diesem Zweck die arithmetischen Mittelstämme der Felder verwenden, werden die Resultate zweifellos zu niedrig, wenn aber der Umfang der Klassen nicht grösser als der in der Untersuchung verwendete ist, werden die Fehler unbedeutend. Wir können auch — um einfachere Zusammenhänge zu erhalten — unsere Berechnungen auf den Mittendurchmesser der Felder basieren. Diese sind, je nach Lage des Feldes in der Normalkurve, grösser oder kleiner als die mittl. Durchmesser. Die Mittendurchmesser sind überwiegend soviel grösser, dass Kreisfläche, Masse und Wert eine Tendenz für etwas zu hohe Resultate zeigen. Auch diese Fehler sind bei geringem Klassenumfang unbedeutend.

29.5. Der Einfluss der Streuung

Wir wollen nun annehmen, dass der in den letzten Absätzen des Kap. 29.4 beschriebene Ausgangsbestand fünf Jahre lang wachsen kann und die Durchmesserentwicklung nach der in Kap. 29.2 zitierten Funktion 11.3.1 vor sich geht. Für jeden Mittendurchmesser in einer Ausgangsklasse gibt die Funktion einen wahrscheinlichen Mittendurchmesser am Ende der Periode an. Diese Enddurchmesser werden durch Punkte auf der Regressionslinie dargestellt. Es zeigt sich jedoch um die Regressionslinie eine Streuung, da nicht alle Stämme mit gleichem Ausgangsdurchmesser gleich grossen Zuwachs haben. Diese Streuung beeinflusst nicht die wahrscheinlichen Durchmesser, vergrössert aber die Durchmesser der entsprechenden Kreisflächenmittelstämme. Der Zusammenhang wird durch die Funktion

$$Dmg^2 = M^2 + S^2 \dots\dots\dots (29.5.1)$$

wiedergegeben. Dieser Ausdruck gleicht 29.4.6, unterscheidet sich aber durch den Inhalt. Es galt daher den statischen Kreisflächenmittelstamm eines Feldes zu bestimmen, in dem der mittl. Durchmesser M und die mittl. Abweichung σ war. Nun handelt es sich hier nur um Mittenstämme, welche demselben Feld angehören. Deren mittl. Durchmesser ist M . Auf Grund der verschiedenen Wachstumsgeschwindigkeit entsteht um M die Streuung S . Wir suchen in 29.5.1 den Kreisflächenmittelstamm für diese Mittenstämme.

Laut 29.5.1 muss, falls die Streuung vorhanden ist, der Kreisflächenmittelstamm der Mittenstämme grösser sein als der wahrscheinliche Mittenstamm. Dasselbe gilt in noch höherem Grad für die Massen- und Wertmittenstämme.

Der Kreisflächenmittenstamm wird nur durch die Durchmesser bestimmt und kann

daher mathematisch berechnet werden, sobald M und S des Durchmesserzuwachses bekannt sind. Die Berechnung von M geht aus 21.6 hervor. Die Bestimmung von S kann im günstigsten Fall von der bei der Zuwachsberechnung verwendeten Funktion geholt werden. Der Durchmesser des Kreisflächenmittelstammes, D_{mg} , ergibt sich dann aus 29.5.1. Die entsprechende Mittelkreisfläche nennen wir wahrscheinliche Mittelkreisfläche.

Die Berechnung der Massen- und Wertmittelstämme der Felder wird dadurch erleichtert, dass es sich hier um dieselben Mittenstämme wie in der Kreisflächenberechnung handelt. Die Geschwindigkeitsvariation muss in allen drei Fällen dieselbe sein und sich auf dieselbe Weise in der Durchmesserstreuung zeigen. Durch Massenberechnung und Wertbestimmung von Stämmen mit deren Durchmesser erhalten wir die Verteilungen der Mittenstämme bezüglich Masse und Wert. Daraus berechnet man die wahrscheinliche mittl. Masse und den wahrscheinlichen mittl. Wert.

Wir haben hier die Bedeutung der Streuung nur für eine Zuwachsperiode studiert. Man kann sich dann natürlich fragen: wie geht es weiter? Wir bewegen uns immer in derselben Kolonne, also derselben ursprünglichen φ -Klasse. Unser Ausgangsdurchmesser ist der Mittenstamm der Ausgangsklasse. Aber am Beginn der nächsten Periode liegen jene Durchmesser vor, welche die Streuung erzeugen und es ergibt sich die Frage, wie die neue Streuung von diesen Durchmessern ausstrahlt. Man kann annehmen, dass die Streuung eine natürliche Tendenz hat sich zu vergrößern, jedoch bei Durchforstungen vermindert wird, weshalb deren Nettoentwicklung schwer vorausszusehen ist. Jedoch umfasst unsere Zuwachsberechnung immer die ganze Periode vom Ausgangsbestand bis zum aktuellen Zeitpunkt. Das Problem über die weitere Entwicklung der Streuung macht sich daher nicht von selbst bemerkbar. Seine Bedeutung für das Resultat dürfte deshalb sehr auf der Art und Weise der grundlegenden Streuungsbeurteilung beruhen.

Wir kehren zur Bestandesentwicklung des Typfalles zurück. Auch im günstigsten Fall sind die angegebenen Berechnungen so kompliziert, dass sie nicht in die normale Typfallskonstruktion aufgenommen werden können. Sollte diese aber in einer ausreichenden Anzahl von Beispielen durchgeführt und dann zu Korrekturen für den normalen Gebrauch verallgemeinert werden können, so wäre dies von grosser Bedeutung. Wir kommen darauf in Kap. 29.6 zurück.

Leider konnte diese Arbeitsweise in der vorliegenden Untersuchung nicht verwendet werden. Die grundlegende Zuwachsberechnung bezieht sich nämlich auf die mittl. Durchmesser. Die Streuung der Zuwachsfunktionen zeigt daher nur Abweichungen zwischen den Flächen, während die Abweichungen innerhalb der Flächen wegfielen. Da die Zuwachsfunktionen logarithmisch sind, wird der Überblick zusätzlich erschwert.

Für die Wahl des mittl. Durchmessers als Grundlage der Zuwachsberechnung und für die Wahl logarithmischer Funktionen waren damals starke Gründe ausschlaggebend. Diese Beschlüsse brachten viele Vorteile, doch sind unsere Möglichkeiten für die Berechnung der Streuung dadurch zweifellos vermindert worden.

Dazu kommen gewisse Unterschiede zwischen den Produktionstabellen und dem Material, besonders im spätern Teil der Bestandesentwicklung. Die Tabellen gelten für Bestände, welche von der frühesten Jugend an durchforstet wurden, während die Materialbestände erst seit einigen Dezennien von Durchforstungen beeinflusst worden sind. Es ist unsicher, in welchem Mass die Streuung der Materialbestände auf die Tabellen übergreifen kann.

29.6. Die Korrektur für die Streuung

Unter den gegenwärtigen Verhältnissen dürfte der Einfluss der Streuung am besten durch Regressionsanalyse der Entwicklung einer geringeren Anzahl Versuchsflächen untersucht werden können. Als Objekt wären am besten einige der am längsten beobachteten Flächen zu wählen. Die Methode würde dieselbe sein, welche unter 11.3 beschrieben ist, doch ohne das Mittel der Durchmesserklassen zu bilden. Für jede einzelne Revision, ausser der ersten, ist die Regression der entsprechenden früheren Durchmesser über den Durchmessern derselben Stämme bei der ersten Revision zu untersuchen. In erster Linie müsste die Arbeit auf lineale Regression abzielen. Für jede Regression ist die Streuung zu berechnen. Durch Studium der Streuung werden dann Unterlagen für praktische Streuungskorrekturen gesucht.

Bei der Planung der Bearbeitung der Produktionsflächen konnten jedoch solche Streuungsstudien der Hauptuntersuchung nicht vorausgehen. Die Beobachtungszeiträume waren zu diesem Zeitpunkt zu kurz und es waren allzu viele Probleme zu lösen. Aus 29.2 ist zu ersehen, dass die Berechnung der Kreisflächen, Kubikmassen und Werte versuchsweise auf den wahrscheinlichen Mittendurchmessern in jedem Feld, welche man mit einer einfachen Regressionsfunktion erhält, basiert wurden. Die Beurteilung dieser Resultate ergab dann die Einführung der unter 29.3 diskutierten zwei Korrekturen.

Da diese Korrekturen durch Beurteilung der Resultate zustande kamen, enthalten sie alle Arten zu korrigierender Mängel. Da die Resultate wahrscheinliche Durchmesser voraussetzen, ist auch die Streuung in den Korrekturen inbegriffen.

29.7. Die Methode von DWIGHT

In diesem Zusammenhang muss eine Methode erwähnt werden, welche ziemlich stark von der hier angewendeten abweicht. Diese wurde von T. W. DWIGHT, Professor an der School of Forestry, University of Toronto, vorgeschlagen. Eine Darstellung der Methode DWIGHTS gab L. A. SMITHERS (»The Dwight Cofrequency Principle in Diameter Growth Analysis«, Canada, Dep. of Mines and Resources, Silvicultural Research Note, No. 91. Ottawa 1949). Nach SMITHERS soll DWIGHT die Methode in einem unveröffentlichten Manuskript im Jahre 1931 entwickelt haben. Von SMITHERS' Artikel habe ich erst im Jahre 1954 erfahren, als fil. lic. BERTIL MATÉRN mich darauf aufmerksam machte.

DWIGHT geht aus von Durchmesserbeobachtungen in einem Bestand zu einem früheren Zeitpunkt (Durchmesser X) und einem späteren Zeitpunkt (Durchmesser Y). Er diskutiert die Regressionen Y auf X und X auf Y . Um beide gibt es eine Streuung, welche dadurch entsteht, dass Stämme mit demselben Ausgangsdurchmesser verschieden schnell wachsen.

In der Regressionsanalyse werden alle diese Alternativen durch Klassenmittlerwerte dargestellt, welche die wahrscheinlichen Enddurchmesser der Ausgangsdurchmesser angeben. Indessen hat aber die Massenberechnung am Ende der Periode die wahrscheinlichen Durchmesserquadrate als Grundlage und diese sind wegen der vorhandenen Streuung grösser als die Quadrate der wahrscheinlichen Durchmesser. In der Untersuchung wurden die letzteren verwendet, doch wurde die Tendenz zu Fehlern durch allgemeine Korrekturen aufgewogen.

Dieser Schwierigkeit will DWIGHT durch eine Änderung der Zielsetzung entgegenzutreten. Er verzichtet auf die Beurteilung des Zuwachses einzelner Stämme und

versucht dagegen einen Überblick über die Entwicklung der ganzen Verteilung zu erhalten. Zu diesem Zweck werden die Durchmesser X nach der Grösse geordnet und danach, unabhängig von X , die Durchmesser Y . Die Punkte (X_i, Y_i) , welche Durchmesserpaare mit derselben Ordnungszahl darstellen, werden in einem Koordinatensystem eingetragen und mit einer geraden Linie, welche durch den Mittelpunkt (\bar{X}, \bar{Y}) geht, ausgeglichen. \bar{X} und \bar{Y} sind Mittelwerte von X und Y .

Diese Linie ist DWIGHTS »Cofrequency line«. Sie liegt zwischen den beiden Regressionslinien und wird als streuungsfrei angenommen. Die Linie drückt die Relation zwischen denjenigen Durchmessern aus, welche dieselbe Position in der früheren und späteren Ordnungsfolge haben. Unsere wahrscheinlichen Individuumdurchmesser werden durch die wahrscheinlichen Positionsdurchmesser ersetzt.

Wir wollen die Wirkungen dieses Austausches betrachten. Die einzelnen Stämme mit demselben Ausgangsdurchmesser wachsen wie früher ungleich schnell, aber dies hat nur zur Folge, dass sie auf verschiedene Plätze in der Endverteilung kommen. In jeder Position der Endverteilung gibt es nur gleiche Durchmesser. Eine eventuelle Streuung innerhalb der Position nennen wir beispielsweise eine »echte« und stellen fest, dass hier keine echte Streuung entstehen kann. Hingegen können die Beobachtungen von der Ausgleichslinie abweichen, doch ist dies eine andere Sache (vgl. 5.2 und 6.2).

Im Vorhergehenden wurde gezeigt, wie die Kofrequenzlinien eingezeichnet werden, wenn die Durchmesser X und Y bekannt sind. Unsere Aufgabe besteht in vielen Fällen darin, bei bekannten Durchmessern X die Positionsdurchmesser Y zu berechnen. Hierzu ist es notwendig, die in allen diesen Fällen anwendbaren Kofrequenzlinien zu kennen. Es ist leicht einzusehen, dass eine Lösung der Produktionsprobleme nach DWIGHTS Idee dieselben Dimensionen wie die hier vorgelegte Untersuchung hat. Eine solche Arbeit kann nicht improvisiert werden.

Indessen ist der Gedanke ein gründliches Studium wohl wert. Dadurch dass die echte Streuung wegfällt, erhält man den grossen Vorteil, dass dieselben Durchmesser der Berechnung von mittl. Durchmesser, Kreisflächenmittel, Massenmittel und Mittelwert eines »Feldes« zu Grunde gelegt werden können.

Zuerst muss untersucht werden, wie die Kofrequenzlinie in einer grossen Zahl von verschiedenen Fällen zu liegen kommt. Die Existenz nahezu gerader Kofrequenzlinien ist nämlich kaum für kanadische Verhältnisse bewiesen und noch weniger für schwedische. Müssen gekrümmte Linien verwendet werden, so bedeutet dies eine bedeutende Komplikation, besonders mit Rücksicht auf die wechselweise Berechnung von Durchforstung und Zuwachs.

Wenn es sich zeigt, dass die Kofrequenzlinie gerade ist, und durch den Mittelpunkt (\bar{X}, \bar{Y}) geht, so ergeben sich interessante Vergleiche mit den Regressionslinien der Figur 11.6.6. Der Mittelpunkt ist dort als $[Ms 2]$, $Ms 1$ bezeichnet. Durch die Drehung der Regressionslinie um diesen Punkt kann sie verschiedene Lagen einnehmen. Unter den angegebenen Voraussetzungen fällt die Kofrequenzlinie mit einer dieser Lagen zusammen. Es kann lehrreich sein, wenn man sieht, wo dies geschieht. In diesem Zusammenhang wird an die Kontrolle der Neigung der Regressionslinie erinnert, welche man gemäss 29.3 durch Berechnung des grössten Durchmessers bei 100 Jahren erhalten kann.

Auch wenn festgestellt wird, dass die Kofrequenzlinie gerade ist, so sind wir nicht weiter als zu unserer entsprechenden Feststellung unter 11.3.1 gekommen. Für die Beurteilung der kommenden Entwicklung müssen wir viele Versuchsflächen

untersuchen und die Beobachtungen müssen auf die eine oder andere Weise verallgemeinert werden. Mit Rücksicht auf die zentrale Stellung des mittl. Durchmessers in der Überlegung DWIGHTS ist es wahrscheinlich vorteilhaft — wie auch in dieser Untersuchung — Funktionen für die Berechnung des Zuwachses des mittl. Durchmessers abzuleiten. Zu den Vorbereitungen gehört auch eine gut fundierte Untersuchung über die Neigung der Kofrequenzlinie unter verschiedenen Voraussetzungen, wie geographische Lage, Holzart, Bonität, Alter und Durchforstungsart. Dabei dürfte es sich als geeignet erweisen, die Neigung als Teil des Zuwachsquotienten R des mittl. Durchmessers auszudrücken. Danach muss es möglich sein, zu Aufgaben voraussagender Art, in erster Linie Produktionstabellen, überzugehen.

VI. Heterogene Bestände. Methodik

Kap. 30. Methodik für Produktionstabellen

30.1. Einleitung

In dieser Abhandlung sind homogene, reine Bestände mit gleichmässiger Verteilung auf der Fläche, homogen genannt worden. Die übrigen Bestände wurden heterogen genannt. Zur letzteren Gruppe gehören also Bestände, welche nicht homogen und nicht rein sind und keine gleichmässige Verteilung auf der Fläche besitzen.

Die heterogenen Bestände unseres Landes stellen einen starken Wechsel von Typen dar. In dieser Gruppe gibt es oft mehr oder weniger grosse Anteile von Laubholz. Nachdem wir unsere Aufgabe auf »die Massenproduktion des Nadelwaldes« beschränkt haben, sind alle Bestände mit Laubholzanteil ausgeschieden worden.

Die heterogenen Bestände werden im ersten Absatz durch Negationen bestimmt. Dieses Verhältnis setzt seinen Stempel auf die Zusammensetzung der Gruppe. Während z. B. der Begriff homogen nur eine Altersrelation umfasst, kann der Begriff heterogen vielen Graden der Ungleichaltrigkeit entsprechen. Das gleiche gilt für die Definitionen »nicht rein« und »keine gleichmässige Verteilung auf der Fläche«. Dazu kommt, dass die Abweichungen der drei Eigenschaften von den entsprechenden Eigenschaften in homogenen Beständen auf verschiedene Art kombiniert sein können.

Aus dem Gesagten geht hervor, dass der Begriff »heterogener Bestand« sehr vieldeutig ist. Man kann nicht erwarten, dass diese Bestände für gleich einheitliche Untersuchungsmethoden wie in den homogenen Beständen zugänglich sind. Wir fragen uns nun, wie und auf welche Weise heterogene Bestände für Produktionstabellen bearbeitet werden können. Dabei beschränken wir uns auf solche Bestandestypen, welche nur in einer dieser drei Eigenschaften vom entsprechenden homogenen Bestand abweichen. Wir erhalten dadurch drei Untersuchungsalternativen, die in den folgenden drei Abschnitten näher betrachtet werden.

