

Mitteilungen aus der Bayerischen Staatsforstverwaltung

Heft 49

Wachstumstrends der Fichte in Bayern

von

Hans Pretzsch und Heinz Utschig

München 2000



Titelbild: Denklingen 223, Fichtendüngungsversuch
im Forstamt Schongau, Aufnahme 1999
Foto: L. Steinacker

Herausgeber: Bayerische Staatsforstverwaltung
Ludwigstraße 2; 80539 München

Zu beziehen über: Bayer. Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten
Referat V 2, Ludwigstraße 2, 80539 München

Oktober 2000

Alle Rechte vorbehalten.

Nachdruck, auch auszugsweise, sowie fotomechanische und elektronische Wiedergabe nur mit
Genehmigung des Herausgebers.

ISSN: 1616 – 511X

Vorwort

Die Fichte ist die wichtigste Baumart in den Wäldern Bayerns. Erkenntnisse und Beobachtungen über ein verändertes Wuchsverhalten dieser Baumart sind daher von besonderer Bedeutung für die Forstwirtschaft. Der vorliegende Forschungsbericht bereitet vorhandene Waldwachstums- und Standortdaten aus Versuchsflächen sowie aus großräumigen und betriebsweisen Inventuren auf und führt sie so zusammen, dass in Kombination mit der Nutzung von Wuchsmodellen Aussagen zu Standortveränderungen und Zuwachstrends möglich werden. Die Ergebnisse bestätigen, dass die Vielfalt Bayerns bei allen Untersuchungen und Aussagen beachtet werden muss. Zwischen den Landschaften Süd- und Nordbayerns bestehen große Unterschiede, sowohl hinsichtlich der aktuellen Verhältnisse als auch hinsichtlich denkbarer Szenarios unter Annahme gerichteter Veränderungen.

Wenn wir davon ausgehen müssen – und vieles spricht dafür –, dass tatsächlich durch Stoffeinträge und Klimawandel die früher angenommene Konstanz der Standortbedingungen nicht mehr gegeben ist, müssen wir die richtigen Folgerungen ziehen. Unser forstliches Handeln muss noch mehr als ohnehin vorgesehen die Stabilität und Reaktionsfähigkeit des Waldes fördern. Angepasste Pflege- und Nutzungsstrategien für die jetzt vorhandenen Bestände zählen dazu genauso wie die Schaffung ausreichender und aus vielen Baumarten gemischter Vorausverjüngungsvorräte für die Wälder der Zukunft. Dabei ist aber Einseitigkeit zu vermeiden. Eine landesweite Verteufelung der Fichte wäre dabei sicher genauso ein Fehler wie das bedenkenlose Laufen lassen flächendeckender Fichten-Naturverjüngung in Landschaften wo Temperatur und Niederschläge jetzt schon im Grenzbereich für diese Baumart liegen. Für die notwendige differenzierte Sicht liefert der vorliegende Band viele wertvolle Anregungen.

München, Januar 2000

G. Biermayer
Bayerisches Staatsministerium
für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten

Vorwort

Der langfristige Wachstumsgang von Bäumen eignet sich als Indikator für Veränderungen in Waldökosystemen. Er kann aus langfristigen ertragskundlichen Versuchsflächen, Bohrkernanalysen und Wiederholungsinventuren abgeleitet werden. Aus solchen Daten lassen sich durch Ertragstafelvergleich, die Methode des konstanten Alters, den Generationenvergleich und die Auswertung von Folgeinventuren Wachstumsveränderungen diagnostizieren. Demnach steigen die Zuwächse unserer Waldbestände seit mehreren Jahrzehnten mit großregionaler Ausprägung beträchtlich an. Die festgestellten Mehrzuwächse im Vergleich zu den gängigen Ertragstafeln von 12 bis 43 % unterstreichen die Mängel der zu Grunde liegenden Ertragstafeln und liefern Indizien für einen langfristigen Wachstumstrend. Die für die Nordhemisphäre nachgewiesene Temperaturerhöhung und Verlängerung der Vegetationszeit bieten eine wahrscheinliche Erklärung für den großregionalen Zuwachsanstieg. Das Ausmaß der Zuwachsreaktion ist von der artspezifischen ökologischen Amplitude abhängig und wird durch lokal und regional wirksame Einflussfaktoren, etwa lokale Standortbedingungen, Stoffeinträge und biotische Stressoren überprägt. Diese Überprägung erbringt eine Vielfalt von Zuwachsreaktionsmustern und positive wie negative Abweichungen vom erwarteten alterstypischen Wachstumsgang. Sie liefert einen Erklärungsansatz für den zunächst paradox erscheinenden Befund, dass geradezu hypertrophes Wachstum, Zuwachsrückgänge und Bestandesauflösungen zeitgleich nebeneinander auftreten können.

Auf einen solchen Wandel der Wuchsbedingungen hat das Bayerische Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten mit der Förderung des Forschungsprojektes „Wachstumstrends der Fichte in Bayern“ reagiert. Wir danken für die wirkungsvolle Förderung der Forschungsarbeit, die in den Jahren 1996 bis 1998 am Lehrstuhl für Waldwachstumskunde ausgeführt wurde und Gegenstand dieses Forschungsberichtes ist.

Freising, Januar 2000

Hans Pretzsch und Heinz Utschig

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung der Ergebnisse	9
1.1	Datenmaterial	9
1.2	Befunde aus den langfristigen Versuchs-, Probe- und Weiserflächen.....	9
1.3	Befunde aus der Forsteinrichtungs-Datenbank der Bayerischen Staatsforstverwaltung.....	10
1.4	Ansätze zur Quantifizierung der Veränderung des Wachstums von Fichtenbeständen	10
1.5	Prognoserechnungen für das Wachstum der Fichte in bayerischen Wuchsbezirken	10
1.6	Bewertung und Ausblick	11
2	Summary of Results.....	12
2.1	Data materia.....	12
2.2	Results from long-term study, test and indicator areas.....	12
2.3	Results from the Bavarian State Forest Inventory data base	13
2.4	Concept for quantifying growth changes in spruce stands	13
2.5	Predicting growth of spruce in Bavarian growth districts	13
2.6	Assessment and Prospects	14
3	Ziele und Methoden der Forschungsarbeit.....	15
3.1	Einleitung	15
3.2	Methoden zur Identifikation von Wachstumstrends.....	16
3.2.1	Ertragstafelvergleich	18
3.2.2	Dynamische Wachstumsmodelle als Referenz.....	21
3.2.3	Langfristiger alterstypischer Baumzuwachs	22
3.2.4	Diagnose von Wachstumstrends aus Inventuren	24
3.2.5	Wachstumsvergleich zwischen Vor- und Folgegeneration auf gleichem Standort	25

4	Veränderung von wachstumsbestimmenden Faktoren.....	26
4.1	Mögliche Auswirkungen von Änderungen des CO ₂ -Gehaltes in der Atmosphäre.....	27
4.2	Mögliche Auswirkungen von Temperaturänderungen.....	29
4.3	Mögliche Auswirkungen von Niederschlagsänderungen.....	31
4.4	Mögliche Auswirkungen des Stickstoffeintrages	33
4.5	Mögliche Auswirkungen der SO ₂ -Immissionen	34
4.6	Mögliche Auswirkungen durch Ozon-Belastung.....	35
4.7	Mögliche Auswirkungen veränderter Waldbauverfahren.....	36
4.8	Erholung der Böden nach Streunutzung	37
5	Übersicht über die Datenbasis	38
5.1	Langfristige Versuchsflächen.....	38
5.2	Wuchsreihen	43
5.3	Probe- und Weiserflächen.....	44
5.4	Inventurdaten	46
5.5	Datengrundlage zur Untersuchung des langfristigen alterstypischen Baumzuwachses	48
6	Darstellung der Wachstumsgänge gesondert nach Datenquellen.....	51
6.1	Auswertung der langfristigen Versuchsflächen für die Fichte.....	51
6.1.1	Bayerische Alpen	52
6.1.1.1	Bayerische Alpen, Höhenlage bis 1000 m	52
6.1.1.2	Bayerische Alpen, Höhenlage über 1000 m.....	55
6.1.2	Schongau.....	58
6.1.3	Schwaben	64
6.1.4	Münchner Schotterebene.....	69
6.1.5	Oberbayerische Jungmoräne	72
6.1.6	Tertiäres Hügelland.....	75
6.1.7	Frankenalb.....	78
6.1.8	Fränkischer Keuper	81
6.1.9	Bayerischer Wald.....	84
6.1.10	Fichtelgebirge und Mitterteich	87

6.2	Auswertung der Daten aus Wuchsreihen.....	90
6.2.1	Die Wuchsreihe Kreuth 824	90
6.2.2	Die Wuchsreihe Schongau 814.....	92
6.2.3	Die Wuchsreihe Freising 813	93
6.2.4	Die Wuchsreihe Bodenmais 821	95
6.3	Auswertung von Bohrspanproben aus Probeflächen.....	97
6.3.1	Bayerische Alpen.....	98
6.3.2	Schwaben und Oberbayern	101
6.3.3	Ostbayern.....	104
6.3.4	Nordbayern	107
6.4	Auswertung von Daten der Forsteinrichtungs-Datenbank der Bayerischen Staatsforstverwaltung.....	110
6.4.1	Durchschnittliche Alters-, Bonitäts-, Bestockungsgrad- und Vorratswerte für Wuchsbezirke in Bayern	110
6.4.2	Bestandesmittelhöhen und Bestandesgrundflächen ausgewählter Wuchsbezirke im Altersspektrum	114
7	Ansätze zur Quantifizierung der Veränderung des Wachstums von Fichtenbeständen.....	119
7.1	Vergleich von Vor- und Folgebestand.....	119
7.1.1	Wachstum von Vor- und Folgebestand im Bereich Schongau	119
7.1.2	Wachstum von Vor- und Folgebestand in Ottobeuren	121
7.1.3	Wachstum von Vor- und Folgebestand im Stiftungsforst- amt Laugna	123
7.1.4	Wachstum von Vor- und Folgebestand in Fürstenfeldbruck	125
7.1.5	Wachstum von Vor- und Folgebestand in Freising	127
7.2	Langfristiger alterstypischer Baumzuwachs.....	129
7.2.1	Langfristiger alterstypischer Baumzuwachs im Untersuchungsgebiet Schongau.....	129
7.2.2	Langfristiger alterstypischer Baumzuwachs im Untersuchungsgebiet Freising.....	130
7.2.3	Langfristiger alterstypischer Baumzuwachs im Untersuchungsgebiet Bodenmais.....	131
7.3	Ableitung von Wachstumstrends aus Inventuren	134

8	Regionalisierung der Erkenntnisse zu den Wachstumstrends der Fichte in Bayern	136
8.1	Grundlagen für die Prognose des Fichtenwachstums in Bayerischen Wuchsbezirken	136
8.2	Prognose des Fichtenwachstums in bayerischen Wuchsbezirken mit SILVA 2.2 unter derzeitigen Standort- und Klimabedingungen	141
8.3	Prognose des Fichtenwachstums in bayerischen Wuchsbezirken mit SILVA 2.2 unter veränderten Klimabedingungen	144
8.4	Prognose der forstwirtschaftlichen Konsequenzen von Klimaveränderung am Beispiel des Tertiären Hügellandes	150
9	Bewertung der Befunde und ihrer Auswirkungen auf die Praxis	153
9.1	Bewertung der Ergebnisse aus den Versuchsflächen, Wuchsreihen Probeflächen und den Inventurdaten	154
9.1.1	Erkenntnisse aus der Beobachtung von langfristigen Versuchsflächen	154
9.1.2	Brauchbarkeit von Ertragstafeln als Referenzgröße	155
9.1.3	Beurteilung der Aussagekraft der Inventurergebnisse für überbetriebliche Auswertungen	156
9.2	Bewertung der Ansätze zur Quantifizierung der Veränderung des Wachstums von Fichtenbeständen	157
9.3	Bewertung der Regionalisierung der Erkenntnisse zu den Wachstumstrends der Fichte in Bayern	158
9.4	Wachstumstrends der Fichte im Zusammenhang mit Klimaveränderungen und Immissionen	159
9.5	Auswirkungen der Ergebnisse für die Praxis	160
10	Literaturverzeichnis	163

1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Durch das Immissionsgeschehen in Deutschland überlagern sich zuwachsfördernde und zuwachsmindernde Einflüsse, die bisher nur punktuell analysiert wurden. Ziel des Forschungsvorhabens ist eine großräumige Analyse des aktuellen Wuchsverhalten der Fichte in Bayern.

1.1 Datenmaterial

Aufbauend auf dem landesweiten Flächennetz von waldwachstumskundlichen Dauerbeobachtungsflächen, Weiserflächen, Probeflächen, Erhebungsdaten der Forsteinrichtung und den Befunddaten der Standortkartierung wird im Rahmen dieser Untersuchung eine verlässliche waldwachstumskundliche Datenbasis zu Struktur, aktueller Leistung und Zuwachstrends der Fichte in den wichtigsten Wuchsgebieten Bayerns erarbeitet. Der Schwerpunkt des Vorhabens liegt in der Aufbereitung und Auswertung vorhandener Waldwachstums- und Standortdaten. Ergänzende waldwachstumskundliche Aufnahmen auf vorhandenen Versuchsflächen, Befunde der Waldschadensinventuren, die Ergebnisse der bayerischen Waldinventur von 1970/71 und der Bundeswaldinventur 1987 und das umfangreiche Datenmaterial aus der Forsteinrichtungs-Datenbank der Bayerischen Staatsforstverwaltung verbessern die Datenbasis und untermauern die Kausalbeziehungen zwischen Standort und Leistung bzw. Standortänderung und Zuwachstrends.

1.2 Befunde aus den langfristigen Versuchs-, Probe- und Weiserflächen

Für Regionen werden die Auswertungsergebnisse aus dem Datenmaterial der Versuchsflächen zusammengefasst. Die Differenzierung der Wuchsleistung nach der Güte und Lage der untersuchten Standorte ist deutlich ausgeprägt. Besonders in Südbayern zeigt die Fichte hohe Wuchsleistungen. Dort sind Grundflächenwerte bis 90 qm/ha und Vorratswerte bis zu 1 600 VfmS/ha anzutreffen. Wird hier die Ertragstafel ASSMANN und FRANZ (1963) für das obere Ertragsniveau als Vergleichsmaßstab herangezogen, können Zustandsgrößen wie Höhe, Grundfläche oder Vorrat noch gut zugeordnet werden. Im Gegensatz dazu liegt in allen Regionen Bayerns die absolute Höhe des Zuwachses deutlich über dem Niveau der entsprechenden Ertragstafel. Das alterstypische Absinken des laufenden Volumenzuwachses verläuft überall flacher, als es die Ertragstafeln vorsehen. Daraus lässt sich ableiten, dass der Zuwachs in älteren Beständen bei Anwendung von Ertragstafeln häufig unterschätzt wird. Die Ergebnisse aus den Probe- und Weiserflächen bestätigen diese Befunde.

1.3 Befunde aus der Forsteinrichtungs-Datenbank der Bayerischen Staatsforstverwaltung

Die Auswertung der Forsteinrichtungs-Datenbank ermöglicht eine flächendeckende Darstellung des Ist-Zustandes der Wuchsleistung der Fichte getrennt nach Wuchsbezirken. Für besonders fichtenreiche Wuchsbezirke wurden detailliertere Untersuchungen durchgeführt. Die Wuchsleistungen variieren zwischen den Wuchsräumen trotz eines großen Streurahmens in charakteristischer Weise. Viele Gebiete haben eine Höhenwuchsleistung, die einer Bonität zwischen I.3 und 0.8 nach WIEDEMANN (1936/42) entsprechen. Wie bei der Auswertung der Versuchsflächen zeigen die Fichtenstandorte in Südbayern sehr hohe Grundflächenhaltungen mit Bestockungsgraden über 1.2 im Vergleich zur Ertragstafel WIEDEMANN (1936/42).

1.4 Ansätze zur Quantifizierung der Veränderung des Wachstums von Fichtenbeständen

In einigen Untersuchungsgebieten sind ausreichend Daten vorhanden, um den langfristigen alterstypischen Baumzuwachs zu untersuchen. Für diese Gebiete liegen zahlreiche Stamm- und Bohrspananalysen vor. Die Auswertungen zeigen, dass heute z. B. 40-jährige Bäume auf vielen Standorten um 20 bis 35 Prozent mehr wachsen als gleichalte Bäume im Jahr 1930. Dies gilt nicht für die Hochlagen des Bayerischen Waldes, dort kehren sich die Verhältnisse um.

Die Analyse der Wuchsleistungen von Vor- und Folgebeständen konnte für fünf südbayerische Bestände durchgeführt werden. Die Folgebestände haben bei gleichem Alter i. d. R. einen Vorsprung in der Oberhöhe von 2 bis 4 m.

1.5 Prognoserechnungen für das Wachstum der Fichte in bayerischen Wuchsbezirken

Durch die Verwendung des standort- und klimasensitiven Wachstmodelles SILVA 2.2 steht ein ausgereiftes Werkzeug für Prognose- und Szenariorechnungen zur Verfügung. Zunächst werden die Daten aus der Forsteinrichtungs-Datenbank dazu genutzt, für alle Wuchsbezirke in Bayern Musterbestände und Durchforstungsstärken zu definieren. Damit sind reale Bestockungssituationen als Eingangs- und Steuerungsgrößen für die Prognoserechnungen vorhanden.

In einem ersten Schritt werden für alle Wuchsbezirke Bayerns diese Musterbestände über eine Umtriebszeit mit dem Wachstmodell SILVA 2.2 fortgeschrieben. Damit können für verschiedene Standorte in Bayern das aktuelle Wachstums- und Zuwachsniveau der Fichte auf der Basis der Oberhöhenentwicklung bis zum Alter von 100 Jahren und des durchschnittlichen Gesamtzuwachses im Alter von 100 Jahren beschrieben werden. Die Wuchsbedingungen für die Fichte in Südbayern sind sehr gut. Im Alter von 100 Jahren werden Oberhöhen über 40 m und durchschnittliche Gesamtzuwächse von 17 bis 19 VfmS/ha und Jahr erreicht. Ebenso

zeigt die Auswertung deutlich auf, dass die Produktionsleistung der Fichte in Nord- und Ostbayern eingeschränkt ist. Im Alter von 100 Jahren werden Oberhöhen von 33 bis 38 m und durchschnittliche Gesamtzuwächse von 12 bis 14 VfmS/ha und Jahr erreicht. Mit diesen Prognoserechnungen kann das Leistungsspektrum der Fichte in Bayern kleinräumig und flächendeckend quantifiziert werden.

Abschließend wird ein realistisches Klimaszenario unterstellt (Hypothese: die Temperatur in der Vegetationszeit erhöht sich um 2 °C, die Vegetationszeit verlängert sich um 10 Tage, der Niederschlag in der Vegetationszeit sinkt um 10 %). Mit diesen veränderten Vorgaben erfolgte eine weitere Prognoserechnung für alle Wuchsbezirke Bayerns mit SILVA 2.2. Nur wenige Wuchsbezirke in den Hochlagen der Alpen und der Mittelgebirge zeigen unter den veränderten Klimabedingungen noch ein gleich bleibendes oder sogar verbessertes Wachstum. Für viele Regionen ergeben sich Zuwachsrückgänge von 10 bis 30 %. In besonders kritischen Gebieten wird ein Rückgang der Oberhöhe um 10 m und des durchschnittlichen Gesamtzuwachses im Alter von 100 Jahren um 4 bis 5 VfmS/ha und Jahr prognostiziert. Als Ergebnis lassen sich Regionen definieren, in denen der Fichtenanbau bei zunehmender Klimaveränderung künftig mit erheblichen Risiken behaftet sein wird.

1.6 Bewertung und Ausblick

Die vorgestellten Verfahren liefern eine Vielzahl von Befunddaten zum Wachstum der Fichte in Bayern.

Die Abweichung des aktuellen Zuwachsverhaltens unserer Fichtenbestände von den Modellvorstellungen der Ertragstafeln erfordert für eine realistische Wirtschaftsplanung die Anwendung neuer Informationsquellen: Wiederholte Großrauminventuren, Fortsetzung der Wiederholungsinventuren mit permanenten Probekreisen, Fortsetzung des Monitorings in Waldbeständen zur Erfassung des Immissions- und Zuwachsgeschehens und die Anwendung standortsensitiver Planungs- und Prognosemodelle.

Die Vergleiche von Vor- und Folgebestand und die Auswertung altersgleicher Zeitreihen geben Hinweise auf das Ausmaß der Zuwachsveränderung in bayerischen Waldbeständen. Aus den Auswertungen wird deutlich, dass nur die Aufklärung grundsätzlicher Beziehungen zwischen Standort, Klima und Wuchsleistung eine plausible Prognose von Wachstumsänderungen ermöglicht.

Die vorgestellten Szenariorechnungen geben einen Hinweis auf die Auswirkungen von Klimaänderungen auf das Waldwachstum. Um den Klimafolgen im Wald entgegenzusteuern, muss in gefährdeten Gebieten rechtzeitig eine Strategie der Risikominimierung eingeleitet

werden. In kritischen Bereichen sollten keine Fichtenreinbestände mehr begründet werden. Mischbestände aus Fichte, Kiefer und Buche könnten das ökonomische und ökologische Risiko für den Waldbesitzer deutlich reduzieren. Als Alternativen zur Fichte bieten sich in diesen Regionen auch Bestockungsziele mit den Baumarten Eiche oder Douglasie an.

2 Summary of Results

The research project's objective was to analyze the growth behaviour of spruce in Bavaria. Current immissions in Germany are the cause for the overlapping of growth stimulating and growth inhibiting influences that have to date not yet been fully analyzed.

2.1 Data material

A reliable forest growth data basis was elaborated, as part of the project, on the structure, current performance and growth trends of spruce in the most important growth areas, based on the existing comprehensive national network of growth and yield permanent observation plots, indicator and test areas, data from forest inventories and site surveys. The project focussed on processing and evaluating existing forest growth and site data. Supplementary silvicultural surveys of existing test areas, data from forest decline inventories, the results of the 1970/71 and 1987 forest inventories in Bavaria and the comprehensive data material from the forest management data base of the Bavarian State Forest Administration all served to improve the data basis and corroborate the causal relationships between site and yield or site changes and increment trends.

2.2 Results from long-term study, test and indicator areas

A summary of evaluation results from the data material of the test areas was done at regional level. There is a distinct differentiation in growth performance related to the quality and geographical situation of the sites. In southern Bavaria, especially, spruce performed very high growth rates, with basal area values of 90 m²/ha and a growing stock of up to 1 600 m³/ha. The use of yield tables by ASSMANN and FRANZ (1963) for higher yield levels as a basis for comparison shows that values such as height, basal area or stock are still in good accordance. For all regions, however, the absolute increment height clearly exceeds the level of the corresponding yield tables. Overall, the age-related, typical reduction in current volume increment shows a gentler slope than that of the yield tables. This permits the conclusion that the use of yield tables often leads to an underestimation of increment in older stands. Our results from test and indicator areas confirm these findings.

2.3 Results from the Bavarian State Forest Inventory data base

The evaluation of the Forest Inventory data base permitted the overall representation of the actual state of growth performance in spruce for all growth areas. More detailed investigations were conducted for growth areas with a particularly high spruce ratio. This revealed the extent of the variations in growth performance between the areas. Many areas showed height increment values corresponding to site classes between I.3 and 0.8 (according to WIEDEMANN, 1936/42). For spruce sites in southern Bavaria the evaluation of the test areas showed very high basal area stocking densities above 1.2 as compared with those given in the yield tables by WIEDEMANN (1936/42).

2.4 Concept for quantifying growth changes in spruce stands

Some investigated areas lent themselves to the longterm, age-typical study of tree increment as numerous analyses of stems and increment bore cores had been conducted on these areas. Evaluation shows that today on many sites e. g. 40 years old trees performed up to 20 to 25 % higher diameter growth than comparable trees in the year 1930. This, however, is not true for trees at high altitudes in the Bavarian Forest, where the opposite seems to apply.

An analysis of the growth performance of two generations on the same stand was carried out for five stands in southern Bavaria. Generally, trees from second generation stands, at the same age levels, surpassed dominant heights by 2 to 4 m.

2.5 Predicting growth of spruce in Bavarian growth districts

The site and climate sensitive growth model SILVA 2.2 provided a sophisticated tool for the prediction and scenario calculations.

As a preliminary step, data from the Forest Inventory data base were used to define typical stands and thinning intensities in all the growth districts. This gave us the actual stocking situations as input and control parameters for the calculations.

In a first step, sample plots were defined for various sites in Bavaria and a rotation time was extrapolated using the growth model SILVA 2.2. This enables to describe the actual growth and increment levels of spruce on the basis of top height development until, and the average total increment at age 100 for all the areas in Bavaria. Growth conditions for spruce in southern Bavaria are excellent. At age 100 top heights of more than 40 m and an average total increment of 17 to 19 m³/ha and year were achieved. The evaluation also showed that production performance of spruce in north and east Bavaria appears more limited, achieving top

heights of 33 to 38 m and an average total increment of 12 to 14 m³/ha and year. Thus, with the aid of simulations, the range of responses of spruce was quantified for small plots as well as for all the different sites in Bavaria.

Finally, a realistic climate scenario was assumed (Hypothesis: the temperature during the vegetation period rises by 2 °C, the vegetation period is prolonged by 10 days and precipitation during the vegetation period is reduced by 10 %). Using SILVA 2.2 another simulation for all growth areas in Bavaria was carried out which took these altered parameters into account. Only few growth areas at higher altitudes in the Alps and the montane regions still show a uniform or even improved growth behaviour under these changed climatic conditions. For many regions predictions show increment reductions of approx. 10 to 30 %. In particularly sensitive regions a reduction in top height by as much as 10 m and of average growth at age 100 by 4 to 5 m³/ha and annum was obtained. Thus these results define regions where future spruce stocking would probably involve considerable risk under global warming.

2.6 Assessment and Prospects

The new methods presented in this paper provided a great number of information on the growth of spruce in Bavaria.

Deviations in the current growth behaviour of our spruce stands from the model concept based on the yield tables demand for the application of new concepts so as to permit more realistic forest management planning: Successive inventories on large areas, continuation of successive inventories on permanent circular test plots, continuation of forest site monitoring to determine immissions and growth, and application of site sensitive planning and prediction models. A comparison of two generations of the same stand and the evaluation of even-aged time series give an indication of the extent of growth changes in Bavarian forest stands. Evaluations show that plausible predictions of growth changes are only possible if the principal relationships between site, climate and growth performance are clearly understood.

The scenario calculations presented here give an idea of the effects of climate changes on forest growth. To counteract the consequences of climate changes timely strategies for risk minimization need to be put into operation in sensitive regions. In future no pure spruce stands should be established in critical areas. Mixed stands composed of spruce, pine and beech could substantially reduce the economic and ecological risks faced by forest owners. In these regions Oak or Douglas fir may also be considered suitable species for growing stock objectives as an alternative to spruce.

3 Ziele und Methoden der Forschungsarbeit

3.1 Einleitung

Ziel des Forschungsvorhabens ist eine grundlegende Analyse des Wuchsverhaltens und Standort-Leistungsbezuges der Fichte in Bayern. Angestrebt wird die Beschreibung regional-typischer Zustands- und Leistungsdaten für diese Baumart. Die Ergebnisse aus dieser Untersuchung können zum einen unmittelbar im Rahmen der forstwirtschaftlichen Planung und Kontrolle genutzt werden, zum anderen erbringen sie eine solide waldwachstumskundliche Datenbasis für die Konstruktion, Parametrisierung und Validierung verbesserter Managementmodelle.

Inventuren der Nadel- und Blattverluste der Hauptbaumarten und Untersuchungen zum aktuellen Zuwachsgang zeigen zunächst widersprüchlich anmutende Ergebnisse: Einerseits deuten die Waldschadensinventuren auf eine abnehmende Vitalität seit den 80iger Jahren hin (KENK, 1984; PRETZSCH, 1985; KRAMER, 1986; SCHÖPFER und HRADEZKY, 1986; RÖHLE, 1987; UTSCHIG, 1989a; FRANZ, 1990), andererseits liegt der Zuwachs auch in vielen Beständen mit hohen Nadel- bzw. Blattverlusten seit den 50iger Jahren ganz erheblich über den Erwartungswerten unserer Ertragstafeln (FRANZ und PRETZSCH, 1988; UTSCHIG, 1989a; KENK, SPIECKER und DIENER, 1991; SCHÖPFER, HRADEZKY und KUBLIN, 1994; RÖHLE, 1995). Bisher sind wir über ein reines Sammeln dieser ambivalenten Befunde nicht weit hinausgekommen, Planung und Kontrolle im Forstbetrieb benötigen aber fundierte regional- und standorttypische Angaben zum aktuellen Leistungsvermögen der Hauptbaumarten.

Unsere bisherigen Erkenntnisse über Waldzustand, Zuwachsniveau und Zuwachstrend bayerischer Waldbestände stützen sich im Wesentlichen auf vier im zeitlichen und räumlichen Skalenniveau unterschiedliche Informationsquellen:

- Eine Serie von Einzeluntersuchungen auf Dauerversuchsflächen über das Wuchsverhalten von Fichte erbrachte punktuell gültige Aussagen zum aktuellen Leistungsvermögen (RÖHLE, 1995).
- Ein Vergleich zwischen Bayerischer Großrauminventur 1970/71 und Bundeswaldinventur 1986/1990 lieferte Aussagen über die großräumige Waldentwicklung und den ertragsgeschichtlichen Zuwachs (FOERSTER und BÖSWALD, 1995).
- Die Ergebnisse einer Längsschnitt-Studie auf Dauerversuchsflächen in Deutschland, mit Schwerpunkt in Bayern, erbrachten Aussagen zur Bonitätsentwicklung (KAHN, 1994).
- Die in den letzten Jahren anlaufenden Wiederholungsauswertungen der permanenten Stichprobeninventur ermöglichen lokal eine gute Abschätzung der Wuchsdynamik (FUCHS, 1993; ĎURSKÝ, 1998; REIMEIER, 1999).

Die vier genannten Informationsquellen liefern eine Fülle von nützlichen Einzelbefunden zum aktuellen Zuwachsverhalten, die bisher jedoch nicht weiter gebündelt, mit Standortparametern verknüpft und in verdichteter Form für den Planungs- und Kontrollbereich der Forstwirtschaft bereitgestellt wurden.

3.2 Methoden zur Identifikation von Wachstumstrends

Das Wachstum von Waldbeständen wird in zunehmendem Maße durch Störfaktoren beeinträchtigt. In ihrem Ausmaß reichen diese Störfaktoren von lokalen oder temporären Belastungen des Waldes durch Absenkung des Grundwasserspiegels, Auftrieb von Trassen, Ausbringung von Streusalz und Immissionen aus Industrie und Landwirtschaft bis zu langfristigen Veränderungen der Kohlendioxid- und Ozon-Konzentration und global ausgeprägten Veränderungen des Klimas. Die Störfaktoren können sich in spezifischen Reaktionsmustern, wie beispielsweise dem Pufferbereich des Bodens, der Kohlenstoff-Allokation, der Verzweigung, dem Belaubungszustand, dem Zuwachsgang oder der Zusammensetzung von Waldgesellschaften äußern und über mehrere Prozessebenen hinweg wirken. Unter diesen Mustern, die für die Beurteilung des Systemverhaltens und die Diagnose etwaiger Störungen herangezogen werden können, erweist sich der langfristige Zuwachsgang als besonders aussagekräftige und methodisch gut handhabbare, hoch aggregierte und robuste Indikatorgröße für das Systemverhalten. Schlagen Störungen selbst bis in das langfristige Zuwachsverhalten von Einzelbäumen oder ganzen Beständen durch, so deutet das auf tief greifende Störeinflüsse hin. Anders herum darf von einem undifferenzierten, normalen Zuwachsgang nicht auf ein unbeeinträchtigtes Systemverhalten geschlossen werden, denn Störungen auf untergeordneten Prozessebenen können bis zu einem gewissen Grad abgepuffert werden.

Bei der Beurteilung aktueller Wachstumsverläufe können wir uns auf langfristige Zuwachsuntersuchungen auf Versuchsflächen stützen, die weit ins vergangene Jahrhundert zurückreichen und Zeitreihen liefern, wie sie für keine andere Zustandsgröße von Waldökosystemen vorliegen. Indem der Zuwachs auch retrospektiv mit Hilfe von Bohrkernen und Stammanalysen ermittelt werden kann, ist er eine äußerst operable Indikatorgröße. Für die Forstwirtschaft ist der Zuwachs an Derbholzvolumen zudem die wichtigste Bestimmungsgröße für den Naturalertrag.

Nach ASSMANN (1961) kann man Zuwachsverläufe von Waldbeständen und Einzelbäumen in drei typische Phasen gliedern (Abb. 3-1):

- Aufschwungphase: Der laufende Zuwachs steigt rasch auf ein hohes Niveau an.
- Vollkraftphase: Der Bestand leistet anhaltend hohen Zuwachs.
- Abschwungphase: Der Zuwachs sinkt altersbedingt wieder ab.

Je nach Baumart und betrachtetem Zuwachsaspekt ändert sich die Höhe des Zuwachses, verschiebt sich die Lage des Zuwachsmaximums und variiert die Stärke des Zuwachsrückganges während der Abschwungphase.

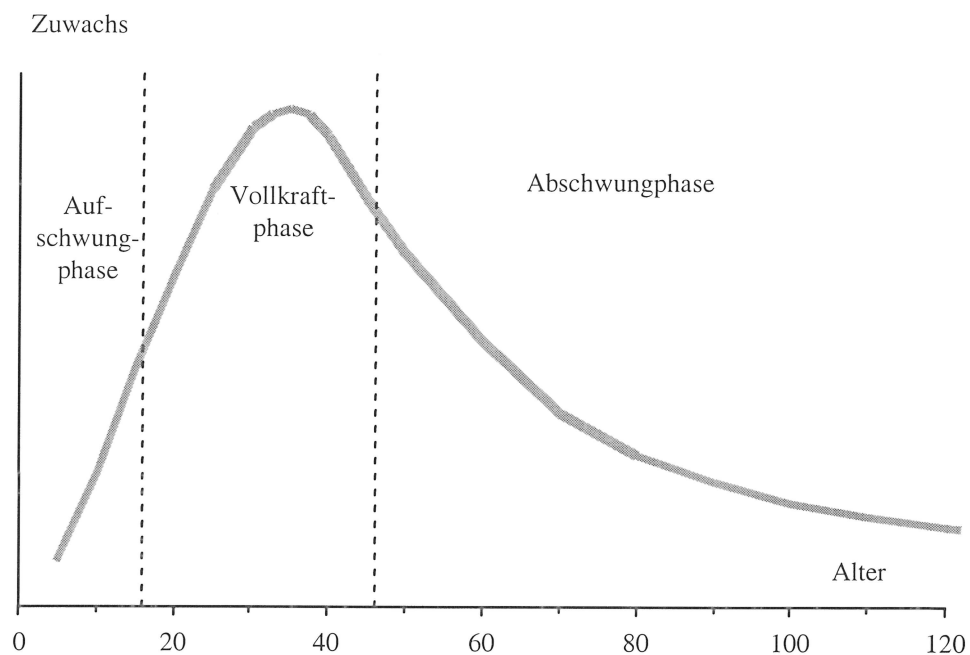


Abb. 3-1: Schematische Darstellung der Zuwachphasen nach ASSMANN (1961).

Die Methoden zur Diagnose von Wachstums- und Zuwachsstörungen (Übersicht 3-1) ergeben sich je nach Fragestellung und verfügbarem Datenmaterial aus Inventuren, langfristigen Versuchsflächen, temporären Probestellen, Bohrkernen oder Stammanalysen. Die mutmaßlich gestörten Entwicklungsverläufe von Einzelbäumen oder Beständen werden mit einem „normalen“ Entwicklungsgang verglichen, der unter ungestörten Verhältnissen zu erwarten wäre. Der Vergleich zwischen zu beurteilendem Entwicklungsgang und Referenz erlaubt die Datierung und Quantifizierung der Wachstumsreaktion und kann Indizien für die Störungsursachen liefern.

Das Referenzverfahren wird bestimmt von der Art der vermuteten Störung, dem räumlichen und zeitlichen Ausmaß und den verfügbaren Informationsgrundlagen wie Zuwachsgang, Klimazeitreihen, Grundwasserganglinien oder Immissionsmessungen. Alle genannten Verfahren können lediglich Indizien über vermutete Zusammenhänge zwischen Störursachen und Zuwachsstörungen, nicht aber direkte Beweise über Kausalzusammenhänge erbringen. Die Analyse großregionaler und langfristiger Wachstumsstörungen wird sich jedoch immer auf Indizien stützen müssen, denn die Prüfung von Kausalbeziehungen würde umfangreiche Freilandexperimente erfordern, die aber bestenfalls punktuell und nur temporär realisierbar sind.

Übers. 3-1: Methoden für die Diagnose von Zuwachs- und Wachstumsstörungen in Waldbeständen

Methoden	Datenbasis	Referenz	Anwendungsfelder
Ertragstafelvergleich (Kap. 3.2.1) Szenarienvergleich (Kap. 3.2.2)	lokale bis großregional erhobene Einzelbaum- und Bestandsdaten	Wuchsmodelle	Überprüfung von Planungsgrundlagen, Trendanalyse
Zuwachstrend-Verfahren	punktuell bis regional	ungestörtes Baumkollektiv	Beweissicherungsverfahren
Pärchenvergleich	gesammelte Baum- und Bestandsdaten	ungestörte Einzelbäume	
Nullflächen-Vergleich		ungestörte Bestände	
Methode des konstanten Alters (Kap. 3.2.3) Generationsvergleich (Kap. 3.2.5) Folgeinventuren (Kap. 3.2.4)	Zuwachsgänge für breites Altersspektrum Dauerversuchsflächen großregionale Wiederholungsaufnahmen	historische Einzelbaumzuwächse historische Bestandszuwächse Zuwachsniveau zurückliegender Inventuren	Monitoring und Trendanalyse
Dendroökologische Zeitreihenanalyse	Bohrkerne, Stammanalysen, Klimareihen	Response-Funktion	Beweissicherungsverfahren, Kausalanalyse

Im Folgenden werden die Methoden der Wachstumsanalysen näher erläutert, die zur Abschätzung der Wachstumstrends der Fichte in Bayern herangezogen wurden.

3.2.1 Ertragstafelvergleich

Beim Ertragstafelvergleich wird der Zuwachs- oder Wachstumsgang eines Bestandes mit den Erwartungswerten der Ertragstafel verglichen. Dies ermöglicht zum einen praxisrelevante Rückschlüsse auf die Gültigkeit der Ertragstafel als forstwirtschaftliches Planungswerkzeug. Zum anderen wird der Ertragstafelvergleich zum Hilfsmittel bei Nachweis, Datierung und Quantifizierung großregionaler Störeinflüsse auf das Waldwachstum. Ertragstafeln geben mittlere Bestandesentwicklungen wieder, die aus einem in der räumlichen Verteilung, in der zeitlichen Erfassung, in Altersstruktur, Provenienz und Behandlung heterogenen Versuchsfächennetz abgeleitet sind. Die Ertragstafelangaben haben deshalb für einen einzelnen Bestand nur beschränkte Gültigkeit. Der Ertragstafelvergleich gewinnt aber an Aussagekraft, wenn er für eine größere Zahl von Beständen ausgeführt wird.

Aussagen zu längerfristigen Zuwachsänderungen und Eingrenzung ihrer Ursachen sind nur möglich, wenn die Ertragstafel so gewählt wird, dass sie den standortspezifischen Wachstumsverlauf zutreffend widerspiegelt oder die Abweichungen zwischen standorttypischem Wachstumsgang und Ertragstafel bekannt sind. Sind standortspezifische Abweichungen sowie behandlungsbedingte Effekte ausgeklammert und stützt sich der Vergleich auf eine größere Zahl von Probenahmen, so lässt der Ertragstafelvergleich Aussagen über längerfristige Zuwachsveränderungen zu.

In dieser Arbeit wurden die Ertragstafelwerke von WIEDEMANN (1936/42), ASSMANN und FRANZ (1963) (oberes und mittleres Ertragsniveau) und von GUTTENBERG (1915) verwendet. Die Tafel von WIEDEMANN (1936/42) ist eine häufig verwendete Großgebietsertragstafel, während die beiden anderen Tafeln einen regionalen Bezug vorsehen. Zum besseren Verständnis werden charakteristische Verläufe von wichtigen ertragskundlichen Kenngrößen der drei Tafeln miteinander verglichen (Abb. 3-2 bis Abb. 3-5).

Die Entwicklung der Mittelhöhe über dem Alter hat bei allen hier verglichenen Ertragstafeln einen ähnlichen Verlauf (Abb. 3-2). Die Wachstumskurven der Mittelhöhen von GUTTENBERG (1915) und WIEDEMANN (1936/42) für die I.0 Bonität und für die Oberhöhenbonität 36 (ASSMANN und FRANZ, 1963) sind annähernd gleich. Den höheren Wachstumsleistungen in Süddeutschland entsprechend geht die Oberhöhenbonität 40 im Höhenwachstum deutlich über den Höhenrahmen von WIEDEMANN (1936/42) hinaus.

Bei der Abbildung der Grundflächenentwicklung (Abb. 3-3) zeigen sich die unterschiedlichen Datengrundlagen und regionalen Bezüge der Tafeln. „Die Tafel von WIEDEMANN (1936/42) ist aus der Tafel von SCHWAPPACH (1902) hervorgegangen. Von dieser hat WIEDEMANN nicht nur den Bonitierungs-fächer, sondern – leider – auch den Grundflächenrahmen übernommen. SCHWAPPACH hat nämlich den Grundflächenrahmen des verbleibenden Bestandes recht willkürlich und, für Bestandesalter von etwa 60 Jahren an aufwärts, systematisch zu niedrig festgesetzt.“ (ASSMANN, 1961, S. 169).

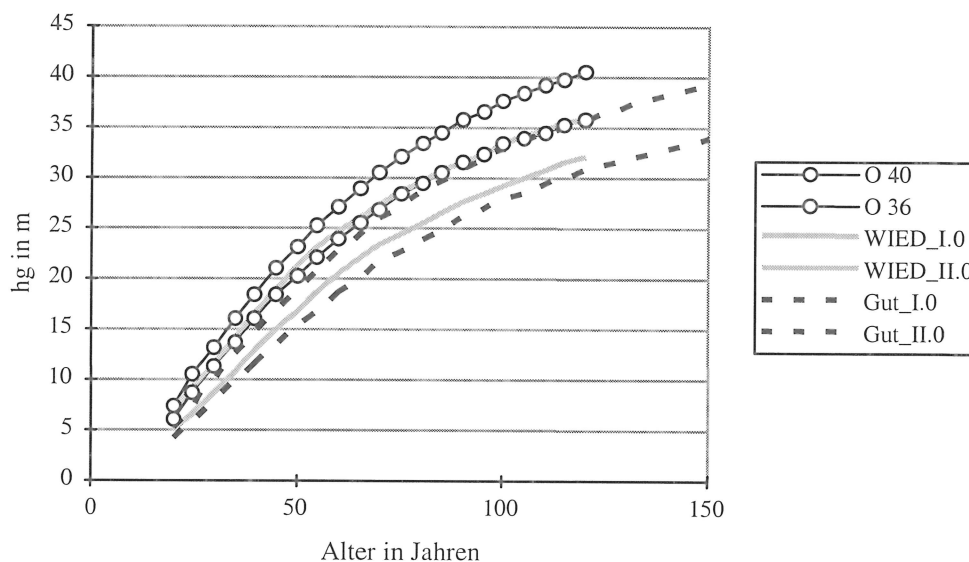


Abb. 3-2: Vergleich der Mittelhöhenentwicklung (hg) über dem Alter zwischen der Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963), Oberhöhenbonität 40 und 36, der Fichten-Ertragstafel von WIEDEMANN, (1936/42) Bonität I.0 und II.0, und der Ertragstafel von GUTTENBERG (1915) für das Hochgebirge, Bonität I.0 und II.0.

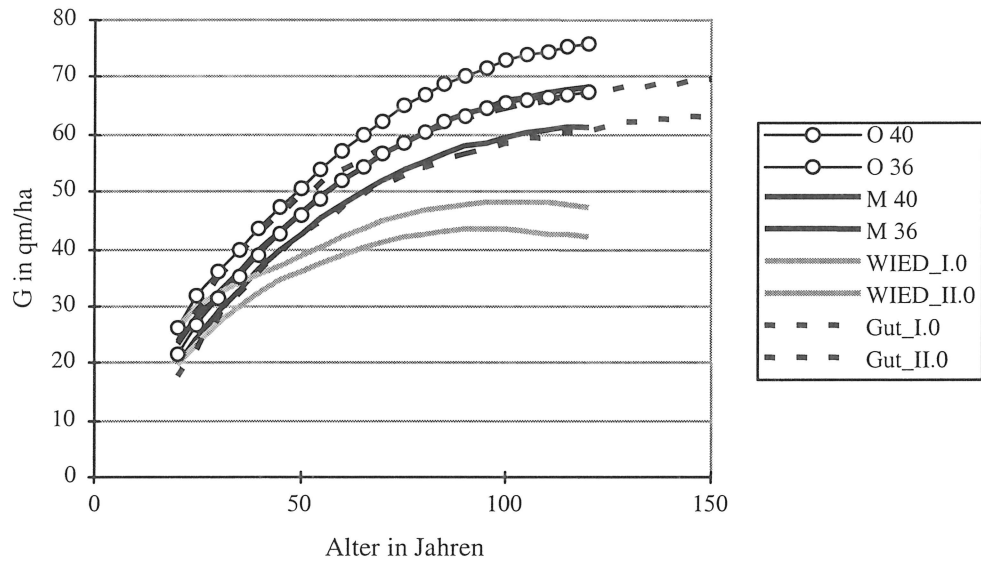


Abb. 3-3: Vergleich der Grundflächenentwicklung (G) über dem Alter zwischen der Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963), Oberhöhenbonität 40 und 36, oberes Ertragsniveau (O 40 und O 36) und mittleres Ertragsniveau (M 40 und M 36), der Fichten-Ertragstafel von WIEDEMANN (1936/42), Bonität I.0 und II.0, und der Ertragstafel von GUTTENBERG (1915) für das Hochgebirge, Bonität I.0 und II.0.

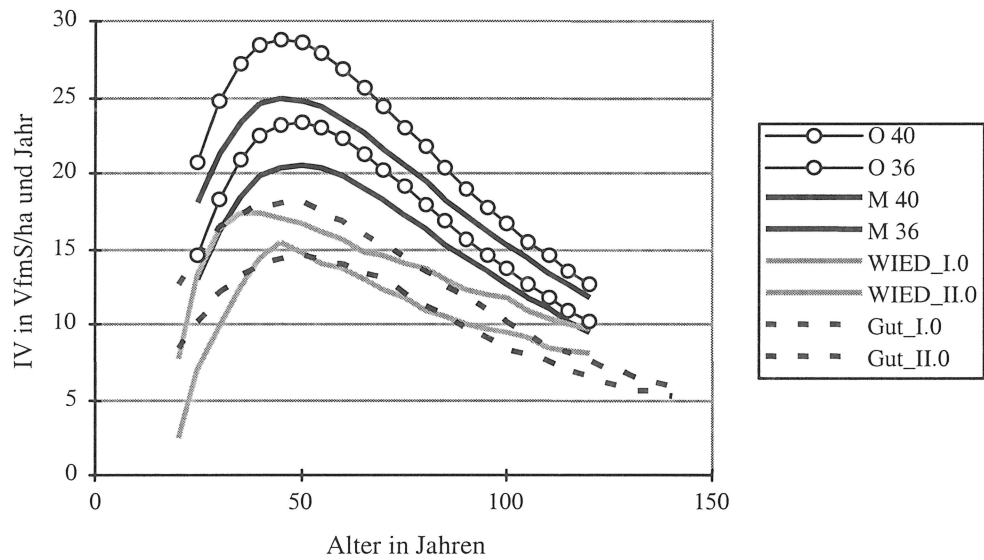


Abb. 3-4: Vergleich des laufenden Volumenzuwachses (IV) über dem Alter zwischen der Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963), Oberhöhenbonität 40 und 36, oberes Ertragsniveau (O 40 und O 36) und mittleres Ertragsniveau (M 40 und M 36), der Fichten-Ertragstafel von WIEDEMANN (1936/42), Bonität I.0 und II.0, und der Ertragstafel von GUTTENBERG (1915) für das Hochgebirge, Bonität I.0 und II.0.

Die Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963) ist dem höheren Niveau der Gesamtwuchsleistung in Bayern angepasst. Die Grundflächenwerte für das obere Ertragsniveau liegen um ca. 10 % über den Werten für das mittlere Ertragsniveau. Die Ertragstafel von GUTTENBERG (1915) liegt in der Einschätzung der Grundflächenentwicklung im Bereich für das mittlere Ertragsniveau der Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963).

Richtig deutlich werden die Unterschiede zwischen den Ertragstafeln erst bei der Betrachtung des laufenden Zuwachses (Abb. 3-4). Die Spitzenwerte für die Oberhöhenbonität 36 (ASSMANN und FRANZ, 1963), oberes Ertragsniveau, reichen bis 24 VfmS/ha und Jahr, für das mittlere Ertragsniveau liegen sie bei 21 VfmS/ha und Jahr. Bei GUTTENBERG (1915) steigen sie bis auf 18 VfmS/ha und Jahr und die Kurve von WIEDEMANN (1936/42) für die I.0 Bonität liegt zunächst darunter. Ab dem Alter 80 Jahre nähert sie sich langsam den Werten für die Oberhöhenbonität 36, mittleres Ertragsniveau, an.

Der Vergleich macht deutlich, wie wichtig die Verwendung einer geeigneten Tafel auch für die Diagnose von Wachstumstrends ist. Die Zuwachsdia­gnose auf Grundlage verschiedener Tafeln führt zu einer sehr unterschiedlichen Beurteilung des Zuwachsverhaltens von Waldbeständen unter der Wirkung von Störeinflüssen.

3.2.2 Dynamische Wachstumsmodelle als Referenz

Wuchsmodelle bilden eine Verfahrensgruppe, bei der die Referenz deduktiv abgeleitet wird. Dynamische Wachstumsmodelle zeichnen den Zuwachsgang von Einzelbäumen und Beständen in Abhängigkeit von Standraum, Behandlung, Standort- und Störfaktoren nach. Damit wird eine differenziertere Schadensdiagnose möglich. Im besten Fall kann ein zu beurteilender Zuwachsgang durch Szenariorechnungen angenähert und in seinen Ursachen verstanden werden.

Als Methode zur Beurteilung des beobachteten Wachstums hat sich der Vergleich mit den Erwartungswerten dynamischer Wachstumsmodelle bewährt (HARI et al., 1984; MIELIKÄINEN und TIMONEN, 1996). Denn mit dynamischen Wachstumsmodellen lassen sich Referenzverläufe erzeugen, die im Vergleich mit denen der Ertragstafel wesentlich differenzierter sind. Das gilt insbesondere für behandlungs- und standortensitive Einzelbaummodelle, die sich auf ein standörtlich breit gestreutes Datenmaterial von langfristigen Versuchsflächen stützen. Bestockungs- und Behandlungsunterschiede zwischen Bestand und Modell, die den Ertragstafelvergleich in seiner Aussagekraft einschränken, stellen beim Einsatz von dynamischen Wachstumsmodellen kein Problem dar. Denn der reale Ausgangszustand des Bestandes und das in ihm ausgeführte Pflegeregime (Durchforstungsart, -grad und -turnus) kann mit dem Modell wirklichkeitsnah nachgebildet werden und scheidet damit für Fehlinterpretationen aus. Gegenüber Ertragstafeln, die mittlere Wachstumsverläufe abbilden und deshalb für einzelne Bestände

eine nur beschränkte Aussagekraft haben, gewährleisten dynamische Wachstumsmodelle, die sich auf die Standortvariablen des zu beurteilenden Einzelbestandes stützen, einen besseren Standortbezug. Sie ermöglichen auch für den Einzelbestand differenzierte Aussagen über Abweichungen zwischen erwartetem und wirklichem Wachstumsgang.

Dynamische Modelle, die den Zuwachs- und Wachstumsverlauf in Abhängigkeit von den Wuchsbedingungen des Einzelbaumes und Bestandes schätzen, bieten gegenüber Ertragstabellen einen weiteren entscheidenden Vorteil: Können erwartete Änderungen in den Wuchsbedingungen quantifiziert werden (z. B. Temperaturerhöhung, Niederschlags- und Windserhöhung, verbesserte Nährstoffausstattung), ist es möglich, die Auswirkungen aus Simulationsrechnungen zu erschließen. Denn anders als Ertragstabellen, die statistisch gemittelte Wuchsbedingungen eines definierten Beobachtungszeitraumes repräsentieren, implizieren dynamische Wachstumsmodelle den Zusammenhang zwischen Wuchsbedingungen und Wachstumsreaktion und können sich an ändernde Umweltbedingungen anpassen.

Im Rahmen dieser Untersuchung fand das Wachstumsmodell SILVA 2.2 (PRETZSCH, 1992a, KAHN und PRETZSCH, 1997) Verwendung. Das Modell zählt zu der Kategorie der einzelbaumbezogenen Wachstumsmodelle. Die Grundlagen zum Wachstumsmodell SILVA 2.2, der Ablauf der Modellbildung und die Ausgabemöglichkeiten wurden von PRETZSCH und KAHN (1995) ausführlich dargestellt. Das Wachstumsmodell wird durch standortsensitive Wachstumsfunktionen gesteuert. Neben der Zuwachsprognose wird auch eine ökonomische und ökologische Analyse der Bestandesentwicklung vorgenommen. Für die ökologische Analyse werden verschiedene Indizes zur Beschreibung der Bestandesstruktur und der zeitlichen Entwicklung errechnet (PRETZSCH, 1996b). Das Programmmodul zur ökonomischen Bewertung (PRETZSCH und KAHN, 1996) liefert auf der Basis der Einzelbaumsortierung die Höhe der Erntekosten und der Erlöse. Das Wachstumsmodell wurde von ĎURSKÝ (1998) um ein Modul zur Fortschreibung von Beständen auf Betriebsebene für die Zwecke der Optimierung der Naturalproduktion ergänzt. Damit ist die Fortschreibung ganzer Betriebe möglich.

3.2.3 Langfristiger alterstypischer Baumzuwachs

Bei der Untersuchung des langfristigen alterstypischen Baumzuwachses fand die Methode des konstanten Alters Verwendung. Dabei wird das zu beurteilende aktuelle Wachstum mit dem Wachstum in vergangener Zeit verglichen. Damit ermöglicht dieses Verfahren die Diagnose langfristiger und großregional ausgeprägter Wachstumstrends, wie sie durch Klimaveränderungen, Anstieg der CO₂-Konzentration der Luft oder anthropogen bedingte Stickstoffeinträge ausgelöst werden können.

Das Verfahren prüft, ob und in welchem Ausmaß, sich das alterstypische Wuchsverhalten innerhalb eines gegebenen Kalenderzeitraumes verändert hat. Lag beispielsweise der Durchmesserzuwachs 30-, 50- oder 70-jähriger Fichten in der ersten Hälfte unseres Jahrhunderts auf ähnlichem Niveau wie in der zweiten Hälfte, oder hat sich das Zuwachsverhalten in diesem Zeitraum verändert? Das Verfahren ermöglicht eine Datierung von Trendwenden, eine Quantifizierung der Zuwachsveränderung gegenüber dem langfristigen Niveau und eine Aussage dazu, wie Bäume mit unterschiedlichem Alter die Trendänderung abbilden. Erprobt wurde das Verfahren u. a. von MIELIKÄINEN und TIMONEN (1996) und von MIELIKÄINEN und NÖJD (1996) für die Diagnose von Zuwachstrends in Skandinavien.

Erforderlich für jedes betrachtete Kalenderjahr sind Zuwachsdaten, die ein möglichst breites Altersspektrum abdecken sollten. Ein solches Datenmaterial kann bestmöglich aus Bohrkerne oder Stammscheiben von Wuchsreihen gewonnen werden, deren Parzellen standortgleich sein sollten. Denn mit Probenahmen aus Wuchsreihen ist für jedes betrachtete Kalenderjahr eine ausgewogene Anzahl von jungen, mittelalten und alten Bäumen vertreten. Um Behandlungseffekte so weit wie möglich auszuschalten, sollten nur vorherrschende und herrschende Bäume beprobt werden.

Das Verfahren gliedert sich in folgende Schritte:

- Allen Jahrringmesswerten (Abb. 3-5, oben, links) werden die entsprechenden Alter und Kalenderjahre zugeordnet. Eine Übersicht über die Besetzung der Kalenderjahre mit Zuwachsmesswerten vermitteln die Darstellungen der Jahrringalter über dem Kalenderjahr (Abb. 3-5, oben, rechts).
- Der mit Zuwachsmessungen abgedeckte Altersbereich wird in Altersklassen von z. B. 20 – 29, 30 – 39 usw. Jahren eingeteilt. Werden die Ergebnisse der Klassenbildung über dem Kalenderjahr aufgetragen, so zeigen sich die in Abbildung 3-5 (unten, links) für ausgewählte Alter dargestellten Veränderungen im Durchmesserzuwachs über dem Kalenderjahr.
- Für alle in einem Kalenderjahr vertretenen Altersklassen werden mittlere Zuwächse berechnet (Abb. 3-5, unten, rechts) und über dem Alter aufgetragen. Der Vergleich der Kurvenverläufe ermöglicht eine Quantifizierung des Mehr- oder Minderzuwachses im Vergleich zu Niveau und Rhythmus vor der möglichen Einwirkung von Störfaktoren.

Verlässliche Aussagen über den langfristigen Zuwachstrend sind aber nur dann zulässig, wenn die gebildeten Altersklassen im gesamten Betrachtungszeitraum ausgewogen und gleich bleibend mit Bäumen unterschiedlichen Alters besetzt sind. Eine Veränderung der Klassenbesetzung von anfänglich eher älteren zu später vermehrt jüngeren und besser wüchsigen Bäumen innerhalb der Klasse würde einen Zuwachstrend vortäuschen. Eine ausgewogene Besetzung der Altersklasse ist in etwa dann gegeben, wenn das mittlere Alter der in ihr vertretenen Bäume über dem betrachteten Kalenderzeitraum gleich bleibt.

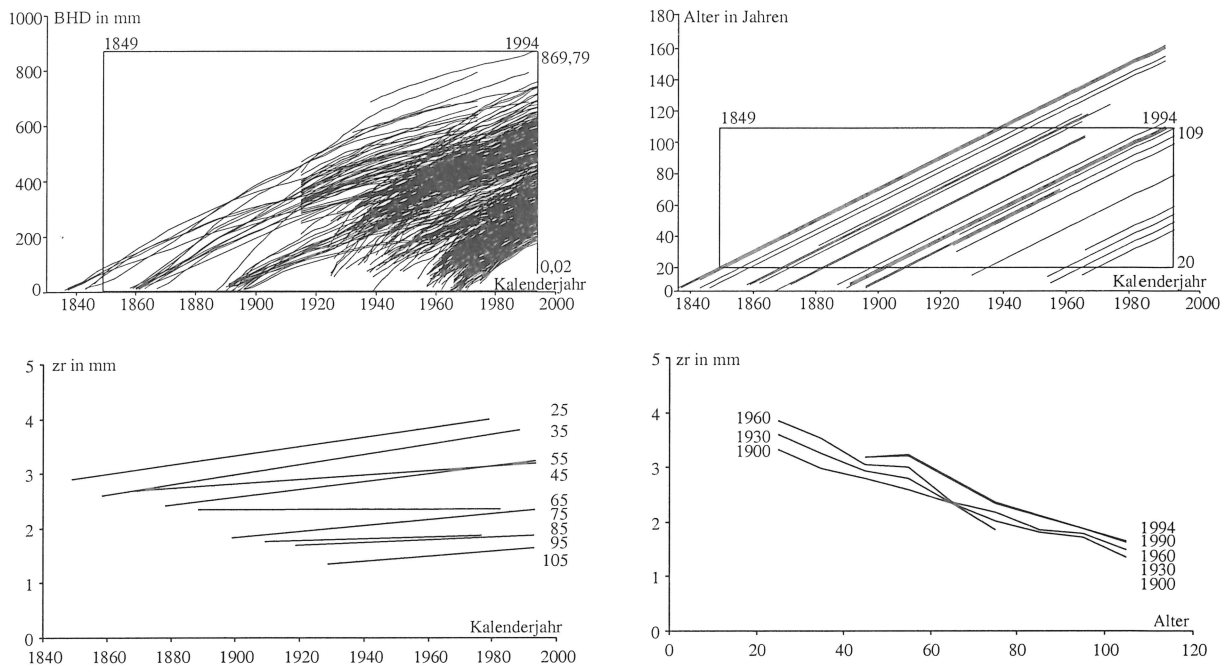


Abb. 3-5: Analyse der Zuwachsentwicklung von Bäumen gleichen Alters in unterschiedlichen Jahrzehnten auf Untersuchungsbeständen im Bereich von Schongau (vgl. Kap. 7.2.1). Die Radial-Wachstumskurven (oben, links), das Altersspektrum über dem Kalenderjahr (oben, rechts), die mittleren Radialzuwächse einzelner Altersgruppen (unten, links) und die Zuwachsleistung verschieden alter Bestände in Abhängigkeit vom Kalenderjahr (unten, rechts) sind dargestellt.

3.2.4 Diagnose von Wachstumstrends aus Inventuren

Wiederholungsinventuren des Waldes auf Bundes-, Landes- oder Betriebsebene erbringen im Unterschied zu den bisher dargestellten Verfahren flächenrepräsentative und statistisch abgesicherte Aussagen über Wachstum und Zuwachs. Die skandinavischen Länder mit ihrer langen Tradition der Forstinventuren können auf einen großen Datenfundus zurückgreifen, wie er für Rückschlüsse auf langfristige Wachstumstrends notwendig ist. KAUPPI et al. (1992) verwiesen für Skandinavien und andere europäische Länder auf erste Indizien für eine großregional ausgeprägte Veränderung von Vorrat und Zuwachsgang seit den 50er Jahren.

In Deutschland, wo die erste landesweite Inventur mit einheitlichem Stichprobenverfahren (BWI I) im Jahre 1987 erfolgte und eine Wiederholungsinventur nach demselben Verfahren (BWI II) in Planung ist, muss sich ein solcher Datenfundus erst akkumulieren. Der Vergleich zwischen einer weiter zurückgreifenden Landesinventur (GRI 1970/71) (vgl. FRANZ und KENNEL, 1973) und der BWI I erbringt für das Bundesland Bayern erste flächenrepräsentative Informationen zum aktuellen Zuwachsniveau und Vergleichsmöglichkeiten mit den Erwartungswerten der Ertragstafel (FOERSTER und BÖSWALD, 1995).

Fehlen echte Zeitreihen aus Wiederholungsinventuren, so bleibt die Möglichkeit, aus einmaligen Inventuren unechte Zeitreihen zu bilden und aus diesen weitere Informationen über Wachstumsstörungen zu erschließen.

3.2.5 Wachstumsvergleich zwischen Vor- und Folgegeneration auf gleichem Standort

Der Vergleich des Wachstums von Vor- und Folgebeständen auf gleichem Standort kann langfristige, über Generationen reichende Veränderungen des Wuchsverhaltens diagnostizieren (WIEDEMANN, 1923; KENK, SPIECKER und DIENER, 1991; RÖHLE 1997). Hierbei wird der auf Störungen zu prüfende aktuelle Zuwachs- und Wachstumsgang mit dem der Vorbestände auf gleichem Standort verglichen. Neben der Erfassung des aktuellen Entwicklungsganges erfordert das Verfahren weit zurückreichende Erhebungen, wie sie bestmöglich auf langfristigen Versuchsflächen mit definierter Behandlung gegeben sind. Der Vergleich kann für Durchmesser, Höhe, Grundfläche und Volumen durchgeführt werden. Er ist für die Höhe, insbesondere für die Oberhöhe, aussagekräftig, denn die Oberhöhe wird von allen Ertragskomponenten am geringsten durch Behandlungseffekte überprägt.

WIEDEMANN (1923) diagnostiziert die Wuchsstockungen der Fichte in Sachsen, die er auf schädliche forstwirtschaftliche und klimatische Einflüsse zurückführt, indem er die Höhenwachstumsverläufe von Vor- und Folgebeständen miteinander vergleicht. KENK, SPIECKER und DIENER (1991) weisen mit diesem Verfahren für Fichtenbestände auf schwächeren und mittleren Standorten in Baden-Württemberg eine Wachstumsverbesserung von Vor- zu Folgebeständen nach, die bis zu 7 Leistungsstufen der Ertragstafel ASSMANN und FRANZ (1963) betragen kann.

Mit dem Generationenvergleich können wohl Existenz, Eintrittszeitpunkt und Ausmaß von Störeinflüssen, jedoch nicht die zugrundeliegenden Ursachen aufgedeckt werden. Das Ursachenspektrum kann aber wirksam eingegrenzt werden: Indem der Generationenvergleich für identische Standorte erfolgt, werden Unsicherheiten in der standörtlichen Vergleichbarkeit, wie sie beispielsweise dem Nullflächen-Konzept anhaften, ausgeschaltet. Wenn nur Bestände mit gleicher Behandlung (z. B. A-Grad) und gleicher genetischer Konstitution (Naturverjüngung oder Saat nach Beerntung) in den Generationenvergleich einbezogen werden, lassen sich die Faktoren Behandlung und Genetik als Ursachen eventueller Wachstumsstörungen ausgrenzen.

4 Veränderung von wachstumsbestimmenden Faktoren

„Der Standort als pflanzenökologischer Begriff umfasst die Gesamtheit der an einem Wuchs-ort auf Pflanzen einwirkenden Umweltbedingungen, soweit sie nicht durch den Wettbewerb untereinander bedingt sind“ (ARBEITSKREIS STANDORTSKARTIERUNG, 1980, S. 12). In einem engeren Sinne sind für das Wachstum von Waldbeständen das Klima und der Boden grundlegende Produktionsfaktoren. Das Klima wird bestimmt durch die z. T. sehr komplex wirkenden Faktoren Strahlung, Temperatur, CO₂-Gehalt der Luft und Niederschlag. Die Bodenfruchtbarkeit wird durch den Nährstoff- und Wasserhaushalt bestimmt.

In der Forstwirtschaft ging man lange Zeit von einer Konstanz der Standortbedingungen aus (ASSMANN, 1961). In den letzten Jahrzehnten mehren sich Hinweise, dass diese Grundan-nahme nicht mehr gegeben ist (SCHMIDT, 1969; FRANZ, 1983; PRETZSCH, 1987; WEISE, 1990; KENK, SPIECKER und DIENER, 1991; PRETZSCH, 1992b; FOERSTER und BÖSWALD, 1995). Es ist damit zu rechnen, dass sich sowohl das Klima als auch die Nährstoffausstattung ändern.

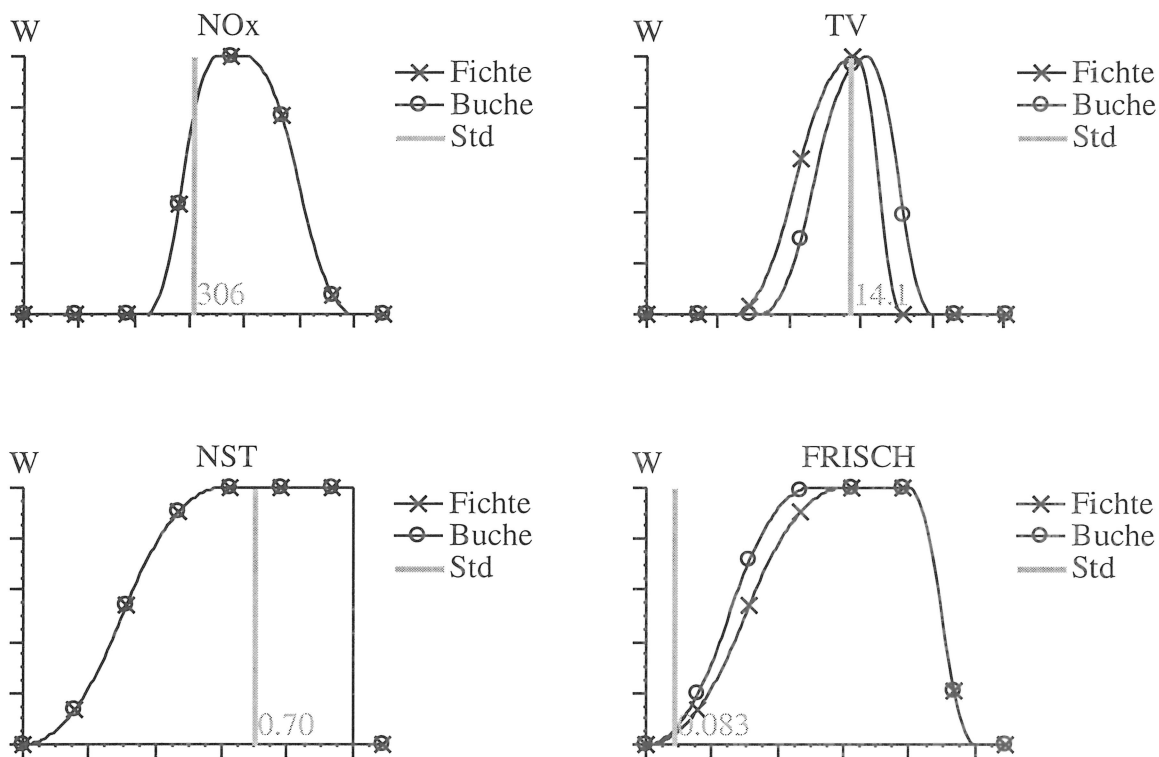


Abb. 4-1: Wirkungsfunktionen aus Silva 2.2 (KAHN und PRETZSCH, 1997) für die Variablen Stickstoffkonzentration in der Luft (NO_x), Temperatur in der Vegetationszeit (TV), Nährstoffversorgung (NST) und die Wasserversorgung (FRISCH) für die Baumarten Buche und Fichte. Als senkrechter Balken (Std) eingetragen ist ein mäßig trockener bis trockener Standort mit guter Nährstoffausstattung.

Im Zuge einer Längsschnittauswertung der Höhenwuchsleistungen von Waldbeständen in Deutschland wurden von KAHN (1994) zur Modellierung der standörtlichen Rahmenbedingungen des Baumwachstums Wirkungsfunktionen einzelner Standortvariablen definiert (Abb. 4-1). Mittels des Konzeptes der linguistischen Variablen gelang KAHN (1994) die Transformation ordinal skaliertes Standortfaktoren auf ein metrisches Skalenniveau, so dass die Wuchsleistung in Abhängigkeit von Standortfaktoren geschätzt werden kann. In seinem Modell leitet er drei komplexe ökologische Faktoren, die Nährstoffversorgung, das Wärmeangebot und die Wasserversorgung über spezifische Wirkungsfunktionen her.

Am Beispiel dieser Wirkungsfunktionen kann veranschaulicht werden, in welchem Versorgungsbereich sich Bäume auf einem bestimmten Standort befinden und ob sich Änderungen einzelner Wirkungsgrößen im Sättigungsbereich der Funktionen oder in kritischen Bereichen abspielen.

Zunächst werden anhand von zusammenfassenden Darstellungen mögliche Ursachen für die Änderung des Waldwachstums aufgezeigt.

4.1 Mögliche Auswirkungen von Änderungen des CO₂-Gehaltes in der Atmosphäre

CO₂ spielt bei der Photosynthese eine entscheidende Rolle. Sein Anteil in der Luft beträgt derzeit etwa 0,03 %. Damit stellt es einen Minimumfaktor für das Pflanzenwachstum dar (LUNDENGARD, 1957; KRAMER, 1988). Weltweit ist ein Anstieg der CO₂-Emissionen von 1975 bis 1990 um 32 % zu verzeichnen (IPPC, 1995). Wie Untersuchungen von SLADKOVIC, SCHEEL, und SEILER (1994), FRICKE und WALLASCH (1994) und Messungen an den bayerischen Waldklimamessstationen (WALDZUSTANDSBERICHT, 1997) zeigen, ist auch in Bayern in den letzten Jahrzehnten ein deutlicher Anstieg der CO₂-Konzentration zu beobachten. Messungen am Wank bei Garmisch-Partenkirchen zeigen im Zeitraum 1980 bis 1992 einen Anstieg des CO₂-Gehaltes in der Luft von 334 ppmv (parts per million by volume) auf 348 ppmv (Abb. 4-2). Am Brotjacklriegel im Bayerischen Wald zeigt eine Messreihe aus den Jahren 1972 bis 1992 einen Anstieg des CO₂-Gehaltes in der Luft von 331 ppmv auf 353 ppmv (Abb. 4-2). Bei den Zeitreihen fallen die großen jahreszeitlichen Schwankungen auf. Sie sind bedingt durch die photosynthetische Aktivität der Vegetation während der Vegetationszeit.

In der Bundesrepublik stagniert derzeit die CO₂-Emission auf hohem Niveau bei etwa 900 Mt. pro Jahr (UMWELTBUNDESAMT, 1998a).

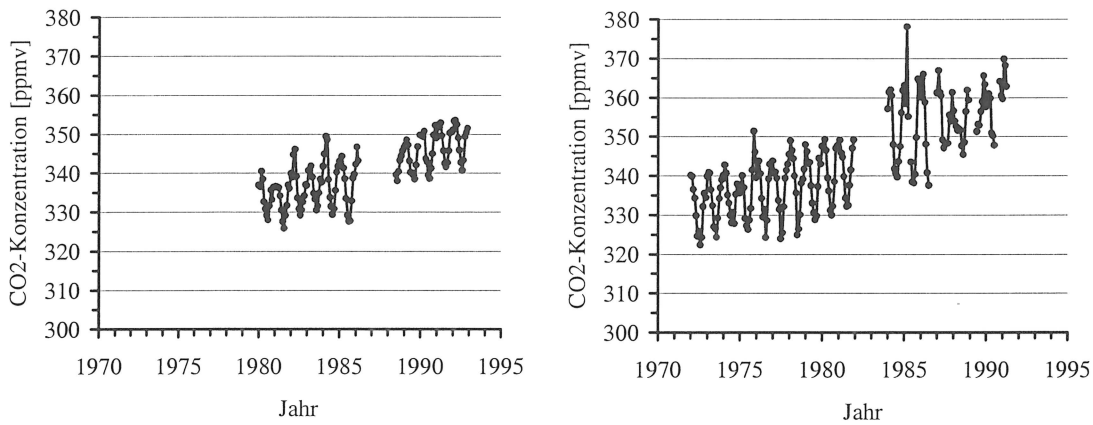


Abb. 4-2: Anstieg des CO₂-Gehaltes in der Luft an den Messstationen Wank (linke Seite, Graphik nach SLADKOVIC, SCHEEL und SEILER, 1994) und Brotjacklriegl (rechte Seite, Graphik nach FRICKE und WALLASCH (1994)).

