

Wissenschaftszentrum Weihenstephan  
für Ernährung, Landnutzung und Umwelt  
der Technischen Universität München

## **Wachstumstrends der Kiefer in Bayern**

**Elke Küsters**

Vollständiger Abdruck der zur Erlangung  
des akademischen Grades eines Dr. rer. silv.  
genehmigten Dissertation

1. Gutachter: Prof. Dr. H. Pretzsch

2. Gutachter: Prof. Dr. A. Göttlein

Tag der mündlichen Prüfung: 04.07.2001

## Vorwort

Diese Arbeit entstand am Lehrstuhl für Waldwachstumskunde, Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt, der Technischen Universität München unter Leitung von Prof. Dr. H. PRETZSCH. Ihm gilt mein besonderer Dank für die Bereitstellung des Themas, seine große Unterstützung und die stete Bereitschaft zu hilfestellenden Gesprächen.

Für die Finanzierung des Projektes “Zuwachstrends von Kiefer und Fichte in Abhängigkeit von Ernährungszustand, Standort und Depositionsbelastung”, das in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Bodenkunde und Standortslehre durchgeführt wurde und die Bereitschaft, das umfangreiche Datenmaterial aus der Forsteinrichtungsdatenbank für diese Arbeit zur Verfügung zu stellen, möchte ich mich beim BAYERISCHEN STAATSMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN bedanken.

Herrn Prof. Dr. K.E. REHFUESS möchte ich für die Anregungen im Rahmen des Projektes danken.

Unermüdliche Hilfestellung, stete Diskussionsbereitschaft sowie ständige Motivation habe ich von meinen Betreuern Dr. HEINZ UTSCHIG und Dr. MARTIN BACHMANN sowie von Dr. PETER BIBER erfahren, bei denen ich mich hier herzlich dafür bedanken möchte. Auch die Unterstützung bei fachlichen Fragen und die Aufmunterungen, die ich von allen MitarbeiterInnen am Lehrstuhl für Waldwachstumskunde, insbesondere meinen ZimmerkollegInnen MIRIAM POTT und THOMAS SEIFERT erhalten habe, war sehr wertvoll für mich.

Einen besonderen Dank möchte ich an GERHARD SCHÜTZE richten, der jederzeit, aber insbesondere in der Endphase meiner Arbeit, immer hilfsbereit zur Stelle war, unabhängig davon, ob es sich um die intensive Durchsicht meines Manuskriptes oder um private Hilfestellung handelte. Ohne ihn wäre die Fertigstellung der Arbeit in diesem Rahmen nicht möglich gewesen. Ein Gruß geht an dieser Stelle auch an J.S. BACH.

Meinem Freund NORBERT HARRER möchte ich an dieser Stelle dafür danken, dass er immer an meiner Seite stand und geduldig die Zeiten der Vernachlässigung überstanden hat. Seine ständige Diskussionsbereitschaft und kritischen Anmerkungen waren mir eine große Hilfe. Auch meiner Familie und allen meinen Freunden gilt hier meine besondere Verbundenheit.

Diesen Rahmen möchte ich dazu benutzen, mich bei Herrn JÜRGEN WITTLER zu bedanken, der mir den Wald während meiner Praktikumszeit nahe gebracht hat.

## Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	1
2	Einleitung	7
	2.1 Problemstellung	7
	2.2 Stand der Kenntnis	8
	2.3 Zielsetzung	10
3	Vorstellung des Untersuchungsgebietes	12
	3.1 Geografische Lage	12
	3.2 Standörtliche Verhältnisse	14
4	Aufbereitung des Datenmaterials	18
	4.1 Permanente Stichprobeninventur	18
	4.2 Langfristig beobachtete Versuchsflächen	23
	4.3 Einzelbaumanalysen	27
5	Methodische Grundlagen	29
	5.1 Beschreibung des Wachstums mit Hilfe von Wachstumsfunktionen	29
	5.1.1 Aufbau und Auswahl einer geeigneten Funktion	29
	5.1.2 Modifizierung der KORF-Funktion	31
	5.2 Methoden zur Identifizierung von Wachstumstrends	34
	5.2.1 Ertragstafelvergleich	35
	5.2.2 Vergleich des Wachstums in den Zeiträumen bis 1960 und nach 1960	40
	5.2.3 Wachstum in unterschiedlichen Kalenderzeiträumen (Methode des konstanten Alters)	40
	5.3 Prognose des Wachstums mit dem Wuchsmodell SILVA 2.2	42
	5.3.1 Allgemeine Beschreibung von SILVA 2.2	43
	5.3.2 Fortschreibung von Inventurdaten auf Wuchsbezirksebene	46
6	Wachstumsbefunde in unterschiedlichen Regionen Bayerns	53
	6.1 Überblick über die regionaltypischen Reaktionsmuster	53
	6.1.1 Östliche Vorrhön	54
	6.1.2 Keuperbergland	56
	6.1.3 Keuperhügelland	58
	6.1.4 Keupersenkenland	61
	6.1.5 Südliches Albvorland	63
	6.1.6 Frankenalb	68

		II	
	6.1.7	Albabdachung	68
	6.1.8	Oberfränkisches Triashügelland	70
	6.1.9	Oberpfälzer Becken- und Hügelland	72
	6.1.10	Waldsassener Schiefergebiet/Wiesauer Senke	75
	6.1.11	Münchner Schotterebene	78
	6.2	Vergleichende Betrachtung der Regionen	80
	6.2.1	Mittelhöhe	80
	6.2.2	Durchschnittliche Alter	82
	6.2.3	Durchschnittliche Ertragsklassen	83
	6.2.4	Bestandesgrundflächen, Bestockungsgrade und Vorräte	84
	6.3	Zuwachsbefunde aus der Wiederholungsinventur	88
	6.4	Zusammenfassung der regionaltypischen Reaktionsmuster	94
7		Einfluss von Standortfaktoren auf das Wachstum	98
	7.1	Einflussfaktoren auf das Wachstum	98
	7.2	Beschreibung des Höhenwachstums in Abhängigkeit der Standortfaktoren	104
	7.3	Typische Reaktionsmuster auf Einzelbaumebene	106
	7.3.1	Analyse des Zuwachsverhaltens der Probestämme	106
	7.3.2	Schlankheitsgrade	110
	7.3.3	Untersuchung der Schaftform	111
8		Identifikation und Quantifizierung von Wachstumstrends	116
	8.1	Vergleich des Wachstums mit der WIEDEMANN-Ertragstafel	116
	8.1.1	Verwendetes Datenmaterial	116
	8.1.2	Prozentuale Abweichung der beobachteten Werte von der WIEDEMANN-Ertragstafel	117
	8.1.3	Linearer Ausgleich der prozentualen Abweichungen von der Ertragstafel in Abhängigkeit von Alter, Bonität und Bestockungsgrad	119
	8.2	Vergleich des Wachstums in den Zeiträumen bis 1960 und nach 1960	121
	8.2.1	Verwendetes Datenmaterial	121
	8.2.2	Einteilung der auftretenden Standorte in Standortklassen	122
	8.2.3	Betrachtung wichtiger waldwachstumskundlicher Kennwerte	122
	8.2.4	Analyse der Zuwachsgrößen	124
	8.2.5	Einfluss der Dichte auf den Volumenzuwachs	127

8.2.6	Funktionaler Ausgleich des Volumenzuwachses	129
8.3	Veränderung des alterstypischen Baumzuwachses (Methode des konstanten Alters)	133
8.3.1	Fränkischer Keuper und Albvorland (WG 5)	133
8.3.2	Frankenalb und Oberpfälzer Jura (WG 6)	135
8.3.3	Oberpfälzer Becken- und Hügelland (WG 9)	137
8.3.4	Oberpfälzer Wald (WG 10)	139
8.3.5	Zusammenfassender Überblick und Resumee	139
9	Wuchspotential der Kiefer unter heutigen Standortsbedingungen	142
9.1	Prognostizierte Oberhöhen im Alter 140 Jahre	142
9.2	Prognostizierter durchschnittlicher Gesamtwuchs im Alter 140 Jahre	144
9.3	Einfluss der Standortparameter auf die Wachstumsprognose	147
10	Bedeutung der Kiefer unter veränderten Klimabedingungen	149
10.1	Veränderung der Klimabedingungen	149
10.2	Auswahl der Klimaszenarien	150
10.3	Ergebnisse der Szenariorechnungen	151
10.4	Einfluss der Klimavariablen bei den Szenariorechnungen	153
11	Zusammenfassende Betrachtung und Diskussion	155
11.1	Wachstumsbefunde der Kiefer in Bayern	157
11.2	Einfluss von Standortfaktoren auf das Wachstum	157
11.3	Verändertes Wuchsverhalten der bayerischen Kiefernbestände	158
11.3.1	Bonitätsveränderungen	158
11.3.2	Veränderung der Zuwachsdynamik	159
11.3.3	Reaktionsmuster auf verschiedenen Standorten	162
11.3.4	Zuwachsverhältnisse am Schaft	163
11.3.5	Erklärungsansätze	163
11.4	Wuchspotential unter veränderten Klimabedingungen	165
11.5	Auswirkungen auf die forstwirtschaftliche Praxis	166
11.6	Zusammenfassende Überprüfung der Hypothesen	167
12	Literaturverzeichnis	170
13	Verzeichnis der Tabellen und Abbildungen	179
14	Anhang	188

# 1 Zusammenfassung

Zielsetzung dieser Arbeit ist die Untersuchung von Auswirkungen der großräumig veränderten Wuchsbedingungen auf das Kiefernwachstum. Der Schwerpunkt wird hierbei auf die Analyse räumlicher und zeitlicher Reaktionsmuster von Beständen und Einzelbäumen gesetzt.

Zunächst sollen regionaltypische Unterschiede im Wachstum der Kiefer aufgedeckt und durch standörtliche Faktoren beschrieben werden (räumliche Reaktionsmuster). In einem zweiten Schritt folgt die Identifizierung und Quantifizierung von Veränderungen im Wachstumsgang und Leistungspotential der Kiefer (zeitliche Reaktionsmuster). Hierbei wird versucht, die Art und das Ausmaß festgestellter Wachstumstrends in Abhängigkeit von herrschenden Standortsbedingungen zu beschreiben (räumliche und zeitliche Reaktionsmuster). Weiterhin soll versucht werden, mögliche Reaktionen der Kiefer auf veränderte Klimabedingungen zu untersuchen.

## Datengrundlage

Für diese Analysen ist eine fundierte Datengrundlage notwendig, die sowohl repräsentative Aussagen über das Wachstum in verschiedenen Regionen Bayerns als auch über langfristige Wachstumsgänge ermöglicht. In dieser Arbeit kann dabei auf drei unterschiedliche Datenquellen zurückgegriffen werden. Mit dem Datenmaterial aus der permanenten Stichprobeninventur der jeweils jüngsten Forsteinrichtung, die das Bayerische Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten dankenswerter Weise zur Verfügung stellt, können anhand von ca. 9000 Inventurpunkten Wachstumsbefunde von Kiefernreinbeständen auf regionaler Ebene dargestellt werden. Bei ca. 2000 Inventurpunkten werden zusätzlich die Daten aus der ersten Wiederholungsinventur herangezogen, so dass in einigen Gebieten auch Aussagen über das Zuwachsverhalten der Bestände in den letzten 10 Jahren getroffen werden kann.

Der Datenfundus aus den teilweise schon zu Beginn des letzten Jahrhunderts angelegten und in regelmäßigen Abständen aufgenommenen langfristigen Versuchsflächen, die vom Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Technischen Universität München betreut werden, ermöglichen eine Analyse zeitlicher Entwicklungsgänge. Diese Untersuchung stützt sich auf 22 Durchforstungs- bzw. Düngungsversuchsflächen mit insgesamt 145 Parzellen (davon 70 ungedüngt), deren Beobachtungszeitraum von 1900 bis 2000 reicht. Weiterhin werden Einzelbaumanalysen von insgesamt 1900 Bäumen verwendet, bei denen vor allem die Entwicklung des Radialzuwachses analysiert wird. Für ausgewählte Prohebäume erfolgt eine nähere Untersuchung des Höhen- und Durchmesserzuwachses sowie der Schaftform.

### Methodische Grundlagen

Mit diesem umfangreichen Datenmaterial werden verschiedene methodische Ansätze verfolgt. Neben einer Beschreibung des Datenmaterials mit Mittelwerten wird eine geeignete Funktion zur Beschreibung insbesondere der Höhenentwicklung und des Volumenzuwachses verwendet. Über eine Modifizierung dieser Funktion können standörtliche Effekte und beim Volumenzuwachs der Einfluss der Dichte auf den Zuwachs berücksichtigt werden. Mit Hilfe von statistischen Verfahren wird der Einfluss einiger standörtlicher Parameter auf den Höhenwachstumsverlauf beschrieben.

Die Identifizierung und Quantifizierung von Wachstumstrends erfolgt anhand dreier unterschiedlicher methodischer Ansätze. Hierzu gehört der Vergleich der beobachteten Bestandeswerte mit den Erwartungswerten der WIEDEMANN-Ertragstafel (1943, mäßige Durchforstung), der Vergleich des Wuchsverhalten im Zeitraum 1961 bis 2000 mit den Wuchsverläufen im Zeitraum 1900 bis 1960 und eine Analyse des Radialzuwachses in unterschiedlichen Kalenderzeiträumen (Methode des konstanten Alters). Um Einblick in das Wuchspotential der Kiefer unter heutigen Standortsbedingungen zu geben, werden mit Hilfe des Waldwachstumssimulators SILVA 2.2 Prognoserechnungen durchgeführt. Insbesondere das in diesen Simulator implementierte flexible Standort-Leistungsmodell ermöglicht eine Untersuchung regionaltypischen Wuchsverhaltens. Mit diesem Instrument können durch Szenariorechnungen auch mögliche Reaktionen der Kiefer auf zukünftig eintretende Klimaänderungen betrachtet werden.

### Beschreibung regionaltypischer Unterschiede (räumliche Reaktionsmuster)

Die Untersuchungen dieser Arbeit ergeben ein differenziertes Bild der verschiedenen Reaktionsmuster von Kiefernbeständen, die von unterschiedlichen Standortparametern und waldbaulichen Behandlungen abhängen. Von den untersuchten Standortvariablen bestimmen vor allen Dingen der Wasserhaushalt, die Nährstoffversorgung und die Niederschlagsverhältnisse die Wuchsleistung der bayerischen Kiefernbestände. Insbesondere die Höhenentwicklung spiegelt die standörtlichen Verhältnisse wider. In Gebieten mit geringeren Niederschlägen und mit einer hohen Anzahl an nährstoffarmen Böden, wie das Oberpfälzer Becken- und Hügelland werden im Alter von 140 Jahren durchschnittliche Höhen von 22.9 m erreicht, während im niederschlagsbegünstigten Alvorland mit einem höheren Anteil an nährstoffreichen Tonlehmen die durchschnittlichen Höhen bei 25 m liegen. Auf gut wasser- und nährstoffversorgten Böden können Kiefernbestände im Alter von 120 Jahren Mittelhöhen über 35 m erreichen. Mit Grundflächenwerten bis zu 50 qm und Vorräten über 700 VfmD/ha/a zeigen sie deutlich das mögliche Leistungspotential der Kiefer. Die durchschnittlichen Ertragsklassen schwanken zwischen I.1 und II.7. Die Grundflächen- und Vorratswerte der einzelnen Regionen schwanken stark und sind neben den standörtlichen Verhältnissen auch von der waldbaulichen Behandlung abhängig. Die höchsten Werte mit durchschnittlich über 30

qm/ha finden sich im Keuperhügelland und in der Vorrhön, die geringsten Werte, bedingt durch eine insbesondere im hohen Alter geringe Grundflächenhaltung im Alvorland. Bei den Vorratswerten zeigt sich ein anderes Bild. Geringe Werte von durchschnittlich ca. 200 VfmD/ha finden sich aufgrund geringer Höhen, d.h. ungünstiger standörtlicher Veränderungen in der Frankenalb. In den meisten Regionen liegen die Werte zwischen 260-290 VfmD/ha. Die Volumenzuwächse der letzten 10 Jahre liegen in allen untersuchten Regionen weit über den Werten der I. Ertragsklassen. Im Alter von 120 Jahren werden noch Zuwächse zwischen 6-10 VfmD/ha/a erreicht. Die höchsten Zuwachswerte finden sich im Alvorland und erstaunlicherweise im Oberpfälzer Becken- und Hügelland.

#### Veränderungen im Wachstumsgang und Leistungspotential durch großräumig einwirkende Umwelteinflüsse (zeitliche Reaktionsmuster)

In allen Regionen konnte ein verändertes Wuchsverhalten festgestellt werden, was ein deutlicher Indikator für eine Reaktion auf großräumig veränderte Wuchsbedingungen ist. Sowohl bei Betrachtung der Höhen- als auch der Zuwachsentwicklung zeigt sich ein hohes, weiterhin ansteigendes Leistungsniveau. In jeder Region liegen die Bonitäten heute junger Bestände um 1.2 bis 2.7 Ertragsklassen höher. Der Verlauf der Höhenentwicklung auf den langfristigen Versuchsflächen weist ebenfalls eine zunehmende Verbesserung der Bonitäten auf. Die Abweichungen des Volumenzuwachses von der WIEDEMANN-Ertragstafel können bis zu 212 % erreichen. In den letzten 40 Jahren leisten die Bestände bei definierter Dichte eine bis zu 2.5 VfmD/ha/a mehr und können damit in höherem Alter noch Zuwächse zwischen 7.0 und 8.0 VfmD/ha/a erreichen.

Die erhöhten Zuwächse werden sowohl vom Durchmesser- als auch vom Höhenzuwachs getragen, jedoch nimmt der Höhenzuwachs überproportional zu, was zu einer Erhöhung der H/D-Werte und damit zu einer Destabilisierung der Kiefernbestände führt. Weiterhin zeigen sich erhöhte Querflächenzuwächse in den oberen Schaftbereichen.

Diese Veränderungen treten vor allen Dingen seit Beginn der 60er Jahre auf. Die Höhenkurven folgen bis zu diesem Zeitpunkt weitgehend dem Ertragstafelverlauf und weichen dann zunehmend davon ab. Die gleichen Ergebnisse bringt der Zeitraumvergleich und die Analyse der Einzelbaumentwicklungen.

Wird das heutige Wuchspotential eines Kiefernbestandes untersucht, zeigen sich deutliche höhere Wuchsleistungen. Im Alvorland können unter den heutigen Bedingungen Mittelhöhen über 36 m erreicht werden, im Oberpfälzer Becken- und Hügelland liegen sie aufgrund der unterschiedlichen standörtlichen Bedingungen hingegen nur bei ca. 31 m. Die zu erwartenden durchschnittlichen Gesamtwächse im Alter von 140 Jahren liegen zwischen 7 und ca. 8 VfmD/ha/a.



### Art und Ausmaß der Wachstumsänderungen in Abhängigkeit von den herrschenden Standortbedingungen (räumliche und zeitliche Reaktionsmuster)

Art und Ausmaß der veränderten Wuchsverläufe ist von den herrschenden standörtlichen Faktoren abhängig. Je ungünstiger sich ein Standort hinsichtlich des Nährstoff-, insbesondere des Stickstoffangebotes darstellt, um so höher ist die Abweichung von den Referenzverläufen. Auf ungünstigeren Standorten betragen die Differenzen von der WIEDEMANN-Ertragstafel über 200 % während bessere Standorte nur Abweichungen von ca. 100 % aufweisen. In den letzten 40 Jahren wird auf ungünstigeren Standorten im Alter von 90 Jahren eine Mehrleistung von 2.5 VfmD/ha/a erbracht, während auf mittleren Standorten nur Verbesserungen von 1.5 VfmD/ha erreicht werden. Die Zuwachswerte liegen bei ungünstigeren Standorten bei 8.0 und bei mittleren bei 8.8 VfmD/ha/a, zeigen also weiterhin Unterschiede im Leistungsniveau. Jedoch erfolgt eine allmähliche Vereinheitlichung der Volumenzuwächse.