30.2. Holzartenmischung

Den homogenen Beständen am nächsten stehen diejenigen, welche nicht rein sind, d. h. mehr als eine Holzart erhalten. Nachdem wir uns auf den Nadelwald beschränkt haben, handelt es sich um Mischungen von Kiefer und Fichte. Unsere

Erwägungen über diese Typengruppe gelten also gleichaltrigen Mischbeständen von Kiefer und Fichte mit gleichmässiger Verteilung auf der Fläche.

Solche Bestände entwickeln sich hauptsächlich auf dieselbe Art wie die homogenen Bestände. Es gibt in jeder Bonität einen Ausgangsbestand, der durchforstet wird und bis zum Endabtrieb weiterwächst. Der Unterschied ist jedoch bedeutend, vielleicht hauptsächlich vom Standpunkt der Untersuchung aus. Wir müssen im Einzelnen statt einer Entwicklung zwei nachweisen. Dadurch wird die Arbeit sowohl für die Entwicklung der Stammzahl als auch des Zuwachses erschwert.

Soweit ich die Sache übersehen kann, kommen die meisten Schwierigkeiten von der Durchforstung, d. h. hinsichtlich der Entwicklung der Stammzahl. Die Notwendigkeit von Beobachtungen zusammenhängender Entwicklungen wird noch wichtiger als in homogenen Beständen. Dagegen bildet das Studium des Zuwachses keine theoretischen Schwierigkeiten. (Einige der unabhängigen Variablen müssen verdoppelt werden, sodass beide Holzarten bei der Angabe der Voraussetzungen für den Zuwachs vertreten sind. Als abhängige Variable wird zuerst der Ausdruck für den Zuwachs der einen Holzart eingesetzt und dann — durch Austausch — der entsprechende Ausdruck für die andere Holzart. Dies geht verhältnismässig rasch vor sich und beansprucht etwa ein Viertel der Arbeit für die erste Analyse.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass von diesem Typ Produktionstabellen erstellt werden können. Dafür ist jedoch mehr Arbeit als in den homogenen Fällen erforderlich, weshalb die Anzahl der Tabellenversuche begrenzt werden muss. Tabellen dieser Art erhalten ihre grösste Bedeutung durch Vergleiche mit den entsprechenden homogenen Tabellen. Man kann auf diese Weise Relationen finden, die Verallgemeinerungen möglich machen.

30.3. Ungleichmässige Verteilung auf der Fläche

Probleme, welche durch ungleichmässige Verteilung auf der Fläche entstehen, werden am besten durch genaue Kleinuntersuchungen anderer Art als der hier beschriebenen behandelt.

30.4. Ungleichaltrigkeit

Schliesslich bleiben nur die ungleichaltrigen Bestände, von denen wir hier nur die reinen Bestände mit gleichmässiger Stammverteilung auf der Fläche betrachten. Die Altersvariation kann von unbedeutenden Abweichungen, welche in homogenen Beständen geduldet werden, bis zum reinen Plenterwald mit seiner vollständigen Altersklassenverteilung alles umfassen. Die meisten Typen in dieser Gruppe müssen als zufällig entstanden betrachtet werden und können kaum verallgemeinert werden. Nur den Plenterwald kann man, zumindest theoretisch, als eine bestehende Erscheinung bezeichnen. Wegen des grossen Interesses, welches die Plenterung im Laufe der Zeit und in verschiedenen Länder gefunden hat, ist deren Untersuchung sicher wertvoll. Es ist wünschenswert, dass dabei der Kontakt mit der Bonitierung der homogenen Bestände nicht verloren geht, jedoch dürften im Übrigen solche Untersuchungen mit den hier vorgelegten wenig gemeinsam haben. Die spezielle Methode, welche für das Studium der Plenterung notwendig ist, wird sich am besten bei der Arbeit mit Kleinuntersuchungen herauskristallisieren.

30.5. Normale und abnorme Bestände

Im Kap. 30 ist untersucht worden, inwieweit heterogene Bestände Produktionstabellen zu Grunde gelegt werden können. Wir haben gefunden, dass die Holzartenmischung kein Hindernis darzustellen braucht, dass aber die Arbeit dadurch stark vergrößert wird. Bei anderen Formen der Heterogenität scheinten die Erfolgsaussichten für eine solche Bearbeitung gering zu sein.

Dabei wurde vorausgesetzt, dass die Produktionstabellen ganze Entwicklungen darstellen sollen, die zu Typfällen verallgemeinert werden (vgl. 25.3). Der Hauptzweck dieser Tabellen ist die Erleichterung der Wahl von Arten der Verjüngung, Jungwuchspflege, Durchforstung und des Endabtriebes, mit einem Wort ein Pflegeprogramm. Die Wahl der Methode geschieht durch Vergleichen der Resultate von Tabellen mit verschiedenem Pflegeprogramm, jedoch mit sonst gleichen Voraussetzungen.

Das so gewählte Programm dient als Anleitung für die Bestandespflege in dieser Generation und wird der Beurteilung der Bestandesentwicklung in der nächsten Generation und später zu Grunde gelegt.

Die Gesichtspunkte, welche in den zwei letzten Absätzen angeführt wurden, gelten vor allem für homogene Bestände und sind früher in diesem Zusammenhang berührt worden. Diese Gesichtspunkte werden hier wiederholt um die Gültigkeit für verschiedenartige Bestände für die Produktionstabellen erstellt werden können, zu unterstreichen.

Das auf die beschriebene Art für einen bestimmten Ort gewählte Pflegeprogramm und die dazu entsprechende Produktionstabelle wird normal genannt. Ein Bestand auf diesem Ort, der im Allgemeinen mit der Tabelle übereinstimmt, wird ebenfalls normal genannt. Bei grösseren Abweichungen wird der Bestand abnorm genannt.

Kap. 31. Methodik für kurze Untersuchungen

31.1. Einleitung

Unter 30.5 wurde gesagt, dass die nach Vergleich verschiedener Produktionstabellen gewählten Pflegeprogramme als Anleitung für die Forstpflge in dieser Generation dienen sollten. Da die in Frage stehenden Bestände früher gewöhnlich anders behandelt wurden als nach dem Programm, müssen sie oft nach den hier angegebenen Gesichtspunkten als abnorm betrachtet werden, was wiederum den Vergleich mit den Tabellen erschwert. Besonders beim Endabtrieb will man sich deshalb gern auch auf andere Kriterien stützen, welche mehr unter Einfluss der Eigenschaften des betreffenden Bestandes stehen.

31.2. Jetzt oder nächstes Mal

Im Leben eines Bestandes kommt es früher oder später vor, dass der Forstpfleger zweifelt, ob mit der Durchforstung fortgesetzt werden soll, oder ob die Zeit für den Endabtrieb gekommen ist. Er wird dann vor die Frage gestellt: »Jetzt oder nächstes Mal?« Wenn die Antwort »Jetzt« lautet, ist die Folge definitiv, der Bestand wird abgetrieben. Die Antwort »nächstes Mal« kann dagegen einer weite-

ren Prüfung bei der nächsten Durchforstung unterzogen und der Endabtrieb nochmals aufgeschoben werden.

Ihrer Natur nach ist diese Frage eine wirtschaftliche, weshalb in diesem Zusammenhang darüber nicht weiter diskutiert werden soll. Für die Beantwortung solcher Fragen sind jedoch gewisse Entwicklungsuntersuchungen erforderlich, deren Methodik zu dieser Darstellung gehört.

Die Aufgabe wird durch die Überschrift dieses Abschnittes charakterisiert. Beim Endabtrieb jetzt, wird die derzeitige Holzmenge des Bestandes geerntet, welche auf gewöhnliche Weise bestimmt werden kann. Wenn dagegen der Endabtrieb hinausgeschoben wird, wird der Bestand jetzt durchforstet und kann dann bis zum nächsten Mal weiterwachsen. Die Berechnung dieses künftigen Zuwachses soll hier diskutiert werden. Der Zuwachs soll so bestimmt werden, dass dessen Wert berechnet werden kann.

31.3. Die Zuwachsuntersuchung

Die Aufgabe welche im vorigen Abschnitt gestellt wurde, zeigt eine gewisse Ähnlichkeit mit der Problemstellung in normalen Beständen. Wie dort, ist Material von beobachteten Zuwachswerten erforderlich, welche ein Durchforstungsintervall umfassen, sowie eine Beschreibung des Bestandes nach der Durchforstung. In beiden Fällen ist es vorteilhaft, wenn die Beschreibung statt dessen sowohl den Zustand vor der Durchforstung als auch die eigentliche Entnahme erfassen kann. Die Aufgaben unterscheiden sich vor allem dadurch, dass der Zuwachs eines Durchforstungsintervalles normalerweise ein Element der Produktionstabelle ist, während er im abnormen Bestand freistehende Bedeutung hat.

Die notwendigen Beobachtungen können in beiden Fällen auf festen Versuchsflächen oder als einmalige Untersuchung durchgeführt werden. Auf Grund der grossen Bedeutung der Bestandesgeschichte in abnormen Beständen, sollen jedoch in diesem Fall feste Versuchsflächen angestrebt werden.

Die im Wald vorkommenden Bestandestypen sind in der abnormen Gruppe unvergleichlich mehr differenziert als in der normalen. Die grössere Variation ist ein Vorteil für die Ausgleichung, erschwert aber in hohem Grade die Definition der Voraussetzungen des Zuwachses. In dieser Hinsicht spielt die Bestandesgeschichte eine bedeutende Rolle.

Für die praktische Anwendung wäre es am bequemsten, wenn die Resultate aus abnormen Beständen als Produktionstabellen für einzelne Intervalle aufgestellt werden könnten. Dies ist aber auf Grund der grossen Variation schwer. Man wäre gezwungen Hilfsmittel für die Berechnung des Zuwachses, besonders Zuwachsfunktionen, zu publizieren.

Auf diesem Gebiet bleibt noch viel zu tun. In unserem Land sind auf gewissen Gebieten Spezialuntersuchungen durchgeführt worden, vor allem eine Arbeit von NÄSLUND (1942). Aber im Grossen gesehen sind die abnormen Bestände, die in der Praxis den grössten Teil des Waldes ausmachen, noch unerforscht.

31.4. Die Beurteilung des Zuwachses

In den abnormen wie in den normalen Beständen wird man oft infolge Zeitmangel gezwungen, die Zuwachsberechnung durch Beurteilung zu ersetzen. Dabei bedient man sich von Relationen verschiedener Art, die durch allgemeine Unter-

suchungen als anwendbar angesehen werden. Nach der Natur der Sache werden solche Beurteilungen in abnormen Beständen doch weniger sicher sein als in normalen.

VII. Homogene und heterogene Bestände

Kap. 32. Schlusswort über die Methodik

32.1. Die Disposition der Kapitel 1—31

Kap. 1 und 2 enthält die Vorgeschichte der Untersuchung bis zur Wahl der Bearbeitungsmethode. Kap. 3 gibt eine Übersicht über das Material.

In den Kapiteln 4—8 werden allgemeine methodische Fragen mit besonderer Berücksichtigung der Einzelheiten behandelt.

Die Kap. 9—24 geben Rechenschaft für die Berechnung eines jeden besonderen Momentes in der Bestandesentwicklung. Auch hier liegt das Hauptgewicht auf den Einzelheiten.

Kap. 25—31 behandeln ebenfalls die Bestandesentwicklung, jedoch vom Gesichtspunkt der Gesamtheit heraus.

32.2. Viele Anweisungen sind nur für zufällige Verwendung vorgesehen

In der Abhandlung kommen verschiedene Anweisungen vor, welche im gewöhnlichen Fall nicht zu beachtet werden brauchen. Sie haben nur ein vielseitigeres Eindringen in die Möglichkeiten der Methode erleichtert. Bei solchen Arbeiten ist nichts so nützlich als die Betrachtung derselben Erscheinung aus verschiedenen Gesichtspunkten. Man gewinnt einen besseren Überblick, wenn man hie und da ein alternatives Verfahren versucht.

32.3. Die Forschung und die Praxis stellen verschiedene Forderungen

Bei der Bearbeitung eines Produktionsmaterials wird die Planung der Arbeit oft von entgegengesetzten Interessen beeinflusst.

Vom wissenschaftlichen Standpunkt aus soll die Untersuchung so sehr als möglich konzentriert werden. Man soll sich am besten auf eine Materialgruppe beschränken und die erhaltenen Funktionen nur bei einem Typfall ausprobieren. Dadurch wird es möglich, das Problem durch wiederholte Versuchslösungen gründlich zu studieren. Erst nachdem man eine zufriedenstellende Lösung für den gewählten Typfall (Versuchsfall) erhalten hat, wird die Arbeit so ausgedehnt, dass sie auch andere Typfälle umfasst. Die Berechnung derselben ist dabei in der Regel eine einfache Anwendung der Funktionen und anderer Erfahrungen, die im Versuchsfall gewonnen wurden. Durch diese Arbeitsweise wird der gesamte Zeitaufwand und die Kosten auf ein Minimum reduziert.

Das praktische Interesse an dieser Sache dürfte auf längere Sicht mit dem wissenschaftlichen zusammenfallen. Dagegen gibt es ein kürzeres praktisches Interesse, welches die möglichst schnelle Ausbreitung der Untersuchung ohne Rücksicht auf die grundlegende Versuchsarbeit fordert. Auf diese Weise entstehen Lösungen, welche bald umgearbeitet werden müssen.

32.4. Die Zuverlässigkeit der Methoden

Wer sich mit diesen Fragen beschäftigt wird von zwei Fallen bedroht, die gleich gefährlich sind, nämlich die Methoden entweder zu über- oder zu unterschätzen.

Wir wollen zuerst einen günstigen Fall betrachten. Angenommen wir verfügen über ein genügend grosses und gut verteiltes Material, nutzen die Möglichkeiten der Regressionsanalyse aus Funktionen herzustellen, die diesem Material gut entsprechen, wir berechnen mit Hilfe der Funktionen die Entwicklung von Typfällen, und diese Berechnung erfüllt unsere Ansprüche auf Sicherheit — ja, dann besitzen wir das Recht, die erhaltene Produktionstabelle als zuverlässig zu betrachten. Damit ist jedoch nichts über die Verwendbarkeit der Tabelle gesagt, die erst durch Vergleich mit den Ergebnissen anderer Produktionstabellen bestimmt wird.

Hier soll nicht festgestellt werden, in welchem Ausmass so günstige Fälle wie die beschriebenen in der schwedischen Produktionsforschung vorkommen können. Auf Grund der Materialverhältnisse ist es möglich, dass diese Fälle Ausnahmen darstellen, aber es ist sicher, dass der Mangel langsam verschwindet (vgl. 26.7). Sobald es das Material zulässt, ist es ohne Zweifel möglich, zuverlässige Produktionstabellen zu erstellen.

Es wäre aber meiner Meinung nach ein grosser Fehler, wenn man in dieser Situation die vorliegende Methode unterschätzen würde. Die Gewissheit, dass die forstlichen Produktionsfragen unter günstigen Verhältnissen gelöst werden können, gibt uns Mut zu fortgesetzter Arbeit. Es ermahnt uns, nach bestem Vermögen dafür zu sorgen, dass die günstigen Verhältnisse bald Wirklichkeit werden.

Auf der anderen Seite müssen wir uns bewusst sein, dass im ungünstigen Fall bei einer oder mehreren unserer Annahmen im zweiten Absatz Mängel vorhanden sind. Das Ergebnis wird dann nicht gleich zuverlässig und wir haben kein Recht, uns auf die Vorteile der Methode im günstigen Fall zu stützen. Wenn wir das übersehen, überschätzen wir die genannte Methode und schaden der Produktionsforschung ernstlich.

32.5. Schliesslich eine Frage der Beurteilung

Laut Kap. 26.8 sind die Produktionstabellen mit drei Gradbezeichnungen versehen, von denen A berechnete, C beurteilte Tabellen und B einen dazwischen liegenden Fall angeben. Unter A stehen Tabellen in welchen die Entwicklung des Durchmessers mit der Regressionsanalyse nach eigenem Material und die Entwicklung der oberen Höhe aus direkten Beobachtungen berechnet wurde. Die Grade B und C können in diesem Zusammenhang ausgelassen werden.

Wie es scheint sind die Anforderungen an den höchsten Grad, A , ziemlich anspruchslos. Es wird nur verlangt, dass die Entwicklung des Durchmessers und der oberen Höhe auf besondere Weise berechnet werden sollen. Die Materialkritik des Kap. 32.4 hat die Einteilung nicht beeinflusst. Deshalb kann gesagt werden, dass auch die Berechnung des Grades A ein Moment der Beurteilung enthält.

Noch mehr durch Beurteilungen beeinflusst wird die Anwendung der Produktionstabellen. Die Tabellen gelten für homogene Bestände, aber die Waldbestände sind oft heterogen. Auch in anderer Hinsicht entstehen oft Verschiedenheiten zwischen den Voraussetzungen der Bestände und der Tabellen. Der Schritt von der Tabelle zum Wald muss in der Regel durch Beurteilung erfolgen.

Dieses Verhältnis vermindert aber nicht die Bedeutung der Berechnungen, die hinter den Produktionstabellen liegen. Ohne diese sorgfältigen Vorarbeiten würde die Beurteilung wenig Wert haben.