Auf Abbildung 4-3 ist beispielhaft dargestellt, wie unter Laborbedingungen das Wachstum der Pflanze unter Veränderung des CO₂-Angebotes ansteigen kann. Es zeigt sich, dass ein Anstieg des CO₂-Angebotes stark wachstumsfördernde Effekte haben kann.

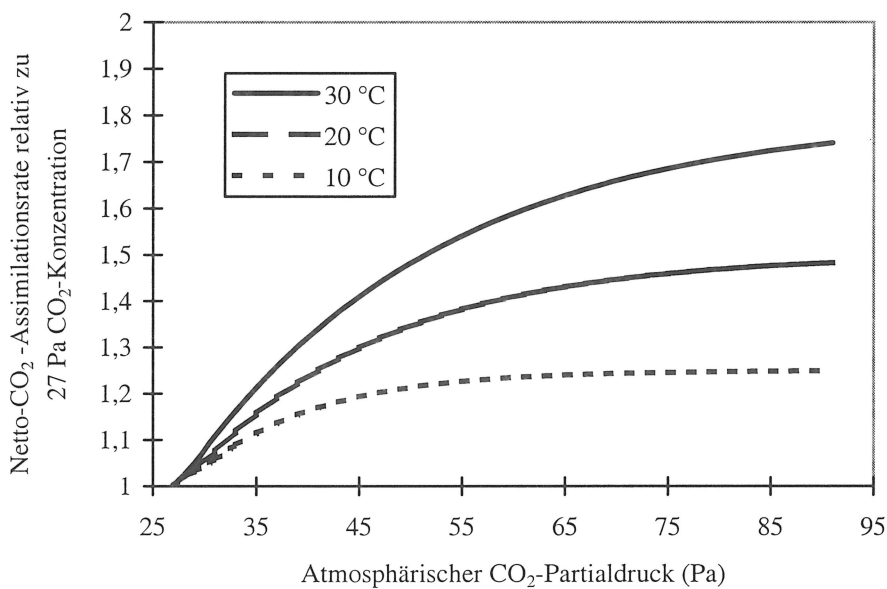


Abb. 4-3: CO₂-Assimilation in Abhängigkeit von dem CO₂-Außendruck bei verschiedenen Temperaturen und einem CO_{2a}/CO_{2i}-Verhältnis von 0,7 (a = Außen- und i = Innen-Konzentration). Darstellung nach LLOYD und FARQUHAR (1996).

4.2 Mögliche Auswirkungen von Temperaturänderungen

Die Temperatur im Jahresdurchschnitt und in der Vegetationszeit ist ebenfalls ein wachstumsbestimmender Faktor. Die verschiedenen Baumarten haben sowohl ein Standortoptimum als auch ein Temperaturoptimum (THOMASIUS, 1991). Daraus kann gefolgert werden, dass das Wachstum der Baumarten und das Konkurrenzverhalten zwischen ihnen entscheidend durch die Temperatur und den Standort beeinflusst wird.

So hat die Fichte nach THOMASIUS (1991) nur eine relativ geringe Temperaturamplitude zwischen 5 °C und 8 °C Jahresmitteltemperatur. In vielen Regionen Bayerns liegt die Jahresmitteltemperatur bereits bei 7 bis 7,5 °C. Schon eine geringe Temperaturänderung würde die Baumart Fichte in den Randbereich ihrer ökologischen Amplitude bringen (Abb. 4-4).

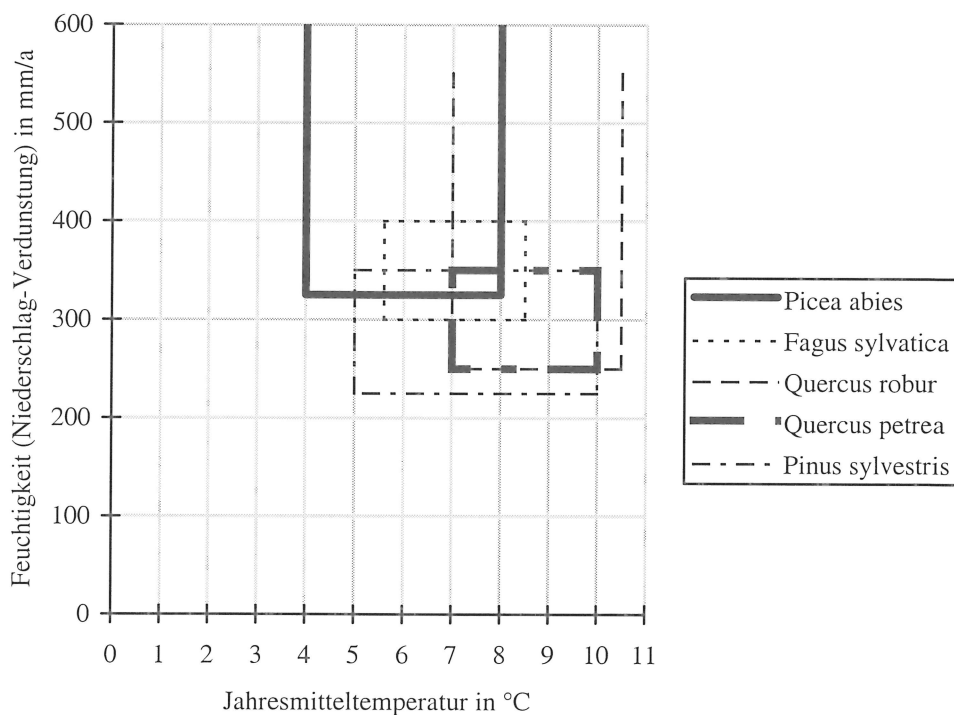


Abb. 4-4: Ökogramme forstwirtschaftlich relevanter Baumarten für Mitteleuropa, verändert nach THOMASIUS (1991).

Weltweit wird die Auswirkung des Treibhauseffektes auf das globale Klima beobachtet und erforscht. Trotz aller Unsicherheiten über die weitere Entwicklung besteht Einigkeit darin, dass die bodennahe Weltmitteltemperatur um 0,6 °C angestiegen ist (Abb. 4-5) (JONES et al., 1999; CDIAC, 1999). Rekordwerte wurden in den Jahren 1983, 1987/88, 1990 und 1995 erreicht. Nach SCHÖNWIESE (1997) müssen die Faktoren anthropogener Treibhauseffekt, der entgegenwirkende Sulfat-Kühlhauseffekt, der Vulkanismus, das El-Ninō-Phänomen und die Sonnenaktivität zusammen in Klimamodellen betrachtet werden. Ein wichtiger Fortschritt in der Klimaforschung ist, dass die oben genannten Kombinationen immer besser in komplexen

Klimamodellen reproduziert werden können (SCHÖNWIESE, 1997). Daran schließt sich die Erwartung an, dass die Größenordnung von Klimaänderungen in immer besserem Maße vorhergesagt werden kann.

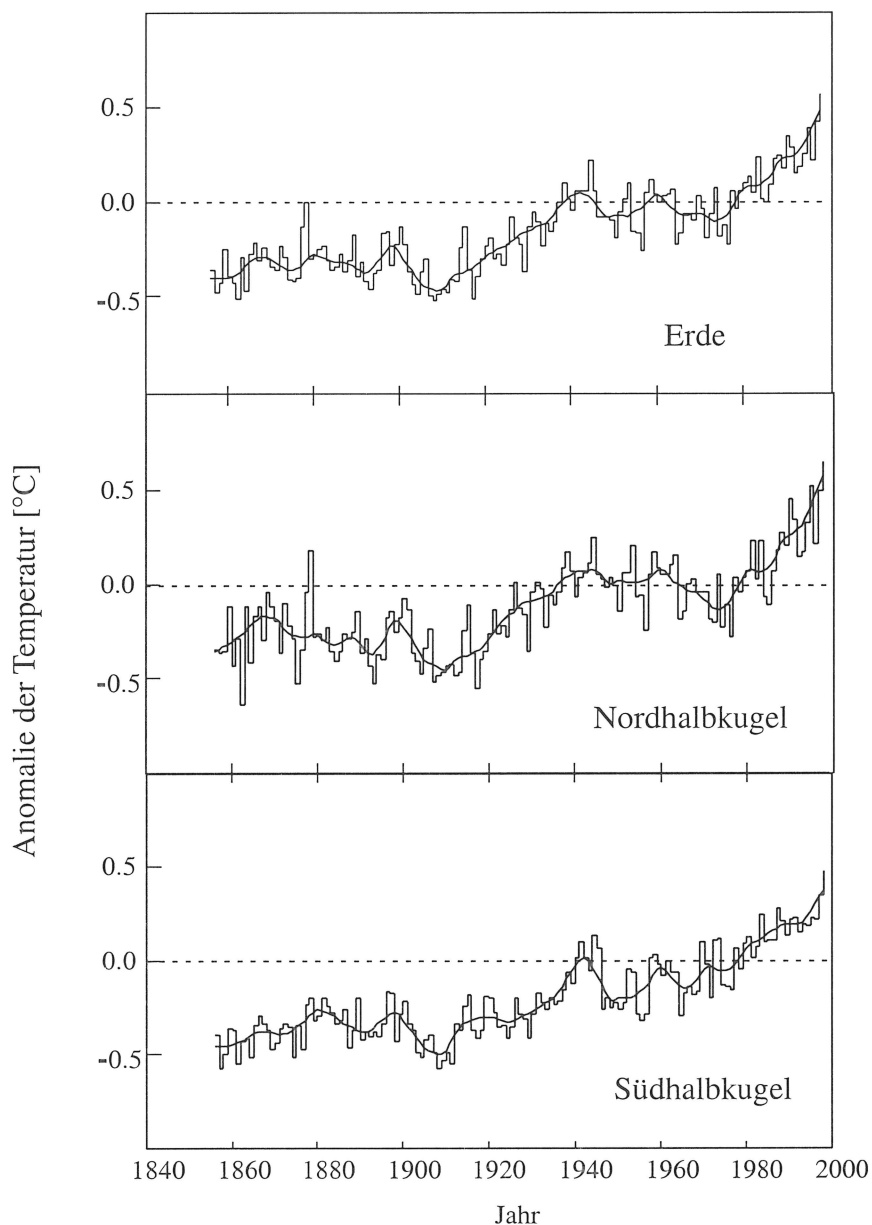


Abb. 4-5: Globale Klimaänderung im Beobachtungszeitraum 1955 bis 1995 als Abweichung in °C vom Mittelwert der Jahre 1961-1990 (punktierte Linie). Oben ist die weltweite Entwicklung, in der Mitte die Tendenz auf der Nordhalbkugel und unten die Abweichung auf der Südhalbkugel dargestellt (JONES et al., 1999).

RAPP und SCHÖNWIESE (1995) zeigen in ihrer Auswertung der Niederschlags- und Temperaturtrends in Deutschland für den Zeitraum 1891 bis 1990 deutliche Veränderungen im Temperaturregime auf. Besonders stark treten die Veränderungen im Zeitraum ab 1961 in Erscheinung.

Eine signifikante Zunahme der Jahresmitteltemperatur um 0,5 bis 1 K kann für viele Gebiete Europas abgeleitet werden. Die stärkste Temperaturzunahme tritt dabei im Herbst auf (MENZEL, 1997). Eine Folge davon kann eine Verlängerung der Vegetationszeit sein. Die Höhe der Temperaturveränderung ist so groß, dass die Waldvegetation durch Verschiebung ihrer Verbreitungsgrenzen und Konkurrenzverhältnisse darauf reagiert (FABIAN, 1991; THOMASIU, 1991; ULRICH und PUHE, 1992; BIBER, 1998; PRETZSCH und UTSCHIG, 1998).

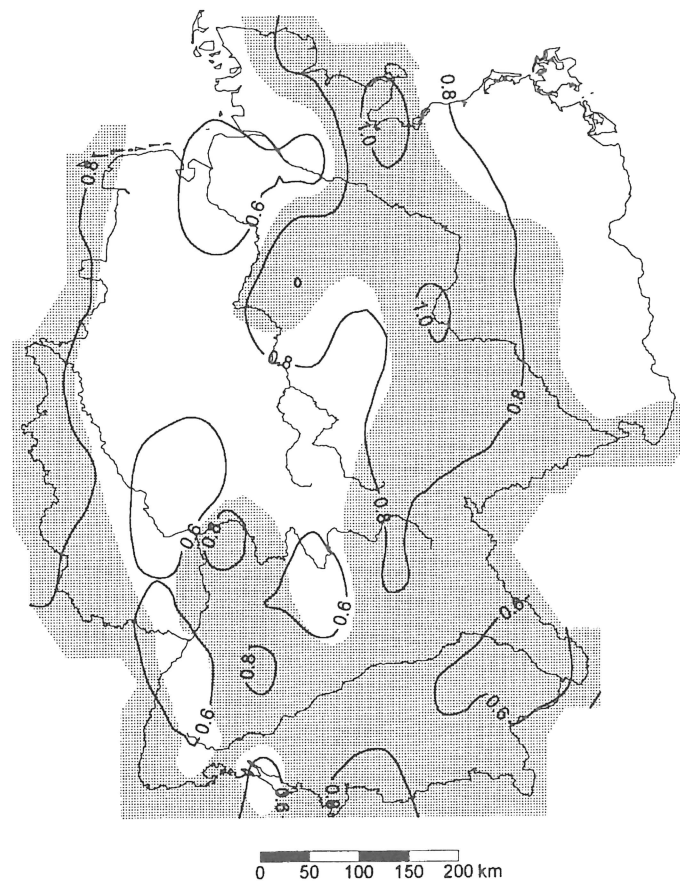


Abb. 4-6: Veränderung der Jahresdurchschnittstemperatur im Zeitraum 1961 bis 1990 für Deutschland. Das Ausmaß der Veränderung ist mit Isolinien dargestellt. Signifikante Abweichungen in der mittleren Jahrestemperatur sind grau hinterlegt (aus RAPP und SCHÖNWIESE, 1995).

4.3 Mögliche Auswirkungen von Niederschlagsänderungen

Noch stärker als Temperaturveränderungen können das Waldwachstum – bei einer bereits angespannten Wasserversorgung – Änderungen in der Niederschlagsmenge und in der Niederschlagsverteilung beeinflussen. Für West- und Mitteleuropa kann für den Zeitraum 1961 – 1990 ein sommerliches Regendefizit und eine langfristige winterliche Niederschlagszunahme festgestellt werden (RAPP und SCHÖNWIESE, 1995). Im westlichen Deutschland lassen sich dagegen in der Vegetationsperiode keine nennenswerten Änderungen der Regenmengen im Zeitraum 1891 bis 1990 ausmachen (Abb. 4-7).

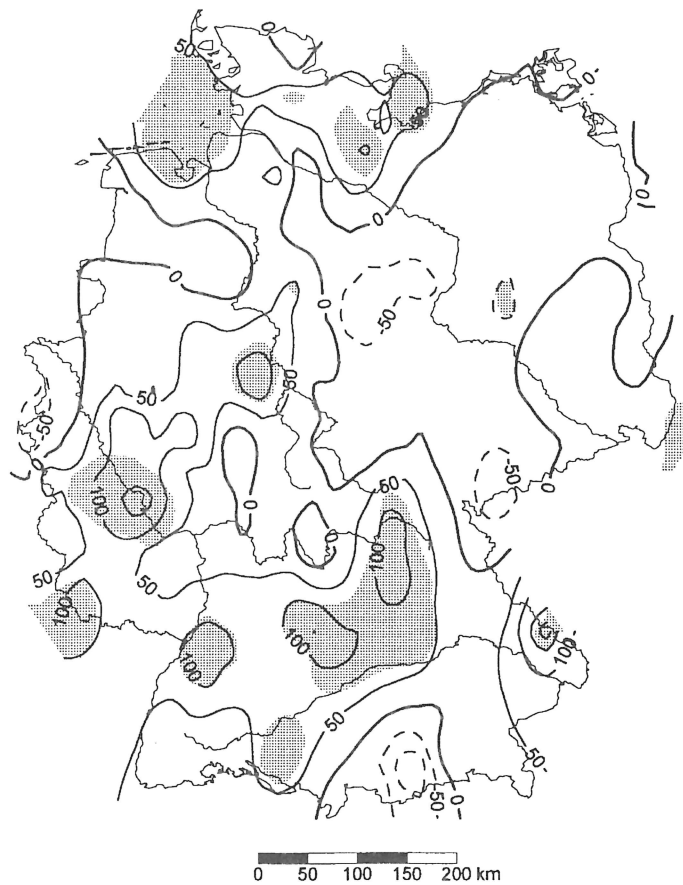


Abb. 4-7: Veränderung der mittleren Jahres-Niederschläge im Zeitraum 1961 bis 1990 für Deutschland. Das Ausmaß der Veränderung ist mit Isolinien (50 mm/Jahr) dargestellt. Signifikante Abweichungen in der mittleren Niederschlagshöhe sind grau hinterlegt (aus RAPP und SCHÖNWIESE, 1995).

Künftige Änderungen im Niederschlagsregime – verursacht durch weiter anhaltende Temperaturveränderung – können in kritischen Bereichen eine starke Veränderung der Konkurrenzkraft der beteiligten Baumarten (vgl. Abb. 4-4) bewirken. Sinkt z. B. das Angebot an pflanzenverfügbarem Wasser in der Vegetationszeit unter 320 mm, so ist die Fichte nach THOMASIUS (1991) an der Untergrenze ihrer ökologischen Amplitude angelangt.

4.4 Mögliche Auswirkungen des Stickstoffeintrages

NO_x-Verbindungen entstehen vor allem als ungewollte Nebenprodukte bei Verbrennungsprozessen mit hohen Temperaturen. Sie sind Vorläufersubstanzen für die Bildung von Ozon und anderen Photooxidantien. Hohe Belastungen treten in Bayern vor allem in den Industrieregionen München, Augsburg, Nürnberg, Würzburg und Aschaffenburg auf (Abb. 4-8). Durch Maßnahmen zur Luftreinhaltung zeigte sich in den letzten Jahren ein leichter Rückgang der NO_x-Emission, obwohl das Verkehrsaufkommen deutlich angestiegen ist (UMWELTBUNDESAMT, 1998a).

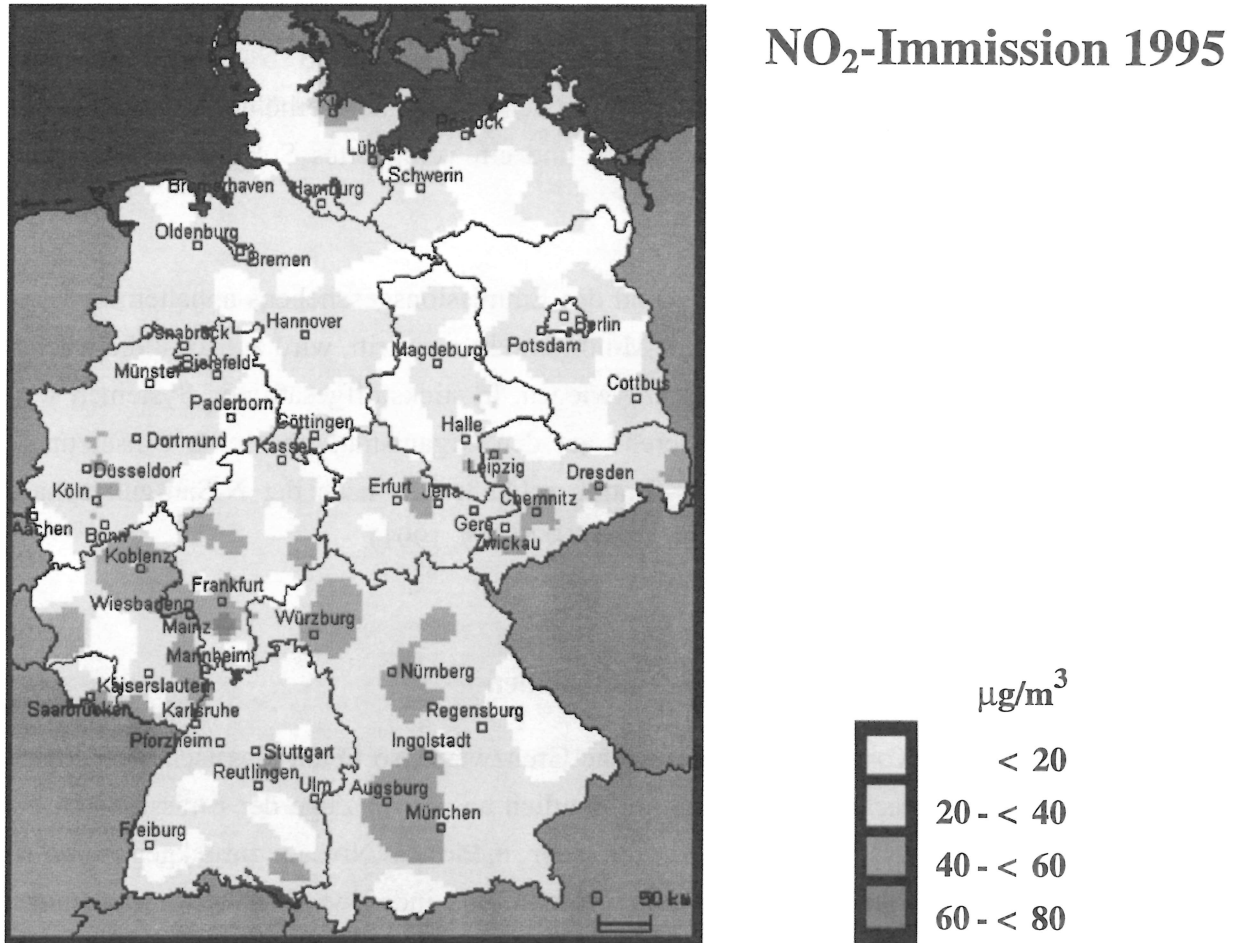


Abb. 4-8: NO₂-Eintragungssituation in der Bundesrepublik Deutschland (aus UMWELTBUNDESAMT, 1998a).

Die Stickoxidemissionen (NO₂, NO und gasförmiges HNO₃) sind anthropogenen Ursprungs und stammen hauptsächlich aus dem Kraftverkehr (WALDZUSTANDSBERICHT, 1999). Zusätzlich wird die Stickstoffemission durch Ammoniakemissionen aus der landwirtschaftlichen Produktion (Tierhaltung, Düngenanwendung) erhöht. Der Hauptaufnahme pfad der Pflanzen für diese Gase verläuft über die Stomata. Daneben können sie im Regenwasser gelöst über die Cuticula oder in Form von Ionenaustausch über die Wurzeln aufgenommen werden (SCHULZE und LANGE, 1990). Ammonium wird mit höherem Anteil als Nitrat über die

Stomata aufgenommen. Im Boden findet bei gleichzeitigem Angebot von Ammonium und Nitrat eine bevorzugte Aufnahme von Ammonium statt. Dabei spielt die Mykorrhiza der Feinwurzeln eine entscheidende Rolle (UMWELTBUNDESAMT, 1997).

Seit den 60er Jahren wird großflächig ein Anstieg der Stickstoffeinträge in Waldökosysteme verzeichnet (REHFUESS, 1995; ULRICH, 1995; ROTHE, 1997). N-Einträge in Bayern haben für Fichtenbestände Werte zwischen 11 bis 30 kg/ha und Jahr (HÜSER und REHFUESS, 1988). Damit liegen sie auch in Bayern um bis zum Doppelten über der für ein normales Waldwachstum benötigten Menge (WALDZUSTANDSBERICHT, 1997). Bei der Diskussion um die Auswirkung der Stickstoffeinträge stehen die sekundären Effekte eines übermäßigen Stickstoffangebotes im Vordergrund. Mögliche Auswirkungen sind Nährstoffungleichgewichte, erhöhte Empfindlichkeit gegenüber Frost oder Trockenheit, erhöhte Anfälligkeit gegenüber Schaderregern, gesteigerte Wuchsraten und ein verändertes Sukzessionsgeschehen (UMWELTBUNDESAMT, 1998a).

Die hohen Stickstoffeinträge werden aufgrund des Emissionsgeschehens anhalten. In Ökosystemen, in denen jetzt noch Stickstoff als Minimumfaktor auftritt, wird zunächst die wachstumssteigernde Wirkung des Stickstoffes überwiegen. In stickstoffgesättigten Systemen wirken Nährstoffimbilanzen eher destabilisierend auf den Organismus und seine Umsetzungsprozesse (ROTHE, 1997). Bei hohem N-Eintrag schließt sich nach der N-Sättigungsphase eine N-Schädigungsphase an (HEINSDORF und KRAUSS, 1991).

4.5 Mögliche Auswirkungen der SO₂-Immissionen

Überschreiten die SO₂-Konzentrationen kritische Grenzwerte, so treten klassische Rauchgaschäden auf. Dieser Ursachenkomplex nimmt deutlich ab, da im Zuge der Emissionsminderungsmaßnahmen die SO₂-Belastung auf ein sehr niedriges Niveau zurückgegangen ist (Abb. 4-9). Chronische Schäden können durch direkte und indirekte Wirkung der abgenommenen SO₂-Belastung aber weiterhin auftreten. „Bezogen auf die Entstehung neuartiger Waldschäden bedeutet dies, dass die subakute SO₂-Belastung indirekt, aber auch direkt, in Kombination mit erhöhten Stickstoffeinträgen und Ozonbelastungen weiterhin zu neuartigen Waldschäden führt“ (UMWELTBUNDESAMT, 1997, S. 67).

Trotz des starken Rückgangs der SO₂-Immissionen ist daher mit dem Auftreten neuartiger Waldschäden zu rechnen. Damit bleiben die bei höheren Blatt- bzw. Nadelverlusten zu erwartenden zuwachsmindernden Einflüsse in den Schadregionen bestehen (UTSCHIG, 1989a).

Wie die Messreihen der Waldklimamessstationen belegen, haben die SO₂-Immissionen stark abgenommen (WALDZUSTANDSBERICHT, 1997). Gleichzeitig ist aber im Sickerwasser

auf Ca-armen Böden eine relativ hohe Belastung mit Sulfationen zu verzeichnen. Die Böden haben durch die bis zu Beginn der 80er Jahre andauernden hohen SO_2 -Einträge hohe S-Vorräte angesammelt. Das führt zu einer noch immer anhaltenden Versauerung der Böden und zu einer Freisetzung von Al-Ionen. Trotz der drastischen Immissionsreduktion bleiben die Vorgänge im Boden in den nächsten Jahrzehnten weiterhin durch eine hohe Schwefelbelastung geprägt (PREUHSLER, 1998).

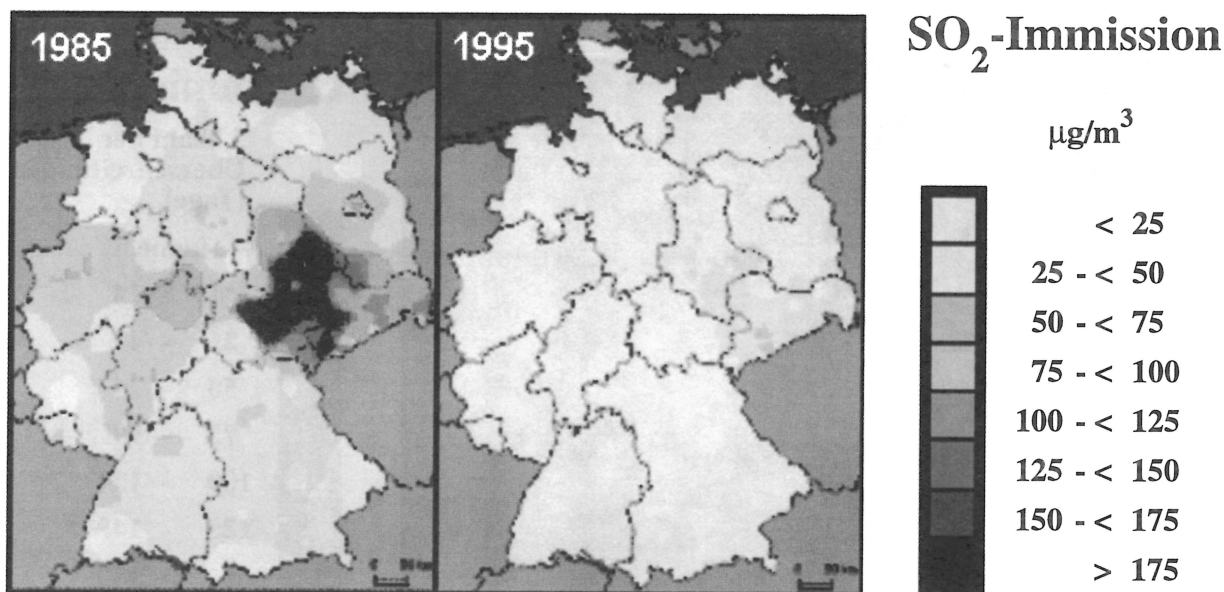


Abb. 4-9: Durchschnittliche Schwefelbelastung in Deutschland in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Luft für das Jahr 1985 (links) und das Jahr 1995 (Mitte) (aus UMWELTBUNDESAMT, 1998a).

4.6 Mögliche Auswirkungen durch Ozon-Belastung

Aus Kraftfahrzeugen und anderen Quellen stammende Stickoxide verbinden sich mit Sauerstoff unter Einfluss intensiver Sonnenstrahlung zu Photooxidantien. Zu diesen gehören z. B. Ozon, Peroxyacetylnitrat und Salpetersäure. Aus messtechnischen Gründen wird häufig nur der Ozonanteil als Leitsubstanz gemessen (UMWELTBUNDESAMT, 1998b). Aufgrund wechselnder Strahlungsintensität der Sonne sind zyklische Schwankungen im Jahresgang und zwischen verschiedenen Jahren für die Ozonbelastung typisch (Abb. 4-10).

Sobald Ozon von der Pflanze direkt über die Spaltöffnungen aufgenommen wird, greift es hier wegen seiner oxidativen Wirkung die Zellstruktur des Pflanzengewebes an (UMWELTBUNDESAMT, 1997). Als für Waldbäume kritisch wurde ein Schwellenwert von $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Luft nachgewiesen. Für Menschen wurde der auf Abbildung 4-10 dargestellte Wert von $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Luft als Gefährdungsgrenze für empfindliche Personen festgelegt. Für Waldbäume ist im Unterschied zu landwirtschaftlichen Nutzpflanzen die Ozonkonzentration auch in der Nacht relevant. Das ist darauf zurückzuführen, dass die Spaltöffnungen während der Nacht nicht vollständig geschlossen sind. Erste Ergebnisse weisen darauf hin, dass Buche und Eiche

empfindlicher auf Ozonbelastungen reagieren als die Nadelbäume. Als Schwellenwert für die akkumulierte Belastung über eine Vegetationsperiode werden für Bäume 10 000 ppb*h (entspricht 20 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$) angegeben. Eine Einwirkung von Ozon über dem auf Abbildung 4-10 dargestellten Grenzwert von 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Luft von 111 Stunden (entspricht 5 Tagen) reicht aus, um den Schwellenwert zu überschreiten. Für warme Sommer kommt es für Bayern im Bereich um München und im östlichen Bayern z. T. zu erheblichen Überschreitungen des kumulativen Schwellenwertes für Bäume (UMWELTBUNDESAMT, 1998b).

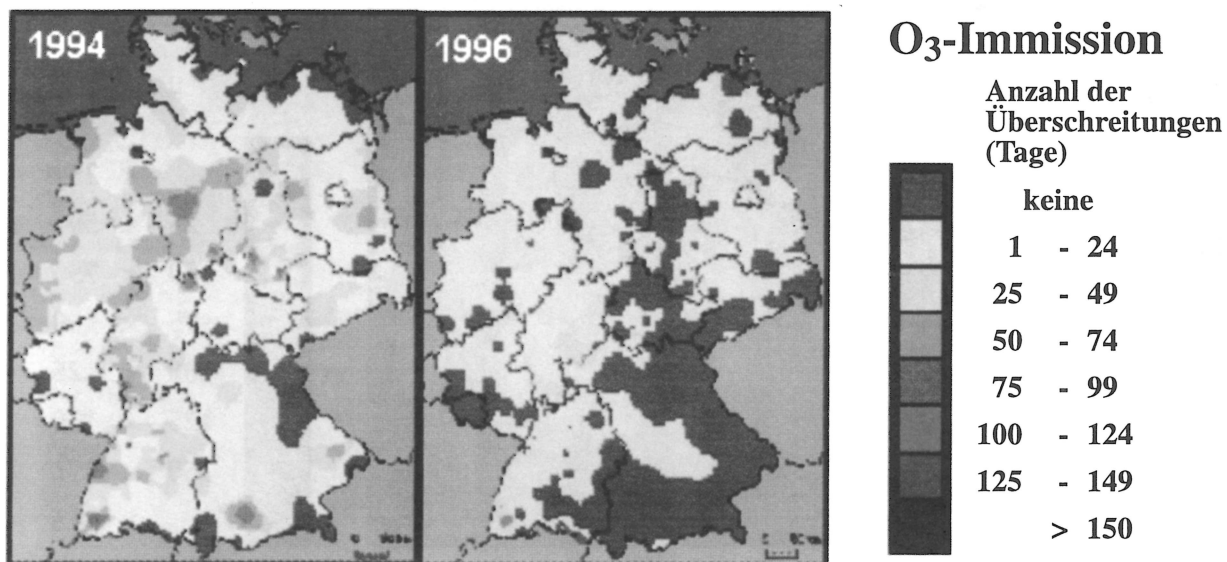


Abb. 4-10: Ozonbelastung in der Bundesrepublik Deutschland. Dargestellt sind die Tage, an denen der kritische Wert von 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Luft im Messnetz des Umweltbundesamtes überschritten wird (aus UMWELTBUNDESAMT, 1998a).

Chronische Ozonbelastung kann zu Gaswechselstörungen, Störungen im Mineralstoffhaushalt, Störungen der Kohlenstofftranslokation und verfrühter bzw. beschleunigter Seneszenz führen (SCHMIEDEN und WILD, 1995). Schreitet die Klimaerwärmung fort, so werden sich bei nur geringer Änderung der Emissionssituation im Sommer Tage mit hohen Ozonkonzentrationen häufen. Damit ist eine Verstärkung der Ozonbelastung von Wäldern zu erwarten.

4.7 Mögliche Auswirkungen veränderter Waldbauverfahren

Kulturmethode und Pflanzverband haben einen entscheidenden Einfluss auf die Geschwindigkeit des Wachstumsablaufes (ASSMANN, 1961). Das Sitzenbleiben überdichter Naturverjüngungen und Saaten der Fichte auf mäßigem Standort ist eine bekannte Erscheinung. Bei rechtzeitiger Läuterung oder weitständiger Begründung treten diese Effekte nicht auf. Auf lange Sicht besteht eine starke Tendenz zum Ausgleich der Wuchsleistungen von unterschiedlich weit begründeten Bestockungen (ASSMANN, 1961). Starke Durchforstungen führen zu einer Wuchsbeschleunigung. Dies drückt sich in größeren Einzelbaumdimensionen (z. B. Durchmesser) und häufig durch eine reduzierte flä-

chenbezogene Zuwachsleistung aus. Die Hochdurchforstung reiner Fichtenbestände bewirkt gegenüber der Niederdurchforstung stets Volumenzuwachsverluste (ASSMANN, 1961). Dagegen kann die Baumhöhe nur in geringem Maße durch die Durchforstung beeinflusst werden (KRAMER, 1988; WENK, ANTANAITIS und ŠMELKO, 1990).

4.8 Erholung der Böden nach Streunutzung

Regional unterschiedlich haben Bayerns Wälder im Zeitraum 1750 bis ca. 1950 Nährstoffverluste durch Streunutzung erfahren. REHFUESS und SCHMIDT (1971) konnten nachweisen, dass Streunutzungen im wesentlichen zu hohen Stickstoffverlusten im Wald führten. Bei einem 3-jährigen Turnus des Streurechens wurden nach üblicher Durchführung etwa 1000 kg/ha Stickstoff in einer Umtriebszeit entzogen (REHFUESS, 1981). Darüber hinaus führten Waldweide und Seegrasnutzung z. B. durch Phosphor-Entzug zu einer Verminderung der potentiellen Ertragsleistung unserer Wälder.

Heute finden solche Waldnutzungen in Deutschland nicht mehr statt. Der Stoffkreislauf in Waldökosystemen ist durch geringe Nährstoffverluste gekennzeichnet, da i. d. R. Streu, Ast- und Reisholz im Wald verbleiben. In den einst von Streunutzung betroffenen Gebieten findet derzeit eine natürliche Erholung statt (REHFUESS, 1981). Dies konnte bereits SCHMIDT (1969) für die Oberpfalz aufzeigen. Es ist zu erwarten, dass in Gebieten mit starker anthropogener Beeinflussung durch Waldweide, Streu- und Seegrasnutzung stärkere Veränderungen im Wachstumsgang der Baumarten beobachtet werden können, als dies in durch Streunutzung ungestörten Bereichen der Fall ist (PRETZSCH, 1985; PRETZSCH, 1987; FRANZ und PRETZSCH, 1988; PRETZSCH, 1989).

5 Übersicht über die Datenbasis

5.1 Langfristige Versuchsflächen

Der Lehrstuhl für Waldwachstumskunde betreut im Auftrag der Bayerischen Staatsforstverwaltung die langfristigen ertragskundlichen Versuche in Bayern. Das Versuchsflächennetz umfasst Flächen, die in den letzten 130 Jahren angelegt wurden. In diese Auswertungen wurden die Versuchsanlagen mit Beteiligung der Baumart Fichte einbezogen. So ergibt sich ein reichhaltiges Datenmaterial zur Beschreibung des Wachstums der Fichte auf der Basis langfristiger Beobachtung.

Tab. 5-1a: Übersicht über die langfristigen Versuchsflächen, die in die Datenauswertung einbezogen wurden. Sie sind gegliedert nach den Untersuchungseinheiten Bayerische Alpen, Schongau und Schwaben. Angegeben sind Versuchsnummer (Nr.), Wuchsgebiet (WG), Wuchsbezirk (WB), Teilwuchsbezirk (TB), Forstamt, Seehöhe (Höhe), Jahresniederschlag (Na), Niederschlag in der Vegetationsperiode (Nv), durchschnittliche Jahrestemperatur (Ta), durchschnittliche Temperatur in der Vegetationszeit (Tv), Wasserhaushalt (WHH) und Bodenart.

Nr.	Versuch	WG	WB	TB	Forstamt	Höhe	Na	Nv	Ta	Tv	WHH	Bodenart
Bayerische Alpen												
107	Rohrmoos	15	3	0	Sonthofen	1120	2100	1060	4.4	11.1	sehr frisch	mittelgründiger Lehm
110	Ruhpolding	15	6	0	Ruhpolding	950	2130	1120	6.1	13.1	frisch	tiefgründiger Lehm
113	Ruhpolding	15	6	0	Ruhpolding	960	2140	1130	6.1	13.1	frisch	tiefgründiger Lehm
115	Partenkirchen	15	8	0	Garmisch-P.	1200	2320	1130	4.7	11.0	frisch	mittelgründiger Lehm
120	Kreuth	15	5	0	Kreuth	1070	1700	950	5.7	12.2	m. frisch	mittelgründiger Lehm
121	Kreuth	15	5	0	Kreuth	1220	1820	1010	5.1	11.4	hangfrisch	lehmiger Ton
122	Kreuth	15	5	0	Kreuth	1250	1840	1020	4.9	11.3	m. fr. - fr.	tiefgründiger Lehm
123	Kreuth	15	5	0	Kreuth	1045	1380	950	5.8	12.3	m. fr. - fr.	mittelgründiger Lehm
124	Kreuth	15	5	0	Kreuth	970	1320	920	6.0	12.7	m. frisch	mittelgründiger Lehm
125	Kreuth	15	5	0	Kreuth	1045	1680	950	5.8	12.3	m. fr. - fr.	mittelgründiger Lehm
126	Kreuth	15	5	0	Kreuth	855	1520	880	6.5	13.2	m. fr. - fr.	mittelgründiger Lehm
262	Füssen	15	5	0	Füssen	1440	1990	1090	4.2	10.3	frisch	toniger Lehm
Schongau												
002	Sachsenried	14	4	1	Schongau	820	1750	950	6.9	13.7	frisch	toniger Schlufflehm
003	Sachsenried	14	4	1	Schongau	820	1750	950	6.9	13.7	frisch	toniger Schlufflehm
005	Denklingen	14	4	1	Schongau	780	1680	920	7.0	13.9	frisch	tiefgründiger Lehm
067	Sachsenried	14	4	1	Schongau	840	1790	970	6.9	13.6	frisch	toniger Schlufflehm
068	Sachsenried	14	4	1	Schongau	840	1790	970	6.9	13.6	frisch	toniger Schlufflehm
084	Denklingen	14	4	1	Schongau	770	1660	900	7.0	13.9	frisch	sandiger Lehm
233	Denklingen	14	4	1	Schongau	790	1700	920	7.0	13.8	frisch	sandiger Lehm
602	Sachsenried	14	4	1	Schongau	820	1750	950	6.9	13.7	frisch	toniger Lehm
606	Denklingen	14	4	1	Schongau	750	1620	890	7.1	14.0	frisch	tiefgründiger Lehm
607	Sachsenried	14	4	1	Schongau	760	1640	900	7.1	13.9	m. frisch	sandiger Lehm
623	Schongau	14	4	1	Schongau	795	1700	930	7.0	13.8	frisch	toniger Lehm
Schwaben												
008	Ottobeuren	13	4	0	Kaufbeuren	810	1190	660	6.5	13.5	frisch	tiefgründiger Lehm
012	Illertissen	12	7	0	Illertissen	545	900	500	7.5	15.0	frisch	Feinlehm
036	Betzigau	14	3	0	Kempten	780	1060	690	6.8	13.6	frisch	sandiger Lehm
037	Betzigau	14	3	0	Kempten	780	1060	690	6.8	13.6	frisch	sandiger Lehm
042	Betzigau	14	3	0	Kempten	800	1060	700	6.8	13.6	frisch	sandiger Lehm
043	Betzigau	14	3	0	Kempten	800	1060	700	6.8	13.6	frisch	sandiger Lehm
065	Betzigau	14	3	0	Kempten	800	1060	700	6.8	13.6	frisch	sandiger Lehm
306	Laugna	12	7	3	Laugna	490	800	460	7.8	15.2	frisch	Lößlehm
315	Laugna	12	7	3	Laugna	490	800	460	7.8	15.2	frisch	Lößlehm
603	Zusmarshausen	12	7	0	Zusmarshausen	510	820	480	7.8	15.1	m. trocken	lehmiger Sand
604	Zusmarshausen	12	7	0	Zusmarshausen	510	820	480	7.8	15.1	z. frisch	Feinlehm

Tab. 5-1b: Übersicht über die langfristigen Versuchsflächen, die in die Datenauswertung einbezogen wurden. Sie sind gegliedert nach den Untersuchungseinheiten Münchner Schotterebene, Oberbayerische Jungmoräne, Tertiäres Hügelland, Frankenalb, Fränkischer Keuper, Bayerischer Wald und Mitterteich und Fichtelgebirge. Angegeben sind Versuchsnummer (Nr.), Wuchsgebiet (WG), Wuchsbezirk (WB), Teilwuchsbezirk (TB), Forstamt, Seehöhe (Höhe), Jahresniederschlag (Na), Niederschlag in der Vegetationsperiode (Nv), durchschnittliche Jahrestemperatur (Ta), durchschnittliche Temperatur in der Vegetationszeit (Tv), Wasserhaushalt (WHH) und Bodenart.

Nr.	Versuch	WG	WB	TB	Forstamt	Höhe	Na	Nv	Ta	Tv	WHH	Bodenart
Münchner Schotterebene												
009	Fürstenfeldbruck	14	4	1	Fürstenfeldbruck	600	1350	760	7.5	14.6		
072	Eglharting	13	2	1	Ebersberg	535	920	540	7.8	15.3	m. frisch	lehmgiger Sand
073	Eglharting	13	2	1	Ebersberg	540	930	550	7.8	15.3	m. frisch	lehmgiger Sand
087	Weßling	14	4	1	Starnberg	590	1330	750	7.5	14.6	m. frisch	sandiger Lehm
098	Eglharting	13	2	1	Ebersberg	550	950	550	7.8	15.3	m. frisch	sandiger Lehm
213	Sauerlach	13	2	1	Sauerlach	650	1090	640	7.6	15.1	m. frisch	st. sandiger Lehm
223	Sauerlach	13	2	1	Sauerlach	620	1050	620	7.7	15.2	m. frisch	lehmgiger Sand
612	Fürstenfeldbruck	13	5	0	Fürstenfeldbruck	545	880	520	7.9	15.4	frisch	Feinlehm
Oberbayerische Jungmoräne												
092	Starnberg	13	2	1	Starnberg	570	1300	730	7.5	14.7	m. frisch	sandiger Lehm
097	Wolfratshausen	14	4	1	Wolfratshausen	650	1440	800	7.3	14.4	m. frisch	sandiger Lehm
605	Eurach	14	4	1	Wolfratshausen	600	1350	750	7.5	14.6	m. frisch	sandiger Lehm
621	Neuegling	14	4	1	Wolfratshausen	750	1620	900	7.1	14.0		
639	Traunstein	14	4	3	Traunstein	590	1330	750	7.5	14.6	frisch	toniger Lehm
Tertiäres Hügelland												
023	Freising	12	8	0	Freising	500	840	490	7.2	14.7	frisch	sandiger Lehm
	Höglwald	12	8	0	Aichach	530	880	510	7.0	14.5	frisch	Lehm
Frankenalb												
095	Kösching	6	2	0	Beilngries	460	700	390	7.8	14.8	frisch	Lößlehm
206	Wallerstein	5	6	0	Oettingen-Wall.	500	780	430	7.5	15.0		
207	Wallerstein	5	6	0	Oettingen-Wall.	500	780	430	7.5	15.0		
613	Weißenburg	5	8	0	Weißenburg	560	830	420	7.5	14.5	frisch	Lehm
Fränkischer Keuper												
342	Gunzenhausen	5	6	0	Gunzenhausen	450	750	410	7.8	15.3		
260	Feuchtwangen	5	3	0	Feuchtwangen	500	810	410	7.5	14.5		
261	Feuchtwangen	5	3	0	Feuchtwangen	500	810	410	7.5	14.5		
Bayerischer Wald												
111	Zwiesel	11	3	0	Zwiesel	775	1180	550	6.0	13.3	frisch	skelettreicher Lehm
129	Freyung	11	3	0	Freyung	725	1130	520	6.2	13.6	frisch	sandiger Lehm
130	Bodenmais	11	3	0	Bodenmais	1050	1500	700	5.0	12.0	frisch	tiefgründiger Lehm
134	Zwiesel	11	3	0	Zwiesel	710	1110	510	6.2	13.7	hangfrisch	tiefgründiger Lehm
135	Zwiesel	11	3	0	Zwiesel	690	1090	500	6.3	13.8	hangfrisch	tiefgründiger Lehm
137	Zwiesel	11	3	0	Zwiesel	760	1170	540	6.1	13.4	hangfrisch	tiefgründiger Lehm
138	Zwiesel	11	3	0	Zwiesel	1000	1440	670	5.2	12.2	hangfrisch	Block-Lehm
Fichtelgebirge und Mitterteich												
101	Mitterteich	10	2	2	Mitterteich	645	760	360	6.6	14.0		
227	Fichtelberg	8	3	0	Fichtelberg	750	1000	440	6.3	13.3	m. frisch	schluffiger Lehm
245	Goldkronach	8	3	0	Goldkronach	800	1020	450	6.1	13.1	m. frisch	schluffiger Lehm
246	Goldkronach	8	3	0	Goldkronach	700	970	430	6.5	13.5	m. frisch	schluffiger Lehm
247	Weidenberg	8	3	0	Goldkronach	800	1020	450	6.1	13.1	m. frisch	schluffiger Lehm
248	Fichtelberg	8	3	0	Fichtelberg	750	1000	440	6.3	13.3	m. frisch	schluffiger Lehm
249	Fichtelberg	8	3	0	Fichtelberg	740	990	440	6.3	13.3	m. frisch	schluffiger Lehm
250	Fichtelberg	8	3	0	Fichtelberg	810	1030	450	6.0	13.0	m. frisch	lehmgiger Sand
251	Weißensstadt	8	3	0	Weißensstadt	990	1130	490	5.3	12.3	m. frisch	lehmgiger Sand
252	Weißensstadt	8	3	0	Weißensstadt	750	1000	440	6.3	13.3		
253	Weißensstadt	8	3	0	Weißensstadt	700	970	430	6.5	13.5		
254	Weißensstadt	8	3	0	Weißensstadt	700	970	430	6.5	13.5		
316	Weißensstadt	8	3	0	Weißensstadt	660	950	420	6.7	13.7	m. frisch	Schlufflehm

Tab. 5-2a: Übersicht über die langfristigen Versuchsflächen, die in die Datenauswertung einbezogen wurden. Sie sind gegliedert nach den Untersuchungseinheiten Bayerische Alpen, Schongau und Schwaben. Angegeben sind Versuchsnummer (Nr.), Wuchsgebiet (WG), Wuchsbezirk (WB), Teilwuchsbezirk (TB), Forstamt, Anzahl der Parzellen (NPz.), Flächengröße (Fl.), Anlagejahr (Anl.), Anzahl der Aufnahmen (NAuf.), letzte Aufnahme (letz.A), Versuchsart (Vers-A.) und Jahr der Aufgabe (Aufg.). Die Versuchsarten sind eingeteilt in Standraum- (SR), Durchforstungs- (DF), Düngungs- (DÜ), Naturwald- (NW), Plenterwald- (PW) Verjüngungs- (VJ), Provenienz- (PR) und Mischbestandsversuche (MW).

Nr.	Versuch	WG	WB	TB	Forstamt	NPz.	Fl.	Anl.	NAuf.	letz.A	Vers-A.	Aufg.
Bayerische Alpen												
107	Rohrmoos	15	3	0	Sonthofen	1	0.31	1952	6	1992	VJ	
110	Ruhpolding	15	6	0	Ruhpolding	2	0.31	1953	8	1994	VJ	
113	Ruhpolding	15	6	0	Ruhpolding	2	1.00	1961	5	1994	PW	
115	Partenkirchen	15	8	0	Garmisch-P.	5	1.47	1954	6	1997	NW	
120	Kreuth	15	5	0	Kreuth	4	0.65	1973	3	1995	VJ	
121	Kreuth	15	5	0	Kreuth	4	0.66	1973	3	1995	VJ	
122	Kreuth	15	5	0	Kreuth	4	0.67	1973	3	1995	VJ	
123	Kreuth	15	5	0	Kreuth	3	0.48	1975	3	1995	VJ	
124	Kreuth	15	5	0	Kreuth	2	0.18	1975	3	1995	VJ	
125	Kreuth	15	5	0	Kreuth	3	0.49	1975	3	1995	VJ	
126	Kreuth	15	5	0	Kreuth	2	0.32	1975	3	1995	VJ	
262	Füssen	15	5	0	Füssen	6	0.25	1986	3	1997	DÜ	
Schongau												
002	Sachsenried	14	4	1	Schongau	3	0.75	1882	15	1972	DF	1974
003	Sachsenried	14	4	1	Schongau	3	0.75	1882	14	1965	DF	1967
005	Denklingen	14	4	1	Schongau	3	0.75	1882	18	1990	DF	1991
067	Sachsenried	14	4	1	Schongau	3	0.75	1902	13	1990	DF	1992
068	Sachsenried	14	4	1	Schongau	3	0.75	1902	13	1990	DF	1992
084	Denklingen	14	4	1	Schongau	2	0.50	1921	12	1997	DF	
233	Denklingen	14	4	1	Schongau	6	1.08	1962	8	1996	DÜ	
602	Sachsenried	14	4	1	Schongau	4	0.35	1968	3	1994	SR/DF	
606	Denklingen	14	4	1	Schongau	6	0.66	1971	6	1996	SR/DF	
607	Sachsenried	14	4	1	Schongau	13	1.30	1971	6	1996	SR/DF	
623	Schongau	14	4	1	Schongau	8	0.32	1978	1	1989	SR/DF	
Schwaben												
008	Ottobeuren	13	4	0	Kaufbeuren	3	0.75	1882	16	1969	DF	1973
036	Betzigau	14	3	0	Kempton	1	0.21	1885	11	1948	DF	1972
037	Betzigau	14	3	0	Kempton	1	0.21	1885	11	1948	DF	1972
042	Betzigau	14	3	0	Kempton	1	0.20	1895	9	1948	DF	1972
043	Betzigau	14	3	0	Kempton	1	0.20	1895	9	1948	DF	1972
065	Betzigau	14	3	0	Kempton	3	0.75	1902	9	1964	DF	1972
306	Laugna	12	7	3	Laugna	2	1.50	1958	7	1987	DF	
315	Laugna	12	7	3	Laugna	11	1.20	1961	7	1995	DF	
603	Zusmarshausen	12	7	0	Zusmarshausen	6	0.61	1968	5	1995	SR/DF	
604	Zusmarshausen	12	7	0	Zusmarshausen	4	0.17	1968	5	1995	SR/DF	
012	Illertissen	12	7	0	Illertissen	4	1.08	1871	10	1931	DF	1931

Tab. 5-2b: Übersicht über die langfristigen Versuchsfelder, die in die Datenauswertung einbezogen wurden. Sie sind gegliedert nach den Untersuchungseinheiten Münchner Schotterebene, Oberbayerische Jungmoräne, Tertiäres Hügelland, Frankenalb, Fränkischer Keuper, Bayerischer Wald und Mitterteich und Fichtelgebirge. Angegeben sind Versuchsnummer (Nr.), Wuchsgebiet (WG), Wuchsbezirk (WB), Teilwuchsbezirk (TB), Forstamt, Anzahl der Parzellen (NPz.), Flächengröße (Fl.), Anlagejahr (Anl.), Anzahl der Aufnahmen (NAuf), letzte Aufnahme (letz.A), Versuchsart (Vers-A.) und Jahr der Aufgabe (Aufg.). Die Versuchsarten sind eingeteilt in Standraum- (SR), Durchforstungs- (DF), Düngungs- (DÜ), Naturwald- (NW), Plenterwald- (PW) Verjüngungs- (VJ), Provenienz- (PR), Beweissicherungs- (BW), Ertrags- (ET) und Mischbestandsversuche (MW).

Nr.	Versuch	WG	WB	TB	Forstamt	NPz	Fl.	Anl.	NAuf.	letz. A	Vers-A.	Aufg.
Münchner Schotterebene												
009	Fürstenfeldbruck	14	4	1	Fürstenfeldbruck	3	1.08	1871	11	1931	DF	1931
072	Eglharting	13	2	1	Ebersberg	3	0.75	1906	14	1990	DF	1992
073	Eglharting	13	2	1	Ebersberg	3	0.75	1906	13	1984	DF	1984
087	Weßling	14	4	1	Starnberg	12	7.87	1941	10	1989	SR	1992
098	Eglharting	13	2	1	Ebersberg	1	0.12	1965	4	1997	ET	1992
213	Sauerlach	13	2	1	Sauerlach	5	0.93	1954	7	1989	DÜ	1991
223	Sauerlach	13	2	1	Sauerlach	6	0.80	1960	6	1989	DÜ	
612	Fürstenfeldbruck	13	5	0	Fürstenfeldbruck	21	1.89	1974	3	1996	DF	
Oberbayerische Jungmoräne												
092	Starnberg	13	2	1	Starnberg	4	0.80	1958	8	1984	DF	1992
097	Wolfratshausen	14	4	1	Wolfratshausen	4	0.87	1962	6	1996	MW	
605	Eurach	14	4	1	Wolfratshausen	8	0.61	1969	6	1997	DF	
621	Neuegling	14	4	1	Wolfratshausen	4	0.36	1977	2	1983	DF	
639	Traunstein	14	4	3	Traunstein	4	0.40	1988	3	1995	DF	
Tertiäres Hügelland												
023	Freising	12	8	0	Freising	3	1.08	1871	10	1936	DF	1936
	Höglwald	12	8	0	Aichach	8	0.72	1983	4	1995	DÜ	
Frankenalb												
095	Kösching	6	2	0	Beilngries	18	2.16	1961	5	1996	PR	
207	Wallerstein	5	6	0	Oettingen-Wall.	3	0.59	1953	6	1988	DÜ	1991
206	Wallerstein	5	6	0	Oettingen-Wall.	4	0.60	1953	6	1988	DÜ	1991
613	Weißenburg	5	8	0	Weißenburg	7	0.72	1975	4	1996	DF	
Fränkischer Keuper												
342	Gunzenhausen	5	6	0	Gunzenhausen	17	0.40	1987	3	1995	BW	
260	Feuchtwangen	5	3	0	Feuchtwangen	4	0.32	1974	4	1990	DÜ	
261	Feuchtwangen	5	3	0	Feuchtwangen	4	0.28	1974	4	1990	DÜ	
Bayerischer Wald												
111	Zwiesel	11	3	0	Zwiesel	8	2.04	1954	7	1997	MW	
129	Freyung	11	3	0	Freyung	3	1.49	1980	3	1993	PW	
130	Bodenmais	11	3	0	Bodenmais	2	1.00	1980	3	1994	PW	
134	Zwiesel	11	3	0	Zwiesel	5	1.43	1985	3	1994	MW	
135	Zwiesel	11	3	0	Zwiesel	5	1.45	1985	3	1994	MW	
137	Zwiesel	11	3	0	Zwiesel	2	0.97	1987	2	1997	NW	
138	Zwiesel	11	3	0	Zwiesel	2	0.91	1987	2	1997	NW	
Fichtelgebirge und Mitterteich												
101	Mitterteich	10	2	2	Mitterteich	3	0.76	1928	8	1994	MW	
227	Fichtelberg	8	3	0	Fichtelberg	6	0.90	1960	8	1995	DÜ	
245	Goldkronach	8	3	0	Goldkronach	8	0.96	1971	4	1986	DÜ	1994
246	Goldkronach	8	3	0	Goldkronach	8	1.60	1971	4	1986	DÜ	1994
247	Weidenberg	8	3	0	Goldkronach	8	1.28	1971	4	1986	DÜ	1994
248	Fichtelberg	8	3	0	Fichtelberg	8	1.28	1971	4	1986	DÜ	1994
249	Fichtelberg	8	3	0	Fichtelberg	8	0.96	1971	4	1986	DÜ	1994
250	Fichtelberg	8	3	0	Fichtelberg	8	0.98	1971	4	1986	DÜ	1994
251	Weißensadt	8	3	0	Weißensadt	8	1.60	1971	4	1986	DÜ	1994
252	Weißensadt	8	3	0	Weißensadt	12	1.44	1971	4	1986	DÜ	1994
253	Weißensadt	8	3	0	Weißensadt	8	0.96	1971	4	1986	DÜ	1994
254	Weißensadt	8	3	0	Weißensadt	12	0.98	1971	4	1986	DÜ	1994
316	Weißensadt	8	3	0	Weißensadt	5	0.72	1966	5	1992	BW	

Die genannten Versuchsflächen lassen sich nach Versuchsarten kategorisieren. Die folgende Einteilung in Versuchsarten zeigt die Fragestellung der Versuchsanlagen auf.

- **Standraumversuche (SR)**
Dazu gehören Versuche, die bei der Versuchsanlage z. B. durch die Wahl unterschiedlicher Verbandsweiten starke Unterschiede in den Startbedingungen für das Wachstum der Bäume aufweisen. Im Laufe der Bestandesentwicklung, 10 bis 20 Jahre nach Bestandeschluss erfolgt ein Übergang vom Standraumversuch zum Durchforstungsversuch. Es überlagern sich Standraum- und Durchforstungseffekte.
- **Durchforstungsversuche (DF)**
Sie stellen einen Großteil der hier in die Untersuchungen einbezogenen Versuchsflächen. Sie wurden angelegt, um die Auswirkung verschiedenartigster Durchforstungen auf Zuwachs und Ertragsleistung der Fichte zu untersuchen. Es handelt sich in der Regel um Fichten-Reinbestände. Die Behandlungen reichen von den klassischen Durchforstungsgraden (A-, B-, C-, E- und F-Grad) über stammzahl- oder grundflächengesteuerte Behandlungskonzepte bis zu extremen Freistellungen zur Abschätzung maximaler Wachstumsraten.
- **Düngungsversuche (DÜ)**
Diese wurden zur Beobachtung möglicher Ertragssteigerungen durch Düngung angelegt. Solche Anlagen umfassen i. d. R. auch unbehandelte Vergleichsparzellen. Heute kann an diesen Versuchen der aktuellen Frage nachgegangen werden, welche Auswirkung gezielt gesteuerte Stoffeinträge auf das Wachstum der Waldbestände haben.
- **Naturwaldversuche (NW)**
Sie dienen der Erfassung von Struktur und Leistung urwaldartig aufgebauter Mischwälder unter besonderer Berücksichtigung natürlicher Konkurrenz- und Mortalitätsprozesse.
- **Plenterwaldversuche (PW)**
In diesen wird die Struktur und Wuchsdynamik bayerischer Plenterwälder untersucht. Die Steuerung erfolgt in Anlehnung an definierte ideale Plentergefüge.
- **Verjüngungsversuche (VJ)**
Bei diesen Versuchen steht neben einer ertragskundlichen Charakterisierung von Struktur und Leistung des Altbestandes und der darunter heranwachsenden Verjüngung die Analyse der wechselseitigen Beeinflussung von Altbestand und Verjüngung im Vordergrund.
- **Provenienzversuche (PR)**
Gesundheit, Qualität und Leistung unterschiedlicher Herkünfte einer Baumart werden untersucht.
- **Beweissicherungsflächen (BW)**
Werden durch Baumaßnahmen, Grundwasserentnahme oder andere Eingriffe des Menschen Störungen des Waldwachstums befürchtet, so erlauben Flächenserien, die im beeinflussten und unbeeinflussten Bereich liegen, Rückschlüsse auf die Auswirkungen der Störfaktoren.

- Ertragsversuche (ET)

Sie bestehen i. d. R. nur aus einer Parzelle. Die Leistungsmerkmale einer Baumart werden für ein spezielles Wuchsgebiet erfasst. Ertragsversuche liefern Basisdaten zum Bestandeswachstum bei traditioneller Eingriffsart und -stärke.

- Mischbestandsversuche (MW)

Im Zuge der Erfassung von Struktur und Leistung in Mischbeständen werden die Auswirkungen der Mischung unterschiedlicher Baumarten sowie verschiedener Mischungsanteile, -formen und Behandlungsprogramme auf den qualitativen und quantitativen Ertrag beobachtet. Zum Teil liegen Vergleichsflächen in Reinbeständen vor, um die Auswirkung der Mischung möglichst umfassend quantifizieren zu können.

Die Aufnahmen auf den Versuchsflächen erfolgen je nach Versuchskonzept und Bestandesalter in regelmäßigem Turnus alle 5 bis 10 Jahre. Bis zum Alter 50 ist zumeist ein 5-jähriger Aufnahmeturnus vorgesehen, der dann auf 7 Jahre und in Altbeständen auf 10 Jahre ausgedehnt wird.

5.2 Wuchsreihen

Daneben wurden in die vorliegende Untersuchung vom Lehrstuhl für Waldwachstumskunde in den letzten Jahren neu angelegte Wuchsreihen mit der Baumartenmischung Fichte und Buche einbezogen (Tab. 5-3 und 5-4). Sie liegen im Bereich der Forstämter Freising, Schongau, Bodenmais und Kreuth. Diese Wuchsreihen stellen die zeitliche Entwicklung der Mischungsform Fichte und Buche in einem räumlichen Nebeneinander dar.

Tab. 5-3: Übersicht über die Wuchsreihen, die in die Datenauswertung einbezogen wurden. Angegeben sind Versuchsnummer (Nr.), Wuchsgebiet (WG), Wuchsbezirk (WB), Teilwuchsbezirk (TB), Forstamt, Seehöhe (Höhe), Jahresniederschlag (Na), Niederschlag in der Vegetationsperiode (Nv), durchschnittliche Jahrestemperatur (Ta), durchschnittliche Temperatur in der Vegetationszeit (Tv), Wasserhaushalt (WHH) und Bodenart.

Nr.	Versuch	WG	WB	TB	Forstamt	Höhe	Na	Nv	Ta	Tv	WHH	Bodenart
Wuchsreihe												
813	Freising	12	8	0	Freising	500	840	490	7.2	14.7	frisch	Lehm
814	Schongau	14	4	1	Schongau	800	1710	930	7.0	13.8	frisch	Lehm
821	Bodenmais	11	3	0	Bodenmais	830	1250	580	5.8	13.1	frisch	Lehm
824	Kreuth	15	5	0	Kreuth	1280	1860	1040	4.8	11.1	frisch	Lehm

Tab. 5-4: Übersicht über das Anlageschema der Wuchsreihen (WR), die in die Datenauswertung einbezogen wurden. Angegeben sind Versuchsnummer (Nr.), Wuchsgebiet (WG), Wuchsbezirk (WB), Teilwuchsbezirk (TB), Forstamt, Anzahl der Parzellen (NPz.), Flächengröße (Fl.), Anlagejahr (Anl.), Anzahl der Aufnahmen (NAuf.), letzte Aufnahme (letz. A), Versuchsart (Vers.-A.) und Jahr der Aufgabe (Aufg.).

Nr.	Versuch	WG	WB	TB	Forstamt	NPz.	Fl.	Anl.	NAuf.	letz.A	Vers.-A.	Aufg.
Wuchsreihe												
813	Freising	12	8	0	Freising	6	2.88	1994	1	1994	WR	
814	Schongau	14	4	1	Schongau	8	3.89	1995	1	1995	WR	
821	Bodenmais	11	3	0	Bodenmais	5	3.01	1995	1	1995	WR	
824	Kreuth	15	5	0	Kreuth	1	0.92	1994	1	1994	WR	

5.3 Probe- und Weiserflächen

Die außerdem in die Untersuchung aufgenommenen Probe- und Weiserflächen des Lehrstuhles für Waldwachstumskunde wurden im Rahmen bereits abgeschlossener Forschungsprojekte angelegt und ergänzen das Datenmaterial aus Versuchsflächen besonders in solchen Regionen, die keine hohe Versuchsflächendichte aufweisen.

Der Schwerpunkt der Daten (Tab. 5-5 a/b) stammt aus Untersuchungen zum Wuchsverhalten geschädigter und ungeschädigter Waldbestände in Bayern. Ausführliche Darstellungen zu diesem Datenmaterial finden sich bei RÖHLE (1987), UTSCHIG (1989a) und SCHMIDT (1990).

Tab. 5-5a: Übersicht über die Flächen, die in die Bohrspanauswertung einbezogen wurden. Angegeben sind Versuch (Ver.), Versuchsnummer (Nr.), Wuchsgebiet (WG), Wuchsbezirk (WB), Teilwuchsbezirk (TB), Seehöhe (Höhe), Jahresniederschlag (Na), Niederschlag in der Vegetationsperiode (Nv), durchschnittliche Jahrestemperatur (Ta), durchschnittliche Temperatur in der Vegetationszeit (Tv), Anlagejahr (Anlage) und Versuchsart.

Ver.	Nr.	Versuch	WG	WB	TB	Höhe	Na	Nv	Ta	Tv	Anlage	Versuchsart
WG 2 bis 7												
SKR	307-312	Schöllkrippen	2	1	0	490	850	430	8.0	15.5	1983	FV 190
BBR	301-306	Bad Brückenau	3	1	0	610	990	440	5.9	12.9	1983	FV 190
BIR	316-318	Birkenfeld	5	4	0	400	710	360	7.5	15.0	1983	FV 190
EBN	313-315	Ebern	5	4	0	350	670	340	7.7	15.2	1983	FV 190
GUN	501-503	Gunzenhausen	5	6	0	490	780	420	7.6	15.1	1983	FV 190
REG	162	Regensburg	6	2	0	380	670	360	7.9	14.9	1997	V 40
DA	18	Stamham	6	2	0	450	700	380	7.9	14.9	1978	FV 164
WBU	507-512	Weißenburg	6	2	0	565	740	420	7.7	14.7	1983	FV 190
REG	081	Regensburg	6	5	0	420	760	360	7.6	14.8	1997	V 40
REG	082	Regensburg	6	5	0	400	720	350	7.7	14.9	1997	V 40
REG	121	Regensburg	6	5	0	430	780	360	7.6	14.8	1997	V 40
REG	122	Regensburg	6	5	0	420	760	360	7.6	14.8	1997	V 40
REG	163	Regensburg	6	5	0	400	720	350	7.7	14.9	1997	V 40
FV	190	Bayreuth	7	1	0	350	690	350	7.7	14.9	1990	FV 190
BAY	125-130	Bayreuth	7	2	0	420	690	350	7.7	14.7	1983	FV 190

Tab. 5-5b: Übersicht über die Flächen, die in die Bohrspanauswertung einbezogen wurden. Angegeben sind Versuch (Ver.), Versuchsnummer (Nr.), Wuchsgebiet (WG), Wuchsbezirk (WB), Teilwuchsbezirk (TB), Seehöhe (Höhe), Jahresniederschlag (Na), Niederschlag in der Vegetationsperiode (Nv), durchschnittliche Jahrestemperatur (Ta), durchschnittliche Temperatur in der Vegetationszeit (Tv), Anlagejahr (Anlage) und Versuchsart.

Ver.	Nr.	Versuch	WG	WB	TB	Höhe	Na	Nv	Ta	Tv	Anlage	Versuchsart
WG 8 bis 11												
BST	601-606	Bad Steben	8	1	0	600	960	440	5.9	12.9	1983	FV 190
FIC	607-609	Fichtelberg	8	3	0	810	1030	450	6.0	13.0	1983	FV 190
FIC	610-612	Fichtelberg	8	3	0	790	1020	450	6.1	13.1	1983	FV 190
WAS	119-124	Waldsassen	10	2	1	710	800	370	6.5	14.0	1983	FV 190
FLS	081	Flossenbürg	10	4	0	680	870	420	5.3	12.8	1997	V 40
FLS	082	Flossenbürg	10	4	0	690	870	430	5.3	12.8	1997	V 40
FLS	121	Flossenbürg	10	4	0	790	960	480	5.2	12.7	1997	V 40
FLS	122	Flossenbürg	10	4	0	810	980	490	5.1	12.6	1997	V 40
FLS	161	Flossenbürg	10	4	0	690	870	430	5.3	12.8	1997	V 40
FLS	162	Flossenbürg	10	4	0	680	870	420	5.3	12.8	1997	V 40
DEG	407-412	Deggendorf	11	2	0	760	1120	560	7.2	14.3	1983	FV 190
BOM	113-115	Bodenmais	11	3	0	1190	1660	780	4.5	11.3	1983	FV 190
BOM	116-118	Bodenmais	11	3	0	1150	1610	750	4.6	11.5	1983	FV 190
MAU	401-403	Mauth	11	3	0	1005	1450	670	5.1	12.2	1983	FV 190
MAU	404-406	Mauth	11	3	0	1020	1460	680	5.1	12.1	1983	FV 190
FV	171	Thurn&Taxis	11	3	0	570	1030	470	6.5	14.0	1978	FV 171
WG 12 bis 14												
IRL	904	Irlbach	12	3	2	315	670	370	8.4	15.9	1996	
DA	55	Augsburg	12	7	0	500	810	470	7.8	15.1	1986	FV 231
LAU	325-330	Laugna	12	7	0	490	800	460	7.8	15.2	1983	FV 190
AIC	319-321	Aichach	12	8	0	520	870	500	7.1	14.6	1983	FV 190
AIC	322-324	Aichach	12	8	0	535	890	520	7.0	14.5	1983	FV 190
DA	100	Höglwald	12	8	0	500	840	490	7.2	14.7	1983	
LAN	413-415	Landshut	12	9	1	470	870	500	7.6	14.0	1983	FV 190
LAN	416-418	Landshut	12	9	1	460	860	490	7.6	14.1	1983	FV 190
REG	161	Regensburg	12	9	1	400	740	420	7.8	15.1	1997	V 40
OBB	081	Fürstenfeldbruck	13	2	1	590	1000	590	7.7	15.2	1997	V 40
OBB	122	Fürstenfeldbruck	13	2	1	550	940	550	7.7	15.3	1997	V 40
SAU	201-236	Sauerlach	13	2	1	620	1050	620	7.7	15.2	1983	FV 190
FUS	525-530	Füssen	14	3	0	810	1060	710	6.8	13.5	1983	FV 190
OBB	082	Landsberg a. L.	14	4	1	710	1550	850	7.2	14.1	1997	V 40
OBB	121	Landsberg a. L.	14	4	1	710	1550	850	7.2	14.1	1997	V 40
OBB	161	Landsberg a. L.	14	4	1	710	1550	850	7.2	14.1	1997	V 40
OBB	162	Landsberg a. L.	14	4	1	710	1550	850	7.2	14.1	1997	V 40
WBG	419-424	Wasserburg	14	4	2	510	1190	680	7.7	15.0	1983	FV 190
TRS	425-430	Traunstein	14	4	3	555	1190	680	7.7	15.0	1983	FV 190
TRS	146	Traunstein	14	4	3	615	1380	770	7.4	14.5	1997	
WG 15												
SIG	613-615	Siegsdorf	15	4	3	1100	1880	1030	5.1	11.3	1983	FV 190
SIG	616-618	Siegsdorf	15	4	3	1070	1850	1010	5.2	11.5	1983	FV 190
KRE	101-103	Kreuth	15	5	0	1100	1720	970	5.5	12.0	1983	FV 190
KRE	104-106	Kreuth	15	5	0	1290	1870	1040	4.8	11.1	1983	FV 190
FAL	107-109	Fall	15	5	0	830	1500	870	6.6	13.4	1983	FV 190
FAL	110-112	Fall	15	5	0	820	1500	860	6.6	13.4	1983	FV 190
FUS	519-521	Füssen	15	5	0	1150	1760	990	5.3	11.8	1983	FV 190
FUS	522-524	Füssen	15	5	0	1175	1780	1000	5.2	11.6	1983	FV 190
MAR	619-621	Marquartstein	15	6	0	1050	2230	1180	5.8	12.8	1983	FV 190
MAR	622-624	Marquartstein	15	6	0	1100	2280	1210	5.6	12.6	1983	FV 190
SOT	513-518	Sonthofen	15	7	0	935	1470	890	5.6	12.3	1983	FV 190
BRH	625-630	Bad Reichenhall	15	9	0	1220	1820	1010	5.2	11.9	1983	FV 190

5.4 Inventurdaten

Die Forsteinrichtungs-Datenbank der Bayerischen Staatsforstverwaltung wird als eine weitere Informationsquelle genutzt, die die aktuelle Wuchsleistung der Fichte in Bayern abbildet. Im Rahmen einer Diplomarbeit über das Wachstum der Fichte in Bayern (POTT, 1997) wurde daraus umfangreiches Datenmaterial zum Wachstum der Fichte und Angaben zum Standort und zur Lage dieser Bestände gewonnen. Diese Daten liegen in Form der DB2-Forsteinrichtungs-Datenbank der Bayerischen Staatsforstverwaltung vor, die in ihrer grundsätzlichen Struktur kurz beschrieben wird.