### Mögliche Wachstumsreaktionen auf zukünftige Klimaänderungen (zukünftige Reaktionsmuster)

Mit zwei Szenariorechnungen werden die möglichen Reaktionen der Kiefer auf unterschiedliche Klimaveränderungen untersucht. Bei einem Anstieg der Temperatur während der Vegetationszeit ohne Veränderung der Niederschlagsverhältnisse zeigt sich in allen Regionen kaum und wenn dann eine schwach positiv gerichtete Veränderung. Werden zusätzlich die Niederschläge um 10 % gesenkt, reagiert die Kiefer in den einzelnen Regionen unterschiedlich, wobei maximale negative Abweichungen von 17 % gefunden werden. Die Verschlechterung der Wuchsleistung ist um so größer, je angespannter der Wasserhaushalt sich ohnehin darstellt. So sind die größten prozentualen Abweichungen im Oberpfälzer Becken- und Hügelland, in der Frankenalb und im Waldsassener Schiefergebiet/Wiesauer Senke zu finden.

### Konsequenzen für die forstwirtschaftliche Praxis

Das großräumig veränderte Wuchsverhalten führt zu einer deutlichen Steigerung des möglichen Leistungs- und damit auch Nutzungspotentials der Kiefer in Bayern. Da auch in älteren Beständen noch beträchtliche Zuwachsleistungen erbracht werden, kann insbesondere auf ärmeren Standorten ein Vorratsaufbau oder eine Verlängerung der Umtriebszeit sinnvoll sein. Kritisch muss jedoch die zukünftige Qualitätsentwicklung in jungen Beständen betrachtet werden, da verbesserte Wuchsbedingungen zur Ausbildung stärkerer Äste führt, dem durch eine gezielte Astung entgegengewirkt werden kann. Im Hinblick auf sich abzeichnende Klimaveränderungen darf die Beteiligung der Kiefer am Aufbau der bayerischen Wälder nicht vernachlässigt werden, da sie im Vergleich zu anderen heimischen Baumarten eine höhere Anpassungsfähigkeit an sich verändernde Klimabedingungen aufweist.

## Summary

The purpose of this study is to investigate the effects of spatially changed site conditions in the growth of Scots Pines (*Pinus sylvestris*). Emphasis is placed on the analysis of spatial and temporal reaction patterns of individual trees as well as stands. First, regional growth differences of Scots Pines are to be investigated and defined by location factors (spatial reaction pattern). The identification and quantification of possible changes in growth and yield potential (temporal reaction pattern) follows in a second step. The type and extent of determined growth trends as a function of current site conditions (spatial and temporal reaction patterns) are to be described here. Furthermore, possible reactions of Scots Pines in changed climates are examined.

Data base for the analyses are the survey results of roughly 9,000 inventory points in pure pine stands from the permanent sample inventory of the Bavarian Ministry of Agriculture and Forestry (of those, 2,000 plots with repetition inventory). The data sets from 22 plots examined over the long term and some 1,900 single tree analyses were also used. Thus, a reliable base for structure, current performance and growth trends for Scots Pines was available.

Different methodical approaches were applied using this extensive material data. Along with the description of the data by average values, an appropriate function is applied to describe in particular the height development and volume increase. By modifying this function local influences can be taken into consideration. Additionally, the influence of stand density in regard to the volume increase is included. The effect of some local parameters on the course of height development is described with the help of statistical methods. The identification and the quantification of growth trends is based on three different methodical approaches. First is the comparison of the observed stand values with the expected values of the WIEDEMANN yield table (1943, moderate thinning). Then there is the comparison of growth behavior in the period 1961 to 2000 with the growth processes in the period of the 1900 to 1960. The third method is the analysis of radial increase in different calendar time frames (method of the constant age).

In order to gain insight of the growth potential of Scots pine in current conditions, growth projections are executed using the forest growth simulator SILVA 2.2. The site sensitivity of this simulator enables the realistic representation of typical regional growth behaviour. This instrument also can be used to quantify possible future reactions to climatic changes by Scots Pines.

The results of all applied methods provides clear indication for positive growth trends which can only be caused by spatial factors. The tree height development in all examined regions shows a clear rise in the comparison to the WIEDEMANN yield table (1943, moderate thinning) starting in the 60's. The site class of present young stands is about 1.2 to 2.7 levels above the site classes of current mature stands. The deviations of the volume increment increases from the yield table

(WIEDEMANN, 1943, moderate thinning) can amount to 200%. Compared to the period until 1960 the growth of Scots Pine during the last four decades produces an average increase of 2.5 VfmD/ha/a with determined stand density. Volume increments of up to 6-10 VfmD/ha/a can still be attained at 120 years of ages.

Over the last 10 years the increment values of stands with a yield table related density of 1.0 clearly exceed the first site class in all age groups. This positive growth trend is found in all regions although starting level and extent differ in all regions. The starting level is all the more higher, the better the sites of the respective region are represented.

The positive growth trend is stronger pronounced where the quality of the site conditions is worse. The largest site class increases in height development are found in regions with unfavourable initial conditions, for example nutrient-poor parent rocks or formerly scattered usage (e.g. in the 'Upper palatinate' basin). The negative growth trend on individual sample plots shows that the spatial influence factors can be overridden by local stand conditions.

The values of the basal area and standing volume differ clearly in the examined regions, where the different silvicultural practises represent a further important variable. Untreated sample plots show the potential growth of Scots Pine with base area values up to 50 qm/ha and a standing volume of 700 VfmD/ha at an age of 140 years.

The results of the study offer a solid base for planning in forest economical practice. In regions with clear positive growth trend the consequences can result in full utilization of the site improvement by transition to higher stand densities, rise of the amounts harvested or extension of the site-dependent tree species spectrum.

## 2 Einleitung

### 2.1 Problemstellung

Das Wachstum eines Baumes ist neben seiner genetischen Veranlagung maßgeblich von seinen vielschichtigen Umweltbedingungen abhängig. Diese bleiben zudem nicht konstant, sondern unterliegen kurz- und langfristigen Schwankungen, die sowohl natürlichen als auch anthropogenen Ursprungs sein können (OTTO, 1994).

Insbesondere seit den letzten Jahrzehnten verändert sich unsere Umwelt in zunehmendem Maße, was in erster Linie menschlichen Einflüssen zugeschrieben werden muss. Der Schadstoffausstoß aus den Schornsteinen der industriellen Anlagen, den Kraftfahrzeugen und aus der zunehmend intensivierten Landwirtschaft verändert die Zusammensetzung unserer Atmosphäre in erheblichem Umfang (ENQUETE-KOMMISSION, 1991). Komplizierte Prozesse in der Luft führen zur Bildung von Säuren und anderen chemischen Verbindungen, die das Wachstum von Organismen beeinflussen (FABIAN, 1991). Durch die Verbrennung fossiler Energieträger erhöht sich der CO<sub>2</sub>-Gehalt der Luft, was zusammen mit anderen Treibhausgasen eine Veränderung des Klimas verursacht (GRASSL, 1994). Daneben spielt auch die direkte Einwirkung des Menschen auf den Lebensraum eines Baumes eine sehr große Rolle. Die Bewirtschaftung des Waldes, die in der Vergangenheit geprägt war durch Übernutzung, Waldweide und Streunutzung, führte zu einer Devastierung des Bodens und damit zu einer Verschlechterung der Lebensbedingungen der auf ihm stockenden Bäume (HASEL, 1985). Nach Auflassung dieser Nutzungsformen erfolgt nun wiederum eine Erholung der Böden (z.B. REHFUESS, 1990). Die Erfassung dieser, den Standort und damit die Wuchsleistung eines Baumes beeinflussender Parameter ist äußerst schwierig. Zu vielfältig sind die Einflussfaktoren, die außerdem nicht nur allein, sondern auch in komplexer Form auf die Umwelt einwirken, sich ergänzen oder gegenseitig kompensieren können (OTTO, 1994).

Die Auswirkungen der veränderten Umweltbedingungen auf den Wald werden stark diskutiert (z.B. HOFMANN et al., 1990; KENK et al., 1991; SPIECKER et al., 1996; PRETZSCH, 1999; LINDNER und LASCH, 1999). Das langfristige Wachstumsverhalten des Waldes bzw. Baumes kann hier als Indikator für die beobachteten Veränderungen dienen (PRETZSCH, 1999). Finden sich in größeren Gebieten ähnliche Wachstumsveränderungen, lassen diese auf großräumig wirkende Einflussfaktoren schließen. Unter einer Wachstumsveränderung wird hier ein Wuchsverhalten verstanden, das von den uns bekannten Wachstumsgängen, die beispielsweise in Ertragstafelmodellen festgehalten sind, abweicht. Für die Beobachtung von Reaktionen der Wälder auf veränderte Wuchsbedingungen gilt insbesondere der Zuwachs als eine hochaggregierte Größe, deren langfristige Abweichungen von den bekannten gesetzmäßigen

Verläufen auf tiefgreifende Veränderungen schließen lassen (PRETZSCH, 2001). Die genaue Kenntnis des Wuchsverhaltens von Waldbeständen ist von großer Bedeutung. Neben der sich daraus ableitbaren nachhaltigen Nutzung von Holz gehört hierzu auch das Verständnis über das Reaktionsvermögen des Ökosystems Wald und das Ausmaß seiner Anpassungsfähigkeit auf rapide Umweltveränderungen.

Mit einem Baumartenanteil von ca. 23% ist die Kiefer nach der Fichte die häufigste Baumart in Bayern und Untersuchungen über ihr Wuchsverhalten nach wie vor von großer Bedeutung. Die hohe Genügsamkeit der Kiefer führte zu einem bevorzugten Anbau in klimatisch ungünstigen Gebieten auf Böden, die durch eine geringe Wasserversorgung und Nährstoffarmut geprägt sind. Ihr Wachstum ist durch Mangel gekennzeichnet und veränderte Umweltbedingungen lassen gerade bei dieser Baumart stärkere Reaktionen erwarten.

Diese Arbeit soll dazu beitragen, aktuelle Wachstumsbefunde und Wuchsverhalten der Kiefer zu charakterisieren. Insbesondere wird versucht, die Reaktionen auf veränderte Umweltbedingungen zu identifizieren und nach Möglichkeit auch zu quantifizieren.

## **2.2 Stand der Kenntnis**

Mit dem Beginn einer nachhaltigen Forstwirtschaft Ende des 18. Jahrhunderts wurde es zwingend notwendig, das Wuchsverhalten von Bäumen prognostizieren zu können. Denn nur bei Kenntnis der Wachstumsverläufe kann entschieden werden, wieviel des vorhandenen Vorrates genutzt werden kann, ohne die zukünftige Produktion von Holz zu verringern. Schon früh wurden erste Ertragstafelmodelle gebildet (z.B. PAULSEN, 1795), immer unter der Voraussetzung, dass die Wuchsbedingungen für den Baum gleichbleibend sind und sich nicht verändern. Für die Kiefer erlangten im bayerischen Raum die Tafeln von SCHWAPPACH (1889, 1908), GEHRHARDT (1921) und WIEDEMANN (1943 und 1948) Bedeutung. Vor allem die Ertragstafel von WIEDEMANN (1943) wird bis heute für die Abschätzung des Wuchsverhaltens bayerischer Kiefernbestände verwendet. Um den differierenden Wuchsbedingungen unterschiedlicher Regionen Rechnung zu tragen, wurden regionale Standorts-Ertragstafel aufgestellt, wie beispielsweise von SCHMIDT (1971) für den Oberpfälzer Raum. Weitere Ergebnisse über die charakteristischen Wachstumsverläufe der Kiefer bringen beispielsweise die Forschungen von ERTELD (1960), STRATMANN (1982, 1983) und FRANZ (1983).

Seit den achtziger Jahren wird in einer zunehmenden Anzahl von Forschungsergebnissen ein abweichendes Wuchsverhalten unserer Baumarten diskutiert, das die Allgemeingültigkeit der bisher verwendeten Ertragstafelmodelle in Frage stellt. Zunächst waren es Analysen über

Zuwachsrückgänge, die aufgrund verstärkt auftretender Kronenverlichtungen durchgeführt wurden. Beispiele hierfür sind die Untersuchungen von RÖHLE (1987) an Fichtenbeständen im Bayerischen Wald und von KENK (1984) an Tannenbeständen im Schwarzwald. ELLING (1993) und KREUTZER (1993) stellen Kronenverlichtungen aufgrund von hohen atmosphären Immissionen an Schwefeldioxid fest und HOFMANN et al. (1990) findet Zuwachsrückgänge in Beständen mit hoher atmosphärischer N-Belastung. Waldbestände bzw. Bäume mit starker Kronenverlichtung zeigen meist eine geringere Wachstumsleistung als Referenzbäume und -bestände mit schwachem Nadel- oder Blattverlust (z.B. KENK, 1989; PRETZSCH (1989); SCHÖPFER et al., 1994). Der Ertragstafelwert wird allerdings erst bei sehr starker Kronenverlichtung unterschritten (PRETZSCH, 1985; KENK und FISCHER, 1988; UTSCHIG, 1989; KREUTZER, 1993).

Ungefähr zur gleichen Zeit bestätigen Untersuchungsergebnisse eine seit den 60er Jahren zunehmend positive Abweichung von unseren Ertragstafelmodellen. So finden beispielsweise FRANZ (1983), KENK et al. (1991) und WEISE (1991) drastische Wachstumsanstiege in bayerischen und baden-württembergischen Fichten- und Buchenbeständen. RÖHLE (1995) berichtet bei Fichten im südbayerischen Raum über positive Abweichungen des Wachstums von der Ertragstafel. Bei der Konstruktion einer Standorts-Ertragstafel für die wirtschaftlich wichtigen Standortseinheiten der Oberpfalz stellt SCHMIDT schon im Jahr 1971 fest, dass sich die Kiefernbestände in der Situation einer Übergangsphase zwischen jahrhundertelanger Degradation und allmählicher Erholung befinden, es sich bei seiner Untersuchung also um eine Momentaufnahme handelt. Untersuchungen von PRETZSCH (1985) an verschiedenen Kiefern-Versuchsflächen zeigen, dass sich in allen Ertragsselementen ab Mitte der sechziger Jahre die Wirkung zuwachs-fördernder Einflussfaktoren wie nachlassende Streunutzung, wachstumsförderliche Klimabedingungen, erhöhtes Kohlendioxid-Angebot und zunehmender Stickstoffeintrag widerspiegelt. Darauf folgt seit Ende der siebziger Jahre eine Phase zunehmender Wachstumsstörungen. Eine weitere Arbeit über die Kiefer (FRANZ und PRETZSCH, 1988), in der Bestände in der Umgebung des Schwandorfer Braunkohlekraftwerkes untersucht wurden, zeigt seit den sechziger Jahren einen starken Leistungsanstieg der ertragskundlichen Weisergrößen. Dieser ist in Beständen aller Alter und Bonitäten festzustellen und läuft dem natürlichen Alterstrend entgegen.

Als Folge des abweichenden Wuchsverhaltens ist das künftige Wachstumsverhalten unserer Wälder nicht mehr ausreichend mit den gängigen Ertragstafelmodellen prognostizierbar. Eine realistische Vorhersage des Zuwachses ist jedoch sowohl für den Staats- als auch für den Privatwald von großer Bedeutung. Ein Zuwachsanstieg vor allem im Altholzstadium kann sich auf die Bemessung der Umtriebszeiten aber auch auf die langfristigen Nährstoffbilanzen von forstlich genutzten Waldökosystemen auswirken.



## 2.3 Zielsetzung

Zielsetzung dieser Arbeit ist die Untersuchung der Auswirkungen von großräumig veränderten Standortbedingungen auf das Kiefernwachstum. Der Schwerpunkt wird hierbei auf die Aufdeckung räumlicher und zeitlicher Reaktionsmuster von Beständen und Einzelbäumen gesetzt. Insbesondere sollen folgende Hypothesen geprüft werden:

1. Regionaltypische Unterschiede im Wachstum der Kiefer sind vorhanden und beschreibbar (räumliche Reaktionsmuster).
2. Die in den letzten Jahrzehnten verstärkt großräumig einwirkenden Umwelteinflüsse verursachen quantifizierbare Veränderungen im Wachstumsgang und Leistungspotential der Kiefer (zeitliche Reaktionsmuster).
3. Art und Ausmaß der Reaktionsmuster unterscheiden sich in Abhängigkeit von den herrschenden Standortbedingungen.
4. Klimaveränderungen lösen definierte Wachstumsreaktionen aus.

Für diese Analysen ist eine fundierte Datengrundlage notwendig, die sowohl repräsentative Aussagen über das Wachstum in verschiedenen Regionen Bayerns als auch über langfristige Wachstumsgänge ermöglicht.

Mit dem Datenmaterial aus der permanenten Stichprobeninventur der jeweils jüngsten Forsteinrichtung, die das Bayerische Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten dankenswerter Weise zur Verfügung stellt, können Wachstumsbefunde auf regionaler Ebene dargestellt werden. Die Aufnahmen stammen alle aus dem Zeitraum von 1984 bis 1999, so dass damit keine echten Entwicklungsgänge aufgezeigt, sondern nur sogenannte unechte Zeitreihen aufgestellt werden können. Durch die zusätzlich verwendeten Daten aus der ersten Wiederholungsinventur können in einigen Gebieten auch Aussagen über das Zuwachsverhalten der Bestände in den letzten 10 Jahren getroffen werden.

Der Datenfundus aus den teilweise schon zu Beginn des letzten Jahrhunderts angelegten und in regelmäßigen Abständen aufgenommenen langfristigen Versuchsflächen, die vom Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Technischen Universität München betreut werden, ermöglichen demgegenüber eine Analyse tatsächlicher, zeitlicher Entwicklungsgänge. Unterstützt wird dies durch die Verwendung von Einzelbaumanalysen, die neben einer Untersuchung der Wachstumsgrößen Höhen- und Durchmesserzuwachs auch eine Analyse der Schaftform zulässt.

Zur Überprüfung der oben angegebenen Hypothesen werden verschiedene Ansätze angewendet:

Die Ergebnisse aus der permanenten Stichprobeninventur ermöglichen eine Charakterisierung der Wachstumsbefunde in verschiedenen Regionen Bayerns, die zusammen mit den Befunden aus den langfristigen Versuchsflächen Aussagen über räumliche und zeitliche Variationen des Kiefernwachstums erlauben (Abschnitt 6.1 bis 6.4).

Mit Hilfe eines statistischen Verfahrens werden einige, das Wachstum der Kiefer maßgeblich beeinflussenden Standortfaktoren untersucht. Anhand ausgewählter Probebäume werden die typischen Reaktionsweisen dargestellt (Abschnitt 7).

Für die Erfassung langfristig verlaufender Wachstumsveränderungen (Wachstumstrends) werden drei verschiedene methodische Ansätze verfolgt. Zum einen werden die Zeitreihen aus den langfristigen Versuchsflächen mit den Erwartungswerten der WIEDEMANN-Ertragstafel verglichen (Abschnitt 8.1). Zum anderen wird das Datenmaterial auf Unterschiede im Wachstumsverhalten im Zeitraum 1900 bis 1960 und 1961 bis 2000 untersucht (Abschnitt 8.2). In einem dritten Ansatz werden die Radialzuwächse von Einzelbäumen in unterschiedlichen Kalenderzeiträumen analysiert (Methode des konstanten Alters, Abschnitt 8.3). Mit einer standörtlichen Differenzierung des Datenmaterials wird versucht, standortstypische Reaktionsmuster aufzudecken.