VIII. Resultat

Kap. 33. Massenproduktion und Wertproduktion

33.1. Einleitung

Bevor wir das Ergebnis der vorliegenden Untersuchung diskutieren, ist es notwendig die Perspektive zu erweitern. Diese Arbeit trägt den Titel »Die Massenproduktion des Nadelwaldes«, und die Ergebnisse, für die Rechenschaft abgelegt wird, werden in Übereinstimmung mit dem Titel begrenzt. Doch hat die vorliegende Untersuchung viel grössere Reichweite, da sie auch die Unterlage für eine geplante Publikation über »Die Wertproduktion des Nadelwaldes« ist. Die letztere Abhandlung baut nicht direkt auf der ersteren auf, sondern beide sind Äste desselben Stammes. Die grundlegende Bearbeitung ist für beide Aufgaben gemeinsam, bis und mit die Tafeln über Stammanzahl, Durchmesser und Höhen in allen φ -Klassen (vgl. Kap. 28).

33.2. Die Massenproduktion

Von den genannten Tafeln geht die Massenberechnung weiter zu den Produktionstabellen, welche im Teil XIV enthalten sind. Vorher wurde gesagt, dass die Tafeln für homogene Bestände gelten, welche nach einem angegebenen Programm gepflegt werden, während die Waldbestände gewöhnlich heterogen sind und ausserdem dadurch abweichen, dass sie auf andere Weise behandelt werden. Die Tabelle kann daher selten direkt angewendet werden, sondern die Überführung auf wirkliche Bestände muss durch Beurteilung erfolgen..

Um die Bedeutung einer solchen Beurteilung klarzumachen, müssen wir uns das Ziel der Produktionsforschung noch einmal vor Augen führen. Sie soll uns — jedenfalls in erster Linie — eine wohlbegründete Wahl zwischen verschiedenen Pflegemethoden ermöglichen. Dazu ist ein richtiger Vergleich zwischen den Resultaten dieser Methoden erforderlich, welche nur durch Vergleichen der Produktionstabellen möglich ist. Die Wahl erfolgt daher zwischen Tabellen. Die Beurteilung, worüber im vorigen Absatz gesprochen wurde, gilt für die Frage, ob das Ergebnis der Wahl, also der Vorzug eines bestimmten Pflegeprogrammes, auf wirkliche Bestände überführt werden kann.

Eine solche Frage kann kaum anders als durch eine Diskussion beantwortet werden, in der erwogen wird, inwieweit die Abweichungen von den Tabellen das Ergebnis der Wahl umstossen.

Wir kommen im Kap. 35 auf eine Anzahl von Tabellenvergleichen der hier berührten Art zurück.

33.3. Die Wertproduktion

Die Berechnung der Wertproduktion geht von denselben Tafeln aus wie die Massenberechnung und resultiert in Produktionstabellen, die in Geld ausgedrückt sind. Um jedoch dieselbe Typenvariation wie die Massentabellen zu erhalten, muss

die Zahl der Werttabellen bedeutend grösser sein. Zum Teil kann die Massentabelle in verschiedenen Absatzgebieten zur Anwendung kommen und zum Teil ist die Beständigkeit der Werttabelle auf Grund der Konjunkturänderungen viel geringer. Das bewirkt, dass ein Vergleich zwischen Tabellen, der auf eine geringere Anzahl derselben beschränkt werden kann, für die Wertproduktion vorgezogen wird. In diesem Fall erhält der Vergleich auch grösseres Interesse, nachdem die Wahl des Pflegeprogrammes der Natur nach eine wirtschaftliche Frage ist. Hier muss darauf hingewiesen werden, dass hinsichtlich der Wertproduktion einige der wichtigsten Resultate der Untersuchung bereits in einem Exkursionsführer mit dem Titel »Om skogsvårdslagens tillämpning« (Über die Anwendung des Forstpflegegesetzes) (PETTERSON, 1950) veröffentlicht wurden. Jedoch gehen wir in diesem Zusammenhang nicht näher auf die Wertproduktion ein. Die Sache wird hier nur deshalb berührt, um den Umfang der Anwendung der grundlegenden Untersuchung anzudeuten.

Kap. 34. Tabellen für die Massenproduktion

34.1. Einleitung

Das Massenresultat besteht aus 100 Produktionstabellen. Die Übersicht darüber gibt das Verzeichnis im Originaltext, Seite 350—352. Gewisse Daten, die bei der Beschreibung gleichwertig mit den Angaben des Verzeichnisses sind, jedoch nicht verwendet wurden, sind in den Methodenbeilagen M 34 und M 35 enthalten.

34.2. Die Bezeichnungen des Registers

Der Kopf des Registers enthält folgende Bezeichnungen:

H_{100} = Obere Höhe in Meter bei 100 Jahren = Bonitätsweiser.

Bei der Ausgangslage:

qs = der Quotient zwischen der Stammzahl des aktuellen Ausgangsbestandes und der Stammzahl des normalen Ausgangsbestandes. Als normal werden in diesem Zusammenhang Ausgangsbestände bezeichnet, deren Stammzahl mit Hilfe des Materials berechnet oder beurteilt wurde.

φ_1 = der Faktor, welcher die Form der Stammverteilung vor der Durchforstung angibt. Siehe Kap. 9 und 17.

$h_{3\sigma}$ = die obere Höhe in m.

M_{sI} = das arithmetische Mittel der Durchmesser in cm vor der Durchforstung.

S_1 = die Stammzahl vor der Durchforstung.

t' = das Alter des aktuellen Bestandes bei einer oberen Höhe von 1,3 m. Siehe 7.4.

t = das Alter des normalen Bestandes bei der oberen Höhe von 1,3 m. Siehe 7.4.

$\frac{t'}{t}$ = der Quotient, welcher direkt beurteilt wird. Dieser wurde auf 0,7 in gepflanzten Beständen und auf 1,0 in nicht gepflanzten Beständen festgesetzt. Unter 7.5 wird gesagt, dass $\frac{t'}{t}$ auch innerhalb der Gruppen »gepflanzt« und »nicht gepflanzt« nuanciert werden sollte.

Durchforstungsmomente:

L = Niederdurchforstungsmoment. Siehe 16.8.

H = Hochdurchforstungsmoment. Siehe 16.8.

G = Moment gleichmässiger Durchforstung (Genomgallingsmoment, Definition unter 16.6). Siehe 16.8.

Intervall = Anzahl Jahre zwischen den Durchforstungen.

34.3. Aufstellung und Anwendung des Registers

Die Tabellen wurden in jeder Gruppe von links nach rechts geordnet, zuerst über h_{100} , dann nach jedem h_{100} über φ_1 , in jeder solchen Gruppe nach dem Alter usw. Erst nachdem die Tabellen so geordnet waren, wurden sie nummeriert. Leider wird die Nummernfolge durch sechs Spezialtabellen für »Kiefer, Nordschweden, nicht gepflanzt«, unterbrochen, die erst später dazu kamen. Sie haben die Nummern P95 — Proo, wurden aber gleich hinter P47 eingefügt.

Wie man sieht, hat die Gruppe »Kiefer, Nordschweden, nicht gepflanzt«, starkes Übergewicht, und zwar besonders für die Bonität $h_{100} = 20$. Es ist dies eine Anwendung der Konzentration, über die unter 32.3 gesprochen wurde.

Die Ordnung des Registers macht es leicht, Tabellenpaare zu finden, zwischen denen ein Vergleich lohnend ist. Gewöhnlich will man Resultate für verschiedene Pflege bei sonst gleichen Voraussetzungen vergleichen.

34.4. Die Produktionstabellen

Die 100 Produktionstabellen der Untersuchung stehen der Reihe nach auf den Seiten 353—391. In jeder Überschrift der Tabelle wird die Gruppe, h_{100} , das Durchforstungsprogramm, qs und die Gradbezeichnung nach Kap. 26.8 angegeben.

Bei der Planung der Arbeit wurde die künftige Wertberechnung als ein besonders zu berücksichtigender Umstand angesehen. Deshalb wurde die Masse ohne Rinde angegeben. Um die Beurteilung der Masse mit Rinde zu erleichtern, wurden bestimmte Rindenrelationen in der Methodenbeilage M 35 angegeben.

In den Tabellen kommen Kolonnen vor, die unnötig erscheinen können, nämlich eine der Stammzahlkolonnen und eine der Massenkolonnen. Sie dienen zur Erleichterung des Überblickes.

Kap. 35. Vergleiche zwischen den Tabellen

35.1. Einleitung

Ein Tabellenbestand, der sich aus einer gegebenen Ausgangslage entwickelt, indem er nach einem gegebenen Programm durchforstet wird und nach gegebenen Funktionen wächst, erreicht auf diese Weise keinen Abschluss. In Übereinstimmung damit ist die Produktionstabelle nach oben offen. Um die Entwicklung abzurechnen, ist ein besonderer Eingriff erforderlich, welcher in der Tabelle nicht angegeben ist, nämlich der Endabtrieb.

Wir wollen in diesem Kapitel verschiedene Pflegemethoden durch Vergleich ihrer Produktionstabellen erläutern. Dabei scheint es selbstverständlich, dass jeder

Tabellenbestand in dem Alter zum Endabtrieb kommt, bei dem das beste Resultat erzielt wird. Was im einzelnen Fall am besten ist, liegt an der Zielsetzung der Forstwirtschaft. Da dieses Ziel Änderungen unterworfen sein kann, konnte das Umtriebsalter in den Tabellen nicht angegeben werden.

Da ja verschiedene Pflegeprogramme verschiedene Umtriebszeiten voraussetzen können, ist gewöhnlich die Totalproduktion als Beurteilungskriterium weniger geeignet. Besser ist der mittlere Zuwachs per Jahr und Hektar während der Wachstumszeit. Dieser Ausdruck befindet sich in den Produktionstabellen. Beim Vergleich von ganzen Pflegeprogrammen müsste man der Korrektheit halber den mittleren Zuwachs während der Umtriebszeit, also Verjüngungszeit + Wachstumszeit verwenden, doch wird, wo ein solcher Fall vorkommt, dieser bis zur Schlussdiskussion zurückgestellt.

35.2. Wahl des Kriteriums

Für einen richtigen Vergleich von verschiedenen Pflegemethoden ist es, wie bereits in Kapitel 35.1 hervorgehoben wurde, erforderlich, dass wir ein bestimmtes Ziel für die Forstwirtschaft akzeptieren. Es ist offensichtlich, dass dieses Ziel wirtschaftlicher Art sein muss, weshalb die Diskussion darüber der geplanten Arbeit über »Die Wertproduktion des Nadelwaldes« angehört. Da wir hier nur die Massenproduktion behandeln, dürfte es erlaubt sein, die grösste Massenproduktion als provisorisches Ziel der Forstwirtschaft aufzustellen. Aus diesem Grund wird in jeder Tabelle jenes Alter vorgezogen, welches die grösste Massenproduktion ergibt, also jenes Alter, in dem der mittlere Zuwachs kulminiert. Es wird dasjenige Pflegeprogramm als das Beste angesehen, dessen auf diese Weise bestimmter mittlerer Zuwachs am grössten ist. Bezüglich Einfluss der Verjüngungszeit siehe den Vorbehalt in Kap. 35.1 letzter Absatz.

In den Produktionstabellen gibt es gewisse Ausnahmen, welche mit der Verjüngung zusammenhängen. Jedes Durchforstungsprogramm wird durch eine bestimmte Art für die Verminderung der Stammzahl gekennzeichnet. Bei der Anwendung des Programmes in der Praxis kann die zunehmende Lichtung zu Naturverjüngung führen, zuerst auf Böden welche sich leicht besamen lassen und dann auf den übrigen. Rücksichtnahme auf diese Verjüngung beschleunigt den Endabtrieb und ist örtlich so stark verschieden, dass dies in einer Produktionstabelle nicht wiedergegeben werden kann. Statt dessen wurde der Einfluss der Verjüngung durch die grob schematische Regel berücksichtigt, dass der Endabtrieb spätestens in dem Alter erfolgt, in dem die Stammzahl unter 200 sinkt. Das Stehenlassen von Samenbäumen, welches ebenfalls stark örtlich bedingt ist, liegt ausserhalb des Rahmens der Produktionstabelle.

In anderen Fällen kann die Lichtung steigende Schwierigkeiten für eine zukünftige Kultur mit sich bringen. Weiters kann eine weit getriebene Lichtung die Gefahr für Fäulnis, Dürroh Holz und Windbrüche vergrössern. All das spricht für einen früheren als den durch Berechnungen erhaltenen Endabtrieb. Eine wirkliche Bestimmung der geeignetsten Grenze ist schwer durchzuführen. Auch in solchen Fällen wurde die Grenze von 200 Stämmen provisorisch verwendet.

In Kap. 34.3 wurde hervorgehoben, dass die Produktionstabellen zum überwiegenden Teil der Gruppe Kiefer, Nordschweden, nicht gepflanzt, angehören und innerhalb dieser Gruppe der Bonität $h_{100} = 20$. Es ist daher natürlich, dass unsere meisten Vergleiche aus dieser Gruppe und Bonität geholt werden. Die Gruppen werden mit ihrer Nummer in der Tabelle 3.4.1 angeführt.

Von sämtlichen Tabellen werden hier nur die Überschriften wiedergegeben. Der Leser wird gebeten, die eigentlichen Tabellen im schwedischen Text nachzuschlagen.

35.3. Kiefer, Nordschweden

I. *Konstantes Niederdurchforstungsmoment und verschiedene Massenentnahmen*

Gruppe I, $h_{100} = 20$. Der Vergleich umfasst 13 Tabellen, welche denselben Ausgangsbestand haben (siehe Verzeichnis auf Seite 350) und die mit demselben Niederdurchforstungsmoment $L 5$ behandelt werden, jedoch mit verschiedenen Momenten gleichmässiger Durchforstung G . Die Resultate gehen aus Tabelle 35.3.1 hervor. Die Tabelle zeigt den grössten mittleren Zuwachs, dessen Nachhaltigkeit, und gibt an, ob eine Kulmination beobachtet wurde. Ein Gedankenstrich unter der Rubrik »Anmerkungen« bedeutet, dass der mittlere Zuwachs innerhalb des Rahmens der Produktionstabelle nicht kulminiert.

Tabelle 35.3.1. Mittlerer Zuwachs ohne Rinde bei konstantem Niederdurchforstungsmoment und verschiedenen Massenentnahmen. Intervall = 10.

Laut Tabelle 35.3.1 ist der mittlere Zuwachs am grössten bei der schwächsten Durchforstung, $L 5 G 1$. Dieses Programm schreibt im Alter von 38—158 Jahren eines Bestandes eine Entnahme von mindestens 1,16 und höchsten 1,26 % der Bestandesmasse vor. Aus 15.2 geht hervor, dass die Durchforstung A (Standarddurchforstung), welche gerade noch der Selbstdurchforstung zuvorkommt, jährlich ca 1 % der Masse entnimmt. Wir ersehen daraus, dass unser die grösste Masse produzierendes Programm, $L 5 G 1$, 10 eine äusserst schwache Durchforstung ist.

II. *Annähernd gleiche Massenentnahme und variierende Momente*

Gruppe I, $h_{100} = 20$. Der Vergleich umfasst drei Tabellen, welche denselben Ausgangsbestand haben. Diese werden mit verschiedenen Niederdurchforstungen behandelt, nämlich $L 1 G 5$, $L 3 G 3$ und $L 5 G 1$, welche ungefähr dasselbe Entnahmeprozent aufweisen. Das Resultat zeigt die Tabelle 35.3.2.

Tabelle 35.3.2 Mittlerer Zuwachs ohne Rinde bei annähernd gleicher Massenentnahme und verschiedenem Durchforstungsprogramm. Intervall = 10.

Die Massenproduktion ist beim Programm $L 5 G 1$ am grössten und bei $L 1 G 5$ am geringsten. Es ist natürlich schwer zu sagen, ob dabei das starke Niederdurchforstungsmoment oder das schwache Moment der gleichmässigen Durchforstung ausschlaggebend ist. Die Tatsache, welche durch die Tabelle 35.3.2 erläutert wird, kann am besten so charakterisiert werden, dass bei geringer Massenentnahme, welche in den verglichenen Fällen gleich ist, eine schwache Durchforstung für die Massenproduktion vorteilhaft ist.

III. *Verschiedene Durchforstungsintervalle*

Gruppe I, $h_{100} = 20$. Durchforstungsprogramm $L 5 G 10$. Der Vergleich umfasst eine Tabelle mit dem Intervall 5 und eine Tabelle mit dem Intervall 10. Resultate gehen aus Tabelle 35.3.3 hervor. Der mittlere Zuwachs in den beiden Tabellen ist gleich.

Tabelle 35.3.3. Mittlerer Zuwachs ohne Rinde bei verschiedenen Durchforstungsintervallen.

IV. *Verschiedene mittlere Durchmesser im Ausgangsbestand*

Gruppe I, $h_{100} = 20$. Der normale mittlere Durchmesser des Ausgangsbestandes, 5 cm, wurde versuchsweise auf 6 und 8 cm erhöht. Dabei wurde die Stammzahl mit Hilfe der statischen Funktion F 1.2 dem geänderten mittleren Durchmesser angepasst. Der Versuch umfasst teils einen Vergleich zwischen 8 und 5 cm beim Durchforstungsprogramm L 5 G 6, 10 und teils einen Vergleich zwischen 6,8 und 5 cm beim Durchforstungsprogramm L 5 G 10, 10. Die Resultate zeigt die Tabelle 35.3.4. Bei gleichem Durchforstungsprogramm wird der mittlere Zuwachs vom mittleren Durchmesser nicht beeinflusst.

Tabelle 35.3.4. Mittlerer Zuwachs ohne Rinde bei verschiedenem mittleren Durchmesser im Ausgangsbestand. Intervall = 10.