In der Forsteinrichtungs-Datenbank der Bayerischen Staatsforstverwaltung werden die im Rahmen der Forsteinrichtung an den bayerischen staatlichen Forstämtern gewonnenen Daten gesammelt. Die ursprünglichen Probekreisdaten werden zu Kenngrößen verdichtet und nach ertragskundlicher Auswertung für die Erfolgsprüfung, die Planung, den Betriebsvollzug und die Betriebskontrolle in Form von Listen zur Verfügung gestellt. Da die Daten auch für betriebsübergreifende Auswertungen zur Verfügung stehen sollen, werden sie in dieser zentralen Datenbank gesammelt (BAYER. STAATSMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN, 1997). Die Daten befinden sich in verschiedenen Dateien, die in Tabellenform vorliegen.

Für die hier behandelte Fragestellung wurden folgende Dateien verwendet:

- Die Datei FDINVBA (Inventur-Baumart) gibt die Wuchsleistung einzelner Baumarten nach Altersschichten an. Dies erfolgt über die ertragskundlichen Kenngrößen, die bei den Aufnahmen der Forsteinrichtung erhoben wurden.
- Die Datei FDINVKRS (Inventurkreis) bietet Informationen über den Standort, auf dem der Inventurkreis eingerichtet ist. Außerdem ermöglicht diese Datei durch Angabe bayerischer Koordinaten, die Lage der Aufnahmepunkte über geographische Informationssysteme darzustellen.
- Die Datei SDWAORT (Waldorte-Satz) dient dazu, jeden aufgenommenen Bestand sowohl in die Organisationsstruktur der Staatsforstverwaltung als auch in einen bestimmten Wuchsbezirk einordnen zu können.

Die drei Dateien FDINVBA (ertragskundliche Kenngrößen), FDINVKRS (Standortdaten) und SDWAORT (Lagedaten) werden miteinander verknüpft. Ziel ist es, Aussagen über die regionale Verteilung des standörtlichen Leistungsvermögen der Fichte zu gewinnen. Die Verknüpfung dieser drei Dateien soll durch Abbildung 5-1 verdeutlicht werden.

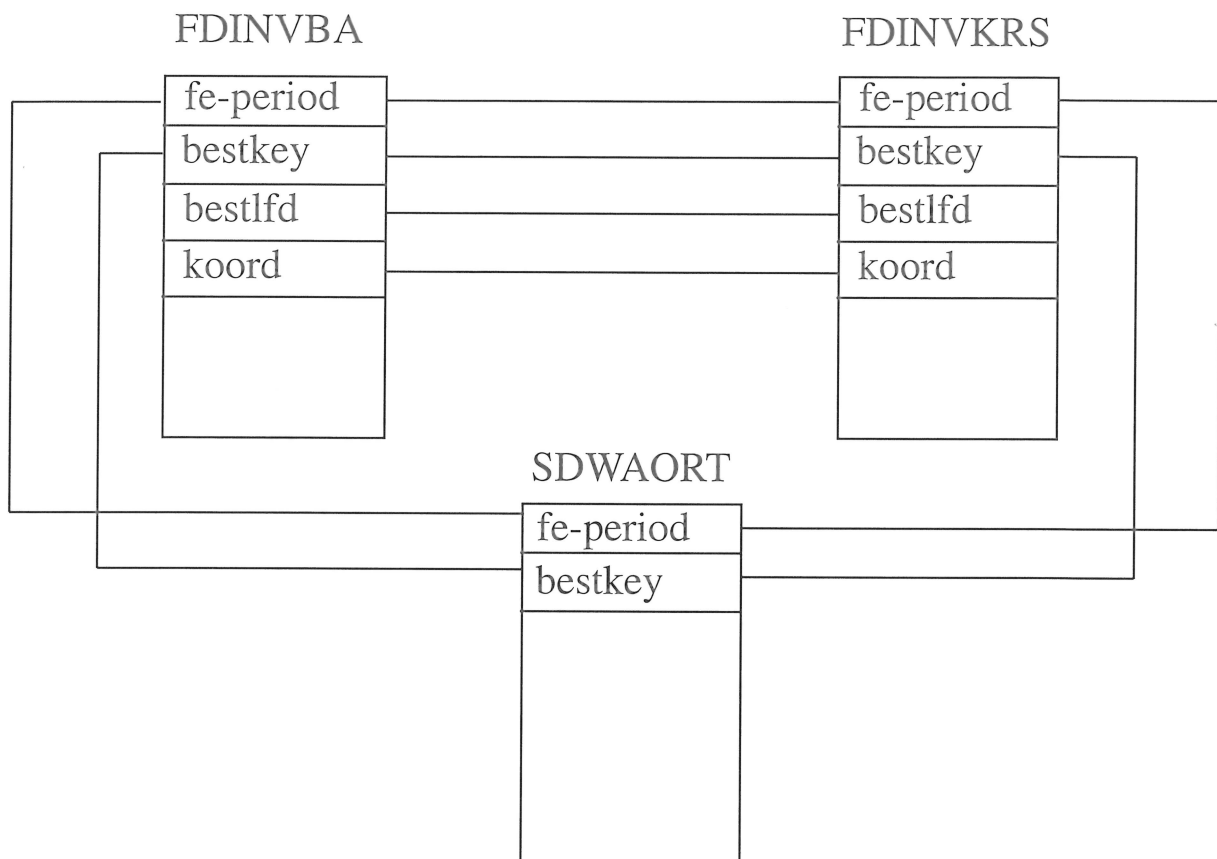


Abb. 5-1: Verknüpfungsbeziehungen der drei Dateien FDINVBA (ertragskundliche Kenngrößen): FDINVKRS (Standortsdaten) und SDWAORT (Lagedaten) aus der Forsteinrichtungs-Datenbank der Bayerischen Staatsforstverwaltung mit den Schlüsselvariablen Forsteinrichtungsperiode (fe-period), Bestandesschlüssel (bestkey), fortlaufende Bestandesnummer (bestlfd) und den Probe-kreiskoordinaten (koord).

Durch die Wahl geeigneter Filter beschränkt sich die Datenauswertung auf Fichtenbestände (Anteil Fichte > 95 %) der letzten Forsteinrichtungsperiode. Außerdem werden nur Daten von ungeschichteten Beständen und Daten der Oberschicht verwendet. Aus diesen Reduktionen ergibt sich eine Datei mit 24 648 Datensätzen mit den Variablen der drei verknüpften Dateien FDINVBA (ertragskundliche Daten), FDINVKRS (Standortdaten) und SDWAORT (Lagedaten). Mit diesem Datensatz kann man durch Datenbankabfragen verschiedenen Fragestellungen nachgehen.

Abbildung 5-2 zeigt die Verteilung der Aufnahmepunkte über Bayern, die in dieser Arbeit verwendet werden. Diese Darstellung erfolgt über die in der Datei der Inventurkreise angegebenen Koordinaten BAYKOLI und BAYKOOB.

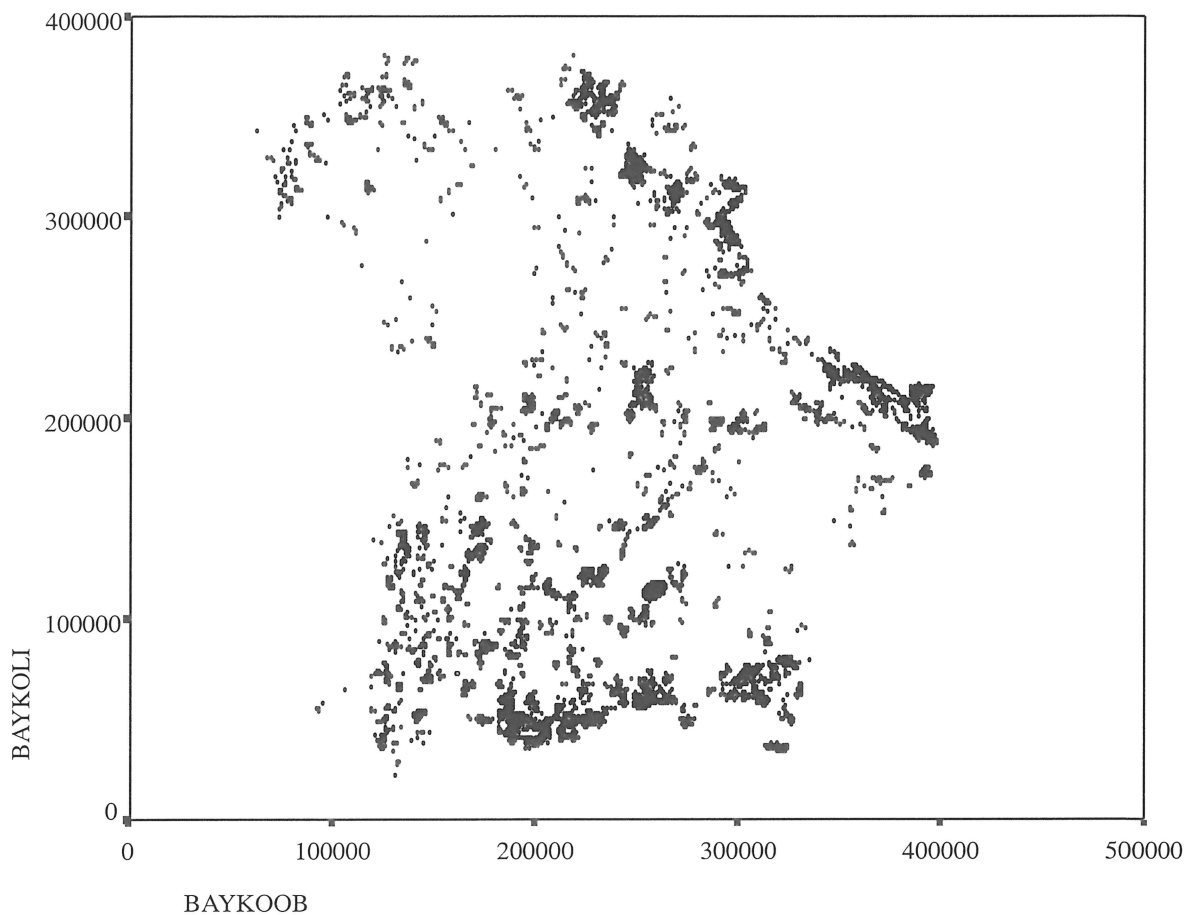


Abb. 5-2: Lage der Aufnahmepunkte innerhalb Bayerns. Jeder Pixel stellt einen Inventurpunkt dar. Die Lage der Inventurpunkte wird durch die Koordinaten BAYKOLI und BAYKOOB angegeben.

Dargestellt werden die Gebiete mit Fichtenreinbeständen. Man erkennt die walddreichen Gebiete des Fichtelgebirges im Norden Bayerns, des Bayerischen Waldes im Osten und der Alpen im Süden. Weniger häufig mit Fichtenbeständen bestockt sind die Flussniederungen der Donau und der einmündenden Flüsse, die Fränkische Platte und das Fränkische Keuperhügelland.

5.5 Datengrundlage zur Untersuchung des langfristigen alterstypischen Baumzuwachses

Zur Untersuchung des langfristigen alterstypischen Baumzuwachses in südbayerischen Fichtenbeständen fand die Methode des konstanten Alters Anwendung (vgl. Kap. 3.2.3). Für die Diagnose von Wachstumstrends wurden in den Wuchsbezirken 12.8, 14.4 und 11.3 mehr als 1 000 vorherrschende und herrschende Fichten zuwachsanalytisch beprobt. Die Beprobung stützt sich auf 3 Wuchsreihen des Mischungstypes Fichte/Buche. Ergänzt werden diese Daten durch die Einbeziehung von Stammanalysen und Bohrspanmessungen aus anderen Arbeiten im Untersuchungsgebiet. Damit stehen Daten von insgesamt 1 775 Bäumen aus einem breiten Altersspektrum zu sehr unterschiedlichen Beobachtungszeitpunkten zur Verfügung (Tab. 5-6 und 5-7 a/b).

Tab. 5-6: Regionale und klimatische Einordnung der Versuchsflächen zur Beurteilung des langfristigen alterstypischen Baumzuwachses in den Untersuchungsgebieten Freising (FRE), Schongau (SON) Bodenmais „Tieflagen“ (BOM) und Bodenmais „Hochlagen“ (BOM_H).

	FRE	SON	BOM	BOM_H
Wuchsbezirk	12.8	14.4/1 (13.4)	11.3	11.3
Höhe (m ü. NN)	500	740 – 840	800 – 900	1200
Ø J.-Niederschlag (mm)	814	1100 – 1200	1100 – 1300	1200 – 1600
Ø J.-Niederschlag, Veg.	476	(450) – 648 – (700)	650	
Ø J.-Temperatur (°C)	7.4 – 7.7	(6,2) – 6.8	5.5 – 6.5	3 – 6
Ø J.-Temperatur, Veg	15 – 16.4	13.9 – (14.7)	11 – 13	10
Temp.-Amplitude (°C)	19.6	18.9	19	
Veg.-Tage	155	(133) – 140	140	
Standort	fri. Feinlehme, teilw. Verdichtung im Unterboden, STE: 304, 204, 207	fri.-mä.fri Lehme, STE: 204, (203), 142, (374)	sandig-grusige Lehme, br. Lehme, STE: 223, (002)	Hangschuttdecken

Tab. 5-7 a: Zusammensetzung der Versuchsflächen zur Beurteilung des langfristigen alterstypischen Baumzuwachses in den Untersuchungsgebieten Freising (FRE) und Schongau (SON). Angegeben sind Versuchskennung (ID), Art der Jahrringanalyse (ART) (Bohrspan- oder Stammanalyse), Anzahl der Bäume (ANZ alle), Anzahl der Bäume der KRAFT'schen Baumklassen 1 und 2 (ANZ KL 1,2) und der Aufnahmezeitpunkt (Auf).

		ID	ART	ANZ alle	ANZ KL 1, 2	Auf
FRE	1) FRE 813 Wuchsreihe Freising 813	813 Parz. 01-06	Bohrsp	617	614	'94 H
	2) FRE 813 Wuchsreihe FRE 813	813 Parz. 01-06	Stammsch	11	7	'95 H
	Gesamt			628	621	
SON	1) SON 814 Wuchsreihe Schongau, Fi-Bu-Mischbestände	814 Parz. 01-09	Bohrsp	571	264	'95 F
	2) DEN 05 Versuchsflächen Denklingen 05	005 Parz. 1-3	Stammsch	6	6	'90 H
	3) DEN 084 Versuchsflächen Denklingen 84	084 Parz. 2-3	Stammsch	6	6	'91 F
	4) SON (144) Versuchsfläche, Auswertungen, KENNEL (1965)	1	Stammsch	14	14	'58 H
	5) SAC 67 Versuchsflächen Sachsenried 67	067 Parz. 1-3	Stammsch	1	1	
	6) SAC 68 Versuchsflächen Sachsenried 84	068 Parz. 1-3	Stammsch	1	1	
	7) SAC 02 Versuchsflächen Sachsenried 02	002 Parz. 1-3	Bohrsp	39	34	'74 H
	8) SAC 03 Versuchsflächen Sachsenried 84	003 Parz. 1-3	Stammsch	14	12	'57 H '65 H
	Gesamt			652	338	

Tab. 5-7 b: Zusammensetzung der Versuchsflächen zur Beurteilung des langfristigen alterstypischen Baumzuwachs in den Untersuchungsgebieten Bodenmais „Tieflagen“ (BOM) und Bodenmais „Hochlagen“ (BOM_H). Angegeben sind Versuchskennung (ID), Art der Jahrringanalyse (ART) (Bohrspan- oder Stammanalyse), Anzahl der Bäume (ANZ alle), Anzahl der Bäume der KRAFT'schen Baumklassen 1 und 2 (ANZ KL 1,2) und der Aufnahmezeitpunkt(Auf).

		ID	ART	ANZ alle	ANZ KL 1, 2	Auf
BOM	1) BOM 821 Wuchsreihe Bodenmais, Fi-Ta-Bu-Mischb.	821 Parz. 02-05	Bohrsp	233	120	'95 H
	2) Zwi 111 Versuchsfläche; KENNEL (1965)	111 Parz. 3 u. 5	Stammsch	11	11	'59 H
	3) Zwi 137 Urwald „Mittelsteighütte“ FoA Zwiesel, LÖFFELMANN (1988)	137	Stammsch	1	1	'87 F
	4) FV 190 Wieserfl. (ab 12/89), Große Ohe, NP Bayer. Wald, SCHMIDT (1990)	124, 125	Bohrsp		26	'88 F
	5) FV 190 Wieserfl. (ab 12/89), Große Ohe, NP Bayer. Wald, SCHMIDT (1990)	22	Stammsch		4	'88 F
	Gesamt			245	162	
BOM_H	1) FV 190 (BOM 1) Wieserfl. in bayer. Schadgebieten, RÖHLE (1987)	1	Stammsch	16	16	'82 H '83 H
	2) FV 190 BOM 3 FoA Bodenmais, LINDNER (1984)	3	Bohrsp	79	61	'83 H
	3) FV 190 (BOM 113 – 118) Zuwachstrendanalyseflächen, UTSCHIG (1989a)	11	Bohrsp	119	77	'87 H
	4) FV 190 SCHMIDT (1990)	122, 123	Bohrsp	32	32	'88 F
	5) FV 190 SCHMIDT (1990)	22	Stammsch	4	4	'88 F
	Gesamt			250	190	

6 Darstellung der Wachstumsgänge gesondert nach Datenquellen

6.1 Auswertung der langfristigen Versuchsflächen für die Fichte

Im Zuge der Projektbearbeitung wurde für zahlreiche langfristige Versuchsflächen der Auswertungsstand aktualisiert. Die Flächenverteilung über Bayern ist sehr unterschiedlich. Vor allem in den Alpen, in Südbayern und den ostbayerischen Mittelgebirgen werden vom Lehrstuhl für Waldwachstumskunde langfristige Versuchsflächen unter Beobachtung gehalten. Die wichtigsten Ergebnisse sind für Untersuchungsschwerpunkte im Folgenden zusammenfassend dargestellt. Das Datenmaterial liefert für den Zeitraum seit dem Jahr 1871 mit unterschiedlicher Belegungsdichte Informationen über die Ausprägung von Bestandeskennwerten in Fichtenbeständen.

Die Flächen wurden einheitlich mit den bekannten am Lehrstuhl für Waldwachstumskunde entwickelten ertragskundlichen Standardprogrammen (WWHÖEHE, WWVOLUM, WWUEBERS) ausgewertet. Bei der Auswertung sehr langer Untersuchungsreihen kam zusätzlich das Programm HSYS (RÖHLE, 1995) zum Einsatz, das bei problematischen Höhenmessungen einen rechnerischen Ausgleich der Höhenentwicklung zwischen den einzelnen Aufnahmen ermöglicht.

Die Ergebnisse aus den Versuchsflächenauswertungen werden für die einzelnen Regionen zusammenfassend als Streudiagramm dargestellt. Jede Flächenaufnahme geht als unabhängiger Messwert ein. Wenn nur relativ wenige Daten für einen Altersbereich vorliegen, ist aus der Folge der Einzelwerte auch eine Entwicklungstendenz der jeweiligen Parzellen erkennbar. Zur Einordnung der festgestellten Wuchsleistungen ist der Bonitätsfächer der gebräuchlichen Ertragstafeln in der Graphik hinterlegt (vgl. Kap. 3.2.1). Die Ergebnisse werden rein deskriptiv für alle betrachteten Regionen in gleicher Weise dargestellt, damit Quervergleiche möglich sind.

Ziel dieser Untersuchung soll es sein, Abweichungen vom normalen Wachstumsverlauf, sofern sie auftreten, aus dem Datenmaterial zu identifizieren. Als normaler Wachstumsverlauf wird zunächst der Verlauf der verwendeten Ertragstafeln betrachtet. Die hier dargestellten Ergebnisse (vgl. Kap. 5.1) stammen aus sehr unterschiedlich alten und zu sehr unterschiedlichen Zeitpunkten gemessenen Versuchsflächen. Um „historische“ Wuchsleistungen von aktuellen zu trennen, wird das Jahr 1960 als Grenze gewählt und die Ergebnisse für die Zeit vor und nach dem Jahr 1960 mit einer unterschiedlichen Signatur hervorgehoben. Ausnahmen stellen die Regionen Bayerische Alpen und Bayerischer Wald dar, hier erfolgt die Trennung des Datenmaterials nach dem Jahr 1970. RÖHLE (1995) identifizierte den Zeitraum 1950 bis 1960 als Beginn einer großräumigen Zuwachsänderung. Mit dieser Trennung soll eine einfache Einordnung der Versuchsergebnisse in den zeitlichen Bezug gegeben werden. Besonders wertvoll sind in diesem Zusammenhang die Daten von Fichtenversuchsflächen in Sachsenried (SAC 02, 03, 67, 68), Denklingen (DEN 05), Betzigau (BET 36, 37, 42, 43, 65), Ottobeuren

(OTT 08), Grafrath (FUE 09), und Freising (FRE 23), die im Zeitraum 1871 bis 1902 angelegt wurden. Diese Flächen sind durch sehr lange Beobachtungszeiten gekennzeichnet und decken einen großen Altersrahmen ab. Damit bilden sie einen guten Maßstab für die Beurteilung aktueller Wuchsleistungen im jeweiligen Untersuchungsgebiet.

6.1.1 Bayerische Alpen

Eine zusammenfassende Auswertung und Darstellung der in diesem Gebiet beobachteten Versuchsflächen erfolgte von BACHMANN (1998). Die Flächen liegen in strukturreichen Waldbeständen oder dienen der Untersuchung von Fragestellungen zur Verjüngung im Bergmischwald (Flächenserie Kreuth 120-126). In der Auswertung wurden nur Bestände berücksichtigt, in denen Fichten hauptständig vorkommen. Auch die Daten einiger Plenterwälder wurden mit einbezogen (Ruhpolding 113, Partenkirchen 115). Für die Auswertung wurde für jede Parzelle ein Flächendurchschnittsalter ermittelt. Im Bergmischwald mit relativ langen Verjüngungszeiträumen und einer großen Altersspreitung in den Beständen ist eine Altersangabe immer problematisch. Trotzdem kann durch die Einordnung in einen Bonitätsfächer das Wuchspotential der Bestände beurteilt werden.

Die Versuchsanlagen in diesem Bereich haben eine deutliche Höhenzonierung. Die Flächen werden nach einem Vorschlag von BACHMANN (1998) in zwei Gruppen eingeteilt, Höhenlage bis 1 000 m und Höhenlage über 1 000 m. Als Referenz wird die Ertragstafel von GUTTENBERG (1915) für das Hochgebirge gewählt. Die ertragskundlichen Kenngrößen wurden für die Hangflächen berechnet. Eine Reduktion der Flächengröße auf die Horizontalfläche erfolgte nicht.

6.1.1.1 Bayerische Alpen, Höhenlage bis 1 000 m

In der Höhenlage bis 1 000 m ü. NN stehen nur relativ wenige Versuchsflächen zur Verfügung. Sie decken aber ein sehr breites Altersspektrum ab.

Abbildung 6.1-1 zeigt die Werte für die Höhe des Grundflächenmittelstammes. Es fällt auf, dass die Bestände bis zu einem Alter von ca. 150 Jahren im Bereich des dargestellten Bonitätsfächers liegen, während die Parzellen mit einem sehr hohen Flächendurchschnittsalter deutlich unter diesem Niveau liegen. Dabei handelt es sich um Bergmischwald-Versuchsflächen, die schon lange in Verjüngung stehen. Herrschende und vorherrschende Bäume wurden bereits geerntet. Maximalwerte der Mittelhöhe liegen im Alter von 150 Jahren über 40 m.

Die Darstellung für die Grundfläche (Abb. 6.1-2) zeigt, dass es sich bei diesen Versuchsflächen in der Regel um Bestände handelt, die sich bereits in der Verjüngungsphase befinden. Das Grundflächenspektrum reicht von 50 qm/ha bis unter 10 qm/ha. Damit liegen die Werte z. T. deutlich unter der potentiell möglichen Grundflächenhaltung. Während der Beobachtungszeit steigt auf einigen Parzellen die Grundfläche wieder an.

Die Vorratshaltung auf den Flächen (Abb. 6.1-3) bestätigt das Bild, das bei der Betrachtung der Grundflächenwerte entstanden ist. Eine Flächengruppe hat Vorräte über 600 VfmS/ha, die restlichen Parzellen liegen im Bereich von 400 VfmS/ha und darunter. Minimalwerte liegen bei 90 VfmS/ha.

Der Blick auf Abbildung 6.1-4 zeigt, dass auch bei nur geringen Grundflächen- und Vorratswerten ein relativ hoher laufender Volumenzuwachs der Beständen zu verzeichnen ist. Hier liegen die Werte z. T. erheblich über den gewählten Ertragstafelwerten. Auch die Bestände mit sehr hohem Flächendurchschnittsalter haben noch beachtliche Volumenzuwächse. Die Einordnung der Bestände aufgrund ihrer aktuellen Zustandsgrößen (Höhe, Grundfläche, Volumen) hätte zu einer deutlichen Unterschätzung des Leistungsvermögens geführt.

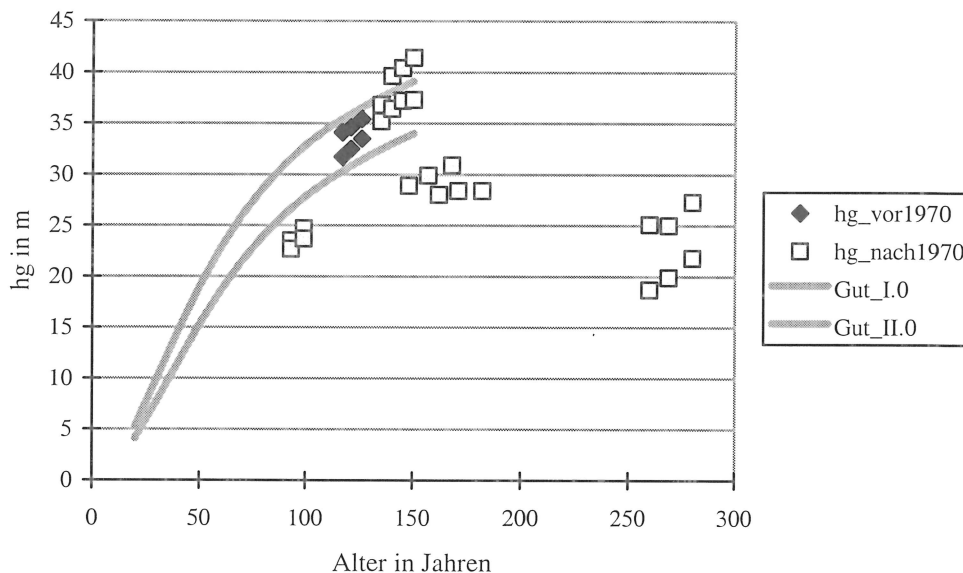


Abb. 6.1-1: Darstellung der Mittelhöhe (hg) über dem Alter auf den Versuchsflächen im Bereich der Bayerischen Alpen, Höhenlage unter 1 000 m. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von GUTTENBERG (1915), Bonität I.0 und II.0, eingetragen.

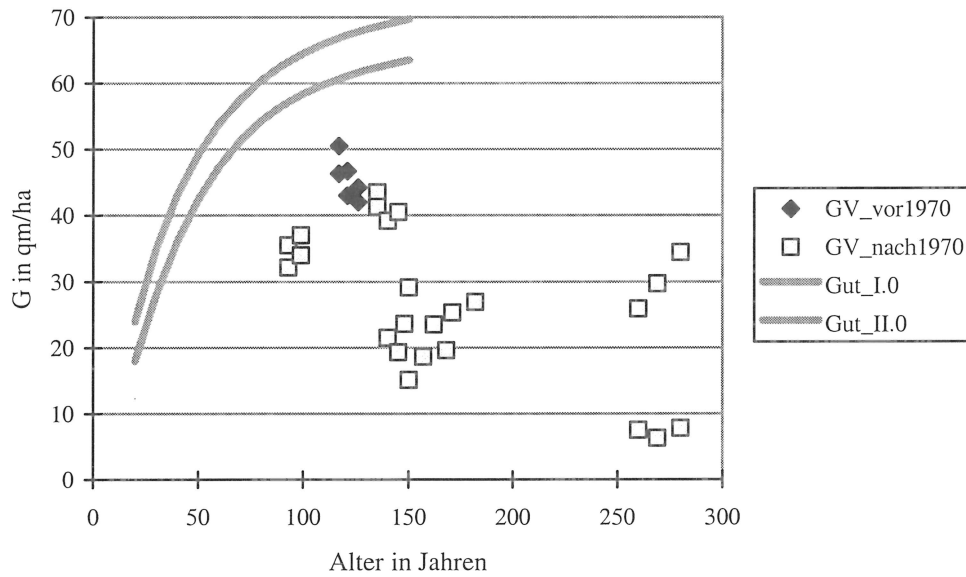


Abb. 6.1-2: Darstellung der Grundfläche des verbleibenden Bestandes (GV) über dem Alter auf den Versuchsfeldern im Bereich der Bayerischen Alpen, Höhenlage unter 1 000 m. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von GUTTENBERG (1915), Bonität I.0 und II.0, eingetragen.

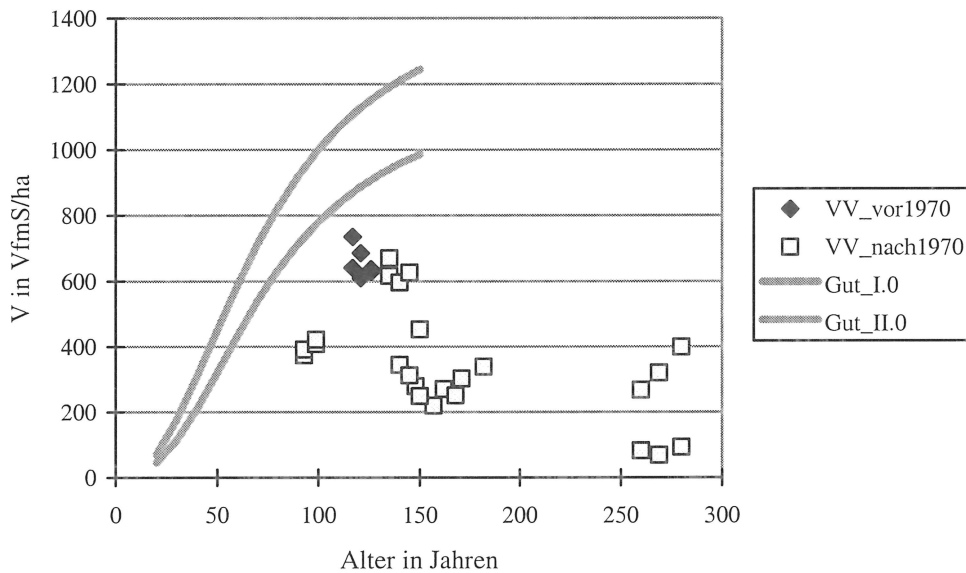


Abb. 6.1-3: Darstellung des Vorrates des verbleibenden Bestandes (VV) über dem Alter auf den Versuchsfeldern im Bereich der Bayerischen Alpen, Höhenlage unter 1 000 m. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von GUTTENBERG (1915), Bonität I.0 und II.0, eingetragen.

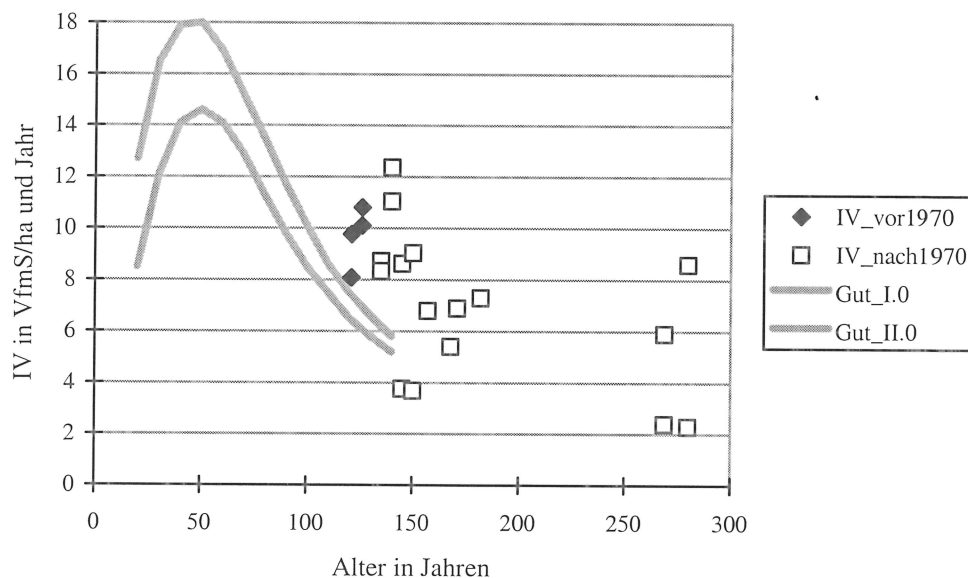


Abb. 6.1-4: Darstellung des laufenden Volumenzuwachses (IV) über dem Alter auf den Versuchsflächen im Bereich der Bayerischen Alpen, Höhenlage unter 1 000 m. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von GUTTENBERG (1915), Bonität I.0 und II.0, eingetragen.

6.1.1.2 Bayerische Alpen, Höhenlage über 1 000 m

Für den Höhenbereich über 1 000 m stehen mehr Versuchsflächen zur Verfügung. Dieses sind größtenteils Flächen, die in Verjüngung stehen.

Das Höhengpektrum reicht von 13 m im Alter von 160 Jahren bis zu 37 m im Alter von 140 Jahren (Abb. 6.1-5). Die Vergleichswerte für die I.0 Bonität nach GUTTENBERG (1915) werden nicht überschritten. In allen Altersphasen steigt die Mittelhöhe während der Versuchsbeobachtung mehr oder weniger stark an.

Die über dem Alter aufgetragenen Werte für die Grundfläche des verbleibenden Bestandes (Abb. 6.1-6) streuen im gesamten Datenfeld sehr stark. Einige Flächen weisen Spitzenwerte über 80 qm/ha Stammgrundfläche auf, während andere Flächen nur Grundflächen von 15 qm/ha erreichen. Diese starke Variation ist durch ein großes Standortspektrum und die sehr unterschiedlichen Behandlungsvarianten bestimmt.

Der Vorrat des verbleibenden Bestandes (Abb. 6.1-7) weist eine ähnlich große Streuung auf wie die Grundflächenwerte. Mittlere Vorratswerte liegen zwischen 500 und 600 VfmS/ha, minimale Vorratswerte liegen bei 200 VfmS/ha, Spitzenwerte bei 1 200 VfmS/ha.

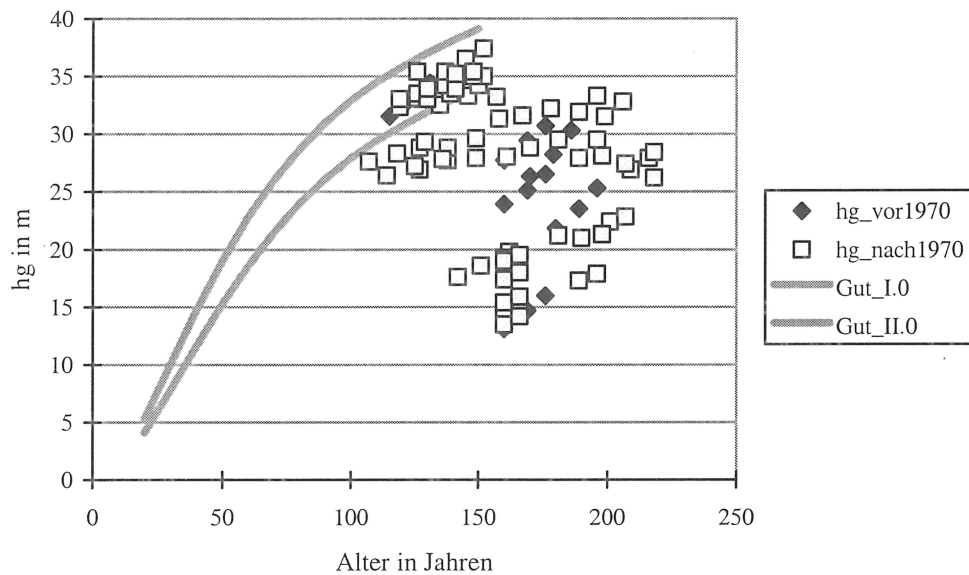


Abb. 6.1-5: Darstellung der Mittelhöhe (hg) über dem Alter auf den Versuchsflächen im Bereich der Bayerischen Alpen, Höhenlage über 1 000 m. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von GUTTENBERG (1915), Bonität I.0 und II.0, eingetragen.

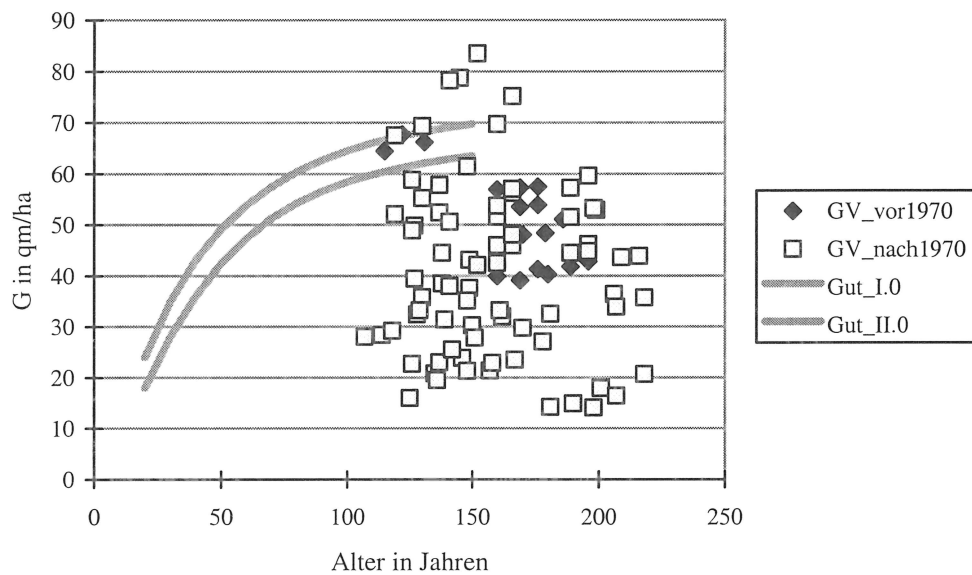


Abb. 6.1-6: Darstellung der Grundfläche des verbleibenden Bestandes (GV) über dem Alter auf den Versuchsflächen im Bereich der Bayerischen Alpen, Höhenlage über 1 000 m. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von GUTTENBERG (1915), Bonität I.0 und II.0, eingetragen.

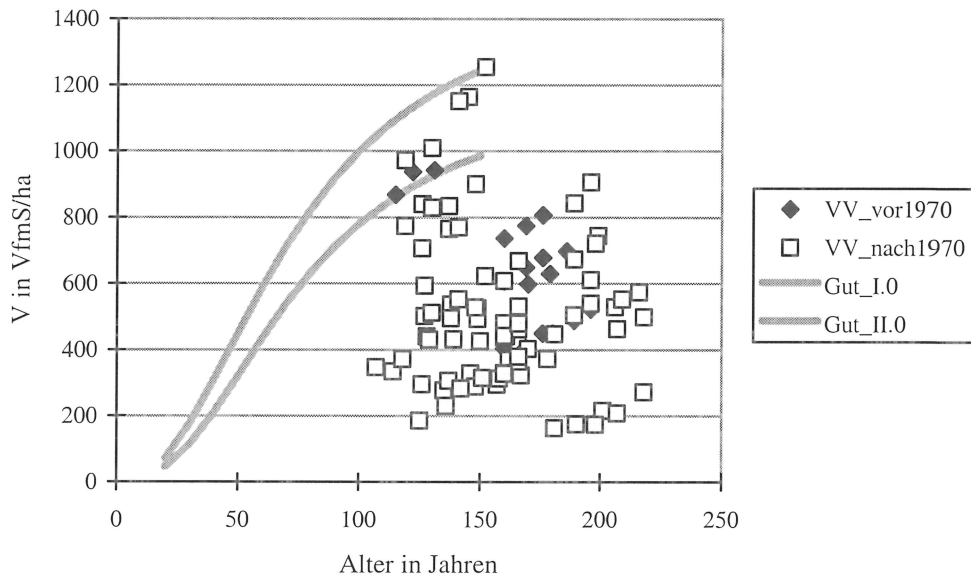


Abb. 6.1-7: Darstellung des Vorrates des verbleibenden Bestandes (VV) über dem Alter auf den Versuchsflächen im Bereich der Bayerischen Alpen, Höhenlage über 1 000 m. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von GUTTENBERG (1915), Bonität I.0 und II.0, eingetragen.

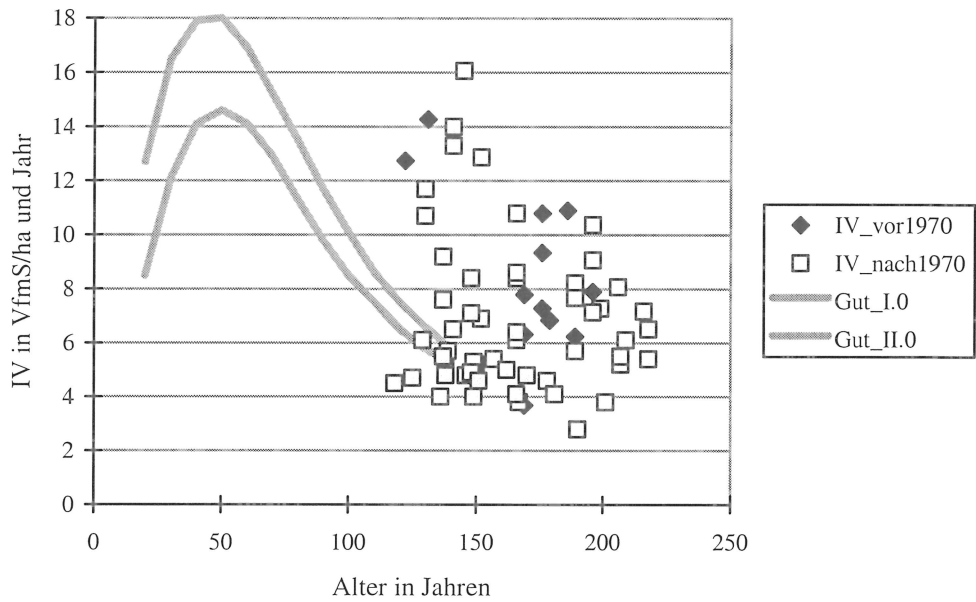


Abb. 6.1-8: Darstellung des laufenden Volumenzuwachses (IV) über dem Alter auf den Versuchsflächen im Bereich der Bayerischen Alpen, Höhenlage über 1 000 m. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von GUTTENBERG (1915), Bonität I.0 und II.0, eingetragen.

Bei der Betrachtung des laufenden Volumenzuwachses (Abb. 6.1-8) reduziert sich die Streuung erheblich. Vor allem rückt das aktuelle Zuwachsniveau in den Bereich des Ertragstafelniveaus oder liegt bis 150 % darüber. Der hohe Zuwachs auf gering bestockten Flächen ist auf einen beachtlichen Lichtungszuwachs zurückzuführen. Es deutet sich an, dass vollbestockte Flächen auch bei einer Höhenlage von über 1 000 m ü. NN ein Zuwachspotential aufweisen, das deutlich über den Modellvorstellungen der Ertragstafel von GUTTENBERG (1915) liegt.

6.1.2 Schongau

Im Bereich des heutigen Forstamtes Schongau befindet sich seit 1871 ein Schwerpunkt von Fichtenversuchsflächen. Die Versuche sind überwiegend den Kategorien Standraum- bzw. Durchforstungsversuche zuzuordnen. Sie weisen große Unterschiede in der Eingriffsstärke zwischen den Parzellen eines Versuches auf. Die älteren Versuchsanlagen (DEN 05, SAC 02, SAC 03, DEN 84, SAC 67, SAC 68) wurden von RÖHLE (1995) einer eingehenden Auswertung unterzogen. Die in den letzten Jahrzehnten neu hinzugekommenen Versuchsanlagen (SAC 602, SAC 607, DEN 606, DEN 233) sind von besonderem Interesse, da nun das Wachstum gleicher Altersstadien zu ganz verschiedenen Zeitpunkten betrachtet werden kann. Der Versuch Denklingen 233 (DEN 233) ist eine Besonderheit, er stellt ein Stickstoffdüngungs-Experiment auf einem Fichten-Hochleistungsstandort dar. Dieser Versuch beinhaltet zwei ungedüngte Vergleichsparzellen. Da die Flächen auf ähnlichen Standorten stocken, werden sie im Folgenden zusammenfassend betrachtet.

Wegen der besonders hohen Datendichte im Bereich des Forstamtes Schongau ist im Vergleich zu anderen Untersuchungsregionen eine intensivere Auswertung der Versuchsflächen möglich. Im Anhalt an ASSMANN (1961) wird hier an Stelle der Grundfläche des verbleibenden Bestandes die mittlere Grundflächenhaltung der Bestände betrachtet. So kann über den gesamten untersuchten Altersbereich der Zusammenhang zwischen produktiver Stammgrundfläche und Zuwachsreaktion aufgezeigt werden.

Oberhöhe

Die Oberhöhenentwicklung weicht auf allen Parzellen nur wenig vom Ertragstafelverlauf ab (Abb. 6.1-9). Auffällig sind aber die positiven Abweichungen am Ende der Beobachtungszeit. Die Oberhöhenwerte vor 1960 liegen näher an der Vergleichslinie der Oberhöhenbonität 36 während sich die Oberhöhenwerte nach 1960 der Vergleichslinie der Oberhöhenbonität 40 nähern. Die z. T. sehr unterschiedlichen Behandlungen haben nur geringe Unterschiede in den Oberhöhen bewirkt. Das zeigt die geringe Streuung der Werte. Auf den jüngeren Parzellen ist die Oberhöhenentwicklung im Bereich der Oberhöhenbonität 40 oder darüber, während sie auf den älteren Parzellen in der Jugend im Bereich der Oberhöhenbonität 36 lag. Auffällig sind die Oberhöhenwerte der Versuchsreihe Denklingen 233, die im Alter von 63 Jahren im Bereich der Oberhöhenbonität 40 liegen und bis zum Alter von 98 Jahren Oberhöhenwerte

von 45 m erreichen. Dieser Effekt tritt auf, obwohl keine erkennbaren Standortunterschiede zu den übrigen Versuchsflächen vorhanden sind. Im Gegensatz zu den anderen Versuchsflächen sind auf der Versuchsfläche DEN 233 im Auswertungszeitraum (bis 1990) keine Schäden durch Eisbruch aufgetreten. Dafür kam es im Jahr 1995 zu starken Gipfelbrüchen durch Eisanhang. Der Bestand hat jetzt eine Oberhöhe, die im Bereich der Oberhöhenbonität 40 liegt. Dies entspricht der Höhenwuchsleistung anderer Versuchsflächen im Bereich Schongau.

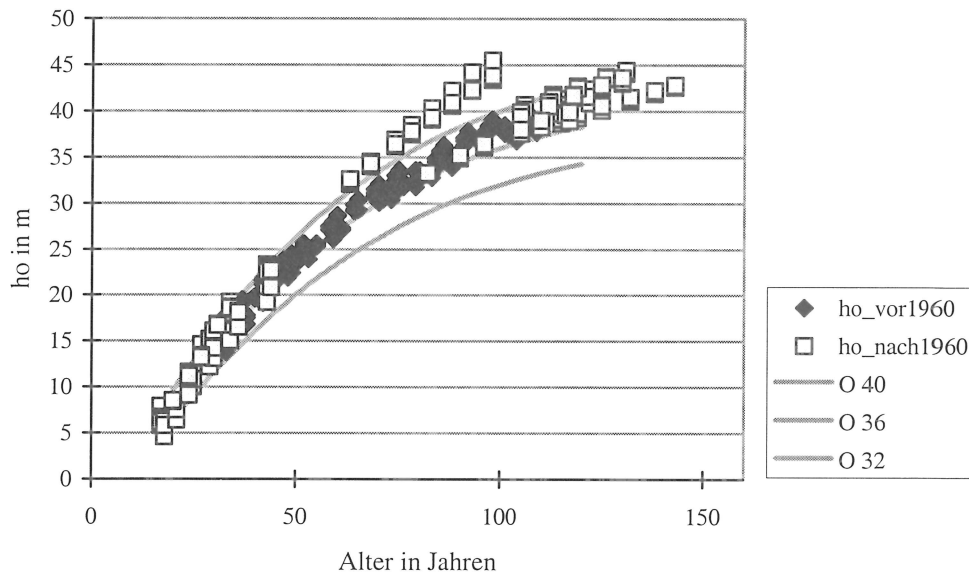


Abb. 6.1-9: Darstellung der Oberhöhe (ho) über dem Alter auf den Versuchsflächen im Bereich Schongau. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963), Oberhöhenbonität 40, 36 und 32, eingetragen.

Mittlere Grundflächenhaltung

Die mittlere Grundflächenhaltung (Abb. 6.1-10) ist die Bestandesgrundfläche, die im Durchschnitt während einer Beobachtungsperiode zur Zuwachsbildung vorhanden war. Die breite Streuung der Werte zeigt das große Spektrum der Eingriffsstärken, die in den verschiedenen Versuchen realisiert werden. Die Rahmenwerte der Ertragstafel werden auf den A-Grad-Parzellen und den Parzellen mit einer mäßigen Durchforstung deutlich überschritten. Das gilt auch für Bestände, die vor 1960 beobachtet wurden.

Das Niveau der Bestandesgrundfläche ist im Untersuchungsgebiet Schongau durchaus beachtlich. Vor dem Jahr 1960 wird eine mittlere Grundflächenhaltung von 80 qm/ha noch nicht überschritten. Danach werden aber in den ältesten Beständen Werte bis zu 90 qm/ha erreicht. Dies ist bemerkenswert, da die Entwicklungskurve der Grundflächenhaltung entsprechend den allgemeinen Vorstellungen nach einem steilen Anstieg in der Aufschwungphase mit zunehmendem Bestandesalter in der Vollkraftphase deutlich abflacht und in der Abschwungphase leicht abfallend ist (ASSMANN, 1961). Geschlossene Jungbestände erreichen im Alter von 30 Jahren bereits Werte für die mittlere Grundflächenhaltung von 40 qm/ha und darüber.

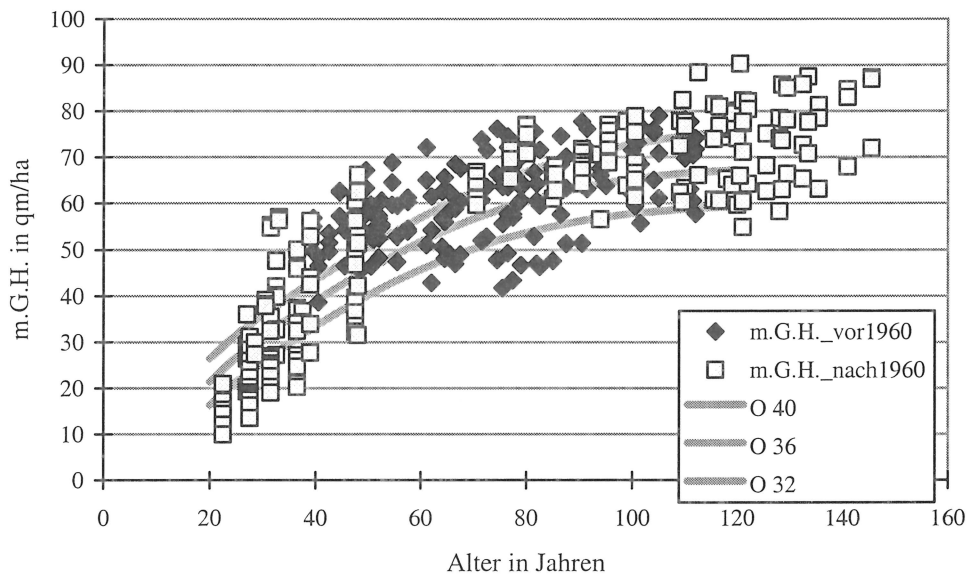


Abb. 6.1-10: Darstellung der mittleren Grundflächenhaltung (m.G.H.) über dem Alter auf den Versuchsflächen im Bereich Schongau. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963), Oberhöhenbonität 40, 36 und 32, oberes Ertragsniveau, eingetragen.

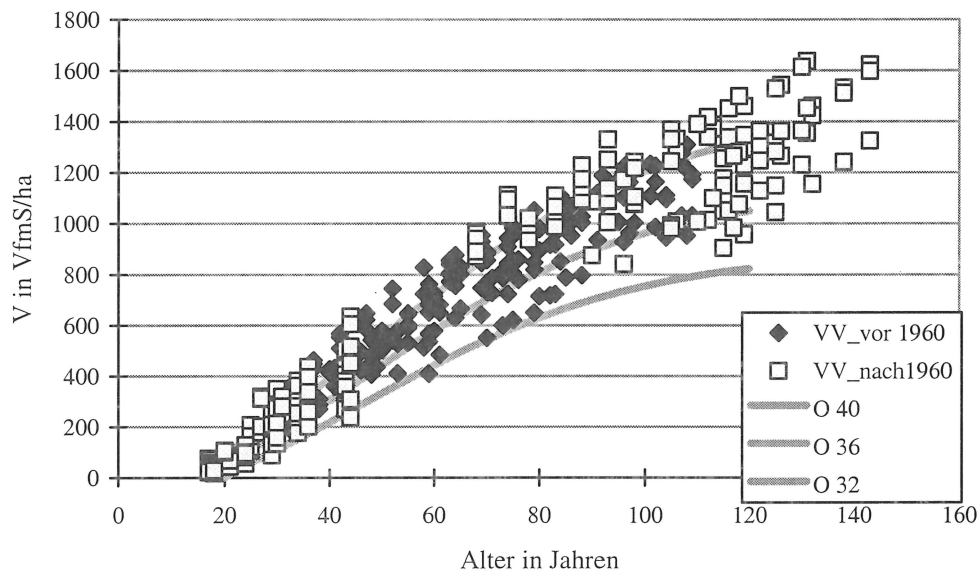


Abb. 6.1-11: Darstellung des Vorrates des verbleibenden Bestandes (VV) über dem Alter auf den Versuchsflächen im Bereich Schongau. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963), Oberhöhenbonität 40, 36 und 32, oberes Ertragsniveau, eingetragen.

Vorratshaltung auf den Flächen

Im Untersuchungsgebiet ist im gesamten Beobachtungszeitraum bei mäßiger Durchforstung eine sehr hohe Vorratshaltung festzustellen (Abb. 6.1-11). Die Vorratshaltung übertrifft bei den schwach durchforsteten Beständen in hohem Alter weit die Rahmenwerte der Ertragstafel. Stehende Vorräte von 1 600 VfmS/ha werden erreicht. Bei stärkerer Durchforstung liegen die Werte im Bereich der Oberhöhenbonität 36. Junge Bestände (Alter 40 bis 50 Jahre) erreichen zum Teil Vorratswerte von 600 VfmS/ha und darüber. Auffällig ist, dass sich die Obergrenze der Vorratshaltung nach dem Jahr 1960 bei gleichem Alter in einen höheren Wertebereich verschiebt. Die in das Versuchsprogramm einbezogenen A-Grade sind für die Diagnose von Veränderungen besonders wichtig. Sie liefern zum jeweiligen Beobachtungszeitpunkt Informationen über potentielle Obergrenzen der Bestockungsdichte.

Höhenzuwachs

Die Modellvorstellungen der Ertragstafel zeigen im Bereich von 20 bis 40 Jahren eine Kulmination des jährlichen Höhenzuwachses der Oberhöhenstämme zwischen 0,4 (O 32) und 0,7 (O 40) m/Jahr, dann sinkt der Höhenzuwachs kontinuierlich ab auf Werte im Bereich von 0,1 m/Jahr. Vor dem Jahr 1960 lagen die Höhenzuwächse (Abb. 6.1-12) auf den Versuchsflächen im Bereich der Tafelwerte oder geringfügig darüber. Die Beobachtungen nach dem Jahr

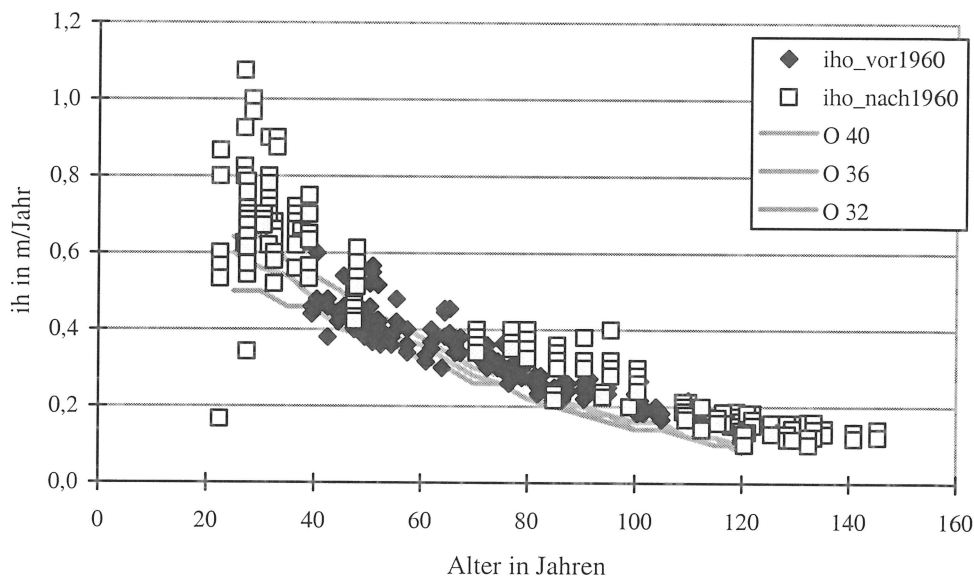


Abb. 6.1-12: Darstellung des mittleren Höhenzuwachses der Oberhöhenstämme (iho in m) für die Aufnahmeperioden über dem Alter auf den Versuchsflächen im Bereich Schongau. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963), Oberhöhenbonität 40, 36 und 32, eingetragen.

1960 zeigen in den Jungbeständen teilweise deutlich größere Höhenzuwächse, als die Tafelwerte vorsehen. Auch die Altbestände liegen in ihrem Höhenzuwachs deutlich darüber. Im Alter von 120 Jahren werden noch jährliche Höhentriebe von 0,15 bis 0,20 m Länge gebildet

(0,10 m/Jahr bei O 40). Aus dieser Darstellung kann geschlossen werden, dass die Höhenbonität für die Bestände im Wandel ist. Einschränkend muss darauf hingewiesen werden, dass im Bereich Schongau häufig Kronenbrüche durch Eisanhang oder Nassschnee auftreten, die die Höhenentwicklung immer wieder stören.

Volumenzuwachs

Die Beobachtungen vor 1960 zeigen in jüngerem Alter zunächst ein ertragstafelgemäßes Zuwachsverhalten (Abb. 6.1-13). In höherem Alter scheren sie aus und auch das typische Absinken des laufenden Volumenzuwachses (Abschwungphase) bleibt aus. Laufende Zuwächse zwischen 15 und 23 VfmS/ha und Jahr werden gebildet. Diese Entwicklung setzt sich in den Altbeständen auch nach 1960 fort. Die Zuwächse sinken zwar leicht ab, liegen aber immer noch deutlich über den Erwartungswerten der Ertragstafel. Junge Bestände zeigen Zuwachseleistungen, wie sie aus der Beobachtung der Altbestände nicht zu erwarten gewesen wären. In einzelnen Beobachtungsperioden werden Maximalwerte über 35 VfmS/ha und Jahr erreicht. Starke Durchforstungen führen zu einem kräftigen Absinken des laufenden Zuwachses. Je nach Eingriffsstärke bleibt der Zuwachs auf niedrigerem Niveau oder steigt in den folgenden Beobachtungsperioden wieder an.

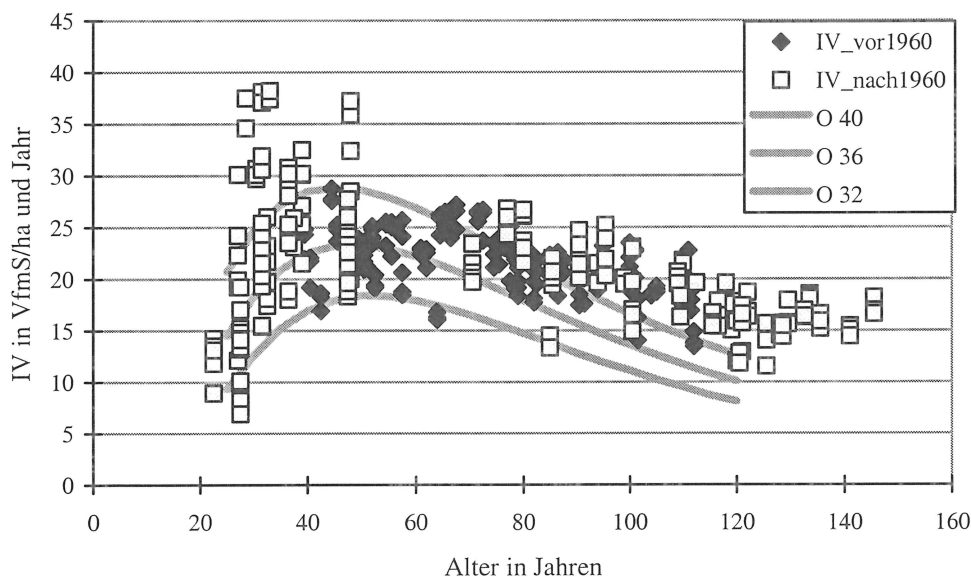


Abb. 6.1-13: Darstellung des laufenden Volumenzuwachses (IV) über dem Alter auf den Versuchsflächen im Bereich Schongau. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963), Oberhöhenbonität 40, 36 und 32, oberes Ertragsniveau, eingetragen.

Zuwachs und mittlere Grundflächenhaltung

Die Zuwachsleistung von Beständen hängt von der Qualität des Standortes und der Struktur der Bestockung ab. Beispielsweise reduzieren starke Eingriffe die Zuwachsleistung der Bestände. Das hier gewählte Maß für die Beurteilung des Produktionspotentials ist die mittlere Grundflächenhaltung. Die Beobachtungen vor 1960 zeigen für Jung- und Altbestände eine

ineinander greifende Punktwolke (Abb. 6.1-14). Die Jungbestände haben mit Grundflächenhaltungen zwischen 40 und 60 qm/ha ähnliche Zuwachsleistungen wie die Altbestände, die z. T. deutlich höhere Grundflächenwerte aufweisen.

In den Altbeständen steigt die Grundflächenhaltung nach 1960 an (Abb. 6.1-14), die Punktwolke verschiebt sich nach rechts, die Zuwachsleistung beginnt im Durchschnitt leicht abzusinken. Besonders auffällig sind die Zuwachsleistungen der Jungbestände in den letzten Jahrzehnten. Bei vergleichbaren Grundflächenwerten liegen die Zuwachsleistungen gegenwärtig deutlich über dem früheren Niveau. Die Punktwolke für die Jungbestände weist eine starke Steigung auf. Daraus kann rückgeschlossen werden, dass eine deutliche Absenkung der Grundflächenwerte eine ebenso deutliche Zuwachsminderung nach sich zieht. Anders sieht es in den Altbeständen aus. Hier schwanken die Grundflächenwerte in einem breiten Rahmen ohne eindeutige Zuwachsreaktionen zu zeigen.

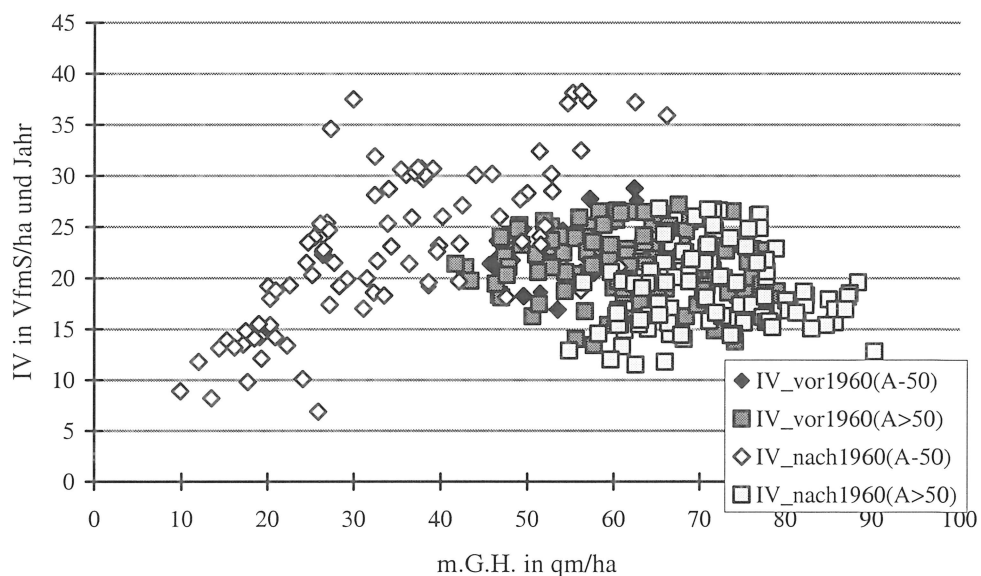


Abb. 6.1-14: Laufender Volumenzuwachs (IV) und mittlere Grundflächenhaltung (m.G.H.) auf den Versuchsflächen im Bereich Schongau. Dargestellt ist der laufende Volumenzuwachs (IV) in VfmS/ha und Jahr über der mittleren Grundflächenhaltung in der jeweiligen Zuwachsperiode (m.G.H.). Ergebnisse für die Zeit vor und nach dem Jahr 1960 sind durch unterschiedliche Signaturen hervorgehoben. Gleichzeitig wurden Bestände bis zu einem Alter von 50 Jahren mit einer anderen Signatur gekennzeichnet als Bestände, die älter als 50 Jahre sind.

6.1.3 Schwaben

Das Untersuchungsgebiet Schwaben weist die produktivsten Waldstandorte in Bayern (vgl. Kap. 6.4) auf. Die hier zusammengefassten Versuche verbinden Ergebnisse aus ganz aktuellen Versuchsauswertungen (Laugna 315, Zusmarshausen 603, 604) mit Befunden aus Versuchsreihen, die z. T. zu Beginn der systematischen ertragskundlichen Forschung im Zeitraum 1882 bis 1902 angelegt wurden und deren Beobachtung bereits Anfang der 70er Jahre endete. Damit können „historische“ und aktuelle Wachstumsbefunde miteinander verglichen werden. Untersucht wird das Zuwachsverhalten der Fichte bei unterschiedlichen Standortbedingungen und Eingriffsstärken. Als Referenz für die natürliche Bestandesentwicklung sind in allen Versuchen A-Grad-Parzellen ausgeschieden.

Die Oberhöhen, die vor 1960 gemessen wurden (Abb. 6.1-15), entwickeln sich über dem Alter zwischen den Vergleichswerten für die Oberhöhenbonität 36 und 40 der Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963). Jungbestände, die nach dem Jahr 1960 gemessen wurden, zeigen z. T. eine deutlich günstigere Höhenentwicklung. Diese Bestände stocken auf Spitzenstandorten des Forstamtes Zusmarshausen, und liefern Maximalwerte des Bestandeswachstums in Bayern. Der Altbestand, der nach 1960 noch beobachtet wurde, zeigt eine starke Verbesserung seiner Oberhöhe im Vergleich zu den Werten der Ertragstafel.

Trotz der sehr homogenen Höhenentwicklung streuen die Werte für die Grundflächenhaltung auf den Flächen sehr stark in Abhängigkeit vom Behandlungsprogramm (Abb. 6.1-16). Auf den unbehandelten Vergleichsparzellen wurden vor dem Jahr 1960 maximale Grundflächenwerte von 80 qm/ha ausgebildet, ab einem Alter von 50 Jahren waren auf den Flächen in Betzigau Grundflächen über 70 qm/ha zu beobachten. Die Grundflächenleistungen der Jungbestände übertreffen nach dem Jahr 1960 die Werte der Vorperiode nicht, reichen aber an deren Niveau heran. Dagegen wird im Vergleich zu der Vorperiode die Grundflächenleistung im Altbestand nach dem Jahr 1960 geringfügig übertroffen.

Die hohe Produktivität im Untersuchungsgebiet kommt auch durch die sehr hohen Vorratswerte des verbleibenden Bestandes zum Ausdruck. Die Vorratswerte für die Oberhöhenbonität 40, oberes Ertragsniveau werden und wurden von vielen Parzellen weit übertroffen (Abb. 6.1-17). Spitzenwerte von 1 400 VfmS/ha werden im Alter von 100 Jahren bereits in der Periode vor dem Jahr 1960 erreicht. Aktuelle Maximalwerte liegen bei 1 500 VfmS/ha. Jungbestände übertreffen die Vorratswerte von Beständen vergleichbaren Alters aus der Zeit vor dem Jahr 1960 mit unter um bis zu 100 VfmS/ha. Dabei handelt es sich um sehr dichte unbehandelte Parzellen im Stiftungsforstamt Laugna.

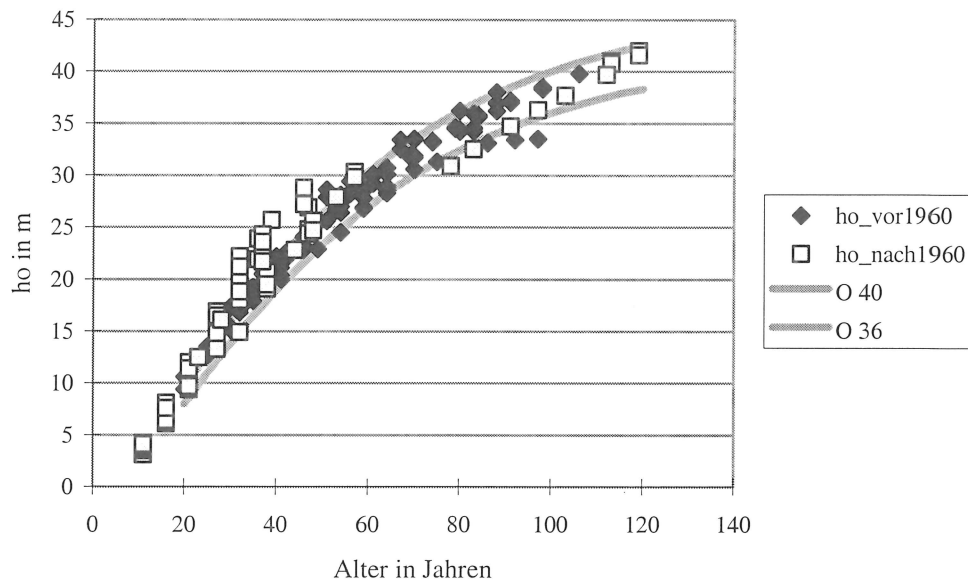


Abb. 6.1-15: Darstellung der Oberhöhe (ho) über dem Alter auf den Versuchsflächen im Bereich Schwaben. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963), Oberhöhenbonität 40 und 36, eingetragen.

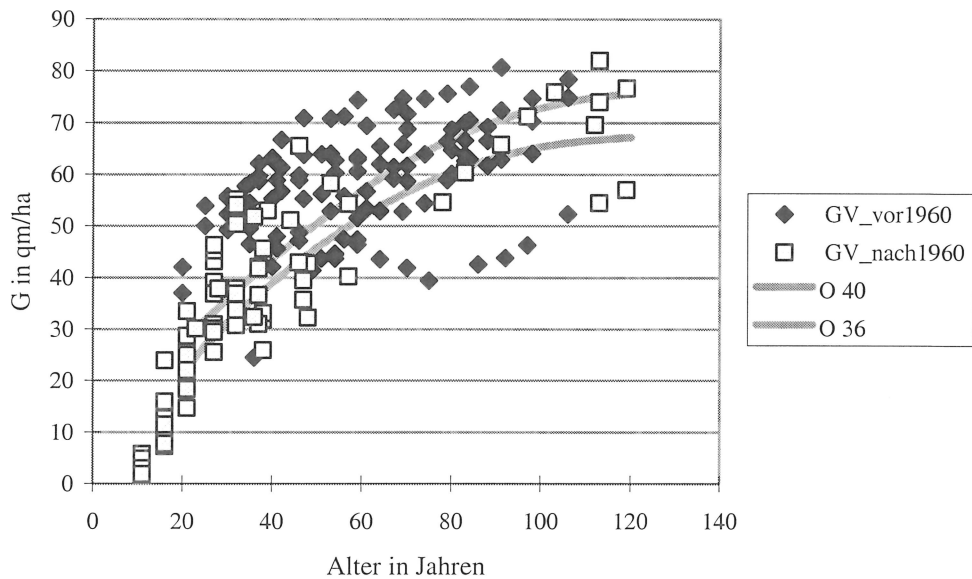


Abb. 6.1-16: Darstellung der Grundfläche des verbleibenden Bestandes (GV) über dem Alter auf den Versuchsflächen im Bereich Schwaben. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963), Oberhöhenbonität 40 und 36, oberes Ertragsniveau eingetragen.

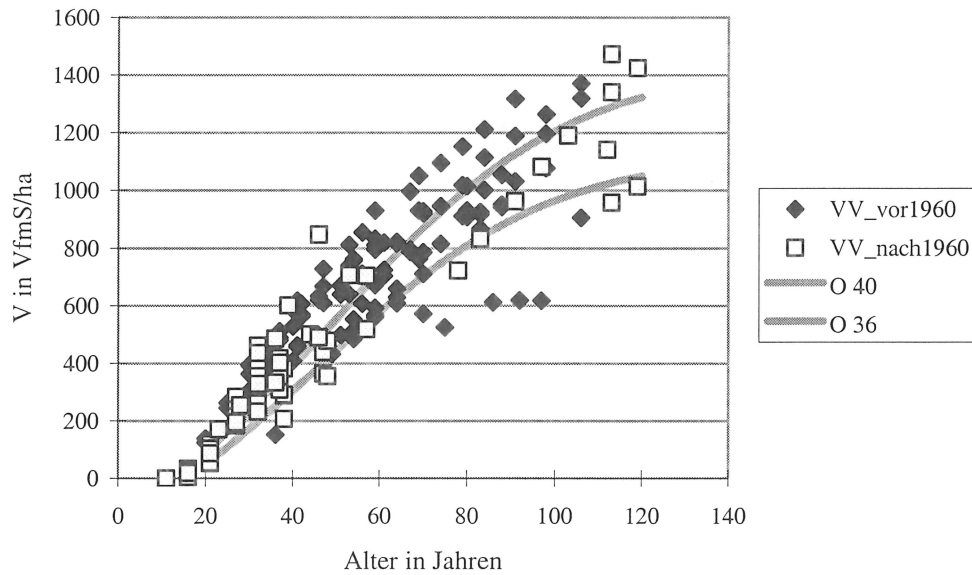


Abb. 6.1-17: Darstellung des Vorrates des verbleibenden Bestandes (VV) über dem Alter auf den Versuchsflächen im Bereich Schwaben. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963), Oberhöhenbonität 40 und 36, oberes Ertragsniveau, eingetragen.