Um Aussagen über das Leistungspotential der Kiefer unter heutigen Wuchsbedingungen in unterschiedlichen Regionen Bayerns treffen zu können, werden mit Hilfe des Waldwachstumssimulators SILVA 2.2 Prognoserechnungen durchgeführt (Abschnitt 9) und mit zwei Szenariorechnungen mögliche Reaktionsweisen der Kiefer auf eventuell eintretende Klimaveränderungen untersucht (Abschnitt 10).

In einem abschließenden Kapitel werden die Ergebnisse dieser Arbeit zusammenfassend betrachtet und die eingangs gestellten Hypothesen überprüft (Abschnitt 11).



### 3 Vorstellung des Untersuchungsgebietes

#### 3.1 Geografische Lage

Abbildung 3.1-1 gibt einen Überblick über die regionale Herkunft des verwendeten Datenmaterials innerhalb Bayerns. Hellgrau hinterlegt sind die Wuchsbezirke mit Datenmaterial aus der Stichprobeninventur der jüngsten Forsteinrichtungsperiode. Dunkelgraue Wuchsbezirke bezeichnen Gebiete, für die zusätzlich Daten aus der Wiederholungsinventur zur Verfügung stehen. Kreise bzw. Dreiecke lokalisieren die langfristig beobachteten Versuchsflächen und Sterne kennzeichnen die Wuchsgebiete, in denen das Einzelbaumwachstum untersucht wird.

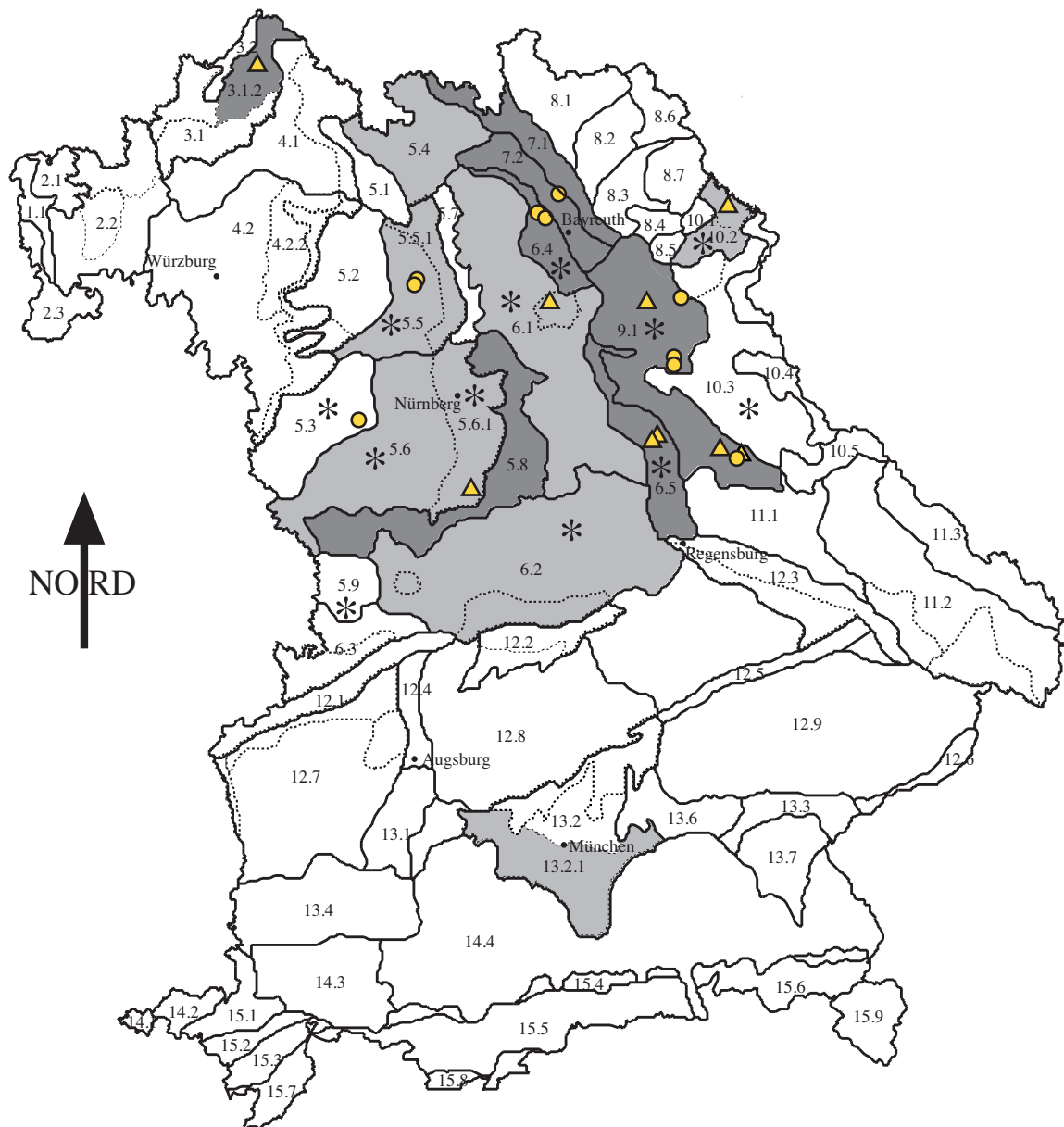


Abb. 3.1-1: Lage des verwendeten Datenmaterials in den Wuchsbezirken Bayerns (Sterne=Wuchsbezirke mit Einzelbaumanalysen; Dreiecke=Düngungsversuche; Kreise=Durchforstungsversuche; grau hinterlegte Wuchsbezirke kennzeichnen Gebiete, in denen die Daten aus der Stichprobeninventur ausgewertet wurden (hellgrau: Inventurpunkte aus der jüngsten Forsteinrichtungsperiode; dunkelgrau: Inventurpunkte mit Wiederholungsinventur).

Für die Wuchsbezirke 10.2, 10.3 und 13.2 finden die Untersuchungen auf Wuchsbezirksebene statt. Die übrigen betrachteten Wuchsbezirke mit ähnlichen Landschaftscharakteristika werden zu Landschaftsgruppen zusammengefasst (ARBEITSKREIS STANDORTSKARTIERUNG, 1996). Die Teilwuchsbezirke 5.5/1 und 5.6/1 werden aufgrund ähnlicher klimatischer und bodenkundlicher Bedingungen ebenfalls zu einer Landschaftsgruppe zusammengeschlossen.

Bei allen drei Datenquellen konzentriert sich das Datenmaterial auf den nördlichen Teil Bayerns (Abb. 3.1-1). Vor allem im Oberpfälzer Becken- und Hügelland (WB 9.1), im Keuperhügel und -senkenland (WB 5.4, 5.5, 5.6, 5.5/1, 5.6/1) und auf der Albabdachung (WB 5.8) findet sich die größte Anzahl untersuchter Inventurpunkte, von Versuchspartzen und Einzelbaumanalysen (Tab. 3.1-1). Diese Gebiete weisen generell eine hohe Beteiligung der Kiefer am Bestandaufbau auf. Nach den Ergebnissen der Bundeswaldinventur (LWF, 1994) findet sich im Wuchsbezirk 9.1 mit 68 % der höchste Kieferranteil, gefolgt vom Wuchsbezirk 5 mit 55 % und dem Wuchsbezirk 6 mit 34 %. Die hier untersuchten Daten repräsentieren demnach gut die Hauptvorkommensgebiete der Kiefer in Bayern.

Tab. 3.1-1: Übersicht über die Verteilung des Datenmaterials auf die Wuchsbezirke Bayerns mit der Anzahl der Inventurpunkte (Inv.pkt) aus der jüngsten Forsteinrichtungsperiode (jüngste FE-Periode) der Wiederholungsinventur (Wdh.- Inventur), der Anzahl der Parzellen aus dem Ertragskundlichen Versuchswesen (Langfr. Vfl.) und der Zahl der untersuchten Einzelbäume.

<b>Wuchsgebiet</b> (Landschaftsgruppe, Wuchsbezirk, Teilwuchsbezirk)	<b>Jüngste FE-Periode</b> Inv.pkt (%)	<b>Wdh.- Inventur</b> Inv.pkt (%)	<b>Langfr. Vfl.</b> Parzellen (%)	<b>Einzelbäume</b> Bäume (%)
<b>Rhön (3)</b> Östliche Vorrhön (3.1/2)	109 (1.2)	375 (18.3)	2 (2.9)	
<b>Fränkischer Keuper und Alvorland (5)</b> Keuperbergland (5.1;5.2;5.3)			2 (2.9)	17 (0.9)
Keuperhügelland (5.4;5.5;5.6)	1935 (20.8)		4 (5.7)	200 (10.5)
Keupersenkland (5.5/1; 5.6/1)	2672 (28.8)		3 (4.2)	3 (0.2)
Südliches Alvorland (5.8)	190 (2.1)	219 (10.7)		
Ries (5.9)				59 (3.1)
<b>Frankenalb und Oberpfälzer Jura (6)</b> Frankenalb (6.1;6.2)	366 (3.9)		2 (2.9)	299 (15.8)
Albabdachung (6.4;6.5)	426 (4.6)	276 (13.5)	8 (11.4)	445 (23.4)
<b>Oberfränkisches Triashügelland (7)</b> Bruchschollenland/Obermainhügelland (7.1;7.2)	160 (1.7)	503 (24.6)	2 (2.9)	
<b>Oberpfälzer Becken- und Hügelland (9)</b> Oberpfälzer Becken- und Hügelland (9.1)	3183 (34.3)	675 (32.9)	40 (57.1)	612 (32.2)
<b>Oberpfälzer Wald (10)</b> Waldsassener Schiefergebiet/Wiesauer Senke (10.2)	138 (1.5)		7 (10.0)	4 (0.2)
Vorderer Oberpfälzer Wald (10.3)				261 (13.7)
<b>Schwäb.-Bayer. Schotterplatten- und Altmoränenlandschaft</b> Münchner Schotterebene (13.2)	102 (1.1)			
<b>Summe</b>	<b>9281 (100)</b>	<b>2048 (100)</b>	<b>70 (100)</b>	<b>1900 (100)</b>

## 3.2 Standörtliche Verhältnisse

### Standortsansprüche der Kiefer

Die Kiefer hat das größte Verbreitungsgebiet aller einheimischen Baumarten (MAYER, 1984; ELLENBERG, 1996). Abbildung 3.2-1 zeigt das Vorkommen einiger wichtiger einheimischer Baumarten (THOMASIIUS, 1991). Danach kann die Kiefer in Gebieten mit sehr geringen Niederschlägen und tiefen Temperaturen noch existieren, in denen die anderen Baumarten kein Auskommen mehr finden. Nur in der Toleranz hoher Jahresdurchschnittstemperaturen wird sie bei entsprechend höheren Niederschlägen von der Eiche übertroffen. In Bayern beträgt der natürliche Kiefernanteil jedoch nur ca. 5% (MAYER, 1984). Durch die vergleichsweise günstigen Wuchsbedingungen in Bayern und die daraus folgende hohe Konkurrenzkraft anderer Baumarten wird sie in Gebiete mit ausgesprochen kontinentalem regenarmen Klima, auf kalkreiche Trockenhänge und Schotterflächen in submontaner bis hochmontaner Lage, arme Diluvialsande und auf Hochmoorränder bzw. Hochmoore zurückgedrängt. Durch ihre geringen Ansprüche an den Boden wurde sie bei der Aufforstung der nach Waldweide, Streunutzung und unkontrollierter Holznutzung (Eisenindustrie) devastierten Böden bevorzugt.

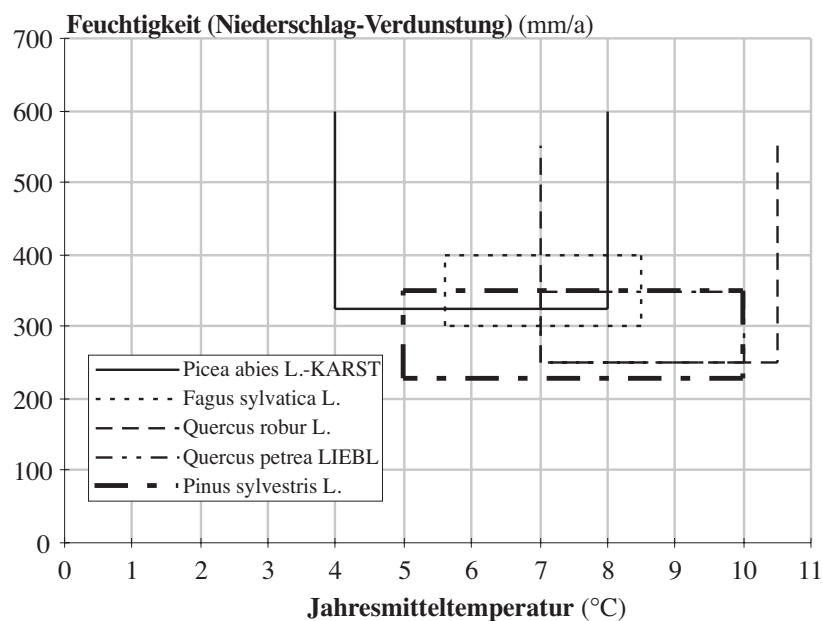


Abb. 3.2-1: Ökogramme forstwirtschaftlich bedeutungsvoller Baumarten für Mitteleuropa (verändert nach THOMASIIUS, 1991).

### Klimaangaben

Einen Überblick über die durchschnittlichen Klimawerte der untersuchten Wuchsgebiete und Landschaftsgruppen gibt Tabelle 3.2-1. Die Klimadaten sind den entsprechenden Angaben aus der Zusammenstellung der Forstlichen Wuchsgebiete und Wuchsbezirke in der Bundesrepublik Deutschland (ARBEITSKREIS STANDORTSKARTIERUNG, 1985) entnommen. Die Höhenlagen entsprechen der tatsächlichen vertikalen Verteilung der Inventurpunkte und Versuchsflächen.

Tab. 3.2-1: Allgemeine Klimaangaben der untersuchten Regionen, mit Höhenlage der Inventurbestände (INV) und Versuchsflächen (VFL), Temperatur während der Vegetationszeit (Tv), mittlerer Dauer der Lufttemperatur > 10°C (Veg.zeit), mittlerer Jahresschwankung der Temperatur (T.-Schwank.) und Niederschlag während der Vegetationszeit (Nv).

Wuchsgebiete (Landschaftsgruppen)	Höhenlage		Tv (°C)	Veg.Zeit (Tage)	T.- schwank. (°C)	Nv (mm)
	(m über NN)					
	INV	VFL				
<b>Rhön (3)</b> Vorrhön (3.1)	400-600	440	12.5-15.5	120-170	17.0-18.0	290-470
<b>Fränkische Platte (4)</b> Südliche Fränkische Platte (4.2)	<400		14.0-17.0	160-180	18.0-18.5	280-390
<b>Fränkischer Keuper u. Albvorland (5)</b> Keuperbergland (5.1;5.2;5.3)		470	14.5-15.0	140-160	18.0-19.0	300-400
Keuperhügelland (5.4;5.5;5.6)	400-600	290-320	15.0-16.0	140-170	18.0-19.0	300-430
Keupersenkenland (5.5/1;5.6/1)	400-600	380	15.0-16.0	140-170	18.0-19.0	300-430
Südliches Albvorland (5.8)	400-600		14.5-15.0	155-160	18.0-18.5	340-420
<b>Frankenalb u. Oberpfälzer Jura (6)</b> Frankenalb (6.1;6.2)	400-600	466	14.5-15.0	150-160	18.0-20.0	350-470
Alabdachung (6.4;6.5)	400-600	355-480	14.5-15.0	145-160	18.5-20.0	330-400
<b>Oberfränkisches Triashügelland (7)</b> Bruchschollenland, Obermainhügelland (7.1;7.2)	400-600	370	14.5-15.0	150-155	18.0-18.5	320-370
<b>Oberpfälzer Becken- u. Hügelland (9)</b> Oberpfälzer Becken- und Hügelland (9.1)	400-600	380-424	15.0-15.5	140-160	18.5-19.0	330-360
<b>Oberpfälzer Wald (10)</b> Waldsassener Schiefergebiet/Wiesauer Senke (10.2)	400-600	517-535	13.5-14.0	140-145	18.0-18.5	320-370
<b>Schwäbisch-Bayrische Schotterplatten-u. Altmoränenlandschaft (13)</b> Münchner Schotterebene (13.2)	400-600		15.0-15.5	155-165	18.5-19.5	430-720

### Charakteristik der Böden

Die auf den Versuchsflächen und Inventurpunkten vorkommenden Standortseinheiten sind in Tabelle 3.2-3 aufgelistet. Da bei der Stichprobeninventur nur die in größerem Umfang auftretenden Standortseinheiten aufgeführt sind, kann die Summe der Prozentangaben weniger als 100 % betragen.

Tab. 3.2-2: Standorte der untersuchten Versuchsflächen und Inventurpunkte (fe=feucht, fr=frisch, tr=trocken, we=wechsel, mä=mäßig, lehm.=lehmig) mit Häufigkeit ihres Auftretens (%) und Angabe der Standortseinheit bei den langfristigen Versuchsflächen.

<b>Wuchsgebiete</b> (Landschaftsgruppen)	<b>Langfristige Versuchsflächen</b>	<b>Stichprobeninventur</b>
<b>Rhön (3)</b> Vorrhön (3.1)	- mä fr Sand (012)(100%)	- mä tr Sande (31%) - mä fr (Schicht-)Sande (38%) - (mä) wefe (Schicht-) Sande (9%)
<b>Fränkischer Keuper u. Albvorland (5)</b> Keuperbergland (5.1;5.2;5.3) Keuperhügelland (5.4;5.5;5.6)  Keupersenkland (5.5/1;5.6/1)  Südliches Albvorland (5.8)	- mä wefe Schichtsand (707) (100%)  - mä fr lehm. Schichtsand (702) (100%)  - mä fr lehm. Sand (102) (100%)	- tr/mä tr./mä wetr (lehm.) (Schicht-) Sande (33%) - mä fr/fr (lehm.) (Schicht-) Sande (32%) - mä wefe/wefe (Schicht-) Sande (15%)  - tr/mä tr/wetr (Schicht-) Sande (42%) - mä fr/fr (lehm.) (Schicht-) Sande (13%) - fe (Schicht-) Sande (17%)  - mä tr Sande (32%) - mä fr/fr (Schicht-) Sande (12%) - mä wefe/wefe Schichtsande (12%) - mä fr-fr Tone (12%) - mä wefe/wefe Tonlehme (15%)
<b>Frankenalb u. Oberpfälzer Jura (6)</b> Frankenalb (6.1;6.2)  Alabdachung (6.4;6.5)	- mä wefe Feinlehme (307) (100%)  - wefe Schichtlehme (808,828) (37%) - mä tr Schichtlehme (311) (32%) - mä wetr Feinlehme (306) (31%)	- mä tr Sande (32%) - mä fr Sande (18%) - mä fr Sande mit Kalk oberhalb 50 cm (16%)  - tr/mä tr (Schicht-) Sande  - mä tr Feinlehme (8%) - wetr (Fein-) Lehme (10%)
<b>Oberfränkisches Triasland (7)</b> Bruchschollenland, Obermainhügelland (7.1;7.2)	- mä tr lehm. Sande (102) (100%)	- mä tr Sande (22%) - mä fr (Schicht-) Sande (52%)
<b>Oberpfälzer Becken- u. Hügelland (9)</b> Oberpfälzer Becken- und Hügelland (9.1)	- tr.Sande (010) (15%) - mä tr Sande (011, 001) (67%) - mä fr Sande (112) (8%) - mä wetr Sande (176) (2%) - mä wefe Sande (177)(8%)	- tr/mä tr (lehm.) Sande (43%) - mä fr/fr (lehm.) (Schicht-) Sande (36%) - mä wefe/wefe (lehm.) (Schicht-) Sande (9%)
<b>Oberpfälzer Wald (10)</b> Waldsassener Schiefergebiet/Wiesauer Senke (10.2)	-mä fr Lehm (202, 212) (71%) - mä wefe Lehm (217) (29%)	- mä tr (lehm.) Sande (43%) - mä fr (lehm.) Sande (50%) - mä wefe Lehme (7%)
<b>Schwäbisch-Bayrische Schotterplatten-und Altmoränenlandschaft (13)</b> Münchner Schotterebene (13.2)		- tr /mä tr (lehm.) Sande (89%) - mä fr (lehm.) Sande (10%)

Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass nur bei 2552 Inventurpunkten Standortsansprachen vorhanden sind, weshalb in einigen Gebieten aufgrund des geringen Datenmaterials keine Angaben gemacht werden können. Aufgeführt sind nur Regionen, in denen eine repräsentative Menge von Inventurpunkten mit Standortsangaben zur Verfügung steht.