V. *Verzögerte erste Durchforstung*

Gruppe I, $h_{100} = 20$. Die erste Durchforstung, welche normal bei einem Bestandesalter von 38 Jahren durchgeführt wird, wurde in drei Versuchen bis zum 58. Jahr verzögert. Der Ausgangsbestand für das Alter von 58 Jahren wurde in M 30.3 Punkt V, VI und VII definiert. Durchforstung L 5 G 10, 10. Das Resultat zeigt die Tabelle 35.3.5. Durch die Verzögerung wird der mittlere Zuwachs um 0,2—0,3 m^3 vermindert, was bei 100 jähriger Wuchszeit 20—30 m^3 ausmacht. Aus der Tabelle P 95 geht hervor, dass der Verlust ungefähr der Selbstdurchforstungsmasse zwischen 38 und 58 Jahren entspricht.

Tabelle 35.3.5. Mittlerer Zuwachs ohne Rinde, wenn die erste Durchforstung erst bei einem Bestandesalter von 58 Jahren durchgeführt wird. Drei Fälle, welche durch verschiedene Beurteilung des mittleren Durchmessers des 58-jährigen Ausgangsbestandes und φ entstanden sind. Diese Fälle werden in der Tabelle mit dem Normalfall verglichen, bei dem die erste Durchforstung im Alter von 38 Jahren erfolgt.

VI. *Stärkere Durchforstung im letzten Intervall*

In der Tabelle P 14 wurde das Programm L 5 G 10 in L 5 G 15 umgeändert und damit ein grösseres Entnahmeprozent festgesetzt. Um den Unterschied deutlicher hervorzuheben, wird in diesem Fall im letzten Intervall statt des mittleren Zuwachses der laufende Zuwachs verglichen. Aus der Tabelle 35.3.6 geht hervor, dass die stärkere Durchforstung den laufenden Zuwachs vermindert.

Tab. 35.3.6. Laufender Zuwachs ohne Rinde nach stärkerer Durchforstung im letzten Intervall.

VII. *Schütter aufgewachsene Bestände*

Gruppe I, $h_{100} = 20$. Der Einfluss geringer Bestockung wird ausführlich in der Methodenbeilage M 30.3, VIII diskutiert. Dort wird die Stammdichte durch den Quotienten qs der Stammzahl des aktuellen Ausgangsbestandes und der Stammzahl eines normalen Ausgangsbestandes ausgedrückt. Der entsprechende Quotient für die Kreisfläche wird mit qg bezeichnet. Produktionstabellen wurden mit der an-

genommenen Basis auf Grund der Annahme von $qg = \sqrt{qs}$ ausgearbeitet. Diese Tabellen werden so beurteilt, dass sie nahe der oberen Grenze für die Produktion in schütter auf gekommenen Beständen liegen. Zum Vergleich wurden drei Tabellen mit dem unteren Grenzfall $qg = qs$ erstellt.

Die Resultate zeigt die Tabelle 35.3.7. Die Normalfälle der Durchforstungsprogramme, bei denen $qs = 1,0$ ist, sind — mit Ausnahme von *L 5 G 4* — in der Tabelle 35.3.1 zu finden. Beide Tabellen zeigen, dass der mittlere Zuwachs für dichte Ausgangsbestände am grössten ist, und für gleiche Ausgangsbestände ist er am grössten bei schwacher Durchforstung.

Der schwächste Punkt der Berechnung ist die Zuwachsbestimmung in den schüttersten Beständen. Die Tatsache, dass die Lichte eines Bestandes vermindert auf die Produktion wirkt, dürfte übertrieben worden sein, da keinerlei Rücksicht auf den wahrscheinlich verbesserten Höhenzuwachs genommen wurde (vgl. 38.5, Absatz 5). Ausserdem umfasst das Material, aus dem die Zuwachsfunktionen abgeleitet wurden, keine so schütterten Bestände, weshalb die Resultate durch Extrapolierung erhalten wurden.

Tabelle 35.3.7. Mittlerer Zuwachs ohne Rinde in schütter aufgewachsenen Beständen. Intervall = 10.

VIII. *Verschiedene Durchforstungsformen*

Gruppe I, $h_{100} = 20$. Zum Vergleich mit der Niederdurchforstung *L 5 G 10* wurden einige Tabellen für gleichmässige Durchforstung und Hochdurchforstung erstellt. Man beachte, dass sich die Untersuchung auf vollgeschlossene, homogene Ausgangsbestände bezieht, welche bis zum Endabtrieb gemäss dem gegebenen Programm durchforstet wurden. Das Resultat geht aus Tabelle 35.3.8 hervor, aus der der grösste mittlere Zuwachs für die Niederdurchforstung abgelesen wird. Danach folgt die gleichmässige Durchforstung, die Durchforstung mit schwächerem Hochdurchforstungsmoment und schliesslich die Durchforstung mit stärkerem Hochdurchforstungsmoment.

Es muss hervorgehoben werden, dass der Zuwachs mittels aus niederdurchforsteten Beständen hergeleiteten Funktionen berechnet wurde. Die Auswirkungen daraus sind schwer zu beurteilen. Jedenfalls ist es kaum wahrscheinlich, dass Funktionen, welche aus Hochdurchforstungsmaterial hergeleitet werden, den deutlichen Verlauf der Tabelle 35.3.8 umstossen könnten. Siehe die Diskussion im Kap. 29.3.

Tabelle 35.3.8. Mittlerer Zuwachs ohne Rinde bei verschiedenen Durchforstungsformen. Die Ausgangsbestände sind gleich, $qs = 1$, Intervall = 10.

IX. *Gepflanzte Bestände*

Gruppe II, $h_{100} = 20$. Die Überlegungen gehen aus M 30.4 hervor. Gepflanzte Ausgangsbestände wurden mit Hilfe von zugänglichen Untersuchungen von aus Kulturen hervorgegangenen Beständen beurteilt, insgesamt 47 solcher Bestände, davon nur 6 welche durch Pflanzung entstanden sind. Dabei wurde in erster Linie derjenige mittlere Durchmesser und die Stammzahl gesucht, welche bei einer oberen Höhe von 8 m als wahrscheinlich anzusehen waren. Als Resultat für dieses Material wurde ein mittlerer Durchmesser von 8 cm und eine Stammzahl von 2 800 erhalten.

Jedoch repräsentierten die genannten Bestände die ersten Kulturen in den nördlichsten Provinzen. Man kann sicher mit besseren Resultaten für *zukünftige* Kulturen rechnen, deren wahrscheinliche Entwicklung die Produktionstabellen wiedergeben sollen. Für diesen Fall wurde ein mittl. Durchmesser von 8 cm angenommen, worauf die Stammzahl nach der aus der Materialgruppe I hergeleiteten Funktion 1.2 berechnet wurde. Das Ergebnis war 4 101 Stämme.

Produktionstabellen wurden sowohl für 2 800 als auch für 4 101 Stämme im Ausgangsbestand erstellt. Man beachte, dass es sich hier nicht um Unterschiede der Behandlung, sondern der Berechnung handelt. Dieser Vorbehalt gilt der letztgenannten Stammzahl. Wir wissen, dass 4 101 Stämme mit einem mittleren Durchmesser von 8 cm oft vorkommen. Diese Kombination wurde in einzelnen Fällen für gepflanzte Bestände bei einer oberen Höhe von 8 m beobachtet. Es ist aber nicht sicher, ob die Kombination 8 m, 8 cm und 4 101 Stämme für zukünftige Kulturen als wahrscheinlich betrachtet werden kann.

Mit Rücksicht auf die verringerte Stammzahl wurde das Niederdurchforstungsmoment von L 5 in der Gruppe I auf L 3 in der Gruppe II gesenkt, das Moment gleichmässiger Durchforstung G 10 jedoch beibehalten. In einem Fall wurde eine reine gleichmässige Durchforstung versucht, nämlich G 13, deren Massentnahme stark mit L 3 G 10 übereinstimmt.

Für die Berechnung des Zuwachses wurden die aus der Gruppe I abgeleiteten Funktionen verwendet. Dabei wurde gemäss den Überlegungen in Kap. 7.4 der Höhenzuwachs korrigiert, wodurch in gepflanzten Beständen unter 100 Jahren, und zwar besonders in den jüngeren Altersstufen, grössere Höhen erzielt wurden.

Die Korrekturen wurden mit Hilfe des Quotienten $\frac{t'}{t}$ berechnet und dessen Wert mit 0,7 angenommen.

Das Ergebnis geht aus der Tabelle 35.3.9 hervor. Die Tabellen P 49 und P 50, in denen die Stammzahl 2 800 beträgt, zeigen geringeren mittleren Zuwachs als die Vergleichstabelle P 13. Dagegen erreicht die Tabelle P 51, mit der Stammzahl 4 101 den höchsten in den Gruppen I und II erreichten mittleren Zuwachs. Die Existenz dieser Stammzahl im angegebenen Zusammenhang erfährt hierdurch grosses Interesse.

Tabelle 35.3.9. Mittlerer Zuwachs ohne Rinde in gepflanzten Beständen.
Gruppe II, $h_{100} = 20$, Intervall = 10.

X. Frühzeitige Durchläuterung in selbstgesäten Beständen

Gruppe I, $h_{100} = 20$. Der Fall wurde mit Hilfe der Tabellen der Gruppe II berechnet. Es wurde angenommen, dass die Verjüngung zuerst wie z. B. in P 13, aufkam. Im Alter von 10—15 Jahren wurde der Bestand geläutert und dabei soweit verringert, dass die Stammzahl des Ausgangsbestandes auf 4 101 oder 2 800 gebracht werden konnte. Es wurde angenommen, dass nach der Durchläuterung die Entwicklung wie im entsprechenden Bestand der Gruppe II fortsetzen sollte. Diese Übereinstimmung galt auch der Höhe. Man war nämlich der Meinung, dass die schnelle Entwicklung der Höhe in jungen, gepflanzten Beständen vor allen Dingen auf der niedrigen Stammzahl beruht, weshalb die Wirkung derjenigen gleicht, bei der die niedrige Stammzahl durch Durchläuterung erreicht wurde (vgl. 7.5).

Als eine Folge des beschleunigten Höhenzuwachses nahm man an, dass durch-

läuterte Bestände die Ausgangshöhe von 8 m im selben niedrigen Alter erreichen wie die gepflanzten Bestände. Da die weitere Entwicklung als ebenfalls gleich angenommen wurde, konnten die Tabellen der Gruppe II auch auf durchläuterte Bestände angewendet werden (vgl. Petterson, 1951).

Wir haben hier ein Beispiel für die Gegensätze, welche zwischen dem nominellen und dem reellen Umfang einer Gruppe vorkommen können (vgl. z. B. 26.7). Die durchläuterten Bestände gehören der Gruppe Kiefer, Nordschweden, nicht gepflanzt, an und doch soll deren Höhenentwicklung und Bonitierung nach den Angaben für Kiefer, Nordschweden, gepflanzt, in den Hilfstabellen H 3 a und H 4 berechnet werden, evtl. mit einer kleinen Korrektur für die langsamere Höhenentwicklung vor der Durchläuterung.

Da sich unsere Vergleiche in diesem Kapitel nur auf die Massenproduktion per Jahr während der *Wachstumszeit* und *nicht Umtriebszeit* beziehen, haben Verschiedenheiten des Verjüngungszeitraumes keinen Einfluss auf die mitgeteilten Resultate. Abgesehen von eventuellen Korrekturen für langsameren Höhenzuwachs vor der Durchläuterung, dürfte eine Tabelle für die Durchläuterungsvarianten mit der Tabelle 35.3.9, also der entsprechenden Varianten eines gepflanzten Bestandes, identisch sein. Bei einer kommenden wirtschaftlichen Bearbeitung wird man jedoch zwischen Pflanzung und Durchläuterung deutlich unterscheiden müssen. Aus diesem Grunde wurde die Durchläuterung hier als eigener Punkt behandelt.

35.4. Kiefer, Südschweden

I. Gruppe III, nicht gepflanzt

Von der Gruppe Kiefer, Südschweden, wurde nur die obige untersucht. Laut M 30.5 wurde der mittl. Durchmesser des Ausgangsbestandes mit 6 cm angenommen und als Folge davon wurde die Stammzahl mit 7290 berechnet und $\varphi = 3$ angenommen.

Die Tabelle 35.4.1 vergleicht die Niederdurchforstung L 5 G 10, die gleichmässige Durchforstung G 15 und die Hochdurchforstung H 5 G 10. Es zeigt sich, dass der mittlere Zuwachs bei der Niederdurchforstung am grössten ist, während gleichmässige und Hochdurchforstung denselben Zuwachs haben.

In der gleichen Tabelle werden die Niederdurchforstungen L 5 G 10, 5 und L 5 G 10, 10 verglichen. Der mittlere Zuwachs ist gleich.

Tabelle 35.4.1. Mittl. Zuwachs ohne Rinde bei verschiedenen Durchforstungsprogrammen.

Die Tabelle 35.4.2 zeigt den Einfluss verstärkter Durchforstung im letzten Intervall auf den laufenden Zuwachs. Die stärkere Entnahme bei L 5 G 15 statt L 5 G 10 vermindert den laufenden Zuwachs.

Tabelle 35.4.2. Laufender Zuwachs ohne Rinde nach verstärkter Durchforstung im letzten Intervall.

II. Gruppe IV, gepflanzt

Diese Gruppe wurde nicht untersucht. Hinsichtlich der ausgearbeiteten Tabellen wird in der Methodenbeilage M 30.6 folgendes ausgeführt: »Die Tabellen P 63—

P 67 sind Studien, welche hauptsächlich den Effekt der bei der Pflanzung durch $t' = 0,7 t$ bewirkten Änderung der Höhenentwicklungskurve darstellen sollen.

Die übrigen Definitionen des Ausgangsbestandes sind dieselben wie in M 30.5. Für Tabellen, welche für die Wahl der Pflegeform zur Verfügung stehen sollen, ist die Untersuchung des Ausgangsbestandes im Bestand selbst wünschenswert.

Tabelle 35.4.3. Mittl. Zuwachs ohne Rinde für verschiedenen Höhenentwicklungskurven.

Die Wirkung einer Änderung der Höhenentwicklungskurve geht aus einem Beispiel in der Tabelle 35.4.3 hervor, worin die Tabelle P 56 mit normaler Höhenentwicklung mit der Tabelle P 65 verglichen wird, in der die Kurve durch Senkung

von $\frac{t'}{t}$ von 1,0 auf 0,7 erhöht wurde. Der grösste mittlere Zuwachs o. R. erreicht in

P 56 3,3 m³ und in P 65 4,0 m³. Nach diesem Vergleich müsste also der mittlere Zuwachs bei »Pflanzung« um 21 % grösser sein als bei »nicht gepflanzt«, wozu noch der Vorteil kommt, dass bei der Pflanzung die Verjüngungszeit wegfällt.

Bei der Anwendung dieser Erfahrung müssen aber die Voraussetzungen des Vergleiches genau geprüft werden. Wir haben angenommen, dass die Ausgangsbestände in P 56 und P 65, abgesehen vom Alter, gleich sind und dass das Hinaufschieben der Höhenentwicklungskurve in gepflanzten Beständen durch $\frac{t'}{t} = 0,7$ ausgedrückt werden kann.

Der Leser dürfte den Widerspruch in diesen Annahmen bemerken. Die Erhöhung der Höhenentwicklungskurve in gepflanzten Beständen gründet sich u. a. auf der Voraussetzung, dass diese Bestände in jungen Jahren weniger dicht sind als nicht gepflanzte. In einem konkreten Fall, wo ein gepflanzter und ein nicht gepflanzter Ausgangsbestand im übrigen gleich sind, erwartet man hinsichtlich der Höhenentwicklung keine besondere Abweichung.

Die Frage gilt jedoch einem anderen Umstand. Wir möchten wissen, welcher mittlere Zuwachs erwartet werden kann, falls die Höhenentwicklungskurve mit $\frac{t'}{t} = 0,7$ hinaufgeschoben wird und die übrigen Voraussetzungen gleich bleiben.

Wir suchen mit anderen Worten den partiellen Effekt einer gewissen Höhenänderung. Es bleibt zu ergründen, ob diese Höhenänderung andere Veränderungen im Bestand voraussetzt, welche auf andere Weise den Gesamteffekt beeinflussen.

In dieser Hinsicht erhalten wir eine gewisse Hilfe durch die Tabelle 35.3.4 mit dem mittleren Zuwachs für verschiedene mittl. Durchmesser im Ausgangsbestand. Bei diesem Versuch wurde die Stammzahl für jeden mittl. Durchmesser mit Hilfe der statischen Funktion $F_{1,2}$ angepasst. Unter solchen Verhältnissen wurde der mittlere Zuwachs durch die Änderung des mittl. Durchmessers nicht beeinflusst.

35.5. Fichte, Nordschweden

I. Gruppe V, nicht gepflanzt

Auf Grund von Materialmangel wurde diese Gruppe nicht auf die gewöhnliche Art untersucht. Dagegen wurde der Versuch gemacht, Produktionstabellen mit Hilfe von Bohrkernen aus unberührten Beständen zu konstruieren. Das ange-

wandte Verfahren, welches in der Methodenbeilage M 31 beschrieben wurde, muss als erster Entwurf für eine Methode betrachtet werden. Es wird veröffentlicht, da »Schnellmethoden« dieser Art dann eine Aufgabe zu erfüllen haben, wenn das Material für die üblichen Methoden der Produktionsforschung fehlt.