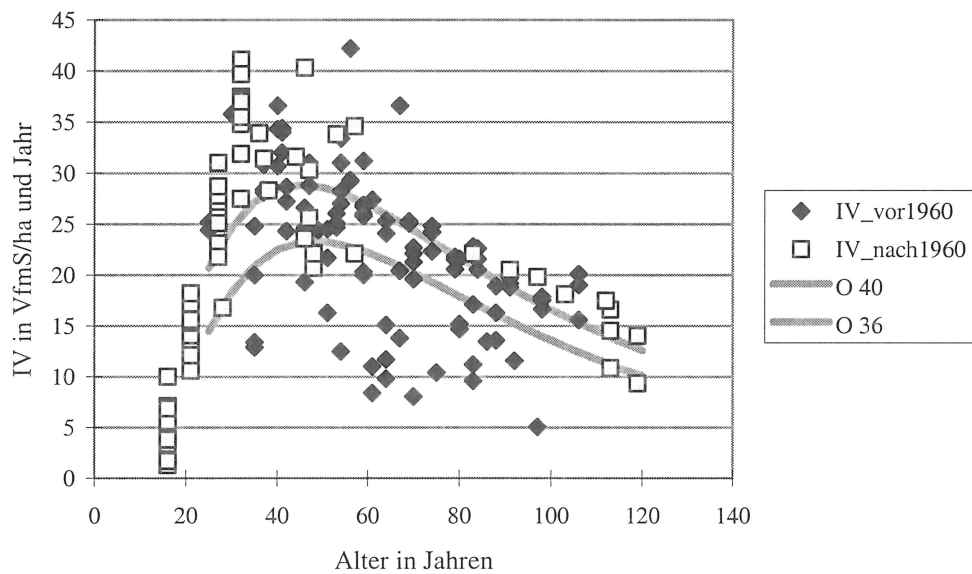


Abb. 6.1-18: Darstellung des laufenden Volumenzuwachses (IV) über dem Alter auf den Versuchsflächen im Bereich Schwaben. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963), Oberhöhenbonität 40 und 36, oberes Ertragsniveau, eingetragen.

Die Werte für den laufenden Volumenzuwachs der Bestände vor 1960 wurden den Auswertungsunterlagen der Versuchsakten entnommen. Bei der Betrachtung der Verteilung der Werte fällt auf, dass die Streuung relativ groß ist. Perioden mit hohen Zuwächsen wechseln mit Perioden niedriger Zuwächse ab (Abb. 6.1-18). Ein Teil dieser Streuung könnte durch fehlerhafte Höhenmessungen verursacht sein (ASSMANN, 1961; RÖHLE, 1995). In einzelnen Perioden

werden in der Kulminationsphase des Zuwachses die Vergleichswerte der Ertragstafel überschritten. Bestände, die nach dem Jahr 1960 noch beobachtet wurden, haben z. T. deutlich höhere Zuwachsleistungen. Sie können das Zuwachsniveau auch über mehrere Beobachtungsperioden steigern. Spitzenwerte von über 40 VfmS/ha und Jahr werden erreicht.

Die Versuchsflächen im Stiftungsforstamt Laugna

In dem vorgestellten Datenmaterial befinden sich auch 10 Parzellen aus der Versuchsreihe 315 im Stiftungsforstamt Laugna. Dort wurden im Rahmen einer Dissertation von JOHANN (1968) Parzellen angelegt, die bis heute unter Beobachtung stehen. Die 10 Parzellen stocken auf ähnlichen Standorten und sind hauptsächlich mit Fichten bestockt. Außerdem sind die Standorte in Laugna durch Phosphormangel gekennzeichnet, der durch intensive Seegrasnutzung hervorgerufen wurde (JOHANN, 1968). Mit der Beendigung der Seegrasnutzung setzte hier eine deutliche Regeneration der Bestände ein. Über das Ausmaß von solchen Regenerationsprozessen sollen die folgenden Betrachtungen Aufschluss geben:

In Laugna wird die Oberhöhenentwicklung eines typischen Altbestandes am Beispiel der Parzelle 6 deutlich (Abb. 6.1-19). Die Beobachtung beginnt im Alter von 78 Jahren bei einer Oberhöhenbonität 36. Im Laufe der Beobachtungszeit (34 Jahre) verbessert sich die Oberhöhe bis auf das Niveau einer Oberhöhenbonität 38. Der Bestand hat zum letzten Aufnahmezeitpunkt ein Alter von 112 Jahren. Die Jungbestände auf vergleichbarem Standort (z. B. Parzellen 9, 11) haben dagegen eine wesentlich bessere Höhenentwicklung. Sie liegen über der Vergleichslinie der Oberhöhenbonität 40. Werden die Entwicklungslinien der Jungbestände extrapoliert oder die des Altbestandes zurückgerechnet, so ergeben sich völlig unterschiedliche Wachstumskurven.

Bei der Betrachtung des laufenden jährlichen Volumenzuwachses (Abb. 6.1-20) verlässt die Entwicklungslinie des Altbestandes die Vergleichslinie für die Oberhöhenbonität 40. In der Altersphase 75 bis 115 Jahren findet das Absinken des laufenden Zuwachses in der Abschwungphase nur abgeschwächt statt. Es werden laufende Volumenzuwächse von 22 bis 17 VfmS/ha und Jahr gebildet. Die Jungbestände zeigen ein sehr hohes Zuwachsniveau, das durch starke Schwankungen gekennzeichnet ist. Kräftige Durchforstungseingriffe führten in der darauf folgenden Zuwachsperiode vorübergehend zu deutlich reduzierten Zuwachsleistungen. Insgesamt ist das Zuwachsniveau mit laufenden Volumenzuwächsen bis 35 VfmS/ha und Jahr in den Jungbeständen sehr hoch.

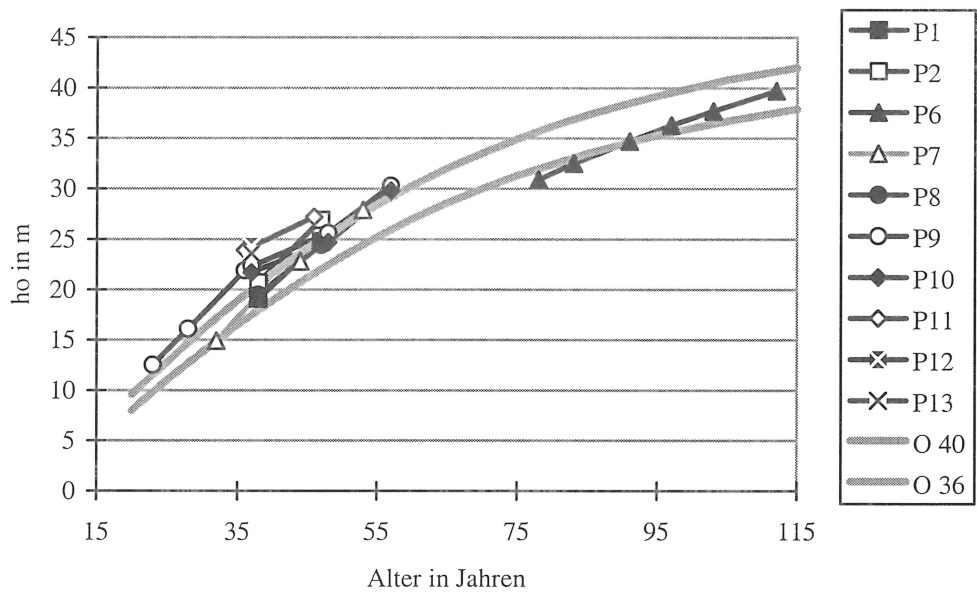


Abb. 6.1-19: Darstellung der Oberhöhe (ho) über dem Alter auf den Versuchsflächen in Laugna. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963), Oberhöhenbonität 40 und 36, eingetragen.

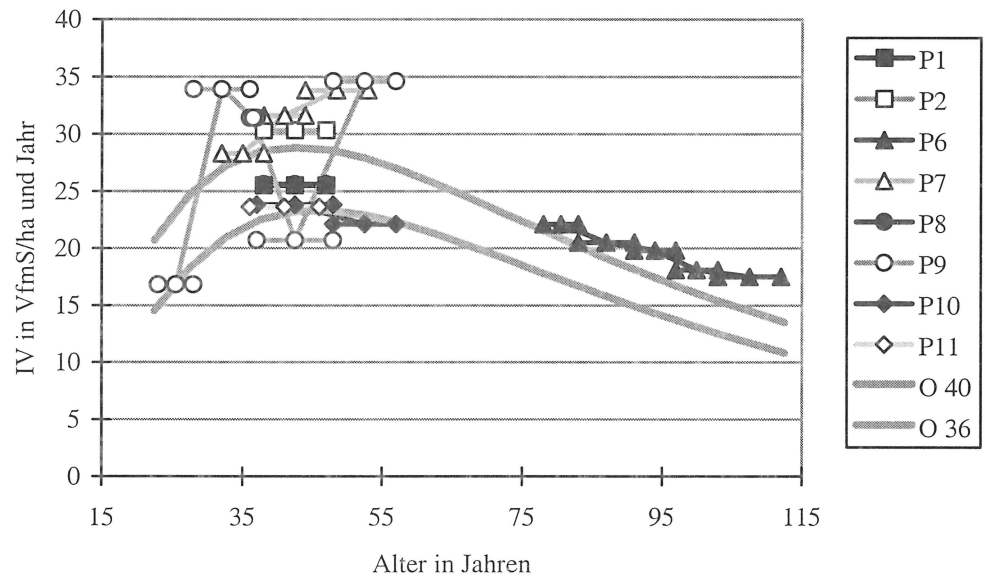


Abb. 6.1-20: Darstellung des laufenden Volumenzuwachses (IV) über dem Alter auf den Versuchsflächen in Laugna. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963), Oberhöhenbonität 40 und 36, oberes Ertragsniveau, eingetragen.

6.1.4 Münchner Schotterebene

Das vorliegende Datenmaterial stützt sich sowohl auf ältere (Eglharting 71, 72, Weßling 87 und Fürstenfeldbruck 09) als auch auf neuere Versuchsanlagen (Sauerlach 213, 233, Eglharting 98, Fürstenfeldbruck 612) (vgl. Kap. 5.1) und deckt ein Altersspektrum von 13 bis 120 Jahren ab. Fragen zum optimalen Standraum und zur Durchforstung der Fichte stehen im Vordergrund. Die Versuche Sauerlach 213 und 223 sind Düngungsversuche mit den Varianten Nullfläche, Düngung mit schwefelsaurem Ammoniak und Düngung mit Kalisaltpeter. Eine eindeutige wuchssteigernde Wirkung der Düngung konnte nicht festgestellt werden.

Die Oberhöhenentwicklung im Untersuchungsgebiet liegt im Bereich der Oberhöhenbonität 32 bis 40. Besonders auffallend ist die im Vergleich zu den Jungbeständen sehr niedrige Oberhöhenbonität in höherem Alter (Abb. 6.1-21). Dass auf der Münchner Schotterebene das Höhenwachstum in höherem Alter stark nachlässt, ist schon aus älteren Untersuchungen bekannt (VANSELOW, 1943).

Die Obergrenze der Grundflächenhaltung entspricht auf den beobachteten Parzellen der Oberhöhenbonität 36, oberes Ertragsniveau. Spitzenwerte bis 70 qm/ha werden bis zum Alter von 120 Jahren erreicht. Das Niveau der Grundflächenhaltung ist für das untersuchte Standort-spektrum beachtlich, liegt aber deutlich unter dem Niveau der Bestände im Bereich Schwaben (Abb. 6.1-22). Die Untergrenze der beobachteten Grundflächenhaltung liegt zwischen 30 qm/ha (Alter 60) und 40 qm/ha (Alter 100) und entspricht damit dem Verlauf der Grundflächenhaltungskurve der Ertragstafel WIEDEMANN (1936/42), I.0 Bonität.

In den Altbeständen werden Vorratswerte von 800 bis 1 200 VfmS/ha erreicht. Es wird deutlich, dass die Bestände bei der Betrachtung der Grundflächen- und Vorratswerte eher einem mittleren Ertragsniveau entsprechen (Abb. 6.1-23). Die Vorratswerte der Versuchsaufnahmen, die nach dem Jahr 1960 erfolgten, liegen in der Tendenz über den Werten in der Vorperiode.

Konnten Grundfläche und Vorrat nicht das Niveau der Oberhöhenbonität 36 für das obere Ertragsniveau erreichen, so zeigen sich die Relationen bei der Betrachtung des laufenden Volumenzuwachses in einem anderen Licht (Abb. 6.1-24). Die Zuwächse auf den Parzellen vor dem Jahr 1960 liegen bei einer relativ starken Streuung i. d. R. unter der Vergleichslinie für die Oberhöhenbonität 36. Die Versuchsaufnahmen nach 1960 dokumentieren dagegen ein sehr hohes Zuwachsniveau in den Jungbeständen und einen anhaltend hohen Zuwachs in den Altbeständen. Vor allem zeigt sich ein gleich bleibender Zuwachs im Alter zwischen 70 und 120 Jahren. In diesen Altbeständen werden laufende Zuwächse zwischen 15 und 20 VfmS/ha und Jahr erbracht. Die Vergleichslinien der Ertragstafel werden geschnitten, ein altersgemäßes Absinken des laufenden Volumenzuwachses ist nicht zu beobachten.

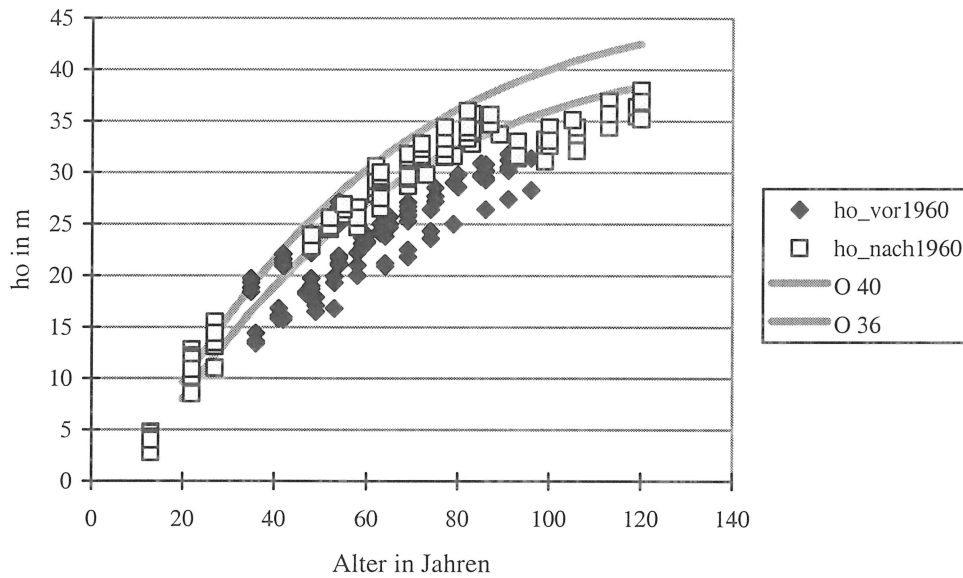


Abb. 6.1-21: Darstellung der Oberhöhe (ho) über dem Alter auf den Versuchsflächen im Bereich der Münchner Schotterebene. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963), Oberhöhenbonität 40 und 36, eingetragen.

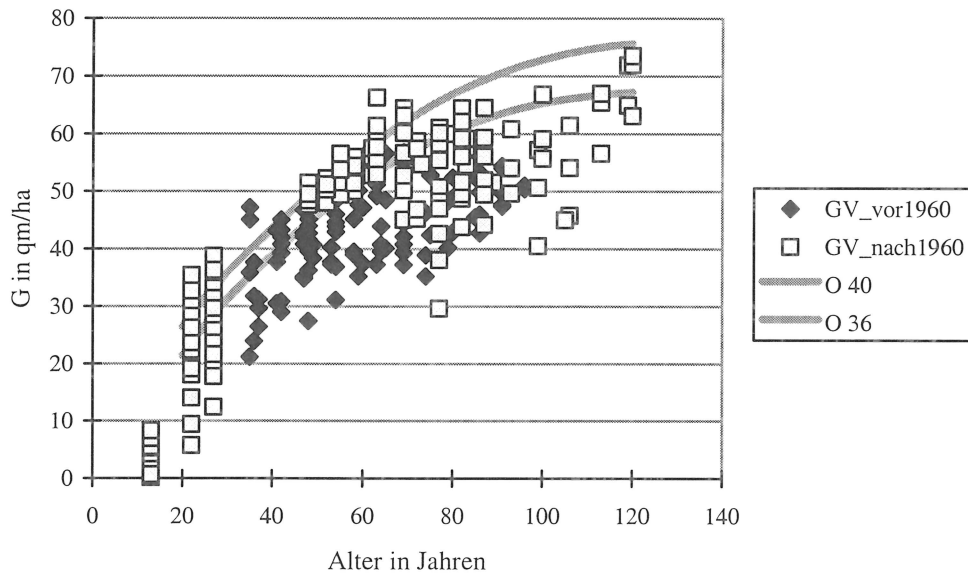


Abb. 6.1-22: Darstellung der Grundfläche des verbleibenden Bestandes (GV) über dem Alter auf den Versuchsflächen im Bereich der Münchner Schotterebene. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963), Oberhöhenbonität 40 und 36, oberes Ertragsniveau, eingetragen.

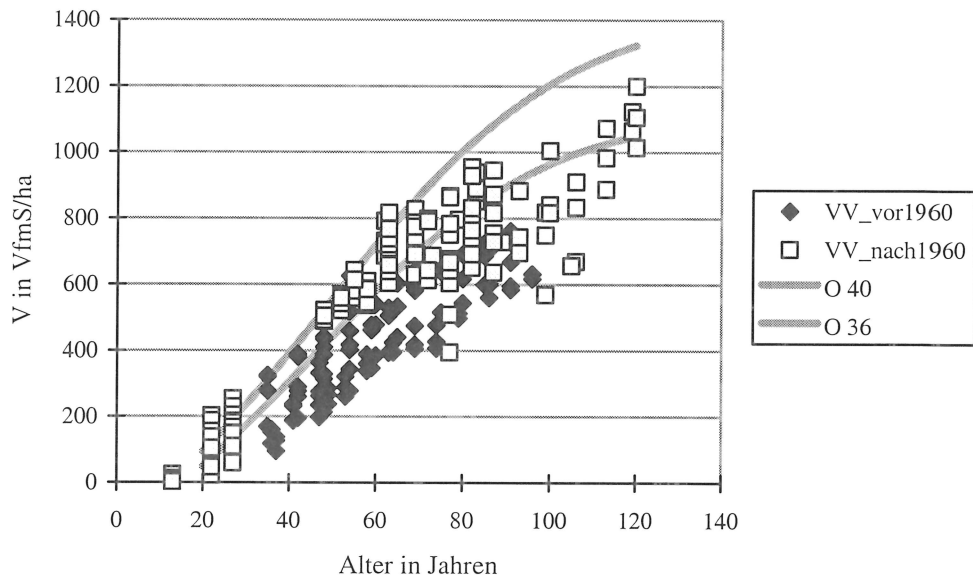


Abb. 6.1-23: Darstellung des Vorrates des verbleibenden Bestandes (VV) über dem Alter auf den Versuchsflächen im Bereich der Münchner Schotterebene. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963), Oberhöhenbonität 40 und 36, oberes Ertragsniveau, eingetragen.

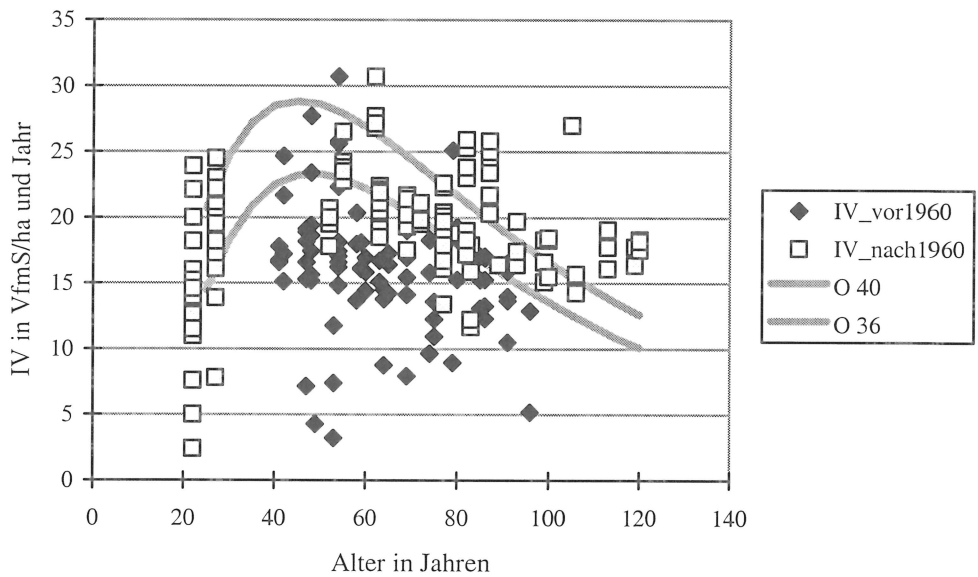


Abb. 6.1-24: Darstellung des laufenden Volumenzuwachses (IV) über dem Alter auf den Versuchsflächen im Bereich der Münchner Schotterebene. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963), Oberhöhenbonität 40 und 36, oberes Ertragsniveau, eingetragen.

6.1.5 Oberbayerische Jungmoräne

Die Anlagen der Versuchsflächen in diesem Teil Bayerns erfolgten erst in jüngerer Zeit. Diese neueren Versuche sind durch eine besonders starke Variation der Eingriffsstärke gekennzeichnet. Ein Extrem stellt der Versuch Traunstein 639 dar. Dort ist vom unbehandelten A-Grad bis zu einer Solitärstellung der Fichte ab einem Alter von 19 Jahren (Stammzahl 390 Stück/ha) ein sehr breites Stammzahlspektrum verwirklicht. Mit dem vorliegenden Datensatz ist in dieser Region das gesamte Altersspektrum bis zur Umtriebszeit der Fichte abgedeckt.

Bereits bei der Betrachtung des Oberhöhenfächers (Abb. 6.1-25) wird deutlich, dass im Untersuchungsgebiet ein eher hohes Leistungspotential vorherrscht. Die Höhenwuchsleistung auf den Parzellen liegt sehr einheitlich zwischen der Oberhöhenbonität 36 und 40.

Die Grundflächenhaltung auf den Parzellen zeigt dagegen ein sehr heterogenes Bild. Entsprechend der unterschiedlichen Versuchsprogramme werden die Grundflächen auf einigen Parzellen sehr stark abgesenkt, andere Parzellen bleiben unbehandelt und liefern so Werte für die Abschätzung einer biologischen Obergrenze (Abb. 6.1-26). Einige Grundflächenwerte übersteigen das Niveau der Oberhöhenbonität 40, oberes Ertragsniveau, um bis zu 20 %. Stark behandelte Parzellen liegen in den Grundflächenwerten um 20 % unter den entsprechenden Tafelwerten.

Die Vorratsentwicklung auf den Parzellen (Abb. 6.1-27) ist beachtlich; 60-jährige Bestände zeigen Vorratswerte für den verbleibenden Bestand über 800 VfmS/ha. Die beobachteten Altbestände fallen in ihren Vorratswerten deutlich unter das Niveau der Oberhöhenbonität 40 ab.

Das Streuband der Werte für den laufenden Zuwachs über dem Alter ist bedingt durch die sehr unterschiedlichen Grundflächenhaltungen sehr breit. Die Vergleichslinien der Ertragstafeln liegen mitten im Datenfeld (Abb. 6.1-28). Dabei ist zu bemerken, dass es sich bei der Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ im Gegensatz zu anderen Ertragstafeln um eine Tafel mit zuwachsoptimaler Bestockung handelt, d. h. die Tafel unterstellt maximal mögliche Zuwächse. Eine Korrektur mit dem Bestockungsgrad über Zuwachsreduktionstabellen führt nur zu einer Erniedrigung der Ertragstafelwerte. Insbesondere dichte Jungbestände weisen jedoch deutlich höhere Zuwachswerte auf, die z. T. weit über 30 VfmS/ha und Jahr liegen. Auch in hohem Alter deuten sich bei normalen bis hohen Grundflächenwerten gleich bleibend hohe Zuwächse im Bereich von 20 VfmS/ha und Jahr an.

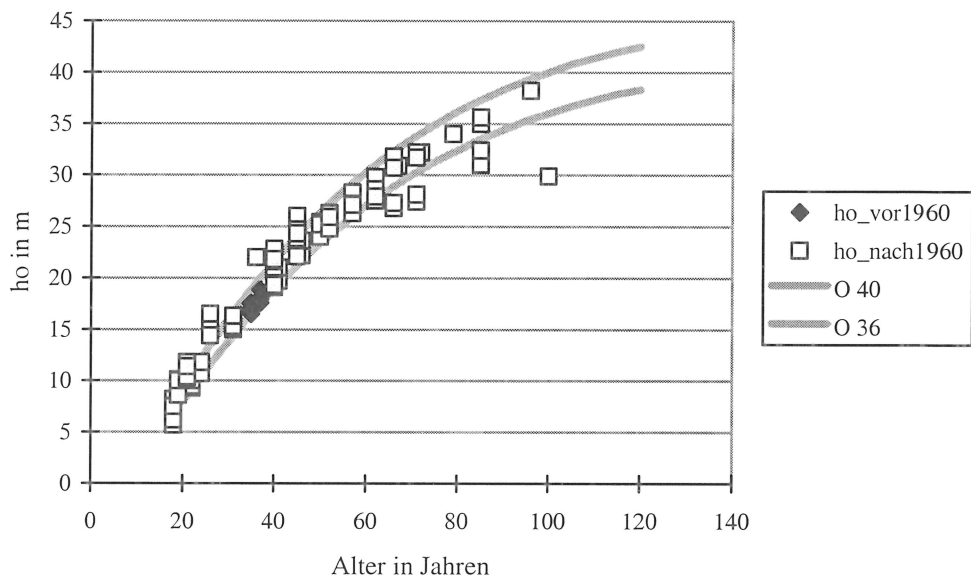


Abb. 6.1-25: Darstellung der Oberhöhe (ho) über dem Alter auf den Versuchsflächen im Bereich der Oberbayerischen Jungmoräne. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963), Oberhöhenbonität 40 und 36, eingetragen.

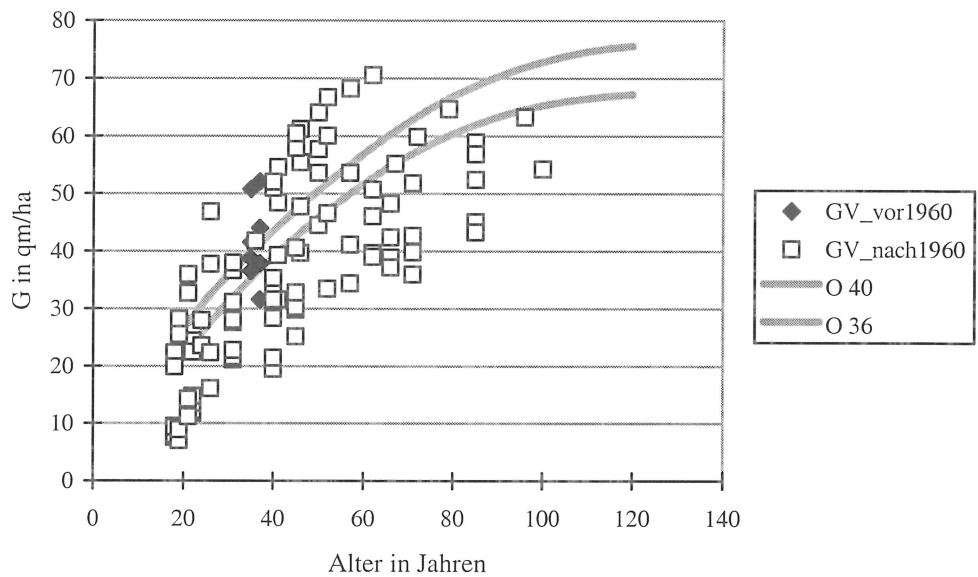


Abb. 6.1-26: Darstellung der Grundfläche des verbleibenden Bestandes (GV) über dem Alter auf den Versuchsflächen im Bereich der Oberbayerischen Jungmoräne. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963), Oberhöhenbonität 40 und 36, oberes Ertragsniveau, eingetragen.

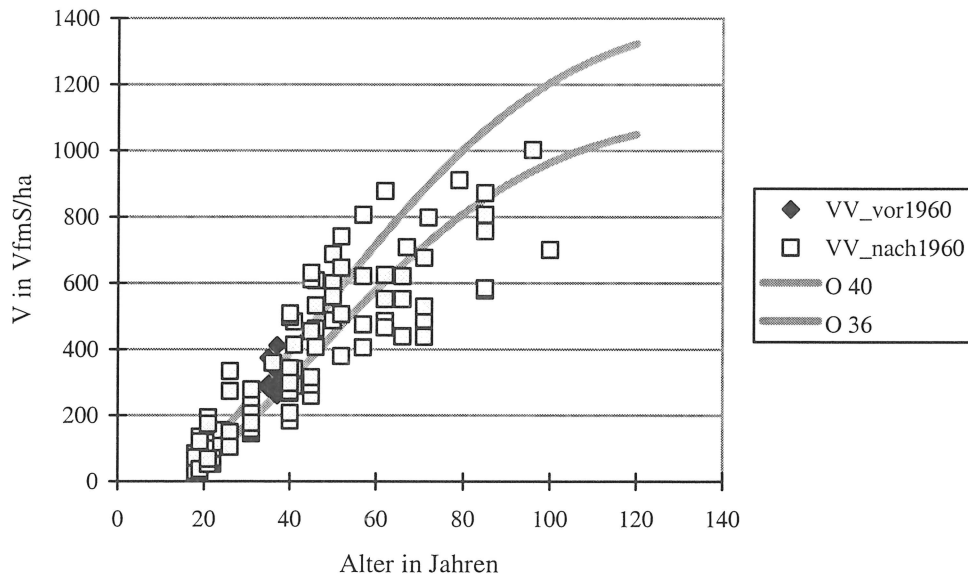


Abb. 6.1-27: Darstellung des Vorrates des verbleibenden Bestandes (VV) über dem Alter auf den Versuchsflächen im Bereich der Oberbayerischen Jungmoräne. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertrags-tafel von ASSMANN und FRANZ (1963), Oberhöhenbonität 40 und 36, oberes Ertragsniveau, eingetragen.

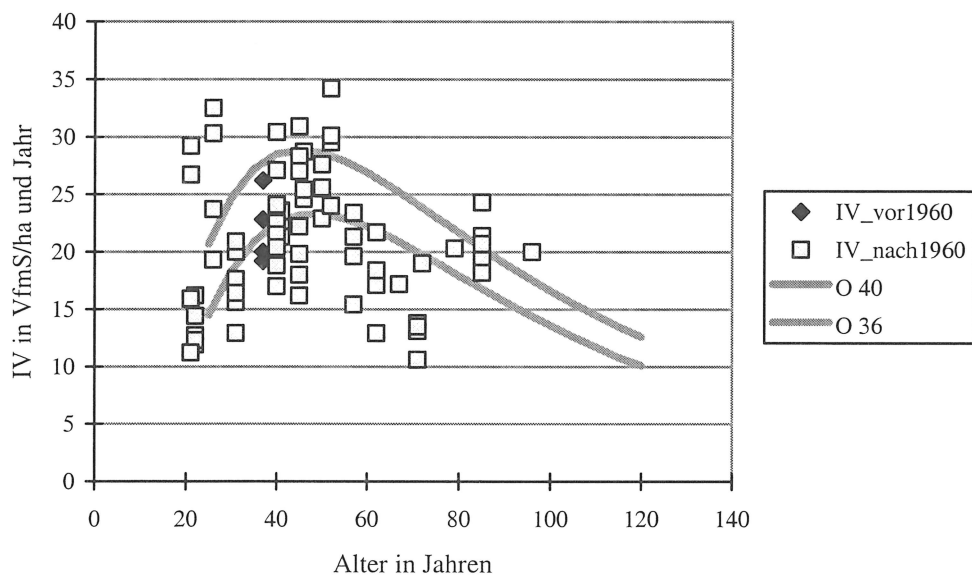


Abb. 6.1-28: Darstellung des laufenden Volumenzuwachses (IV) über dem Alter auf den Versuchsflächen im Bereich der Oberbayerischen Jungmoräne. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertrags-tafel von ASSMANN und FRANZ (1963), Oberhöhenbonität 40 und 36, oberes Ertragsniveau, eingetragen.

6.1.6 Tertiäres Hügelland

Im Bereich des Tertiären Hügellandes liegen nur zwei Versuchsflächen (vgl. Tab. 5-2b), die zudem eine sehr unterschiedlicher Beobachtungszeit und -dauer aufweisen. Die Flächen in Freising (FRE 23) sind vom Jahr 1871 bis zum Jahr 1936 beobachtet worden, die Flächen im Höglwald stehen erst seit 1983 unter Beobachtung.

Beide Versuchsbestände stocken auf sehr günstigen Standorten. Die Oberhöhenbonität liegt zwischen O 36 und O 40, der Verlauf der Bestandesentwicklung entspricht auf unterschiedlichem Niveau relativ gut den Vergleichslinien der Ertragstafel (Abb. 6.1-29).

Die Grundflächenentwicklung der beiden Versuchsanlagen haben ein völlig unterschiedliches Niveau. Die Versuchspartellen im Höglwald liegen in ihrer Grundflächenhaltung deutlich über den Partellen in Freising (Abb. 6.1-30). Die Versuchsanlage in Freising umfasst auch eine unbehandelte Variante. Der Versuch in Freising erreicht die Vergleichswerte einer Oberhöhenbonität 36, oberes Ertragsniveau. Maximale Grundflächenwerte von 60 qm/ha werden nur in hohem Alter geringfügig überschritten. Die Versuchspartellen im Höglwald zeigen dagegen mit über 90 qm Grundfläche/ha Maximalwerte der Grundflächenhaltung in Bayern auf.

Die Vorratsentwicklung entspricht dem Bild der Grundflächenentwicklung. Der stehende Vorrat der dichtesten Partelle im Höglwald liegt knapp unter 1 600 VfmS/ha. Diese Partelle ist die vorratsreichste Partelle, die im Rahmen des ertragskundlichen Versuchswesens in Bayern bisher gemessen wurde. Die Maximalwerte für die Versuchspartellen in Freising liegen in vergleichbarem Alter knapp unter 1 000 VfmS/ha (Abb. 6.1-31).

Die Werte für den laufenden Volumenzuwachs streuen auf den Partellen in Freising sehr stark von Aufnahme zu Aufnahme, liegen aber im Durchschnitt auf dem Niveau der Ertragstafel (Abb. 6.1-32). Die Flächen im Höglwald haben zwar maximale Grundflächen und Vorratswerte, die Zuwachswerte liegen aber nicht so deutlich über dem Niveau der Oberhöhenbonität 40. Auch 80-jährige Bestände leisten Zuwächse im Bereich von 24 VfmS/ha und Jahr und 90-jährige Bestände noch um 20 VfmS/ha und Jahr. Ein alterstypisches Absinken der Zuwachseleistung deutet sich an.

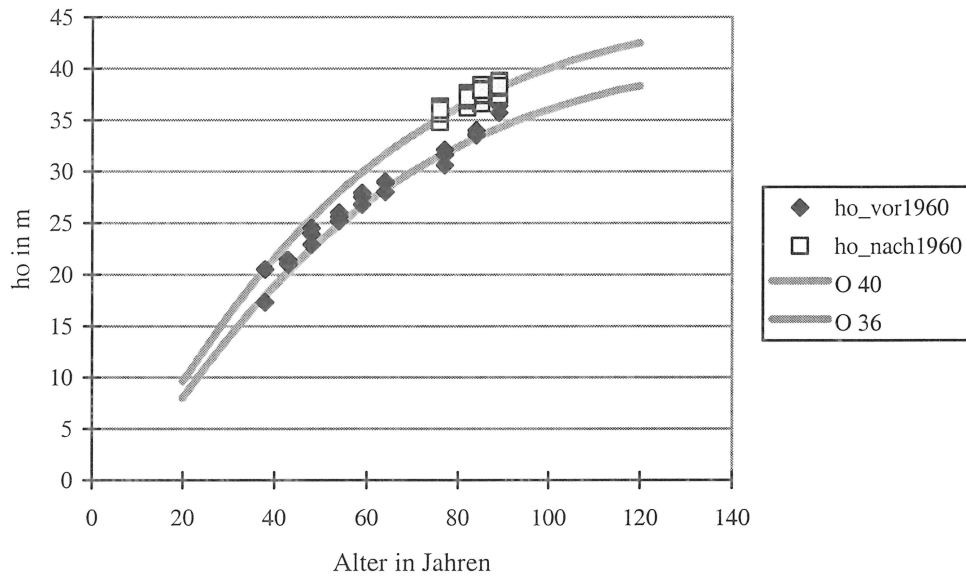


Abb. 6.1-29: Darstellung der Oberhöhe (ho) über dem Alter auf den Versuchsflächen im Bereich des Tertiären Hügellandes. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963), Oberhöhenbonität 40 und 36, eingetragen.

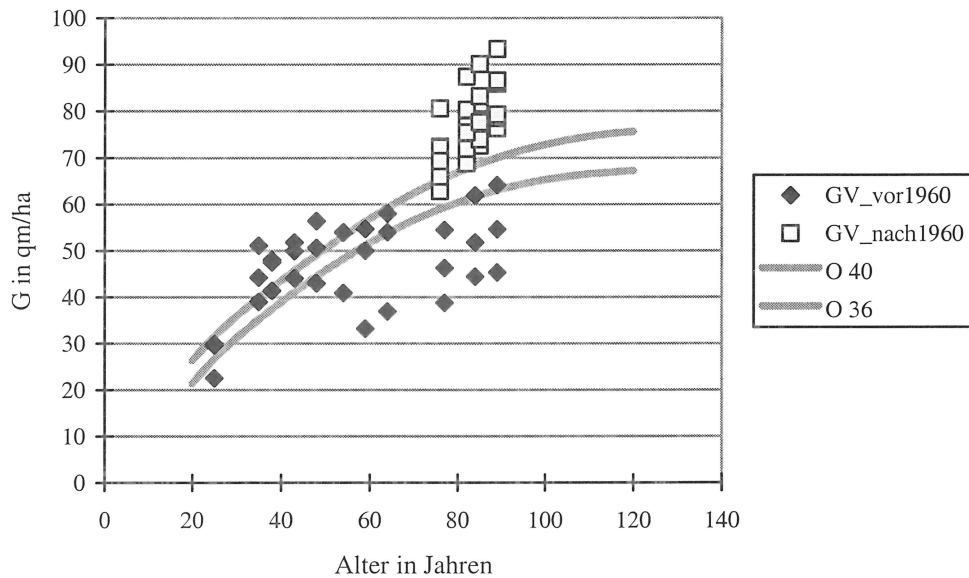


Abb. 6.1-30: Darstellung der Grundfläche des verbleibenden Bestandes (GV) über dem Alter auf den Versuchsflächen im Bereich des Tertiären Hügellandes. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963), Oberhöhenbonität 40 und 36, oberes Ertragsniveau, eingetragen.

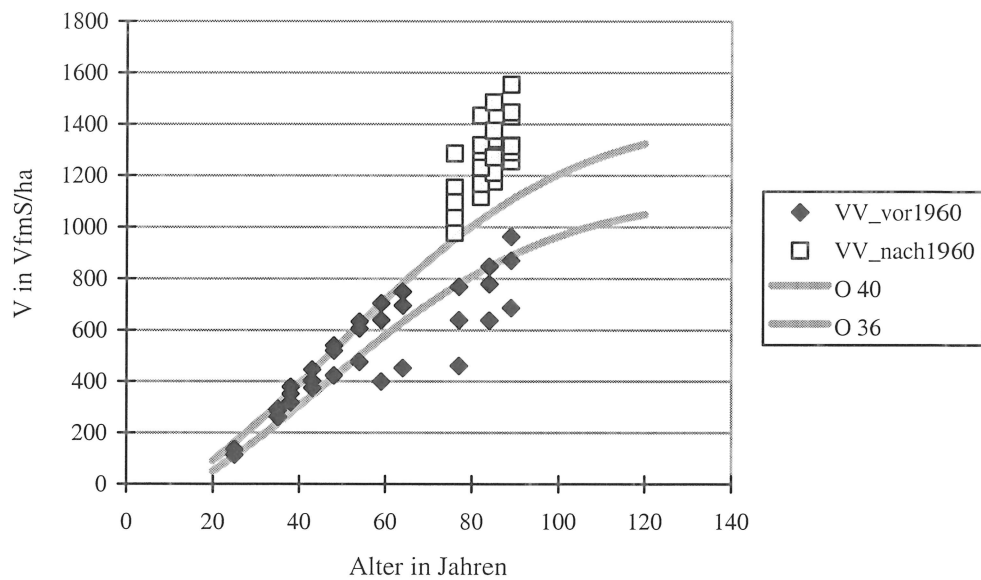


Abb. 6.1-31: Darstellung des Vorrates des verbleibenden Bestandes (VV) über dem Alter auf den Versuchsflächen im Bereich des Tertiären Hügellandes. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963), Oberhöhenbonität 40 und 36, oberes Ertragsniveau, eingetragen.

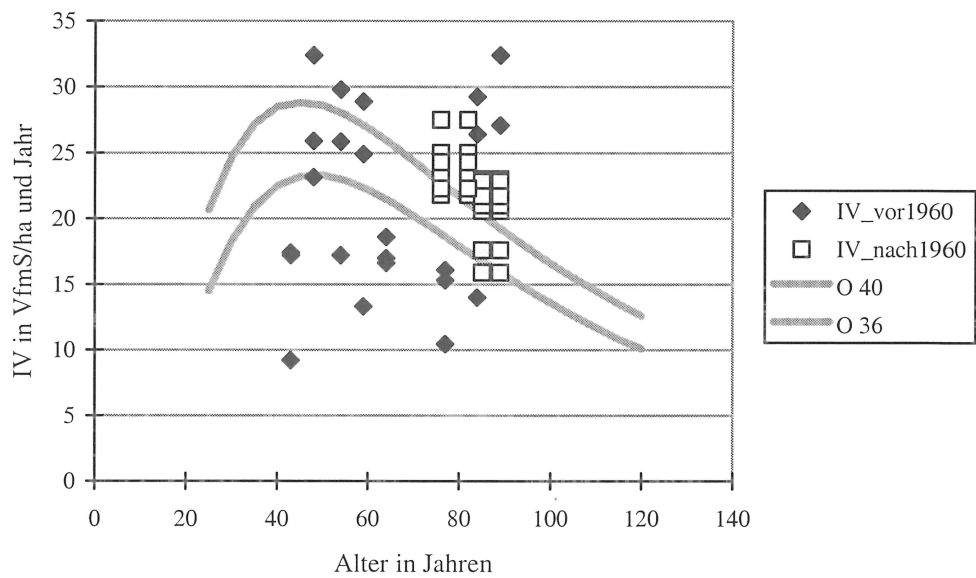


Abb. 6.1-32: Darstellung des laufenden Volumenzuwachses (IV) über dem Alter auf den Versuchsflächen im Bereich des Tertiären Hügellandes. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963), Oberhöhenbonität 40 und 36, oberes Ertragsniveau, eingetragen.

6.1.7 Frankenalb

Aus diesem Gebiet konnten nur drei Versuchsanlagen in die Untersuchung einbezogen werden. Das Altersspektrum bis 40 Jahre wird von zwei nur mit Fichte bestockten Parzellen innerhalb des Douglasien-Provenienzversuches im Köschinger Forst (KOE 95) abgedeckt, das Altersspektrum über 60 Jahre durch eine Versuchsanlage im Bereich des Stadtwaldes Weißenburg (WBU 613) und durch zwei Düngungsversuche in Wallerstein (WAL 206, WAL 207). Bei dem Versuch WBU 613 handelt es sich um einen Durchforstungsversuch, der die Auswirkungen erst sehr spät einsetzender Durchforstung auf das Wachstum der Fichte untersucht. Die beiden Düngungsversuche in Wallerstein (WAL 206, WAL 207) wurden bis 1988 beobachtet und hatten im Jahr 1977 starke Schäden durch Windwurf. Dort wurde das Wachstum von Fichten nach Kalkung mit demjenigen auf unbehandelten Vergleichsparzellen verglichen.

Die Höhenentwicklungen der Versuche sind sehr unterschiedlich (Abb. 6.1-33). Trotz starker Durchforstungseingriffe liegen die Werte für die Oberhöhen in Kösching mit ansteigender Tendenz immer deutlicher über den Vergleichswerten für die Oberhöhenbonität 40. Das Höhenwachstum der älteren Parzellen verläuft entlang der Vergleichslinien für die Oberhöhenbonität 36 bzw. 40.

Das Niveau der Grundflächenhaltung ist durch das Versuchsprogramm und auf den älteren Parzellen durch Windwurfschäden bedingt (Abb. 6.1-34). Nur auf den Versuchsfeldern in Weißenburg sind undurchforstete Nullflächen in das Versuchsprogramm einbezogen. Die Vergleichswerte für die Oberhöhenbonität 36, oberes Ertragsniveau, werden nur von wenigen Parzellen erreicht oder überschritten.

Die Vorratshaltung bietet ein ähnliches Bild (Abb. 6.1-35). Auffällig ist, dass die Parzellen der Versuchsanlage Kösching (Altersspanne 19 bis 39 Jahre) durch ihr starkes Höhenwachstum trotz relativ niedriger Grundflächenwerte in der Volumenleistung das Niveau der Oberhöhenbonität 40 erreichen. In den Beständen sinken die Vorratswerte ab einem Alter von 80 Jahren durch Windwurf deutlich unter das Ertragstafelniveau ab. Werte von 900 VfmS/ha werden nicht überschritten.

Der laufende Volumenzuwachs erreicht trotz der z. T. sehr starken Eingriffe ein hohes Niveau (Abb. 6.1-36). Auf den dichteren Parzellen werden die Zuwachswerte für die Oberhöhenbonität 40, oberes Ertragsniveau, überschritten. Die Verteilung der Punktwolke über der Zeitachse zeigt eine starke Streuung und vor allem in höherem Alter trotz relativ niedriger Vorräte einen anhaltend hohen Zuwachs.

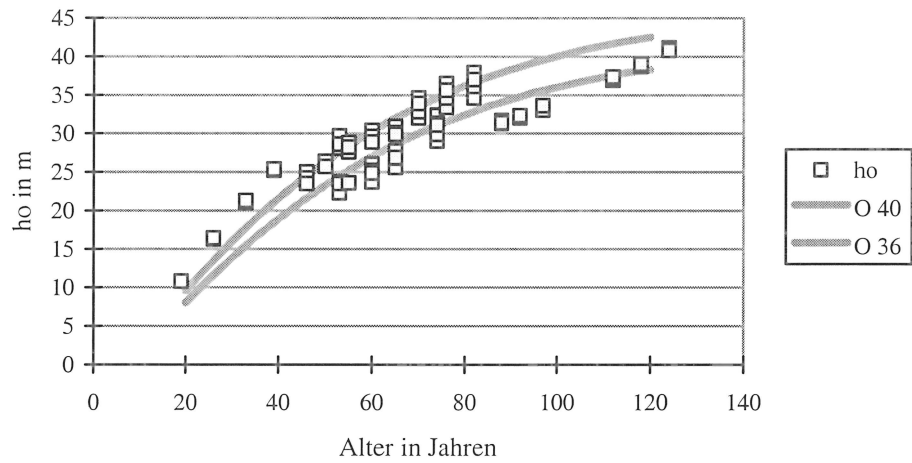


Abb. 6.1-33: Darstellung der Oberhöhe (h_o) über dem Alter auf den Versuchsfeldern im Bereich der Frankenalb. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963), Oberhöhenbonität 40 und 36, eingetragen.

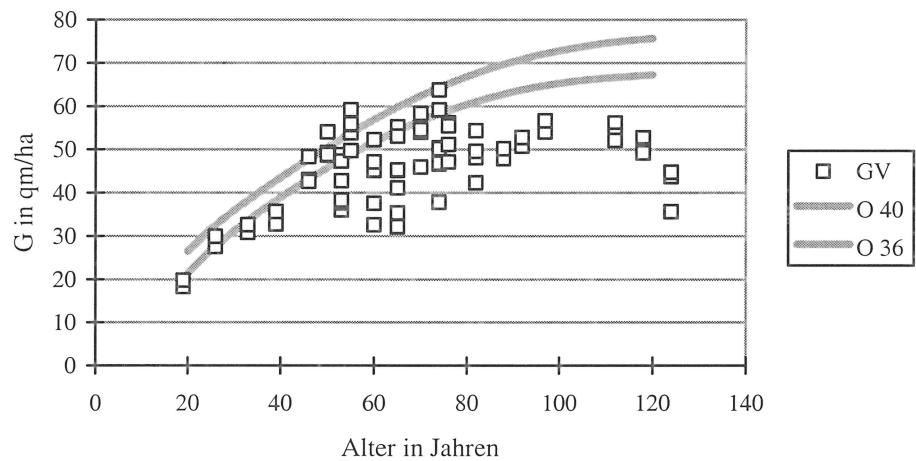


Abb. 6.1-34: Darstellung der Grundfläche des verbleibenden Bestandes (G_V) über dem Alter auf den Versuchsfeldern im Bereich der Frankenalb. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963), Oberhöhenbonität 40 und 36, oberes Ertragsniveau, eingetragen.

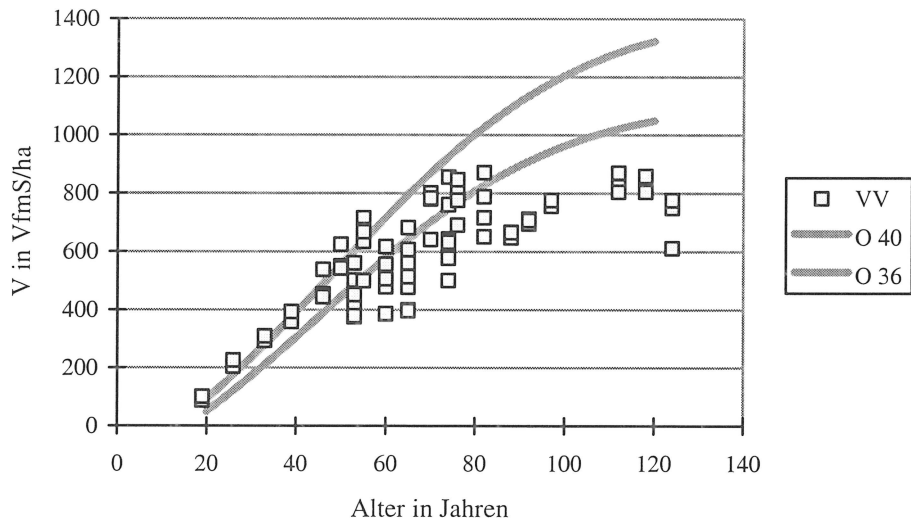


Abb. 6.1-35: Darstellung des Vorrates des verbleibenden Bestandes (VV) über dem Alter auf den Versuchsflächen im Bereich der Frankenalb. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963), Oberhöhenbonität 40 und 36, oberes Ertragsniveau, eingetragen.

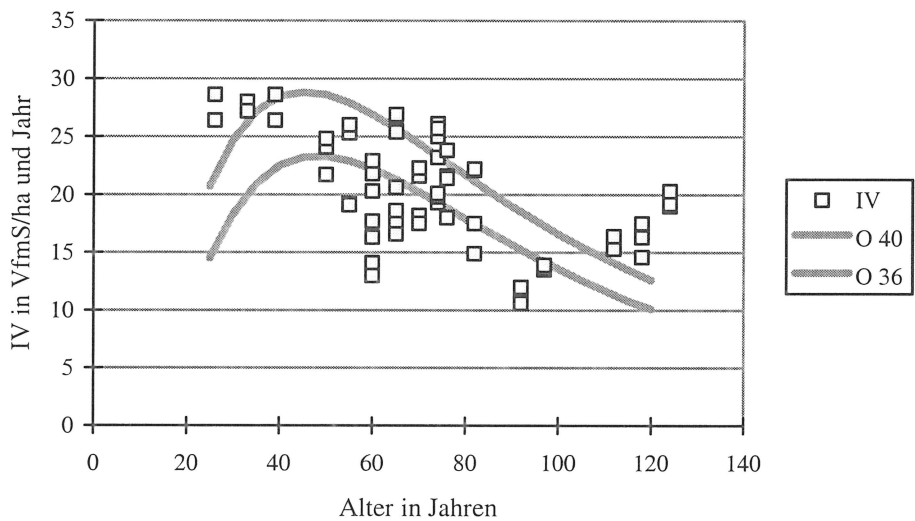


Abb. 6.1-36: Darstellung des laufenden Volumenzuwachses (IV) über dem Alter auf den Versuchsflächen im Bereich der Frankenalb. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963), Oberhöhenbonität 40 und 36, oberes Ertragsniveau, eingetragen.

6.1.8 Fränkischer Keuper

Für dieses Untersuchungsgebiet stehen nur wenige Versuchsflächen für die Auswertung zur Verfügung. Zwei Düngungsversuche im Bereich Feuchtwangen und eine Flächenserie in Gunzenhausen zur Auswirkung von Streusalz auf das Wachstum von Waldbeständen können für diese Untersuchung verwendet werden. Die beiden Düngungsversuche sind durch Windwurfschäden in ihrer Bestandesentwicklung gestört, eine deutliche Auswirkung der Düngung auf den Zuwachs der Bestände kann nicht festgestellt werden. In die Auswertung sind gedüngte und ungedüngte Versuchspartzellen einbezogen.

Die Oberhöhenwerte der Versuchspartzellen liegen zwischen den Werten der Oberhöhenbonitäten 32 und 36 (Abb. 6.1-37). Damit kommt die geringere Wuchskraft der Standorte zum Ausdruck.

Ein Blick auf die Verteilung der Grundflächenwerte über dem Alter (Abb. 6.1-38) zeigt eine sehr große Streuung der Werte. Die Maximalwerte liegen bei 70 qm/ha und die Minimalwerte bei 20 qm/ha. Die für das Gebiet gewählte Tafel von ASSMANN und FRANZ (1963), mittleres Ertragsniveau, deckt das auftretende Wertespektrum relativ gut ab.

Die im Untersuchungsgebiet erreichten Vorratswerte liegen unter günstigen Bedingungen auf dem Niveau der Oberhöhenbonität 36, mittleres Ertragsniveau (Abb. 6.1-39). Die z. T. sehr niedrigen Vorratswerte sind durch Störungen der Bestandesstruktur durch Windwurf verursacht.

Die Höhe des laufenden Volumenzuwachses über dem Alter ist bei den hier untersuchten Flächen deutlich niedriger als in den bisher vorgestellten Regionen. Nur vollbestockte Bestände erreichen laufende Volumenzuwächse die im Bonitätsfächer liegen (Abb. 6.1-40). Insgesamt liegt das Wuchspotential aufgrund der standörtlichen Gegebenheiten auf niedrigem Niveau.

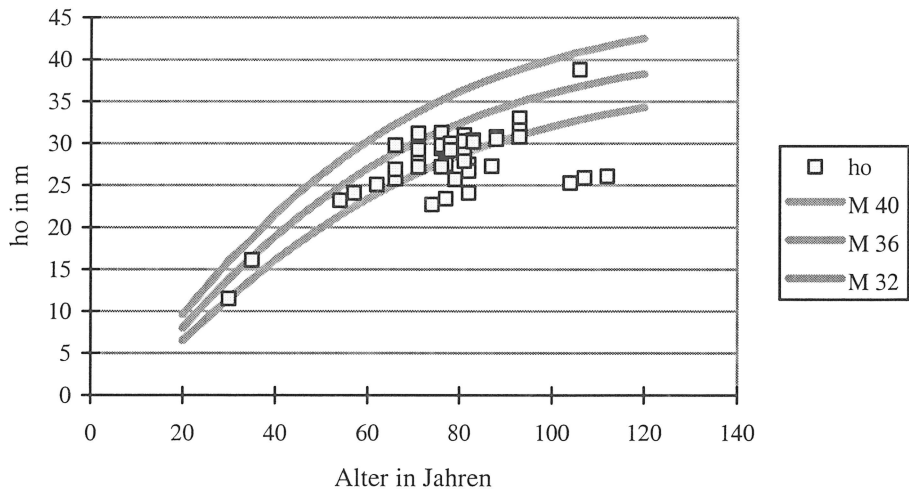


Abb. 6.1-37: Darstellung der Oberhöhe (ho) über dem Alter auf den Versuchsflächen im Fränkischen Keuper. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963), Oberhöhenbonität 40, 36 und 32, eingetragen.

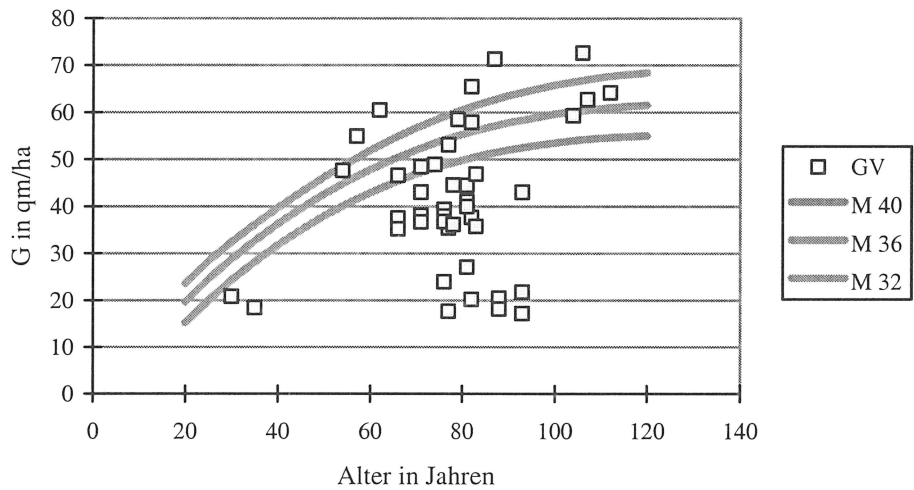


Abb. 6.1-38: Darstellung der Grundfläche des verbleibenden Bestandes (GV) über dem Alter auf den Versuchsflächen im Fränkischen Keuper. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963), Oberhöhenbonität 40, 36 und 32, mittleres Ertragsniveau, eingetragen.

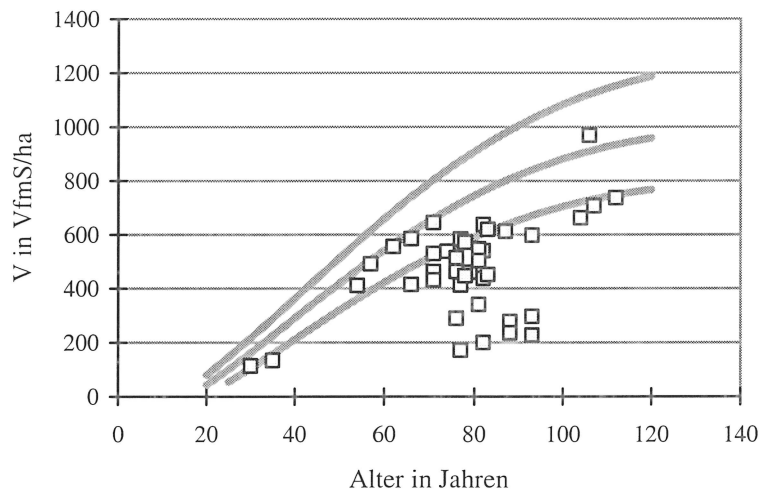


Abb. 6.1-39: Darstellung des Vorrates des verbleibenden Bestandes (VV) über dem Alter auf den Versuchsflächen im Fränkischen Keuper. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963), Oberhöhenbonität 40, 36 und 32, mittleres Ertragsniveau eingetragen.

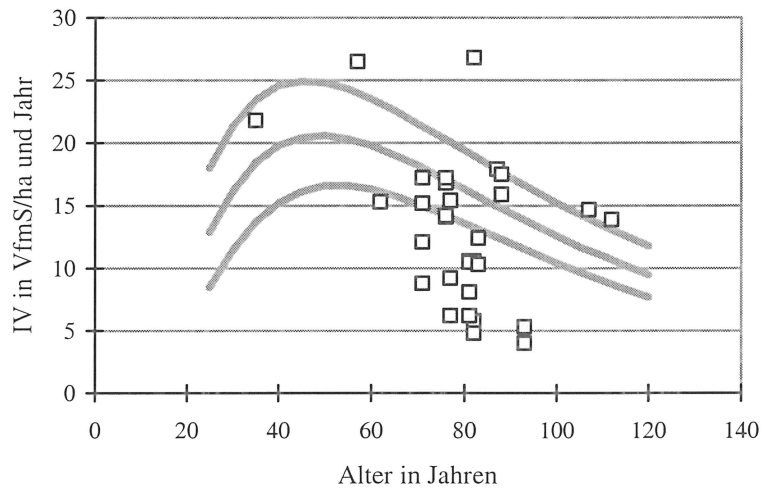


Abb. 6.1-40: Darstellung des laufenden Volumenzuwachses (IV) über dem Alter auf den Versuchsflächen im Fränkischen Keuper. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963), Oberhöhenbonität 40, 36 und 32, mittleres Ertragsniveau eingetragen.

6.1.9 Bayerischer Wald

Die Versuchsflächen im Bayerischen Wald umfassen Durchforstungs-, Mischbestands-, Plenterwald- und Naturwaldversuche. Diese eher strukturreichen Waldbestände zeigen ein hohes Flächendurchschnittsalter. Es ist allerdings zu beachten, dass der Altersbezug bei diesen Bestandesformen problematisch und ein Vergleich mit den Werten der Ertragstafel nur eingeschränkt möglich ist. Diese Versuche wurden trotzdem in die Betrachtung mit einbezogen, um die Wuchsrelationen im Untersuchungsgebiet auch für diese Waldaufbauformen verdeutlichen zu können.

Bei der Betrachtung der Mittelhöhe der Parzellen fällt eine Zweiteilung des Flächenmaterials auf (Abb. 6.1-41). Parzellen mit sehr guter Höhenwuchsleistung im Alter bis 100 Jahre liegen deutlich über den Erwartungswerten der Bonität I.0 nach der Ertragstafel von GUTTENBERG (1915). Dabei handelt es sich um geschlossene Hochwaldbestände. Die älteren Parzellen haben deutlich niedrigere Mittelhöhen. Dies liegt zum einen daran, dass einige Flächen in Verjüngung stehen und bereits ein Teil der herrschenden Bäume entnommen wurde. Zum anderen sind Flächen in die Auswertung einbezogen, die eine Plenterstruktur aufweisen. In strukturreichen Wäldern ist die Mittelhöhe durch die zahlreichen jungen Bäume, die in die Berechnung mit eingehen, niedriger als bei vergleichbaren einschichtigen Beständen.

Die Grundflächenwerte auf den jüngeren Parzellen streuen stark in Abhängigkeit von der Bestandesbehandlung (Abb. 6.1-42). Im Alter von 100 Jahren können Maximalwerte von 60 qm/ha Grundfläche erreicht werden. Die Grundflächenhaltung auf den Plenterwald- und Naturwaldversuchen liegen im gesamten Beobachtungszeitraum dagegen nur im Bereich zwischen 30 und 40 qm/ha.

Durch die sehr gute Höhenentwicklung haben die Flächen mit hohen Grundflächenwerten im Vergleich zur Ertragstafel relativ hohe Vorräte im verbleibenden Bestand (Abb. 6.1-43). Dichte Parzellen erreichen ab dem Alter von 90 Jahren nahezu 1 000 VfmS/ha. Die Plenterwald- und Naturwaldversuche liegen mit Vorratswerten zwischen 300 und 500 VfmS/ha deutlich niedriger. Die Plenterwälder lassen sich durch die Höhe der Vorratshaltung als vorratsgut bis vorratsreich einstufen (MAYER, 1980).

Der laufende Volumenzuwachs (Abb. 6.1-44) liegt für die jüngeren Bestände erwartungsgemäß deutlich über dem Niveau der Ertragstafel von GUTTENBERG (1915). Spitzenwerte zwischen 20 und 25 VfmS/ha und Jahr werden auch noch in der Altersphase zwischen 60 und 90 Jahren erreicht. Auf den Plenterwald- und Naturwaldversuchen bleibt die Höhe des laufenden Volumenzuwachses im Bereich von 10 VfmS/ha und Jahr.

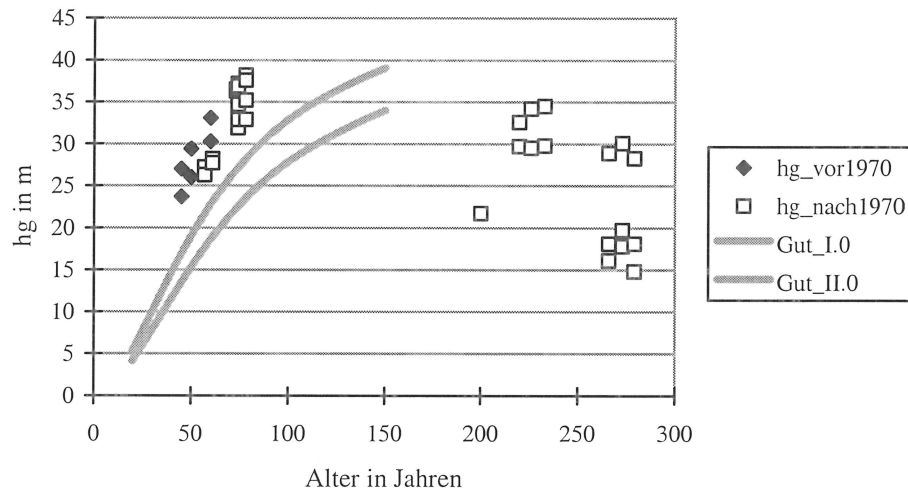


Abb. 6.1-41: Darstellung der Mittelhöhe (hg) über dem Alter auf den Versuchsflächen im Bereich des Bayerischen Waldes. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von GUTTENBERG (1915), Bonität I.0 und II.0, eingetragen.

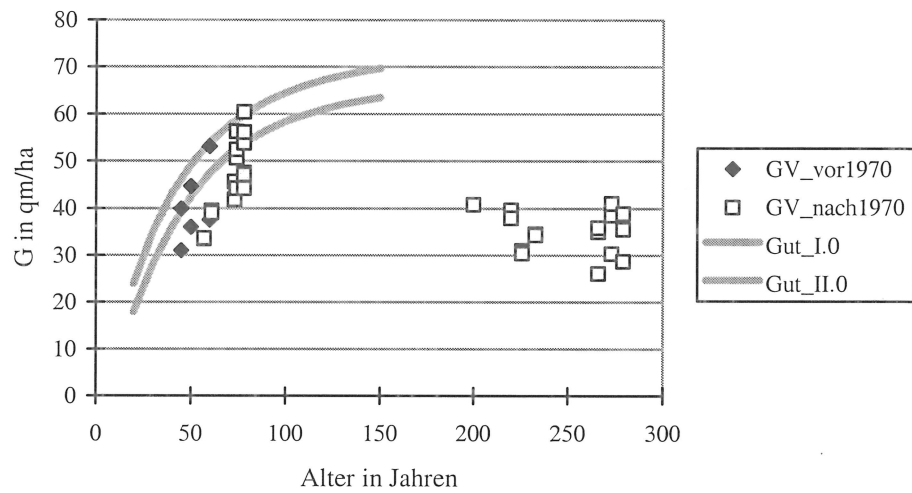


Abb. 6.1-42: Darstellung der Grundfläche des verbleibenden Bestandes (GV) über dem Alter auf den Versuchsflächen im Bereich des Bayerischen Waldes. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von GUTTENBERG (1915), Bonität I.0 und II.0, eingetragen.

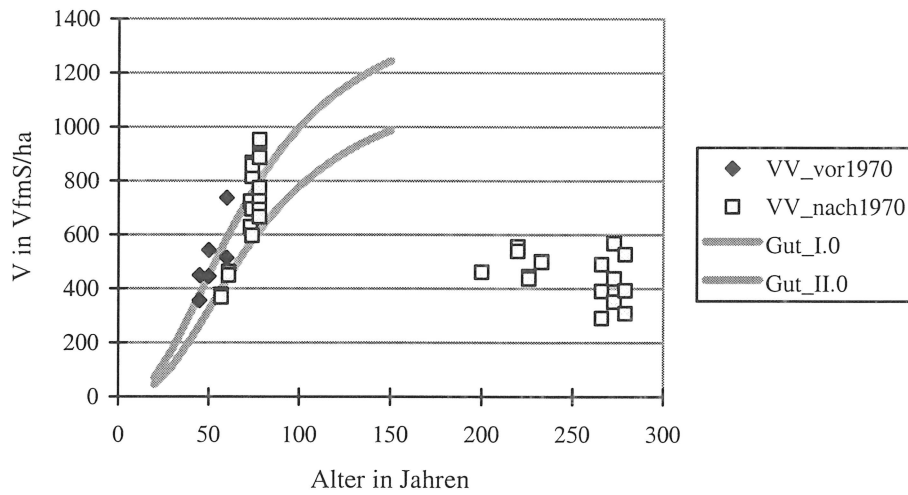


Abb. 6.1-43: Darstellung des Vorrates des verbleibenden Bestandes (VV) über dem Alter auf den Versuchsflächen im Bereich des Bayerischen Waldes. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von GUTTENBERG (1915), Bonität I.0 und II.0 eingetragen.

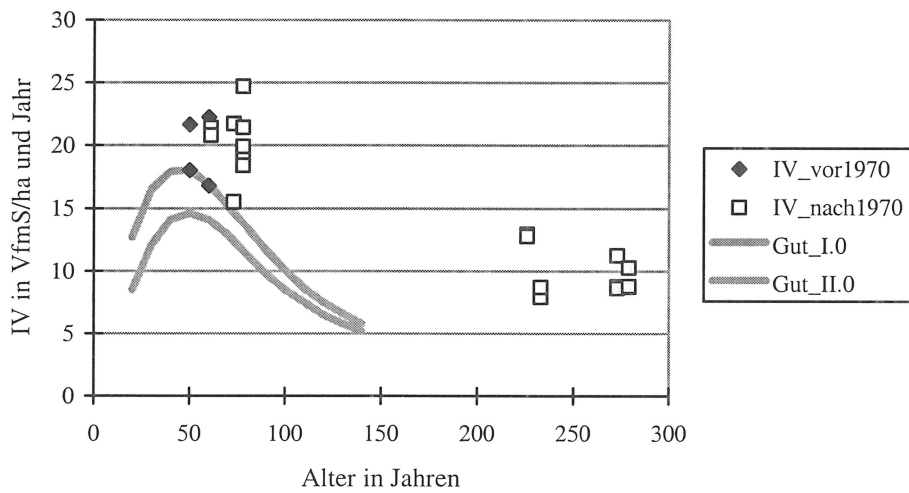


Abb. 6.1-44: Darstellung des laufenden Volumenzuwachses (IV) über dem Alter auf den Versuchsflächen im Bereich des Bayerischen Waldes. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von GUTTENBERG (1915), Bonität I.0 und II.0, eingetragen.

6.1.10 Fichtelgebirge und Mitterteich

In Nordostbayern gibt es in Mitterteich eine langfristige Versuchsfläche zum Wachstum von Fichte und Buche im Rein- und Mischbestand (MIT 101), eine Serie von Parzellen im Einflussbereich einer Trinkwasserentnahmestelle (WES 316) und Fichten-Düngungsversuche im Fichtelgebirge. Die Flächen im Fichtelgebirge (Versuche 245 bis 254) wurden gemeinsam mit der Forstdirektion Oberfranken bis zum Jahr 1986 betreut und in der Folgezeit aufgegeben. Nur der Düngungsversuch Fichtelberg 227 steht bis in die Gegenwart noch unter Beobachtung. Eine zusammenfassende Auswertung am Lehrstuhl für Waldwachstumskunde zeigte, dass eine Zuwachsreaktion der Bestände auf die Düngung gering bis gar nicht ausgeprägt war (UTSCHIG, 1989b). Die Flächen waren gekennzeichnet durch hohe Nadelverluste und starke Kronenschäden durch Schneebruch. Im Unterschied zur bisherigen Betrachtungsweise werden auf Abbildung 6.1-45 bis 6.1-48 die Parzellen mit Düngung und ohne Düngung durch getrennte Signaturen dargestellt.

Bei der Betrachtung der Mittelhöhe fällt eine Dreigliederung des Datenmaterials auf: Flächen mit sehr guter, Flächen mit mittlerer und Flächen mit geringer Höhenwuchsleistungen sind im Versuchsflächenmaterial enthalten (Abb. 6.1-45). Das Streuband der Mittelhöhe über dem Alter zeigt einen ertragstafelgemäßen Alterstrend.

Die Grundflächenwerte auf den Parzellen liegen für die drei Flächengruppen relativ eng im Bereich zwischen 30 und 40 qm/ha zusammen (Abb. 6.1-46). Mit zunehmendem Alter ist eine Tendenz zur Abnahme der Grundfläche zu erkennen.

Die Vorratshaltung kann nach den drei Flächengruppen differenziert werden (Abb. 6.1-47). Die jüngeren Bestände mit guter Höhenwuchsleistung erreichen z. T. das Niveau der II.0 Bonität der Ertragstafel von GUTTENBERG (1915). Im Alter von 80 Jahren liegen dann die Vorratswerte bei 600 VfmS/ha. Insgesamt ist auf vielen Parzellen die Vorratshaltung sehr niedrig, die Werte schwanken zwischen 200 und 400 VfmS/ha und Jahr. Die Bestände sind durch Schneebruchschäden, Windwürfe und durch starke Entnadelungserscheinungen gekennzeichnet.