Für die meisten Versuchsflächen ist im Rahmen des Projektes W31 ("Zuwachstrends von Kiefer und Fichte in Abhängigkeit von Ernährungszustand, Standort und Depositionsbelastung", HEITZ und KÜSTERS, 2001) vom Lehrstuhl für Bodenkunde der TU München eine neue Standortkartierung durchgeführt worden. Da diese neue Ansprache jedoch nicht für alle Versuchsflächen vorliegt, wird hier auf die alte Standortsansprache zurückgegriffen. Zudem ist damit ein Vergleich mit den Standortsangaben aus den Daten der permanenten Stichprobeninventur möglich. Die Versuchsfläche Schnaittenbach 57 wurde von Herrn Gulder, Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, neu angesprochen.

Es ist jedoch zu beachten, dass bei den älteren Standortkartierungen insbesondere Kiefernstandorte bei der Ansprache des Wasserhaushaltes tendenziell zu ungünstig eingestuft wurden (GULDER, 2000).

Der bevorzugte Anbau der Kiefer auf armen Standorten zeigt sich deutlich in den auftretenden Standortseinheiten. In allen untersuchten Wuchsgebieten und Landschaftsgruppen dominieren Sandstandorte mit einem mehr oder weniger hohen Lehmanteil. Eine Ausnahme hiervon bildet nur das Südliches Altvorland und die Altabdachung mit einem verstärkten Auftreten von Tonen und Tonlehmern bzw. Feinlehmern. Der Bodenwasserhaushalt schwankt zwischen trocken, mäßig trocken, mäßig frisch und frisch, mäßig wechselfeucht bis wechselfeucht.

## 4 Aufbereitung des Datenmaterials

Die Untersuchungen in dieser Arbeit basieren auf drei unterschiedlichen Datenquellen. Zum einen wird auf die Ergebnisse aus der permanenten Stichprobeninventur der Bayerischen Staatsforstverwaltung zurückgegriffen, die das Bayerische Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten zur Verfügung stellt. Hierbei handelt es sich um die Daten der jüngsten Forsteinrichtungsperiode und der Wiederholungsinventuren, die in einigen Forstämtern durchgeführt wurden. Damit können repräsentative Aussagen über aktuelle Wachstumsbefunde und Zuwachsdaten in unterschiedlichen Gebieten Bayerns getroffen werden. Zum anderen werden Bestandesdaten aus den langfristig beobachteten Versuchsflächen des Lehrstuhles für Waldwachstumskunde der TU München verwendet. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, eine Vielzahl von vorhandenen oder neu erstellten Einzelbaumanalysen in die Auswertung mit einzubeziehen. Mit diesem Datenmaterial lassen sich sowohl räumliche als auch zeitliche Entwicklungsverläufe des Kiefernwachstums darstellen.

Bevor tieferegehende Analysen über Wachstum bzw. Wachstumstrends der Kiefer durchgeführt werden können, muss das Datenmaterial aufbereitet, auf Plausibilität geprüft und verdichtet werden. Dies muss für jede Datenquelle gesondert erfolgen, da die Daten in unterschiedlich aggregierter und zeitlich aufgelöster Form vorliegen und damit nicht vergleichbar sind.

Eine Zusammenführung der Daten aus unterschiedlichen Formaten (Text-Dateien und EXCEL-Tabellen) in FOXPRO-Datenbank-Tabellen sichert ein schnelles und effizientes Bearbeiten und Überprüfen des äußerst umfangreichen Datenmaterials. Zudem erleichtert dies die Strukturierung der zum Teil komplexen Datensätze für sehr umfassende Auswertungsschritte.

### 4.1 Permanente Stichprobeninventur

#### Aufbau der Forsteinrichtungs-Datenbank der Bayerischen Staatsforstverwaltung

Die im Zuge der permanenten Stichprobeninventur gewonnenen Daten werden dezentral an den jeweiligen Forstdirektionen gespeichert und bearbeitet. Die Verwaltung erfolgt in einem relationalen Datenbanksystem (Informix), das die Daten ausschließlich in Form von Tabellen speichert. Über Felder bzw. Schlüsselvariablen, die aus der hierarchisch übergeordneten Tabelle in die untergeordnete Tabelle übernommen werden, können Beziehungen zwischen den Tabellen hergestellt werden. Eine genaue Beschreibung des Datenbankaufbaus und der in ihr enthaltenen Tabellen findet sich bei BAYSTMELF (1997), POTT (1997) und REIMEIER (2000). Im folgenden wird nur eine kurze Erläuterung über den Datenbankaufbau gegeben und in



Abbildung 4.1-1 exemplarisch ein Überblick über einige wichtige Tabellen der Forsteinrichtungs-Inventurdatenbank gezeigt.

Für jede Forsteinrichtung wird ein Forsteinrichtungssatz angelegt, der in der Datenbanktabelle FDFE gespeichert wird. Mit diesem Satz werden die Tabellen der Verfahrenssteuerung eingespielt bzw. für die aktuelle Forsteinrichtung angelegt. Diese Tabellen beinhalten Daten, die jeweils neu anzupassen sind wie z.B. die Kreisgrößen oder die Schadansprache. In den Arbeitstabellen werden Daten, die bei der Erstaufnahme erhoben wurden, gespeichert und können von dort in die mobilen Aufnahmegeräte EG20 überspielt werden. In die Urdatentabellen werden die Rohdaten der durchgeführten Inventur übertragen und in den Produktionstabellen schließlich die Ergebnisse der ertragskundlichen Berechnungen gespeichert.

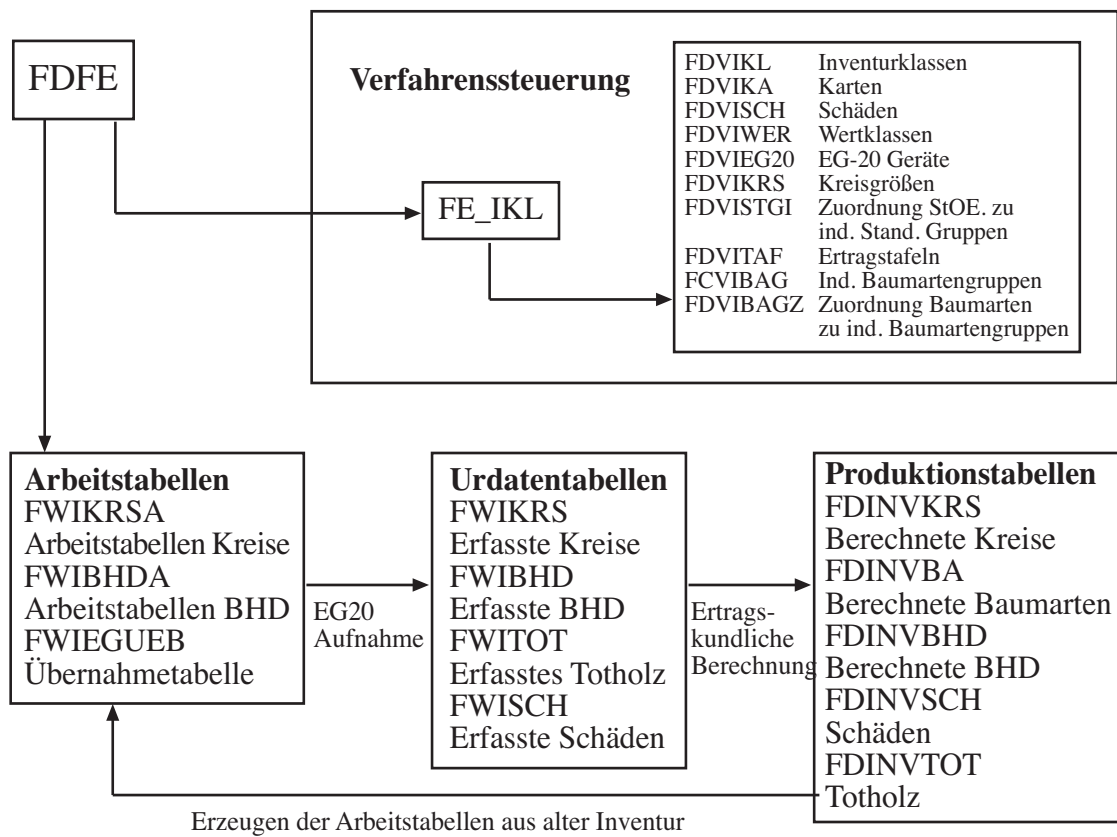


Abb. 4.1-1: Ablauf der Inventur und Tabellen der Forsteinrichtungsdatenbank (verändert nach BAYSTMELF, 1997).



### Verwendete Dateien

Für die vorliegende Arbeit wird nur auf die Ergebnisse von drei Produktionstabellen zurückgegriffen, deren Inhalte nachfolgend in Stichworten vorgestellt werden:

1. **FDINVKRS** (Inventurkreis)

Tabelle mit Informationen über die Standorte der einzelnen Inventurkreise, wie Geländeneigung, Höhenlage, Ausgangsgestein, Substrat, besondere Standortmerkmale und Wasserhaushalt.

2. **FDINVBA** (Inventur-Baumart)

Tabelle mit zusammengefassten Werten für jede Baumart gleichen Alters und gleicher Bestandesschicht mit Angaben über Baumart, Baumartenanteil, Alter, Bestandesschicht, Mittelhöhe, Bonität, Mitteldurchmesser sowie die berechneten Hektarwerte für Stammzahl, Grundfläche, Vorrat, Zuwachs und Bestockungsgrad.

3. **FDINVBHD** (Inventur-BHD-Stufe)

Tabelle mit den Einzelbaumergebnissen, wie den Polarkoordinaten, den Brusthöhen-durchmessern (BHD), die gemessenen oder die aus der Bestandeshöhenkurve entnommenen Höhen, die auf Hektar umgerechneten Werte Stammzahl, Grundfläche und Vorrat und die errechneten Jahreszuwächse für BHD, Höhe, Grundfläche und Vorrat.

Eine genaue Beschreibung der in den Dateien enthaltenen Variablen findet sich bei POTT (1997).

### Verknüpfung der Dateien

Durch Schlüsselbegriffe, die jeden Inventurpunkt eindeutig identifizieren, können die Informationen der verschiedenen Tabellen für jeden Inventurkreis und jeden in ihm gemessenen Baum zusammengeführt werden (Abb. 4.1-2).

Als Schlüsselvariablen fungieren:

FE\_PERIOD: Forsteinrichtungsperiode  
KOORD: Koordinatennummer des Inventurkreises  
BESTKEY: Bestandesschlüssel des Inventurkreises  
POL\_WINK: Polarkoordinate Winkel  
POL\_ENTF: Polarkoordinate Entfernung

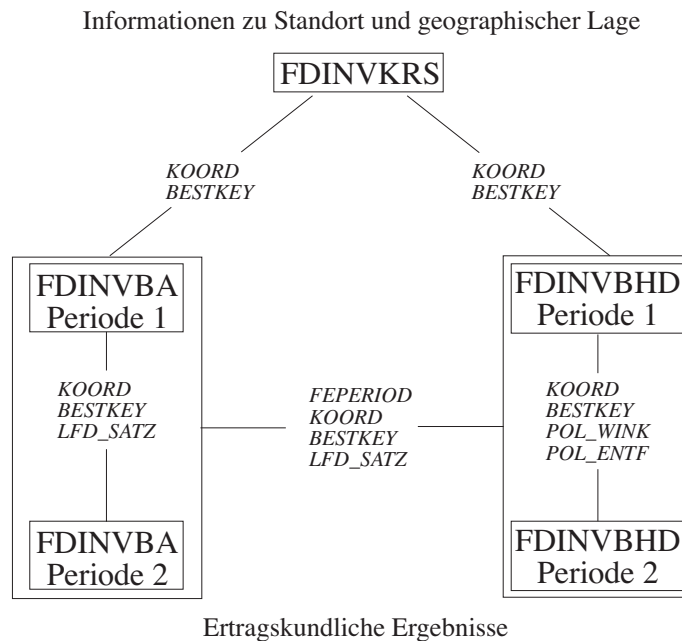


Abb. 4.1-2: Darstellung der verwendeten Dateien aus der Forsteinrichtungs-Datenbank und der zur Zusammenführung notwendigen Schlüsselvariablen (Erläuterung der Abkürzungen im Text).

### Plausibilitätsprüfungen

Nach der Zusammenführung aller notwendigen Informationen werden die Daten umfangreichen Plausibilitätsprüfungen unterzogen. Hierbei werden in erster Linie fehlende Angaben (wie z.B. Alter, ertragskundliche Kennwerte) gesucht und diese unvollständigen Datensätze aus der Datei entfernt. Weiterhin finden Inventurkreise mit negativen Einzelbaumzuwächsen (Durchmesser- und/oder Höhenzuwachs) für die weiteren Untersuchungen keine Berücksichtigung.

### Umfang des aufbereiteten Datenmaterials

Für die Auswertung der Daten aus der jüngsten Forsteinrichtungsperiode werden die Dateien FDINVKRS und FDINVBA verwendet. Das Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten hat vorab nur Inventurkreise mit dem Bestandestyp Kiefernbestand ausgewählt. Die nach der Zusammenführung entstandene Datei enthält insgesamt 46024 Datensätze. Über weitere Filter werden diejenigen Datensätze ausgesucht, die sich für eine Analyse des Kiefernwachstums eignen. Bei der Auswahl wird gefordert, dass es sich um die Baumart Kiefer handelt und ihr Anteil in der Oberschicht 95 % beträgt. Nach dieser Abfrage entsteht eine Datei mit 9641 Datensätzen, die sich auf 34 Wuchsbezirke verteilen. Die Daten müssen in einem nächsten Schritt weiter reduziert werden, da in einigen Wuchsbezirken bzw. Landschaftsgruppen nur eine geringe Anzahl von Inventurpunkten liegen. Um repräsentative Aussagen treffen zu können, beschränken sich die Auswertungen auf Landschaftsgruppen bzw. Wuchsbezirke, in denen mindestens 1 % der gesamten Inventurpunkte liegen, so dass letztendlich 9281 Datensätze verwendet werden können, die im Zeitraum von 1984 und 1999 aufgenommen wurden.

Aus der Wiederholungsinventur stehen zum Zeitpunkt der vorliegenden Untersuchung Daten aus 23 Forstämtern zur Verfügung (Tab. 4.1-1).

Tab. 4.1-1: Aufzählung der Forstämter mit durchgeführter Wiederholungsinventur.

<b>Forstamt</b>	<b>Forstdirektion</b>	<b>Forstamt</b>	<b>Forstdirektion</b>
Arnstein	Unterfranken	Aichach	Schwaben
Hammelburg	Unterfranken	Kempton	Schwaben
Steinach	Unterfranken	Weißenhorn	Schwaben
		Zusmarshausen	Schwaben
Hersbruck	Mittelfranken		
Treuchtlingen	Mittelfranken	Bodenmais	Niederbayern-Oberpfalz
		Flossenbürg	Niederbayern-Oberpfalz
Bayreuth	Oberfranken	Neureichenau	Niederbayern-Oberpfalz
Ebrach	Oberfranken	Roding	Niederbayern-Oberpfalz
Lichtenfels	Oberfranken	Sulzbach-Rosenberg	Niederbayern-Oberpfalz
Neustadt b. Coburg	Oberfranken	Tännesberg	Niederbayern-Oberpfalz
Ebersberg	Oberbayern	Klosterforstb. Scheyern	
Eichstätt	Oberbayern	NP Bayerischer Wald	
Landsberg a. Lech	Oberbayern	Stadtwald Traunstein	

Für die Untersuchung der Zuwächse werden die Dateien FDINVKRS und FDINVBHD verwendet. Nach der Auswahl der Inventurpunkte mit einem Kiefernanteil von 95 % in der Oberschicht bleiben nur etwa 1000 Inventurpunkte für die Auswertung übrig, da die Forstämter mit Wiederholungsinventur zum Großteil in Regionen mit nur einem geringen Kiefernorkommen liegen. Um der Tatsache gerecht zu werden, dass eine Aussage mit dieser geringen Datenmenge nicht repräsentativ ist, werden hier die Auswahlkriterien gelockert und Kiefernbestände ab einem Anteil von 70 % Kiefer in der Oberschicht herausgefiltert. Das Datenmaterial erhöht sich damit auf 2159 Datensätze. Da nur Regionen, in denen mindestens 100 Inventurpunkte liegen, ausgewertet werden, reduziert sich die Anzahl der Inventurpunkte auf 2048.

#### Neuberechnung der Volumenzuwächse

Bei der Ermittlung des Zuwachses der Einzelbäume müssen vier verschiedene Situationen berücksichtigt werden (BAYSTMELF, 1997):

1. Zuwachs wiederholt gemessener Bäume
2. Zuwachs der Einwuchsbäume
3. Zuwachs ausgeschiedener Bäume
4. Zuwachs der bei der Erstaufnahme vergessenen Bäume

In den Fällen 1 und 3 können die Werte aus der FDINVBHD-Datei übernommen werden. Die verwendeten Verfahren zur Zuwachsermittlung sind in der Datenbankbeschreibung des BAYSTMELF (1997) niedergelegt.

Bei den Einwuchsbäumen handelt es sich um Stämme, die bei der letzten Aufnahme nicht erfasst wurden, weil sie die in Abhängigkeit von der Probekreisgröße festgelegte Kluppschwelle noch nicht erreicht, diese während der zwischen den Inventuren liegenden Periode jedoch überschritten haben. Der Zuwachs errechnet sich aus der Differenz zwischen gemessenem Brusthöhendurchmesser und der jeweiligen Kluppschwelle des Probekreises. Der Zuwachs, den diese Bäume vor Erreichen der Kluppschwelle geleistet haben, bleibt dabei unberücksichtigt. Mit diesem Verfahren wird demzufolge die Wuchsleistung des Einwuchsbaumes unterschätzt. Um diesem Umstand gerecht zu werden, müssen die Zuwächse dieser Einwuchser nach der Methode von REIMEIER (2000) neu berechnet werden. Dies geschieht durch einen Ausgleich des Volumenzuwachses aller zweimal gemessenen Bäume in Abhängigkeit von ihrem Brusthöhendurchmesser und der Bonität mittels einer linearen Regression. Diese geschätzten Volumenzuwächse ersetzen die Volumenzuwächse der Einwuchser in der FDINVBHD-Datei. Durch Aufsummieren der Einzelbaumzuwächse wird der Bestandeszuwachs neu berechnet.