Derselbe Vorbehalt muss für die neun Produktionstabellen der Gruppe V gemacht werden. Diese wurden für einen zufälligen Bedarf ausgearbeitet und entsprechen keineswegs den Anforderungen, welche man an eine Produktionstabelle stellt. Die Erfahrung hat uns aber gelehrt, dass auch eine unsichere Angabe Nutzen bringen kann, unter der Voraussetzung, dass sie durch Diskussion an den speziellen Fall angepasst werden kann. Von diesem Gesichtspunkt aus entsprechen die genannten Produktionstabellen einander sehr gut. Sie sind aus einer Konstruktion entstanden, die übersichtlich ist und deren einzelne Glieder bei einer kritischen Betrachtung leicht erfasslich sind.

II. Gruppe VI, gepflanzt

Für diese Gruppe gilt, was in den entsprechenden Teilen über die Gruppe IV gesagt wurde. Die Tabellen unterscheiden sich von den entsprechenden Tabellen der Gruppe V nur dadurch, dass die Höhenentwicklungskurve durch $\frac{t'}{t} = 0,7$ hinaufgeschoben wurde, was wiederum den mittleren Zuwachs vergrösserte.

35.6. Fichte, Südschweden

I. Gruppe VII, nicht gepflanzt

Für die Fichte in Südschweden erfolgten die grundlegenden Untersuchungen in gepflanzten Beständen. Die dabei verwendete Definition des Ausgangsbestandes wurde auch für nicht gepflanzte Bestände akzeptiert, allerdings mit Ausnahme der Änderung der Höhenentwicklungskurve, welche dadurch entstand, dass statt $t' = 0,7 t$ der gepflanzten Bestände $t' = t$ gesetzt wurde.

Wie aus M 30.9 hervorgeht, scheinen die gegenwärtigen Bestände innerhalb dieser Gruppe Übergangsverhältnisse darzustellen, welche nicht wiederkehren werden. Komplettierende Aussenuntersuchungen dürften notwendig sein.

II. Gruppe VIII, gepflanzte Bestände

Aus den in M 30.10 ersichtlichen Gründen wurde der Mitteldurchmesser des Ausgangsbestandes durch Beurteilung von α und φ berechnet. Die Stammzahl wurde durch eine Kombination von Regressionsanalyse und Annahme erhalten, über welche in M 32 Rechenschaft abgelegt ist.

Die Resultate liegen ganz in der Richtung derjenigen für Kiefer. Laut Tab. 35.6.1 bleibt der mittlere Zuwachs, mit der Genauigkeit von einer Dezimalstelle berechnet, bei der Verschärfung der Durchforstung von $L 5 G 9$ auf $L 5 G 11$ gleich, doch wird das höchste Resultat in immer kürzerer Zeit erreicht, weshalb mit einer Senkung bei weiterer Verschärfung der Durchforstung zu rechnen ist. Die Tabelle 35.6.2 zeigt, dass der laufende Zuwachs nach verschärfter Durchforstung im letzten Intervall fällt. Schliesslich gibt die Tabelle 35.6.3 an, dass der mittlere Zuwachs um 22 % grösser wird, wenn man die Höhenentwicklungskurve mit Hilfe des Ausdrucks $\frac{t'}{t} = 0,7$ hinaufschiebt. Zum letztgenannten Resultat gehört derselbe

Vorbehalt wie in der Gruppe für gepflanzte Kiefer in Südschweden. Die Vergrößerung des mittleren Zuwachses macht den partiellen Effekt der Höhenänderung aus. Es ist möglich, dass die Höhenänderung andere Änderungen im Bestand voraussetzt, welche auf andere Art den Gesamteffekt beeinflussen.

Tabelle 35.6.1. Mittlerer Zuwachs o. R. bei verschiedenen Durchforstungsprogrammen.

Tabelle 35.6.2. Laufender Zuwachs o. R. nach verstärkter Durchforstung im letzten Intervall.

Tabelle 35.6.3. Mittlerer Zuwachs o. R. bei verschiedenen Höhenentwicklungskurven.

Kap. 36. Bonität und Massenproduktion

36.1. Einleitung

Die Bonität wird in dieser Arbeit durch die Entwicklung der oberen Höhe in Zusammenhang mit dem Alter charakterisiert. Solche Entwicklungskurven sind für 8 Gruppen berechnet worden, nämlich für Fichte und Kiefer, in Nord- und Südschweden, gepflanzt und nicht gepflanzt (siehe Tab. H 3 und H 4).

Die genannten Tabellen wurden mit Hilfe der Höhenentwicklung in unberührten Beständen konstruiert (vgl. 7.4 und 7.5).

Die durch direkten Ausgleich erhaltenen Entwicklungskurven werden in den Tabellen für »nicht gepflanzte« Bestände wiedergegeben. Jede Tabelle wird durch die obere Höhe bei 100 Jahren charakterisiert, welche die Bezeichnung h_{100} erhält. Diese Tabellen gelten in Wirklichkeit für solche Bestände, welche im Material aus unberührtem Wald erhalten sind.

Meistens sind aber die hier diskutierten homogenen Bestände in viel lichterem Verband aufgewachsen als die Probestflächen in unberührtem Wald. Wir müssen deshalb mit einem rascheren Zuwachs in der Jugend rechnen. Dagegen bilden wahrscheinlich Standort und Erbanlagen eine Grenze für die Höhenentwicklung in späteren Jahren. Deshalb wurde das h_{100} der Bonität provisorisch als von der Entstehungsart unabhängig betrachtet, aber angenommen, dass durch den schnelleren Jugendzuwachs die Kurve von 0 bis h_{100} grössere Höhen durchläuft. Die höhere Lage der Kurve wurde durch die Relation des Alters t' , wo die aktuelle obere Höhe 1,3 m erreicht, und dem entsprechenden Alter t in unberührten Beständen definiert. Bei der Konstruktion der Tabellen für »gepflanzte« Bestände wurde diese Relation mit 0,7 angenommen. Die genannten Tabellen gelten also für Bestände mit dem Quotient $\frac{t'}{t} = 0,7$. Falls konstatiert wird, dass der Quotient einen anderen Wert hat, muss dies bei der Bonitierung berücksichtigt werden.

Bei der Anwendung der Tabellen ist es nicht entscheidend, ob die Bestände »gepflanzt« oder »nicht gepflanzt« sind. Diese Bezeichnungen sind als Decknamen anzusehen, welche auf die Entstehung der Tabellen zurückzuführen sind, während die Wahl der Tabellen für eine gegebene Anwendung durch Beurteilung des Altersquotienten $\frac{t'}{t}$ erfolgen muss.

Die hier berührte Notwendigkeit einer Korrektur kann auch bei einer Änderung des Klimas Auftreten. Man kann grob annehmen, dass eine eintretende Klimabesserung alle Jahrestriebe mit einem gewissen Faktor vergrößert. Diese Ver-

größerung muss sofort die bonitätsanzeigende Höhe im 100-jährigen Bestand beeinflussen. Dadurch wird eine unbedeutende Bonitätserhöhung angezeigt, es dauert aber 100 Jahre, bis sich die Verbesserung des Klimas bei der Bonitierung voll auswirkt. Während der Übergangszeit wird die Vergrößerung der Höhen in jüngeren Beständen viel grösser als in älteren und die Höhenentwicklungskurve wird ungefähr auf dieselbe Weise wie in gepflanzten Beständen nach oben verschoben. Dadurch kann eine Kombination von schütterem Aufwachsen und Klima-verbesserung eine bedeutende Vergrößerung der Höhen in jungen, nicht gepflanzten Beständen bewirken. Wenn in diesem Fall die Bonität nach der Normal-tabelle für »nicht gepflanzt« beurteilt wird, kann das Resultat viel zu hoch werden.

Über den Zusammenhang von Bonität und Massenproduktion wird in Kap. 7.4, letzter Absatz folgendes gesagt: »Jede Bonität und Bonitätsabstufung wird also von einer bestimmten Höhenentwicklung gekennzeichnet. Indessen können Bestände mit gleicher Höhenentwicklung sehr variierende Eigenschaften zeigen, welche in erster Linie auf Unterschiede in der Ausgangslage und der Behandlung beruhen. Man kann einer Bonität deshalb nur dann ein bestimmtes Produktionsvermögen zuschreiben, wenn die Variation durch eine oder mehrere präzisierende Bedingungen begrenzt wird.«

36.2. Bonitierung nach JONSON

In unserem Land wird allgemein ein Bonitierungssystem verwendet, welches von JONSON ausgearbeitet worden war (1914). Die sachliche Grundlage für das System bilden in erster Linie die »Erfahrungstabellen für Kiefer« von MAASS (1911) und ausserdem SCHWAPPACHS Tabellen für Fichte (1902) und Kiefer (1908). Die Tabellen von MAASS veranschaulichen eine schwache Niederdurchforstung. Für SCHWAPPACHS Tabellen wird angegeben, dass sie für eine mässige Durchforstung gelten, welche nunmehr als schwach betrachtet werden muss.

In seiner hier zitierten Arbeit definiert JONSON die Bodenbonität als die Fähigkeit, Wald zu produzieren. Dies muss als eine verkürzte Schreibweise verstanden werden: es ist ja der Standort, also Boden und Klima, und nicht allein der Boden, welchem diese Fähigkeit zugeschrieben werden kann. In welchem Masse die Produktionsmöglichkeit des Standortes ausgenützt werden kann, beruht auf den Eigenschaften der Bäume, in erster Linie der Holzart, und das Ergebnis wird stark von der Art der Verjüngung und der Bestandespflege beeinflusst.

JONSON sagt, dass das Produktionsvermögen nach der besten Verwendung des Bodens und bei sorgfältiger Ernte des Holzes beurteilt werden muss. Als Mass für die Produktion gibt er den mittleren Zuwachs (mit Rinde) für 100 Jahre an.

Indessen weiss man allgemein nichts über den mittleren Zuwachs im Alter von 100 Jahren. Eine solche Beurteilung erfordert Produktionstabellen und deshalb können nur Tabellenbestände durch den mittleren Zuwachs bonitiert werden. Aber die Aufstellung von Produktionstabellen erfordert wiederum Bonitierung. Deshalb wird ein unabhängiger Bonitätsindikator gebraucht.

Zu dem Zeitpunkt, um den sich diese Diskussion dreht, bestimmte man die Bonität gewöhnlich durch die Mittelhöhe des Bestandes, verbunden mit dem Alter. Angaben über die Mittelhöhe für die verschiedenen Altersstufen und den entsprechenden mittleren Zuwachs sind in den früher angeführten Tabellen zu finden. Es galt daher diese Daten zu prüfen und zusammenzustellen.

Dabei war es sehr von Vorteil, dass das Material in den beiden Hauptgruppen

sehr gleichmässig behandelt worden war und dass diese Behandlung der früheren Pflege oder dem Mangel an Pflege ziemlich nahe stand.

Auf der anderen Seite fehlten nicht die Nachteile. Die Untersuchung von MAASS umfasste nur 79 Flächen, davon 33 in Nord- und 46 in Südschweden. Die Flächen waren nur einmal untersucht worden, also bei der ersten Durchforstung. Diese Beobachtungen zu Entwicklungsverläufen zusammenzustellen war offenbar nicht leicht. MAASS war gezwungen, dabei von der internationalen Methode, welche hier in Kap. 1 beschrieben wird, abzugehen. Für jeden Wachstumsgrad wurde das Material mit ungefähr gleichem Alter zusammengefasst und für diese Gruppen der Mittelwert für Alter, Höhe, Kreisfläche, Formzahl, Holzmasse und Durchmesser berechnet. Danach wurde die Arbeit mehr nach dem üblichen Verfahren fortgesetzt. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Erfahrungstabellen von MAASS als erste Orientierung wohl begründet sind, dass sie aber kaum als Unterlage für ein Bonitierungssystem genügen.

Die Methode in SCHWAPPACHS Tabellen wurde bereits in Kapitel 1 beschrieben. Der Umfang des Materials und dessen zeitliche Erstreckung haben eine zuverlässigere Tabellenkonstruktion als die schwedische ermöglicht. Doch wird die Verwendbarkeit des Resultates in Schweden natürlich durch Unterschiede in den Voraussetzungen vermindert. Ausserdem muss unterstrichen werden, dass der Anteil an Kulturen im deutschen Material viel höher sein dürfte als die Wälder Schwedens aufweisen können. Besonders in Nordschweden muss die Hilfe, welche SCHWAPPACHS Tabellen geben können, als unbedeutend bezeichnet werden.

Als Einleitung zur Bearbeitung dieses Material stellte JONSON ein Schema auf, in welchem acht Bonitierungsklassen durch die Produktionsfähigkeit definiert werden. Das Schema ist allgemein bekannt, wird aber hier zum besseren Verständnis für die Überlegungen wiedergegeben.

Tabelle 36.2.1. Bonitätschema nach Jonson.

Bonität	Produktion per Hektar
I	10,5 m ³ m. R.
II	8,0 m ³ »
III	6,0 m ³ »
IV	4,5 m ³ »
V	3,4 m ³ »
VI	2,5 m ³ »
VII	1,8 m ³ »
VIII	1,2 m ³ »

Die Produktionsfähigkeit einer Bonitätsklasse wurde auch als die Idealbonität der Klasse bezeichnet. Für die Verwirklichung der Idealbonität wurde die bestmögliche Ausnützung des Bodens gefordert, was vollgeschlossene Bestände voraussetzte. Als Bonitätsanzeiger für solche Bestände wurde die Mittelhöhe im Alter von 100 Jahren gewählt.

Wie aus den Gedankengängen zu entnehmen ist, wurden die in den Tabellen von MAASS und SCHWAPPACH beschriebenen Bestände als vollgeschlossen angenommen. Da ja die Tabellen Angaben über mittlere Höhe und mittleren Zuwachs für 100 Jahre enthielten, konnte die der Produktion entsprechende Mittelhöhe bei 100 Jahren für jede Bonitätsklasse berechnet werden.

Doch enthielten die genannten Produktionstabellen auch Angaben über mittlere Höhe und mittleren Zuwachs für andere Altersstufen als 100 Jahre. Diese Daten wurden für die Berechnung bonitätsanzeigender Höhe aller Altersstufen verwendet.

Das Obengesagte stellt eine direkte Verbindung mit MAASS und SCHWAPPACH dar. Hinsichtlich Nordschweden und besonders dessen nördlicher Teile war jedoch der Zusammenhang zwischen den genannten Untersuchungen und der praktischen Anwendung sehr gering. In diesen Gebieten konnte man nur von MAASS einige Unterstützung erhalten. Da aber seine Erfahrungstabellen für das ganze Land gemeinsam waren, war auch diese Hilfe unsicher. JONSON suchte diesen Nachteil zu verringern, indem er besondere Höhenkurven für Norrlandskiefern ausarbeitete und im »Praktisk Skogshandbok« (1924) veröffentlichte.

36.3. Die Massenproduktion bei Selbstdurchforstung und Standarddurchforstung

Bevor wir weitergehen ist es wünschenswert, dass wir uns über zwei wichtige Grenzfälle im klaren sind: Selbstdurchforstung und Standarddurchforstung. Der erste Fall wurde in Tabelle P 95 beschrieben, der letztere in Tabelle P 96 und P 97. Die drei Tabellen gehören zur Gruppe Kiefer, Nordschweden, nicht gepflanzt, $h_{100} = 20$.

Gewöhnlich bestimmen wir in der Forstwirtschaft selbst über die Durchforstungsentnahme, weshalb das Problem auf die Betrachtung des Zuwachses beschränkt wird. Bei der Selbstdurchforstung müssen sowohl die Produktion als auch der Ausfall berechnet werden. Diese Aufgabe stellt besondere Ansprüche an die Untersuchungstechnik (vgl. Kap. 13). Sobald Produktion und Ausfall berechnet sind, kann eine Produktionstabelle in der üblichen Weise aufgestellt werden. Man beachte, dass alle Bäume aus der Selbstdurchforstung dürr sind. Lebende Bäume können erst beim Endabtrieb erhalten werden.

Eine solche Art der Forstwirtschaft kann nicht angestrebt werden. Dagegen sind schwache Durchforstungen von grossem Interesse, da starke Eingriffe die Massenproduktion zu verringern scheinen. Wir suchen daher — hauptsächlich zu Studienzwecken — eine Durchforstung, welche zwar die Selbstdurchforstung verhindert, im übrigen aber so schwach als möglich ist. Sie soll der Selbstdurchforstung gerade noch zuvorkommen. Dieser Durchforstungstyp ist für Vergleiche mit anderen Behandlungen vorgesehen und wurde Standarddurchforstung genannt.

Die für diese Arbeiten verwendete Funktion F 1.3, welche für die Berechnung des Zuwachsprozentes am mittleren Durchmesser bestimmt ist, enthält eine Variable w , welche die Durchmessersumme per Hektar vor der ersten Durchforstung darstellt, und eine Variable E , welche die Anzahl Jahre von der ersten Durchforstung bis zum aktuellen Durchforstungszeitpunkt angibt. Jedoch gibt es bei der Selbstdurchforstung keinen Ausgangsbestand. Alle Altersstufen sind in dieser Hinsicht gleichwertig. Deshalb wurde bei der Selbstdurchforstung jede Revision als die erste betrachtet, d. h. w hat für jeden Durchforstungszeitpunkt einen neuen Wert erhalten. Konsequenterweise wurde $E = 0$ gesetzt.

Da die Standarddurchforstung ein aktiver Eingriff ist, folgte daraus die Überzeugung, dass die Ausgangslage dieselbe wie in den übrigen Durchforstungsversuchen sein muss, also mit einer oberen Höhe von 8 m. Dementsprechend bezieht sich die Variable w in P 96 auf den Zustand vor der Durchforstung bei einer oberen Höhe von 8 m und der Anzahl Jahre E von der ersten bis zur aktuellen Durchforstung. Diese Tabelle wird »Standarddurchforstung (w konstant)« genannt.