Trotz dieser geringen Vorratshaltung ist das durchschnittliche Zuwachsniveau auf den Parzellen beachtlich (Abb. 6.1-48). Mit einer starken Streuung liegen die Werte für den laufenden Volumenzuwachs zwischen 8 und 12 VfmS/ha und Jahr. Die Gruppe mit geringer Höhenwuchsleistung zeigt in hohem Alter nur noch geringe Zuwachsleistungen zwischen 0,5 und 6 VfmS/ha und Jahr. Eine deutliche Überlegenheit der gedüngten Parzellen gegenüber den ungedüngten Vergleichsparzellen ist nicht erkennbar.

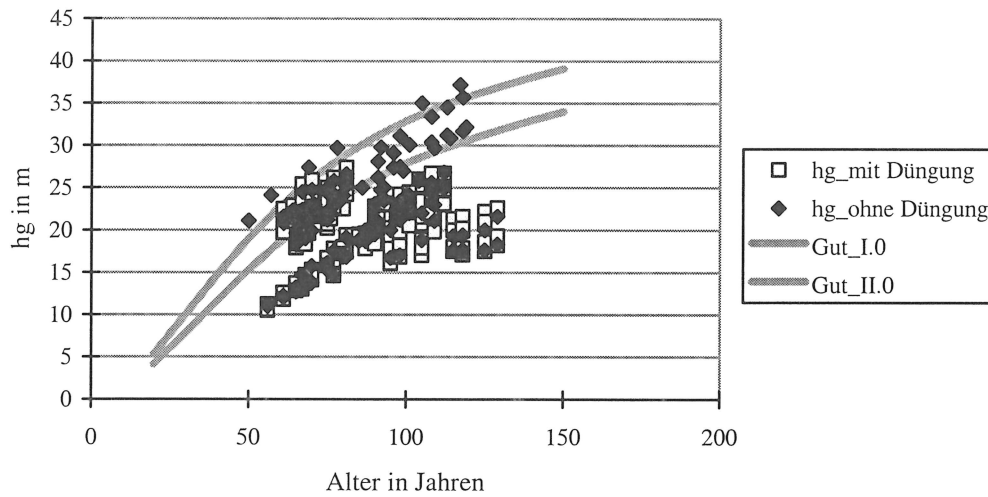


Abb. 6.1-45: Darstellung der Mittelhöhe (hg) über dem Alter auf den Versuchsflächen im Bereich des Fichtelgebirges. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von GUTTENBERG (1915), Bonität I.0 und II.0, eingetragen.

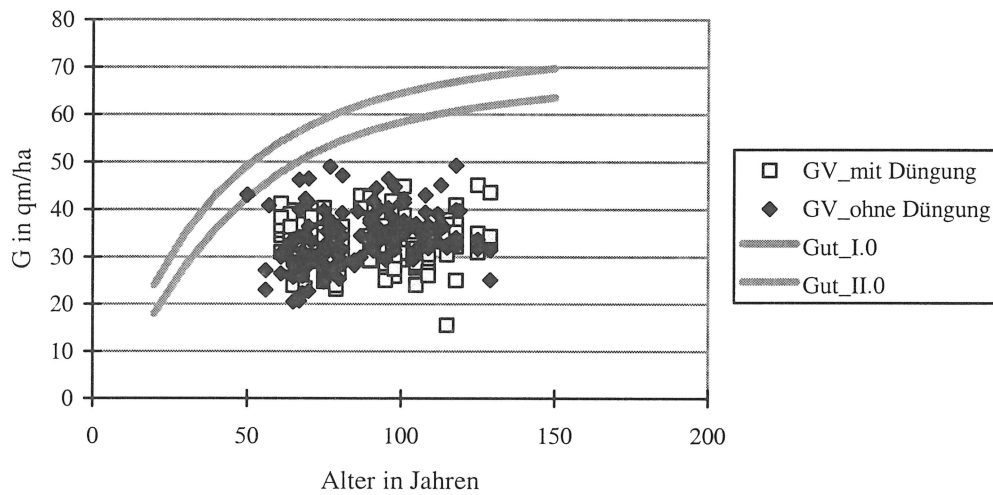


Abb. 6.1-46: Darstellung der Grundfläche des verbleibenden Bestandes (GV) über dem Alter auf den Versuchsflächen im Bereich des Fichtelgebirges. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von GUTTENBERG (1915), Bonität I.0 und II.0, eingetragen.

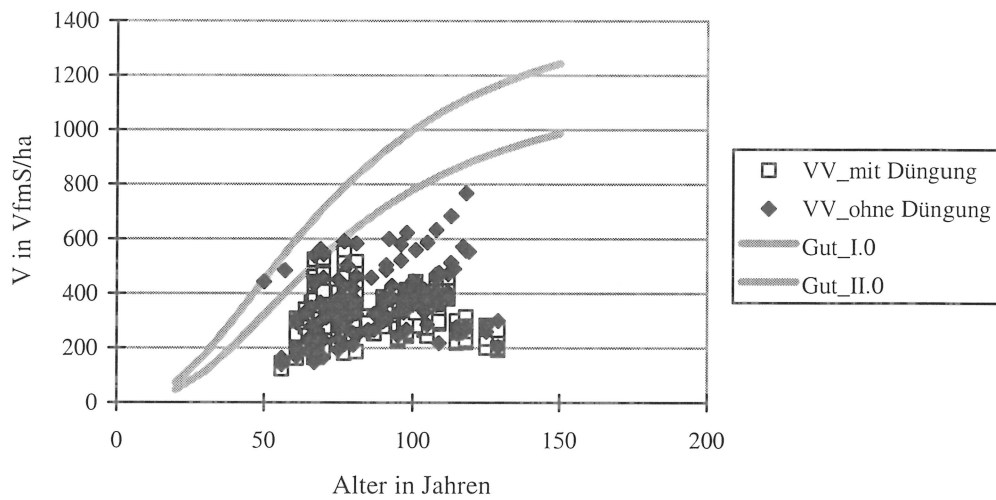


Abb. 6.1-47: Darstellung des Vorrates des verbleibenden Bestandes (VV) über dem Alter auf den Versuchsflächen im Bereich des Fichtelgebirges. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von GUTTENBERG (1915), Bonität I.0 und II.0, eingetragen.

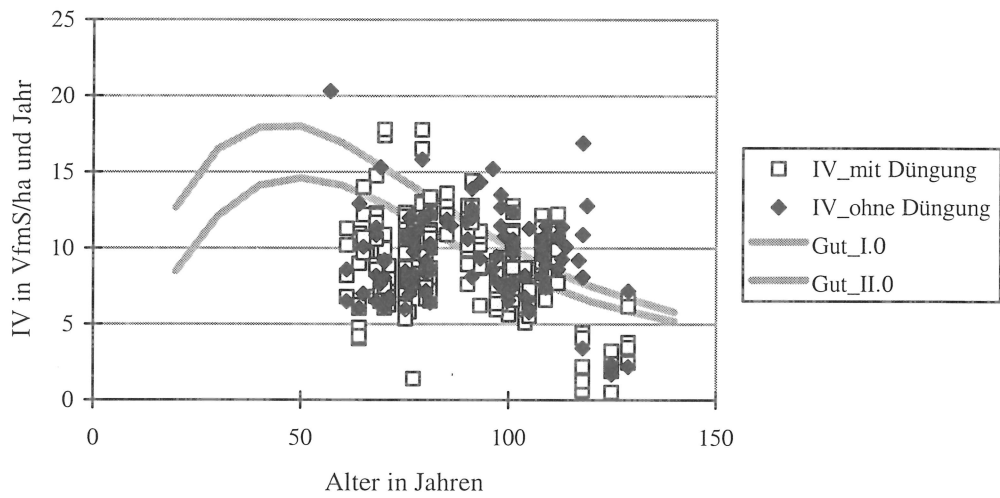


Abb. 6.1-48: Darstellung des laufenden Volumenzuwachses (IV) über dem Alter auf den Versuchsflächen im Bereich des Fichtelgebirges. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von GUTTENBERG (1915), Bonität I.0 und II.0, eingetragen.

6.2 Auswertung der Daten aus Wuchsreihen

Diese in Kapitel 5.2 näher vorgestellten Wuchsreihen wurden in die Auswertung der Wachstumstrends der Fichte in Bayern einbezogen, weil damit ganz aktuelle Informationen zum Fichtenwachstum in Bayern auf einer breiten Flächenbasis, i. d. R. über das gesamte Altersspektrum, vorliegen. Die Werte für Grundfläche und Vorrat sind durch die jeweilige Baumartenmischung auf den Parzellen überprägt. Die Höhenentwicklung dagegen zeigt die Leistungsfähigkeit der Fichte auf dem jeweiligen Standort. Die Flächen sind bisher einmal ertragskundlich aufgenommen. Die Herleitung der Wuchsdynamik erfolgte über die Auswertung von Bohrspanproben. Mit dieser Methode wird der jährliche Grundflächenzuwachs genau erfasst, die Höhenentwicklung muss dagegen im Anhalt an Ertragstafelwerte (vgl. Kap. 6.3) zurückgerechnet werden. Die Auswertungen für den laufenden Volumenzuwachs sollen zeigen, in welchem Maße das Leistungsvermögen der Bestände durch die Mischung mit Buche unter das Niveau vergleichbarer Reinbestände absinkt. Im Text und auf den Abbildungen ist immer der laufende jährliche Volumenzuwachses des Gesamtbestandes angegeben.

6.2.1 Die Wuchsreihe Kreuth 824

Bei der Wuchsreihe in Kreuth handelt es sich um eine 0,92 ha große Fläche in einem Fichten-Tannen-Buchen-Mischbestand. Sie deckt einen Altersrahmen von 20 Jahren (Naturverjüngung) bis 250 Jahren (Altbestand) ab. Der Bestandesvorrat beträgt 276 VfmD/ha.

Die Bestandesmittelhöhe der Fichte liegt im Betrachtungszeitraum bei 24 m (Abb. 6.2-1). Wegen des hohen Durchschnittsalters ist in diesem Bestand eine Einordnung in den Bonitätsfächer von GUTTENBERG (1915) nicht möglich, da er nicht über das Alter von 150 Jahren hinausreicht. Durchschnittsalter und Mittelhöhe sind nur in einschichtigen Beständen gute Weisergrößen für die Leistungsfähigkeit einer Baumart. Die Oberhöhe auf der Fläche wurde mit 33,6 m bestimmt. Dieser Wert zeigt eher, dass die Wuchsreihe auf einem Standort mittlerer Wuchskraft stockt.

Der Blick auf den laufenden Volumenzuwachs der Fläche Kreuth 824 bestätigt diesen Eindruck (Abb. 6.2-2). Er lag in den letzten 30 Jahren zwischen 6 und 8 VfmD/ha und Jahr. Die Tendenz im laufenden Volumenzuwachs ist eher ansteigend. Vergleichswerte aus Ertragstafeln liegen für das relativ hohe Flächendurchschnittsalter nicht vor. Die Ertragstafel von GUTTENBERG (1915) prognostiziert bei Bonität I.0 für das Alter 140 Jahre einen laufenden Volumenzuwachs von 5,8 VfmD/ha und Jahr. Der Vergleich mit den tatsächlichen Wuchsleistungen zeigt, dass sich dieser gemischte, strukturreiche Bestand in einer sehr produktiven Entwicklungsphase befindet.

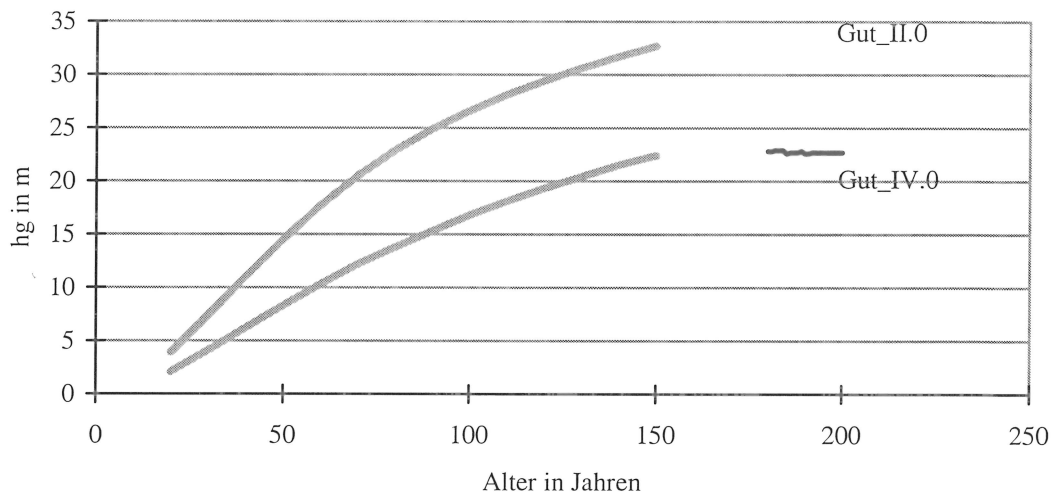


Abb. 6.2-1: Darstellung der Mittelhöhe (hg) über dem Alter auf der Wuchsreihe Kreuth 824. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von GUTTENBERG (1915), Bonität II.0 und IV.0, eingetragen.

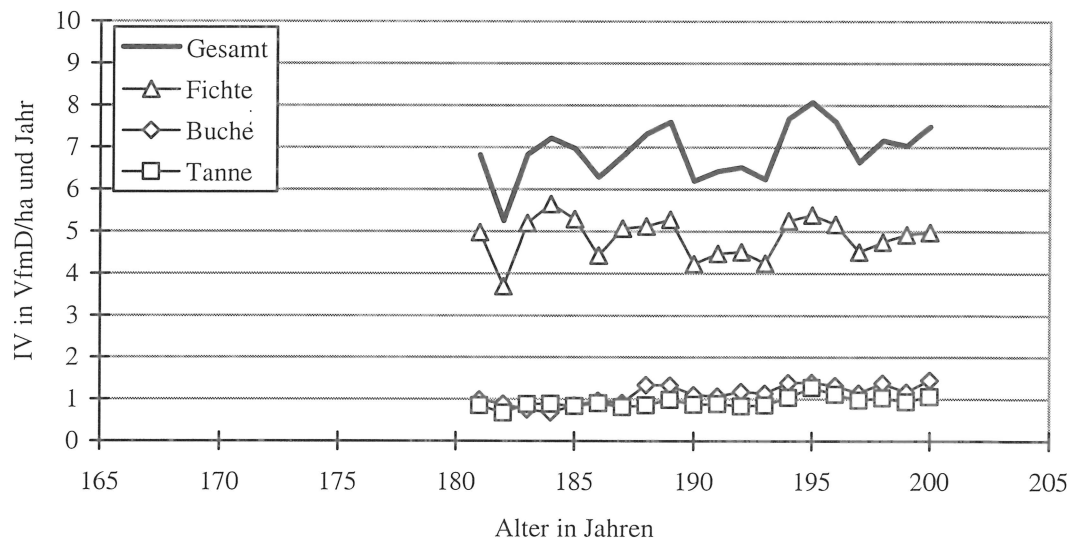


Abb. 6.2-2: Darstellung des laufenden jährlichen Volumenzuwachses (IV) über dem Alter auf der Wuchsreihe Kreuth 824.

6.2.2 Die Wuchsreihe Schongau 814

Bei der Versuchsanlage Schongau 814 handelt es sich um eine Wuchsreihe aus Fichten-Buchen-Mischbeständen. Sie umfasst 8 Parzellen, die einen Altersrahmen von 45 bis 110 Jahren abdecken. Die Mischungsanteile und die Mischungsformen von Fichte und Buche variieren in einem weiten Rahmen. Die Bestandesvorräte reichen von 401 bis 1 151 VfmD/ha. Die Versuchsanlage erfolgte im Jahr 1991.

Abbildung 6.2-3 zeigt die Entwicklung der Mittelhöhen. Die Altbestände erreichen Mittelhöhenwerte im Bereich der Oberhöhenbonität 36 bis 40 der Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963). In den jüngeren Beständen schwankt die Höhenentwicklung innerhalb des eingezeichneten Bonitätsrahmens von O 32 bis O 40. Die retrospektive Höhenentwicklung der Parzellen wurde im Anhalt an die Ertragstafel ca. 30 Jahre zurückgerechnet. Die Wachstumskurven schneiden die Bonitätslinien nicht.

Auf Abbildung 6.2-4 ist der aus der Bohrspanauswertung berechnete laufende jährliche Volumenzuwachs für den Gesamtbestand aus Fichte und Buche dargestellt. Die Werte für den laufenden Volumenzuwachs liegen im Bereich des Ertragstafelfächers. Im Alter zwischen 50 und 90 Jahren liegt der laufende Volumenzuwachs über 20 VfmD/ha und Jahr. Trotz einer Beteiligung von Buche mit 20 bis 40 % erreicht der Gesamtbestand Zuwachswerte, wie sie nach ASSMANN und FRANZ (1963) für Fichtenreinbestände bei oberem Ertragsniveau zu erwarten sind. Der laufende jährliche Volumenzuwachs auf der Wuchsreihe liegt besser im

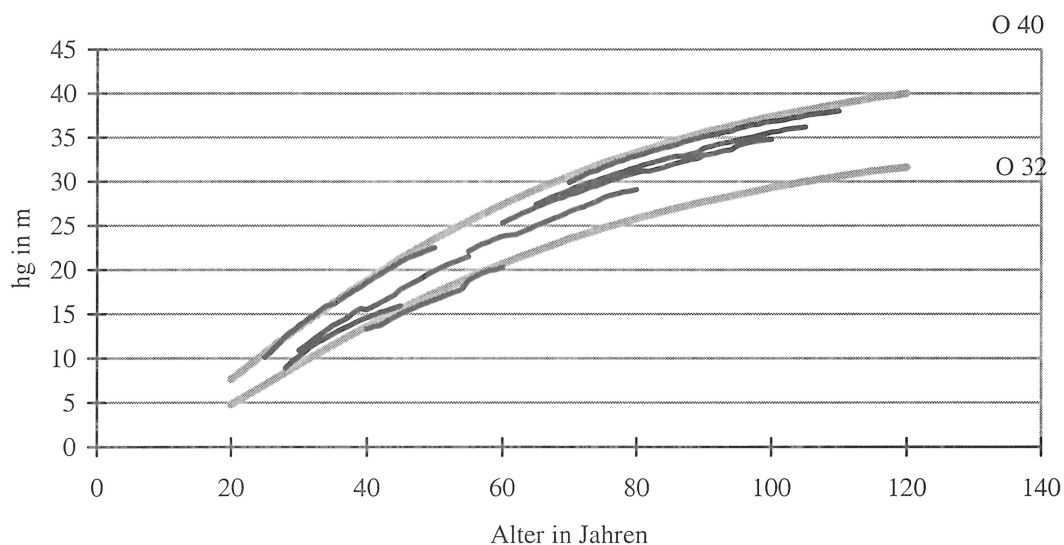


Abb. 6.2-3: Darstellung der Mittelhöhe (hg) über dem Alter auf der Wuchsreihe Schongau 814. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963), Oberhöhenbonität 40 und 32, eingetragen.

Ertragstafelfächer als es die Ergebnisse aus den Versuchsflächen hätten erwarten lassen (vgl. Abb. 6.1-13). Dies liegt im Wesentlichen daran, dass für die Herleitung des Volumenzuwachses ertragstafelgemäße Höhenzuwächse unterstellt werden.

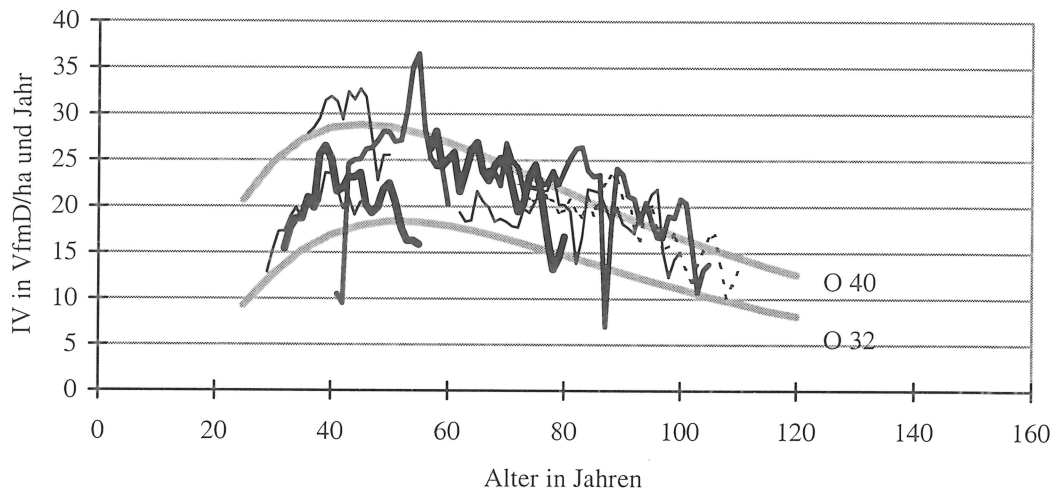


Abb. 6.2-4: Darstellung des laufenden Volumenzuwachses (IV) über dem Alter auf der Wuchsreihe Schongau 814. Die einzelnen Parzellen sind durch unterschiedliche Strichstärke oder andere Signaturen gekennzeichnet. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963), Oberhöhenbonität 40 und 32, oberes Ertragsniveau, eingetragen.

6.2.3 Die Wuchsreihe Freising 813

Die Wuchsreihe Freising 813 besteht aus 6 Parzellen, die einen Altersrahmen von 33 bis 121 Jahren abdecken. Die Bestandesvorräte reichen von 218 bis 866 VfmD/ha.

Im Vergleich zur Wuchsreihe 814 in Schongau liegen die Mittelhöhenwerte in Freising für die Parzellen (Abb. 6.2-5) etwas niedriger, auf dem Niveau der Oberhöhenbonität 36 der Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963). Nur die Parzelle 1 liegt in ihrer Oberhöhenentwicklung deutlich darüber. Gut zum Ausdruck kommt auch die Tatsache, dass auf gleichem Standort ältere Bestände häufig eine etwas schlechtere Bonität aufweisen als jüngere Bestände.

Obwohl die Oberhöhenbonität in den Beständen bei O 36 liegt, fallen die Werte für den laufenden jährlichen Volumenzuwachs in den über 80-jährigen Beständen in den Bereich der Vergleichswerte für die Oberhöhenbonität 40, oberes Ertragsniveau. Sie liegen in diesem Zeitraum noch zwischen 10 und 15 VfmD/ha und Jahr (Abb. 6.2-6). Der laufende jährliche Volumenzuwachs bewegt sich bei den jüngeren Beständen innerhalb der Rahmenwerte der Oberhöhenbonitäten 32 und 40, oberes Ertragsniveau.

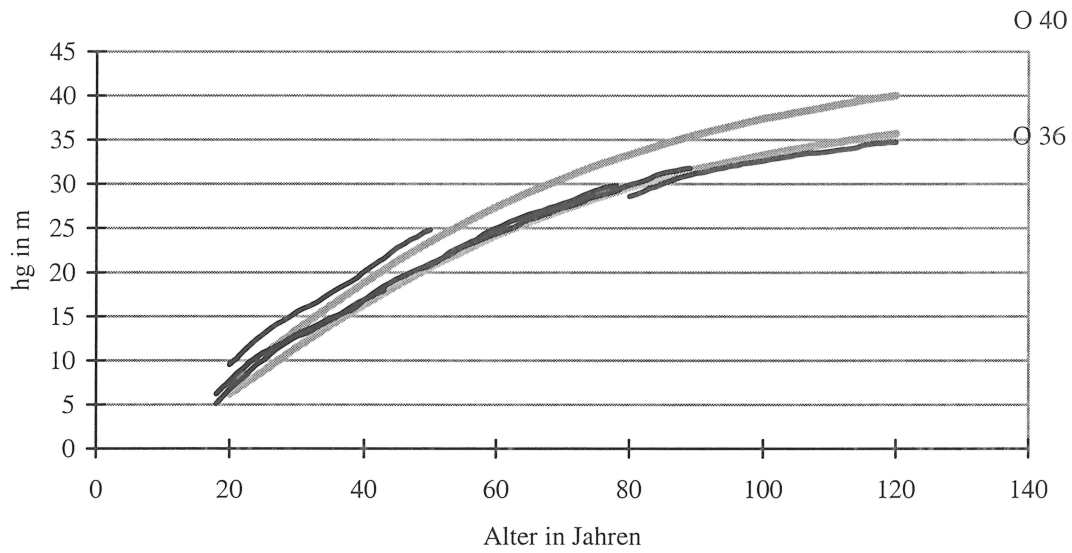


Abb. 6.2-5: Darstellung der Mittelhöhe (hg) über dem Alter auf der Wuchsreihe Freising 813. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963), Oberhöhenbonität 40 und 36, eingetragen.

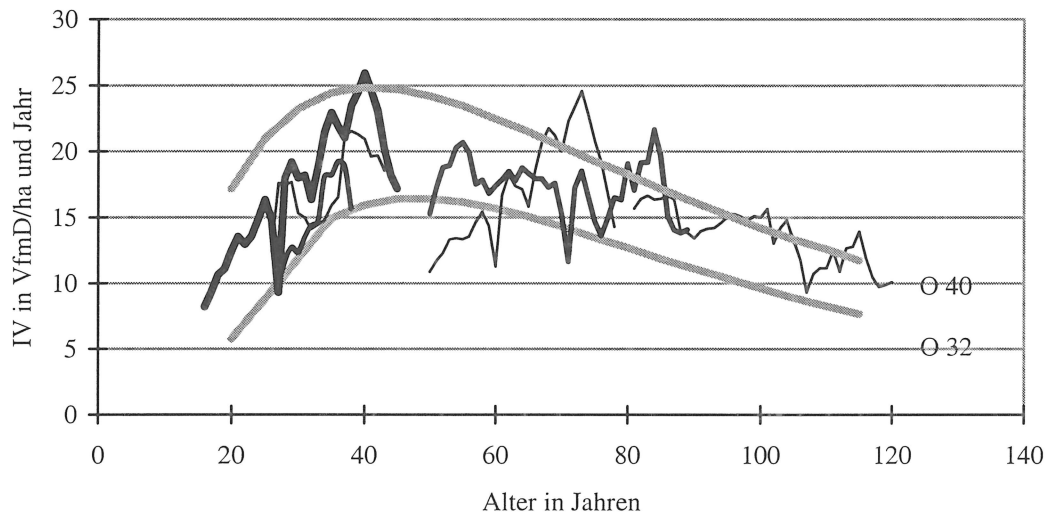


Abb. 6.2-6: Darstellung des laufenden Volumenzuwachses (IV) über dem Alter auf der Wuchsreihe Freising 813. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963), Oberhöhenbonität 40 und 32, oberes Ertragsniveau, eingetragen.

6.2.4 Die Wuchsreihe Bodenmais 821

Bei der Versuchsanlage Bodenmais 821 handelt es sich um eine Wuchsreihe aus Fichten-Tannen-Buchen-Mischbeständen auf Gneisböden des Bayerischen Waldes. Die Wuchsreihe umfasst 5 Parzellen, die bei der Flächenanlage im Jahr 1995 einen Altersrahmen von 43 bis 180 Jahren aufwies. Die Bestandesvorräte reichen von 406 bis 672 VfmD/ha.

Mit Ausnahme der ältesten Parzelle haben alle Parzellen der Wuchsreihe Bodenmais 821 Mittelhöhen, die oberhalb der Vergleichslinie für die Bonität I.0 der Ertragstafel von GUTTENBERG (1915) liegen (Abb. 6.2-7). Die jüngsten Parzellen liegen am deutlichsten über der Bonität I.0. Die Wuchsreihe stockt auf einem relativ günstigen Standort; die Bestandesmittelhöhe erreicht Werte von 35 bis 37 m.

Alle Bestände der Wuchsreihe 821 zeigen in ihren Zuwachskurven einen zweigipfligen Verlauf (Abb. 6.2-8). Zunächst steigen die Zuwächse moderat an, sinken dann auf ein lokales Minimum ab, um dann wieder sprunghaft anzusteigen. Im ältesten Bestand ist ein ganz deutlicher Zuwachsanstieg in den letzten 10 bis 15 Jahren festzustellen. Insgesamt erreicht das Zuwachsniveau des Mischbestandes die Vergleichswerte der gewählten Ertragstafel für einen vollbestockten Reinbestand. Die Maximalwerte für den laufenden Volumenzuwachs liegen bei 18 VfmD/ha und Jahr. In Altbeständen finden sich Minimalwerte von 3 VfmD/ha und Jahr.

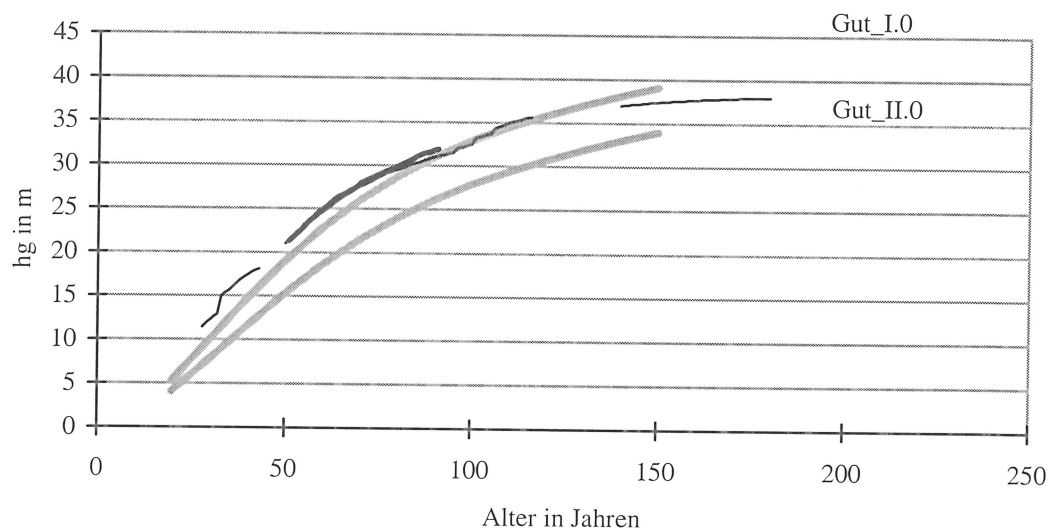
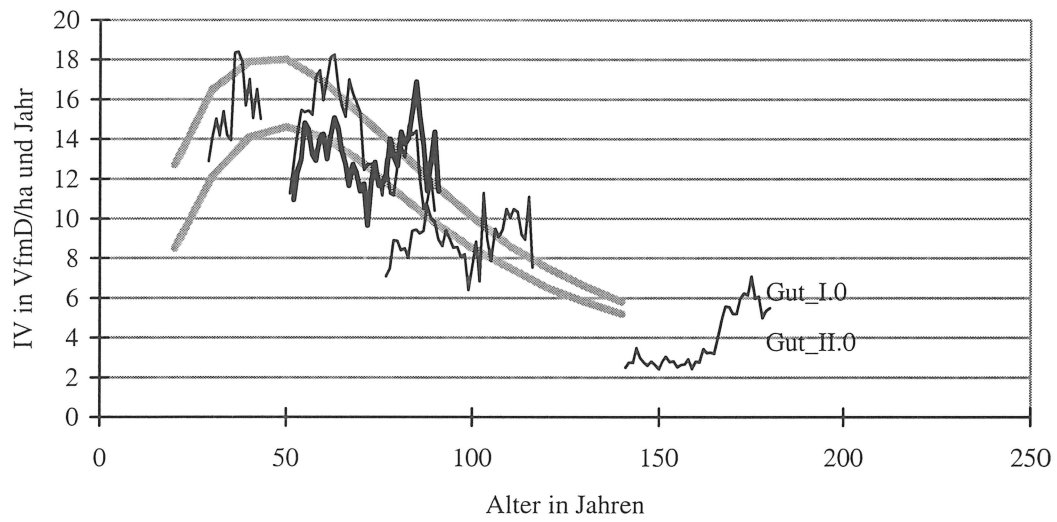


Abb. 6.2-7: Darstellung der Mittelhöhe (hg) über dem Alter auf der Wuchsreihe Bodenmais 821. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von GUTTENBERG (1915) Bonität I.0 und II.0, eingetragen.



Abs. 6.2-8: Darstellung des laufenden Volumenzuwachses (IV) über dem Alter auf der Wuchreihe Bodenmais 821. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von GUTTENBERG (1915), Bonität I.0 und II.0, eingetragen.

6.3 Auswertung von Bohrspanproben aus Probeflächen

Will man bei einer einmaligen oder erstmaligen Aufnahme bereits Aussagen über den Zuwachs von Waldbeständen machen, ist die Zuwachsermittlung aus Bohrspänen ein probates Mittel (ASSMANN, 1955). In diese Auswertung wurden nur Daten von Bohrspanmessungen aus Probeflächen einbezogen, die im Rahmen von anderen Projekten (vgl. Kap. 5.3) bereits am Lehrstuhl für Waldwachstumskunde ausgewertet wurden.

Bei der Auswertung von Bohrspänen wird der Durchmesserzuwachs relativ genau erfasst (SMALTSCHINSKI, 1986). Mit dem am Lehrstuhl entwickelten Programm WWBOHR kann die Grundflächen- und Volumenzuwachsentwicklung für Einzelbäume und Bestände errechnet werden. WWBOHR berechnet dabei den Höhenzuwachs proportional zum Durchmesserzuwachs oder, wie hier verwendet, wird die Höhenentwicklung im Anhalt an Ertragstafelwerte zurückgerechnet. Bei der Auswertung wird darauf geachtet, dass der Höhenzuwachs plausibel zurückgerechnet wird, denn eine Überschätzung des Höhenzuwachses ergibt zu große laufende Volumenzuwächse. Daher zeigen die Darstellungen für die Mittelhöhe über dem Alter bei dieser Auswertung immer einen ertragstafelgemäßen Verlauf. Dieses Verfahren ist durchaus problematisch, bleiben dabei doch die Änderungen im Höhenwachstumsgang unberücksichtigt. Andererseits eröffnet sich durch die Einbeziehung dieses Datenmaterials die Möglichkeit großräumig Existenzspektren zum Wachstum der Fichte in Bayern aufzuzeigen. Ergeben die Auswertungen dennoch Abweichungen vom erwarteten Zuwachsverlauf, so liegen die Gründe dafür jedenfalls nicht in einer Überschätzung der Höhenwuchsleistung sondern bei anderen Faktoren.

Wenn die Bohrspanmethode auch Zuwachsergebnisse über einen Zeitraum von 30 bis 40 Jahren richtig wiedergeben will, müssen anfallende Vornutzungen berücksichtigt werden. Dies geschieht durch eine Stockinventur auf den Probeflächen. Zunächst werden dabei die Stöcke in Zerfallsstufen eingeteilt und anschließend zu Durchforstungszeitpunkten zusammengefasst. In einem weiteren Schritt werden die Stöcke in ihrer Größe vermessen, so dass daraus die Grundfläche des ausscheidenden Bestandes abgeleitet werden kann. Das Ergebnis der Stockinventur wird in das Programm WWBOHR eingesteuert. Dieses Vorgehen ermöglicht die Abschätzung einer realitätsnahen Stammzahl- und Grundflächenentwicklung über dem gesamten Untersuchungszeitraum. Werden nicht alle Stöcke von weiter zurückliegenden Durchforstungen erfasst, so wird der weiter zurückliegende Zuwachs tendenziell unterschätzt.

Bei der Anlage der hier berücksichtigten Probeflächen wurde darauf geachtet, dass in den letzten fünf Jahren keine Eingriffe in den Beständen stattgefunden haben. Deshalb sind die ermittelten Grundflächen- und Vorratswerte zum Aufnahmezeitpunkt in der Regel höher als die Vergleichswerte der Ertragstafel für den verbleibenden Bestand.

Neben der Erfassung der Zuwächse des Einzelbaumes ist bei der Herleitung von ertragskundlichen Kenngrößen der Flächenbezug von besonderer Bedeutung. Wird z. B. definiert, dass eine Probefläche aus 20 Bäumen bestehen soll, so ist die Bestimmung der entsprechenden Bestandesfläche für die flächenbezogenen Ergebnisse von besonderer Bedeutung. Die Probeflächengrößen liegen häufig zwischen 300 und 500 qm, es ergeben sich Hochrechnungsfaktoren auf Hektarwerte von 33,3 bis 20. Das bedeutet, dass eine geringe Unter- oder Überschätzung der Bezugsfläche eine große Auswirkung auf die flächenbezogenen Ergebnisse hat.

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt für die jeweiligen Probeflächen in Jahresschritten. So lassen sich aus der dichten Aufeinanderfolge der Messwerte auch kurzfristige Entwicklungstendenzen ablesen. Die Rückrechnung der Bestandesdaten erfolgt für einen Zeitraum von 15 bis 35 Jahren.

6.3.1 Bayerische Alpen

Das Bonitätsspektrum der in die Untersuchung einbezogenen Probeflächen zeigt Abbildung 6.3-1. Das gesamte Bonitäts- und Altersspektrum der Ertragstafel von GUTTENBERG (1915) wird erfasst. Deutlich ist die Orientierung der Höhenrückrechnung an der Ertragstafel erkennbar.

Die Grundflächenwerte (Abb. 6.3-2) über dem Alter streuen in einem weiten Rahmen. Es fällt auf, dass die Grundflächen im Beobachtungszeitraum auf vielen Flächen sehr steil ansteigen. Nur auf wenigen Parzellen werden Werte von 80 qm/ha überschritten. Der überwiegende Teil der Flächen hat Grundflächenwerte im Wertebereich der Ertragstafel von GUTTENBERG (1915).

Ein großer Teil der Bestände hat Vorratswerte (Abb. 6.3-3) über dem Alter, die im Bereich der II.0 Ertragsklasse liegen. Insgesamt zeigen die Messreihen einen über dem Alter relativ steil ansteigenden Verlauf auf allen Bonitätsstufen. Auf einigen Parzellen werden Spitzenwerte über 1 000 VfmD/ha und Jahr erreicht. Viele Bestände mit einem Alter über 100 Jahren haben stehende Vorräte von 800 bis 1 000 VfmD/ha.

Haben sich die Zustandsgrößen Höhe, Grundfläche und Volumen im Wuchsgebiet 15 (Bayerische Alpen) immer im Wertebereich des Bonitätsfächers bewegt, so ist bei der Betrachtung des laufenden Zuwachses auf Abbildung 6.3-4 eine deutliche Abweichung zu erkennen. Der dichteste Wertebereich der Punktwolke liegt auf dem Niveau der I.0 Bonität. Zahlreiche Werte liegen auch noch deutlich darüber. Häufig treten laufende Volumenzuwächse zwischen 20 und 30 VfmD/ha und Jahr auf. Nur in hohem Alter sinkt der Zuwachs auf einzelnen Flächen unter die Grenze von 5 VfmD/ha und Jahr ab. Im Vergleich zur Ertragstafel von GUTTENBERG (1915) scheint der laufende Volumenzuwachs auf deutlich höherem Niveau

in späterem Alter zu kulminieren. Der Abfall des Zuwachses ab einem Alter von 100 Jahren ist besonders deutlich. Ab dem Alter 150 Jahre deutet sich ein Einschwenken der Zuwachswerte im Bereich zwischen 5 und 10 VfmD/ha und Jahr an.

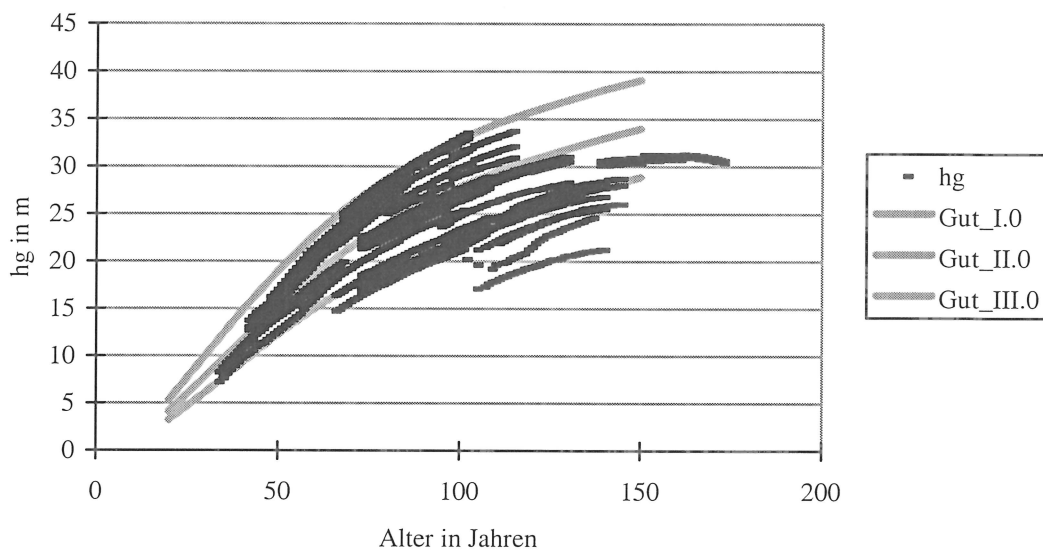


Abb. 6.3-1: Darstellung der Mittelhöhe (hg) über dem Altere auf den Versuchsflächen im Bereich Bayerische Alpen (WG 15). Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von GUTTENBERG (1915) Bonität I.0 bis III.0, eingetragen.

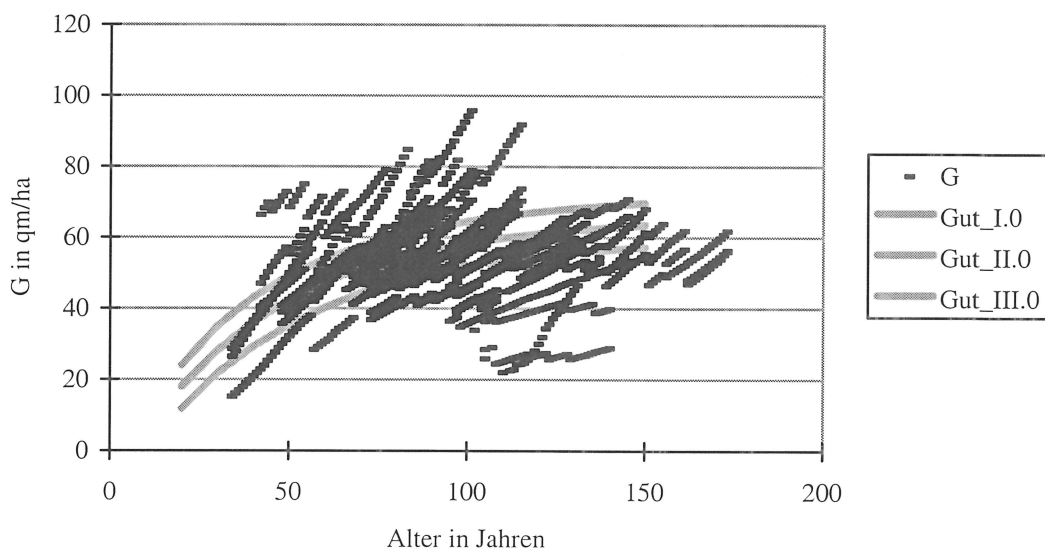


Abb. 6.3-2: Darstellung der Grundfläche (G) über dem Alter auf den Versuchsflächen im Bereich Bayerische Alpen (WG 15). Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von GUTTENBERG (1915), Bonität I.0 bis III.0, eingetragen.

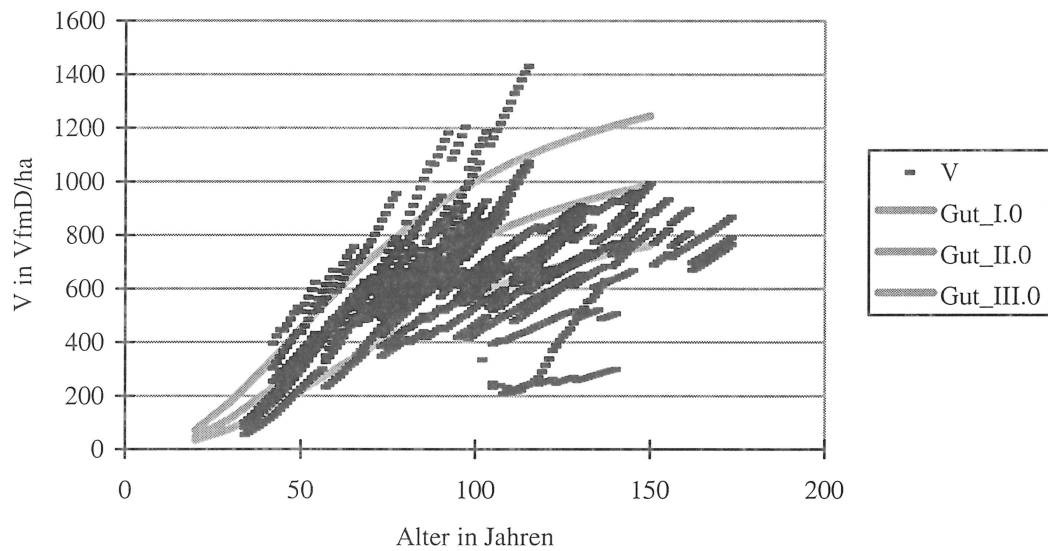


Abb. 6.3-3: Darstellung des Vorrates (V) über dem Alter auf den Versuchsflächen im Bereich Bayerische Alpen (WG 15). Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von GUTTENBERG (1915), Bonität I.0 bis III.0, eingetragen.

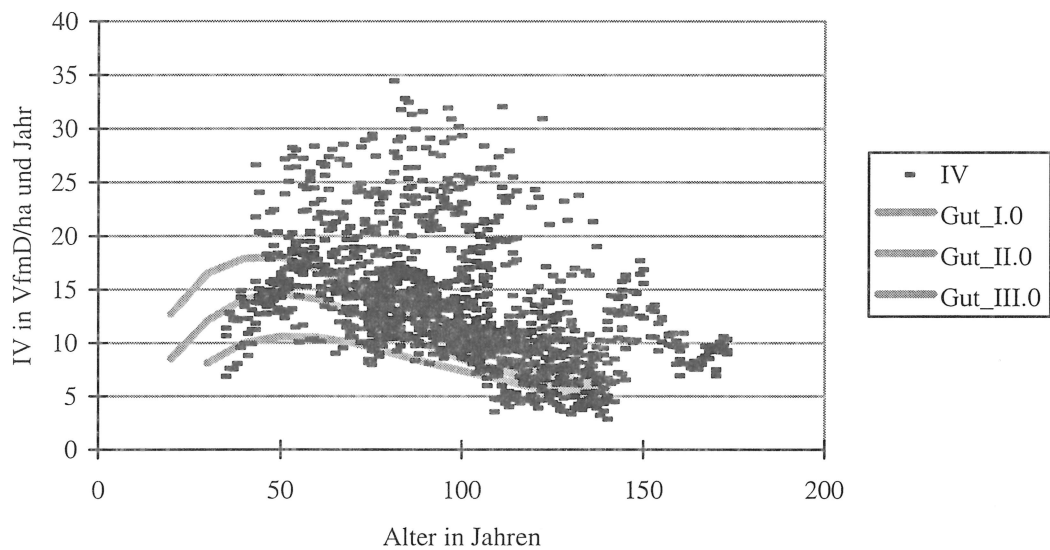


Abb. 6.3-4: Darstellung des laufenden Volumenzuwachses (IV) über dem Alter auf den Versuchsflächen im Bereich Bayerische Alpen (WG 15). Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von GUTTENBERG (1915), Bonität I.0 bis III.0, eingetragen.

6.3.2 Schwaben und Oberbayern

Die Ergebnisse von Versuchsflächen in Südbayern ohne Berücksichtigung des Hochgebirges zeigen die folgenden Ausführungen. Es liegen sehr viele Probeflächen für dieses Untersuchungsgebiet vor.

Abbildung 6.3-5 zeigt das Alters- und Oberhöhenpektrum der ausgewerteten Versuchsflächen. Spitzenstandorte mit Oberhöhenbonitäten über O 40 sind genauso enthalten, wie Parzellen mit Oberhöhenbonitäten unter O 32. Die dichteste Belegung mit Werten ist im Bereich zwischen den Oberhöhenbonitäten O 40 und O 36. Auffällig sind die sehr hohen Werte für die Mittelhöhe in den jüngsten Beständen. Diese Werte wurden auf Probeflächen im Stadtwald Augsburg und im Stadtwald Traunstein gemessen.

Die Grundflächenentwicklung auf den Probeflächen (Abb. 6.3-6) unterstreicht die hohe Grundflächenhaltung der Bestände in Südbayern, sie erreichen Spitzenwerte von 90 qm/ha. Sehr viele Flächen haben eine Grundflächenhaltung, die über dem oberen Ertragsniveau der Oberhöhenbonität 40 liegt. Vor allem die sehr jungen Flächen zeigen einen bemerkenswerten Anstieg der Grundfläche auf Werte zwischen 40 und 60 qm/ha im Alter zwischen 20 und 30 Jahren.

Auf den Probeflächen stehen beachtliche Holzvorräte (Abb. 6.3-7), die Spitzenwerte von 1 400 VfmD/ha im Alter zwischen 60 und 80 Jahren erreichen. Viele Bestände in dieser Altersphase haben Vorratswerte zwischen 800 und 1 000 VfmD/ha. Die Vergleichswerte für das obere Ertragsniveau werden deutlich übertroffen. Die Untergrenze der Vorrathaltung liegt im Wertebereich für die Oberhöhenbonität 30.

Dass die Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963) für Bestände in Südbayern nach wie vor eine gewisse Gültigkeit besitzt ist auf Abbildung 6.3-8 zu erkennen. Die berechneten Zuwächse liegen im Bereich des Ertragstafelfächers oder bis zu 30 % darüber. Der Altersverlauf und die Lage des Kulminationspunktes des laufenden Zuwachses stimmen überein. Die maximale Höhe der Zuwächse wird durch die Tafel nicht erfasst. Eine Vergleichslinie für die Oberhöhenbonität 44 würde das Datenfeld im oberen Bereich schneiden. Bemerkenswert ist, dass zwischen dem Alter von 40 und 80 Jahren sehr hohe laufende Volumenzuwächse von 20 bis 35 VfmD/ha und Jahr geleistet werden. Außerdem deutet sich an, dass der laufende Volumenzuwachs in hohem Alter nicht so deutlich absinkt, wie es die Ertragstafel vorsieht.

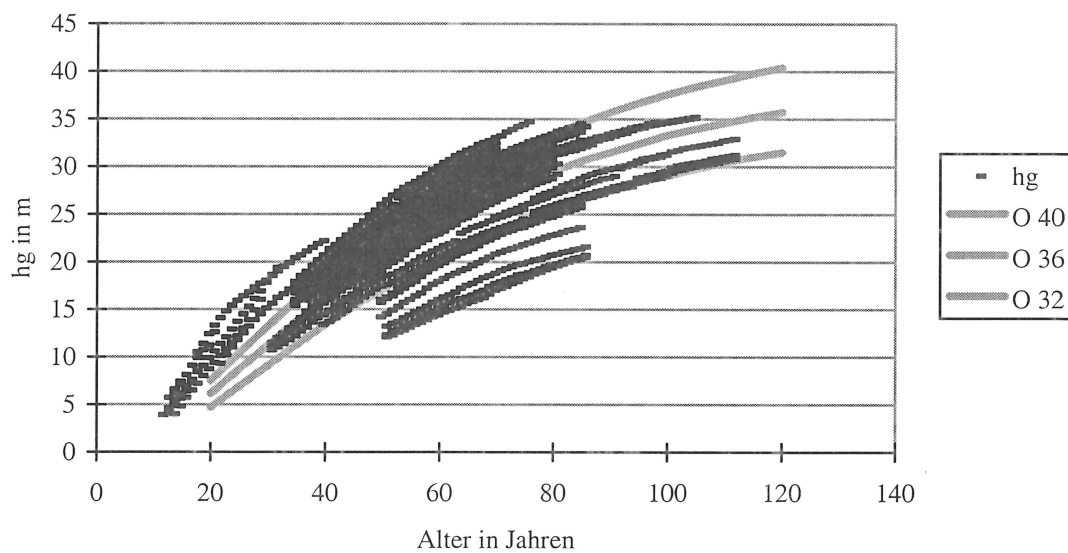


Abb. 6.3-5: Darstellung der Mittelhöhe (hg) über dem Alter auf den Versuchsfächen in den Wuchsgebieten 12, 13 und 14. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963), Oberhöhenbonität 40, 36 und 32, eingetragen.

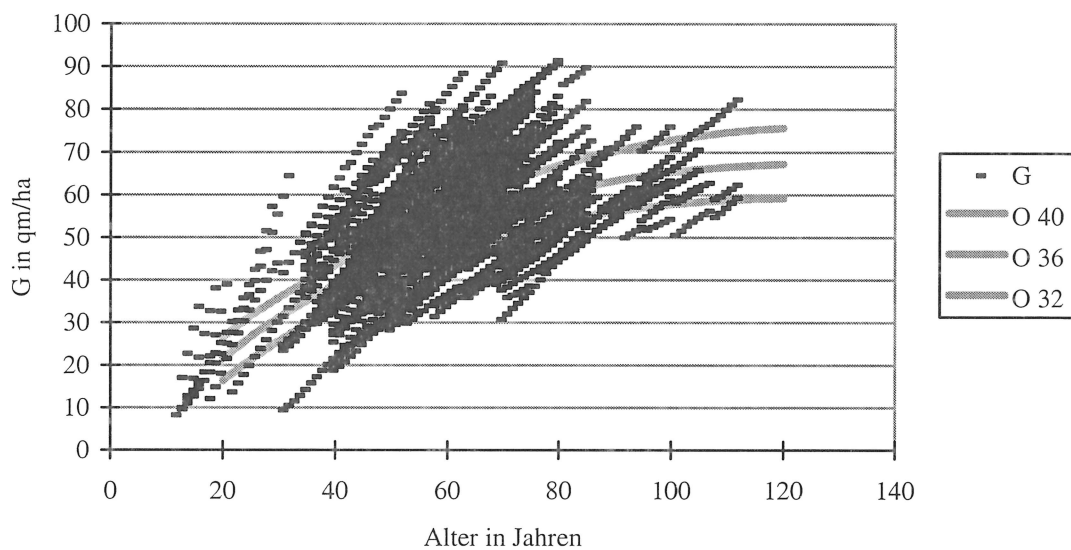


Abb. 6.3-6: Darstellung der Grundfläche (G) über dem Alter auf den Versuchsfächen in den Wuchsgebieten 12, 13 und 14. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963), Oberhöhenbonität 40, 36 und 32, oberes Ertragsniveau, eingetragen.

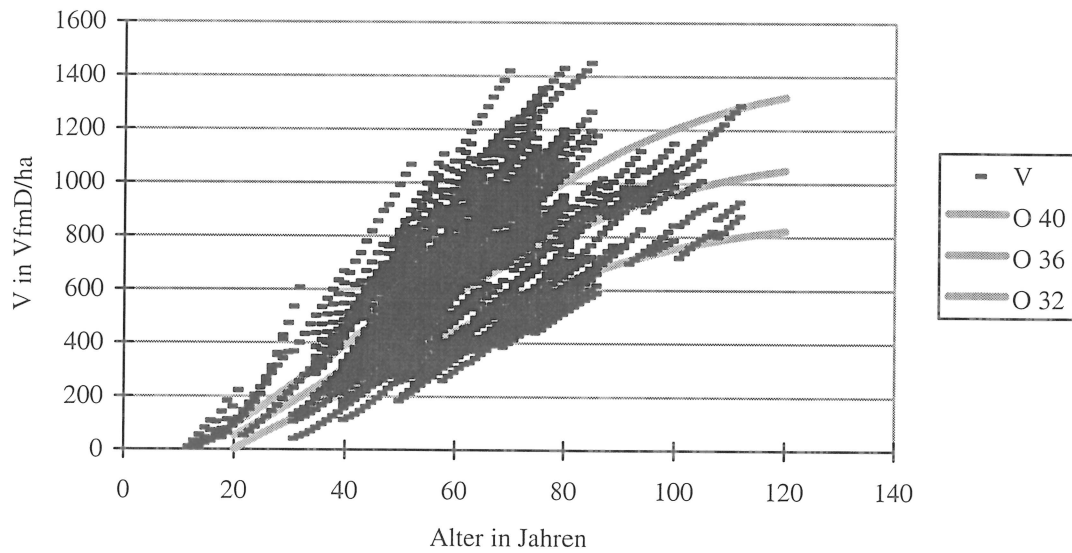


Abb. 6.3-7: Darstellung des Vorrates (V) über dem Alter auf den Versuchsflächen in den Wuchsgebieten 12, 13 und 14. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963), Oberhöhenbonität 40, 36 und 32, oberes Ertragsniveau, eingetragen.

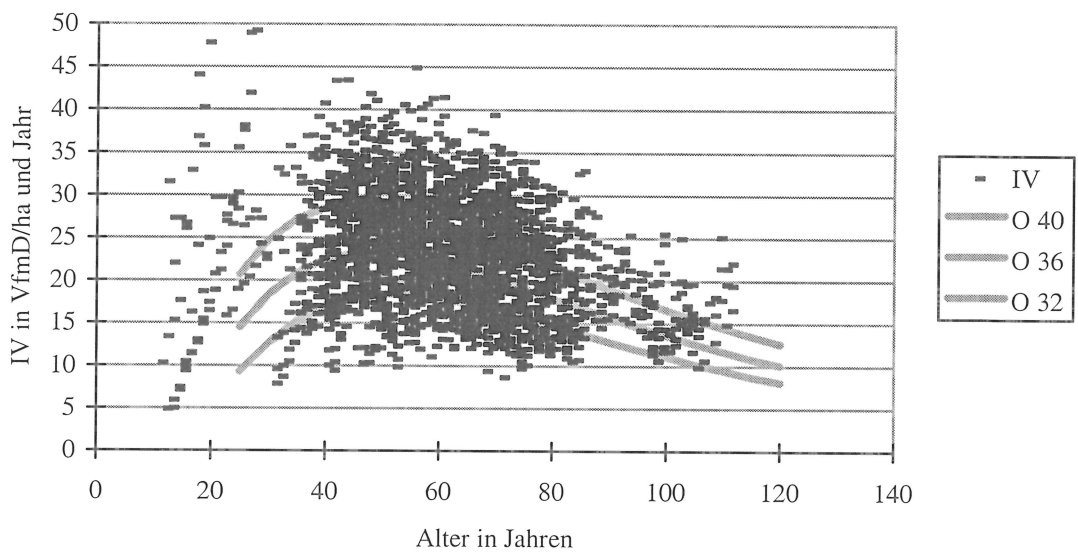


Abb. 6.3-8: Darstellung des laufenden Zuwachses (IV) über dem Alter auf den Versuchsflächen in den Wuchsgebieten 12, 13 und 14. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963), Oberhöhenbonität 40, 36 und 32, oberes Ertragsniveau, eingetragen.

6.3.3 Ostbayern

Die hier zusammengefassten Wuchsgebiete Frankenwald, Fichtelgebirge und Steinwald (WG 8), Oberpfälzer Becken und Hügelland (WG 9), Oberpfälzer Wald (WG 10) und Bayerischer Wald (WG 11) sind im Vergleich zu Südbayern durch eine i. d. R. geringere Nährstoffausstattung gekennzeichnet. Dies spiegelt sich in der Höhenwuchsleistung der Bestände wider. Mittelhöhen von 33 m werden in einem Alter von 100 Jahren nicht überschritten. In die Untersuchung einbezogen sind Bestände aller Bonitätsstufen (Abb. 6.3-9). Drei Altbestände aus dem Fichtelgebirge haben bei einem sehr hohen Alter (> 140 Jahre) die geringste Bonität im Untersuchungsgebiet.

Die Grundflächenhaltung bewegt sich im Wertebereich des Ertragstafelfächers. Gerade bei den Beständen mit niedriger Grundfläche ist über dem Alter ein deutlicher Anstieg der Grundfläche festzustellen. Nur wenige Parzellen erreichen Grundflächenwerte über 70 qm/ha. Die Grundflächenhaltung in den Beständen ist deutlich niedriger als in Südbayern.

Ein Teil der Flächen erreicht Vorräte im Bereich der Bonität I.0. Die Mehrzahl der Flächen liegt im Bereich der Bonität II.0, und nur wenige Flächen haben Vorräte unter den Werten für die Bonität III.0 der Ertragstafel von GUTTENBERG (1915).

Werden durch die Ertragstafel die Wachstumsgrößen Höhe, Grundfläche und Vorrat relativ gut beschrieben, so trifft sie beim laufenden jährlichen Volumenzuwachs häufig nicht die Realität. Auf Abbildung 6.3-12 lassen sich drei Bestandesgruppen innerhalb der Punktwolke ausmachen: (1) Jüngere Bestände mit niedrigen Zuwächsen trotz einer Mittelhöhenbonität im Bereich von II.0, (2) mittelalte Bestände mit Zuwachsleistungen, die im Durchschnitt über der I.0 Bonität liegen und (3) sehr alte Bestände, die einen starken Rückgang des Zuwachses im Altersverlauf auf Werte unter 5 VfmD/ha und Jahr zeigen. Das Verhalten der Gruppe (1) ist ungewöhnlich, denn bei den bisherigen Betrachtungen waren die Zuwächse jüngerer Bestände immer deutlicher über den Erwartungswerten der jeweiligen Ertragstafel. Außerdem waren jüngere Bestände in der Tendenz immer zuwachskräftiger als ältere Bestände. Ein Großteil des Datenmaterials wurde für Waldschadensuntersuchungen gewonnen. In diesem Untersuchungsgebiet waren die stärksten Entnadelungserscheinungen festzustellen, junge Bestände zeigten deutliche schadbedingte Zuwachsreaktionen (UTSCHIG, 1989a).

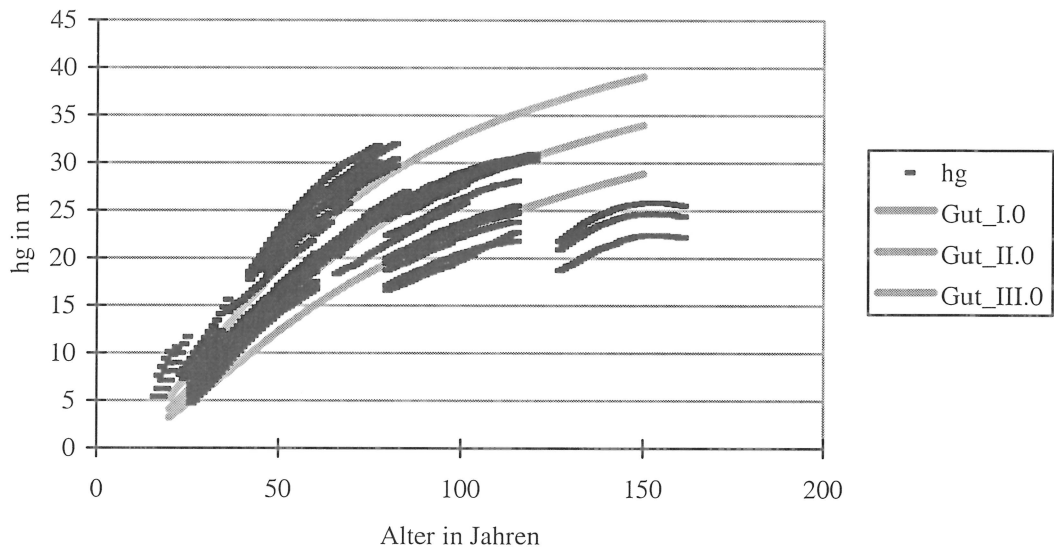


Abb. 6.3-9: Darstellung der Mittelhöhe (hg) über dem Alter auf den Versuchsflächen in den Wuchsgebieten 8, 9, 10 und 11. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von GUTTENBERG (1915), Bonität I.0 bis III.0, eingetragen.

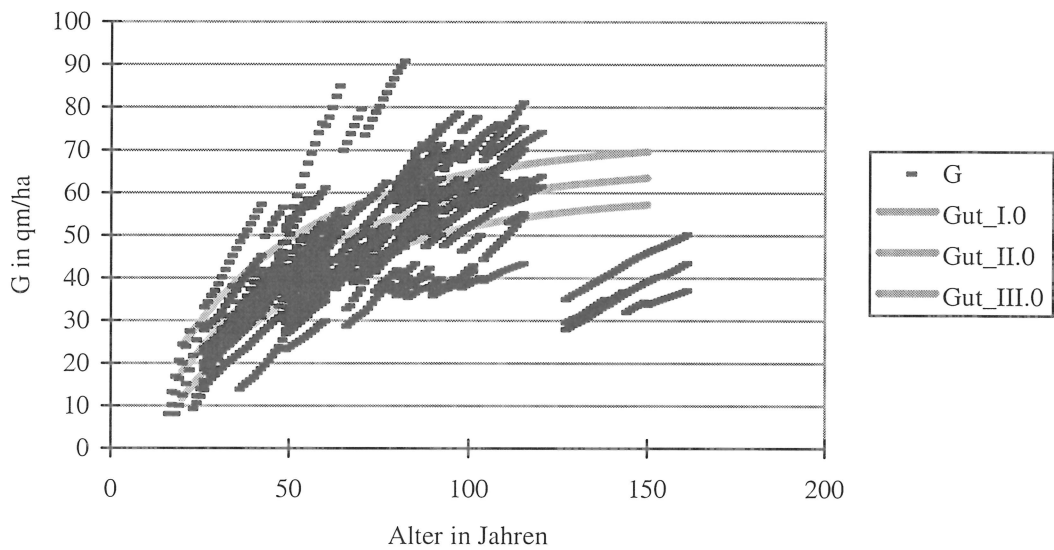


Abb. 6.3-10: Darstellung der Grundfläche (G) über dem Alter auf den Versuchsflächen in den Wuchsgebieten 8, 9, 10 und 11. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von GUTTENBERG (1915), Bonität I.0 bis III.0, eingetragen.

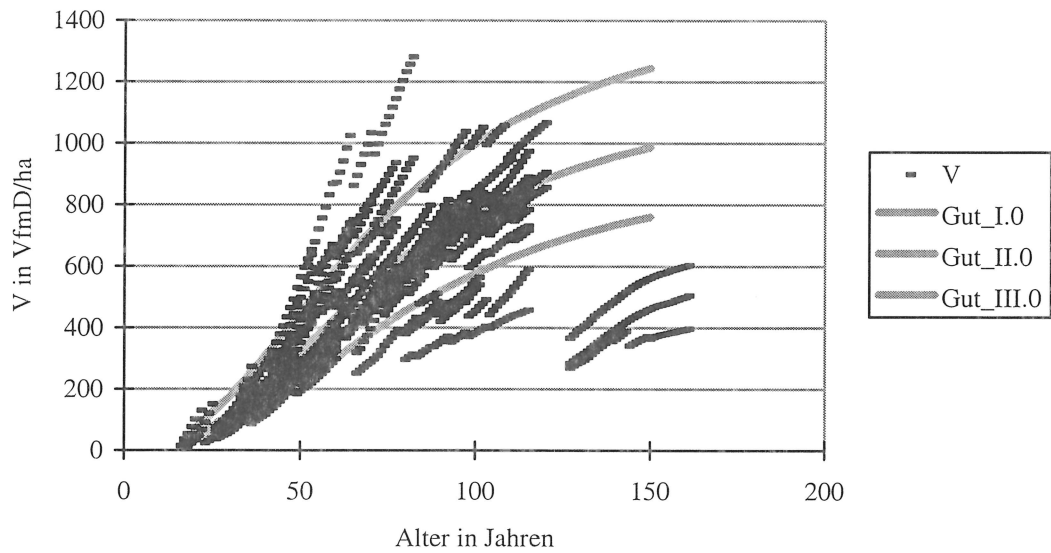


Abb. 6.3-11: Darstellung des Vorrates (V) über dem Alter auf den Versuchsflächen in den Wuchsgebieten 8, 9, 10 und 11. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von GUTTENBERG (1915), Bonität I.0 bis III.0, eingetragen.

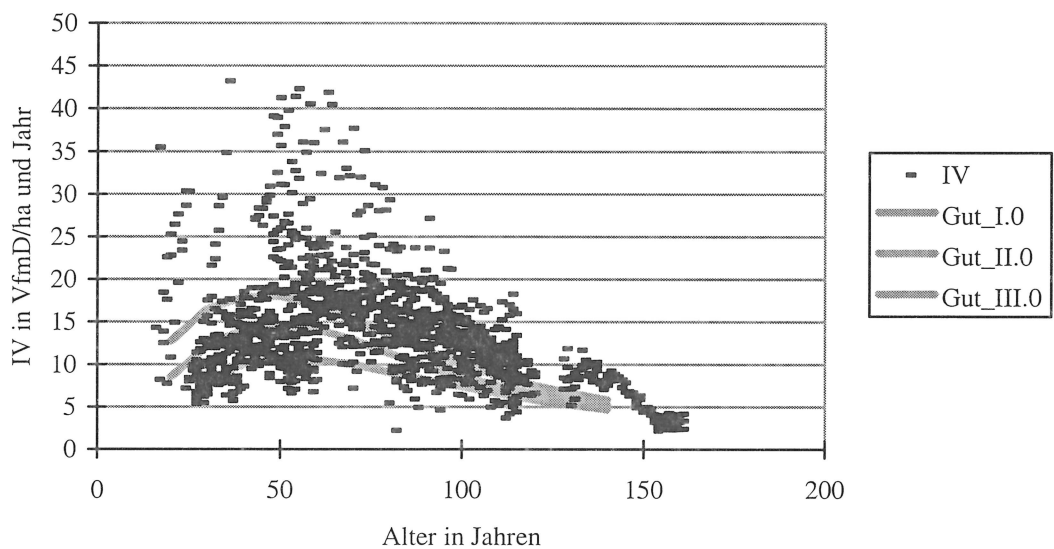


Abb. 6.3-12: Darstellung des laufenden Volumenzuwachses (IV) über dem Alter auf den Versuchsflächen in den Wuchsgebieten 8, 9, 10 und 11. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von GUTTENBERG (1915), Bonität I.0 bis III.0, eingetragen.

6.3.4 Nordbayern

In den im Folgenden betrachteten Wuchsgebieten Spessart-Odenwald (WG 2), Rhön (WG 3), Fränkische Platte (WG 4), Fränkischer Keuper und Albvorland (WG 5), Frankenalb und Oberpfälzer Jura (WG 6) und Oberfränkisches Triashügelland (WG 7) dominieren Standorte mit mittlerer bis guter Nährstoffausstattung und mäßiger bis guter Wasserversorgung. Daraus resultieren Höhenwuchsleistungen (Abb. 6.3-13) im Bereich der Oberhöhenbonitäten 36 bis 32. Das Datenfeld ist in diesem Bereich dicht besetzt.

Die eher geringen Wuchsleistungen in diesem Bereich werden durch die Grundflächenwerte bestätigt (Abb. 6.3-14). Die Werte liegen zum Großteil sogar unter der Vergleichslinie für die Oberhöhenbonität 32, mittleres Ertragsniveau. Nur wenige Flächen haben Grundflächenwerte über 50 qm/ha.

Obwohl die Höhenwerte zwischen den Oberhöhenbonitäten 32 und 36 liegen, erreichen die Vorratswerte nur die Vergleichswerte der Oberhöhenbonität 32, mittleres Ertragsniveau, der Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963) (Abb. 6.3-15).

Der laufende Volumenzuwachs in den Beständen ist bis zum Alter von 100 Jahren gut durch den Bonitätsfächer abgedeckt (Abb. 6.3-16). Der dichteste Bereich der Punktwolke liegt in einem Altersrahmen von 60 bis 100 Jahren mit Werten für den laufenden Volumenzuwachs von 13 bis 14 VfmD/ha und Jahr. Obwohl Vorrats- und Grundflächenwerte im Bereich von M 32 lagen, entspricht die Höhe des laufenden Zuwachses eher einer Oberhöhenbonität M 36. Insgesamt hat die Punktwolke des laufenden Zuwachses eine breite Streuung, eine relativ deutliche Obergrenze bei 25 VfmD/ha und Jahr und eine über das ganze Altersspektrum reichende Untergrenze von 5 VfmD/ha und Jahr.

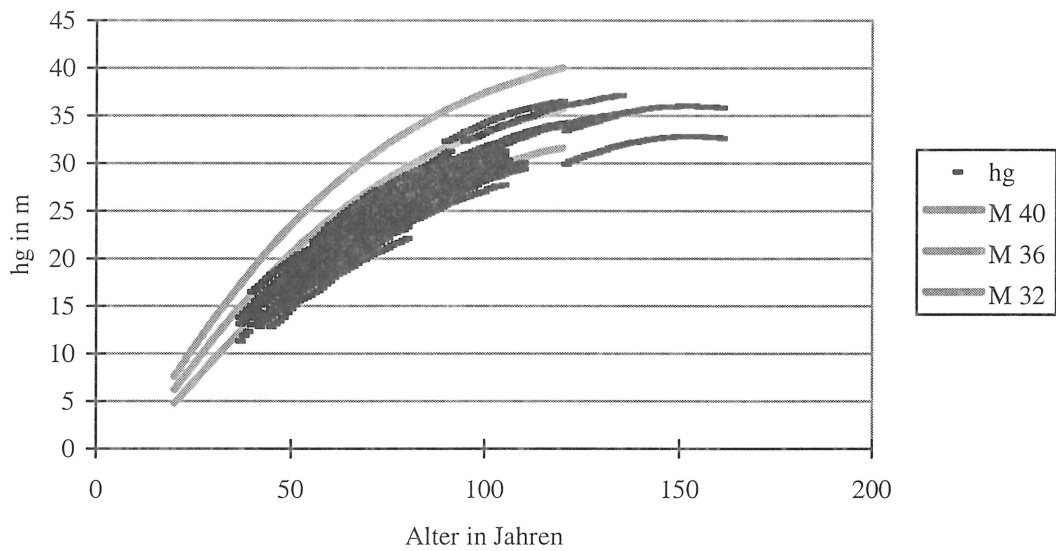


Abb. 6.3-13: Darstellung der Mittelhöhe (hg) über dem Alter auf den Versuchsflächen in den Wuchsgebieten 2, 3, 4, 5, 6 und 7. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963), Oberhöhenbonität 40, 36 und 32, eingetragen.