#### Umrechnung von Erntefestmeter in Vorratsfestmeter

Um die Ergebnisse aus der Stichprobeninventur mit den Auswertungen der langfristigen Versuchsflächen vergleichen zu können, müssen die in Erntefestmeter angegebenen Vorräte und Volumenzuwächse in Vorratsfestmeter umgerechnet werden. Hierzu wird der von der Bayerischen Staatsforstverwaltung für die Kiefer verwendete Reduktionsfaktor von 0.21 verwendet (BAYSTMELF, 1997).

## **4.2 Langfristig beobachtete Versuchsflächen**

Im Gegensatz zu den Daten aus der permanenten Stichprobeninventur besteht mit der Auswertung der Aufnahmen aus den langfristig beobachteten Versuchsflächen die Möglichkeit, die Entwicklungsgänge der Kiefer über längere Zeiträume zu untersuchen. Die Flächen werden im Auftrag der Bayerischen Staatsforstverwaltung im Rahmen des Ertragskundlichen Versuchswesens in Bayern vom Lehrstuhl für Waldwachstumskunde, TU München, betreut und stehen teilweise seit Beginn des 20. Jahrhunderts unter Beobachtung (Tab. 4.2-1). Insgesamt werden 22 Versuchsflächen mit insgesamt 145 Parzellen (davon 70 ungedüngt) in die Untersuchung einbezogen.

Tab. 4.2-1: Übersicht über die in die Untersuchung einbezogenen Versuchsflächen (Vfl), die Versuchsart (V-Art) mit Düngungs- (DÜ) und Durchforstungsversuchen (DF), der Anzahl Parzellen gesamt (ges.) und ohne Düngung (o.Dg), Forstamt, Anzahl der Aufnahmen und Beobachtungszeitraum (Frühjahr(F) und Herbst (H)), Alter bei der Erst- und Letzaufnahme sowie Wuchsbezirk (WB) bzw. Teilwuchsbezirk (TWB).

Vfl	V-Art	Parzellen		Forstamt	Aufnahmen			Alter (Jahre)		WB /TWB
		ges.	o.Dg		Anzahl	von	bis	von	bis	
<b>Durchforstungs- und Standraumversuche</b>										
SLU 49	DF	1	1	Burgebrach	13	1900F	1991H	23	115	5.5
SLU 50	DF	3	3	Burgebrach	13	1900F	1991H	26	118	5.5
BAY 51	DF	1	1	Bayreuth	13	1900F	1996F	56	152	6.4
BAY 52	DF	2	2	Bayreuth	13	1900F	1996F	35	131	6.4
KUL 53	DF	2	2	Stadtsteinach	13	1900F	1995H	39	135	7.2
SNA 56	DF	1	1	Schnaittenbach	12	1901H	1983F	42	123	9.1
SNA 57	DF	1	1	Schnaittenbach	13	1901H	1996F	44	138	9.1
SNA 58	DF	1	2	Schnaittenbach	13	1901H	1996F	35	129	9.1
FLA 79	DF	2	2	Heilsbronn	11	1912H	1998H	26	112	5.3
WEI 611	DF	24	24	Weiden	4	1982H	1997H	12	27	9.1
<b>Düngungsversuche</b>										
PEG 226	DÜ	6	2	Pegnitz	8	1960F	1996H	42	79	6.1/1
WAS 228	DÜ	6	2	Waldsassen	8	1960F	2000F	52	92	10.2/1
BOD 229	DÜ	13	3	Bodenwöhr	8	1962F	2000F	36	74	9.1
BOD 230	DÜ	6	3	Bodenwöhr	7	1963F	1995H	45	78	9.1
NES 231	DÜ	6	2	Bad Neustadt/S.	8	1962F	1997F	56	91	3.1/2
WAS 234	DÜ	12	3	Waldsassen	9	1963H	2000F	86	122	10.2/1
BUL 235	DÜ	12	3	Burglengenfeld	8	1964F	1998H	81	116	6.5
WAS 238	DÜ	6	2	Waldsassen	7	1968F	2000F	60	92	10.2/1
BOD 239	DÜ	15	3	Bodenwöhr	6	1968F	1996H	79	108	9.1
BUL 240	DÜ	6	2	Burglengenfeld	7	1966F	1999H	59	93	6.5
PRE 241	DÜ	9	3	Pressath	6	1969H	1995H	67	93	9.1
HED 243	DÜ	9	3	Heideck	6	1971H	1996H	72	97	5.6.1
<b>Gesamt</b>	<b>22</b>	<b>145</b>	<b>70</b>		<b>210</b>	<b>1900</b>	<b>2000</b>	<b>12</b>	<b>152</b>	

### Versuchsarten

Die hier untersuchten Versuchsflächen können zwei unterschiedlichen Versuchsarten zugeordnet werden. Bei 12 der Versuchsflächen handelt es sich um Düngungsversuche, die zwischen 1953 und 1971 mit dem Versuchsziel angelegt wurden, welche Düngegaben die Regeneration degradierter Böden beschleunigen und zu einer Zuwachssteigerung der Bestände führen. Zur Kontrolle werden sogenannte Null-Parzellen ohne Melioration angelegt. Die anderen 10 Flächen sind Standraum- und Durchforstungsversuche mit dem Ziel, die Reaktionen der Kiefer auf unterschiedliche Durchforstungsvarianten zu untersuchen.

### Aufnahmen

Bei jeder Versuchsfläche werden in regelmäßigen Abständen (alle 5 Jahre, ab der Hälfte der Umtriebszeit alle 7 Jahre) die Brusthöhdurchmesser in Form einer Vollaufnahme, die Höhen und auch die Kronenansatzhöhen in Form einer Stichprobenaufnahme mit mindestens 30 Bäumen pro Parzelle gemessen. Zusätzlich wird die soziale Stellung der Bäume registriert und ab Mitte der 80er Jahre auch eine Schadstufenansprache aller Bäume durchgeführt.

### Plausibilitätsprüfungen

Insbesondere bei den Standraum- und Durchforstungsversuchen handelt es sich um Versuchsflächen, die seit sehr langer Zeit unter Beobachtung stehen, teilweise aber noch nicht ausgewertet wurden. FOERSTER (1990) hat im Rahmen seiner Arbeit die Düngungsversuche detailliert ausgewertet. Neue Wiederholungsaufnahmen auf diesen Versuchsflächen erfordern jedoch auch hier eine Überprüfung des Datenmaterials. Mit Hilfe eines in FOXPRO entwickelten Programmes werden die gemessenen Brusthöhendurchmesser und Höhen der Einzelbäume auf ihre Plausibilität, insbesondere auf zu hohe oder negative Zuwächse zwischen zwei Aufnahmen geprüft. Eine Rekonstruktion offensichtlich falscher Werte ist dabei nicht immer möglich, was unterschiedliche Verfahren zur Bestimmung eines realistischen Wertes zur Anwendung kommen lässt (SEKTION ERTRAGSKUNDE, 1993).

Bei den Brusthöhendurchmessern kann die bestehende lineare Beziehung zwischen Anfangsdurchmesser und Durchmesserzuwachs der folgenden Periode genutzt werden, um den entsprechenden Wert zu schätzen. Unplausible, insbesondere negative Höhenzuwächse werden bei Konstruktion der Bestandeshöhenkurve nicht berücksichtigt, wenn sie nur vereinzelt auftreten. Bei einigen Versuchsflächen finden sich jedoch auch negative Zuwächse bei fast jedem Höhenmessbaum. In diesem Fall muss die gesamte Aufnahme korrigiert werden.

### Konstruktion der Bestandeshöhenkurven

Die Konstruktion der Bestandeshöhenkurven erfolgt mit dem Standardprogramm WWHOEHE des Lehrstuhles für Waldwachstumskunde, das zwischen 1969 und 1972 entwickelt wurde und seitdem immer wieder aktualisiert wird. Mit diesem Programm werden aus den Stichprobenmessungen aufnahmezeitpunkt- bzw. altersspezifische Bestandeshöhenkurven berechnet. Hierfür stehen verschiedene Ausgleichsfunktionen zur Auswahl. Bei der Auswertung der Kiefernversuchsflächen zeigt die Petterson-Funktion mit einem Exponent von 3.0 in den meisten Fällen den besten rechnerischen Ausgleich (Gleichung 4.2-1).

$$h = 1.3 + \left( \frac{BHD}{a + b \cdot BHD} \right)^3$$

Gleichung 4.2-1

wobei:

h = Höhe in m  
 BHD = Brusthöhendurchmesser ( cm)  
 a,b = Funktionsparameter

Um einen Vergleich zu ermöglichen wird an dieser Funktion auch dann festgehalten, wenn in Einzelfällen eine andere Funktion einen besseren Ausgleich erbringt. Treten bei einer Aufnahme im Vergleich zur vorhergehenden Aufnahme eine Vielzahl von negativen Höhenzuwächswerten

auf, ohne dass dies auf eine Ursache (z.B. flächiger Schneebruch) zurückgeführt werden kann, ist die alterstypische Verlagerung der Bestandeshöhenkurven nicht mehr plausibel darstellbar (Abb. 4.2-1, links). In diesem Fall wurden die Höhen dieser Aufnahme nicht übernommen, sondern eine Ersatzhöhenkurve konstruiert. Hierfür wird zwischen den Funktionswerten der vorherigen (1988H) und folgenden (2000F) Aufnahme interpoliert (Abb. 4.2-1, rechts) und auf der Basis dieser neuen Werte die Höhenkoeffizienten für diese Aufnahme (1993F) mit dem Höhenprogramm berechnet.

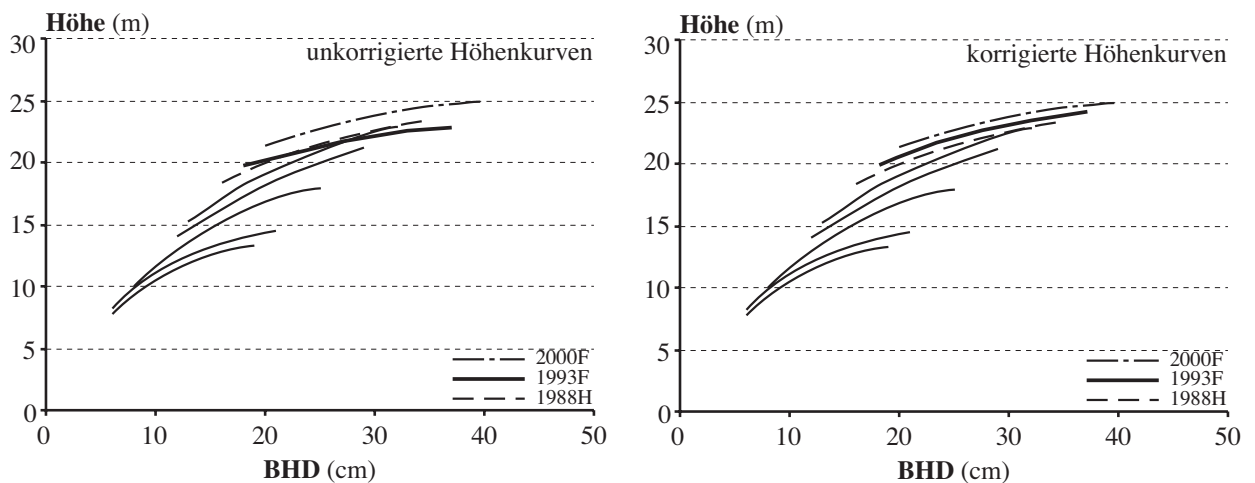


Abb. 4.2-1: Beispielhafte Darstellung der unkorrigierten (links) und korrigierten (rechts) Verlagerung der Bestandeshöhenkurven mit dem Alter für eine beispielhafte Versuchsflächenparzelle, Korrekturjahr 1993F.

### Berechnung der ertragskundlichen Bestandeskennwerte

Mit den Programmen WWVOLUM und WWUEBERS (Standardprogramme des Lehrstuhles für Waldwachstumskunde, TU München) werden alle wesentlichen ertragskundlichen Kennwerte und Zuwächse berechnet.

Der Schwerpunkt in den folgenden Untersuchungen liegt auf der Analyse der 70 ungedüngten Parzellen (Tab. 4.2-1).



### 4.3 Einzelbaumanalyse

Mit den Analysen von Stammscheiben und Bohrspänen steht ein großer Datenfundus zur Verfügung, der eine Untersuchung des Einzelbaumwachstums für den Zeitraum von 1847 bis 1998 ermöglicht. Zum Großteil wurde dieses Material im Rahmen anderer Projekte gewonnen und für die Fragestellung dieser Untersuchung neu aufbereitet. Hierzu zählen z.B. die umfangreichen Probeentnahmen aus dem Projekt FV 190-7 "Zuwachsverhalten und Gesundheitszustand der Waldbestände im Bereich des Braunkohlekraftwerkes Schwandorf" (FRANZ und PRETZSCH, 1988) und aus den Wachstumstrendanalyseflächen (Projekt W23; RÖHLE et al., 1989).

#### Aufbereitung und Zusammenführung der Daten

Von den Probebäumen sind entweder Bohrspanauswertungen oder Stammscheibenauswertungen in verschiedenen Baumhöhen vorhanden.

An den im Rahmen dieser Arbeit neu gewonnenen Stammscheiben werden mit dem Digitalpositionimeter von JOHANN die Jahrringbreiten in den vier Haupthimmelsrichtungen gemessen, anhand von Weiserjahren synchronisiert, auf Plausibilität geprüft und jedem Radialzuwachs der entsprechende Brusthöhendurchmesser, das Alter und das Kalenderjahr zugeordnet.

Damit stehen die Radialzuwächse von 3556 Bäumen in einheitlichem Format zur Verfügung. Da nur herrschende und vorherrschende Bäume untersucht werden, um den Konkurrenzeinfluss soweit wie möglich zu minimieren, werden Bäume mit einer KRAFT- Klasse  $> 2$  nicht berücksichtigt. Desweiteren sollen nur Bäume untersucht werden, die einen Nadelverlust von weniger als 30% aufweisen, um schadbedingte Zuwachsverminderungen ausschalten zu können. Diese letzte Bedingung bewirkt den Ausschluss relativ vieler Bäume für die Untersuchungseinheit Wuchsgebiet. Weiterhin werden nur Wuchsgebiete betrachtet, in denen eine genügende Anzahl von Bäumen für eine Analyse zur Verfügung stehen. Das Datenmaterial reduziert sich damit auf 1900 Bäume.

In der vorliegenden Arbeit werden in erster Linie die jährlichen Radialzuwächse in 1.30 m Höhe untersucht, was keine weitere Datenaufbereitung notwendig werden lässt.



Stammanalyse ausgewählter Probebäume

Um auch das Volumenzuwachsverhalten ausgewählter Einzelbäume näher betrachten zu können, werden auf drei Versuchsflächen Probebäume gewonnen und mit dem Stammanalyseprogramm (WWJAPAN) des Lehrstuhles für Waldwachstumskunde ausgewertet (Tab. 4.3-1). Mit Hilfe von Stammscheiben aus unterschiedlichen Baumhöhen kann mit diesem Programm die Entwicklung eines Einzelbaumes über seine gesamte Lebenszeit betrachtet werden. Neben der Analyse der Jahrringbreiten in verschiedenen Baumhöhen gehört hierzu die Höhenentwicklung, die durch die bekannten Entnahmehöhen der Stammscheiben rekonstruiert wird, und die Entwicklung der Formzahl, so dass schließlich die Zuwachsentwicklung des Einzelbaumes vorliegt.

Tab. 4.3-1: Vorstellung der für die Stammanalyse verwendeten Probebäume mit Versuchsfläche, Parzelle (PZ), Baum-Nummer (Nr.), Anzahl der entnommenen Stammscheiben, Alter bei der Entnahme, KRAFT-Klasse und Wuchsbezirk (WB).

Versuchsfläche	PZ	Nr.	Scheiben- anzahl	Alter (Jahre)	KRAFT- Klasse	WB /TWB
Bayreuth 52	2	140	10	121	2	6.4
	3	118	10	122	2	6.4
	3	147	10	114	2	6.4
Waldsassen 234	9	72	8	109	2	10.2/1
	9	127	8	113	2	10.2/1
Waldsassen 238	3	16	8	88	1	10.2/1
	3	38	8	90	1	10.2/1

## **5 Methodische Grundlagen**

In den folgenden Abschnitten werden die methodischen Grundlagen zur Analyse des Datenmaterials vorgestellt. Für die Beschreibung der regionaltypischen Wachstumsbefunde wird neben der grafischen Darstellung und der Bildung von Mittelwerten eine Wachstums- bzw. Zuwachsfunktion verwendet, die gesetzmäßige Wuchsverläufe in Abhängigkeit vom Alter, Standort und Bestandesdichte beschreiben kann. Der Aufbau dieser Funktion wird in Abschnitt 5.1 vorgestellt. Im folgenden Abschnitt 5.2 werden die in dieser Arbeit verwendeten Methoden zur Erfassung von Wachstums- bzw. Zuwachstrends, also langfristig eingetretenen Wuchsveränderungen beschrieben und in Abschnitt 5.3 schließlich die mit dem Waldwachstumssimulator SILVA 2.2 durchgeführten Prognose- und Szenariorechnungen zur Untersuchung des Kiefernwachstums unter heutigen und veränderten Umweltbedingungen methodisch erläutert.

### **5.1 Beschreibung des Wachstums mit Hilfe von Wachstumsfunktionen**

Bei der Verwendung von Wachstumsfunktionen werden die Wachstumsprozesse auf einfachere und überschaubare Strukturen reduziert und damit eine Quantifizierung des Wachstums und des Zuwachses erleichtert (WENK et al., 1990). In dieser Arbeit werden insbesondere Höhenwachstums- und Zuwachsverläufe mit einer geeigneten Funktion beschrieben, um die Unterschiede der Wachstumsbefunde in den unterschiedlichen Regionen herausarbeiten zu können. Durch eine Modifizierung bzw. Erweiterung der gewählten Funktion ist es zudem möglich, standörtliche Unterschiede zu quantifizieren und behandlungsbedingte Effekte weitgehend auszuschalten.

#### **5.1.1 Aufbau und Auswahl einer geeigneten Funktion**

Ungehemmte wie gleichmäßig gehemmte Wachstumsabläufe folgen einem natürlichen Wuchsrhythmus, der sich in gesetzmäßiger Abhängigkeit vom Alter vollzieht (ASSMANN, 1961). Die Höhenentwicklung von Einzelbäumen und Beständen steigt über dem Alter in der Jugend zunächst steil an, flacht mit zunehmendem Alter ab und nähert sich langsam einem maximal erreichbaren Wert. Der sich daraus ergebende Zuwachsverlauf kann in drei Phasen gegliedert werden. Einer Aufschwungphase, in der der laufende Zuwachs rasch auf ein hohes Niveau steigt, folgt die Vollkraftphase mit einem anhaltend hohem Zuwachs. Altersbedingt sinkt der Zuwachs in der Abschwungphase wieder ab (Abb. 5.1-1).

Um diese Gesetzmäßigkeiten mathematisch beschreiben zu können, sind eine Vielzahl von Wachstumsfunktionen entwickelt worden (ZEIDE, 1993; MESCHEDERU, 1999), welche die Größe eines Organismus oder einer Population in Abhängigkeit von der Zeit, also ihrem Alter, wiedergeben. Für geeignete Wachstumsfunktionen muss gelten, dass sie von der Zeit abhängig sind und zum Zeitpunkt 0 den Wert 0 annehmen. Zusätzlich soll die erste und zweite Ableitung dieser Funktion (Laufender Zuwachs und die Zuwachsänderung) zum Zeitpunkt 0 ebenfalls 0 betragen. Die Wachstumsfunktion darf nicht beliebig ansteigen, sondern muss sich asymptotisch einem Maximalwert nähern, damit sie biologisch plausibel bleibt. Abbildung 5.1-1 zeigt beispielhaft einen Höhenwachstumsverlauf und den daraus abgeleiteten Zuwachs.