Zum Vergleich wurde ausserdem die Tabelle P 97 ausgearbeitet, in der w und E wie bei der Selbstdurchforstung behandelt wurden. Die Überschrift der Tabelle lautet »Standarddurchforstung (w variabel)«.

Die Resultate der hier angegebenen Tabellen gehen aus 36.3.1 hervor. Dort sind, wie in den übrigen Tabellen, die Durchforstungsprozente durch die niedrigsten und höchsten Prozente in der Tabelle angegeben, wobei die niedrigste Zahl zuerst geschrieben wurde. Indessen hat diese Schreibweise nichts mit dem Gang der Durchforstung zu tun. Die Prozente haben ihre höchsten Werte bei der ersten Revision, und sinken dann mit steigendem Alter.

Tabelle 36.3.1. Mittl. Zuwachs o. R. bei Selbstdurchforstung und Standarddurchforstung. Kiefer, Nordschweden, nicht gepflanzt, $h_{100} = 20$.

36.4. Welcher Typfall stellt das Produktionsvermögen der Bonität dar?

Wir sehen, dass die Bonität sowohl von der Gruppdefinition — z. B. Kiefer, Nordschweden, nicht gepflanzt — als auch von der oberen Höhe für 100 Jahre charakterisiert wird. Es liegt nahe, in einer solcherart definierten Bonität das Produktionsvermögen durch jenen Typfall darstellen zu lassen, welcher den grössten Zuwachs zeigt. In allgemeinen Diskussionen über die »bestmögliche Ausnutzung des Bodens« ist es am richtigsten, den mittleren Zuwachs für das Alter dort abzulesen, wo er seinen Höhepunkt hat. Bei Vergleichen mit JONSONS Schema muss der mittlere Zuwachs jedoch bei 100 Jahren abgelesen werden.

Als Unterlage für unsere Diskussion wählen wir den am gründlichsten studierten Fall, nämlich Kiefer, Nordschweden, nicht gepflanzt, $h_{100} = 20$. Aus Kap. 35 geht hervor, dass der mittlere Zuwachs unter folgenden Bedingungen hoch ist:

I. Wenn die relative Stammzahl qs im Ausgangsstadium hoch ist (siehe Tab. 35.3.7). Der Vergleich gilt nur für Bestände, in denen qs gleich gross oder geringer als 1 ist.

II. Bei schwacher Niederdurchforstung (siehe Tab. 35.3.1).

III. Wenn die schwache Niederdurchforstung stark niederdurchforstungsbetont ist (siehe Tab. 35.3.2).

IV. Wenn der Höhenzuwachs in der Jugend stärker als normal ist. Dieser Faktor wirkt dem vorgenannten entgegen. Der positive Effekt einer grossen Stammzahl dürfte dadurch zu verringern sein, dass der Höhenzuwachs kleiner wird und dadurch wiederum die Massenproduktion vermindert. Es gibt jedoch keine sicheren Unterlagen dafür, dass die positiven Einflüsse einer grossen Bestandesdichte dadurch aufgehoben werden (siehe 35.3.IX und Tab. 35.3.9).

Von allen Durchforstungsprogrammen, welche in der Gruppe Kiefer, Nordschweden, nicht gepflanzt, $h_{100} = 20$ geprüft wurden, zeigt die Durchforstung L 5 G 1, 10 den grössten mittl. Zuwachs. Dieser beträgt $3,1 \text{ m}^3$ o. R. bei 100 Jahren, $3,2 \text{ m}^3$ o. R. bei 128 Jahren und $3,3 \text{ m}^3$ o. R. für die Jahre 138—158, ohne Kulmination. Die jährlichen Entnahmeprozente bewegen sich in den Grenzen von 1,16 und 1,26 (vgl. Tab. P 7).

Nahe dieser steht die Standarddurchforstung P 96, welche der Selbstdurchforstung gerade noch vorgreifen soll. Der mittlere Zuwachs beträgt hier $3,0 \text{ m}^3$ o. R. bei 100 Jahren und $3,1 \text{ m}^3$ o. R. bei 128 Jahren ohne Kulmination. Das höchste Entnahmeprozent per Jahr ist 1,9 bei 43 Jahren und das niedrigste 0,85 bei 123 Jahren.

Ein Vergleich dieser Programme zeigt, dass L 5 G 1 im ersten Teil der Entwicklung geringere Entnahmeprozente hat als die Standarddurchforstung. Nach ungefähr 85 Jahren ist das Verhältnis umgekehrt (siehe Tab. P 7 und P 96). Dies scheint zu bedeuten, dass vor dem Alter von 85 Jahren bei der Anwendung des Programmes L 5 G 1, 10 die Gefahr des Auftretens von Selbstdurchforstung besteht.

Deshalb betrachten wir das Programm L 5 G 1, 10 als unrealistisch. Dadurch kommt die Standarddurchforstung in der Übersicht der Produktion auf den ersten Platz. Die Standarddurchforstung wird also der Repräsentant für die Produktionsfähigkeit einer Bonität.

36.5. Vergleich mit den Bonitäten JONSONS

I. *Einleitung.* Der folgende Vergleich mit dem System JONSONS wird damit begründet, dass dieses 40 Jahre lang die forstliche Auffassung in unserem Land so beeinflusst hat, dass es heute als Ausdruck dieser Auffassung bezeichnet werden kann. Falls sich Forstleute der Praxis eine Vorstellung über das neue System bilden wollen, wird dies in Verbindung mit der herrschenden Auffassung geschehen.

Solche Vergleiche können sich auf wirkliche Bestände oder Produktionstabellen beziehen. Wir betrachten jede dieser Möglichkeiten für sich.

II. *JONSON-Bonitierung von wirklichen Beständen.* In solchen Fällen ist der mittlere Zuwachs nicht bekannt, weshalb eine direkte Bonitierung nicht durchgeführt werden kann. Wir verweisen also auf Bonitierung mit Hilfe der Bestandesmittelhöhe und des Alters. Doch sind die Bestände in der Praxis sehr unterschiedlich, wodurch man vor der Frage steht, gewisse Stämme oder Stammgruppen bei der Berechnung der Bestandesmittelhöhe auszuschliessen. Ausserdem muss entschieden werden, wieweit JONSONS Zusammenhänge zwischen Bonität und Bestandesmittelhöhe im vorliegenden Fall verwendet werden können. Darauf kommen wir unter III zurück.

III. *JONSON-Bonitierung von Produktionstabellen.* In einer Produktionstabelle ist der mittlere Zuwachs bekannt. Wenn die Tabelle einen vollgeschlossenen Bestand nach 36.2 darstellt, müsste dessen mittlerer Zuwachs im Alter von 100 Jahren ein Weg zu JONSONS Schema über die Produktion in verschiedenen Bonitäten sein. Gilt die Tabelle hingegen für einen lichtereren Bestand, dessen Ertrag nicht der »bestmöglichen Ausnützung des Bodens« entspricht, kann diese direkte Bonitierung nicht angewendet werden.

Sowohl für vollgeschlossene Bestände als für Bestände mit niedrigerem Ertrag steht der indirekte Weg offen, also Bonitierung mit Hilfe der Bestandesmittelhöhe in Verbindung mit dem Alter. Da es sich um Produktionstabellen handelt, liegt natürlich die Bestandesmittelhöhe für 100 Jahre am nächsten. Die eigentliche Bestimmung der Mittelhöhe macht im homogenen Bestand der Tabelle, in welchem ein Ausschluss bestimmter Gruppen nicht in Frage kommt, prinzipiell keine Schwierigkeiten. Dagegen wird die unter II berührte Frage über die Reichweite des Zusammenhanges zwischen Bonität und Bestandesmittelhöhe bei JONSON aktualisiert.

Die Bestandesmittelhöhe mh wird von JONSON (1914) durch die Formel

$$mh = H = \frac{\sum gh}{\sum g} \dots\dots\dots (36.5.3.1)$$

definiert, in der g die Grundfläche und h die Höhe einer Durchmesserklasse ist.

Diese Höhenbestimmung ist bei einer Beurteilung wirklicher Bestände natürlich. Dagegen ist sie für die Produktionstabellen unbequem und die Bestandesmittelhöhe mh wurde nicht in diesen Tabellen angeführt. Statt dessen zeigen alle Tabellen die Höhe des Kreisflächenmittelstammes hmg , welche uns ausser dem Nullpunkt und der oberen Höhe einen dritten Punkt in der Höhenkurve gibt. Wir werden sofort sehen, dass in vielen Fällen mh aus hmg berechnet werden kann.

Zur Orientierung in diesen Fragen betrachten wir 36.5.3.2, wo für verschiedene Durchforstungsprogramme teils die Höhe des Kreisflächenmittelstammes hmg und teils die Bestandesmittelhöhe mh laut 36.5.3.1 angegeben ist, beide für 100 Jahre. Ausserdem wird die mh entsprechende Bonität nach JONSON angegeben, wobei diese Angabe jener Serie entspricht, welche gewöhnlich mit römischen Ziffern geschrieben wird. Schliesslich wird die für JONSONS Bonität angenommene normale Produktionsfähigkeit, auch »Idealbonität« genannt, angegeben. Alle Beispiele kommen aus der Gruppe Kiefer, Nordschweden, nicht gepflanzt, $h_{100} = 20$.

Die Tabelle zeigt, dass ein starkes Niederdurchforstungsmoment hohe Werte für mh und hmg bei 100 Jahren ergibt. Die gleichmässige Durchforstung hat niedrigere Werte und die starke Hochdurchforstung die niedrigsten Werte dieser Einheiten. Änderungen des Momentes der gleichmässigen Durchforstung, welches in kombinierten Programmen vorkommt, hat auf mh und hmg keinen Einfluss.

Das letztgenannte Resultat kann nicht unbegrenzte Gültigkeit haben. Angenommen der Zuwachsfaktor r für die mittlere Abweichung ist gleich dem Zuwachsfaktor R für den mittl. Durchmesser, dann werden auch die Zuwachsfaktoren für den Kreisflächenmittelstamm dmg und der Durchmesser der oberen Grenze L

gleich R , woraus folgt, dass der höhenbestimmende Quotient $\frac{L}{dmg}$ (vgl. 22.5.1)

von R unabhängig wird. Da ja eine Änderung des Momentes gleichmässiger Durchforstung die Entwicklung durch die Änderung von R beeinflusst, folgt daraus, dass für ein gewisses Alter die Höhe des Kreisflächenmittelstammes von der gleichmässigen Durchforstung nicht beeinflusst wird.

In dieser Untersuchung wurde r provisorisch mit $0,96 R'$ angenommen. Dieses Zusammenspiel der Faktoren r und R' führt zum annähernd gleichen Resultat wie für $r = R'$. Wenn dagegen der Quotient $\frac{r}{R'}$ in Zukunft stark von 1,0 abweichen sollte, müssen wir damit rechnen, dass das Moment der gleichmässigen Durchforstung einen deutlich sichtbaren Einfluss auf die Höhe des Kreisflächenmittelstammes hat.

• Tabelle 36.5.3.2. Vergleiche mit den Bonitäten JONSONS. Verschiedene Durchforstungsprogramme.

Voraussetzungen: Kiefer, Nordschweden, nicht gepflanzt, $h_{100} = 20$. Die Tabelle zeigt für verschiedene Durchforstungsprogramme den mittleren Zuwachs m . R. für 100 Jahre, die Höhe des Kreisflächenmittelstammes hmg und die mittl. Höhe mh , beide für 100 Jahre. Ausserdem die Bonität nach JONSON und den der Bonität entsprechenden mittleren Zuwachs für 100 Jahre.

Tabelle 36.5.3.3. Vergleich mit den Bonitäten JONSONS. Verschiedene Durchforstungsprogramme und verschiedene Bonitäten h_{100} .

Voraussetzungen: Kiefer, Nordschweden, nicht gepflanzt. Die Tabelle zeigt für verschiedene Durchforstungsprogramme und verschiedene Bonitäten h_{100} den

mittleren Zuwachs m . R. für 100 Jahre, die Höhe des Kreisflächenmittelstammes hmg und die mittlere Höhe mh , beide für 100 Jahre.

In der Tabelle 36.5.3.2, welche sich ganz auf unsere Bonität $h_{100} = 20$ bezieht, haben wir JONSONS Bonitäten von 4,4 bis 5,5. Von diesen müssen laut JONSONS Anweisungen die Bonitäten des Hochdurchforstungsprogrammes korrigiert werden und werden deshalb hier übergegangen. Dagegen glaube ich kaum, dass eine der übrigen Bonitäten bei der praktischen Anwendung geändert werden muss. Wenn das richtig ist, wird in dem hier berührten Fall JONSONS Bonität, deren richtiger Wert 4,8 ist, auf Werte verschoben, welche zwischen 4,4 und 5,1 variieren.

Es ist interessant, die Tabellenwerte von mh und hmg für 100 Jahre zu vergleichen. Bei dem starken Niederdurchforstungsmoment L 5 ist der Unterschied 0,1 m, bei L 3 0,3 m und bei L 1 0,6 m. Bei den zwei Standarddurchforstungen ist der Unterschied 0,8 m und 0,9 m, bei der Selbstdurchforstung 1,0 m und bei der gleichmässigen Durchforstung 0,9 m. Beim Hochdurchforstungsmoment H 3 ist der Unterschied 0,8 m und beim Hochdurchforstungsmoment H 5 ebenfalls 0,8 m.

Auch die Tabelle 36.5.3.3 gilt für Kiefer, Nordschweden, nicht gepflanzt, doch werden hier die Durchforstungsprogramme auf drei begrenzt. Dafür wird die Tabelle auf die Bonitäten $h_{100} = 12, 20$ und 28 erweitert. Der Unterschied zwischen der mittl. Höhe mh und der Höhe des Kreisflächenmittelstammes hmg beträgt in den drei Bonitäten 0,3 m, 0,1 m, und 0,2 m. Diese Differenzen gelten für das Niederdurchforstungsmoment L 5, welches in allen Programmen der Tabelle vorkommt. Wenn dieses Moment geändert wird, erhalten die Differenzen andere Werte. Dagegen sind, wie bereits gesagt, die Differenzen unabhängig vom Moment der gleichmässigen Durchforstung. Diese Verhältnisse machen es möglich, aus einer geringen Anzahl untersuchter Differenzen den Wert mh für viele Produktionstabellen abzuleiten, wenn hmg bekannt ist.

Da ja die mittl. Höhe nicht vom Moment der gleichmässigen Durchforstung beeinflusst wird, gilt dies auch für die schwache Durchforstung, von der angenommen wird, dass sie für das in Frage kommende Nieder- oder Hochdurchforstungsmoment die beste »Ausnützung des Bodens« darstellt. Für jede Bonität h_{100} wird auf diese Weise JONSONS Idealbonität zu jener Gruppe von Durchforstungsprogrammen verlegt, deren Nieder- oder Hochdurchforstungsmoment die grösste mittl. Höhe bei 100 Jahren ergibt.

36.6. Welche Bedeutung hat die Schätzung des Produktionsvermögens?

Kein Forstmann dürfte bestreiten, dass der Bonitätsbegriff notwendig ist. Wir brauchen diesen in vielen Zusammenhängen, doch soll hier nur die wichtigste Aufgabe berührt werden. Als eine Folge des langen Produktionszeitraumes im Wald muss sich unsere Auffassung über das Wachstum der Bestände auf besondere Studien kurzer Entwicklungsfragmente stützen, welche in vielen Beständen beobachtet werden können. Mit Hilfe dieser Beobachtungen wollen wir ganze Entwicklungen berechnen, welche bei angenommenen natürlichen Voraussetzungen und angenommener Behandlung als wahrscheinlich anzusehen sind. In dieser Arbeit brauchen wir die Bonität als einen zusammenfassenden Ausdruck für die natürlichen Voraussetzungen.

Auf ähnliche Weise geht es in der Praxis zu. Wir sehen Bestände in verschiedenen Entwicklungsstadien, doch müssen wir, um eine kommende Entwicklung beurteilen zu können, jene Bestandesbilder herausuchen, welche zusammenge-

hören. Diese Zusammengehörigkeit wird von natürlichen Voraussetzungen und der Behandlung bestimmt. Auch hier brauchen wir die Bonität als eine Zusammenfassung der natürlichen Voraussetzungen. Darüber dürften sich alle einig sein.

Indessen gibt es verschiedene Meinungen über die Art der Definition der Bonitäten. Eine Sonderstellung nimmt Finnland ein, wo die Standortstypen dominieren. In anderen Ländern ist man schon seit langem der Ansicht, dass die mit dem steigenden Alter zusammenhängende Entwicklung der Baumhöhe der deutlichste Bonitätsindikator ist.

Die klassische Produktionsforschung definierte die Bonität durch die Bestandesmittelhöhe bei 100 Jahren, genauer gesagt durch das mit den Kreisflächen gewogene Mittel der Höhen der Durchmesserklassen dieses Alters. Es erwies sich jedoch, dass stärkere Durchforstungsformen einen bedeutenden Einfluss auf die Mittelhöhe haben, was durch die schematischen Versuche in der Tabelle 36.5.3.2 genau erläutert wird. Aus diesem Grund wurde in dieser Arbeit die Bonitierung mit der oberen Höhe eines Bestandes gewählt. Wie jedoch aus den Tabellen 36.5.3.2 und 36.5.3.3 hervorgeht ist es möglich, zwischen beiden Systemen eine Verbindung herzustellen, um — falls man will — eine Bonitierung nach der oberen Höhe in eine Bonität nach der mittl. Höhe umzurechnen.