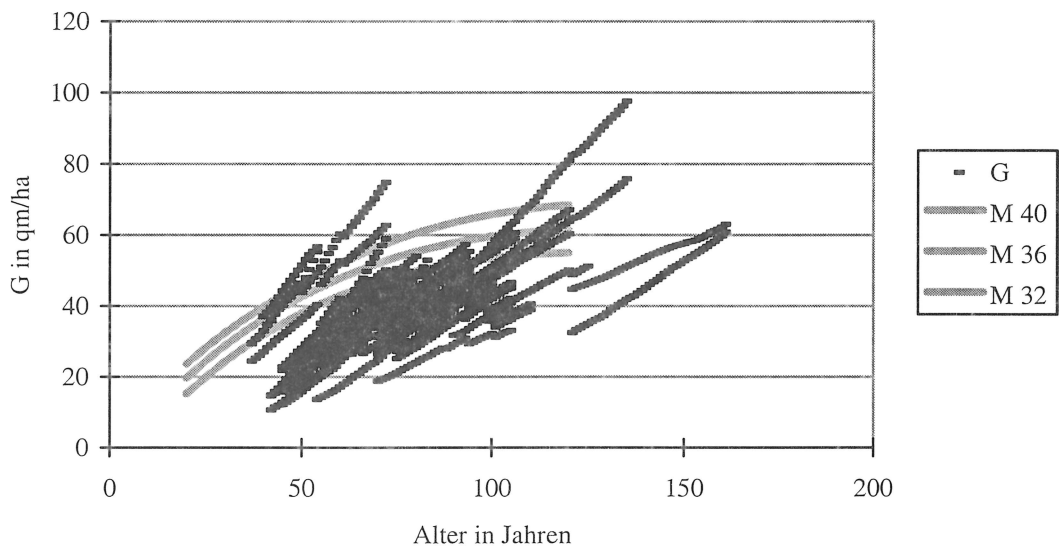


Abb. 6.3-14: Darstellung der Grundfläche (G) über dem Alter auf den Versuchsflächen in den Wuchsgebieten 2, 3, 4, 5, 6 und 7. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963), Oberhöhenbonität 40, 36 und 32, mittleres Ertragsniveau, eingetragen.

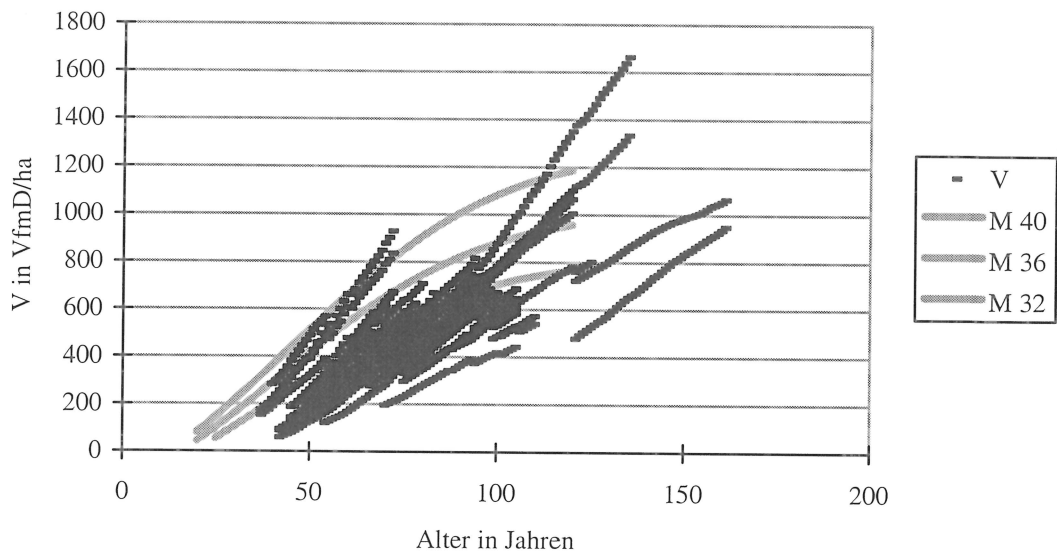


Abb. 6.3-15: Darstellung des Vorrates (V) über dem Alter auf den Versuchsflächen in den Wuchsgebieten 2, 3, 4, 5, 6 und 7. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963), Oberhöhenbonität 40, 36 und 32, mittleres Ertragsniveau, eingetragen.

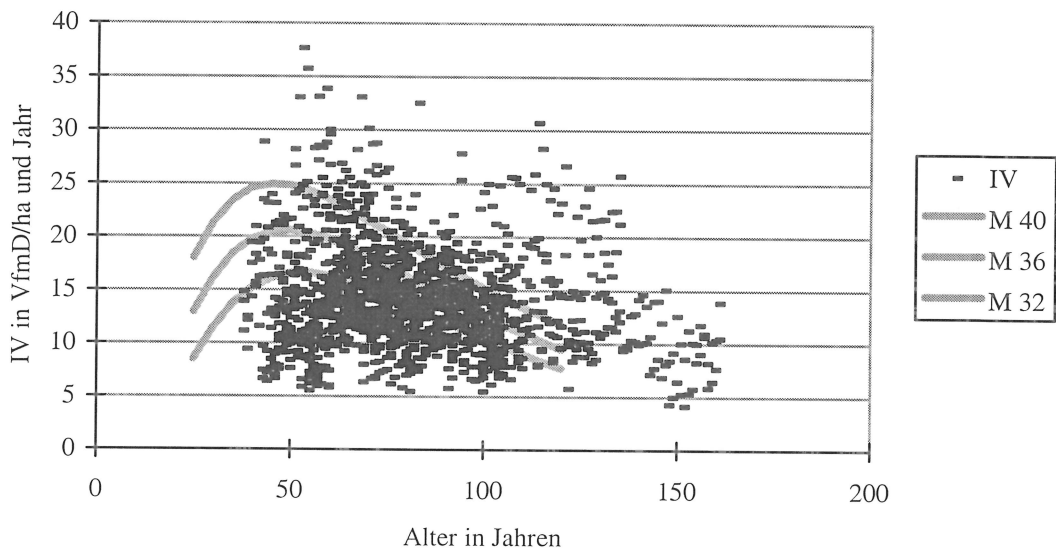


Abb. 6.3-16: Darstellung des laufenden Zuwachses (IV) über dem Alter auf den Versuchsflächen in den Wuchsgebieten 2, 3, 4, 5, 6 und 7. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963), Oberhöhenbonität 40, 36 und 32, mittleres Ertragsniveau, eingetragen.

6.4 Auswertung von Daten der Forsteinrichtungs-Datenbank der Bayerischen Staatsforstverwaltung

Die bisherigen Auswertungen bezogen sich auf punktuelle oder regionale Untersuchungen. Die dabei betrachteten Versuchs- und Probeflächen zeigen regional eine sehr unterschiedliche Verteilung. Für eine flächenrepräsentative Darstellung des Ist-Zustandes der Wuchsleistung der Fichte in Bayern wird im Folgenden auf die Forsteinrichtungs-Datenbank der Bayerischen Staatsforstverwaltung Bezug genommen.

Zunächst werden einige durchschnittliche ertragskundliche Kenngrößen, getrennt nach Wuchsbezirken, vorgestellt. Die Angaben beziehen sich dabei immer auf einschichtige Bestände mit einem Fichtenanteil von mindestens 95 %.

6.4.1 Durchschnittliche Alters-, Bonitäts-, Bestockungsgrad- und Vorratswerte für Wuchsbezirke in Bayern

Das Durchschnittsalter (Abb. 6.4-1) variiert zwischen den Wuchsbezirken, die im Folgenden mit WB abgekürzt werden, beträchtlich. Das geringste Flächen-Durchschnittsalter (< 40 Jahre) weist der WB 5.6 Südliche Keuperabdachung auf. Sehr hohe Durchschnittsalter sind im Inneren Bayerischen Wald (WB 11.3), im Fichtelgebirge (WB 8.3) und in den südlichen Teilen des Wuchsgebietes Bayerische Alpen (WG 15) zu erkennen. Es liegt in diesen Bereichen über 80 Jahren. In den südlich der Donau gelegenen Wuchsgebieten 12, 13 und 14 resultieren die Bereiche mit hohem Durchschnittsalter aus einer Überausstattung mit hohen Altersklassen.

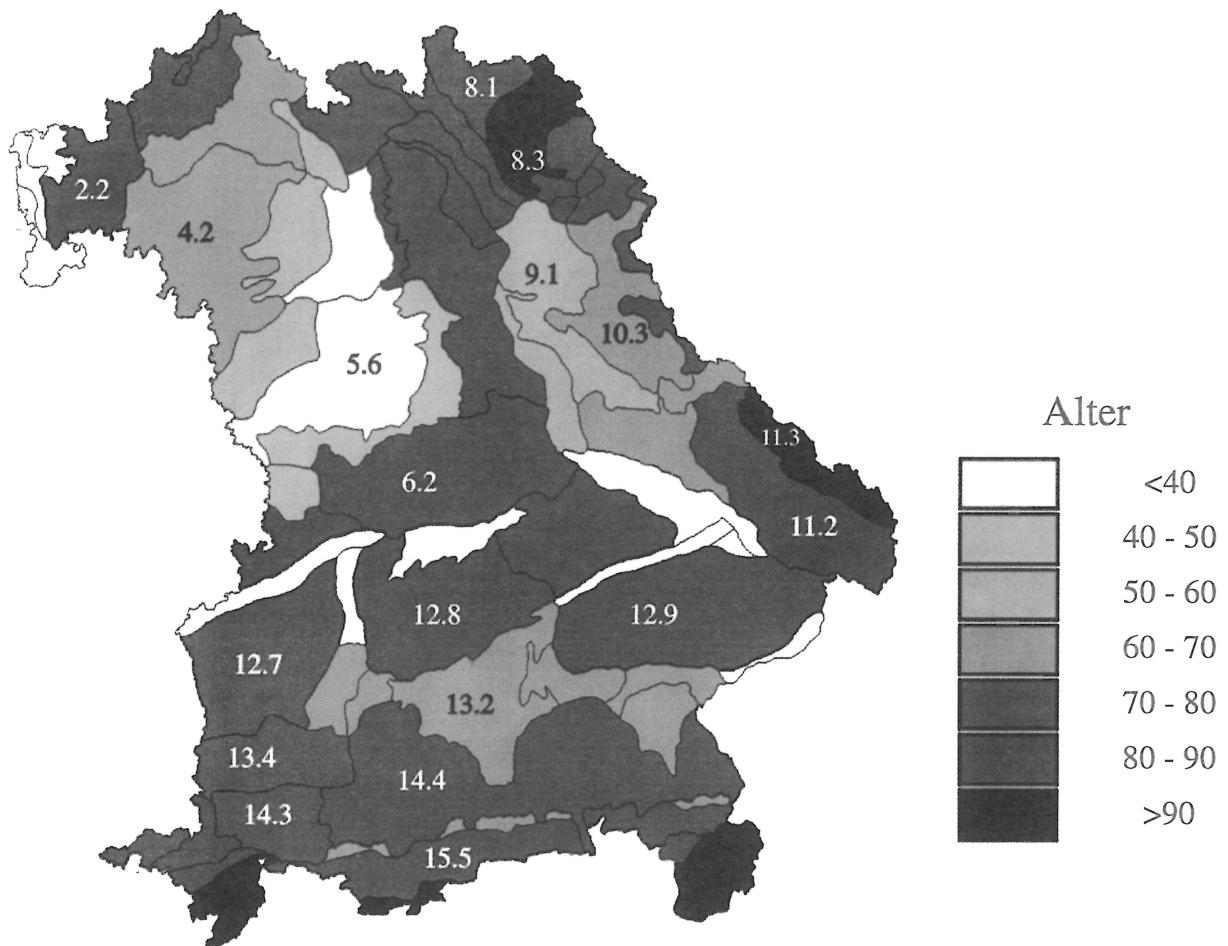


Abb. 6.4-1: Durchschnittsalter der Fichtenbestände für bayerische Wuchsbezirke. Die Daten stammen aus der Forsteinrichtungs-Datenbank der Bayerischen Staatsforstverwaltung. Ausgewählt wurden Fichtenreinbestände der letzten Forsteinrichtungsperiode.

Die Bonität als zentrale ertragskundliche Kenngröße, die das Höhenpotential auf den Standorten wiedergibt, ist auf Abbildung 6.4-2 dargestellt. Bonitiert wurde nach der Ertragstafel WIEDEMANN (1936/42), mäßige Durchforstung, die im Höhenverlauf den regional verwendeten Tafeln sehr ähnlich ist (vgl. Kap. 3.2.1). Dargestellt wird die durchschnittliche Bonität der einbezogenen Inventurpunkte im Wuchsbezirk.

Insgesamt stocken bayerische Fichtenbestände auf relativ guten Standorten. Die Bonitätsverteilung der Fichte nach Wuchsbezirken zeigt eine überwiegend nach der Nährstoffversorgung im Ausgangssubstrat gegliederte Abstufung. Die Bereiche mit Spitzenbonitäten in Bayern liegen in den südwestbayerischen Wuchsbezirken 13.4, 13.5, 12.7 und 12.8. Dort ist die durchschnittliche Höhenwuchsleistung besser als eine 0.8 Bonität nach WIEDEMANN (1936/42). Den größten Flächenanteil nehmen Gebiete mit einer Bonität zwischen I.0 und I.3 nach WIEDEMANN (1936/42) ein. Die ostbayerischen Mittelgebirge und die Bayerischen Alpen zeigen mit durchschnittlichen Bonitätswerten unter II.2 die schlechtesten Höhenbonitäten.

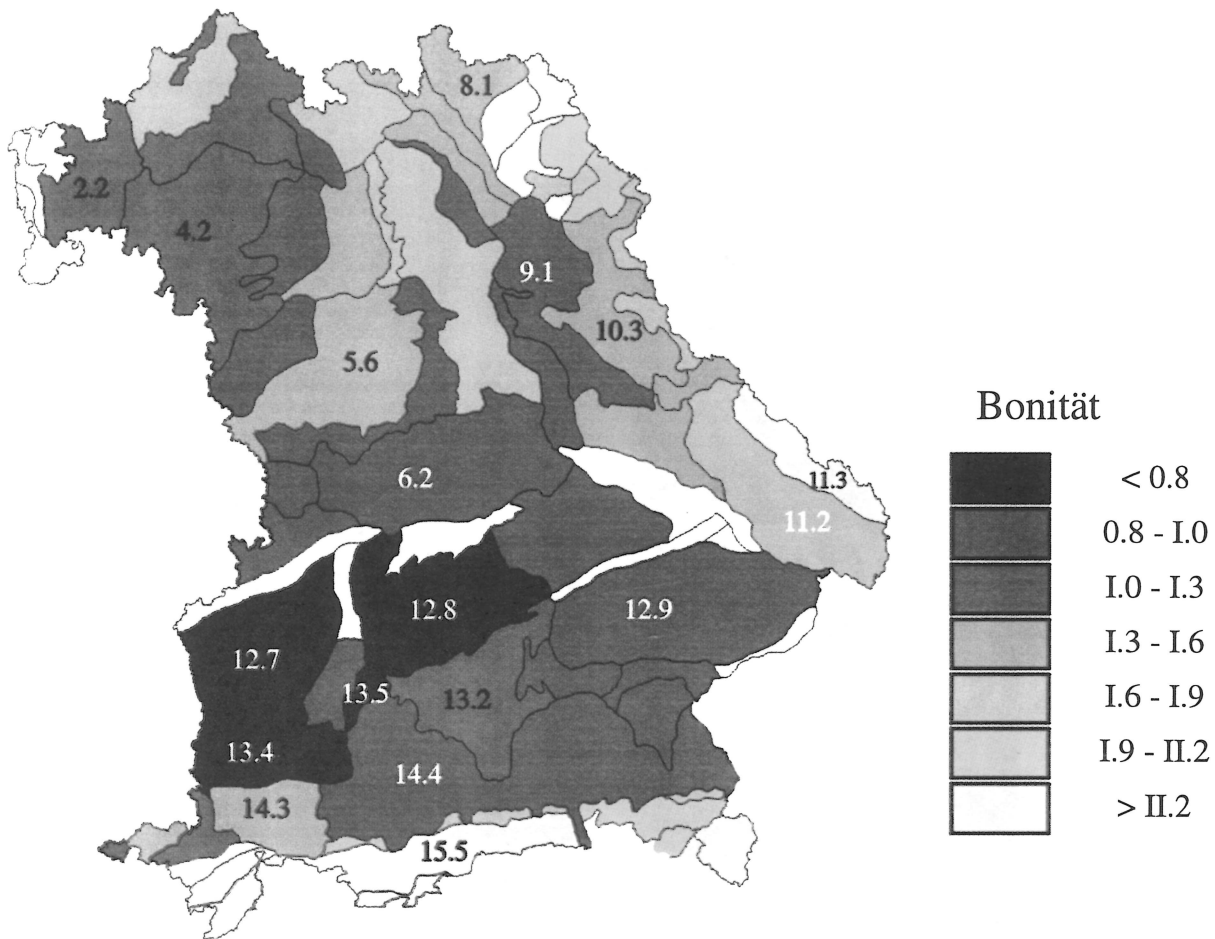


Abb. 6.4-2: Durchschnittliche Bonität nach der Ertragstafel von WIEDEMANN (1936/42), mäßige Df. der Fichtenbestände in bayerischen Wuchsbezirken. Die Daten stammen aus der Forsteinrichtungs-Datenbank der Bayerischen Staatsforstverwaltung. Ausgewählt wurden Fichtenreinbestände der letzten Forsteinrichtungsperiode.

Neben der Höhenbonität ist die Grundfläche in den Beständen ein wichtiger Beurteilungsmaßstab. Zum Vergleich der Ergebnisse mit anderen Wuchsbezirken wird der Bestockungsgrad verwendet. Der Bestockungsgrad, wie er hier berechnet wurde, ist die tatsächliche Grundfläche des Bestandes in Bezug zur Grundfläche der Ertragstafel WIEDEMANN (1936/42) entsprechender Bonität. Die Relation der Grundflächenhaltung nach der Ertragstafel WIEDEMANN (1936/42) zur Ertragstafel ASSMANN und FRANZ (1963) ist in Kapitel 3.2.1 dargestellt. Es wäre zu erwarten, dass aufgrund der Tafelkonstruktion und des hohen Ertragsniveaus bayerischer Fichtenbestände relativ hohe Bestockungsgrade in den Wuchsbezirken auftreten. Tatsächlich liegen für die entsprechende Bonitäten die Bestockungsgrade zwischen 1,2 und 0,7. Gebiete mit Bestockungsgraden über 1,2 erreichen das Niveau der Ertragstafel ASSMANN und FRANZ (1963) für das mittlere Ertragsniveau. In Südbayern finden sich im Durchschnitt wesentlich höhere Bestockungsgrade als in Nordbayern.

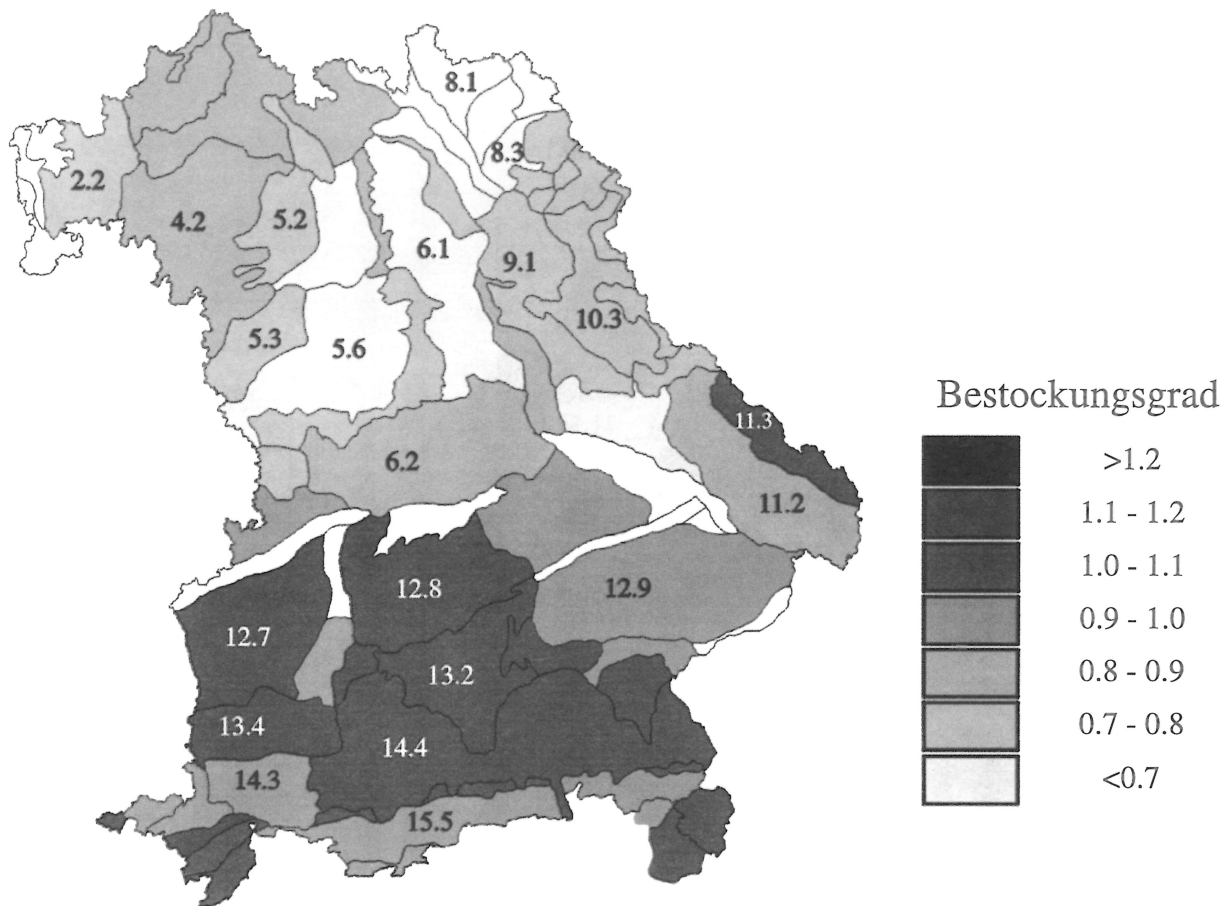


Abb. 6.4-3: Durchschnittlicher Bestockungsgrad der Fichtenbestände in bayerischen Wuchsbezirken nach der Ertragstafel WIEDEMANN (1936/42), mäßige Df. Die Daten stammen aus der Forsteinrichtungs-Datenbank der Bayerischen Staatsforstverwaltung. Ausgewählt wurden Fichtenreinbestände der letzten Forsteinrichtungsperiode.

Die Höhe des Bestockungsgrades kann durch Schäden in den Beständen (Windwurf, Schneebruch, Käferbefall etc.) und durch das angewandte Behandlungskonzept variieren. Aus Abbildung 6.4-3 lassen sich Gebiete mit großen Schadeinflüssen (WG 5 und 8) herausfiltern. Die in Relation zum Wuchspotential in Bayern relativ niedrigen aktuellen Bestockungsgrade weisen auch auf eine konsequente Durchforstung in den Fichtenbeständen hin.

Eine Zusammenschau aus Höhenleistung, Grundflächenhaltung und Flächendurchschnittsalter bietet die Betrachtung der durchschnittlichen Vorratswerte für die einzelnen Wuchsbezirke (Abb. 6.4-4). Die bisher von Kiefernbeständen dominierten Wuchsbezirke 5.6, 5.8, 5.9, 8.7, 9.1, 10.1 und 11.1 und die Bestände im Fichtelgebirge (WB 8.3) und in den Bayerischen Kalkalpen (WB 15.5) haben für durchschnittliche Fichtenbestände die geringsten Vorratswerte (< 250 VfmD/ha) in Bayern. In den Wuchsgebieten 12, 13 und 14 liegen die Vorratswerte fast doppelt so hoch (> 450 VfmD/ha).

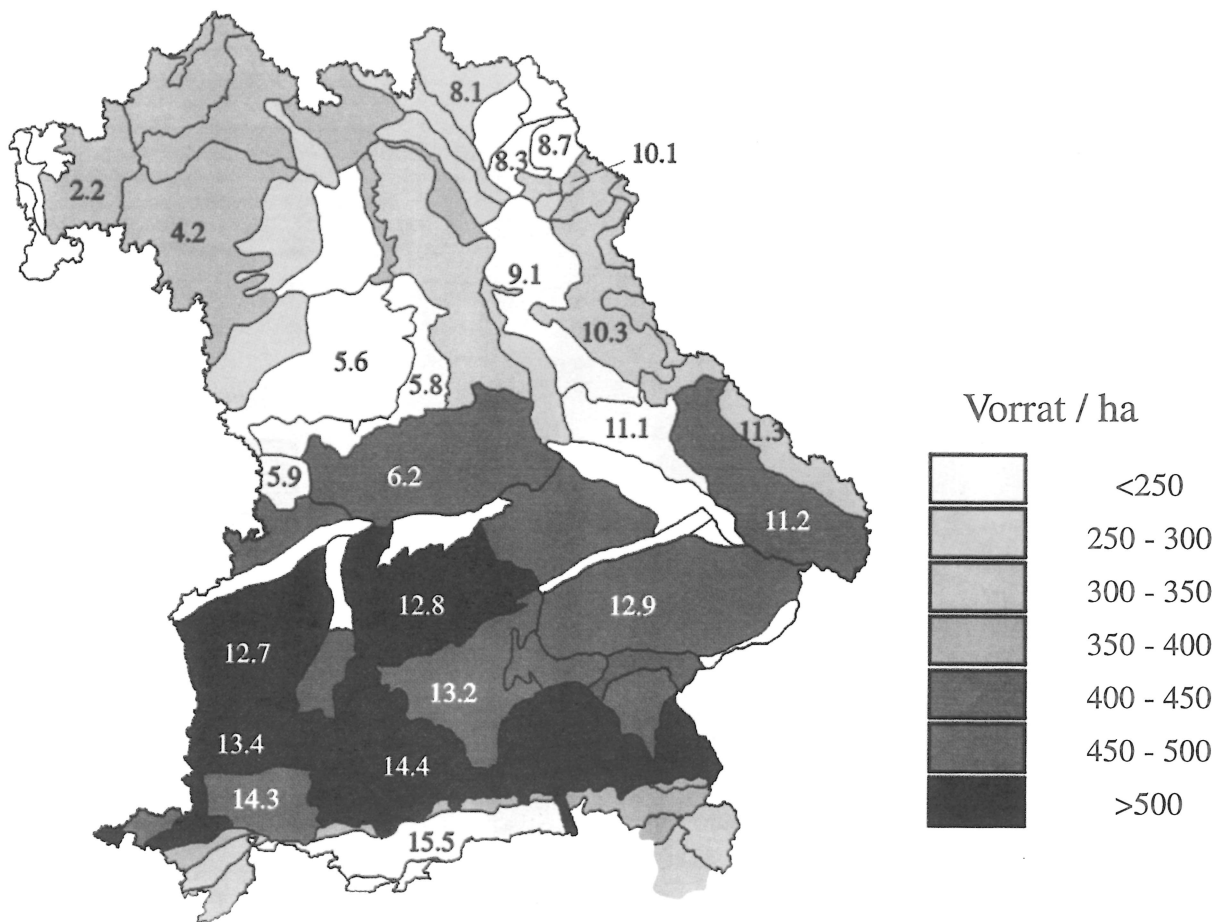


Abb. 6.4-4: Durchschnittlicher Vorrat der Fichtenbestände für Bayerische Wuchsbezirke. Die Daten stammen aus der Forsteinrichtungs-Datenbank der Bayerischen Staatsforstverwaltung. Ausgewählt wurden Fichtenreinbestände der letzten Forsteinrichtungsperiode.

6.4.2 Bestandesmittelhöhen und Bestandesgrundflächen ausgewählter Wuchsbezirke im Altersspektrum

Es werden im folgenden Wuchsbezirke, in denen die Fichte eine große Rolle spielt, näher vorgestellt. Exemplarisch wird dafür das Höhenwachstum und die Grundflächenhaltung als aussagekräftige Größe zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit von Beständen und Standorten untersucht. Die Abbildungen 6.4-5 bis 6.4-12 zeigen für verschiedene Wuchsbezirke die Höhen- und Grundflächenwerte über dem Alter. Als Vergleichsmaßstab wurden die Werte der I.0 und IV.0 Ertragsklasse der Fichtenertragstafel von WIEDEMANN (1936/42), mäßige Durchforstung herangezogen. Man stellt fest, dass bei den Höhenwerten innerhalb der Wuchsbezirke die Streuung erheblich ist. Die Unterschiede der Höhenangaben bei gleichem Alter betragen innerhalb eines Wuchsbezirkes zum Teil noch über 15 Meter. Ebenso stark ist die Streuung der Grundflächenwerte über dem Alter.

Im Wuchsbezirk 6.2 (Südliche Frankenalb, südlicher Oberpfälzer Jura), Abbildung 6.4-5, ist ersichtlich, dass sich die Höhenwerte der einzelnen Bestände um die Werte der Referenzlinie der I. Ertragsklasse scharen, während bei der Referenzlinie der IV. Ertragsklasse kaum Werte

zu finden sind. Das beobachtete Grundflächenspektrum ist breit, Spitzenwerte von 60 qm und darüber treten auf.

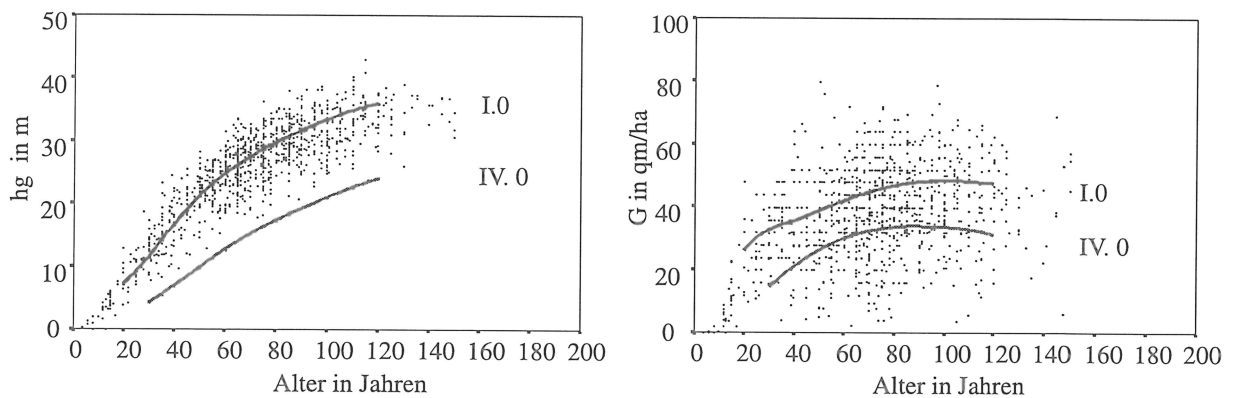


Abb. 6.4-5: Mittelhöhen (links) und Grundflächenwerte (rechts) über dem Alter im Wuchsbezirk 6.2 (Südliche Frankenalb, südlicher Oberpfälzer Jura). Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von WIEDEMANN (1936/42), mäßige Durchforstung, Ertragsklasse I.0 und IV.0, eingetragen.

Dagegen ist im Wuchsbezirk 8.1 (Frankenwald), Abbildung 6.4-6, zu erkennen, dass ab dem Alter 60 die Höhenwerte vermehrt in den Bereich zwischen den beiden Referenzlinien zu finden sind. Die 20 bis 60-jährigen Bestände liegen fast ausschließlich auf der Referenzlinie der I. Ertragsklasse. Es wird ein starker Abfall der Höhenwerte bei den alten Beständen im Vergleich zur Referenzlinie ersichtlich. Das Niveau der Grundflächenhaltung liegt sehr niedrig und die Rahmenwerte für die I. Ertragsklasse werden nur selten überschritten. Die Vergleichsline für die IV. Ertragsklasse liegt im dichtesten Bereich der Punktwolke.

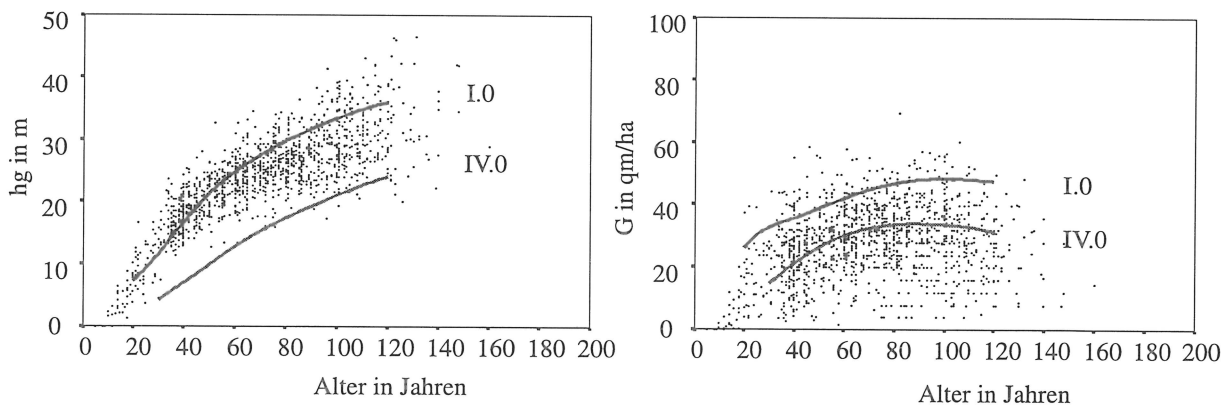


Abb. 6.4-6: Mittelhöhen (links) und Grundflächenwerte (rechts) über dem Alter im Wuchsbezirk 8.1 (Frankenwald). Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von WIEDEMANN (1936/42), mäßige Durchforstung, Ertragsklasse I.0 und IV.0, eingetragen.

Im Wuchsbezirk 10.3 (Vorderer Oberpfälzer Wald) fällt zunächst die vergleichsweise geringe Belegung der Alter mit Messdaten auf (Abb. 6.4-7). Die Höhenentwicklung in niedrigem Alter liegt im Bereich der I. Ertragsklasse, ab dem Alter 100 Jahre liegen die Mittelhöhen unterhalb dieser Linie. Das Grundflächenspektrum reicht bis 60 qm/ha und die Streuung ist groß.

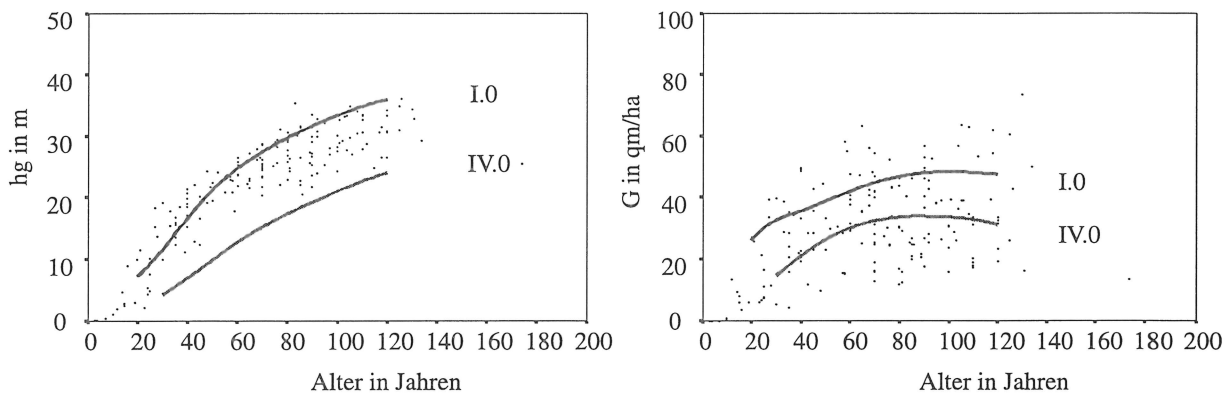


Abb. 6.4-7: Mittelhöhen (links) und Grundflächenwerte (rechts) über dem Alter im Wuchsbezirk 10.3 (Vorderer Oberpfälzer Wald). Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von WIEDEMANN (1936/42), mäßige Durchforstung, Ertragsklasse I.0 und IV.0, eingetragen.

Im Wuchsbezirk 11.3 (Innerer Bayerischer Wald) nehmen die Höhenwerte bis zum Alter 100 den Bereich zwischen den beiden Referenzlinien ein (Abb. 6.4-8). Danach tendieren sie eher zur unteren Linie (IV. Ertragsklasse). Denkt man sich diese Linie verlängert, würde sie deutlich unterschritten. Im Vergleich zu den übrigen Wuchsbezirken ist im Wuchsbezirk 11.3 ein vermehrtes Auftreten besonders alter Bestände erkennbar. Die große Streuung der Grundflächenwerte bleibt ab dem Alter 40 Jahre bis zum Alter 200 Jahre nahezu unverändert. Spitzenwerte von 80 qm/ha werden erreicht, viele Inventurpunkte zeigen Grundflächenwerte zwischen 20 und 60 qm/ha.

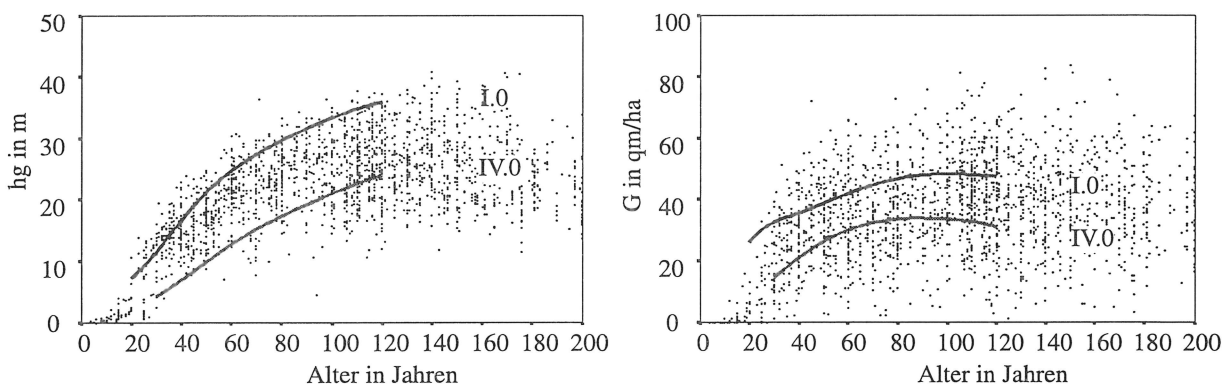


Abb. 6.4-8: Mittelhöhen (links) und Grundflächenwerte (rechts) über dem Alter im Wuchsbezirk 11.3 (Innerer Bayerischer Wald). Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von WIEDEMANN (1936/42), mäßige Durchforstung, Bonität I.0 und IV.0 eingetragen.

Eine andere Verteilung der Punktwolke ergibt sich für den Wuchsbezirk 12.7 (Mittelschwäbisches Schotterriedel- und Hügelland) auf Abbildung 6.4-9. Hier konzentrieren sich die Höhenwerte deutlich sichtbar um die Referenzlinie der I. Ertragsklasse. Die Mittelhöhe von Jungbeständen liegt z. T. deutlich über dem Niveau der I. Ertragsklasse. Auch in höherem Alter sind viele Bestände mit Höhenwuchsleistungen über denen der I. Ertragsklasse zu beobachten. Im Vergleich zu den Bonitätslinien ist das Absinken des Höhenspektrums mit zunehmendem Alter nur sehr gering ausgeprägt. Auf und unter der Referenzlinie der IV. Ertragsklasse sind keine Werte vertreten.

Die Verteilung der Grundflächenwerte über dem Alter zeigt das hohe Wuchspotential des Wuchsbezirkes 12.7 ebenfalls deutlich auf. Der Schwerpunkt der Grundflächenwerte liegt bei 60 qm/ha und noch bis 80 qm/ha ist die Datenbelegung sehr hoch. Aus der Abbildung 6.4-9 wird klar, dass dieser Wuchsbezirk ein völlig anderes Ertragsniveau als die bisher besprochenen Wuchsbezirke hat. Im Alter 120 bis 140 Jahren werden die Bestände verstärkt genutzt, so dass die Punktedichte in diesem Bereich ausdünn.

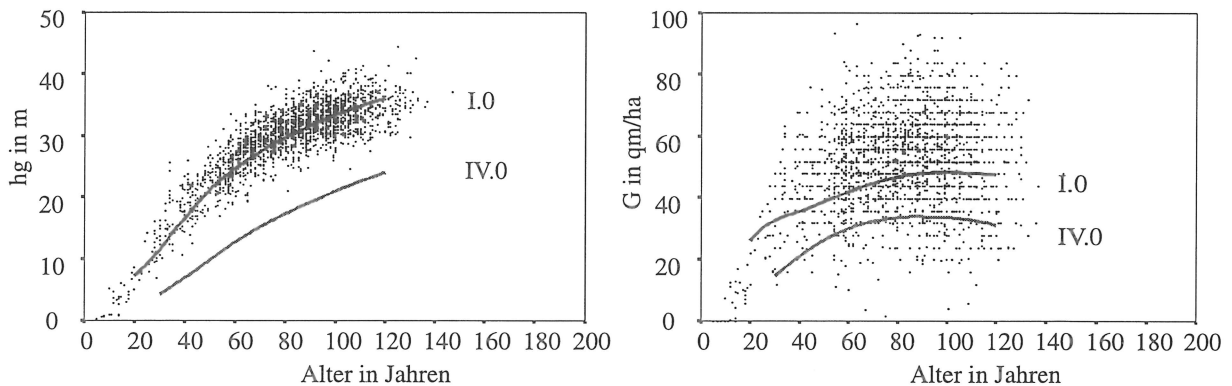


Abb. 6.4-9: Mittelhöhen (links) und Grundflächenwerte (rechts) über dem Alter im Wuchsbezirk 12.7 (Mittelschwäbisches Schotterriedel- und Hügelland). Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von WIEDEMANN (1936/42), mäßige Durchforstung, Bonität I.0 und IV.0 eingetragen.

Bei Wuchsbezirk 13.2 (Münchener Schotterebene) markieren die Höhenwerte den Bereich $\pm 7,5$ m um die Referenzlinie der I. Ertragsklasse (Abb. 6.4-10). Im Gegensatz zu Wuchsbezirk 12.7 wird allerdings die untere Referenzlinie von einigen Werten berührt und ab dem Alter 120 unterschreiten einige Bestände diese Linie um fast 10 Meter. Ab dem Alter 100 Jahre wird die Punktedichte sehr gering. Das Streuband liegt dann im Bereich der IV. Ertragsklasse. Im Datensatz ist eine Höhenobergrenze von 36 bis 38 m erkennbar. Hier scheint der Standort (und evtl. Windwurf) eine biologische Obergrenze für die Bestandesmittelhöhe auszubilden. Die Verteilung der Grundflächenwerte bietet ein ähnliches Bild wie beim Wuchsbezirk 12.7. Der Schwerpunkt der Grundflächenhaltung liegt deutlich über dem Niveau der I. Ertragsklasse.

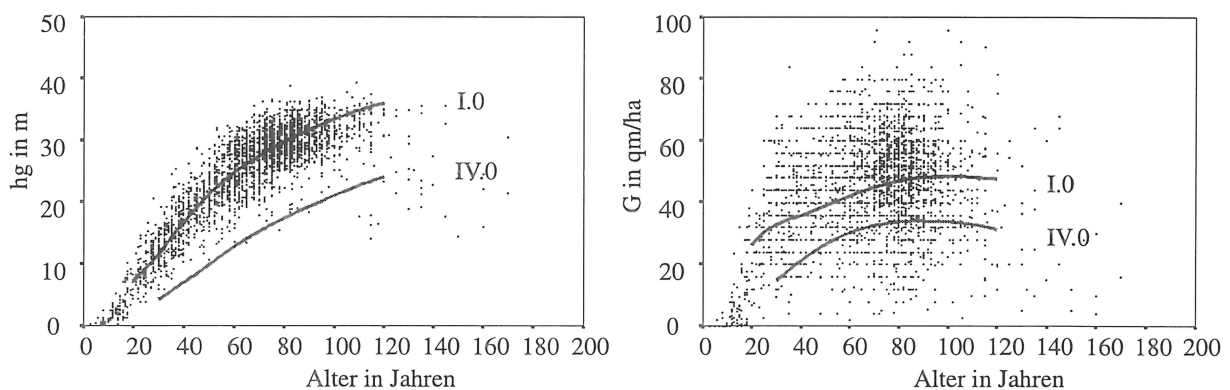


Abb. 6.4-10: Mittelhöhen (links) und Grundflächenwerte (rechts) über dem Alter im Wuchsbezirk 13.2 (Münchener Schotterebene). Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von WIEDEMANN (1936/42), mäßige Durchforstung, Bonität I.0 und IV.0 eingetragen.

Im Wuchsbezirk 14.4 (Oberbayerische Jungmoräne und Molassevorberge) ähnelt die Verteilung der Werte auf Abbildung 6.4-11 denen von Wuchsbezirk 13.2. Allerdings gibt es hier nicht den starken Abfall der Höhenwerte ab dem Alter 120. Die Mittelhöhe erreicht Werte von 40 m. Die Darstellung der Grundflächenwerte zeigt eine noch größere Streuung der Werte mit noch stärkerer Verschiebung in Bereiche mit hohen Grundflächenhaltungen. Die Vergleichslinie der I. Ertragsklasse begrenzt das untere Drittel des dicht belegten Wertebereiches. Das in den Beständen beobachtete Ertragsniveau ist beachtlich.

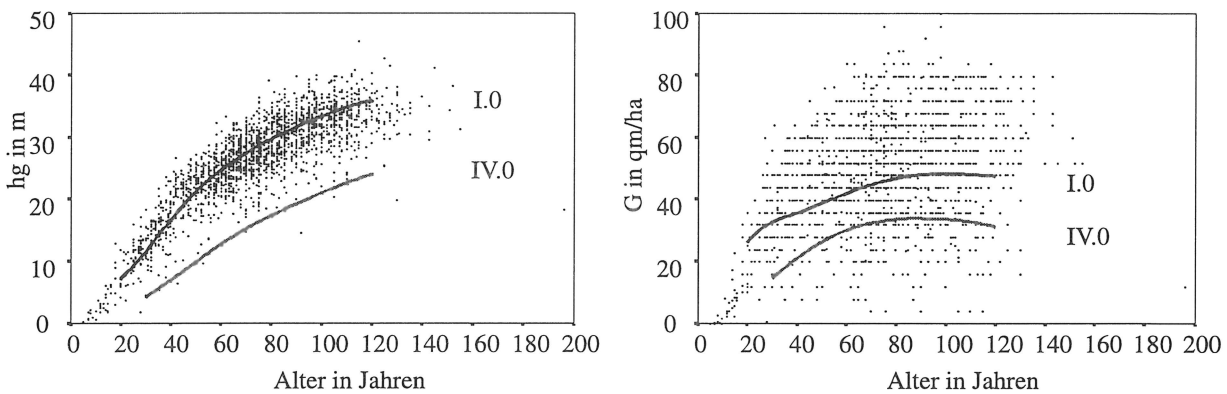


Abb. 6.4-11: Mittelhöhen (links) und Grundflächenwerte (rechts) über dem Alter im Wuchsbezirk 14.4 (Oberbayerische Jungmoräne und Molassevorberge). Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von WIEDEMANN (1936/42), mäßige Durchforstung, Bonität I.0 und IV.0 eingetragen.

Dagegen sieht die Verteilung der Höhenwerte im Wuchsbezirk 15.5 (Mittlere Bayerische Kalkalpen), Abbildung 6.4-12, wieder anders aus. Sie ähnelt der des Wuchsbezirkes 11.3. Hier sieht man eine deutliche Unterschreitung der Referenzlinie der IV. Ertragsklasse. Man findet niedrigere Höhenwerte in höherem Alter als bei Wuchsbezirk 11.3. Auch in diesem Wuchsbezirk gibt es noch viele Bestände in den hohen Altersstufen. Die Grundflächenhaltung zeigt das breiteste Streuband von allen hier betrachteten Wuchsbezirken.

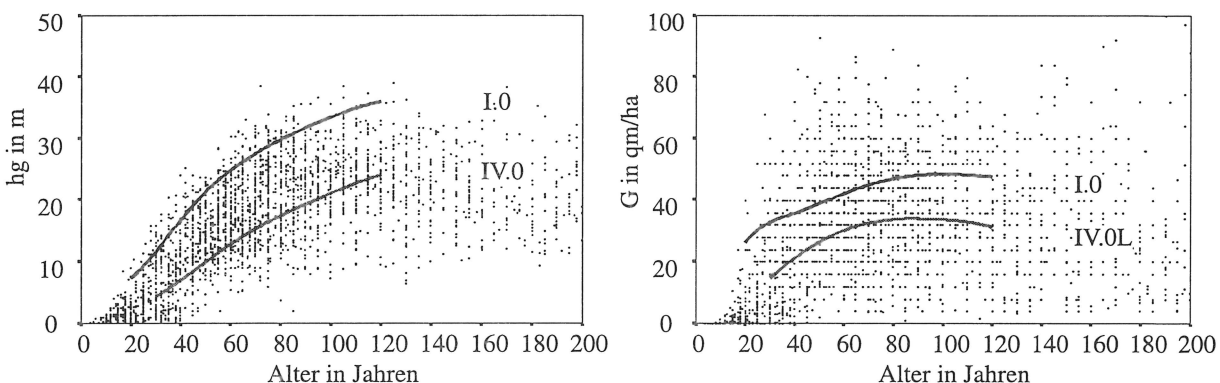


Abb. 6.4-12: Mittelhöhen (links) und Grundflächenwerte (rechts) über dem Alter im Wuchsbezirk 15.5 (Mittlere Bayerische Kalkalpen). Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von WIEDEMANN (1936/42), mäßige Durchforstung, Bonität I.0 und IV.0 eingetragen.

7 Ansätze zur Quantifizierung der Veränderung des Wachstums von Fichtenbeständen

7.1 Vergleich von Vor- und Folgebestand

Beim Vergleich von Vor- und Folgebestand wird unter möglichst gleichen Anfangsbedingungen das Wachstum zweier Bestandesgenerationen miteinander verglichen. Für diesen Vergleich liegen Daten aus fünf Versuchsreihen vor.

7.1.1 Wachstum von Vor- und Folgebestand im Bereich Schongau

Die Versuchsreihe Sachsenried 02 ging aus einer im Jahr 1850 mit einer Verbandsweite von 1,4 x 1,4 m auf ehemaligem Garten- und Hausgrund begründeten Pflanzung hervor. Der Versuch Sachsenried 03 liegt in einem Bestand, der im Jahr 1849 durch Vollsamt entstanden ist. Der Boden wurde zuvor ackerbaulich genutzt. Der Versuch Sachsenried 602 (Folgebestand) wurde auf der Fläche der ehemaligen Versuchsfläche Sachsenried 03 (Saatfläche) im Jahr 1968 mit vierjährigen Fichten im Verband 1,4 x 1,4 m gepflanzt. Die Saatfläche Sachsenried 03 war in den ersten Jahrzehnten im Höhenwachstum durch die überdichte Saat beeinträchtigt (ASSMANN, 1961). Daher wurde zum Vergleich auch die durch Pflanzung begründete Fläche SAC 02 eingezeichnet, die ein wesentlich besseres Höhenwachstum zeigt (Abb. 7.1-1). Die Oberhöhe im Folgebestand steigt mit dem Alter sehr schnell an. In einem Alter von 30 Jahren werden bereits 17 m Oberhöhe erreicht. Die Vergleichswerte für die Oberhöhenbonität 40 werden übertroffen. Das Höhenwachstum liegt damit deutlich über den Werten für die durch Saat

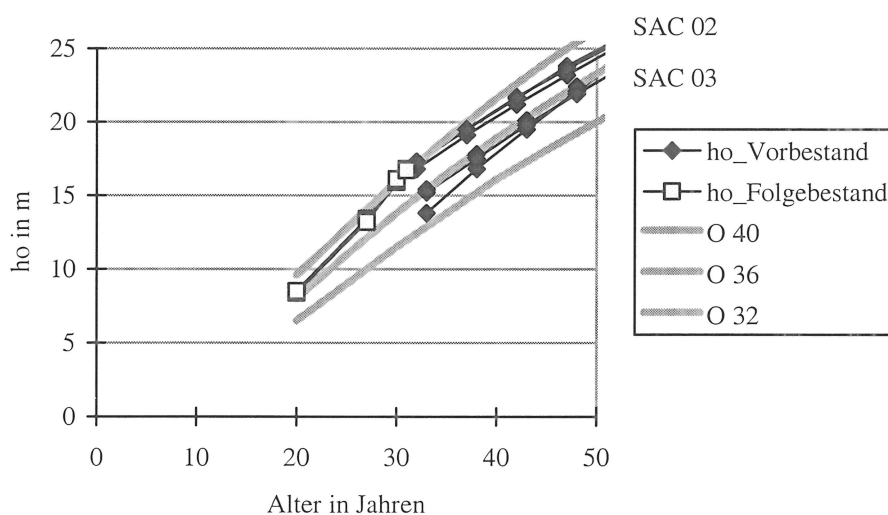


Abb. 7.1-1: Darstellung der Oberhöhe (ho) über dem Alter auf den Versuchsflächen Sachsenried 02, Sachsenried 03 (Vorbestände) und Sachsenried 602 (Folgebestand). Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963), Oberhöhenbonitäten 40, 36 und 32, eingetragen.

begründete Fläche Sachsenried 03 und übertrifft geringfügig die Werte von Sachsenried 02. Auffällig ist die hohe Steigung der Entwicklungslinie. Diese sehr günstige Oberhöhenentwicklung wurde erreicht, obwohl die auf den Flächen gepflanzten Fichten in den ersten Jahren Anwuchsschwierigkeiten hatten (UTSCHIG, 1998).

Die Vorratsentwicklung auf den Flächen (Abb. 7.1-2) verdeutlicht zunächst das hohe Leistungsniveau der gesamten Versuchsreihe Sachsenried. Im Vorbestand liegen die bis zum Alter 31 unbehandelten Parzellen in ihrer Vorratshaltung deutlich über dem Niveau der Oberhöhenbonität 40, oberes Ertragsniveau. Die Folgebestände erreichen wiederum sehr hohe Vorratswerte, beispielsweise im Alter von 29 Jahren auf A-Grad Parzellen 340 VfmS/ha. Damit werden auch die Vorratswerte von Sachsenried 03 deutlich und die von Sachsenried 02 geringfügig übertroffen.

Am auffälligsten wird der Unterschied in der Zuwachsleistung zwischen Vor- und Folgebestand (Abb. 7.1-3). Aus den drei bisher vorliegenden Aufnahmen konnten im Folgebestand für die beiden Zuwachsperioden laufende periodische Volumenzuwächse von 30 VfmS/ha und Jahr und 37 VfmS/ha und Jahr ermittelt werden. Dieses Zuwachsniveau erreichten die Vorbestände nicht, dort lagen die maximale Volumenzuwächse bei 29 VfmS/ha und Jahr. Bisher zeigt der Folgebestand demnach ein sehr hohes Leistungsniveau, das die „historischen“ Wuchsleistungen übertrifft.

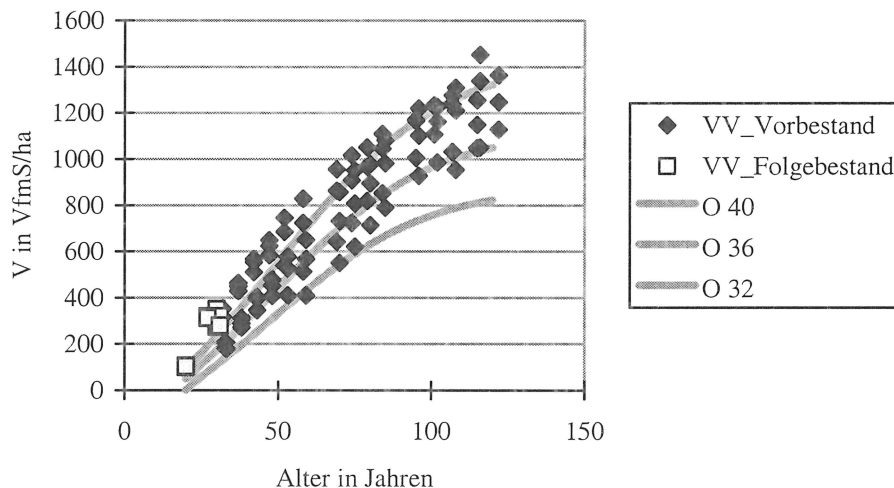


Abb. 7.1-2: Darstellung des Vorrates für den verbleibenden Bestand (VV) über dem Alter auf den Versuchsflächen Sachsenried 02, Sachsenried 03 (Vorbestände) und Sachsenried 602 (Folgebestand). Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963), Oberhöhenbonitäten 40, 36 und 32, oberes Ertragsniveau, eingetragen.

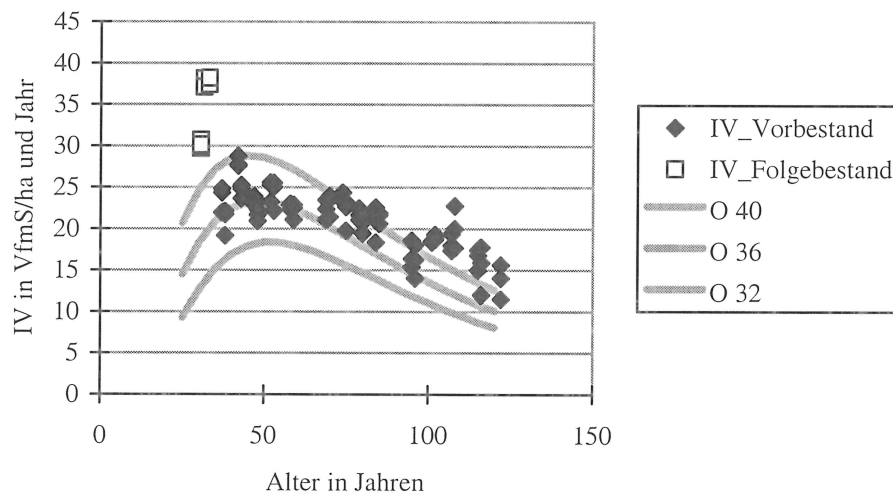


Abb. 7.1-3: Darstellung des laufenden jährlichen Volumenzuwachses (IV) über dem Alter auf den Versuchsflächen Sachsenried 02, Sachsenried 03 (Vorbestände) und Sachsenried 602 (Folgebestand). Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963), Oberhöhenbonitäten 40, 36 und 32, oberes Ertragsniveau, eingetragen.

7.1.2 Wachstum von Vor- und Folgebestand in Ottobeuren

Die Versuchsreihe Ottobeuren wurde im Jahr 1850 mit einer Verbandsweite von 1,4 x 1,4 m auf ehemaligem Weideland gepflanzt. Der Folgebestand wurde streifenweise von Ende der 60er bis Mitte der 70er Jahre durch Pflanzung begründet. Der Folgebestand wurde im Rahmen einer Probeflächenaufnahme von RÖHLE (1995) ertragskundlich aufgenommen.

Die Oberhöhenentwicklung des Vorbestandes folgt dem Höhenfächer der Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963) auf dem Niveau der Oberhöhenbonität 40 (Abb. 7.1-4). Der Folgebestand hat bei der Aufnahme im Jahr 1994 im Alter von 25 Jahren eine Oberhöhe von 17,1 m, während der Vorbestand diese Oberhöhe erst im Alter von 32 Jahren erreichte. Würde der Zuwachs an Oberhöhe im Folgebestand nur 0,5 m/Jahr betragen, so wäre der Folgebestand bei gleichem Alter um 3,5 m höher als der Vorbestand.

Beim Vergleich der Vorratshaltung schneidet der Folgebestand ebenso besser ab als der Vorbestand (Abb. 7.1-5). Er erreicht vergleichbare Vorratswerte bereits 7 Jahre früher als dies im Vorbestand der Fall war. Im Alter von 25 Jahren beträgt der stehende Vorrat 341 VfmS/ha. Der Bestand wurde bisher noch nicht durchforstet.

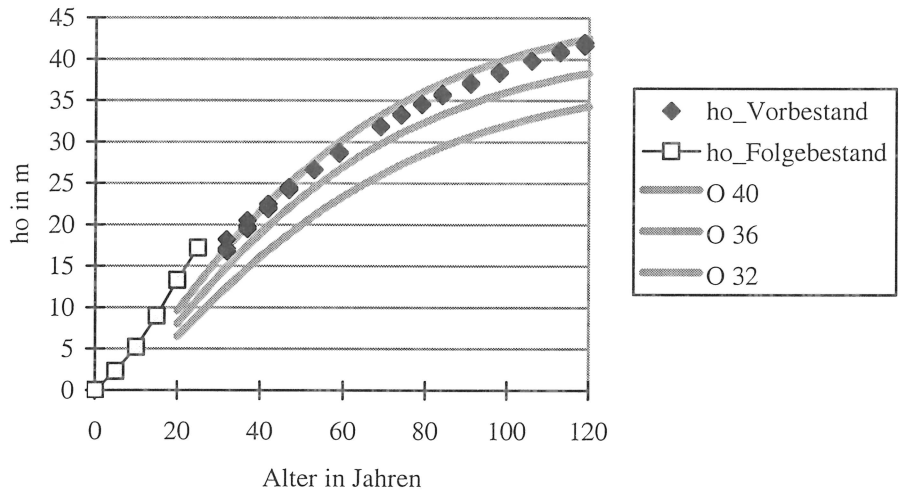


Abb. 7.1-4: Darstellung der Oberhöhe (ho) über dem Alter auf der Versuchsfläche Ottobeuren 08 (Vorbestand) und der Probefläche im Folgebestand. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963), Oberhöhenbonitäten 40, 36 und 32, eingetragen.

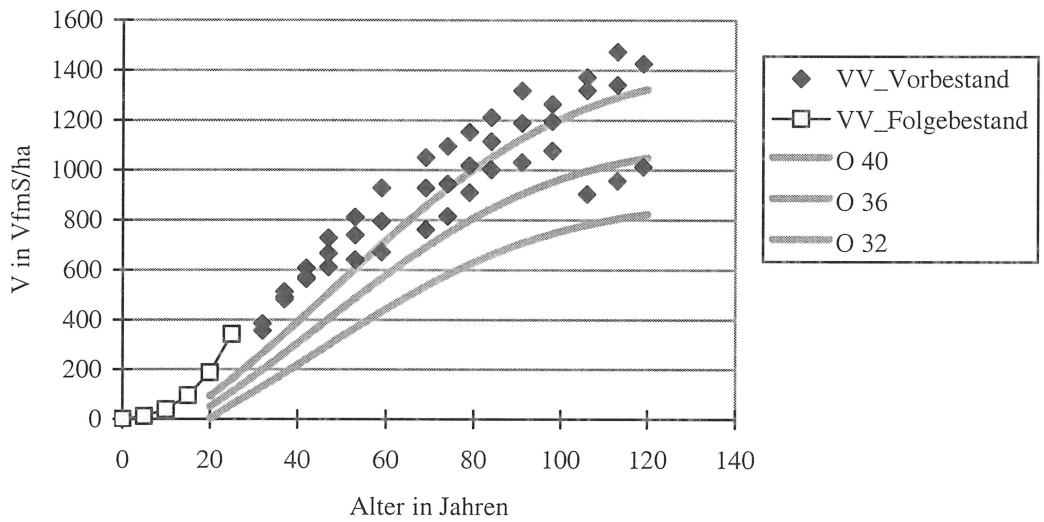


Abb. 7.1-5: Darstellung des Vorrats des verbleibendes Bestandes in VfmS/ha (VV) über dem Alter auf der Versuchsfläche Ottobeuren 08 (Vorbestand) und der Probefläche im Folgebestand. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963), Oberhöhenbonitäten 40, 36 und 32, oberes Ertragsniveau, eingetragen.

7.1.3 Wachstum von Vor- und Folgebestand im Stiftungsforstamt Laugna

Der Versuch Laugna 315 wurde von JOHANN im Jahr 1961 angelegt. Erste Auswertungsergebnisse finden sich in JOHANN (1968). Die Wuchsbedingungen im Stiftungsforstamt Laugna sind geprägt durch die historische Entwicklung: Streunutzung wurde bis 1847 uneingeschränkt und dann bis 1923 mit Einschränkungen ausgeübt. Erst ab 1923 wurde sie vollständig eingestellt. Der Phosphorentzug durch intensive Seegrasnutzung hat sich sehr negativ auf die Standorte ausgewirkt.

Die Altbestände im Forstamt Laugna (Abb. 7.1-6) erreichten in den 60er Jahren Oberhöhen von 32 bis 34 m im Alter von 100 Jahren (P1_vor, P2_vor). Altbestände (P12_vor, P13_vor) zeigen von einem eher niedrigeren Niveau ausgehend einen starken Anstieg in der Oberhöhenbonität. Die Folgebestände (P1, P2, P13 und P12) haben auf gleichem Standort Höhenwuchsleistungen, die einer Oberhöhenbonität 40 entsprechen oder darüber liegen.

Gleichzeitig mit der Bonitätsverbesserung steigt die Vorratshaltung in den Beständen. Der Altbestand (P6) hatte zu Versuchsbeginn im Alter von 80 Jahren einen Vorrat von 720 VfmS/ha. Die Folgebestände erreichen im Alter von 40 Jahren bereits stehende Vorräte von über 500 VfmS/ha (Abb. 7.1-7).

In Abhängigkeit von der Durchforstungsstärke variiert die Höhe des laufenden Volumenzuwachses in den betrachteten jüngeren Beständen zwischen 25 und 30 VfmS/ha und Jahr. Das Zuwachsniveau des Altbestandes liegt bereits zu Beginn der Untersuchungen in Relation zu seiner erreichten Oberhöhe recht hoch bei der Vergleichslinie für die Oberhöhenbonität 40 (Abb. 7.1-8). Das alterstypische Absinken des laufenden Zuwachses findet nur abgeschwächt statt. In der Altersphase 90 bis 115 Jahre werden noch laufende jährliche Volumenzuwächse von 17 VfmS/ha und Jahr erbracht.

Diese Befunde zeigen, dass sich die Standorte im Forstamt Laugna regenerieren. Die Streunutzung ist eingestellt, durch eine veränderte Waldbewirtschaftung wird verstärkt Laubholz eingebracht und Feinreisig bleibt im Wald. Begünstigt wird dieser Regenerationsprozess durch die hohen Stickstoffeinträge in diesem Gebiet (HÜSER und REHFUESS, 1988).

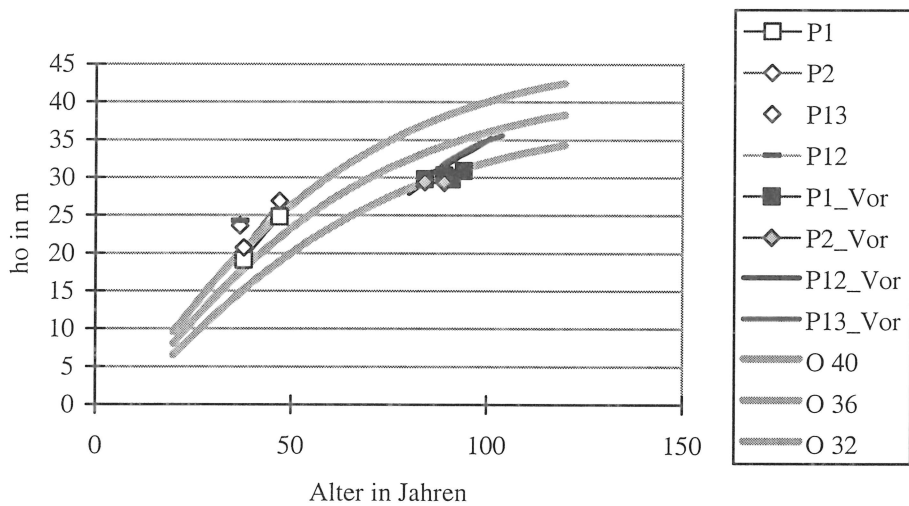


Abb. 7.1-6: Darstellung der Oberhöhe (ho) über dem Alter auf der Versuchsfläche Laugna 315 (Vor = Vorbestand) und Versuchsflächen in den Folgebeständen. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertrags-tafel von ASSMANN und FRANZ (1963), Oberhöhenbonitäten 40, 36 und 32, eingetragen.

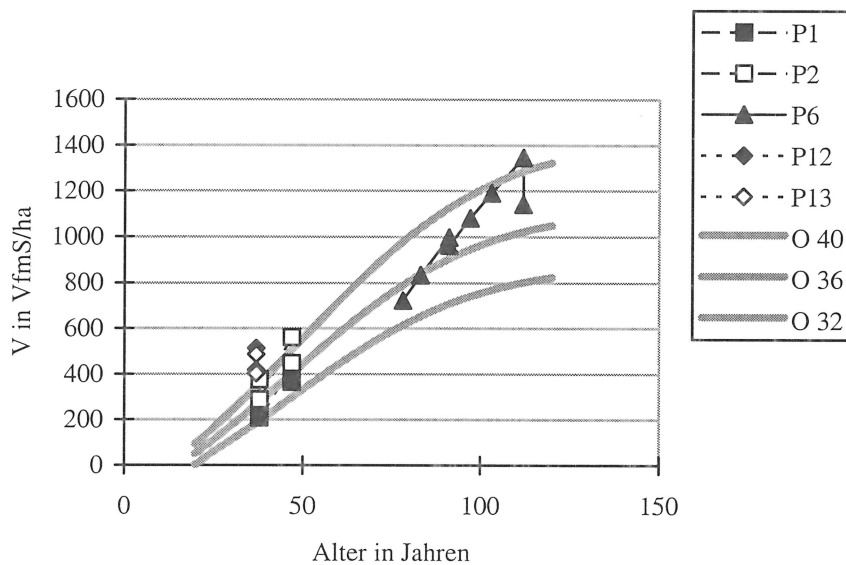


Abb. 7.1-7: Darstellung der Oberhöhe (ho) über dem Alter auf der Versuchsfläche Laugna 315 für die Parzelle 6 (Altbestand, repräsentiert Vorbestand) und den Versuchsflächen in den Folgebeständen. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertrags-tafel von ASSMANN und FRANZ (1963), Oberhöhenbonitäten 40, 36 und 32, oberes Ertragsniveau, eingetragen.

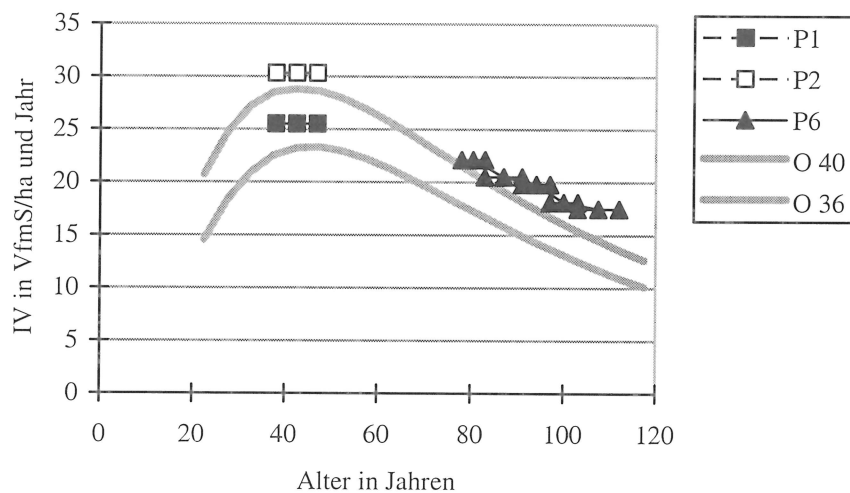


Abb. 7.1-8: Darstellung des laufenden Volumenzuwachses über dem Alter auf der Versuchsfläche Laugna 315. Der Zuwachsgang auf Parzelle 6 (Altbestand, repräsentiert Vorbestockung) und den Versuchsflächen in den Folgebeständen ist gegenübergestellt. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963), Oberhöhenbonitäten 40, 36 und 32, oberes Ertragsniveau, eingetragen.

7.1.4 Wachstum von Vor- und Folgebestand in Fürstenfeldbruck

Der Versuch Fürstenfeldbruck 09 gehört zu den ältesten Versuchsflächen des Ertragskundlichen Versuchswesens in Bayern. Er wurde im Jahr 1871 als dreiparzelliger Versuch mit den Behandlungsvarianten A-, B- und C-Grad angelegt. Der Bestand entstand 1835 aus einer natürlichen Ansammlung unter dem Schutz alter Buchen. Nachdem der Bestand durch Windwurf angerissen wurde, erfolgte im Jahr 1931 die Versuchsaufgabe. Der Versuch wurde zwar mehrfach intensiv ausgewertet, aber nicht in die zusammenfassenden Auswertungen der bayerischen Fichten-Durchforstungsversuche von VANSELOW (1943) und ASSMANN (1961) einbezogen.

Nach der Versuchsaufgabe wurde durch Pflanzung von Fichte und Laubholz ein neuer Bestand begründet. Heute ist in dem ehemaligen Versuchsareal überwiegend ein Mischwald aus Fichte und Buche mit Beimischung von zahlreichen Weichlaubhölzern entstanden. In einer Partie, die mit Fichte bestockt ist, war es möglich, eine Probefläche (Größe 30,0 x 30,0 m) anzulegen und an 5 Probestämmen aus dem Oberhöhenkollektiv die Höhentriebe zurückzumessen.

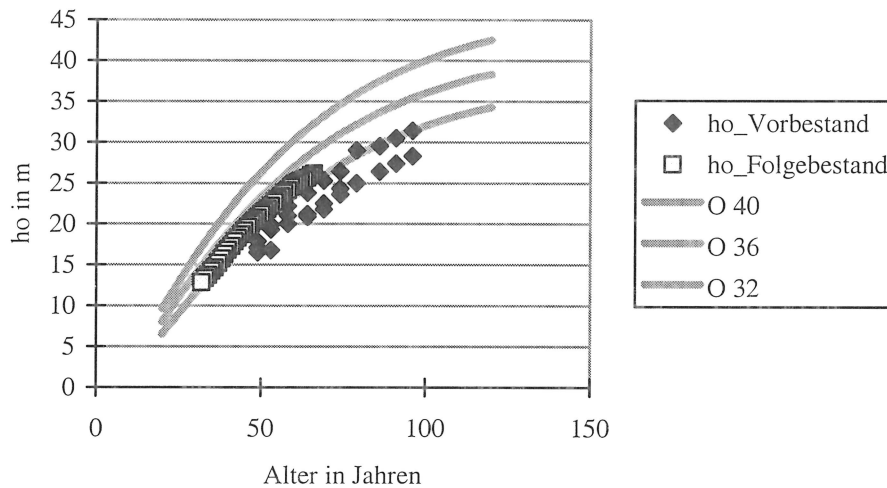


Abb. 7.1-9: Darstellung der Oberhöhe (ho) über dem Alter auf der Versuchsfläche Fürstfeldbruck 09 (Vorbestand) und der Probefläche im Folgebestand. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963), Oberhöhenbonitäten 40, 36 und 32, eingetragen.

Auf Abbildung 7.1-9 sind die Oberhöhenentwicklungen von Vor- und Folgebestand dargestellt. Der Folgebestand entwickelt sich zwischen den Oberhöhenbonitäten 36 und 32, der Vorbestand auf dem Niveau der Oberhöhenbonität 32. Der Höhenvorsprung des Folgebestandes hat im Alter von 49 Jahren 2,9 m betragen (Vorbestand: 17,9 m, Folgebestand 20,8 m) und im Alter von 64 Jahren noch 1,8 m (Vorbestand: 23,8 m, Folgebestand 25,6 m). Hier wurden als Vergleich die jeweils höchsten Werte für die Oberhöhe aus den 3 Parzellen gewählt. Der Folgebestand zeigt in den letzten Jahren, verursacht durch einen Befall mit der Kleinen Fichtenblattwespe (*Pristiphora abietina*), einen leichten Einbruch im Höhenwachstum.