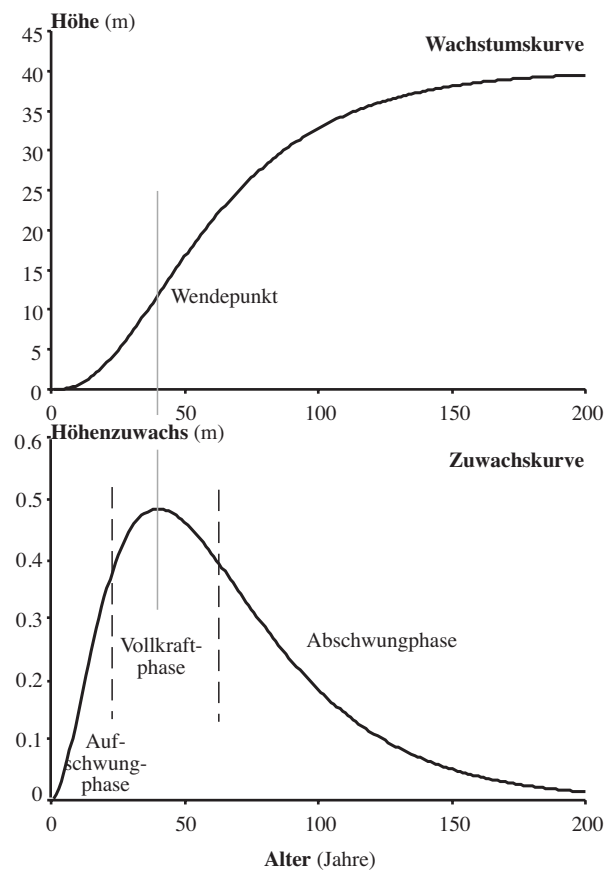


Abb. 5.1-1: Theoretische Darstellung des Verlaufs der Höhenentwicklung (Wachstumskurve) und des Zuwachses (Zuwachskurve) über dem Alter.

Die Wachstumskurve verläuft zunächst konvex und nimmt mit zunehmendem Alter eine konkave Form an. Der Verlauf der Zuwachskurve zeigt deutlich die oben genannten Phasen des Wachstums. Er kulminiert, wenn die Wachstumskurve ihren Wendepunkt erreicht hat.

Für die Beschreibung des Wachstums in dieser Arbeit wird von der Vielzahl an möglichen Funktionen die KORF-Funktion ausgewählt. Sie wurde 1939 in der Tschechoslowakei vorgestellt und danach verschiedene Male wieder aufgegriffen (ZEIDE, 1993; WENK et al., 1990). Sie gilt als sehr flexibel, ohne den Anspruch an die biologische Plausibilität zu verlieren. Aus diesem Grund wird die KORF-Funktion verwendet, um den Zusammenhang zwischen dem Bestandesalter und dem beobachteten Höhenwachstum bzw. Volumenzuwachs von Kiefernbeständen zu beschreiben.

Den Aufbau der KORF-Funktion (Wachstumsfunktion) und ihrer ersten Ableitung (Zuwachsfunktion) zeigen die Gleichungen 5.1-1 und 5.1-2.

$$W = a \cdot e^{-b \cdot t^{-c}} \quad \text{Gleichung 5.1-1}$$

$$z = a \cdot b \cdot c \cdot e^{-b \cdot t^{-c}} \cdot t^{-1-c} \quad \text{Gleichung 5.1-2}$$

wobei:

- W = Wachstumsgröße (z.B. Höhe, Durchmesser, Volumen, Biomasse)
- z = laufender Zuwachs (Änderung der Wachstumsgröße über der Zeit)
- t = Alter (Jahre)
- e = Euler'sche Konstante
- a, b, c = Funktionsparameter

### 5.1.2 Modifizierung der KORF-Funktion

Das Wachstum von Bäumen ist jedoch nicht nur vom Alter abhängig. Eine Vielzahl von Faktoren nehmen Einfluss auf den oben beschriebenen gesetzmäßigen Verlauf. Neben den standörtlichen Verhältnissen, die sich über längere Zeiträume durchaus ändern können, sind forstliche Eingriffe hier von Bedeutung. So modifizieren Durchforstungen die Dichte von Beständen und damit den zur Verfügung stehenden Wuchsraum der einzelnen Bäume und induzieren dort entsprechende Wachstumsreaktionen, die ihrerseits wieder auf die Dynamik des Bestandes zurückwirken. Da zu erwarten ist, dass die Bestandeszuwächse von beiden Faktoren maßgeblich beeinflusst werden, muss die KORF-Funktion bzw. ihre Ableitung entsprechend erweitert werden.

#### Einflussfaktor Dichte

Insbesondere der Durchmesser- und Grundflächenzuwachs und daraus folgend der Volumenzuwachs ist stark von der Dichte des Bestandes abhängig, der z.B. durch Bestockungsgrade oder Grundflächenhaltungen ausgedrückt werden kann. Nach ASSMANN (1961) ist eine Erhöhung des Volumenertrages über Durchforstungen bei der Kiefer nur in

Ausnahmefällen bei sehr jungen Beständen zu erreichen. WIEDEMANN (1948) führt in seiner Arbeit über die Kiefer an, dass jeder über die mäßige Durchforstung hinausgehende Eingriff eine Minderung des Kreisflächenzuwachses zur Folge hat, während eine übermäßige Bestandesdichte den Zuwachs nicht absenkt.

Der Zusammenhang zwischen Dichte und Volumenzuwachs bei sonst unveränderten Bedingungen kann mit Hilfe einer Potenzfunktion beschrieben werden (Gleichung 5.1-3).

$$z_v = d_0 \cdot Dichte^{d_1} \quad \text{Gleichung 5.1-3}$$

wobei:

$z_v$  = laufender Volumenzuwachs (VfmD/ha/a)  
 Dichte = Bestockungsgrad, bzw. mittlere Grundflächenhaltung  
 $d_0, d_1$  = Funktionsparameter

Mit dieser Funktion nimmt der Volumenzuwachs mit der Dichte mehr oder weniger stark zu. Nimmt der Funktionsparameter  $d_1$  positive Werte unter 1 an, steigt der Volumenzuwachs mit zunehmender Dichte unterproportional an. Liegen die Werte jedoch über 1, nimmt mit zunehmender Dichte der Volumenzuwachs überproportional zu. Hat  $d_1$  den Wert 1, wird ein linearer Zusammenhang abgebildet. Vor dem Hintergrund der biologischen Plausibilität ist die Eigenschaft der Funktion wichtig, bei einer Dichte von 0 auch keinen Zuwachs zu ermöglichen. Der Einfluss der Dichte auf den Volumenzuwachs sollte bei Werten von  $0 < d_1 < 1$  in ausreichender und biologisch plausibler Form dargestellt werden können, da in diesem Fall mit jeder zusätzlichen Dichteinheit der Zuwachs in immer geringerem Maße ansteigt. Ein Nachteil der Potenzfunktion ist jedoch, dass ein Absinken des Volumenzuwachses bei sehr großer Dichte nicht beschrieben werden kann.

Um den Einfluss der Dichte eines Bestandes auf das Wachstum bei der Beschreibung des Volumenzuwachses berücksichtigen zu können, wird die oben beschriebene Ableitung der KORF-Funktion mit der Potenzfunktion erweitert. Durch eine rein multiplikative Verknüpfung kann das gesamte Niveau der ursprünglichen Zuwachskurve abhängig von der Dichte verschoben werden (Gleichungen 5.1-4 bis 5.1-6).

$$z_v = a \cdot b \cdot c \cdot e^{-b \cdot t^{-c}} \cdot t^{-1-c} \cdot d_0 \cdot Dichte^{d_1} \quad \text{Gleichung 5.1-4}$$

diese Gleichung entspricht:

$$z_v = a \cdot d_0 \cdot b \cdot c \cdot e^{-b \cdot t^{-c}} \cdot t^{-1-c} \cdot Dichte^{d_1}; \quad a_0 = d_0 \cdot a \quad \text{Gleichung 5.1-5}$$

$$z_v = a_0 \cdot b \cdot c \cdot e^{-b \cdot t^{-c}} \cdot t^{-1-c} \cdot Dichte^{d_1} \quad \text{Gleichung 5.1-6}$$

wobei:

$z_v$	=	laufender Volumenzuwachs (VfmD/ha/a)
$t$	=	Alter (Jahre)
Dichte	=	Bestockungsgrad bzw. mittlere Grundflächenhaltung
$e$	=	Euler'sche Konstante
$a, a_0, b, c, d_0, d_1$	=	Funktionsparameter

### Einflussfaktor Standort

Mit der wichtigste, den Verlauf des alterstypischen Zuwachsganges beeinflussende Faktor ist der Standort, der das mögliche Leistungsniveau eines Baumes bzw. Bestandes bestimmt (ASSMANN, 1961).

Um das Wachstum der Kiefer auf unterschiedlichen Standorten beschreiben zu können, wird die oben beschriebene modifizierte KORF-Funktion nochmals erweitert. Aus methodisch-funktionellen Gründen wird es notwendig, die bei allen Datenquellen auftretende Vielzahl von Standortseinheiten zu drei Standortseinheitengruppen zusammenzufassen ("ungünstiger", "mittlerer" und "besserer" Standort). Die Beschreibung der in den drei Standortgruppen enthaltenen Standortseinheiten findet sich in der Ergebnisdarstellung (Abschnitt 8.2.2). Eine derartige Gruppierung der Standortseigenschaften kann über Dummy-Variablen, welche die Einbringung von nominalskalierten Variablen in eine Regressionsgleichung ermöglichen, codiert werden (BORTZ, 1993). Eine Dummy-Variable kann lediglich die Werte 0 oder 1 annehmen. Jede Standortgruppe wird mit einer eigenen Dummy-Variablen belegt. Die Dummy-Variable diejenige Standortgruppe, der ein konkreter Bestand angehört, nimmt den Wert 1 an, die beiden anderen Dummy-Variablen werden jeweils auf 0 gesetzt. Wird die Gleichung 5.1-6 mit den Dummy-Variablen erweitert, ergibt sich die Gleichung 5.1-7:

$$z_v = (a_1 \cdot stoe_1 + a_2 \cdot stoe_2 + a_3 \cdot stoe_3) \cdot b \cdot c \cdot e^{-b \cdot t^{-c}} \cdot t^{-1-c} \cdot Dichte^{d_1} \quad \text{Gleichung 5.1-7}$$

wobei:

$z_v$	=	laufender Volumenzuwachs (VfmD/ha/a)
$t$	=	Alter (Jahre)
Dichte	=	Bestockungsgrad bzw. die mittlere Grundflächenhaltung eines Bestandes
$stoe_1$	=	Dummy Variable: Wert 1 bei Zugehörigkeit zu Standortgruppe 1 ("schlechter" Standort), sonst 0.
$stoe_2$	=	Dummy Variable: Wert 1 bei Zugehörigkeit zu Standortgruppe 1 ("mittlerer" Standort), sonst 0.
$stoe_3$	=	Dummy Variable: Wert 1 bei Zugehörigkeit zu Standortgruppe 1 ("guter" Standort), sonst 0.
$e$	=	Euler'sche Konstante
$a_1, a_2, a_3, b, c, d_1$	=	Funktionsparameter

Eine Dummy-Variable wird auch als “Niveauverschiebungsvariable” bezeichnet (BROSIUS, 1995). Je nach Standort erfolgt also eine Verlagerung der Kurve auf ein höheres bzw. niedrigeres Niveau.

Mit Hilfe dieser modifizierten Zuwachsfunktion nach KORF kann das Zuwachsverhalten von Kiefernbeständen unter Berücksichtigung der Einflussfaktoren Alter, Standort und Bestandesdichte hinreichend genau beschrieben und Unterschiede aufgedeckt werden.

## 5.2 Methoden zur Identifizierung von Wachstumstrends

Zur Identifizierung und Quantifizierung von Wachstumstrends bzw. langfristigen Wachstumsveränderungen sind in unterschiedlichsten Untersuchungen eine Vielfalt von Methoden entwickelt worden (Tab. 5.2-1). Alle vergleichen dabei das beobachtete Wuchsverhalten mit einem “Referenzwachstum”. Die mutmaßlich veränderten Entwicklungsverläufe von Einzelbäumen oder Beständen werden mit einem “normalen” Entwicklungsgang verglichen, der unter ungestörten Verhältnissen zu erwarten gewesen wäre (PRETZSCH, 2001). Dieser Vergleich erlaubt die Datierung und Quantifizierung der Wachstumsreaktionen und kann Indizien für die Störungsursache liefern.

Welches dieser Verfahren zur Analyse der Entwicklungsgänge angewendet wird, hängt neben der jeweiligen Fragestellung von der zur Verfügung stehenden Datenbasis ab (z.B. Inventuren, langfristige Versuchsflächen und Bohrspan- oder Stammanalysen). Für eine intensive Analyse des Datenmaterials empfiehlt es sich, mehrere Methoden anzuwenden, um deren spezifische Stärken auszuschöpfen. Hierdurch lassen sich vermutete Störungsursachen besser differenzieren, Zuwachsreaktionen in ihrer räumlichen und zeitlichen Skala genauer eingrenzen und etwaige Zuwachsanstiege oder -einbußen in ihrer relativen und absoluten Höhe besser absichern (PRETZSCH, 2001). In dieser Untersuchung werden drei Methoden aus der ersten und der dritten Verfahrensgruppe zur Analyse des Kiefernwachstums herangezogen. Zur Identifikation von Wachstumsänderungen, die aufgrund groß- oder kleinregionaler Störeinflüsse entstehen, müssen wachstumsbestimmende Faktoren, welche die Wuchsdynamik eines Einzelbaumes oder Bestandes beeinflussen, soweit wie möglich berücksichtigt werden. Hierzu gehören der altersabhängige Wachstumsrhythmus, der Standort und die Reaktionen auf Durchforstungen bzw. zufällige Ereignisse. Im folgenden werden die für die Kiefer angewendeten Verfahren vorgestellt.

Tab. 5.2-1: Übersicht über die Methoden zur Diagnose von Wachstumstrends (verändert nach PRETZSCH und UTSCHIG, 2000; PRETZSCH, 2001)

Methoden	Datenbasis	Referenz	Anwendungsfelder
<b>1. Vergleich gegebener Zeitreihen mit Modellen</b>			
Ertragstafelvergleich	lokal bis großregional erhobene Einzelbaum-Bestandesdaten	Wuchsmodelle	Überprüfung von Planungsgrundlagen Trendanalyse
Szenarienvergleich			
Synthetische Referenzkurven	Stammanalysen	Pflegeprogramme	Trendanalyse
<b>2. Vergleich der Entwicklung ungestörter und gestörter Bäume und Bestände</b>			
Zuwachstrendverfahren	lokal bis großregional gesammelte Zuwachszeitreihen aus Bohrkernen, Stammanalysen, Wiederholungsaufnahme	Zuwachszeitreihen ungeschädigter Einzelbäume, Baumkollektive, Bestände	Datierung und Quantifizierung von Zuwachsschäden Wirkungsforschung, Beweissicherungsverfahren
Pärchenvergleich			
Nullflächenvergleich			
Regressionsanalytische Zuwachsdiaagnose	Wiederholungsaufnahme	Regressionsmodell	
<b>3. Wuchsverhalten in anderen Kalenderzeiträumen als Referenz</b>			
Vorperiodenvergleich	Bohrkerne, Stammanalysen, Bestandesdaten	Zuwachs in der Vorperiode	Trend- und Sensitivitätsanalyse
Diagnose abrupter Zuwachseignisse	Bohrkerne, Stammanalysen		
Methode des konstanten Alters	Zuwachsgänge für ein breites Artenspektrum	historische Einzelbaumzuwächse	Bioindikation, Trendanalyse
Generationenvergleich	Dauerversuchsflächen	historische Bestandeszuwächse	
Folgeinventuren	großregionale Wiederholungsaufnahme	Zuwachsniveau zurückliegender Inventuren	
<b>4. Dendroökologische Zeitreihenanalyse</b>			
Dendroökologische Zeitreihenanalyse	Bohrkerne, Stammscheiben, Klimareihen	Response-Funktion	Wirkungsforschung, Beweissicherungsverfahren

### 5.2.1 Ertragstafelvergleich

Schon Ende des 18. Jahrhunderts wurde damit begonnen, Gesetzmäßigkeiten des Baumwachstums zu untersuchen und in Tafelwerken zusammenzufassen, um den Ertrag der Waldbestände einschätzen und die Hiebsmaßnahmen planen zu können (z.B. PAULSEN, 1795, in PRETZSCH, 1992).

Für die Kiefer wurden in den letzten 90 Jahren eine Vielzahl von Tafelwerken entwickelt, wobei ältere Tafelwerke in erster Linie aus dem nord- und ostdeutschen Raum stammen. Hierzu gehören beispielsweise die Ertragstafeln von WEISE (1880), SCHWAPPACH (1889, 1908), GEHRHARDT (1921) und WIEDEMANN (1943, 1948). Um dem Umstand Rechnung zu tragen, dass die Kiefer in verschiedenen Regionen ein unterschiedliches Wuchspotential besitzt, wurden entsprechende regionale Ertragstafeln entwickelt (z.B. ERTELD, 1954 und 1960). In einer neueren Ertragstafel sind Ertragsniveaus für den ostdeutschen Raum eingeführt worden



(LEMBCKE et al., 1981). Im bayerischen Raum liefert vor allem die Standorts-Ertragstafel von SCHMIDT (1971) Aussagen über das Wachstum der Kiefer auf wichtigen Standorten der Oberpfalz.

Ein Vergleich des beobachteten Wachstums mit einem Ertragstafelmodell ermöglicht praxisrelevante Aussagen über die Gültigkeit der Ertragstafel als forstwirtschaftliches Planungsinstrument. Die Ertragstafelangaben haben für einen einzelnen Bestand nur beschränkte Aussagekraft, da sie mittlere Bestandesentwicklungen wiedergeben (PRETZSCH, 2001). Für eine größere Zahl von Beständen, wie sie hier vorliegen, können jedoch Rückschlüsse über längerfristige Zuwachsänderungen gezogen werden. Wichtige Voraussetzung für diesen Vergleich ist, dass die Ertragstafel so gewählt wird, dass sie den ungestörten standortsspezifischen Wachstumsverlauf zutreffend widerspiegelt oder die Abweichungen zwischen Wachstumsgang und Ertragstafel bekannt sind. Bei stärkeren behandlungsbedingten Unterschieden in der Bestockungsdichte zwischen Ertragstafel und beobachteten Werten sind die Tafelwerte vor ihrer Anwendung als Referenz mit dem ertragstafelbezogenen Bestockungsgrad zu adjustieren. Sind standortsspezifische Abweichungen und behandlungsbedingte Effekte durch die Wahl der passenden Tafel oder Transformation ihrer Ausgabegrößen auf den spezifischen Anwendungsfall ausgeklammert und stützt sich der Vergleich auf eine größere Zahl von Probenahmen, so lässt der Ertragstafelvergleich Aussagen über längerfristige Zuwachsänderungen zu (PRETZSCH, 2001). Da die in den Ertragstafeln erfassten Werte eine Momentaufnahme des Wachstums unter den damals herrschenden Wuchsbedingungen widerspiegeln, lässt sich prüfen, ob das absolute Niveau und der Altersgang des heutigen Zuwachses mit den empirischen Befunden in einer zurückliegenden Phase der Modellkonstruktion übereinstimmen oder ob und wann Trendänderungen des Wachstums auftreten. Der Vergleich erlaubt jedoch keine Rückschlüsse auf die Ursachen für eventuelle Abweichungen zwischen wirklichem und erwartetem Entwicklungsgang von Bäumen oder Beständen (PRETZSCH, 1999; RÖHLE, 1997).