JONSON schloss sich in seiner Arbeit 1914 soweit den Klassikern an, als er nach Alter und mittl. Höhe bonitieren wollte. Gleichzeitig führte er aber eine Neuheit ein, welche weniger glücklich gewählt war. Die Klassiker definierten ihre Bonitäten durch die mittl. Höhe bei 100 Jahren und erstellten von dieser Annahme aus Produktionstabellen, welche für die Produktion bei der entsprechenden Durchforstung galten. JONSON machte das Gegenteil. Er definierte die Bonitätsklassen durch eine a priori angenommene Produktionsfähigkeit und wollte in erster Linie jene mittl. Höhe bei 100 Jahren bestimmen, welche die Unterlage für diese Produktion bildete. Danach suchte er die mittl. Höhe für andere Altersstufen, welche zur mittl. Höhe bei 100 Jahren gehörten.

Es handelt sich hier um ein Gebiet, in dem wir dauernd bereit sein müssen, uns neuen Gesichtspunkten und Tatsachen anzupassen. Die natürliche Form für eine solche Anpassung ist eine Änderung des Produktionsresultates, welches bei gegebenen Werten für Alter und Höhe erwartet wird. Wenn man statt dessen am Endresultat der Wertung festhält und dafür die Voraussetzungen ändert, macht man die Anpassung so unübersichtlich und schwierig, dass sie selten durchgeführt wird.

Die obengenannten Höhengserien von 1914 und 1924 werden von der Reichswaldschätzung für die Bestimmung der Bonitätsklasse nach JONSON verwendet. Das Problem der absoluten Produktionsfähigkeit der Bonitäten wird dabei offen gelassen, aber die Idealbonitäten JONSONS wurden bei der Berechnung und für die Angabe der mittl. Bonitäten verwendet. In der vorliegenden Arbeit wird die Bonität JONSONS als eine Klassenbezeichnung zitiert, welche den schwedischen Forstleuten einen wahrnehmbaren Eindruck vermittelt. Alle wissen ungefähr wie JONSONS Bonität V aussieht, und die Klassennummer hat daher für die Orientierung in anderen Systemen grossen Wert.

In den Tabellen 36.5.3.2 und 36.5.3.3 wird ausserdem der mittlere Zuwachs bei 100 Jahren angegeben, welcher laut JONSON den mittl. Höhen bei 100 Jahren für verschiedene Durchforstungsprogramme und Bonitäten h_{100} entspricht. Bei variierendem Durchforstungsprogramm bezeichnet der beste mittlere Zuwachs jenes Programm, welches »den Boden am besten ausnützt«, und dieser beste mittlere Zuwachs entspricht also approximativ dem Ertrag nach JONSON. Diese Ziffern

werden — ohne Gewähr — angegeben, um die Auswirkungen von JONSONS System zu zeigen. Mit Rücksicht auf die Schwächen in den Unterlagen JONSONS, worüber in 36.2 gesprochen wurde, bin ich der Ansicht, dass die Zahlen mit grosser Vorsichtigkeit zu handhaben sind.

Es sind jedoch nicht diese Schwierigkeiten, an welche in diesem Zusammenhang, besonders gedacht wird. Die Frage in der Überschrift dieses Abschnittes umfasst mehr. Welche Bedeutung hat überhaupt eine Schätzung der Produktionsfähigkeit? Es ist uns nunmehr klar, dass die grösstmögliche Massenproduktion nicht als Ziel des Wirtschaftsplanes aufgestellt werden kann. Die Bestandespflege, welche wir anstreben, wird durch Vergleiche verschiedener Wirtschaftsprogramme bestimmt. Es ist am besten und einfachsten, diese Vergleiche direkt, ohne den Umweg über das Produktionsvermögen, anzustellen. Für die praktische Waldpflege haben deshalb Berechnungen der Produktionsfähigkeit nur geringe Bedeutung.

Dagegen kann das Wissen über die maximale Massenproduktion grossen theoretischen Wert als Kontrolle von Produktionsuntersuchungen haben. Aber solche Berechnungen sind schwer und müssen zuverlässig sein, um ihre Aufgabe erfüllen zu können. Für ein gutes Resultat ist immer genügend Zeit für die Bearbeitung und in vielen Fällen komplettierendes Material notwendig. Bis diese genannten Voraussetzungen gegeben sind, sollte man Berechnungen des Produktionsvermögens (Idealbonität) auf einzelne Studienfälle begrenzen.

Kap. 37. Kontrollen

37.1. Einleitung

Das Ziel dieser Arbeit ist die Sammlung von Wissen, welches der Forstwirtschaft als Richtlinie dienen kann. Indessen stehen wir hier vor einem Dilemma. Die Richtlinien müssen zuverlässig sein, damit sie Nutzen bringen können. Von dieser Forderung können wir nicht abgehen, müssen uns aber klarmachen, dass diese Zuverlässigkeit nicht auf einmal erreicht werden kann. Arbeiten dieser Art können nur auf eine Weise betrieben werden, nämlich durch Versuche, Kontrollen und mit deren Resultaten neue Versuche. Es ist noch viel Arbeit übrig, bevor man sagen kann, dass alles getan ist, was getan werden kann, um zuverlässige Ergebnisse zu erreichen. Unterdessen müssen wir uns mit sukzessiven Annäherungen an die erstrebte Zuverlässigkeit begnügen.

Die konstruktive Seite dieser Entwicklung wurde oft im Text und in den Methodenbeilagen der Abhandlung berührt. Für jede Teilaufgabe wurde mindestens eine Lösung gezeigt, nämlich die angewendete und oft wurden auch andere Auswege diskutiert. Dagegen wurden die Kontrollen, welche die Versuche festigten, mehr im Vorbeigehen behandelt. Dieses Kapitel ist daher als Komplettierung und Zusammenfassung der Kontrolldiskussion vorgesehen.

37.2. Die Hauptzüge der Untersuchung

Für die Planung der Arbeit war es entscheidend dass die Untersuchung letzten Endes auf ein Studium der Wertproduktion abzielt. Dazu war eine Nachweisung einzelner Dimensionen notwendig, welche überflüssig gewesen wäre, wenn die Massenproduktion allein interessiert hätte. Dieses Ziel gab zu Teil-

studien über die Stammverteilung in Ausgangsbeständen und die Veränderung durch Zuwachs und Durchforstung Anlass. Die Bestandesentwicklung wird mit Hilfe von Tafeln über Stammzahl, Durchmesser und Höhen in allen φ -Klassen zu allen Zeitpunkten dargestellt (vgl. Kap. 28). Unter »Zeitpunkten« wird dabei der Zeitpunkt jedes Eingriffes in den Bestand mittels Durchforstung oder Endabtrieb verstanden.

37.3. Theoretische Kontrollen

Die unter 37.2 angeführten Tafeln können nur ausnahmsweise durch direkten Vergleich mit dem Material kontrolliert werden. Die Tafeln beziehen sich nämlich auf bestimmte Voraussetzungen und müssten daher mit einem Material verglichen werden, welches von denselben Bedingungen beeinflusst wurde. Ein solches Vergleichsmaterial zu finden ist jedoch in der Regel unmöglich. Deshalb wird die Kontrolle auf jene Teilabschnitte in der Entwicklung verlegt, welche die Grundlage für die Aufstellung der Tafeln bildeten.

Mit gewissen Ausnahmen, welche in Kap. 24 und 25.3 berührt werden, wird der Ausgangsbestand und das Durchforstungsprogramm einer Produktionstabelle innerhalb weiter Grenzen frei gewählt. Diese Faktoren müssen daher als fehlerfrei angesehen werden. Nur die Zuwachsberechnung kann aus diesem Grunde Fehler aufweisen und die Kontrolle der Produktionstabelle kann sich auf eine Kontrolle des Zuwachses beschränken.

Als Grundlage für die Zuwachsberechnung wurde in dieser Arbeit das Zuwachsprozent des mittl. Durchmessers genommen. Dieses wurde mit Hilfe von den aus dem Material durch Regressionsanalyse hergeleiteten Funktionen bestimmt (vgl. Kap. 6). Dabei galt es solche Variable zu wählen und diesen eine solche Form zu geben, dass die bestmögliche Anpassung der Funktion an das Material erreicht wurde. Es wurde jene Reihe von Variablen anerkannt, welche die beste Anpassung ergab.

Mit Hilfe der Zuwachsprozent des mittl. Durchmessers wurden dann nach der in Kap. 28.3 beschriebenen Weise die Durchmesser und Höhen für die verschiedenen φ -Klassen berechnet. Zu diesem Zweck wurden jene Funktionen und Konstruktionen gewählt, welche die beste Anpassung an das Material zeigten.

Schliesslich wurden die Produktionstabellen unter Verwendung der so gewählten Hilfsmittel aufgebaut. Die Tabellen stellen deshalb die beste Anpassung zum Material dar, welche auf den durchgeführten Bearbeitungsversuchen gegründet werden konnte. Es ist möglich, dass nicht ausprobierte Variable eine bessere Anpassung ergeben hätten, es ist aber kaum wahrscheinlich, dass dadurch eine bedeutende Verbesserung erzielt worden wäre.

Jedoch ist die Anpassung der Tabelle an das Material nicht allein ausschlaggebend. Es ist ausserdem erforderlich, dass das Material mit den gegebenen Voraussetzungen harmoniert. Diese Frage wurde ausführlich in Kap. 26 diskutiert. In einer mustergültig angelegten Produktionsuntersuchung stellt das Material die Voraussetzungen der Tabellen dar, was bedeutet, dass die Anpassung zum Material auch im Verhältnis zu den Voraussetzungen gültig bleibt. In solchen Fällen kann die Untersuchung durch die Berechnung der Genauigkeit der Resultate kontrolliert werden.

Leider ist die mustergültige Untersuchung ein Ideal, welches selten oder nie in der forstlichen Produktionsforschung erreicht wird. Wir müssen uns damit abfinden, dass unsere Tabellen die wahrscheinliche Bestandesentwicklung nur an-

nähernd wiedergeben und dass die Berechnungen über die Sicherheit der Resultate annähernd richtig sind.

Der vorliegenden Untersuchung wurden 100 Produktionstabellen beigelegt. Diese wurden in drei Gruppen eingeteilt, wobei *A* berechnete, *C* beurteilte Tabellen und *B* einen Zwischengrad angibt (vgl. 26.8). Die in diesem Abschnitt geführte Überlegung bezieht sich nur auf die Gruppe *A*, und die darin aufgezählten Tabellen wurden provisorisch als Annäherungswerte für die wahrscheinliche Bestandesentwicklung anerkannt. Mit Rücksicht auf die Zusammensetzung des Materiales wurde es als nicht notwendig angesehen, die Genauigkeit dieser Resultate zu berechnen.

37.4. Praktische Beurteilung

Laut 26.7 beruht die in Kap. 37.3 aufgezeigte Unsicherheit auf Mängeln des Materials, welche Jahr für Jahr geringer werden. Unsere Resultate, welche wir heute als provisorisch bezeichnen, werden in absehbarer Zeit durch neue Ergebnisse ersetzt. Da es immer Gründe zu Verbesserungen gibt, werden auch diese nicht definitiv sein, es wird aber möglich werden, deren Genauigkeit zu berechnen, was für eine wirkliche Kontrolle notwendig ist.

Während wir auf eine solche exaktere Produktionsforschung warten, fehlt es uns aber nicht an Möglichkeiten, unsere Ergebnisse praktisch zu beurteilen. Vergleiche mit Untersuchungen unserer Nachbarländer über die Produktion per Hektar liegen dabei am nächsten. Material hierzu geben ILVESSALO (1920, 1937/38), MØLLER (1933), EIDE und LANGSÆTER (1940) und LANGSÆTER (1944). Auf Grund von Verschiedenheiten in den Voraussetzungen werden solche Vergleiche sehr zeitraubend, weshalb ich in diesem Zusammenhang darauf verzichten musste.

In unserem Land besteht die Möglichkeit von Vergleichen mit der Produktionsfähigkeit per Hektar nach JONSON (vgl. Kap. 36). Darauf wurde bei der Beurteilung der Korrekturen 20.9.5 und 21.3.2 Rücksicht genommen. Der Vergleich ist jedoch nicht beweisend, da die Angaben JONSONS als schwächer unterbaut anzusehen sind als unsere. Vorkommende Widersprüche geben jedoch, soweit dies möglich ist, Anlass zur Prüfung beider Angaben.

Auch hinsichtlich Einzelheiten können Vergleiche zwischen den Produktionstabellen und unserer praktischen Erfahrung gezogen werden. Als Unterlage bieten sich die für den Aufbau der Tabellen ausgearbeiteten Durchmesser- und Höhentafeln (vgl. Kap. 28). Diese Tafeln weisen die Entwicklung jener Stämme nach, welche im Ausgangsbestand derselben φ -Klasse angehörten. Unter Vorbehalt von Störungen durch die Schematisierung kann die Entwicklung in jeder φ -Klasse als für einen einzelnen Baum geltend betrachtet werden. Der Unterschied zwischen zwei aufeinanderfolgenden Durchmessern einer φ -Klasse stellt dann einen periodischen Zuwachs dar, woraus die Jahrsringsbreite berechnet werden kann. Auf dieselbe Weise kann der Unterschied zweier aufeinanderfolgender Höhen auf Jahrestrieblängen umgerechnet werden. Die Beurteilung endet schliesslich mit der Frage, ob diese Jahresringe und -triebe als wahrscheinlich angesehen werden können.

Die Beispiele für solche Einzelbeurteilungen könnten vervielfacht werden. Hier soll nur auf die Einzelheiten der eigentlichen Produktionstabellen hingewiesen werden, z. B. den Entwicklungsgang des laufenden und mittl. Zuwachses, deren Wahrscheinlichkeit beurteilt werden kann. Auch hier wird vor unberechtigten Vergleichen gewarnt, wie z. B. zwischen unserer Stammholzmasse und dem »Derbholz« älterer Tabellen.

37.5. Die Anwendung der Beurteilung

In der Produktionsforschung wird die Beurteilung vorzugsweise für zwei Ziele, nämlich für die Ausscheidung von unrealistischen Alternativen und für Korrekturen verwendet. Wir betrachten diese Anwendungen unter I und II und fügen unter III einige Erwägungen über Beurteilungen bei gutgeheissenen Alternativen hinzu.

I. Für die Wahl des Pflegeprogrammes wollen wir Produktionstabellen vergleichen, welche unter verschiedenen Voraussetzungen ausgearbeitet wurden. Besonders bei diesen ersten Untersuchungen war es schwer vorauszusehen, welche Voraussetzungskombinationen für den Vergleich herangezogen werden sollten. Man riskierte daher, dass Arbeiten für Tabellen ausgeführt wurden, welche später ohne Interesse waren. Durch praktische Beurteilungen der hier angegebenen Art war es oft möglich, die Arbeit für solche Fälle in einem zeitigen Stadium abubrechen.

II. In anderen Fällen gab die Beurteilung Anlass zu Korrekturen (vgl. 20.9 und 21.3). Solche Korrekturen entsprechen Änderungen des Materials und dürfen nur dann vorkommen, wenn man Grund dazu hat, das Material als missweisend zu betrachten. Die durchgeführten Korrekturen wurden als provisorisch angegeben.

III. Obwohl die praktische Beurteilung so oft als möglich herangezogen wurde, konnten bei weitem nicht alle Tabellen auf diese Weise geprüft werden. Ebenso haben vorkommende Gegensätze zwischen Teilresultaten und Erfahrungen in vielen Fällen keine Änderungen herbeigeführt, wenn sie für das Endresultat als unwesentlich angesehen wurden. Änderungen sind sehr kostspielig und die Beobachtung von Gegensätzen kann auf andere Weise Nutzen bringen, nämlich bei der Planung neuer Untersuchungen.

Kap. 38. Schlusswort über das Resultat

38.1. Einleitung

In Kap. 33 wird gesagt, dass die vorliegende Arbeit über »Die Massenproduktion des Nadelwaldes« eng mit einer geplanten Veröffentlichung über »Die Wertproduktion des Nadelwaldes« zusammenhängt.

Beide Arbeiten erforderten Kenntnis über die wahrscheinliche Bestandesentwicklung unter verschiedenen Voraussetzungen und bei verschiedener Behandlung. Diese grundlegenden Untersuchungen brauchen weder mit der Masse noch mit dem Wert operieren. In dieser Arbeit wurde die Bestandesentwicklung durch Tafeln über Stammzahl, Durchmesser und Höhen für alle φ -Klassen und für jeden Zeitpunkt definiert (vgl. Kap. 28). Mit Hilfe dieser Daten wurden dann Tabellen für die Massenproduktion und Wertproduktion ausgearbeitet.

Die genannten Tafeln stellen die Grundlage der Typfälle dar. Um sie von den Produktionstabellen zu unterscheiden, welche die gesamte Bestandesentwicklung zeigen, werden sie Grundtafeln genannt. Jede Produktionstabelle erforderte drei solcher Tafeln, nämlich eine für die Stammzahl, eine für die Durchmesser und eine für die Höhen. Die Tafeln können aus Platzgründen nicht veröffentlicht werden, doch werden Beispiele auf folgenden Stellen gebracht:

Für die Stammzahltafel in der Hilfstabelle H 8 und unter 18.3; für die Durchmesserertafel in der Methodenbeilage M 28; für die Höhentafel in der Hilfstabelle H 10 sowie unter 22.5.1.