Die Vorratsentwicklung auf dem Versuch Fürstfeldbruck 09 (Vorbestand) verläuft unterhalb des Niveaus der Oberhöhenbonität 32, oberes Ertragsniveau (Abb. 7.1-10). Auf der unbehandelten A-Grad Parzelle werden maximale Vorräte von 618 VfmS/ha im Alter von 96 Jahren erreicht. Im Vorbestand (A-Grad) betrug der Bestandesvorrat im Alter von 64 Jahren 395 VfmS/ha. Der Folgebestand hat im Alter von 66 Jahren bereits einen stehenden Vorrat von 606 VfmS/ha erreicht. Berücksichtigt man für die Altersdifferenz von 2 Jahren einen Zuwachs 50 VfmS/ha, so liegt der Vorrat des Folgebestandes immer noch um nahezu 150 VfmS/ha über dem des Vorbestandes.

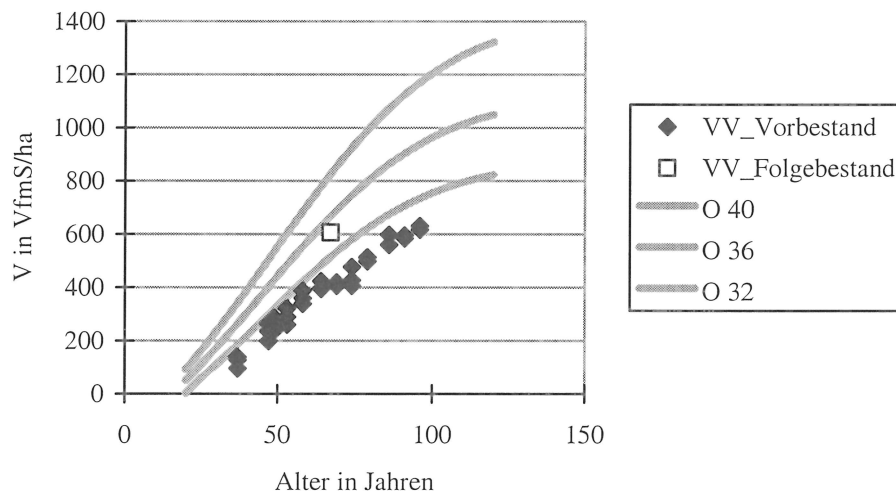


Abb. 7.1-10: Darstellung des Vorrats des verbleibendes Bestandes in VfmS/ha (VV) über dem Alter auf der Versuchsfläche Fürstenfeldbruck 09 (Vorbestand) und der Probestfläche im Folgebestand. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963), Oberhöhenbonitäten 40, 36 und 32, oberes Ertragsniveau, eingetragen.

7.1.5 Wachstum von Vor- und Folgebestand in Freising

Die Versuchsreihe Freising 23 liegt auf Tertiär mit diluvialer Lehmdecke. Der Boden besteht aus sandigem Lehm und wurde früher landwirtschaftlich genutzt. Der Bestand ist durch Haherschuttsaat im Jahre 1846 entstanden. Im Alter von 25 Jahren begann die Beobachtung; der Versuch wurde aber wegen wiederholter Sturmschäden im Jahr 1936 aufgegeben.

Der Folgebestand wurde durch Pflanzung der Fichte am Saum zwischen den Jahren 1936 und 1940 begründet. In einem gleichförmigen, geschlossenen Fichtenteil konnte im Jahre 1998 eine Probestfläche angelegt werden. An fünf Oberhöhenbäumen erfolgten Höhentriebrückmessungen zur retrospektiven Erfassung der Höhenentwicklung.

Die Oberhöhenentwicklung des Folgebestandes verläuft über der Vergleichslinie für die Oberhöhenbonität 40 (Abb. 7.1-11). Die Werte des Vorbestandes streuen um die Vergleichslinie der Oberhöhenbonität 36. Im Alter von 38 Jahren beträgt der Vorsprung des Folgebestandes 2,3 m in der Oberhöhe (Folgebestand 22,8 m, Vorbestand 20,5 m), im Alter von 48 Jahren liegt er ebenfalls bei 2,3 m (Folgebestand 26,8 m, Vorbestand 24,5 m). Dabei wurde jeweils die höchste Oberhöhe der drei Parzellen mit den Probestammessungen verglichen.

Die Vorratswerte von Vor- und Folgebestand sind auch sehr unterschiedlich. Der Vorbestand hat im Alter von 50 Jahren im A-Grad einen Vorrat von 580 VfmS/ha. Der Folgebestand erreicht dagegen einen Vorratswert von 670 VfmS/ha (Abb. 7.1-12). Dies ist umso bemerkenswerter, da im Folgebestand ortsüblich durchforstet wurde, und deshalb ein niedrigerer Vorrat als im A-Grad des Vorbestandes zu erwarten gewesen wäre.

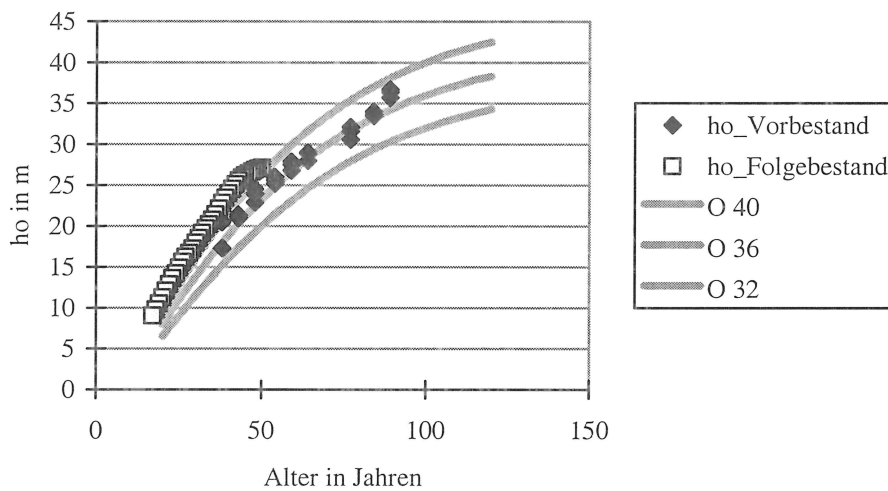


Abb. 7.1-11: Darstellung der Oberhöhe (ho) über dem Alter auf der Versuchsfläche Freising 23 (Vorbestand) und der Probefläche im Folgebestand. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963), Oberhöhenbonitäten 40, 36 und 32, eingetragen.

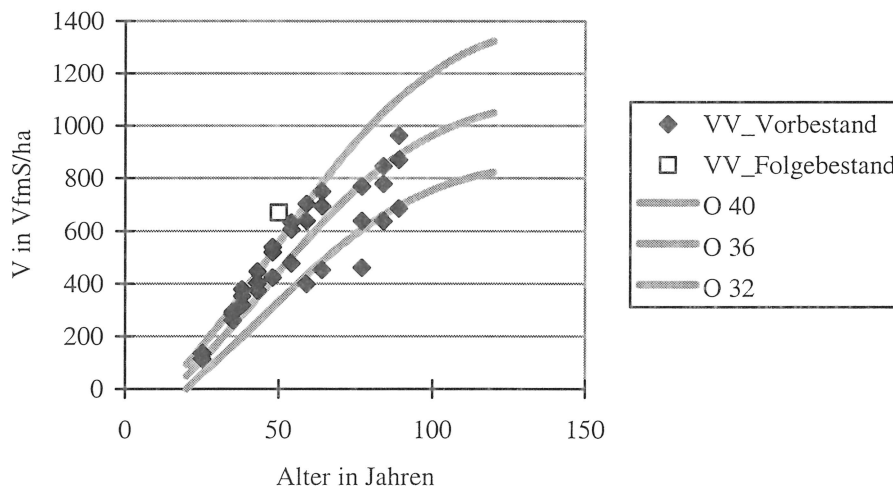


Abb. 7.1-12: Darstellung des Vorrats des verbleibendes Bestandes in VfmS/ha (VV) über dem Alter auf der Versuchsfläche Freising 23 (Vorbestand) und der Probefläche im Folgebestand. Zum Vergleich sind die Werte für die Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963), Oberhöhenbonitäten 40, 36 und 32, oberes Ertragsniveau, eingetragen.

7.2 Langfristiger alterstypischer Baumzuwachs

7.2.1 Langfristiger alterstypischer Baumzuwachs im Untersuchungsgebiet Schongau

Die Methode des langfristigen alterstypischen Baumzuwachses wurde in Kapitel 3.2.3 ausführlich besprochen. Zunächst werden für das Untersuchungsgebiet Schongau (vgl. Kap. 5.5) die Radial-Wachstumskurven der Probestämme vorgestellt (Abb. 7.2-1, oben, links). Es zeigt sich, dass sehr viele Bäume in die Untersuchung einbezogen werden konnten. Das Keimjahr der untersuchten Bäume, das ist das Entstehungsjahr der Bäume, reicht von 1840 bis 1965. In der folgenden Graphik (Abb. 7.2-1, oben, rechts) wird das erfasste Altersspektrum über dem Kalenderjahr aufgetragen. Dies gibt einen Überblick darüber, welche Altersspektren zum Vergleich herangezogen werden können (eingezeichneter Rahmen auf Abb. 7.2-1, oben, rechts). Im Bereich Schongau können wegen der hohen Probandichte die Altersphasen von 20 bis 109 Jahren untersucht werden.

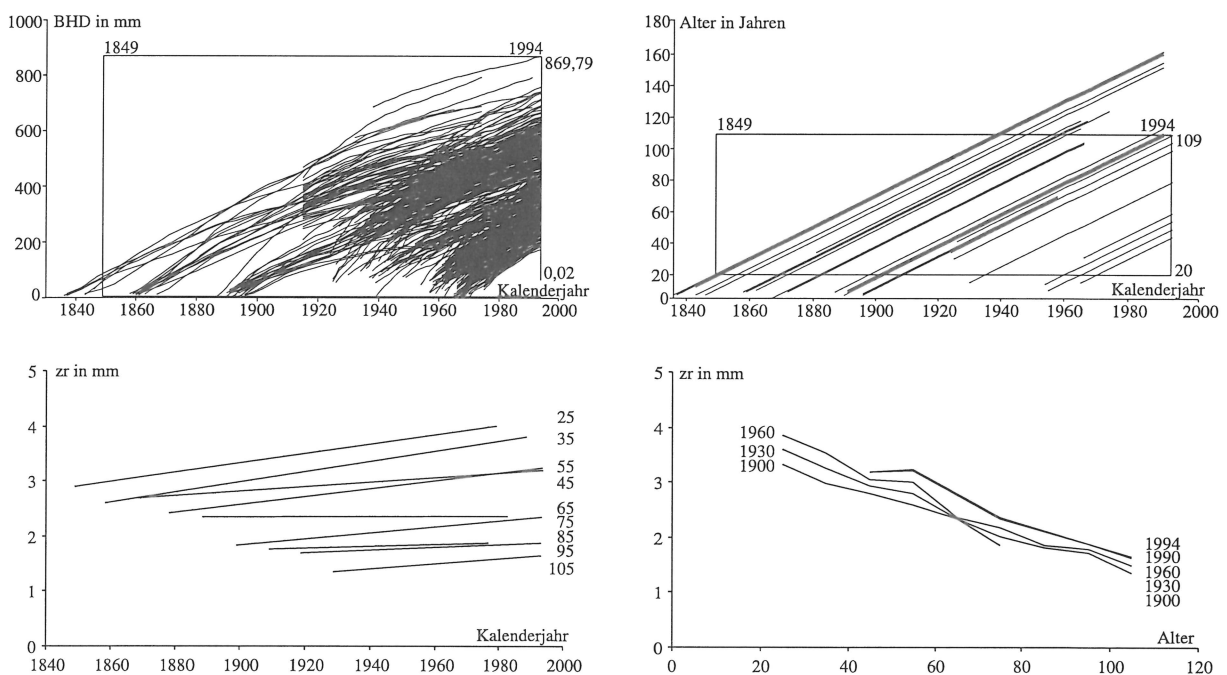


Abb. 7.2-1: Analyse der Zuwachsentwicklung von Bäumen gleichen Alters in unterschiedlichen Jahrzehnten in Untersuchungsbeständen im Bereich von Schongau. Die Radial-Wachstumskurven (oben, links), das Altersspektrum über dem Kalenderjahr (oben, rechts), die mittleren Radialzuwächse einzelner Altersgruppen (unten, links) und die Zuwachsleistung verschieden alter Bestände in Abhängigkeit vom Kalenderjahr sind dargestellt (unten, rechts).

Als erstes Auswertungsergebnis werden die mittleren Durchmesserzuwächse der einzelnen Altersgruppen über dem Kalenderjahr aufgetragen (Abb. 7.2-1, unten, links). Zunächst ergibt sich im Radialzuwachs eine deutliche Schichtung der Altersphasen. Junge Bäume haben höhere Radialzuwächse als ältere Bäume. Gleichzeitig ist in fast allen Altersphasen ein Ansteigen der Linien mit dem Kalenderjahr zu verzeichnen. Das kann so interpretiert werden, dass

heute beispielsweise 25 Jahre alte Fichten einen höheren Radialzuwachs haben als Fichten, die im Jahre 1880 25 Jahre alt waren. In jüngeren Altersphasen macht dieser Anstieg 1,0 mm/Jahr aus, mit zunehmendem Alter fällt der Anstieg flacher aus. Auf Abbildung 7.2-1 (rechts, unten) wird abschließend zusammenfassend dargelegt, wie sich die Zuwachsleistung verschieden alter Bestände in Abhängigkeit vom Kalenderjahr (hier in Schritten von 30 Jahren zwischen 1900 und 1990/94) verändert hat. Jungbestände zeigen einen kontinuierlichen Anstieg im Radialzuwachs von 3,2 mm auf etwa 4 mm pro Jahr, in höherem Alter macht der Unterschied noch ca. 0,5 mm pro Jahr aus. Obwohl das Untersuchungsgebiet in Schongau durch eine sehr gute Nährstoffausstattung gekennzeichnet ist, treten die hier beschriebenen Änderungen im Radialzuwachs auf.

7.2.2 Langfristiger alterstypischer Baumzuwachs im Untersuchungsgebiet Freising

Die Radial-Wachstumskurven der Probestämme im Bereich Freising (Abb. 7.2-2, oben, links) zeigen, dass auch hier sehr viele Bäume in die Untersuchung einbezogen werden konnten. Das Keimjahr der untersuchten Bäume umfasst die Zeitspanne vom Jahr 1905 bis zum Jahr 1970. Im Untersuchungsgebiet Freising reicht der Bereich der untersuchten Altersphasen von 20 bis 59 Jahren (Abb. 7.2-2, oben, rechts). Zunächst ergibt sich auch hier in fast allen Altersphasen ein Ansteigen der Linien mit dem Kalenderjahr. In jüngeren Altersphasen macht dieser Anstieg 1,5 mm/Jahr aus. Der Anstieg über dem Kalenderjahr ist steiler als auf den Versuchsflächen im Bereich Schongau (vgl. Abb. 7.2-2, unten, links). Dieser relativ steile Anstieg ist bis zu der Altersphase 55 Jahre ausgeprägt. Auf Abbildung 7.2-2 (unten, rechts) wird abschließend wieder zusammenfassend dargelegt, wie sich die Zuwachsleistung verschieden alter Bestände in Abhängigkeit vom Kalenderjahr (hier in Schritten von 30 Jahren zwischen 1930 und 1990/95) verändert hat. Jungbestände, die 1990 oder 1995 wachsen, zeigen einen um 1,5 mm erhöhten Radialzuwachs als vergleichbare Bestände, die im Jahr 1930 erwachsen sind. Für ältere Bestände deutet sich ebenfalls eine deutliche Verschiebung hin zu höheren Radialzuwachsen in den letzten Jahrzehnten an. Diese Verschiebungen sind im Vergleich zum Untersuchungsgebiet Schongau (Kap. 7.2.1) sehr deutlich ausgeprägt.

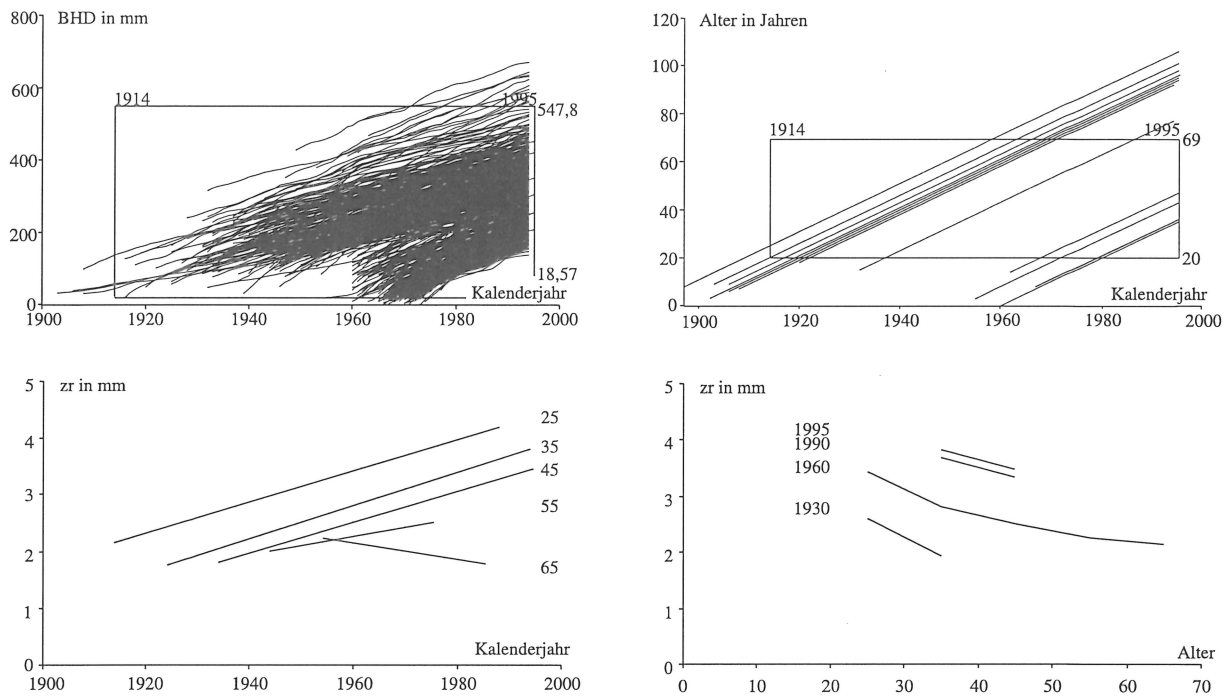


Abb. 7.2-2: Analyse der Zuwachsentwicklung von Bäumen gleichen Alters in unterschiedlichen Jahrzehnten in Untersuchungsbeständen im Bereich von Freising. Die Radial-Wachstumskurven (oben, links), das Altersspektrum über dem Kalenderjahr (oben, rechts), die mittleren Radialzuwächse einzelner Altersgruppen (unten, links) und die Zuwachsleistung verschieden alter Bestände in Abhängigkeit vom Kalenderjahr sind dargestellt (unten, rechts).

7.2.3 Langfristiger alterstypischer Baumzuwachs im Untersuchungsgebiet Bodenmais

Als Nächstes wird das Untersuchungsgebiet Bodenmais betrachtet. Wegen der großen Höhenzonierung wurden die zur Verfügung stehenden Daten nach „Hochlagen“ und „Tieflagen“ getrennt.

Für die „Tieflagen“ ist das Altersspektrum der Probestämme breiter verteilt als in den bisherigen Untersuchungsgebieten. Die Daten reichen vom Keimjahr 1800 bis 1975, es gibt aber für sehr frühe Keimjahre nur eine geringe Belegung mit Daten (Abb. 7.2-3, oben, links). Aus dem Datenmaterial kann ein Altersrahmen von 20 bis 89 Jahren untersucht werden (Abb. 7.2-3, oben, rechts). Die Darstellung der altersgleichen Zeitreihen über dem Kalenderjahr ergibt in Bodenmais ein heterogenes Bild (Abb. 7.2-3, unten, links). Ansteigende Linien (Altersrahmen 25 Jahre bis 55 Jahre) kreuzen sich mit absinkenden Linien (Altersrahmen 65 Jahre bis 85 Jahre). Besonders stark steigt der jährliche Radialzuwachs in der Altersphase 25 und 35 Jahre an, hier haben sich die Jahrringbreiten im Untersuchungszeitraum nahezu verdoppelt. Mit zunehmendem Alter fällt die Steigung der Geraden geringer aus oder sie bekommen sogar

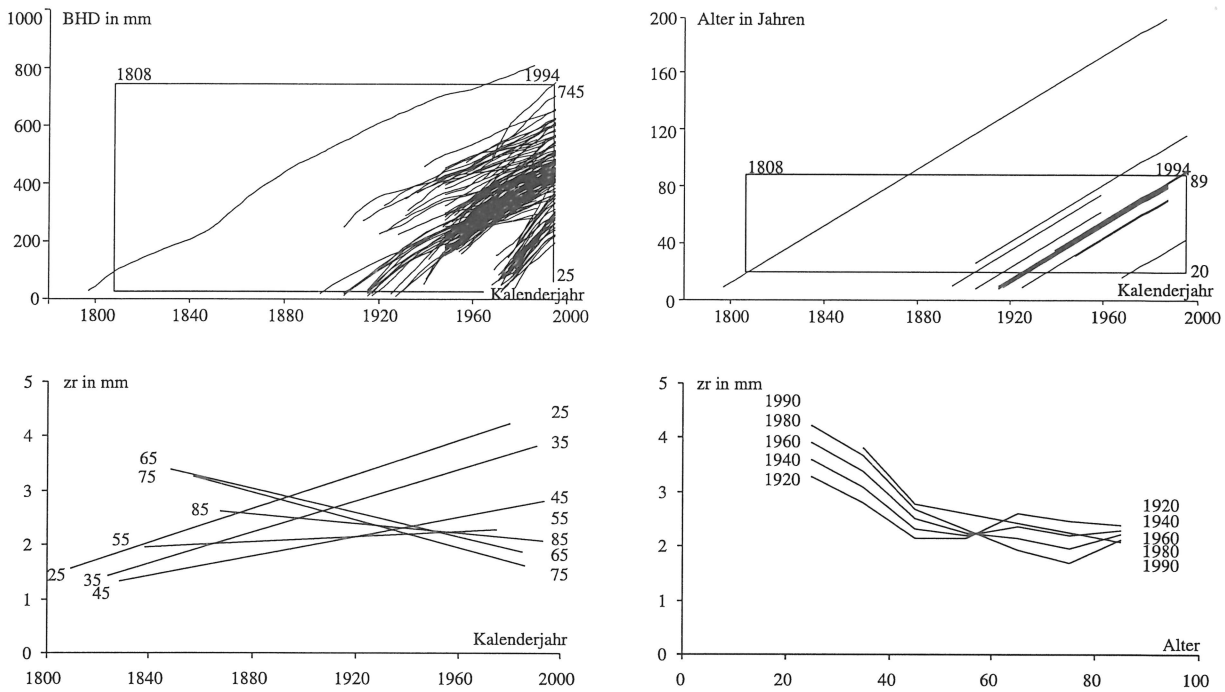


Abb. 7.2-3: Analyse der Zuwachsentwicklung von Bäumen gleichen Alters in unterschiedlichen Jahrzehnten auf Untersuchungsbeständen im Bereich von Bodenmais (Tieflagen). Die Radial-Wachstumskurven (oben, links), das Altersspektrum über dem Kalenderjahr (oben, rechts), die mittleren Radialzuwächse einzelner Altersgruppen (unten, links) und die Zuwachsleistung verschieden alter Bestände in Abhängigkeit vom Kalenderjahr sind dargestellt (unten, rechts).

eine negative Steigung. Daraus kann gefolgert werden, dass ältere Bäume heute geringere Jahrringbreiten ausbilden als in früheren Jahren. Insgesamt deutet sich in Bodenmais („Tieflagen“) eine Umkehr des Zuwachstrends mit steigendem Alter an (Abb. 7.2-3, unten, rechts).

Für die „Hochlagen“ im Bayerischen Wald stehen vor allem Untersuchungen von jüngeren Bäumen zur Verfügung (Abb. 7.2-4, oben, links). Das Altersspektrum, das hier untersucht werden kann, reicht vom Alter 20 bis 89 Jahre (Abb. 7.2-4, oben, rechts). Die Daten wurden häufig im Zusammenhang mit Waldschadensuntersuchungen gewonnen. Die altersgleichen Zeitreihen (Abb. 7.2-4, unten, links) haben für die Alter 25 Jahre und 35 Jahre bis zum Kalenderjahr 1950 einen ansteigenden Verlauf. Über das Jahr 1950 hinaus standen für diese Altersphase keine Daten zur Verfügung.

Für die Altersklassen zwischen 45 bis 85 Jahre zeigt die Ausgleichsgerade für den Radialzuwachs einen abfallenden Verlauf. Die Zusammenschau der Ergebnisse (Abb. 7.2-4 unten, rechts) zeigt, dass heute die Bäume einen wesentlich geringeren Radialzuwachs aufweisen als in vorangegangenen Jahrzehnten.

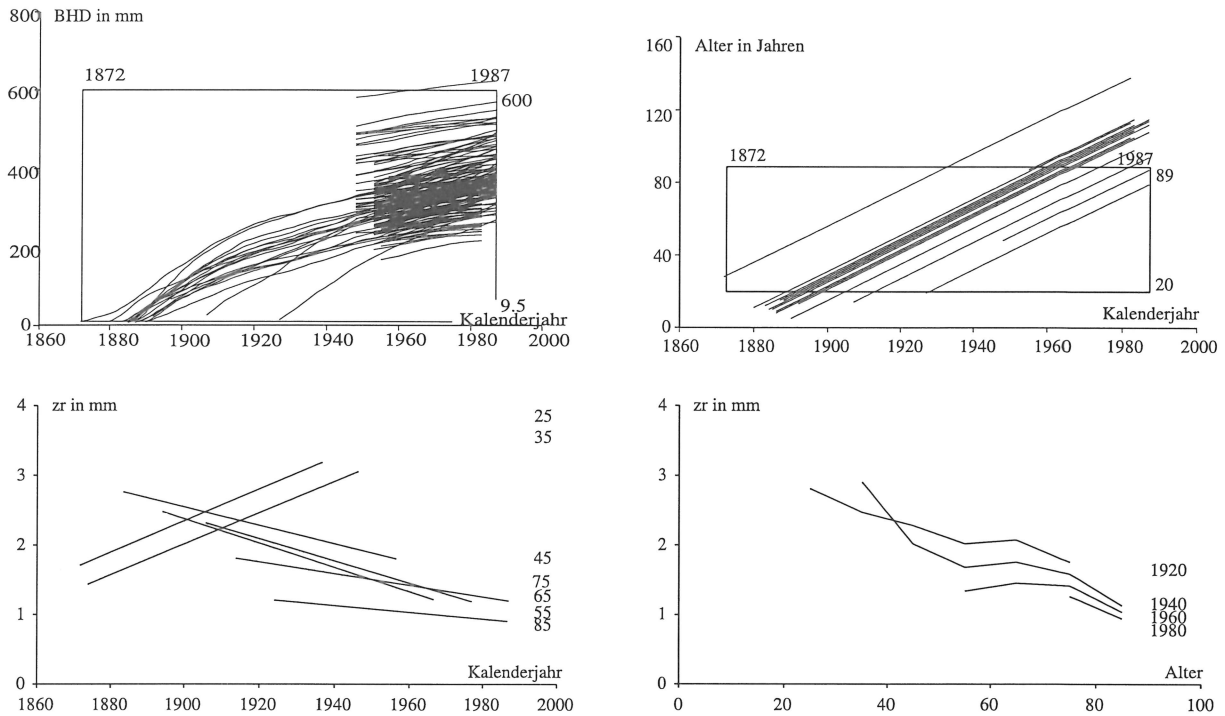


Abb. 7.2-4: Analyse der Zuwachsentwicklung von Bäumen gleichen Alters in unterschiedlichen Jahrzehnten in Untersuchungsbeständen im Bereich von Bodenmais (Hochlagen). Die Radial-Wachstumskurven (oben, links), das Altersspektrum über dem Kalenderjahr (oben, rechts), die mittleren Radialzuwächse einzelner Altersgruppen (unten, links) und die Zuwachsleistung verschieden alter Bestände in Abhängigkeit vom Kalenderjahr sind dargestellt (unten, rechts).

7.3 Ableitung von Wachstumstrends aus Inventuren

In Deutschland, wo die erste landesweite Inventur mit einheitlichem Stichprobenverfahren (BWII) im Jahre 1987 erfolgte und eine Wiederholungsinventur nach demselben Verfahren (BWIII) erst in Planung ist, können noch keine Inventurvergleiche mit Rückschlüssen auf das Waldwachstum erfolgen. Deshalb haben FOERSTER und BÖSWALD (1993) einen Vergleich zwischen einer weiter zurückgreifenden Landesinventur (GRI 1970/71) (FRANZ und KENNEL, 1973) und der BWII durchgeführt. Diese Auswertung erbrachte für Bayern erste flächenrepräsentative Informationen zum aktuellen Zuwachsniveau. Darüber hinaus konnten die aktuellen Zuwachsleistungen mit den Erwartungswerten der Ertragstafel verglichen werden.

Das Ausmaß der Bonitätsveränderung für Bayern wurde von FOERSTER und BÖSWALD (1993) quantifiziert. Sie verglichen die Bonitäten beider Inventuren. Die BWI-Bonitäten liegen im Durchschnitt für Bayern auf recht hohem Niveau. Für die Fichte errechnet sich eine mittlere Bonität von I.5 nach WIEDEMANN (1936/42). Zwischen den beiden Inventuren sind die Bonitäten der Fichte bei altersklassenweiser Betrachtung um fast 0.6 Bonitätseinheiten angestiegen (Abb. 7.3-1).

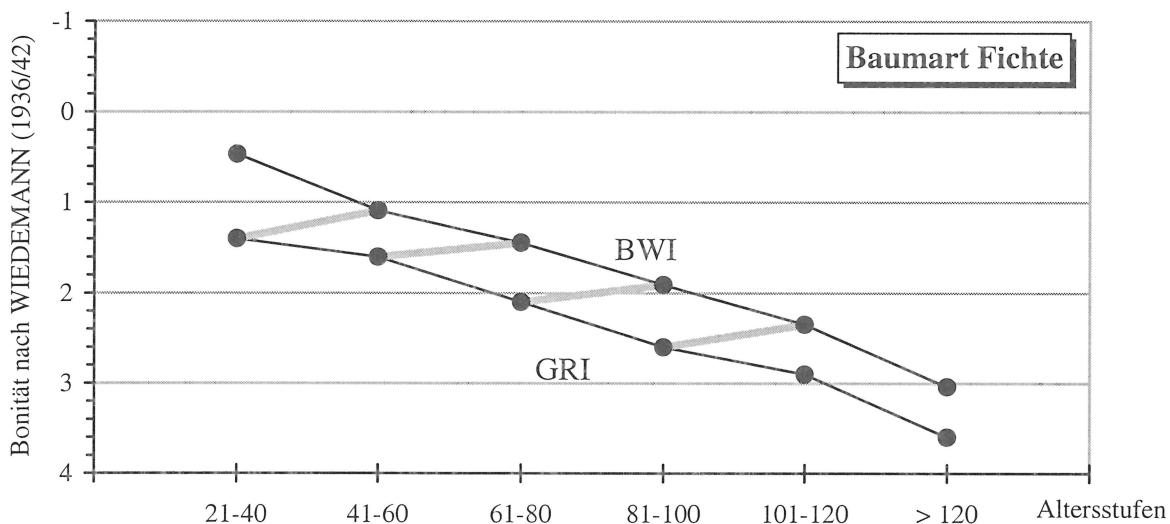


Abb. 7.3-1: Vergleich der durchschnittlichen Bonitäten für die Baumart Fichte nach der Bayerischen Großrauminventur (GRI, 1970/71) und der Bundeswaldinventur (BWII), getrennt nach Altersklassen. Dargestellt ist die mittlere grundflächengewichtete Bonität der Baumart Fichte nach der Ertragstafel WIEDEMANN (1936/42), mäßige Durchforstung und deren Veränderung von 1971 bis 1987 (graue Linien).

Zwischen den Inventuren (Tab. 7.3-1) hat sich der Derbholzvorrat in Bayerns Wäldern bei der Baumart Fichte um 72 VfmD/ha erhöht, bei den anderen Baumartengruppen liegt der Vorratsanstieg zwischen 30 und 39 VfmD/ha. Werden zu den Vorratsanstiegen die Nutzungen addiert, kann für den Beobachtungszeitraum der Volumenzuwachs berechnet werden. Es ergibt

sich für Fichte und Tanne ein laufender Volumenzuwachs zwischen den Jahren 1971 und 1987 von 12,6 VfmD/ha und Jahr. Die festgestellten Mehrzuwächse liegen im Vergleich zu den gängigen Ertragstafeln im Bereich von 12 bis 43 %. Diese Ergebnisse unterstreichen die Mängel der zugrundeliegenden Ertragstafeln und liefern Indizien für einen langfristigen Wachstumstrend (FOERSTER, BÖSWALD und KENNEL, 1993; PRETZSCH, 1996a).

Tab. 7.3-1: Entwicklung von Vorrat und Zuwachs der Waldbestände in Bayern in dem Zeitraum 1971 bis 1987 (nach PRETZSCH, 1996a). Ergebnisse nach der bayerischen Großrauminventur 1970/71 und der Bundeswaldinventur I 1987. Die Auswertung erfolgt für die Baumartengruppen Fichte, Kiefer, Buche und Eiche gestützt auf die Ertragstafeln von WIEDEMANN (1936/42), WIEDEMANN (1943/48), WIEDEMANN (1932) bzw. JÜTTNER (1955) für die mäßige Durchforstung.

Wachstum und Zuwachs von 1971 bis 1987 in Bayern		Fichte/ Tanne	Kiefer/ Lärche	Buche	Eiche ¹⁾
Vorrat 1971	(m ³ ha ⁻¹)	344	240	232	233
Vorrat 1987	(m ³ ha ⁻¹)	415	275	271	263
Vorratsanstieg 1971 bis 1987	(m ³ ha ⁻¹)	+ 27	+ 35	+ 39	+ 30
reguläre Nutzungen 1971 bis 1987	(m ³ ha ⁻¹)	123	95	61	58
sonstige Abgänge	(m ³ ha ⁻¹)	18	14	9	9
Volumenzuwachs gesamt 1971 bis 1987	(m ³ ha ⁻¹)	214	144	109	97
Volumenzuwachs jährlich 1971 bis 1987	(m ³ ha ⁻¹ Jahr ⁻¹)	12,6	8,5	6,4	5,7
Zuwachswerte der Ertragstafel 1971 bis 1987	(m ³ ha ⁻¹ Jahr ⁻¹)	9,6	5,9	5,7	4,5
Prozentische Abweichung Wirklichkeit/Tafel	(%)	+ 31	+ 43	+ 12	+ 27

¹⁾ Die Daten für Fichte, Kiefer und Buche gelten für den bayerischen Staatswald, die Angaben für die Eiche beziehen sich auf die gesamte Waldfläche.

8 Regionalisierung der Erkenntnisse zu den Wachstumstrends der Fichte in Bayern

Die bisher zusammengetragenen Ergebnisse geben einen Überblick über die am Lehrstuhl für Waldwachstumskunde vorliegenden Resultate aus Versuchsflächen, Wuchsreihen oder Inventuren. Abhängig von ihrem räumlichen und standörtlichen Bezug, können Hinweise auf das Leistungspotential in verschiedenen bayerischen Wuchsräumen gegeben werden.

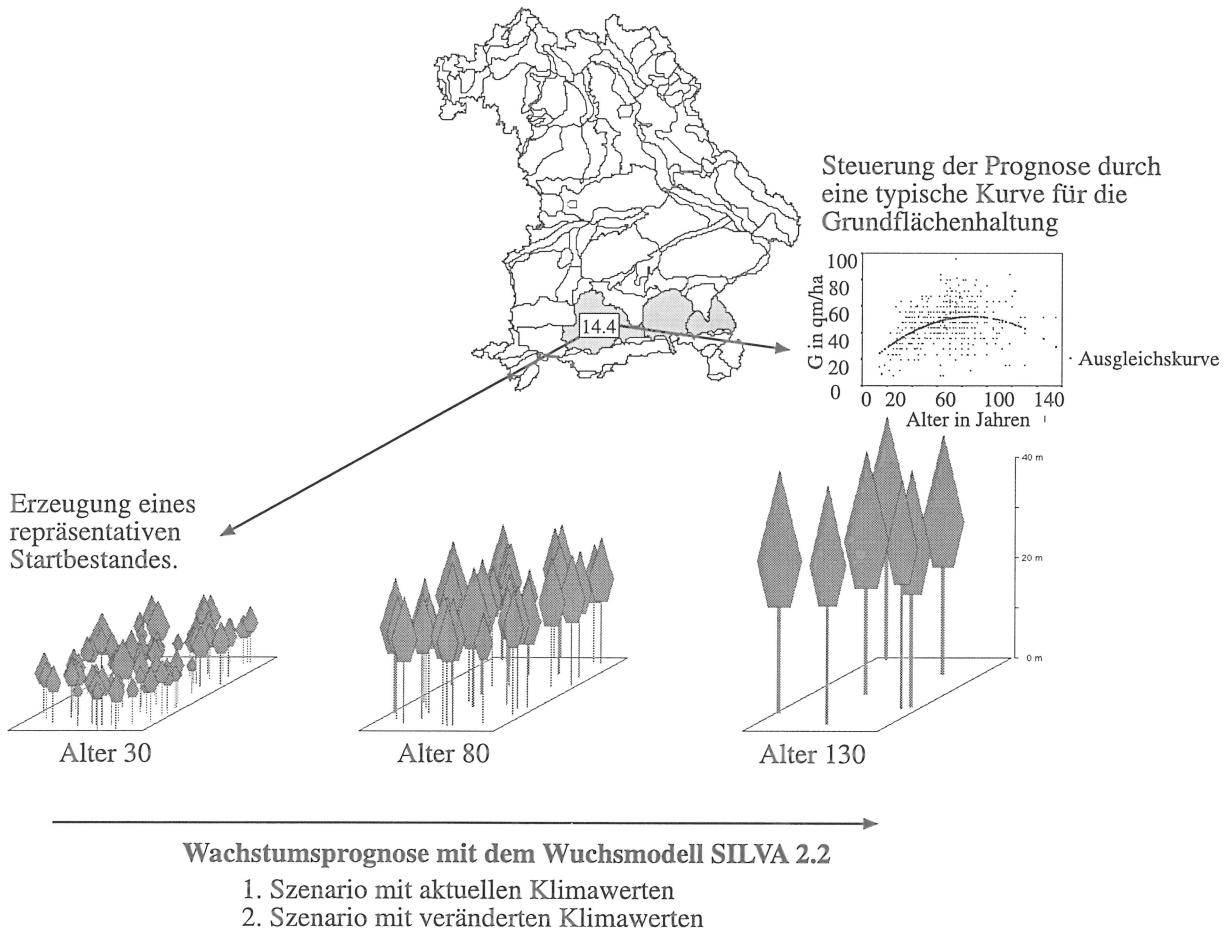
Mit der folgenden Regionalisierung der Resultate sollen weiter gehende Ziele erreicht werden:

- Verallgemeinerung der punktuell gültigen Datenbefunde auf die gesamte Waldfläche Bayerns.
- Methodische Homogenisierung der Datenquellen, damit alle Resultate auf dem gleichen Verfahren beruhen.
- Homogenisierung der Ergebnisdichte, d. h. gleicher Informationsgehalt für die gesamte Waldfläche.
- Berücksichtigung von Ursache-Wirkungsbeziehungen, es erfolgt damit der Übergang von der Beschreibung zur Erklärung.
- Möglichkeit zur Szenarioanalyse durch die Verwendung des standort- und klimasensitiven Wachstumsmodelles SILVA 2.2. Aus den Wachstumsreaktionen der Fichte unter veränderten Standort- oder Klimabedingungen können Gefährdungspotentiale für Regionen abgeleitet werden.

8.1 Grundlagen für die Prognose des Fichtenwachstums in Bayerischen Wuchsbezirken

Die Datenquellen Versuchsflächen und Wuchsreihen stellen die Eingangsgrößen dar, die von KAHN (1994) genutzt wurden, um den Standort-Leistungsbezug (vgl. Kap. 3.2.2) der Hauptbaumarten in Abhängigkeit von Lage, Nährstoffversorgung, Temperatur und Wasserangebot abzuleiten. (PRETSCH, 1992a; PRETZSCH und KAHN, 1995; KAHN und PRETZSCH, 1997). Aus den detailliert vorliegenden Angaben zu Standort und Klima in den einzelnen Wuchsgebieten wird mit dem Modell SILVA 2.2 das Leistungspotential der Fichte für alle bayerischen Wuchsbezirke ermittelt.

Das Ablaufschema für die Prognoserechnungen zeigt Abbildung 8-1: In Schritt 1 wird für definierte räumliche Einheiten, z. B. Wuchsbezirke, eine typische Grundflächenhaltungskurve aus den vorliegenden Inventurdaten abgeleitet. Damit wird das regional charakteristische waldbauliche Behandlungsprogramm beschrieben. Die daran anschließende Wachstumsprognose mit dem Wachstumsmodell SILVA 2.2 (Schritt 2) schreibt dann mit dem im Schritt 1



Ausgabe von thematischen Karten

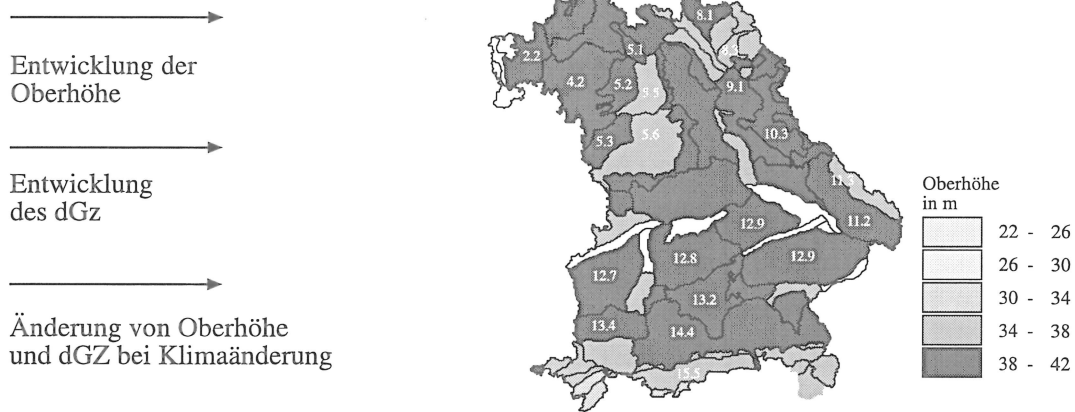


Abb. 8-1: Schematische Darstellung der Steuerung der Prognoserechnungen. Aus der Forsteinrichtungs-Datenbank werden für Wuchsbezirke die Start- und Steuergrößen abgeleitet. Die Startgrößen sind z. B. repräsentative Waldbestände für Wuchsbezirke. Die Steuergrößen sind Regionalklima (real oder unter veränderten Klimabedingungen), Standorttyp und Behandlungsprogramm (z. B. aus der typischen Grundflächenhaltung im Wuchsbezirk). Mit diesen Daten werden Prognose- und Szenariorechnungen durchgeführt. Die Ergebnisse werden in thematischen Karten dargestellt.

definierten Behandlungsprogramm einen repräsentativen Startbestand auf einer typischen Standorteinheit bis zu einer definierten Umtriebszeit fort. Wegen der Standort- und Klimasensitivität des Einzelbaum-Wachstumsmodelles SILVA 2.2 ist es in einem dritten Schritt möglich, geänderte Standort- oder Klimabedingungen einzusteuern und damit Szenarioanalysen durchzuführen. Die Ergebnisse können durch thematische Karten dargestellt werden.

Für die Prognose des Fichtenwachstums müssen zunächst für alle Wuchsbezirke repräsentative Waldbestände definiert werden. Für jeden Wuchsbezirk wurden aus den gebildeten Altersreihen (vgl. Kap. 6.4.2) die Hauptentwicklungsbeziehungen (Höhen-, Durchmesser- und Grundflächenentwicklung über dem Alter) für jede Baumart bestimmt:

$$h_L = A \cdot (1 - \exp^{-k \cdot t})^p \quad (1)$$

$$d_g = A \cdot (1 - \exp^{-k \cdot t})^p \quad (2)$$

$$G = A \cdot (1 - \exp^{-k \cdot t})^p \quad (3)$$

- h_L - Loreysche Mittelhöhe (m)
- d_g - Mitteldurchmesser (cm)
- G - Grundfläche pro Hektar (qm)
- A, k, p - Koeffizienten der Regressionsgleichung
- t - Alter

Die Berechnungen zeigen, dass für die Wuchsbezirke ein starker Zusammenhang zwischen dem Alter und der Mittelhöhe und ein relativ geringer Zusammenhang zwischen dem Alter und der Grundfläche besteht (ĎURSKÝ, 1998 und 1999).

Für die Definition von Musterbeständen (Abb. 8-2) wurden mit diesen Gleichungen, die für alle Wuchsbezirke vorliegen, für das ausgewählte Alter $t=30$ Jahre (II. Altersklasse) die Taxationscharakteristika $h_L(30)$, $d_g(30)$ und $G/ha(30)$ berechnet. Diese Bestandeskennwerte dienen der Reproduktion von Bestandesstrukturen nach der Methode von NAGEL und BIGING (1995) in Verbindung mit STRUGEN (PRETZSCH, 1993). Auf dieser Grundlage ist es möglich, für Musterbestände realitätsnahe Bestandesstrukturen nachzubilden. Die reproduzierten Bestände werden als „Startbestände“ für die Modellberechnungen genutzt.

Weiterhin muss eine Durchforstungsstrategie definiert werden:

Für die Berechnung der Naturalproduktion der Fichte in den Wuchsbezirken wird die Hochdurchforstung und ab einem Alter von 50 Jahren die Niederdurchforstung als Behandlungsverfahren ausgewählt. Hoch- und Niederdurchforstung werden auf der Basis von Durchforstungsregeln definiert (PRETZSCH und KAHN, 1995). Die Durchforstungsstärke wird mit den betriebstypischen Leitkurven gesteuert, die aus den Daten der Betriebsinventur für jeden Wuchsbezirk bestimmt wurden. Damit werden aus den Inventurdaten nicht nur die Anfangs-

werte, sondern auch die Steuergrößen für Prognoseläufe abgeleitet. Die Durchforstung wird mit der Leitkurve der mittleren Grundflächenhaltung $G(M)$ gesteuert. Diese wurde durch regressionsanalytischen Ausgleich der Grundflächenbefunde der Inventurdaten als Polynom 2. Grades modelliert.

$$G(M) = a_1 + a_2 \cdot \text{Alter} + a_3 \cdot \text{Alter}^2 \quad (4)$$

$G(M)$ - mittlere Grundfläche (qm)

Alter - Alter (Jahre)

a_1, a_2, a_3 - Koeffizienten der Regressionsgleichung

Diese Leitkurve der mittleren Grundflächenhaltung entspricht den durchschnittlichen Bestockungsverhältnissen im jeweiligen Wuchsbezirk.

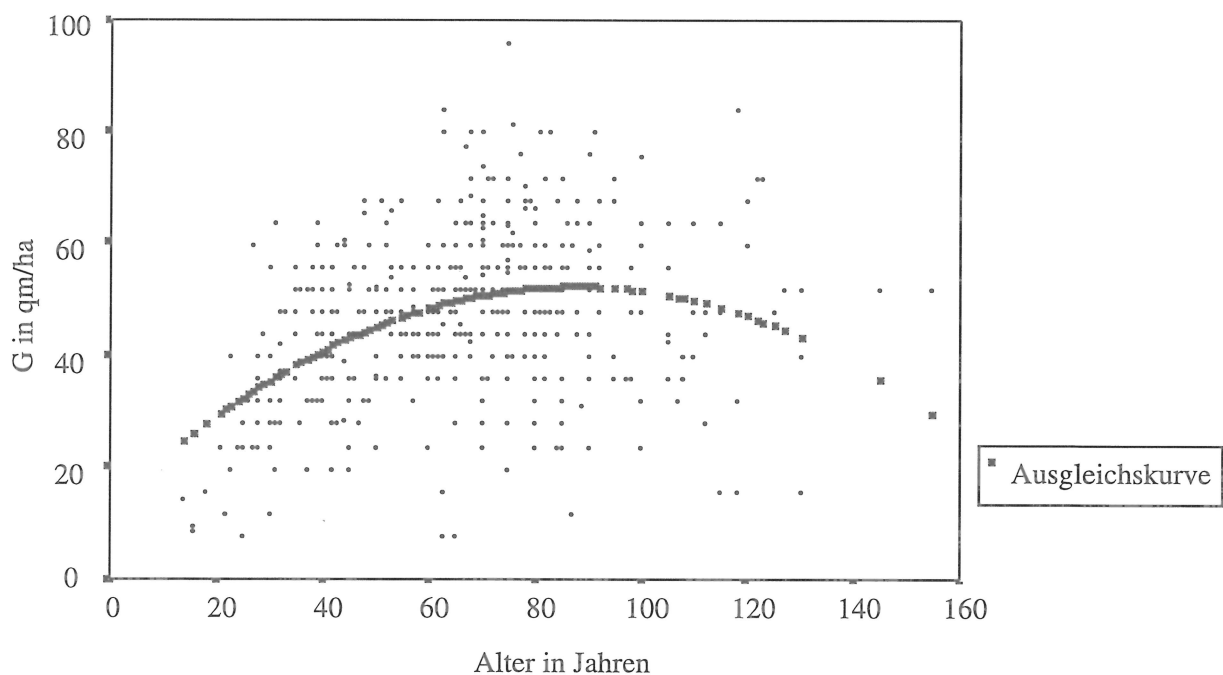


Abb. 8-2: Darstellung der Ableitung der mittleren Grundflächenhaltung für den Wuchsbezirk 14.4 (Oberbayerische Jungmoräne) mit Gleichung (4) als Polynom 2. Grades mit den Parametern $a_1=13,209193099$, $a_2=0,889463976$, $a_3=-0,005062743$. Der Verlauf der Ausgleichsfunktion ist in die Punktwolke eingezeichnet (Ausgleichskurve).

Über die hier durchgeführten Berechnungen hinaus hätte auch eine Optimierung der Bestandesbehandlung durchgeführt werden können. Dabei wäre eine Variation der auf Abbildung 8-2 dargestellten mittleren Grundflächenhaltung über dem Bestandesalter notwendig gewesen, um die Auswirkungen geänderter Durchforstungsstrategien im Hinblick auf die Naturalproduktion und die ökonomischen Veränderungen darstellen zu können. Die hier benutzte Durchforstungsstrategie ist als praxisübliche Variante zu verstehen. Die Verwendung der realen Grundflächenhaltung in den Wuchsbezirken erlaubt eine wirklichkeitsnahe Abschätzung der Produktivität der Fichtenbestände im Untersuchungsgebiet.

Die Bewertung der Wuchsleistung der Fichte für die Wuchsbezirke ist nur mit der Kenntnis der im gesamten Produktionszeitraum erbrachten Leistungen möglich. Als Startsituation für die Fortschreibung der repräsentativen Bestände mit SILVA wurde ein repräsentativer Fichtenbestand in der II. Altersklasse (Alter = 30 Jahre) definiert und die langfristige Prognose 150 Jahre ohne Wiederholung durchgeführt. Der repräsentative Standort für jedes Wuchsgebiet wurde aus den Daten der Forsteinrichtungs-Datenbank ermittelt. Dafür wurden die einzelnen Standorte zu Standorttypen zusammengefasst. Darunter sind ökologisch gleichwertige und wachstumsähnliche Standorteinheiten zu verstehen (ĎURSKÝ, 1999). Der am häufigsten vertretene Standorttyp wurde ausgewählt und in das Standortleistungsmodell eingesteuert.

8.2 Prognose des Fichtenwachstums in bayerischen Wuchsbezirken mit SILVA 2.2 unter derzeitigen Standort- und Klimabedingungen

Für jeden Wuchsbezirk wurde, wie unter Kapitel 8.1 dargestellt, ein Modellbestand hergeleitet. Auf einem dort sehr häufig mit Fichten bestockten Standort und mit praxisüblicher Grundflächenentwicklung erfolgte anschließend die Fortschreibung des repräsentativen Startbestandes mit dem Wachstumsmodell SILVA 2.2. Die Ergebnisse der Prognose werden im folgenden dargestellt. Die Wuchsbezirke 1.1 (Untermainebene), 2.1 (Grundgebirgsspeessart), 2.3 (Bayerischer Odenwald) und die Flussniederungen (WB 12.1, 12.2, 12.3, 12.4, 12.5 und 12.6) wurden nicht in die Prognose einbezogen. Für diese Bereiche war die Datenbasis zu gering.

Aus der Prognose der Bestandesentwicklung mit dem Wachstumsmodell SILVA 2.2 lässt sich eine Vielzahl von Bestandeskennwerten ableiten. In diesem Kapitel soll sich die Darstellung der Prognoseergebnisse auf wenige, zwischen den Wuchsbezirken gut vergleichbare Kenngrößen beschränken. Neben den folgenden Übersichtskarten enthält Tabelle 8-1a/b am Ende des Kapitels 8.3 eine zahlenmäßige Zusammenstellung der Prognoseergebnisse.

Oberhöhe im Alter 100

Abbildung 8-3 zeigt die für die einzelnen Wuchsbezirke typische Oberhöhe im Alter von 100 Jahren. Diese Werte können direkt zur Bonitierung herangezogen werden. Die besten Oberhöhenwerte werden in den Wuchsbezirken 13.4, 14.4, 12.9, 5.3, 5.2, 5.1 und 2.2 erreicht. Der Wuchsbezirk 2.2 gehört deswegen mit zur Spitzengruppe, weil im Buntsandsteinspeessart sehr häufig Fichten nur auf ausgesprochen günstigen Standorten stocken. Das untere Ende der Leistungsskala wird entweder von den Mittelgebirgslagen oder den Gebieten mit eingeschränkter Wasserversorgung und beschränkter Nährstoffausstattung, insbesondere den kiefernreichen Wuchsbezirken besetzt. Es zeigt sich wie in den Inventurergebnissen (vgl. Kap. 6.4), dass die Fichte in vielen Wuchsbezirken Oberhöhen von 35 bis 40 m erreichen kann.

Durchschnittlicher Gesamtwuchs im Alter von 100 Jahren (DGZ₁₀₀)

Das aus der Oberhöhe im Alter von 100 Jahren gewonnene Bild (Abb. 8-3) findet sich auch bei der Verteilung der DGZ₁₀₀-Werte in den Wuchsbezirken wieder. Hohe Grundflächenhaltungen in bestimmten Wuchsbezirken (z. B. WB 13.2) führen zu höheren DGZ₁₀₀-Werten als sie nur bei der Betrachtung der Oberhöhe zu erwarten gewesen wären. Die sehr hohe Produktivität südbayerischer Standorte kommt gut auf Abbildung 8-4 zum Ausdruck. Für die Bayerischen Alpen (WG 15) erbringt die Prognose DGZ₁₀₀-Werte zwischen 14 und 15 VfmD/ha und Jahr. Die Nord- und Ostbayerischen Mittelgebirge liegen mit DGZ₁₀₀-Werten zwischen 10 und 12 VfmD/ha und Jahr am unteren Ende der Leistungsskala. Die guten Höhenwuchsleistungen in den WB 5.1, 5.2, und 5.3 der Landschaftsgruppe Keuperbergland finden sich bei der Betrachtung der DGZ₁₀₀-Werte nicht wieder. Hier wirkt sich die geringe Grundflächenhaltung in älteren Beständen negativ auf die Höhe der DGZ₁₀₀-

Werte aus. Der Bestandesaufbau wird in diesen Bereichen häufig durch Windwurf gestört. Bis auf die WB 6.2 und 11.2 haben alle nördlich der Donau liegenden Wuchsbezirke nur DGZ_100-Werte im Bereich von 10 bis 15 VfmD/ha und Jahr.

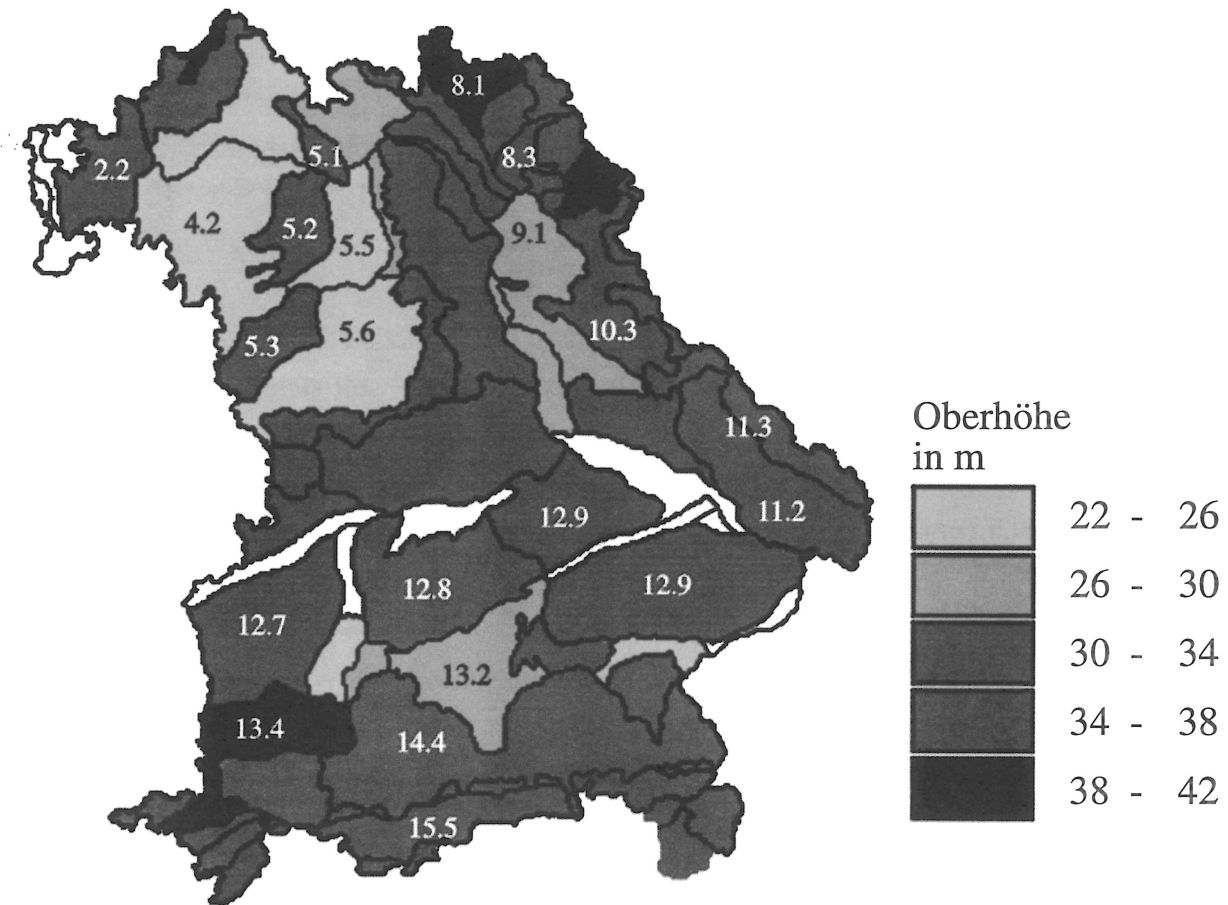


Abb. 8-3: Darstellung der Oberhöhe (h₀) im Alter von 100 Jahren für Wuchsbezirke in Bayern. Die Karte zeigt das Ergebnis der Prognoserechnungen mit SILVA 2.2 für Modellbestände, die aus dem Datenmaterial der Forsteinrichtungs-Datenbank abgeleitet wurden.

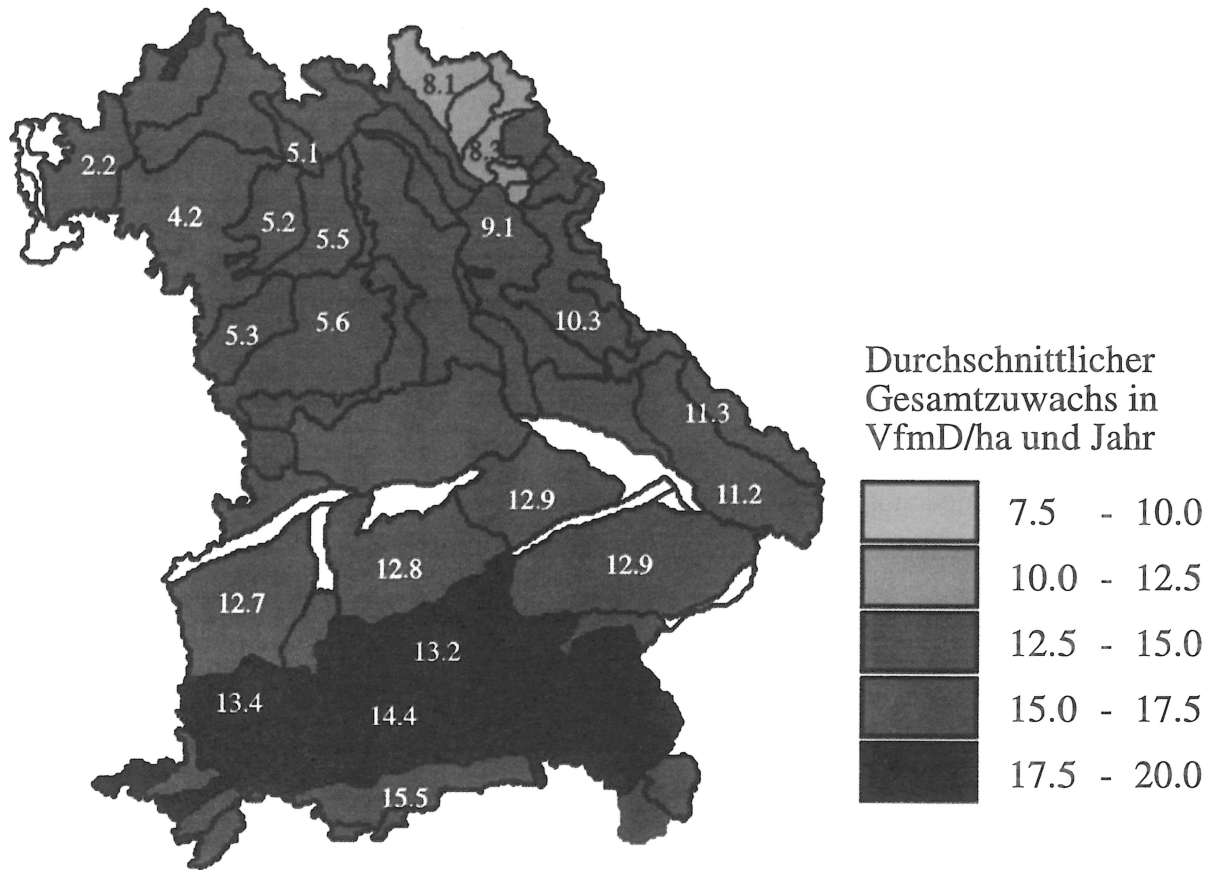


Abb. 8-4: Darstellung des durchschnittlichen Gesamtzuwachses (dgz_0) im Alter von 100 Jahren für Wuchsbezirke in Bayern. Die Karte zeigt das Ergebnis der Prognoserechnungen mit SILVA 2.2 für Modellbestände, die aus dem Datenmaterial der Forsteinrichtungs-Datenbank abgeleitet werden konnten.

8.3 Prognose des Fichtenwachstums für bayerische Wuchsbezirke mit SILVA 2.2 unter veränderten Klimabedingungen

Bisher wurden die Prognoserechnungen mit den aktuellen Klimadaten gesteuert. Das Standortleistungsmodul des Wuchsmodelles SILVA 2.2 erlaubt jedoch auch die Einsteuerung veränderter Klima- und Standortbedingungen. Im Folgenden werden die Auswirkungen eines von Klimaforschern als realistisch eingeschätzten Szenario (FABIAN, 1991) dargestellt.

Das unterstellte Klimaszenario beinhaltet folgende systematische Veränderung einiger Klimaparameter:

- Anstieg der Temperatur in der Vegetationszeit um 2 °C.
- Rückgang des Niederschlages in der Vegetationszeit um 10 %.
- Verlängerung der Vegetationszeit um 10 Tage.

Die Einsteuerungsdaten für den Standort wurden mit Ausnahme der Klimavariablen konstant gehalten. Auch die Grundflächenhaltung wurde nicht verändert. Die Ergebnisse der Prognose des Fichtenwachstums für bayerische Waldbestände bei veränderten klimatischen Bedingungen werden im Folgenden dargestellt. Zusätzlich enthält Tabelle 8-1a/b am Ende dieses Unterkapitels eine zahlenmäßige Zusammenstellung der Prognoseergebnisse.

Oberhöhe im Alter 100

Die Verteilung der Farbwerte auf der Wuchsgebietskarte von Bayern (Abb. 8-5) zeigt einige regionale Unterschiede zur Darstellung unter Kapitel 8.2. Unter den Bedingungen des gewählten Klimaszenarios werden auf den eingesteuerten Standorten in Bayern nur noch Oberhöhenwerte bis 40 m im Alter von 100 Jahren erreicht. In Bereichen mit eingeschränkter Wasserversorgung (z. B. WB 13.2 Münchener Schotterebene) fällt die Oberhöhe deutlich zurück. Oberhöhenwerte von 22 bis 25 m im Alter von 100 Jahren sind in den Wuchsbezirken 4.1, 4.2, 5.5 und 5.6 zu erwarten. Hier haben sich die Voraussetzungen für das Wachstum der Fichte deutlich verschlechtert. In Nord- und Ostbayern erbringen die geänderten Klimabedingungen Regionen mit optimalen Oberhöhenentwicklungen. Im Alpenvorland sind nach wie vor gute Höhenwuchsleistungen der Fichte zu erwarten.

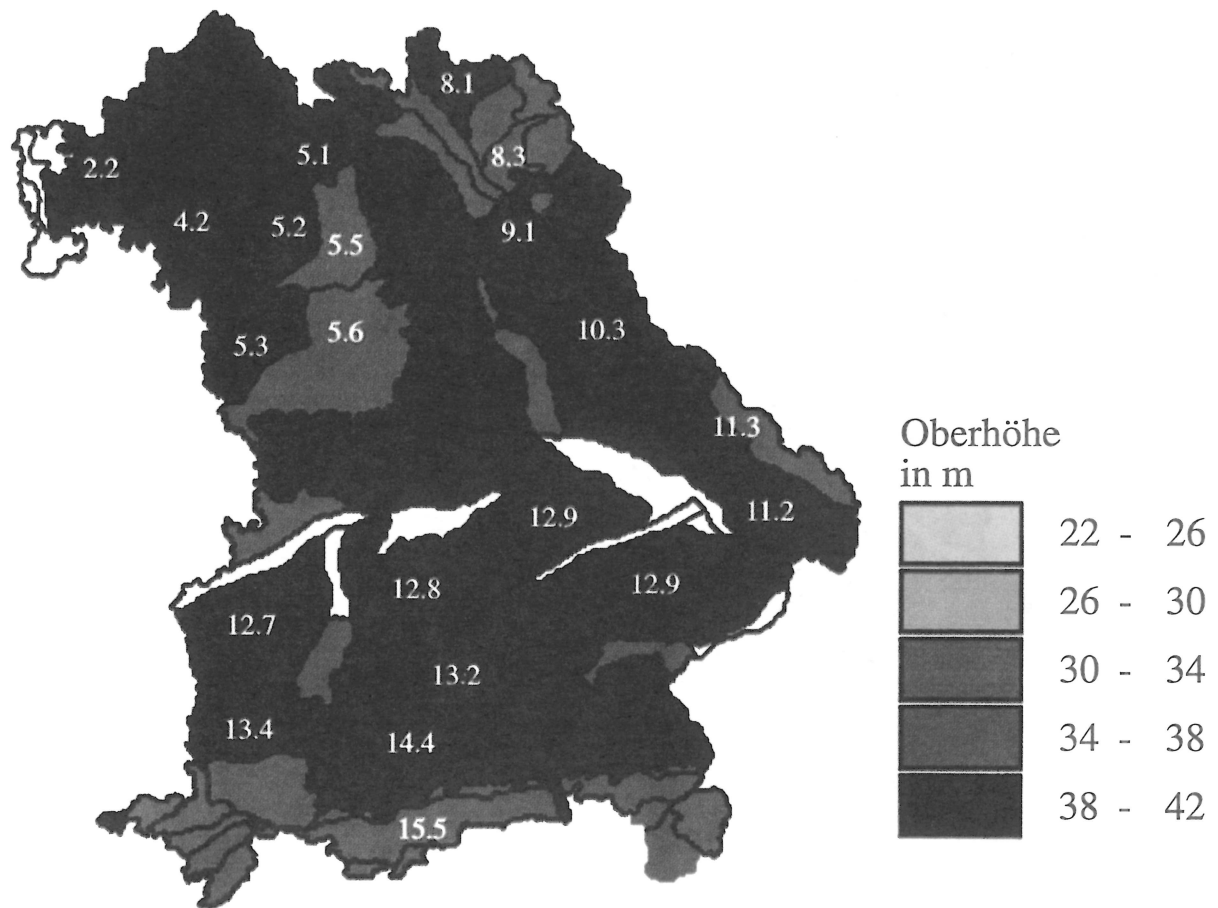


Abb. 8-5: Darstellung der Oberhöhe (h₁) im Alter von 100 Jahren für Wuchsbezirke in Bayern unter veränderten klimatischen Bedingungen. Die Karte zeigt das Ergebnis der Prognoserechnungen mit SILVA 2.2 für Modellbestände, die aus dem Datenmaterial der Forsteinrichtungs-Datenbank abgeleitet werden konnten.

Durchschnittlicher Gesamtwuchs im Alter von 100 Jahren (DGZ₁₀₀)

Auch bei der Betrachtung der Ergebnisse für den DGZ₁₀₀ sind deutliche Veränderungen zu bemerken (Abb. 8-6). Nur wenige Wuchsbezirke erreichen noch DGZ₁₀₀-Werte, die über 17 VfmD/ha und Jahr liegen. Viele Wuchsbezirke haben DGZ₁₀₀-Werte zwischen 12 und 17 VfmD/ha und Jahr. Vor allem in den bisher eher als warm-trocken charakterisierten Wuchsbezirken ist die DGZ₁₀₀-Leistung auf 8 bis 10 VfmD/ha und Jahr abgesunken. In Nordbayern haben die Wuchsbezirke in Mittelgebirgslagen und die Wuchsbezirke 5.1, 5.2 und 5.3 noch DGZ₁₀₀-Werte im Bereich von 12 bis 15 VfmD/ha und Jahr.

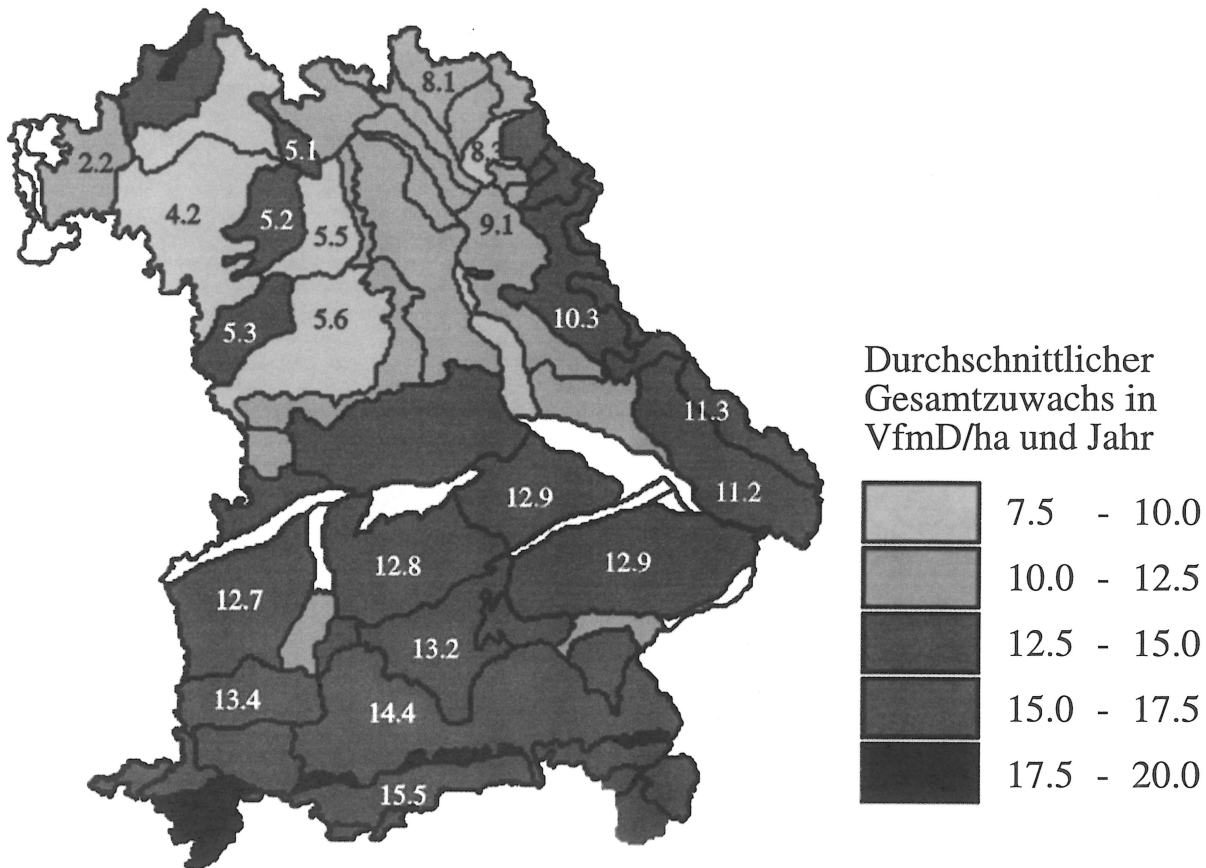


Abb. 8-6: Darstellung des durchschnittlichen Gesamtzuwachses (dgz_1) im Alter von 100 Jahren für Wuchsbezirke in Bayern unter veränderten klimatischen Bedingungen. Die Karte zeigt das Ergebnis der Prognoserechnungen mit SILVA 2.2 für Modellbestände, die aus dem Datenmaterial der Forsteinrichtungs-Datenbank abgeleitet werden konnten.