Weicht der Wachstumsverlauf im Vergleich zu den erwarteten Werten der entsprechenden Ertragstafel in größerem Ausmaß ab, dann werden die Tafeln für die Steuerung des Waldwachstums oder die Hiebsatzplanung mehr oder weniger unbrauchbar. Deshalb ist die Diagnose solcher Abweichungen von grundsätzlicher Bedeutung für die Forstwirtschaft.

#### Vergleich verschiedener Ertragstafelwerke

Die Abbildungen 5.2-1 bis 5.2-3 zeigen den Vergleich von drei Ertragstafelwerken für die Kennwerte Mittelhöhe, Grundfläche und laufender Volumenzuwachs. Ausgewählt wird die WIEDEMANN-Ertragstafel (1948, mäßige Durchforstung), die in Bayern als Planungsgrundlage dient, und die Ertragstafel von GEHRHARDT (1921, mittelstarke

Durchforstung). Um die Unterschiede zwischen bayerischen und nord- bzw. ostdeutschen Verhältnissen zu verdeutlichen, werden zusätzlich zwei Standortgruppen der Standortsertragstafel für den oberpfälzer Raum (SCHMIDT, 1971) vorgestellt. Hierbei handelt es sich um einen besseren Standort (Lehm, L) und einen ungünstigeren Standort (Sand, S).

Der Verlauf der Mittelhöhenkurven zeigt, dass die Werte der GEHRHARDT'schen Ertragstafel insbesondere im höheren Alter sowohl bei der I. als auch bei der III. Ertragsklasse deutlich unter den Werten der WIEDEMANN-Ertragstafel liegen (Abb.5.2-1). Die Höhenkurve der Standortgruppe Lehm folgt hingegen den Erwartungswerten von WIEDEMANN, I. Ertragsklasse. Die Mittelhöhen der Standortgruppe Sand liegen noch unter den Werten von WIEDEMANN und GEHRHARDT, III. Ertragsklasse.

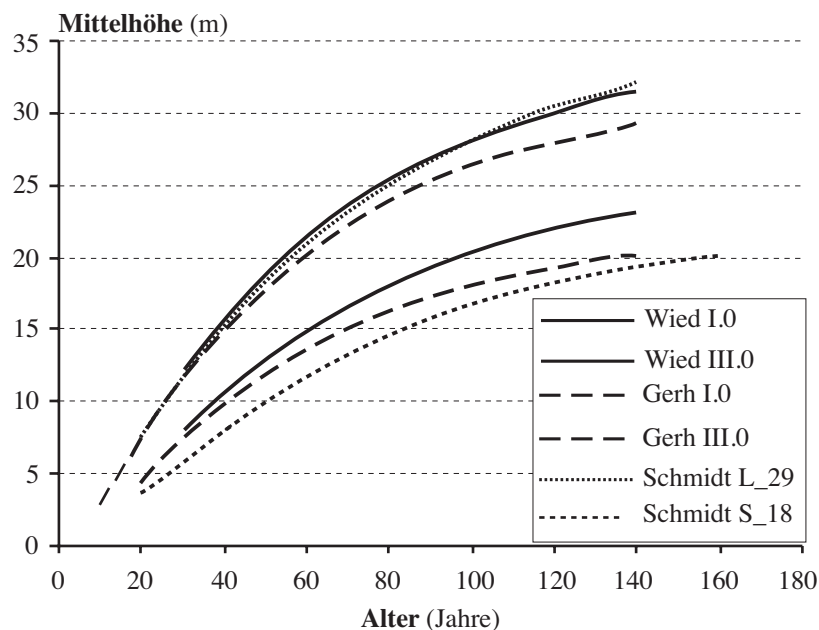


Abb. 5.2-1: Entwicklung der Mittelhöhe über dem Alter für die Kiefer nach den Ertragstafeln von WIEDEMANN (1948, mäßige Durchforstung), GEHRHARDT (1921, mittelstarke Durchforstung) und SCHMIDT (1971).

Bei der Grundflächenentwicklung stellen sich die Verhältnisse anders dar (Abb. 5.2-2). Die Werte der I. und III. Ertragsklasse der Ertragstafel von GEHRHARDT liegen deutlich über den Werten der entsprechenden Ertragstafel von WIEDEMANN. Im höheren Alter übersteigen die GEHRHARDT'schen Werte der III. Ertragsklasse sogar die Werte der I. Ertragsklasse von WIEDEMANN und zeigen zudem eine stetig zunehmende Grundfläche, während die Grundflächenkurven der WIEDEMANN-Ertragstafel im höheren Alter auffällig abnehmen. Bei der Konstruktion der Kiefern-Ertragstafel von SCHWAPPACH (1908), deren Grundflächenrahmen WIEDEMANN übernommen hat, werden die Grundflächen künstlich verkürzt (ASSMANN, 1961). Der Kurvenverlauf der Standortgruppe Lehm zeigt, dass die Erwartungswerte der Ertragstafel von GEHRHARDT die Grundflächen besser beschreiben.

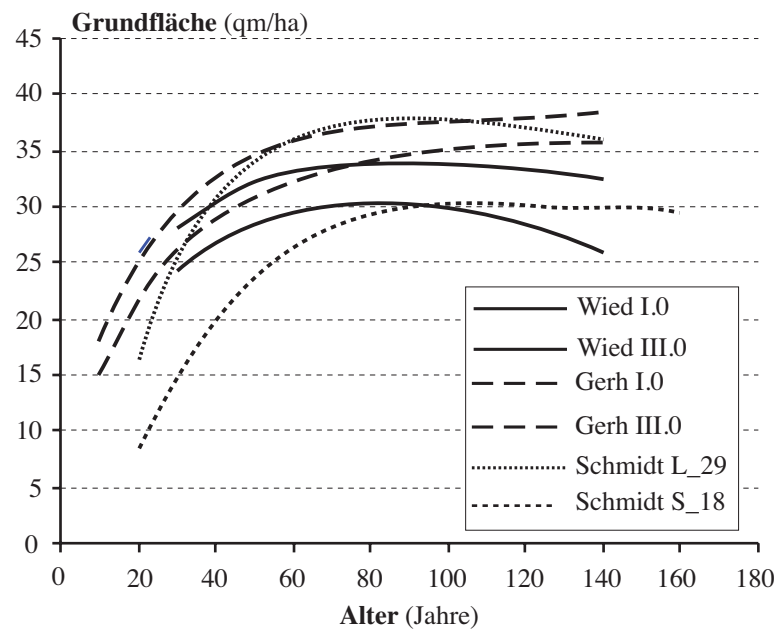


Abb. 5.2-2: Entwicklung der Grundfläche über dem Alter für die Kiefer nach den Ertragstafeln von WIEDEMANN (1948, mäßige Durchforstung), GEHRHARDT (1921, mittelstarke Durchforstung) und SCHMIDT (1971).

Die Entwicklung des laufenden Volumenzuwachses in Abbildung 5.2-3 zeigt ebenfalls deutliche Unterschiede zwischen den Ertragstafelwerken. Im jungen Alter ähneln sich die Werte der beiden alten Tabellenwerke. Die Zuwachskurven von WIEDEMANN besitzen jedoch einen weniger stark abfallenden Trend mit zunehmendem Alter.

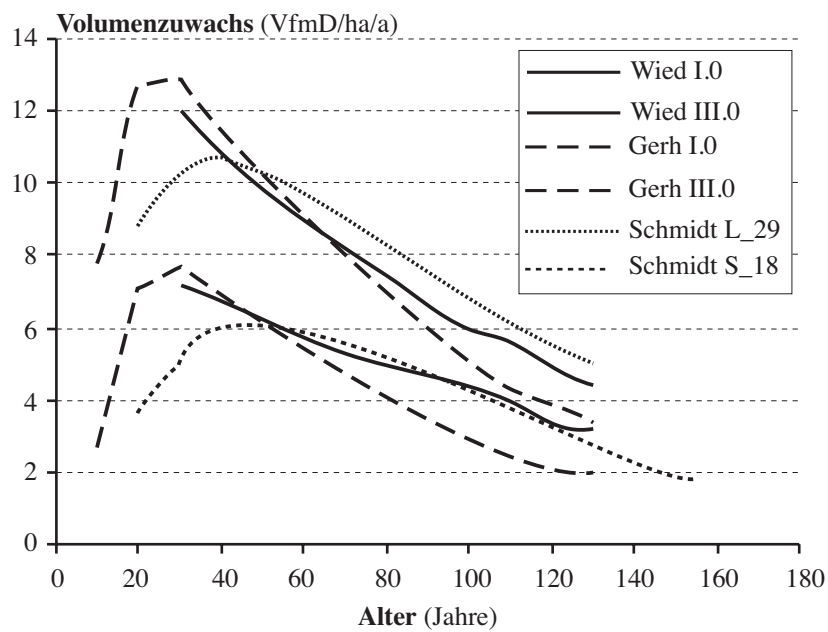


Abb. 5.2-3: Entwicklung des laufenden jährlichen Volumenzuwachses über dem Alter für die Kiefer nach den Ertragstafeln von WIEDEMANN (1948, mäßige Durchforstung), GEHRHARDT (1921, mittelstarke Durchforstung) und SCHMIDT (1971).

Im oberpfälzer Raum kulminiert der Zuwachs später und auf einem geringeren Niveau und weist einen wesentlich flacheren Verlauf der Zuwachskurve auf. Ab einem Alter von 60 Jahren liegen hier die Werte deutlich über der I. Ertragsklasse der nord- bzw. ostdeutschen Ertragstafeln. Die Werte der Standortsgruppe Sand stimmen ab einem Alter von 60 Jahren gut mit der WIEDEMANN-Ertragstafel überein. Dieser Vergleich von nord- bzw. ostdeutschen Ertragstafeln mit den Werten der Standorts-Ertragstafel von SCHMIDT zeigt, dass bei einzelnen Kennwerten die eine oder andere Ertragstafel den Wuchsverlauf bayerischer Kiefer gut wiedergibt, in der Zusammenschau das Wuchsverhalten bayerischer Kiefernbestände jedoch von den gebräuchlichen Ertragstafeln relativ stark abweichen kann.

#### Beschreibung der verwendeten Methodik

Trotz der erwähnten Problematik wird in dieser Arbeit für einen Ertragstafelvergleich die WIEDEMANN-Ertragstafel (1943, mäßige Durchforstung) gewählt. Dieses Tafelwerk ist bei der Einwertung von Beständen und der Hiebsplanung das gebräuchlichste Instrument in Bayern.

Dem Wachstum auf verschiedenen Standorten wird durch unterschiedliche Ertragsklassen begegnet, die aufgrund der Höhenentwicklungen gebildet werden. Da es sich bei der Höhe um einen Parameter handelt, der noch am ehesten von Durchforstungen unbeeinflusst bleibt, eignet sie sich besonders für die Beurteilung der Standortsgüte (ASSMANN, 1961). Für den Vergleich wird zunächst die erste berücksichtigte Aufnahme einer jeden Parzelle in 1/10 Stufen bonitiert (Ausgangsbonität) und jeder folgenden Aufnahme der Ertragstafelwert dieser Ausgangsbonität bei entsprechendem Alter zugeordnet. Ein weiterer zu berücksichtigender Effekt bei einem Vergleich mit einem statischen Ertragstafelmodell besteht in der Abweichung der waldbaulichen Behandlung von dem in der Ertragstafel vorausgesetzten Durchforstungsprogramm. Der jeweilige Erwartungswert der Ertragstafel kann mit dem Bestockungsgrad des beobachteten Bestandes reduziert werden. Hierbei wird davon ausgegangen, dass sich der verbleibende Vorrat mit abnehmender Dichte linear verringert. Beim laufenden Zuwachs werden die Werte mit Hilfe der für die einzelnen Bundesländer festgesetzten Zuwachsreduktionsfaktoren festgelegt (KRAMER und AKCA, 1987). Schließlich werden die tatsächlich beobachteten Werte einer jeden Aufnahme zu den korrigierten Ertragstafelwerten in Bezug gesetzt und die prozentuale Abweichung berechnet.

Um genauere Aussagen über das abweichende Wuchsverhalten treffen zu können bzw. die Abweichungen genauer zu quantifizieren, werden die Abweichungsprozente mit Hilfe eines linearen Regressionsmodells ausgeglichen.

### 5.2.2 Vergleich des Wachstums in den Zeiträumen bis 1960 und nach 1960

Ein weiterer methodischer Ansatz zur Identifikation von Wachstumstrends ist der Vergleich des Wachstums von zwei Zeitperioden. In einer Vielzahl von Untersuchungen (z.B. PRETZSCH, 1985; FRANZ und PRETZSCH, 1988; RÖHLE, 1995) wird festgestellt, dass sich sowohl bei der Fichte als auch bei der Kiefer seit den 60er bzw. 70er Jahren abweichende Wachstumsverläufe zeigen. Aufgrund dieser Ergebnisse kann darauf geschlossen werden, dass das Wachstum im Zeitraum vor 1960 noch weitgehend unbeeinflusst von großräumigen Störfaktoren verlief. Die Entwicklungsgänge in diesem Zeitraum bieten sich demnach als Referenzwachstum an, an dem das aktuelle Wachstum von Kiefernbeständen gemessen werden kann. Die langen Beobachtungszeiträume und die Vielzahl der langfristigen Versuchsflächen ermöglichen diese Vorgehensweise. Dieses Verfahren bietet den Vorteil, dass die Datenbasis aus demselben Gebiet stammt und sowohl Standortangaben als auch Durchforstungskonzepte bekannt sind. Wichtige Voraussetzungen für die Anwendbarkeit dieser Methodik sind eine gleichmäßige Altersverteilung und ähnliche Standorte in den beiden Zeiträumen, um die Ergebnisse nicht zu verfälschen. Auch die Dichte der Bestände muss sich in den beiden Zeiträumen entsprechen, um behandlungsbedingte Effekte ausschließen zu können. Zu berücksichtigen bleibt jedoch, dass die Resultate von der Wahl der Referenzperiode abhängig sind. Deckt sie beispielsweise eine zuwachsförderliche Klimaperiode ab, so würden eventuelle Zuwachsrückgänge erheblich überschätzt.

Für diese Untersuchung können die langen Beobachtungszeiträume auf den langfristigen Versuchsflächen genutzt werden. Der Vergleich der beiden Zeiträume erfolgt mit der unter Abschnitt 5.1 beschriebenen Funktion, die für jeden Zeitabschnitt parametrisiert wird. Mit dieser Verfahrensweise ist es möglich, absolute Zuwachswerte auf verschiedenen Standorten für die beiden Zeiträume zu berechnen.

### 5.2.3 Wachstum in unterschiedlichen Kalenderzeiträumen (Methode des konstanten Alters)

Nachdem für die Entwicklung von Bestandeskennwerten verschiedene Methoden zur Identifizierung eines veränderten Wuchsverhaltens angewendet werden, ist es von Interesse, wie sich demgegenüber das Wachstum von Einzelbäumen verhält. Unter Verwendung der Radialzuwächse wird dabei geprüft, ob und in welchem Ausmaß sich das alterstypische Wuchsverhalten innerhalb eines gegebenen Kalenderzeitraumes verändert hat. So kann untersucht werden, ob der Radialzuwachs 30-, 50- oder 70jähriger Kiefern in der ersten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts auf ähnlichem Niveau wie in der zweiten Hälfte lag oder ob sich in diesem Zeitraum Veränderungen ergeben haben. Die Ergebnisse ermöglichen eine Datierung von Trendwenden, eine Quantifizierung der Zuwachsveränderung gegenüber dem langfristigen

Niveau und Aussagen darüber, wie Bäume unterschiedlicher Alter die Trendänderung abbilden (PRETZSCH, 2001). Erprobt wurde das Verfahren von MIELIKÄINEN und TIMONEN (1996) sowie von MIELIKÄINEN und NJÖD (1996) für die Diagnose von Wachstumstrends in Skandinavien.

Voraussetzung für die Anwendung dieser Methode ist es, dass das Datenmaterial ein breites Altersspektrum abdeckt, ähnliche Standorte vertreten sind und Behandlungseffekte durch die Auswahl von vorherrschenden oder herrschenden Bäumen ausgeschlossen werden können.

### Beschreibung des Verfahrens

Jedem Jahrringmesswert wird neben dem entsprechenden Kalenderjahr auch das jeweilige Alter zugeordnet, so dass das Altersspektrum der erfassten Jahrringe über dem Kalenderjahr dargestellt werden kann. Nach Einteilung der Jahrringbreiten in Altersstufen (21-40, 41-60 Jahre, usw.) kann für jedes Kalenderjahr der mittlere Radialzuwachs in der jeweiligen Altersstufe berechnet werden. Durch einen Ausgleich der mittleren Jahrringbreiten jeder Altersstufe mit einer linearen Regression können langfristige Zuwachstrends sichtbar gemacht werden. Abbildung 5.2-4 zeigt beispielhaft den Ausgleich der mittleren Jahrringbreiten für die Altersstufe 61-80 Jahre im Wuchsgebiet 5 (Fränkischer Keuper und Albvorland). Das Ergebnis zeigt, dass ca. 70-jährige Bäume in diesem Wuchsgebiet um 1925 eine durchschnittliche Jahrringbreite von 0,8 mm aufweisen, während sie 1990 mit einer Jahrringbreite von ca. 1,6 mm fast die doppelte Leistung erbringen.

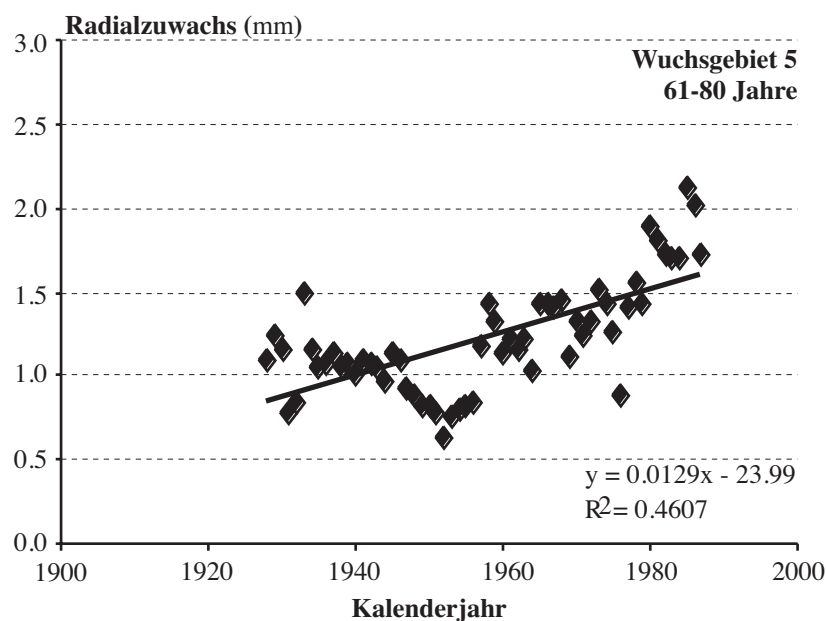


Abb. 5.2-4: Entwicklung des Radialzuwachses über dem Kalenderjahr für die Altersstufe 61-80 Jahre im Wuchsgebiet 5 (Fränkischer Keuper und Albvorland); Datenquelle: Einzelbaumanalysen.

Deutlich ist zu erkennen, dass mit diesem Verfahren kurzfristige klimatische Schwankungen, wie sie Anfang der 50er Jahre und 1976 aufgetreten sind, nicht berücksichtigt sondern langfristige Wachstumstrends aufgedeckt werden. Nachteilig bei der Wahl des linearen Ausgleichs ist jedoch, dass eine zunehmende Steigung, die hier in Abb. 5.2-4 ab ca. 1980 ersichtlich wird, nicht abgebildet werden kann.