38.2. Betrachtungen zur Wertproduktion

Gemäss dem Leitgedanken dieser Abhandlung ist es die Hauptaufgabe der Produktionsforschung, bei der Wahl des Pflegeprogrammes zu helfen. Für dieses Ziel ist die Wertproduktion ausschlaggebend. Die für deren Berechnung erforderlichen Grundtafeln sind ein Glied in der Massenberechnung.

Auch auf eine andere Art bildet die Massenuntersuchung eine Voraussetzung für die Berechnung der Wertproduktion, nämlich bei den praktischen Kontrollen (vgl. Kap. 37). Unsere praktische Erfahrung ist in vieler Hinsicht an die Masse gebunden. Wenn wir eine Produktionstabelle auf die Wahrscheinlichkeit ihrer Werte hin beurteilen wollen, so wird oft die Massenproduktion der Tabelle unser bestes Kriterium. Das ist besonders unter den jetzigen Verhältnissen wichtig. Die theoretische Kontrolle kann wegen Mängel im Material in manchen Fällen nicht angewendet werden und gibt damit den praktischen Kontrollen vermehrte Bedeutung.

38.3. Das Ergebnis der Massenuntersuchung

Unter Hinweis auf Kap. 38.2 kann die Massenuntersuchung als eine Vorbereitung zur Wertberechnung angesehen werden, welche bei der Wahl des Wirtschaftsprogrammes den Ausschlag gibt. Die Bedeutung der Arbeit über »Die Massenproduktion des Nadelwaldes« kann daher nicht vollkommen beurteilt werden, bevor »Die Wertproduktion des Nadelwaldes« publiziert worden ist. Auf der anderen Seite haben die Massenresultate grössere Dauerhaftigkeit als die Wertberechnungen, welche von Konjunkturschwankungen beeinflusst werden. Es ist daher angebracht, jede der beiden Arbeiten für sich zu veröffentlichen.

Man kann aber auch das Studium der Massenproduktion als eine eigene Forschungsaufgabe auffassen. Auch in diesem Fall wird ein zukünftiger Nutzen im Dienst der Forstwirtschaft beabsichtigt, doch ist die Zeit dafür weiter entfernt und die Art der Ausnützung weniger bestimmt. Das Ziel, welches zunächst angestrebt wird, kann als erweitertes Wissen über das Wachstum des Waldes angegeben werden.

Ein solches Studium steht an der Grenze zwischen der Produktionsforschung, die den Gang der Bestandesentwicklung feststellen will, und der naturwissenschaftlichen Analyse, welche diese Entwicklung zu erklären versucht. Ohne Zweifel gibt es in diesem Grenzgebiet grosse Möglichkeiten für eine fruchtbringende Zusammenarbeit.

Für solche Untersuchungen kann Material in allen Stadien der Bearbeitung verwendet werden. In gewissen Fällen muss die direkte Beobachtung vorgezogen werden, in anderen kann man die Zusammenfassung vieler Beobachtungen ausnützen, welche eine Regressionsfunktion darstellen. Schliesslich kann die Bewertung auf dem komplizierten Zusammenhang beruhen, welcher in den Produktionstabellen zum Ausdruck kommt.

Es ist diese letztgenannte Art der Untersuchung, welche uns in diesem Zusammenhang zunächst interessiert. Der Gedankengang gleicht dem, welcher in naturwissenschaftlichen Experimenten angewendet wird, wo man einen Faktor variieren lässt, während die übrigen konstant bleiben. In diesem Fall wählen wir zwei Produktionstabellen heraus, deren Voraussetzungen in einer Eigenschaft abweichen, im übrigen aber gleich sind. Der Unterschied zwischen den Resultaten der Tabellen gibt uns eine Vorstellung über den partiellen Einfluss der abweichenden Eigen-

schaft. Eine Anzahl solcher die Massenproduktion betreffender Vergleiche wurde in Kapitel 35 zusammengestellt.

Beim Vergleich von Produktionstabellen ist es wichtig, dass die Ablesung für diejenige Periode erfolgt, welche von der aktuellen Fragestellung bedingt wird. Wenn sich die Untersuchung auf die Dauerwirkung verschiedener Durchforstungsprogramme bezieht, muss für jedes Programm jenes Schlussalter verwendet werden, welches mit Rücksicht auf die Massenproduktion das beste ist. Deshalb wählen wir möglichst das Schlussalter, in dem der mittl. Zuwachs der Masse kulminiert. Ohne, bzw. bei schwacher Durchforstung tritt jedoch die Kulmination so spät ein, dass die Regel kaum angewendet werden kann. Wir müssen uns daher mit Annahmen begnügen.

In anderen Fällen wollen wir den Zuwachs z. B. für einen Zeitraum von zehn Jahren im voraus vergleichen, welcher in einem aktuellen Bestand beliebigen Alters nach verschiedenen Durchforstungen erwartet werden kann. Solche Fragen werden am besten durch den laufenden Zuwachs beantwortet.

Schliesslich kann sich die Untersuchung auf die Produktion einer bestimmten Bonität beziehen. Im Prinzip müsste dieser Fall auf dieselbe Art behandelt werden wie die Frage nach dem höchsten nachhaltigen Ertrag. Man legt aber gewöhnlich die Höhe bei 100 Jahren der Bonitierung zu Grunde und drückt deshalb das Produktionsvermögen durch den höchsten mittl. Zuwachs bei 100 Jahren aus.

38.4. Bestandesdichte und Massenproduktion. Nicht gepflanzte Bestände

Für Kiefer, Nordschweden, nicht gepflanzt, $h_{100} = 20$ wurden folgende Resultate erhalten (vgl. 35.3, Abteilung I—VIII). Der Vergleich umfasst nur Bestände normaler Dichte oder lichtere Bestände.

In den betrachteten Fällen wird die Massenproduktion durch die Dichte der Ausgangsbestände gefördert. Die Produktion steigt mit dem mittl. Durchmesser und der Stammzahl. Normalerweise verringert sich die Stammzahl, wenn der mittl. Durchmesser grösser wird. Wenn die Stammzahl des Ausgangsbestandes mit Hilfe der Funktion $F_{1,2}$ dem mittl. Durchmesser angepasst wird, bleibt der gemeinsame Effekt von mittl. Durchmesser und Stammzahl unverändert.

Die Massenproduktion wird hoch, wenn die bei der Durchforstung entnommenen Massen gering sind. Bei gleicher Massenentnahme wird die Produktion vermindert, wenn das Niederdurchforstungsmoment geringer wird. Die Produktion wird weiter gesenkt, wenn die Niederdurchforstung zuerst durch gleichmässige Durchforstung, dann durch schwache und schliesslich durch starke Hochdurchforstung ersetzt wird.

Die im obigen Absatz angegebenen Erfahrungen, dass geringe Massenentnahme und hohes Niederdurchforstungsmoment hohe Produktion erzielen, können jedoch nicht unbegrenzt gelten. Dann würde die maximale Produktion durch ein hohes Niederdurchforstungsmoment und ohne Moment gleichmässiger Durchforstung erreicht werden, was vom waldbaulichen Standpunkt aus unwahrscheinlich erscheint. Dieser Widerspruch ist aber nur scheinbar. Wenn wir die gleichmässige Durchforstung nicht anwenden, wird die obere Schicht durch Selbstdurchforstung aufgelockert und der Ertrag an frischem Holz vermindert. Das extreme Programm führt nicht zu maximaler Produktion. Die grösste Produktion wird durch die Standarddurchforstung erreicht, welche der Selbstdurchforstung gerade noch vorgeht (vgl. 36.4).

Bei einem durchgeführten Vergleich hat sich gezeigt, dass die Länge des Durchforstungsintervalles keinen Einfluss auf die Massenproduktion hat (vgl. Tab. 35.3.3). Dabei wird vorausgesetzt, dass die Massenenahmeprozente immer für fünf Jahre gelten, die Entnahme bei längerem Intervall also entsprechend erhöht wird.

Man beachte, dass der Vergleich nur fünf- und zehnjährige Intervalle umfasst. Bei einer früheren Untersuchung (PETTERSON 1937) stellte ich eine deutliche Verminderung der Massenproduktion bei fünfzehnjährigen Intervallen fest.

Die geeignete Länge des Durchforstungsintervalles ist schon oft, jedoch ohne grossen Erfolg, diskutiert worden. Die Unklarheit auf diesem Gebiet beruht im Wesentlichen auf der Schwierigkeit den Effekt von Intervall und Durchforstungsstärke auseinanderzuhalten. Für eine bestimmte Bonität wird die Produktion hauptsächlich durch die fortschreitende Lichtung auf lange Sicht bestimmt. Ob diese durch kurze Intervalle und schwache Eingriffe oder lange Intervalle und starke Eingriffe erreicht wird, hat meistens nur geringe Bedeutung. Für Bestände, welche früher zu dicht gestanden sind oder für windexponierte Lagen ist es aber vielleicht notwendig, starke einmalige Eingriffe zu vermeiden. Die einzige Möglichkeit für eine kräftig fortschreitende Auflichtung ist hier die Wahl kurzer Intervalle.

38.5. Bestandesdichte und Massenproduktion. Gepflanzte und früh durchläuterte Bestände

Für die Gruppe Kiefer, Nordschweden, $h_{100} = 20$ wurden Tabellen für gepflanzte Bestände berechnet (siehe Tab. 35.3.9) und für frühe Durchläuterung in selbstgesäten Beständen.

Der gepflanzte Ausgangsbestand wurde mit Hilfe zugänglicher Untersuchungen in kultivierten Beständen beurteilt. Dabei wurden vor allen Dingen der mittl. Durchmesser und jene Stammzahl gesucht, welche bei einer oberen Höhe von 8 m als wahrscheinlich anzusehen waren. Als Resultate erhielt man einen mittl. Durchmesser von 8 cm und je nach der Voraussetzung eine Stammzahl von 2 800 oder 4 101.

Der Durchmesserzuwachs wurde auf die übliche Weise berechnet, die Höhenentwicklung aber durch Senkung des Alters bei 1,3 m korrigiert. Dadurch wurden die Höhen unter 100 Jahren vergrössert und zugleich eine höhere Massenproduktion erreicht. Als Endresultat erzielten bei einer Stammzahl von 2 800 die gepflanzten Bestände einen geringeren mittleren Zuwachs als die aus Selbstbesamung entstandenen Bestände und umgekehrt bei einer Stammzahl von 4 101.

Nachdem die Änderung der Höhe mit dem mehr schütterten Aufkommen des gepflanzten Bestandes motiviert wurde, müsste dieselbe Korrektur bei minderer Bestockung aus anderen Gründen ebenfalls gelten. Deshalb wurde angenommen, dass eine Tabelle für früh durchläuterte Bestände — ohne Rücksicht auf ev. Korrekturen für langsameren Höhenzuwachs vor der Durchläuterung — bei entsprechender Pflanzungsalternative mit der Tabelle 35.3.9 identisch sein müsste.

Als eine Folge dieses Gedankenganges müssten die Höhen auch in den schütter aufgekomenen Beständen korrigiert werden, welche in der Tabelle 35.3.7 angeführt sind. Dadurch müsste der mittl. Zuwachs steigen, besonders in den lichteiten Beständen. Doch würde eine so weitgehende Anwendung der Höhenkorrektur umfassende Aussenarbeiten erfordern. Bis auf weiteres besteht also die Tendenz der Notwendigkeit einer Korrektur bei der Erklärung der Resultate aus solchen Beständen.

Für die Gruppe Kiefer, Südschweden, sowie Fichte, Nord- und Südschweden,

wird die Korrektur der Höhenkurve in den Kap. 35.4, 35.5 und 35.6 diskutiert. Mit Ausnahme von Höhenänderungen werden in diesem Fall die gepflanzten Ausgangsbestände als mit den entsprechenden nicht gepflanzten Beständen gleich bezeichnet. Im betreffenden Abschnitt wird gesagt, dass der in solchen Fällen durch Hinaufschieben der Höhenkurve erzielte grössere Zuwachs als partieller Effekt betrachtet werden muss.

38.6. Freistellung

In diesem Zusammenhang ist es angebracht, an einen besonders interessanten Fall zu erinnern, der in dieser Untersuchung fehlt, nämlich die Freistellung von Samenbäumen und Überhältern der Kiefer. Die Wirkung solcher Massnahmen ist sicher sehr verschieden und beruht auf dem Zustand des Bestandes vor dem Eingriff. Früher sah man oft, dass die Freistellung in vorher nichtdurchforsteten Beständen durchgeführt wurde. Nunmehr betrachtet man die Freistellung als den Abschluss einer langwierigen Bestandespflege mittels Durchforstung. Zwischen diesen zwei Extremen sind alle Übergänge zu finden. Wir können uns hier auf die Extremfälle beschränken.

Bei der Freistellung, welche mit Durchforstungen vorbereitet wurde, kann man ähnliche Reaktionen wie bei der Durchforstung erwarten. Wahrscheinlich ist nur eine geringe Extrapolierung der Zuwachsfunktionen für die Durchforstung nötig. Doch haben diese Reaktionen grosse Bedeutung für unsere Ansicht über den Endabtrieb des Bestandes und müssen so genau wie möglich untersucht werden. Das hierzu erforderliche Material wird allmählich durch den Endabtrieb der Durchforstungsflächen erhalten. Für die Wahl der wirtschaftlichen Massnahmen ist es notwendig, das Aufkommen der Verjüngung und deren Entwicklung in Verbindung mit den Zuwachsreaktionen zu beobachten.

Beim anderen Extremfall, also Freistellung in undurchforsteten Beständen, haben wir nicht die Absicht diese Massnahmen nachzuahmen. Dass dieser Fall hier aufgegriffen wird, liegt an seinem grossen — vielleicht sogar sehr grossen — theoretischen Interesse, und auch darauf, dass das Material für dessen Studium mit jedem Jahr schwerer zu erhalten ist. Auch hier handelt es sich um die Verbindung zwischen dem vorhergehenden Zustand des Bestandes, dem Eingriff, der Zuwachsreaktion und dem Aufkommen der Verjüngung. Solchen Freistellungen brachte man vor 20—30 Jahren grosses Interesse entgegen. Am auffallendsten war das Ergebnis in Kiefern-Fichtenwald mit starkem Fichtenanteil. Dort konnten Kiefern teilweise gewaltige Reaktionen zeigen. Es wurden Fälle beobachtet, bei denen der Kreisflächenzuwachs der Kiefern per Hektar ungefähr dem Zuwachs vergleichbarer Durchforstungsbestände entsprach. Nach ca. 20 Jahren trat eine ruhigere Entwicklung ein, zumindest teilweise durch den Einfluss einer aufgekomenen Verjüngung hervorgerufen.

Ein gründliches Studium dieser relativ einfachen Entwicklung würde uns sicher interessante Aufschlüsse über die komplizierteren Durchforstungsfälle geben.

38.7. Zusammenfassung

Die angeführten Beispiele zeigen eine deutliche Übereinstimmung mit den Tendenzen in dem 50 Jahre alten Ergebnis SCHWAPPACHS (siehe 1.3). Bevor wir diese diskutieren, müssen einige Begriffe definiert werden.

In dieser Arbeit haben wir zwischen Selbstdurchforstung und aktiven Durchforstung unterschieden. Bei der Selbstdurchforstung besteht der gesamte Ertrag, ausser dem Endabtrieb, aus Dürholz und verringert in hohem Masse die angestrebte Produktion frisches Holzes. Aus diesem Grund muss man der Selbstdurchforstung ausweichen, sobald eine aktive Durchforstung durchgeführt werden kann. Darüber gibt es keinen Zweifel.

Dagegen gibt die Stärke der aktiven Durchforstung Grund zur Diskussion. Die für die Klärung dieser Frage ausgeführten Versuche beziehen sich auf verschiedene Stärkestufen aktiver Durchforstung. Sowohl die Resultate SCHWAPPACHS als auch meine eigenen müssen mit dieser Einschränkung betrachtet werden.

Die früher bestehende und noch nicht verschwundene Auffassung, dass die Massenproduktion durch die Durchforstung erhöht wird, dürfte aus einer Übergangszeit stammen, in der man vor der Wahl zwischen Selbstdurchforstung und schwacher aktiver Durchforstung stand. Damals war die Folgerung einer erhöhten Produktion richtig. Seit aber die Fragestellung auf die Wahl zwischen verschiedenen starken Durchforstungsarten verschoben wurde, kann eine grössere Produktion nach stärkeren Eingriffen nicht mehr erwartet werden.

In den Durchforstungsversuchen SCHWAPPACHS, deren Bearbeitung auf den Zuwachs der Kreisfläche beschränkt war, konnte kein sicherer Unterschied zwischen den verschiedenen Durchforstungsgraden bemerkt werden. Dagegen zeigten seine Lichtungshiebe einen geringeren absoluten Kreisflächenzuwachs als die gewöhnlich stark durchforsteten Vergleichsflächen. Meine Untersuchung, welche sich auf die Massenproduktion bezieht, umfasst ungefähr alle Stärkegrade zwischen SCHWAPPACHS schwacher Durchforstung und seinen Lichtungshiebversuchen. Sie zeigt eine einwandfreie Produktionsverminderung bei stärkerer Durchforstung.

Doch kann — wie schon früher betont wurde — der Massenproduktion keine entscheidende Bedeutung bei der Wahl von forstpfleghchen Massnahmen zukommen. Man kommt nicht über die Feststellung hinweg, dass die Entscheidung mehr oder weniger bewusst von wirtschaftlichen Gesichtspunkten aus diktiert wird. Auf dieses Problem kommen wir in der Arbeit »Die Wertproduktion des Nadelwaldes« zurück.