Zur besseren Interpretation der Szenariorechnung wurde die prozentuale Veränderung der Oberhöhe und des durchschnittlichen laufenden Volumenzuwachses auf den Abbildungen 8-7 und 8-8 in Prozent der Berechnungen für den Ist-Zustand dargestellt.

Veränderung der Oberhöhe im Alter 100

Die Veränderung der Oberhöhe im Alter 100 zwischen Ist-Zustand und bei Eintritt des Klimaszenarios zeigt Abbildung 8-7. Flächen, die mit dem hellsten Grünwert belegt sind, zeigen eine merkliche Veränderung ihrer Höhenbonität. Rückgänge in der Oberhöhe im Alter von 100 Jahren von 30 bis 40 % sind hier zu erwarten. Einen ebenfalls großen Flächenanteil haben Wuchsbezirke, die einen Rückgang der Oberhöhe im Alter 100 zwischen 10 und 20 % erwarten lassen. Im Voralpenland und in den Mittelgebirgen bleiben die Rückgänge unter 10 %. Es erfolgt in den bisher benachteiligten Hochlagen der Alpen und des bayerischen Waldes sogar ein Anstieg der Oberhöhe um bis zu 6 %. Insgesamt wird deutlich, dass nur sehr wenige Standorte durch die unterstellte klimatische Veränderung im Oberhöhenwachstum profitieren können.

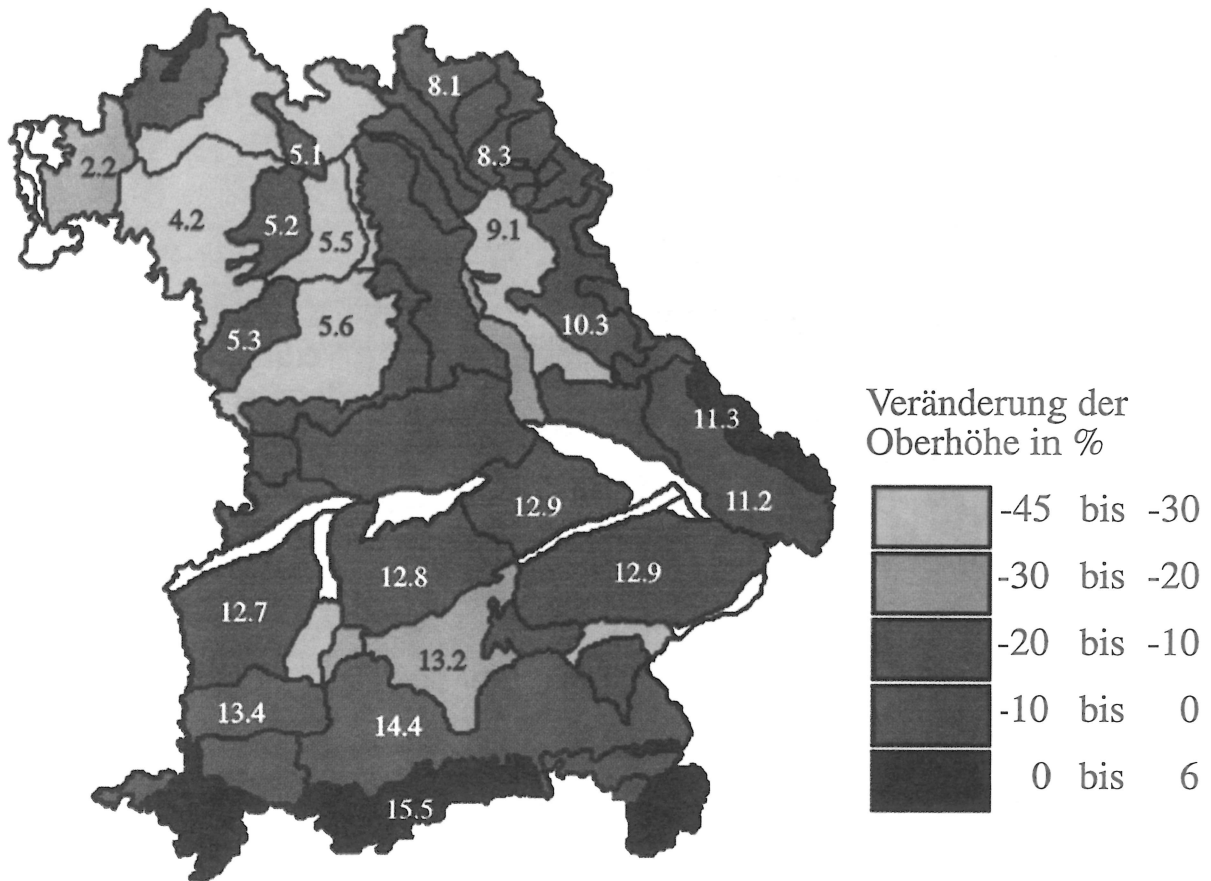


Abb. 8-7: Darstellung der Veränderung der Oberhöhe (h_{Δ_rel}) in % im Alter von 100 Jahren für Wuchsbezirke in Bayern unter veränderten klimatischen Bedingungen. Die Karte zeigt die Differenz der Prognoserechnungen mit SILVA 2.2 zwischen Ist-Zustand und Wachstum unter veränderten Klimabedingungen.

Veränderung des Durchschnittlichen Gesamtwachses im Alter von 100 Jahren

Vor allem im Bereich des Wuchsgebietes 4 Fränkische Platte und in den Wuchsbezirken 5.5 und 5.6 im Keuperhügelland sind starke Einbußen in der Zuwachsleistung der Bestände zu verzeichnen (Abb. 8-8). Der Rückgang liegt im Vergleich zu den bisher geleisteten DGZ_100-Werten zwischen 30 und 45 %. Auf großen Flächen in Bayern sind Rückgänge in der DGZ_100-Leistung von 10 bis 20 % zu erwarten. Unter den Bedingungen des Klimaszenarios bleiben die Wuchsbezirke 12.7 und 14.4 Fichten-Hochleistungsstandorte. Die Alpen und die Mittelgebirgslagen zeigen einen nur geringen Rückgang oder steigern sich in ihrer DGZ_100-Leistung sogar geringfügig.

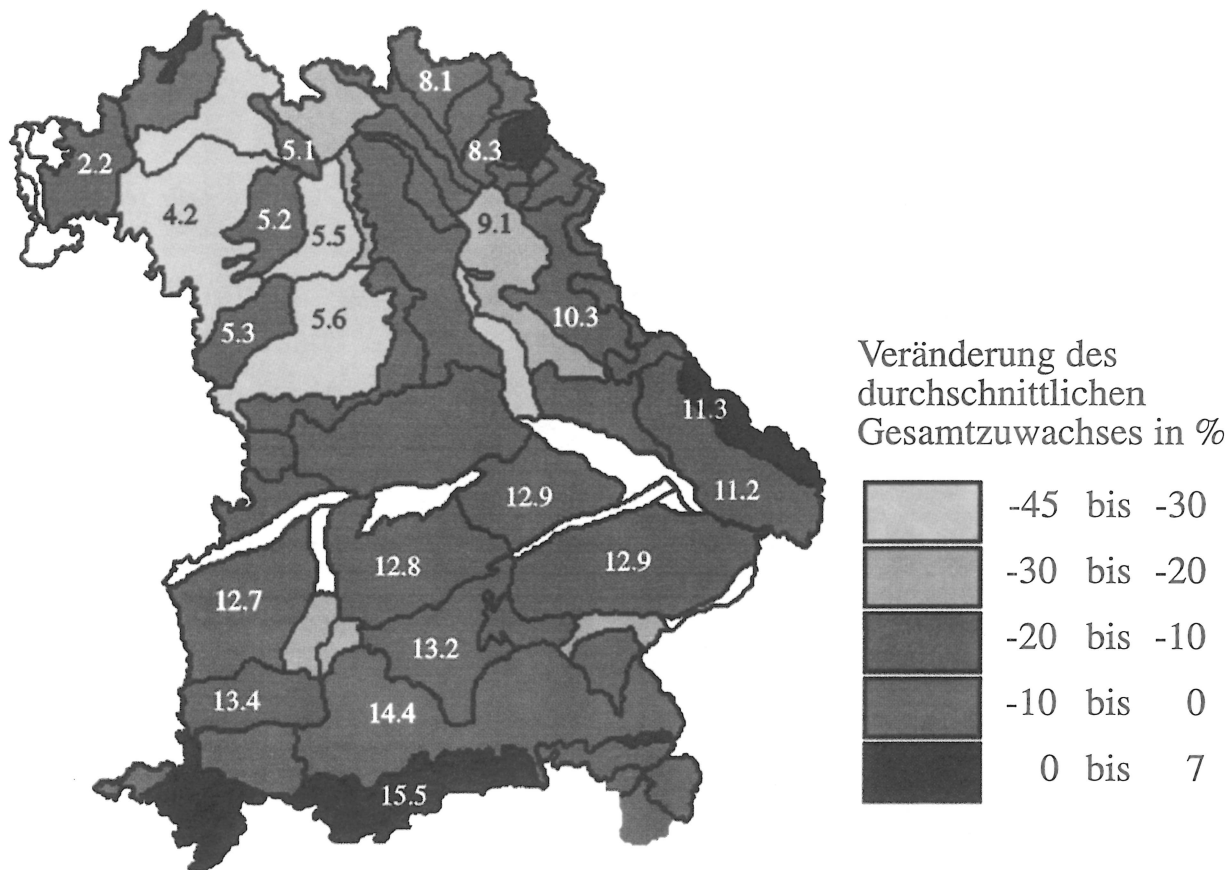


Abb. 8-8: Darstellung der Veränderung des durchschnittlichen Gesamtwachses (dgz_{Δ_rel}) in % im Alter von 100 Jahren für Wuchsbezirke in Bayern unter veränderten klimatischen Bedingungen. Die Karte zeigt die Differenz der Prognoserechnungen mit SILVA 2.2 zwischen Ist-Zustand und Wachstum unter veränderten Klimabedingungen.

Tab. 8-1a: Ergebnisse der Prognoserechnungen für Wuchsbezirke in Bayern unter derzeitigen und veränderten klimatischen Bedingungen. Zunächst werden die Ergebnisse der Prognoserechnungen unter derzeitigen Klimabedingungen für die Oberhöhe (h_0) und den durchschnittlichen Gesamtwachs im Alter von 100 Jahren (dgz_0) angegeben. Dann folgen die Ergebnisse für die Prognose unter veränderten Klimabedingungen (h_1 und dgz_1). Abschließend werden die Differenzen zwischen der Prognose unter derzeitigen und geänderten Klimabedingungen in absoluten (h_{Δ} und dgz_{Δ}) und relativen Werten (h_{Δ_rel} und dgz_{Δ_rel}) dargestellt.

WB	h_0 m	dgz_0 VfmD/ha/a	h_1 m	dgz_1 VfmD/ha/a	h_{Δ} m	dgz_{Δ} VfmD/ha/a	h_{Δ_rel} %	dgz_{Δ_rel} %
WG 2 bis 7								
09.02.02	41.7	14.5	33.1	12.4	-8.6	-2.1	-20.6	-14.5
09.03.01	40.4	15.2	37.9	13.8	-2.5	-1.4	-6.2	-9.2
09.03.02	39.1	18.1	40.2	18.5	1.1	0.4	2.8	2.2
09.04.02	39.5	15.4	21.8	9.4	-17.7	-6.0	-44.8	-39.0
09.05.01	40.5	14.7	33.9	12.7	-6.6	-2.0	-16.3	-13.6
09.05.04	39.4	15.0	26.5	11.2	-12.9	-3.8	-32.7	-25.3
09.05.06	37.3	14.0	21.9	7.7	-15.4	-6.3	-41.3	-45.0
09.05.08	39.2	14.7	32.8	12.4	-6.4	-2.3	-16.3	-15.6
09.06.01	38.8	13.3	33.3	10.9	-5.5	-2.4	-14.2	-18.0
09.06.02	39.4	16.0	33.7	13.5	-5.7	-2.5	-14.5	-15.6
09.06.03	37.2	17.4	32.7	14.9	-4.5	-2.5	-12.1	-14.4
09.06.04	38.7	13.6	33.9	12.0	-4.8	-1.6	-12.4	-11.8
09.06.05	36.8	13.2	26.6	8.0	-10.2	-5.2	-27.7	-39.4
09.07.01	37.3	13.7	33.4	12.1	-3.9	-1.6	-10.5	-11.7

Tab. 8-1b: Ergebnisse der Prognoserechnungen für Wuchsbezirke in Bayern unter derzeitigen und veränderten klimatischen Bedingungen. Zunächst werden die Ergebnisse der Prognoserechnungen unter derzeitigen Klimabedingungen für die Oberhöhe (h₀) und den durchschnittlichen Gesamtwuchs im Alter von 100 Jahren (dgz₀) angegeben. Dann folgen die Ergebnisse für die Prognose unter veränderten Klimabedingungen (h₁ und dgz₁). Abschließend werden die Differenzen zwischen der Prognose unter derzeitigen und geänderten Klimabedingungen in absoluten (h_Δ und dgz_Δ) und relativen Werten (h_Δ_rel und dgz_Δ_rel) dargestellt.

WB	h ₀ m	dgz ₀ VfmD/ha/a	h ₁ m	dgz ₁ VfmD/ha/a	h _Δ m	dgz _Δ VfmD/ha/a	h _Δ _rel %	dgz _Δ _rel %
WG 8 bis 11								
09.08.01	40.1	11.6	39.8	11.3	-0.3	-0.3	-0.7	-2.6
09.08.03	36.6	10.3	35.8	9.8	-0.8	-0.5	-2.2	-4.9
09.08.04	39.0	12.3	37.3	11.7	-1.7	-0.6	-4.4	-4.9
09.08.05	36.7	12.3	36.1	12.3	-0.6	0.0	-1.6	0.0
09.08.06	37.6	10.6	36.9	10.1	-0.7	-0.5	-1.9	-4.7
09.08.07	34.6	12.9	34.6	13.1	0.0	0.2	0.0	1.6
09.09.01	38.6	13.1	26.9	10.1	-11.7	-3.0	-30.3	-22.9
09.10.01	39.6	14.7	39.0	14.3	-0.6	-0.4	-1.5	-2.7
09.10.03	39.2	14.5	36.2	13.5	-3.0	-1.0	-7.7	-6.9
09.10.04	38.7	14.8	38.4	14.7	-0.3	-0.1	-0.8	-0.7
09.11.01	39.8	13.7	34.6	12.2	-5.2	-1.5	-13.1	-10.9
09.11.02	38.9	15.8	35.9	14.2	-3.0	-1.6	-7.7	-10.1
09.11.03	35.7	13.0	36.1	13.2	0.4	0.2	1.1	1.5
WG 12 bis 14								
09.12.07	38.5	17.1	32.3	15.8	-6.2	-1.3	-16.1	-7.6
09.12.08	40.3	17.2	34.6	15.3	-5.7	-1.9	-14.1	-11.0
09.12.09	41.1	16.1	34.3	14.2	-6.8	-1.9	-16.5	-11.8
09.13.02	38.8	17.8	29.0	14.8	-9.8	-3.0	-25.3	-16.9
09.13.03	38.2	15.1	22.8	10.7	-15.4	-4.4	-40.3	-29.1
09.13.04	41.9	18.0	39.9	16.2	-2.0	-1.8	-4.8	-10.0
09.13.05	41.6	18.8	29.4	14.3	-12.2	-4.5	-29.3	-23.9
09.13.06	40.6	18.2	34.5	15.9	-6.1	-2.3	-15.0	-12.6
09.14.03	38.2	17.7	37.3	17.3	-0.9	-0.4	-2.4	-2.3
09.14.04	41.2	18.4	37.9	16.9	-3.3	-1.5	-8.0	-8.2
WG 15								
09.15.01	38.2	15.7	39.3	16.5	1.1	0.8	2.9	5.1
09.15.02	36.2	17.9	37.3	18.7	1.1	0.8	3.0	4.5
09.15.03	33.5	17.5	35.3	18.7	1.8	1.2	5.4	6.9
09.15.04	36.4	18.8	37.7	19.4	1.3	0.6	3.6	3.2
09.15.05	34.5	16.2	35.7	16.8	1.2	0.6	3.5	3.7
09.15.06	37.6	17.6	34.7	15.5	-2.9	-2.1	-7.7	-11.9
09.15.07	31.2	16.8	33.2	17.9	2.0	1.1	6.4	6.5
09.15.08	32.0	13.7	33.8	14.6	1.8	0.9	5.6	6.6
09.15.09	36.1	17.4	36.4	17.0	0.3	-0.4	0.8	-2.3

8.4 Prognose der forstwirtschaftlichen Konsequenzen von Klimaveränderung am Beispiel des Tertiären Hügellandes

Die Folgen von Klimaveränderungen für das Wachstum der Fichte sollen durch folgende Szenariorechnung verdeutlicht werden, die für Rein- und Mischbestände aus Fichte und Buche im oberbayerischen Tertiärhügelland (Standorteinheit 203, mäßig frischer bis frischer Lehm) folgenden Fragen nachgeht (PRETZSCH, 1999a):

(1.) Wie entwickelt sich der DGZ auf dieser Standorteinheit unter gegebenen Klimabedingungen? Abbildung 8-9 (links) zeigt den Anstieg des DGZ bis auf über 20 VfmD/ha und Jahr und einen Rückgang ab Alter 140. Dieser Altersgang der Fichte unter gegenwärtigen Klimabedingungen wird in Abbildung 8-9 (rechts) als Referenz (100 %-Linie) eingesetzt und mit dem Bestandeswachstum der Fichte bei Klimaveränderungen (Temperaturanstieg in der Vegetationsperiode um 2 Grad Celsius, Rückgang der Niederschläge in der Vegetationsperiode um 10 % und Verlängerung der Vegetationszeit um 10 Tage) gegenübergestellt. Wir erkennen, dass der DGZ der Fichte dann um etwa 10 % absinkt.

(2.) Weiter wird geprüft, inwieweit den zu erwartenden Zuwachsverlust durch eine Beimischung von 30 bzw. 70 % Buche entgegengewirkt werden kann (Abb. 8-9, rechts). Bei einer Beimischung von 30 % Buche, die den unterstellten Klimabedingungen besser gewachsen ist, können die klimabedingten Zuwachsverluste der Fichte bei Umtriebszeiten von 100 bis 150

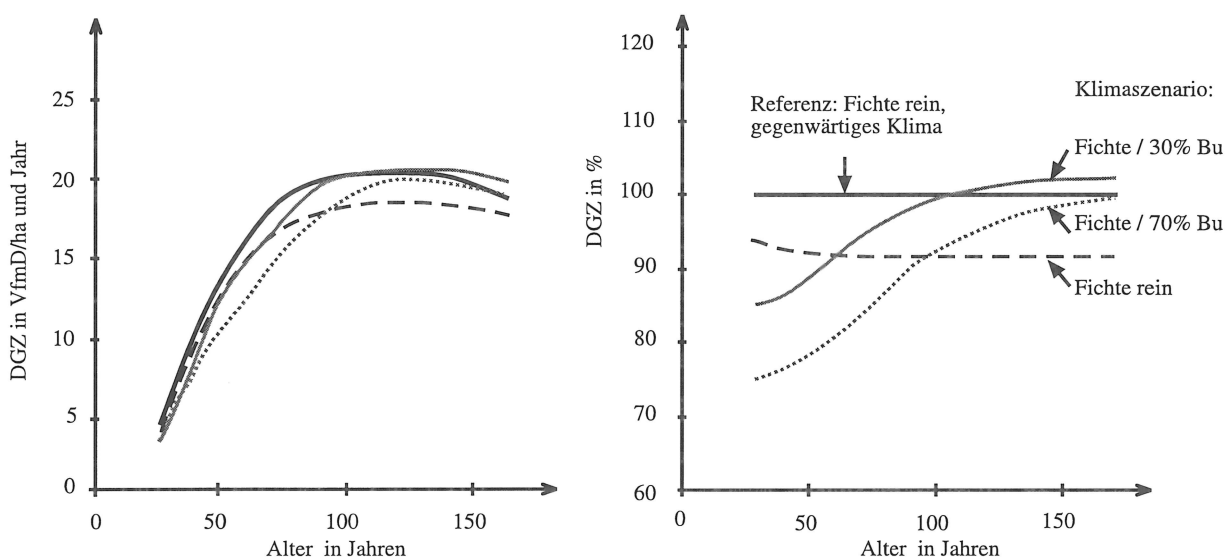


Abb. 8-9: Wuchsleistung der Fichte im Rein- und Mischbestand unter gegenwärtigen und veränderten Klimabedingungen. Standort: Oberbayerisches Tertiärhügelland, Standorteinheit 203, mäßig frischer bis frischer Lehm. Klimaszenario: Temperatur in der Vegetationszeit steigt um 2 °C, Niederschläge in der Vegetationszeit sinken um 10 %, Vegetationszeit verlängert sich um 10 Tage. Abbildung verändert aus PRETZSCH (1999a).

Jahren überkompensiert werden. Eine Beimischung von 70 % Buche vermag die klimabedingten Zuwachsverluste der Fichte erst im Alter 150 auszugleichen. Solche Szenariorechnungen zeigen, dass die gegenwärtige Zuwachssteigerung bei stärkeren Klimaveränderungen je nach ökologischer Amplitude der Baumarten auch in gravierende Zuwachsrückgänge und Verschiebungen der Konkurrenzverhältnisse umschlagen kann. Waldbauliche Entscheidungen können mit Hilfe von Szenariorechnungen auch unter veränderlichen Klima- und Standortbedingungen auf eine quantitative Grundlage gestellt werden.

In einem weiteren Schritt wird ein konkreter Ausgangsbestand, die Parzelle 3 der Wuchreihe Freising 813, als Startsituation verwendet und über 100 Jahre mit SILVA 2.2 fortgeschrieben. Bei diesem Beispiel werden nicht nur die ertragskundlichen Daten betrachtet, sondern auch die ökonomischen Konsequenzen einer Klimaänderung analysiert (PRETZSCH, KAHN und GROTE, 1998).

Der Versuchsbestand wird in einem Normalszenario mit dem jetzigen Klima fortgeschrieben (Abb. 8-10, oben). In einer zweiten Variante (Abb. 8-10, unten) wird die Verdoppelung des CO₂-Gehaltes unterstellt (2 x CO₂-Szenario). Dies führt nach Berechnungen des Potsdam Institut für Klimafolgenforschung (PRETZSCH, KAHN und GROTE, 1998) zu einem Temperaturanstieg um 2 °C und zu einer Erhöhung der Niederschläge um etwa 100 mm in der Vegetationszeit. Es werden keine Durchforstungen angenommen. Die Bestandesentwicklung wird über 100 Jahre prognostiziert. Die Resultate zur Entwicklung der Mittelhöhe (Abb. 8-10, linker Teil) zeigen deutliche Unterschiede zwischen den Simulationen. Im Normalzenario dominiert die Fichte im Höhenwachstum und in der Wertleistung. Im 2 x CO₂-Szenario überwächst die Buche die Fichte, die durchschnittliche Wertleistung sinkt um mehr als 200 DM/ha und Jahr (Abb. 8-10, rechter Teil). Derartige Modellrechnungen unterstreichen die weit reichenden Konsequenzen globaler Veränderungen für das Waldwachstum. Die Bedeutung von Wuchsmodellen für eine Quantifizierung der Auswirkungen von Klimaänderungen wird deutlich. Derzeit arbeiten verschiedene Forschergruppen im Rahmen eines bundesweiten Projektes „German Forest Sector under Global Change“ (CHIEF-Projekt), unter Federführung des Potsdam Institutes für Klimafolgenforschung daran, die Auswirkungen der Klimaänderung auf das Waldwachstum großräumig zu quantifizieren (CRAMER und LINDNER, 1998).

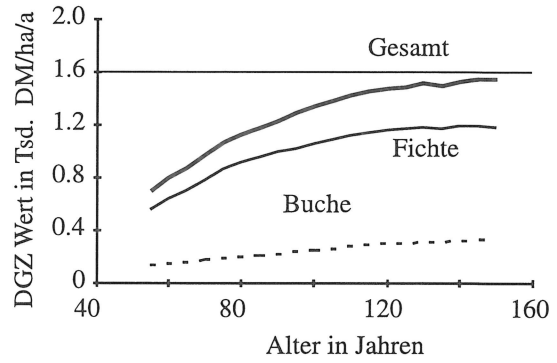
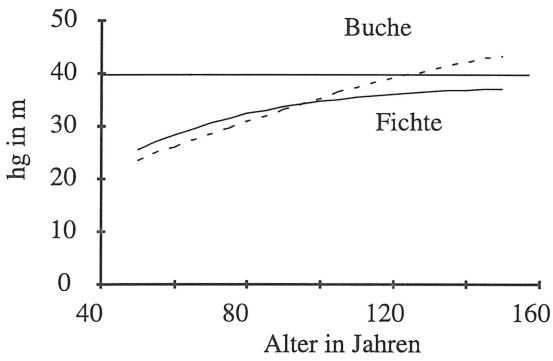
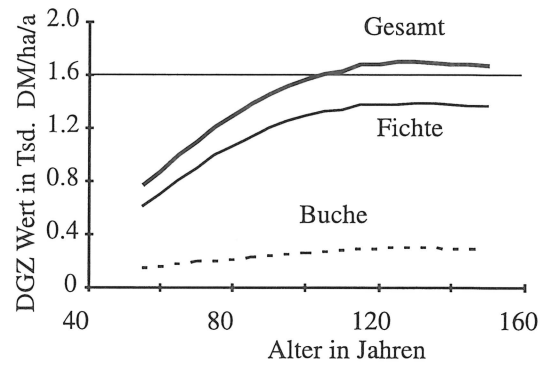
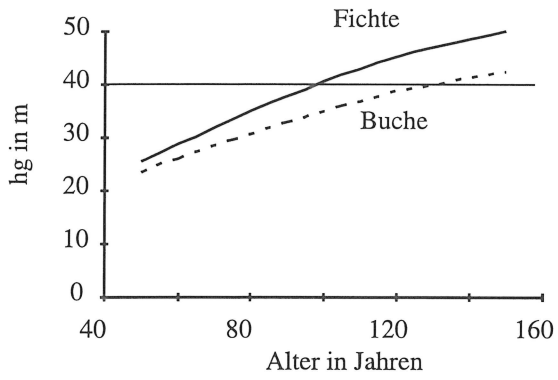


Abb. 8-10: Entwicklung von Mittelhöhe (hg) (linker Teil) und durchschnittlicher Gesamtwertleistung (DGZ Wert) (rechter Teil) auf Parzelle 813/1 unter normalen (oben) und veränderten (unten) Klimabedingungen. Die Prognose erfolgte mit dem Wachstumsmodell SILVA 2.2. Abbildung aus PRETZSCH, KAHN und GROTE (1998).

9 Bewertung der Befunde und ihrer Auswirkungen auf die Praxis

Für die Verwendung der Ergebnisse in der forstlichen Praxis sind im Folgenden einige Eckdaten des Fichtenwachstums in Bayern zusammengestellt.

Höhe: Auf den wüchsigen Standorten in Bayern liegt die Oberhöhe in vielen Beständen im Alter von 100 Jahren zwischen 36 und 40 m oder auch noch darüber. Oberhöhenwerte im Alter von 100 Jahren über 44 m sind selten. Jungbestände erreichen im Alter von 40 Jahren Oberhöhen von 25 m.

Grundfläche: Die Grundfläche in den Beständen ist eine wichtige Weisergröße für die Leistung des Bestandes und gleichzeitig für seinen Durchforstungszustand. Ab dem Alter 40 werden 60 qm/ha an Stammgrundfläche in wüchsigen Beständen erreicht. Maximalwerte der Grundfläche liegen bei 90 qm/ha. Diese Werte charakterisieren das hohe Ertragsniveau der Fichtenbestände in Südbayern. In Nord- und Ostbayern liegen die Grundflächenwerte für Bestände eher im Bereich von 30 bis 60 qm/ha.

Vorrat: Die Vorratswerte in geschlossenen Fichtenbeständen können im Alter von 120 Jahren Werte zwischen 1 400 VfmS/ha und 1 600 VfmS/ha erreichen. Daraus lässt sich eine Gesamtwuchsleistung der Bestände von 2 000 bis 2 500 VfmS/ha ableiten. Damit werden die Vergleichswerte der Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963), oberes Ertragsniveau, erreicht oder sogar deutlich übertroffen. Das wiederum deutet auf beträchtliche Nutzungsmöglichkeiten in den Beständen hin. Entnahmemengen von 100 VfmS/ha und Jahrzehnt sind bei so hohen Wuchsleistungen im Durchschnitt möglich.

Zuwachs: Das Zuwachsniveau in den untersuchten Beständen ist beachtlich. Wüchsige Bestände haben im Alter von 30 Jahren einen laufenden Volumenzuwachs von 30 VfmS/ha und Jahr oder liegen kurzperiodisch sogar über diesen Werten. Das bedeutet, dass der Vorrat in dieser Altersphase im Bestand innerhalb eines Jahrzehntes um 300 VfmS/ha ansteigen kann. Unsere Durchforstungsstrategien müssen diese hohe Produktivität in den Jungbeständen nutzen. Eine zu frühe starke Auflichtung der Bestände würde diese Zuwachsleistung deutlich herabsetzen. Besonders bemerkenswert ist der lang anhaltende, mit 10 bis 15 VfmS/ha und Jahr relativ hohe Zuwachs in den Beständen über 80 Jahren. Bestände, die bereits länger in der Verjüngungsphase stehen, zeigen trotz Auflichtung und hohem Alter in Relation zur noch vorhandenen Bestockungsdichte sehr hohe Zuwachsleistungen im Bereich von 10 VfmS/ha und Jahr. Die Zuwachsleistung von Fichten-Buchen-Beständen mit Buchenanteilen bis zu 40 % liegt häufig nur geringfügig unter dem Zuwachsniveau vergleichbarer Fichtenreinbestände. Oft wurden von den untersuchten Mischbeständen die Rahmenwerte der für die Fichte verwendeten Ertragstafel erreicht.

9.1 Bewertung der Ergebnisse aus den Versuchsflächen, Wuchsreihen Probeflächen und den Inventurdaten

Die vorgestellten Ergebnisse (vgl. Kap. 6) zeigen bei jeder der Datenquellen ähnliche Tendenzen. Je nach Qualität der Datenquelle erhöht oder verringert sich die Streuung der Daten. Wie die Untersuchung zeigt, können Daten aus Untersuchungen zu bestimmten Teilaspekten des Waldwachstums gut auch für andere, allgemeinere Fragestellungen genutzt werden.

Liegen historische und aktuelle Befunde vor, so erhöht sich die Informationsdichte der Untersuchung. Deswegen ist es notwendig, dass die Daten aus oft sehr aufwendigen Detailstudien aufbereitet werden, damit sie später für andere Fragestellungen Informationen liefern können. Über die Konstanz der Beobachtung auf langfristigen Versuchsflächen hinaus ist eine optimale Datenhaltung Grundvoraussetzung für die rasche Verfügbarkeit großer Datenmengen zu bestimmten Fragestellungen.

9.1.1 Erkenntnisse aus der Beobachtung von langfristigen Versuchsflächen

Einmalige Aufnahmen erbringen Einzelbefunde mit begrenzter regionaler und zeitlicher Aussagekraft. Zeitreihen dagegen liefern Entwicklungslinien von Einzelbaum- oder Bestandeskenngrößen. Je mehr Aufnahmen in die Zeitreihe eingehen, umso deutlicher können Tendenzen abgelesen werden. Zusätzlich sind die Randbedingungen bekannt, die diese Entwicklungstendenz beeinflussen können. Liegen für Gebiete viele solcher Zeitreihen vor, so können „historische“ Befunde mit aktuellen verglichen werden. Ändern sich wachstumsbeeinflussende Faktoren, so können sie in Bezug zu diesen historischen Entwicklungen diagnostiziert werden (KENK, SPIECKER und DIENER, 1991; PRETZSCH und UTSCHIG, 1998; PRETZSCH, 1999a).

Unbehandelte Vergleichsparzellen haben als biologische Messlatte einen sehr hohen Stellenwert, indem sie Obergrenzen aufzeigen. Sie sind in jedem langfristigen Versuch Prüfglieder zur Beurteilung des Behandlungseffektes. Ändern sich z. B. die Standortbedingungen, so kann dies der A-Grad am deutlichsten zeigen, da seine Reaktionen nicht durch Durchforstungseingriffe überprägt sind (ASSMANN, 1961).

Mit Zeitreihen werden nicht nur die Zustandsgrößen sondern auch die dynamischen Größen kurzperiodisch fassbar. Damit können sowohl die Auswirkung klimatischer Schwankungen als auch die Auswirkung von Eingriffen wie beispielsweise Durchforstung oder Düngung quantifiziert werden. Der Zuwachs ist als jährliche Reaktionsgröße ein empfindlicher und gleichzeitig ein stabiler und operabler Indikator (PRETZSCH, 1999a).

Erst langfristige Beobachtungen ermöglichen die Ableitung von Modellen. Die Ergebnisse von langfristigen Versuchsflächen sind wichtige Grundbausteine zur Konstruktion von Ertragstafeln (ASSMANN, 1961). Ebenso sind für die Parametrisierung und Validierung von modernen Einzelbaummodellen Resultate aus langfristigen Versuchsflächen unentbehrlich (PRETZSCH, 1992a)

9.1.2 Brauchbarkeit von Ertragstafeln als Referenzgröße

Die Auswertung des umfangreichen Flächenmaterials zeigt, dass die Wachstumsgrößen wie Oberhöhe, Grundfläche und Vorrat relativ gut durch geeignete Ertragstafeln wiedergegeben werden können.

Für die Versuchsflächen auf der Frankenalb und in den südlich der Donau gelegenen Wuchsbezirken wurde mit der Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963) für das obere Ertragsniveau gearbeitet. Diese Tafel ist aber z. B. in den HILFSTAFELN FÜR DIE FORST-EINRICHTUNG (1990) nicht enthalten. Wird dagegen nur die Tafel für das mittlere Ertragsniveau herangezogen, werden die Größen Grundfläche und Vorrat systematisch unterschätzt.

Im Hochgebirge und in den nord- und ostbayerischen Mittelgebirgen fand die Tafel von GUTTENBERG (1915) Verwendung. Auch diese Tafel war in der Lage, die Zustandsgrößen im gewissen Rahmen abzubilden.

Die Schätzung der Zuwachsgröße gestaltete sich dagegen schwieriger. Ab dem Alter von 60 bis 80 Jahren war der laufende Volumenzuwachs in den Beständen selbst bei abgesenkter Grundfläche häufig höher, als es die Tafeln prognostizierten. Damit wird die Zuwachsleistung der Bestände bei der Anwendung von Ertragstafeln systematisch unterschätzt. Besonders relativ dichte Jungbestände zeigen Spitzenwerte im laufenden Volumenzuwachs, die weit über den durch Ertragstafeln vorgegebenen Rahmen hinausreichen.

Die große Streuung der Beobachtungswerte innerhalb der betrachteten Regionen zeigt aber auch weitere Probleme bei der Verwendung von Ertragstafeln auf: Die benutzten Ertragstafeln gelten nur für Reinbestände mit ertragstafelgemäßem Behandlungsprogramm und brauchen einen festen Altersbezug. Diese Grundbedingungen werden durch die Anwendung moderner Pflegekonzepte, durch eine gewisse Ungleichaltrigkeit oder durch Mischung in den Beständen nicht mehr erfüllt.

Die methodische Grundlage für die Abschätzung des Standort-Leistungsbezuges wurde von KAHN (1994) geschaffen. Seine Verwirklichung des Konzeptes im Zusammenhang mit dem Wuchsmodell SILVA 2.2 (KAHN und PRETZSCH, 1997) ermöglicht nun für beliebige Mi-

schungen auf beliebigem Standort und mit beliebiger Durchforstungsstrategie, die Prognose der Wuchsleistung der einzelnen Baumarten und des Gesamtbestandes durchzuführen. Es können mit SILVA 2.2 für gewünschte Standorteinheiten Standortertragstafeln konstruiert werden. Damit wird eine Vorhersageebene erreicht, die für eine optimale Bestandesbehandlung sehr wünschenswert ist (ASSMANN, 1961).

9.1.3 Beurteilung der Aussagekraft der Inventurergebnisse für überbetriebliche Auswertungen

Ist es das Ziel eines Betriebes, genaue lokale Informationen über den Zustand seiner Wälder zu erhalten, kann dies durch eine Betriebsinventur erfolgen. Solange diese Inventuren auf der Basis von temporären Probekreisen erfolgen, werden nur Zustandsgrößen erhoben. Sollen bei einer einmaligen Inventur auch Aussagen über den Zuwachs gemacht werden, so ist der Planer bisher auf die Verwendung von Ertragstafeln angewiesen, die die dynamischen Größen nur eingeschränkt wiedergeben. Werden diese Inventuren mehrmals durchgeführt, ist nur eingeschränkt die Ableitung von Zuwachsgrößen möglich, da der ausscheidende Bestand nur näherungsweise bestimmt werden kann. Liegen jedoch permanente Stichprobeninventuren wiederholt vor, so kann detailliert auch die Veränderung der Zustandsgrößen zwischen zwei Inventuren beurteilt werden (FUCHS, 1993).

Liegen keine Wiederholungsinventuren vor, so besteht auch die Möglichkeit, den Zuwachs im Betrieb durch den Einsatz von Wuchsmodellen fortzuschreiben (ĎURSKÝ, 1999; POMMERENING, 1998; POTT, 1998). Damit wird die Qualität der Zuwachsprognose im Vergleich zur Ertragstafelschätzung deutlich verbessert.

Durch den Einsatz von Datenbanken wird die Auswertungsmöglichkeit und die Aussagekraft von Inventuren deutlich erhöht. Die in einigen Fällen mangelhafte Datenqualität (FUCHS, 1993) wird durch die hohe Anzahl von Stichprobenpunkten wieder ausgeglichen. Wie Kapitel 6.4 und 8.1 zeigen, gibt es vielfältige Möglichkeiten, aus den Inventuren neben den im engeren Sinne angestrebten betrieblichen Informationen weitere Erkenntnisse zu gewinnen. Daher gewinnt die Aufbereitung und Bereitstellung der Inventurdaten in Datenbanken eine immer größere Bedeutung.

9.2 Bewertung der Ansätze zur Quantifizierung der Veränderung des Wachstums von Fichtenbeständen

Der Vergleich von Vor- und Folgebstand erbrachte quantifizierbare Größen für das Ausmaß der Wachstumsveränderung in unseren Waldgebieten. Folgebstände übertreffen die Vorbestände auf gleichem Wuchsort um 2 bis 4 Oberhöhenmeter. Dies konnte nur sehr punktuell festgestellt werden. Die Ausprägung der Veränderung war je nach standörtlicher Ausgangsbedingung sehr unterschiedlich. Die Ergebnisse stehen in Einklang mit den von KENK, SPIECKER und DIENER (1991) getroffenen Aussagen zum aktuellen Wachstumstrend der Hauptbaumarten in Baden-Württemberg. Leider stehen für derartige Untersuchungen nur wenige Versuchsflächen zur Verfügung. Deswegen sollte es ein Ziel sein, auf möglichst vielen Versuchen wieder eine Folgegeneration in Bestockung zu bringen und die Beobachtung fortzusetzen.

Die Untersuchung des langfristigen alterstypischen Baumzuwachses ergab für die verschiedenen Untersuchungsgebiete recht unterschiedliche Ergebnisse. Es zeigte sich, dass in den Gebieten Schongau und Freising heute deutlich höhere Radialzuwächse an Bäumen zu verzeichnen sind, als dies vor 50 oder 80 Jahren der Fall war. In der Region Bayerischer Wald ist diese Tendenz in der Hanglage nicht mehr so deutlich ausgeprägt. Einzelne Versuchsflächen zeigen dort in bestimmten Altersphasen in den letzten Jahrzehnten sogar stagnierende oder sinkende Zuwachsverläufe. Eindeutig negative Zuwachstrends lassen sich in den Hochlagen des Bayerischen Waldes diagnostizieren. Hier sank das Zuwachsniveau in allen Altersklassen in den letzten Jahrzehnten deutlich ab.

Die Methode der altersgleichen Zeitreihen kann Abweichungen in der Entwicklung des Baumwachstums deutlich herausarbeiten. Die Ergebnisse können aber auch durch Standortunterschiede, die Bestandesbehandlung oder eine unterschiedliche Genetik der verglichenen Kollektive beeinträchtigt werden.

Das Wachstum der Bäume wird u. a. durch den Faktorenkomplex Standort und Klima gesteuert. Es wirken zahlreiche Größen kurzfristig oder langfristig darauf ein. Wie die einzelnen Wirkungsfaktoren zusammenhängen, ist noch nicht vollständig geklärt. Mit den Daten aus der Forsteinrichtungs-Datenbank der Bayerischen Staatsforstverwaltung lag ein Datensatz mit sehr differenzierten Informationen und mit großer räumlicher Verbreitung vor. Aus diesem Datenmaterial konnte die Bedeutung einzelner Erhebungsgrößen für das Baumwachstum abgeleitet werden. Durch einen geeigneten Modellansatz können die verschiedenen Wirkungsgrößen zu einem Modell zur Schätzung des Standort-Leistungsbezuges verknüpft werden (KAHN, 1994). Damit stehen Methoden zur Verfügung, um das Wachstum der Bäume unter sich verändernden Standort- oder Umweltbedingungen zu prognostizieren.

Die aufgezeigten Methoden können für bestimmte Untersuchungsstandorte die Richtung und das Ausmaß der Zuwachsänderung quantifizieren.

9.3 Bewertung der Regionalisierung der Erkenntnisse zu den Wachstumstrends der Fichte in Bayern

Mit Hilfe des Standort-Leistungs-Modules (KAHN, 1994) des Wuchsmodelles SILVA 2.2 ist es möglich, flächendeckend das Wachstum von Waldbeständen abzuschätzen. Um die Prognose realitätsnah zu gestalten, wurden die Startbedingungen (Höhe, Standort) für die Prognose aus dem Datenmaterial der Forsteinrichtungs-Datenbank der Bayerischen Staatsforstverwaltung definiert. Ebenso wurde die Grundflächenhaltung über der Zeitachse aus dem Datenmaterial abgeleitet. Damit erfolgte die Prognose der Bestandesentwicklung für die Wuchsbezirke auf durchschnittlichem Niveau. Das führte zu einer vorsichtigen und konservativen Vorhersage.

Das für die Parametrisierung der Modellfunktionen von SILVA 2.2 verwendete Datenmaterial stammt zu wesentlichen Teilen aus dem Versuchsflächennetz des Lehrstuhles für Waldwachstumskunde (KAHN und PRETZSCH, 1997). Das bedeutet, dass die mit Hilfe von SILVA 2.2 hergeleiteten Ergebnisse an Versuchsflächen überprüfbar sind. Gleichzeitig kann eine Validierung des Modells an Versuchsflächen erfolgen, die nicht in die Konstruktion eingegangen sind (PRETZSCH, 1999b, ĎURSKÝ, 1999).

Die Prognoserechnungen erbringen flächendeckende Aussagen zur Höhenwuchsleistung und zum durchschnittlichen Gesamtzuwachs der Fichte in Bayern. Ohne die Anwendung von SILVA 2.2 hätten solche Aussagen nicht getroffen werden können (ĎURSKÝ, 1998). So zeigen die Prognoserechnungen für Südbayern durchschnittliche Oberhöhenwerte zwischen 36 und 40 m im Alter von 100 Jahren. Als durchschnittlicher Gesamtzuwachs im Alter von 100 Jahren können für diesen Bereich Werte zwischen 15 und 19 VfmS/ha und Jahr ermittelt werden. In Nord- und Ostbayern liegen diese Werte im Bereich von 12 bis 15 VfmS/ha und Jahr.

Gleichzeitig war es möglich, durch eine Szenarioanalyse die Auswirkungen einer Klimaänderung für bayerische Wuchsbezirke abzuschätzen. Damit geht diese Untersuchung weit über die Erhebung von Einzelbefunden, wie sie von BLACEK und GULDER (1996) erarbeitet wurden, hinaus.

9.4 Wachstumstrends der Fichte im Zusammenhang mit Klimaveränderungen und Immissionen

Die Inventurauswertungen und die kombinierte Querschnitts/Längsschnittauswertung zum Höhenwachstumsgang auf langfristigen Versuchsflächen (KAHN, 1994) erbringen, dass die Zuwächse unserer Waldbestände im Durchschnitt seit mehreren Jahrzehnten mit großregionaler Ausprägung beträchtlich ansteigen. MYNENI et al. (1997) belegen mit Satellitendaten, dass auf der Nordhalbkugel von 1981 bis 1991 die photosynthetische Aktivität der Bodenvegetation aufgrund einer Verlängerung der Vegetationszeit zugenommen hat. Die Aussagen stützen sich auf Rückstrahlungsmessungen im photosynthetisch aktiven Bereich (Wellenlänge 0.4-0.7 μm) die in einen Vegetationsindex NDVI (normalized difference vegetation index) überführt werden. Die NDVI-Indizes zeigen für den Zeitraum von 1981 bis 1991 für den Bereich nördlich von 45°N eine Verlängerung der Vegetationszeit um 12 Tage an. Die Feinanalyse der Rückstrahlungs-Zeitreihen innerhalb der Beobachtungsjahre deutet auf einen früheren Beginn der Vegetationszeit hin, der eine Reaktion auf die globale Temperaturerhöhung darstellt und mit der Veränderung CO₂-Jahreszyklusveränderung korrespondiert (KEELING et al., 1995). Auch aus den Untersuchungen von FABIAN (1991) und von FABIAN und MENZEL (1998), die u. a. lange Beobachtungsreihen aus Phänologischen Gärten ausgewertet haben, resultiert, dass der großregional feststellbare Zuwachsanstieg vermutlich auf Klimaänderungen zurückzuführen ist.

Dieser großregional wirksame Zuwachsanstieg wird durch lokal und regional wirksame Einflussfaktoren überprägt. Für diese Einflussfaktoren sind folgende Tendenzen zu erwarten:

- Das Immissionsgeschehen in Deutschland ist weiterhin geprägt durch hohe Belastungen mit Stickoxiden, Ozon und CO₂ (vgl. Kap. 4).
- Der Anteil von CO₂ in der Luft wird in Zukunft weiter ansteigen (Kap. 4.1). Wie sich dieser Anstieg auf das Pflanzenwachstum auswirkt muss noch weiter geklärt werden. Zumindest direkt sind eher zuwachssteigernde Wirkungen zu erwarten (FABIAN, 1991; THOMASIUS, 1991; LLOYD und FARQUHAR, 1996).
- Der Stickstoffeintrag in den Wald wird in den nächsten Jahren auf bisherigem Niveau bleiben. Das Stickstoffangebot im Boden wird sich erhöhen, und solange andere Nährstoffe ausreichend zur Verfügung stehen auch von den Pflanzen aufgenommen werden. Einige Waldökosysteme reagieren bereits durch Stickstoffaustrag über das Grundwasser (WALDZUSTANDSBERICHT, 1997) auf die vermehrten Einträge. Mit Nährstoffen gut ausgestattete Standorte wie z. B. im Höglwald (ROTHE und KREUTZER, 1998) gelten mittlerweile als stickstoffgesättigte Systeme. Die Nährstoffausstattung unserer Böden wird in Zukunft hoch bleiben. Auf ungünstigen Standorten werden noch Zuwachsanstiege zu verzeichnen sein, sonst wird sich eher ein konstant hohes Zuwachsniveau einstellen.
- Zuwachsmindernde Faktoren können z. B. hohe O₃-Belastungen darstellen (Kap. 4.6). Diese Belastung wird auch in Zukunft hoch bleiben (UMWELTBUNDESAMT, 1998b). Wie

stark sich die Ozonbelastung (SCHMIEDEN und WILD, 1995) auf die Vitalität der Wälder auswirkt muss weiter untersucht werden (WALDZUSTANDSBERICHT, 1997 und 1999).

Diese Überlagerung verschiedenster Einflussfaktoren erbringt eine Vielfalt von Zuwachsreaktionsmustern und sowohl positive wie auch negative Abweichungen vom erwarteten Zuwachsgang.

9.5 Auswirkungen der Ergebnisse für die Praxis

Die Befunde aus den Versuchs-, Weiser- und Probeflächen geben ein differenziertes Bild der Zuwachsdynamik in bayerischen Fichtenbeständen. Aus diesem Datenmaterial können Obergrenzen für das Wachstum von Beständen abgeleitet werden, die deutlich über den bisher gängigen Rahmenlinien liegen. Die Spitzenwerte für die Grundfläche liegen bei 90 qm, für den Vorrat bei 1 600 VfmS/ha und für den laufenden Volumenzuwachs bei 40 VfmS/ha und Jahr. Es zeigt sich deutlich, dass die Ertragstafel WIEDEMANN (1936/42) als Grundlage für die waldbauliche Planung ungeeignet ist. Beispielsweise erbringt die Kalkulation von Z-Baum-Anzahlen aus diesen Tafelwerten (47 qm Grundfläche als Maximalwert im Alter von 120 Jahren (WIEDEMANN (1936/42), mäßige Durchforstung, I.0 Bonität) in der Praxis wesentlich zu niedrige Stammzahlen. Damit würde das Leistungspotential südbayerischer Fichtenbestände nicht ausgeschöpft.

Besonders alte Fichtenbestände, auch wenn sie bereits in Verjüngung stehen, haben noch anhaltend hohe laufende Volumenzuwächse im Bereich von 10 bis 15 VfmS/ha und Jahr, die z. T. weit über den Ertragstafelwerten liegen. Der Verlauf der Abschwungphase des laufenden Volumenzuwachses ist in den Beständen deutlich flacher ausgebildet und der Zuwachs bleibt auf höherem Niveau, als es die Tafeln vorsehen.

Eingangsgröße für die Bonitierung der Bestände ist das Alter und die Oberhöhe. Die Wachstumsgrößen (Höhe, Grundfläche, Vorrat) der Beständen lassen sich noch relativ gut im Bonitätsfächer abbilden. Die Zuwachsgrößen, die gemessen werden können, liegen aber i. d. R. deutlich über den Bezugswerten der verwendeten Ertragstafeln. Daraus lässt sich ableiten, dass der Zuwachs durch die Ertragstafeln nur sehr unzureichend abgebildet wird. Dafür kann es zwei Gründe geben. Entweder ist die Zuwachsfunktion bei der Konstruktion der Tafel nicht richtig an das Datenmaterial angepasst worden oder die Bestände zeigen heute andere Zuwachsleistungen als früher. Wie lange dieser hohe Zuwachs anhält, ob der Zuwachs auf hohem Niveau einschwenkt oder sich noch weiter erhöht oder ob sich ein Rückgang einstellen wird, kann derzeit nur vermutet werden.

Die Ergebnisse aus den Versuchsflächen zeigen, welches hohe Leistungspotential auf guten Standorten vorliegt. In den Regionen mit deutlich positivem Wachstumstrend können für die Waldbewirtschaftung folgende Konsequenzen abgeleitet werden: Für eine Ausschöpfung der standörtlichen Verbesserung sollten höhere Bestandesdichten angestrebt, die Nutzungssätze angehoben und die Durchforstung intensiviert werden. Darüber hinaus kann eine Erweiterung des standortbedingten Baumartenspektrums sinnvoll sein.

Den abwärts gerichteten Wachstumstrends, verursacht durch Witterungsextreme, biotische Faktoren oder Schadstoffeinträge (WALDZUSTANDSBERICHT, 1997 und 1999) kann durch Maßnahmen der Bestandesstabilisierung und Risikostreuung durch die Einbringung von Mischbaumarten oder durch Schadstoffminderung begegnet werden. Der Kronenzustand der Fichte variiert in einem weiten Rahmen und gibt nur eingeschränkt Hinweise auf das Zuwachsverhalten. Der Zusammenhang zwischen Kronenverlichtung und Zuwachsleistung ist regional sehr unterschiedlich (UTSCHIG, 1989; PRETZSCH, 1999a). Häufig sind die Faktoren für das Fichtenwachstum in den untersuchten Wuchsgebieten im Optimum. Änderungen der Wachstumsfaktoren z. B. durch Klimaänderung können daher zu einem Rückgang der Wuchsleistungen führen.

Für die Forstwissenschaft reichen die Konsequenzen aber über diese rein praktischen Maßnahmen weit hinaus. Denn die Klimaveränderung, der wir eine Schlüsselrolle bei dem Wandel der Wuchsbedingungen zuschreiben, bildet nur einen Einflussfaktor, der unsere Waldökosysteme einem Wandel unterzieht. Anhaltende Schadstoffeinträge, zunehmende Quellwasserentnahmen in Waldgebieten, Übergang zu neuen Begründungs- und Pflegeregimen und die Vermehrung von Mischbeständen konfrontieren Forstwirtschaft und Forstwissenschaft mit letzten Endes derselben Situation: Wir kennen die Auswirkungen solcher Einflussfaktoren und Maßnahmen nicht und müssen aber in der Gegenwart forstwirtschaftliche Entscheidungen treffen. Dies ist nur möglich, wenn Forstwissenschaft und Forstwirtschaft mit der Entwicklung bzw. mit dem praktischen Einsatz von standortsensitiven Wuchsmodellen reagieren. Denn diese erbringen nicht nur die in dieser Arbeit aufgezeigten „so-ist-Befunde“ sondern auch „wenn-dann-Aussagen“. So bieten standortsensitive Modelle bestmöglichen Ersatz für die Ertragstabellen, deren Gültigkeit als Planungswerkzeug grundsätzlich in Frage gestellt ist. Modelle dieses Typs sind nicht nur dafür geeignet, unterschiedliche Behandlungsstrategien für die Begründung und Behandlung von Rein- und Mischbeständen durchzuspielen, sondern sie eignen sich auch beispielsweise zur Abschätzung der Konsequenzen von Klimaänderungen für das Wachstum der Waldbäume. Diese neuen Möglichkeiten sollten künftig in moderne Managementkonzepte einbezogen werden.

Die Prognose der Waldentwicklung zeigt, dass unter gleich bleibenden Klima- und Standortbedingungen – mit regionaler Differenzierung – eine hohe Wuchsleistung der Fichte zu erwarten ist. Ändern sich jedoch die klimatischen Bedingungen so, wie es in einer Szenarioanalyse

definiert wurde, verschlechtern sich die Wuchsbedingungen der Fichte in einigen Wuchsbezirken dramatisch. Im Zuge einer Risikominimierung ist langfristig in diesen Bereichen die Fichte nur mit hohen Mischungsanteilen anderer Baumarten wie z. B. der Buche oder der Kiefer anzubauen. Alternativ könnten Bestockungsziele mit führender Eiche oder Douglasie angestrebt werden. Die im Rahmen dieser Untersuchung durchgeführten Szenarioanalysen zeigen, dass eine fortschreitende Erwärmung die Wuchsbedingungen für die Fichte nahezu in ganz Bayern verschlechtert.

162

10 Literaturverzeichnis

- ARBEITSKREIS STANDORTSKARTIERUNG, 1980: Forstliche Standortsaufnahme. Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup, 4. Aufl., S. 188
- ASSMANN, E., 1955: Anleitung zu örtlichen Zuwachserhebungen In: HILFSTAFELN FÜR DIE FORSTEINRICHTUNG, 1981: Herausgeber: Bayerische Staatsforstverwaltung, S. 235 bis 237
- ASSMANN, E., 1961: Waldertragskunde. BLV Verlagsgesellschaft München, S. 490
- ASSMANN, E. und FRANZ, F., 1963: Vorläufige Fichten-Ertragstafel für Bayern. Inst. f. Ertragskunde der FFA München, S. 112
- BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN, 1997: Datenbankbeschreibung, Tabellenabfragen und Auswertungsverfahren
- BACHMANN, M., 1998: Indizes zur Erfassung der Konkurrenz von Einzelbäumen. Methodische Untersuchung in Bergmischwäldern. Forstl. Forschungsberichte München, Nr. 171, S. 261
- BIBER, P., 1998: Wuchsverhalten von Fichte, Tanne und Buche in unterschiedlichen Höhenlagen der Alpen bei Veränderung der Klimabedingungen. Kurzbericht BayFORKLIM, S. 47
- BLACEK, R. und GULDER, H. J., 1996: Die möglichen Auswirkungen einer Klimaänderung auf das Waldwachstum und die Waldschutzsituation in Bayern. Bericht aus dem Sachgebiet I Standort und Landespflege der LWF, S. 134
- BWII, 1992: Bundeswaldinventur 1986 bis 1990, Band I Inventurbericht und Übersichtstabellen. Hrsg: Bundesministerium für Ernährung Landwirtschaft und Forsten
- CDIAC, 1997: Data on Global Change. Trends Online: A Compendium of Data on Global Change. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, <http://cdiac.esd.ornl.gov/trends>
- CRAMER, W. und LINDNER, M., 1998: German Forest Sector under Global Change. Integrated Assessment of Global Change Impacts on Forests and the Forest Sector in Germany. Status Report 1997. http://www.pik-potsdam.de/mantle/wald/info_1.htm
- ĎURSKÝ, J., 1998: Optimierung und Fortschreibung der Naturalproduktion von Waldbeständen für einen Forstbetrieb auf der Basis von Inventurdaten. DVFF-Sekt. Ertragskunde, Tagungsberichte 1998, S. 18 bis 34
- ĎURSKÝ, J., 1999: Zur Verwendung von Rasterstichproben für die Fortschreibung, Nutzungsplanung und Behandlungsverbesserung in einem Forstbetrieb. Forstw. Cbl., 118. Jg., S. 314 bis 325
- FABIAN, P., 1991: Klima und Wald – Perspektiven für die Zukunft. Forstw. Cbl. 110. Jg., S. 286 bis 304

- FABIAN, P. und MENZEL, A., 1998: Wie sehen die Wälder von morgen aus – aus der Sicht eines Klimatologen. Forstw. Cbl., 117. Jg., S. 339 bis 354
- FOERSTER, W. und BÖSWALD, K., 1995: Vorratsstruktur, Zuwachs und Bonität in den bayerischen Waldbeständen nach den Ergebnissen der Bundeswaldinventur 1986 bis 1990 in Verbindung mit einer Abschätzung der gespeicherten Kohlenstoffvorräte und der Möglichkeit zu deren Erhöhung. Lehrstuhl für Waldwachstumskunde, Univ. München, unveröff. Abschlussbericht, S. 74
- FOERSTER, W., BÖSWALD, K. und KENNEL, E., 1993: Vergleich der Inventurergebnisse von 1971 und 1987. Überraschend hoher Zuwachs in Bayern. AFZ, H. 48, S. 1 178 bis 1 180
- FRANZ, F., 1983: Auswirkungen der Walderkrankungen auf Struktur und Wuchsleistung von Fichtenbeständen. Forstw. Cbl., 102. Jg., S. 186 bis 200
- FRANZ, F., 1990: Vorratsentwicklung und Zuwachsleistung betrachtet unter dem Aspekt der neuartigen Waldschäden. Jahresbericht des Deutschen Forstvereins 1988, S. 143 bis 162
- FRANZ, F. und KENNEL, E., 1973: Bayerische Waldinventur 1970/71, Inventurabschnitt I: Großrauminventur, Basistabellen. Forstl. Forschungsber. München, Nr.12., S. 346
- FRANZ, F. und PRETZSCH, H., 1988: Zuwachsverhalten und Gesundheitszustand der Waldbestände im Bereich des Braunkohlekraftwerkes Schwandorf. Forstl. Forschungsber. München, Nr. 92, S. 169
- FRICKE, W. und WALLASCH, M., 1994: Atmospheric CO₂ records from sites in the UBA air sampling network. In Trends: A Compendium of Data on Global Change. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tenn., U.S.A.
- FUCHS, A., 1993: Wiederholungsaufnahme und Auswertung einer permanenten Betriebsinventur im Bayerischen Forstamt Ebrach. Forstl. Forschungsber. München, Nr. 131, S. 191
- GUTTENBERG, A. Ritter von, 1915: Wachstum und Ertrag der Fichte im Hochgebirge. Franz Deuticke Verlag, Wien und Leipzig, S. 153
- HARI, P., AROVAARA, H., RAUEMAA, T. und HAUTOJÄRVI, A., 1984: Forest growth and effects of energy production: a methode for detecting trends in the growth potential of trees, Can. J. For. Res., Vol. 14, S. 437 bis 440
- HEINSDORF, D. und KRAUSS, H. H., 1991: Massentierhaltung und Waldschäden auf dem Gebiet der ehemaligen DDR. Forst und Holz 46, S. 356 bis 361
- HILFSTAFELN FÜR DIE FORSTEINRICHTUNG, 1990: Herausgeber: Bayerische Staatsforstverwaltung, Auflage 1990, S. 334
- HÜSER, R. und REHFUESS, K. E., 1988: Stoffdeposition durch Niederschläge in ost- und südbayerischen Waldbeständen. Forstl. Forschungsber. München, Nr. 86, S. 153
- IPCC, 1995: in Stand der Wissenschaften zu globalen Klimaänderungen. Ergebnis der Sitzung des IPCC-Plenunms und der IPCC-Arbeitsgruppe I. Umwelt Nr. 2/96.

- JOHANN, K., 1968: Größe und Verteilung des Zuwachses in Verjüngungsbeständen der Fichte. Dissertation, LMU-München, S. 229
- JONES, P.D., PARKER, D.E., OSBORN, T.J., and BRIFFA, K.R., 1999: Global and hemispheric temperature anomalies land and marine instrumental records. In Trends: A Compendium of Data on Global Change. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A. <http://cdiac.esd.ornl.gov/trends/temp.html>
- JÜTTNER, O., 1955: Ertragstafeln für Eiche. In: SCHÖBER, R., 1975: Ertragstafeln wichtiger Baumarten bei verschiedener Durchforstung. Sauerländers Verlag, Frankfurt, S. 154
- KAHN, M., 1994: Modellierung der Höhenentwicklung ausgewählter Baumarten in Abhängigkeit vom Standort. Forstl. Forschungsber. München, Nr. 141, S. 221
- KAHN, M. und PRETZSCH, H., 1997: Das Wachstumsmodell SILVA – Parametrisierung der Version 2.1 für Rein- und Mischbestände aus Fichte und Buche. AFJZ, 168 Jg, H. 6/7, S. 115 bis 123.
- KAUPPI, P. E., MIELIKÄINEN, K. und KUUSELA, K., 1992: Biomass and carbon budget of European forests, 1971 to 1990. Science, Bd. 256, S. 70 bis 74.
- KEELING, C. D., WHORF, T. P., WAHLEN, M. und VAN DER PLICHT, J., 1995: Interannual extremes in the rate of rise of atmospheric carbon dioxide since 1980, Nature, Vol. 375, S. 666 bis 670.
- KENK, G., 1984: Zum Problemkreis Walderkrankung und Wachstumsforschung. Der Holz- und Forstwirt, 39. Jg., H. 18, S. 435 bis 437.
- KENK, G., SPIECKER, H. und DIENER, G., 1991: Referenzdaten zum Waldwachstum. Kernforschungszentrum Karlsruhe, KfK-PEF 82, S. 59
- KENNEL, R., 1965: Untersuchungen über die Leistung von Fichte und Buche im Rein- und Mischbestand. AFJZ, 136. Jg., H. 7, S. 149 bis 161 und H. 8, S. 173 bis 189.
- KRAMER, H., 1986: Beziehungen zwischen Kronenschadbild und Volumenzuwachs bei erkrankten Fichten. AFJZ, 157. Jg., S. 22 bis 27.
- KRAMER, H., 1988: Waldwachstumslehre. Ökologische und anthropogene Einflüsse auf das Wachstum des Waldes, seine Massen- und Wertleistung und die Bestandessicherheit. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin, S. 374
- LINDNER, G., 1984: Schadbild und Zuwachsleistung eines geschädigten Fichtenbestandes im Bayerischen Wald. Diplomarbeit MWW-DA 38, S. 110
- LLOYD, J. und FARQUHAR, G. D., 1996: The CO₂ dependence of photosynthesis, plant growth responses to elevated atmospheric CO₂ concentrations and their interaction with soil nutrient status. Functional Ecology, 10, S. 4 bis 32.
- LÖFFELMANN, H., 1988: Urwaldbestand „Mittelsteighütte“ im Forstamt Zwiesel. Waldwachstumskundliche Beobachtungsfläche „ZWI 137“. Ertragskundliche Zustandsaufnahme und Strukturanalyse. Diplomarbeit MWW-DA 64, S. 221

- LUNDENGARD, H., 1957: Klima und Boden in ihrer Wirkung auf das Pflanzenleben. Fischer Verlag Jena
- MAYER, H., 1980: Waldbau. Gustav Fischer Verlag Stuttgart, New York, S. 482
- MENZEL, A., 1997: Phänologie von Waldbäumen unter sich ändernden Klimabedingungen - Auswertung der Beobachtungen in den internationalen phänologischen Gärten und Möglichkeiten der Modellierung von Phänodaten. Forstl. Forschungsber. München, Nr. 164, S. 179
- MIELIKÄINEN, K. und NÖJD, P., 1996: Growth trends in the Finnish forest – results and methodological considerations. Conference of Effects of Environmental Factors on Tree and Stand Growth. Techn. Univ. Dresden, Tagungsbericht, S. 164 bis 174
- MIELIKÄINEN, K. und TIMONEN, M., 1996: Growth Trends of Scots Pine (*Pinus sylvestris*, L.) in Unmanaged and Regularly Managed Stands in Southern and Central Finland. European Institute Research Report No. 5, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, S. 41 bis 59. In: SPIECKER, H., MIELIKÄINEN, K., KÖHL, M. und SKOVSGAARD, J. P. (Hrsg.): Growth Trend in European Forests, S. 372
- MYNENI, R. B., KEELING, C. D., TUCKER, C. J., ASRAR, G. und NEMANI, R. R., 1997: Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1991, *Nature*, Vol. 386, S. 698 bis 702
- NAGEL, J. und BIGING, G. S., 1995: Schätzung der Parameter der Weibullfunktion zur Generierung von Durchmesservertellungen. AFJZ 168. Jg., H. 6-7, S. 115 bis 123
- POMMERENING, A., 1998: Fortschreibung von Stichprobendaten mit positionsabhängigen Wachstmodellen. DVFF-Sekt. Ertragskunde, Tagungsberichte 1998, S. 35 bis 51
- POTT, M., 1997: Wachstum der Fichte in Bayern. Auswertung von Daten der Forsteinrichtungs-Datenbank der Bayerischen Staatsforstverwaltung. MWW-DA 117, S. 95
- POTT, M., 1998: Verbindung Wachstmodell – Geographisches Informationssystem als Beitrag für ein Betriebsinformationssystem. DVFF-Sekt. Ertragskunde, Tagungsberichte 1998, S. 45 bis 59
- PRETZSCH, H., 1985: Wachstumsmerkmale süddeutscher Kiefernbestände in den letzten 25 Jahren. Forstl. Forschungsber. München, Nr. 85, S. 183
- PRETZSCH, H., 1987: Zur Frage des „Normalwachstums“ der Kiefer in der Oberpfalz. Forst- und Holzwirt, 42. Jg., H. 11, S. 286 bis 293
- PRETZSCH, H., 1989: Zur Zuwachs-Reaktionskinetik der Waldbestände im Bereich des Braunkohlekraftwerkes Schwandorf in der Oberpfalz. AFJZ, 160. Jg., H. 2/3, S. 43 bis 54
- PRETZSCH, H., 1992a: Konzeption und Konstruktion von Wachstmodellen für Rein- und Mischbestände. Forstl. Forschungsber. Nr. 115, S. 332
- PRETZSCH, H., 1992b: Zunehmende Unstimmigkeit zwischen erwartetem und wirklichem Wachstum unserer Waldbestände. Konsequenzen für zukünftige ertragskundliche Informationssysteme. Forstw. Cbl., 111. Jg., S. 366 bis 382

- PRETZSCH, H., 1993: Analyse und Reproduktion räumlicher Bestandesstrukturen Versuche mit dem Strukturgenerator STRUGEN. Schriften aus der Forstl. Fakultät der Univ. Göttingen, Band 114, S. 87
- PRETZSCH, H., 1996a: Growth Trends of Forests in Southern Germany. European Institute Research Report No. 5, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, S. 107 bis 132. In: SPIECKER, H., MIELIKÄINEN, K., KÖHL, M. und SKOVSGAARD, J. P. (Hrsg.): Growth Trend in European Forests, S. 372
- PRETZSCH, H., 1996b: Strukturvielfalt als Ergebnis waldbaulichen Handelns. AFJZ, 167. Jg., H. 11, S. 213 bis 221
- PRETZSCH, H., 1999a: Waldwachstum im Wandel. Forstw. Cbl., 118. Jg., S. 228 bis 250
- PRETZSCH, H., 1999b: Zur Evaluierung von Wuchsmodellen. DVFF-Sekt. Ertragskunde, Tagungsberichte 1999, S. 1 bis 23
- PRETZSCH, H. und UTSCHIG, H., 1989: Das „Zuwachstrend-Verfahren“ für die Abschätzung krankheitsbedingter Zuwachsverluste auf den Fichten- und Kiefern-Weiserflächen in den bayerischen Schadgebieten. Forstarchiv, 60. Jg., H. 5, S. 188 bis 193
- PRETZSCH, H. und KAHN, M., 1995: Modelling growth of bavarian mixed stands in a changing environment. In: Caring for the forest: Research in a changing world. Congress report, volume II. 20th world congress of IUFRO, Tampere, Finland, 6-12 August 1995. S. 234 bis 248
- PRETZSCH, H. und KAHN, M., 1996: Wuchsmodelle für die Unterstützung der Wirtschaftsplanung im Forstbetrieb. AFZ, 51. Jg., H. 25, S. 1 414 bis 1 419
- PRETZSCH, H., KAHN, M. und GROTE, R., 1998: Die Fichten-Buchen-Mischbestände des Sonderforschungsbereiches „Wachstum oder Parasitenabwehr“ im Kranzberger Forst. Forstw. Cbl., 117. Jg., S. 241 bis 257
- PRETZSCH, H. und UTSCHIG, H., 1998: Wachstumstrends der Fichte in Bayern. Unveröffentlichter Abschlussbericht zum Projekt W 30, S. 161
- RAPP, J. und SCHÖNWIESE, C. D., 1995: Atlas der Niederschlags- und Temperaturtrends in Deutschland 1891 bis 1990. Frankfurter Geowissenschaftliche Arbeiten, Serie B, Meteorologie und Geophysik, Band 5
- REHFUESS, K. E., 1981: Waldböden. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin, S. 193
- REHFUESS, K. E., 1995: Waldschäden: Stand der Forschung und Ausblick. Bericht über das Symposium am 03.05.1995 in München. Hrsg.: BayStMin ELF
- REHFUESS, K. E. und SCHMIDT, A., 1971: Die Wirkung von Lupinenunterbau und Kalkammonsalpeterdüngung auf den Ernährungszustand und den Zuwachs älterer Kiefernbestände in der Oberpfalz. Forstw. Cbl., 90. Jg., S. 237 bis 259
- REIMEIER, S., 1999: Modelle zur Korrektur von Ertragstafelzuwächsen aus Daten der permanenten Stichprobeninventur. AFZ/DerWald, 54. Jg. S. 1 069 bis 1 071

- RÖHLE, H., 1987: Entwicklung von Vitalität, Zuwachs und Biomassenstruktur der Fichte in verschiedenen bayerischen Untersuchungsgebieten unter dem Einfluss der neuartigen Walderkrankungen. Forstl. Forschungsber. München, Nr. 83, S. 122
- RÖHLE, H., 1995: Zum Wachstum der Fichte auf Hochleistungsstandorten in Südbayern. Mitteilungen aus der Staatsforstverwaltung Bayerns, Heft 48, S. 272
- RÖHLE, H., 1997: Änderung von Bonität und Ertragsniveau in südbayerischen Fichtenbeständen. AFJZ, 168. Jg., H. 6/7, S. 110 bis 114
- ROTHER, A., 1997: Einfluss des Baumartenanteils auf Durchwurzelung, Wasserhaushalt, Stoffhaushalt und Zuwachs eines Fichten-Buchen-Mischbestandes am Standort Höglwald. Forstl. Forschungsber. München Nr. 163, S. 174
- ROTHER, A. und KREUTZER, K., 1998: Wechselwirkungen zwischen Fichte und Buche im Mischbestand. AFZ/Der Wald, 52. Jg., H. 15, S. 784 bis 787
- SCHMIDT, A., 1969: Der Verlauf des Höhenwachstums von Kiefern auf einigen Standorten der Oberpfalz. Forstw. Cbl., 88. Jg., S. 33 bis 40
- SCHMIDT, J., 1990: Überlegungen zur Erfassung und Beschreibung von Wachstumsgängen am Beispiel der Durchmesserzuwachsentwicklung der letzten Jahrzehnte von Fichtenaltbeständen in Bayern unter besonderer Berücksichtigung witterungsbedingter Zuwachsreaktionen. Forstl. Forschungsberichte München, 1990, H. 104, S. 170
- SCHMIEDEN, U. und WILD, A., 1995: The contribution of ozone to forest decline. *Physiol. Plant.* 94, S. 371 bis 378
- SCHÖNWIESE, C. D., 1997: Die Klimadebatte zwischen Katastrophe und Verharmlosung. *Universitas* 52, S. 983 bis 990
- SCHÖPFER, W. und HRADETZKY, J., 1986: Zuwachsrückgang in erkrankten Fichten- und Tannenbeständen – Auswertungsmethoden und Ergebnisse –. *Forstw. Cbl.*, 105. Jg., S. 446 bis 470
- SCHÖPFER, W., HRADETZKY, J. und KUBLIN, E., 1994: Wachstumsänderungen der Fichte in Baden-Württemberg. *Forst und Holz*, 49. Jg., H. 21, S. 633 bis 644
- SCHULZE, E. D. und LANGE, O. L., 1990: Die Wirkung von Luftverunreinigungen auf Waldökosysteme. *Chemie in unserer Zeit*, H. 24, S. 117 bis 130
- SCHWAPPACH, A., 1902: Wachstum und Ertrag normaler Fichtenbestände in Preußen. Neudamm.
- SLADKOVIC, R., SCHEEL, H. E. und SEILER, W., 1994: Atmospheric CO₂ records from sites operated by the Fraunhofer Institute for Atmospheric Environmental Research. In *Trends: A Compendium of Data on Global Change. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tenn., U.S.A.*
- SMALTSCHINSKI, T., 1986: Fehler bei Stammscheiben- und Bohrspananalysen. *Forstw. Cbl.*, 105. Jg., S. 163 bis 171
- THOMASIUS, H., 1991: Mögliche Auswirkungen einer Klimaänderung auf die Wälder in Mitteleuropa. *Forstw. Cbl.*, 110. Jg., S. 305 bis 330