### **5.3 Prognose des Wachstums mit dem Wuchsmodell SILVA 2.2**

Bis zur Mitte der siebziger Jahre des vergangenen Jahrhunderts konzentrierte sich die ertragskundliche Modellentwicklung auf die Bestandesbeschreibung gleichaltriger, einschichtiger Reinbestände unter definierten Wuchsbedingungen (PRETZSCH, 1992). Durch den Übergang von Rein- zu Mischbeständen, durch neue Behandlungsprogramme und die zunehmend festgestellten Diskrepanzen zwischen den Erwartungswerten der gängigen Ertragstafelmodelle und dem wirklichen Wuchsverhalten erfolgt eine Umorientierung zu computergestützten flexibleren Modellen, die auch in der Lage sind, veränderte Rahmenbedingungen nachzubilden. Auch dem Umstand, dass Wald nicht mehr nur als Produktionsträger, sondern als bewirtschaftetes Ökosystem gesehen wird und künftig auch neue Informationsquellen wie Ergebnisse aus den Betriebsinventuren genutzt werden sollen, wird damit Rechnung getragen (PRETZSCH, 1992; 1995a).

Die verwendeten Datenquellen stellen Entwicklungsverläufe dar, die unter zurückliegenden Rahmenbedingungen erbracht wurden. Für eine Untersuchung des Wuchsverhaltens unter heutigen oder zukünftigen Bedingungen eignen sich dynamische Wuchsmodelle, weil sie in der Lage sind, nicht nur die Auswirkungen verschiedener forstlicher Maßnahmen zu prognostizieren, sondern auch die Zuwachsreaktionen auf unterschiedlichen Standorten, bei Kalamitäten und Veränderungen der Wuchsbedingungen abzubilden (PRETZSCH, 1992). Für diese Untersuchungen wird hier der am Lehrstuhl für Waldwachstumskunde seit 1989 entwickelte Wachstumssimulator SILVA 2.2 verwendet (PRETZSCH, 1992; KAHN, 1994; PRETZSCH und KAHN, 1998). Durch die Möglichkeit, Daten aus Betriebsinventuren fortschreiben zu können (DURSKY, 1998; 1999; POMMERENING, 1998), kann das umfangreiche Datenmaterial aus der permanenten Stichprobeninventur für die untersuchten Regionen unter heutigen und veränderten Standortsbedingungen verarbeitet werden. Im folgenden wird zunächst ein kurzer Überblick über die Funktionsweise des Simulators gegeben sowie die verwendete Methodik und Eingangsparameter der durchgeführten Prognoserechnungen beschrieben.



### 5.3.1 Allgemeine Beschreibung von SILVA 2.2

Kernstück des Wachstumssimulators SILVA 2.2 ist ein einzelbaumorientiertes, altersunabhängiges und positionsabhängiges (MUNRO, 1974) Wuchsmodell. In Abhängigkeit von Standort, Bestandesstruktur und Behandlungskonzept werden für Rein- und Mischbestände der Baumarten Fichte, Tanne, Kiefer, Buche und Eiche die Daten der Naturalproduktion berechnet und ökonomische und ökologische Kenngrößen zur Verfügung gestellt.

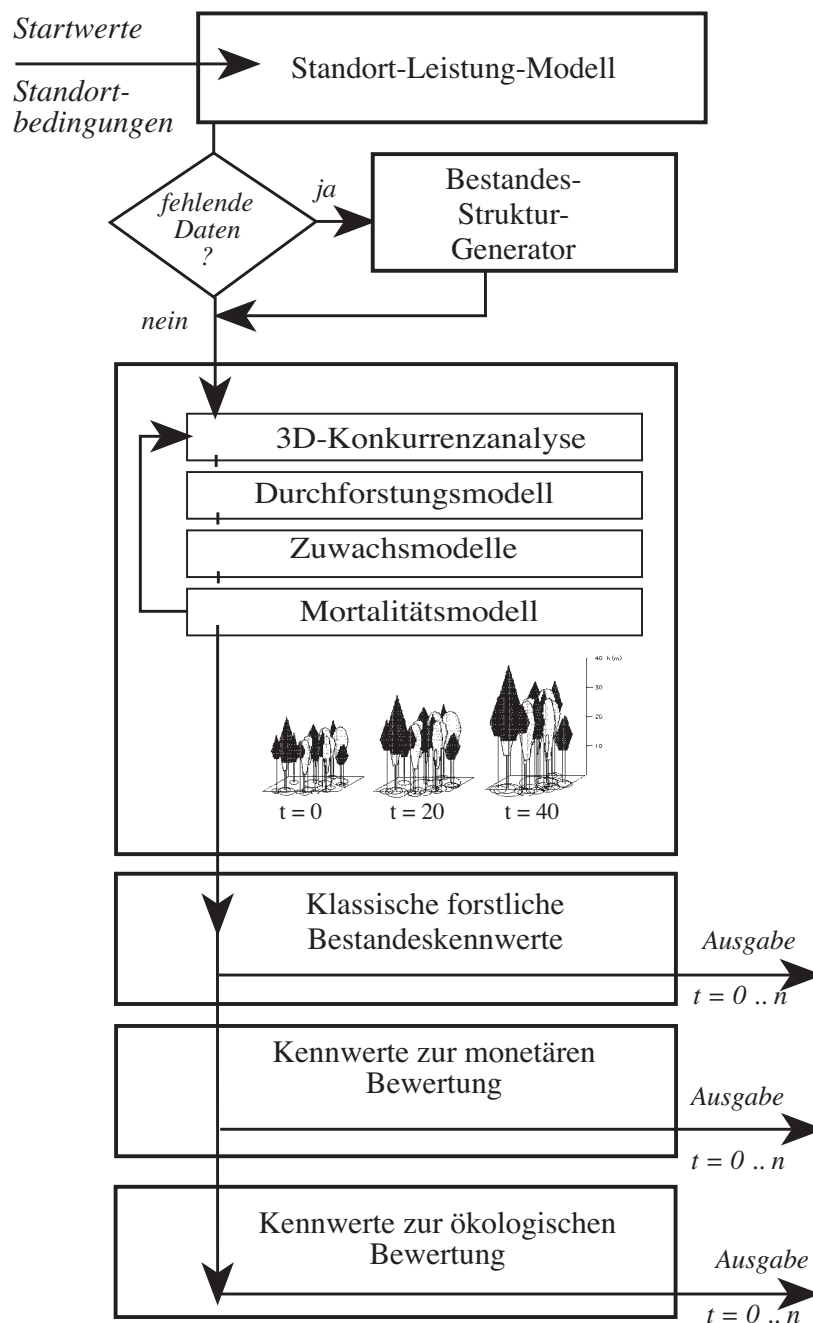


Abb. 5.3-1: Ablaufschema des Wuchsmodells SILVA 2.2 bei einem Prognoselauf (BIBER, 1999).

Aus Abbildung 5.3-1 wird das Ablaufschema einer Prognoserechnung ersichtlich. Benötigte Eingangsgrößen sind Brusthöhendurchmesser, Höhe, Stammfußpunkte, Kronenkenngrößen, Angaben über den Standort sowie die Flächenabmessungen. Eventuell fehlende Stammfußpunkte, Baumhöhen und Kronendimensionen werden mit einem Bestandes-Strukturgenerator wirklichkeitsnah nachgebildet (PRETZSCH, 1993). Durch das von KAHN (1994) entwickelte Standort-Leistungsmodell wird über die Standortvariablen baumartenspezifisch das potentielle Höhenwachstum vorgegeben.

Mit diesen Eingangsdaten und Vorgaben wird für jeden Prognoseschritt von 5 Jahren zunächst die dreidimensionale Wuchskonstellation eines jeden Baumes analysiert und der Konkurrenzdruck, der von seinen Nachbarn ausgeht, durch einen sogenannten Konkurrenzindex (PRETZSCH, 1995b) beschrieben. Desweiteren wird mit einem Durchforstungsmodell geprüft, welche Bäume nach Vorgabe des definierten Durchforstungskonzeptes zu entnehmen sind (KAHN, 1995).

Über verschiedene Zuwachsmodelle (Höhenzuwachsmodell, Durchmesserzuwachsmodell, Modell zur Beschreibung der Veränderung des Kronenansatzes und der Kronenbreite) wird die Entwicklung des Einzelbaumes abgeleitet und die individuelle Baumdimension fortgeschrieben. Durch ein Mortalitätsmodul (DURSKY, 1997) wird überprüft, welche Bäume den zurückliegenden fünfjährigen Zeitraum aufgrund von Konkurrenzeinwirkungen nicht überleben. Diese Vorgänge werden solange wiederholt, bis das Ende des festgelegten Prognosezeitraumes erreicht ist. Neben Daten zur Naturalproduktion (ertragskundlichen Bestandeskennwerten) können dann Ergebnisse zur Sorten- und Wertleistung sowie Strukturindizes als Indikatoren für Habitat- und Artenvielfalt abgerufen werden (PRETZSCH und KAHN, 1998).

Da bei der Durchführung der Prognoserechnungen insbesondere der Standortseinfluss betrachtet wird, folgt hier eine kurze Darstellung des in SILVA 2.2 implementierten Standort-Leistungsmodells, das Standortfaktoren in Wachstumsgrößen transformiert (PRETZSCH et al., 2000). Aus neun Standortvariablen wird das Höhenwachstumspotential angeschätzt und das Durchmesserwachstum modifiziert.

Diese Standortsfaktoren werden zu drei Gruppen zusammengefasst (entnommen aus PRETZSCH et al., 2000; BIBER, 1999):

1. Nährstoffversorgung, mit den Variablen:

- NO<sub>x</sub> globale Konzentration von Stickoxiden in der Atmosphäre in ppb,
- CO<sub>2</sub> globale Konzentration von Kohlendioxid in der Atmosphäre in ppm,
- NST allgemeine Nährstoffversorgung im Boden, ausgedrückt auf einer Skala von 0 (minimal) bis 1 (maximal), die aus dem einheitlichen Anspracheschema des Arbeitskreises Standortkartierung (1980) abgeleitet wird.

2. Temperaturbedingungen, mit den Variablen

- TV Durchschnittstemperatur in den Monaten Mai bis einschließlich September in °C,
- TVAR Temperaturdifferenz zwischen dem wärmsten und kältesten Monatsmittel in °C,
- DT10 Anzahl der Tage im Jahr, deren mittlere Temperatur 10 °C übersteigt.

3. Wasserversorgung, mit den Variablen

- NV Niederschlagssumme in den Monaten Mai bis einschließlich September in mm,
- FRISCH Bodenfrische, ausgedrückt auf einer Skala von 0 (minimal) bis 1 (maximal) und abgeleitet aus dem einheitlichen Anspracheschema des Arbeitskreises Standortkartierung (1980),
- MV Ariditätsindex nach DE MARTONNE für die Monate Mai bis einschließlich September.

Die Klimavariablen können aus Wuchsbezirksinformationen abgeleitet und die Größen NO<sub>x</sub> und CO<sub>2</sub> nach dem Kalenderjahr bestimmt werden. Die Angaben über Wasser- und Nährstoffhaushalt des Bodens können aus der Standortkartierung entnommen werden. Die Veränderungen unterliegenden Klimavariablen und Immissionsgrößen werden zeitabhängigen Transformationen unterzogen (KAHN, 1994). Über eingipflige Dosis-Wirkungsfunktionen wird der Einfluss der Ausprägung jedes Standortsfaktors auf den Höhenzuwachs mit einem Wirkungswert zwischen 0 und 1 ausgedrückt (Abb. 5.3-2). Werte um 1 zeigen den ökologischen Optimalbereich an, sehr kleine Werte deuten auf sehr ungünstige Wuchsbedingungen hin. In einem nächsten Schritt werden die Werte zu den drei ökologischen Faktoren Nährstoffe, Wärme und Feuchtigkeit aggregiert, die wiederum jeweils einen Wert zwischen 0 und 1 annehmen. Dabei wird berücksichtigt, dass sich unterschiedlich ausgeprägte Standortsfaktoren in ihrer Wirkung kompensieren können. Diese komplexen Faktoren wirken sich auf die Funktionsparameter a, k und p der Höhenpotentialkurve aus, wobei auch hier wieder eine Kompensation der Wirkung unterschiedlicher Ausprägungen von Standortvariablen möglich ist.

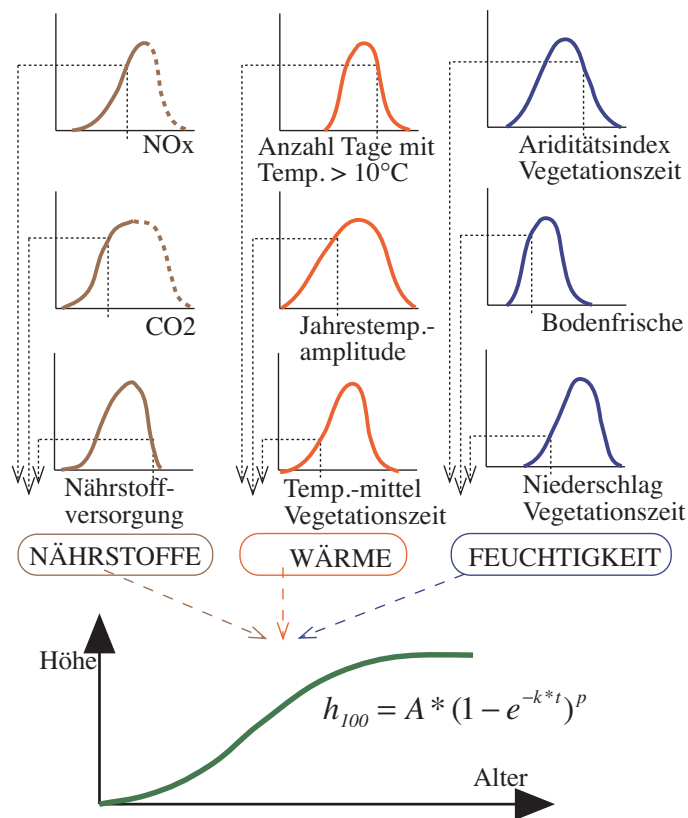


Abb. 5.3-2: Schematische Darstellung des Standort-Leistungs-Modelles des Wachstumssimulators SILVA 2.2 (PRETZSCH und KAHN, 1998).

### 5.3.2 Fortschreibung von Inventurdaten auf Wuchsbezirksebene

Das von DURSKY (1998, 1999) und POMMERENING (1998) entwickelte Verfahren zur Fortschreibung von Daten aus Betriebsinventuren mit dem Waldwachstumssimulator SILVA 2.2 ermöglicht es, das umfangreiche Datenmaterial aus der Stichprobeninventur zu nutzen und die durchschnittlichen Wachstumsabläufe in den verschiedenen Regionen bei unterschiedlichen standörtlichen Faktoren zu prognostizieren.

Mit der vorhandenen Datengrundlage wird für jede in Abschnitt 6.1 gebildete Region anhand mittlerer Bestandesentwicklungen ein repräsentativer Startbestand auf einer typischen Standortseinheit definiert. Die Fortschreibung dieses Bestandes erfolgt mit SILVA 2.2 auf der Basis von aktuell gültigen Behandlungskonzepten, wobei die Stärke der Durchforstung anhand einer typischen Grundflächenhaltungskurve für jede Region definiert wird. Dieses Verfahren wird u.a. von PRETZSCH und UTSCHIG (2000) verwendet, um das Wachstum der Fichte unter heutigen und veränderten Klimabedingungen zu prognostizieren.

Erzeugung eines repräsentativen Startbestandes

Mit Hilfe der CHAPMAN-RICHARDS-Funktion werden für jede in Abschnitt 6.1 gebildete Region die mittleren Höhen-, Durchmesser- und Grundflächenentwicklungen über dem Alter abgeleitet (Gleichungen 5.3-1 bis 5.3-3). Für die Stammzahlentwicklung wird eine Potenzfunktion verwendet (Gleichung 3.2-4).

$$hg = a_1 \cdot (1 - e^{(-k_1 \cdot t)})^{p_1} \quad \text{Gleichung 5.3-1}$$

$$dg = a_2 \cdot (1 - e^{(-k_2 \cdot t)})^{p_2} \quad \text{Gleichung 5.3-2}$$

$$G = a_3 \cdot (1 - e^{(-k_3 \cdot t)})^{p_3} \quad \text{Gleichung 5.3-3}$$

$$N = b \cdot t^{-a_4} \quad \text{Gleichung 5.3-4}$$

wobei:

hg	=	Höhe des Grundflächenmittelstammes (m)
dg	=	Durchmesser des Grundflächenmittelstammes (cm)
G	=	Grundfläche pro Hektar (qm)
N	=	Stammzahl pro Hektar
t	=	Alter (Jahre)
e	=	Euler'sche Konstante
$a_1, a_2, a_3, a_4, b, k_1, k_2, k_3, p_1, p_2, p_3$	=	Koeffizienten der Regressionsgleichung

Die geschätzten Parameter der Funktionen sind im Anhang, Tabellen A-1 bis A-4, aufgelistet. Sowohl beim Höhen- als auch beim Durchmesser- und Stammzahlausgleich liegen die mittels Regressionsanalyse errechneten Bestimmtheitsmaße überwiegend sehr hoch. Nur die Beziehung zwischen Grundfläche und Alter ist aufgrund der hohen Streuung geringer. Die Ausgleichsfunktionen repräsentieren dennoch die mittleren Grundflächen der Regionen recht gut.

Mit den Ergebnissen aus diesen Regressionsgleichungen können mittlere Bestandesdaten für ein vordefiniertes Alter berechnet werden. Da die Entwicklung heute junger Bestände beschrieben werden soll, wird ein Alter von 30 Jahren als Startalter gewählt. Nur für die Wuchsbezirke Bruchschollenland (7.1), Obermainhügelland (7.2) und Waldsassener Schiefergebiet/Wiesauer Senke (10.2) muss ein älterer Startbestand verwendet werden, da keine Daten von jüngeren Beständen zur Berechnung der Startwerte zur Verfügung stehen.

Für eine differenziertere Analyse werden die Prognoserechnungen für jeden Wuchsbezirk berechnet. Die Eingangsdaten für die Berechnung finden sich in Tabelle 5.3-1.

Tab. 5.3-1: Startwerte für die Prognoserechnung mit dem Waldwachstumssimulator SILVA 2.2 bei einem Alter von 30 (60) Jahren für die untersuchten Wuchsgebiete (hg = Höhe des Grundflächenmittelstammes; dg = Durchmesser des Grundflächenmittelstammes; G = Grundfläche; N = Stammzahl).

(Teil-) Wuchsbezirk		Alter (Jahre)	hg (m)	dg (cm)	G qm/ha	N N/ha
Östliche Vorrhön	3.1/2	30	10.2	9.3	26.9	4647
Itz-Baunach-Hügelland	5.4	30	13.1	13.3	26.1	3108
Nördliche Keuperabdachung	5.5	30	13.1	13.3	26.1	3108
Südliche Keuperabdachung	5.6	30	13.1	13.3	26.1	3108
Regnitzsenke/ Rezat-Rednitzsenke	5.5/1,5.6/1	30	12.1	14.1	20.3	2780
Südliches Albvorland	5.8	30	12.8	13.8	21.3	1836
Nördliche Frankenalb	6.1	30	12.6	11.9	22.0	2795
Südliche Frankenalb	6.2	30	12.6	11.9	22.0	2795
Oberfränkisches Braunjuragebiet	6.4	30	13.2	13.2	24.8	2313
Oberpfälzer Jurarand	6.5	30	13.2	13.2	24.8	2313
Bruchschollenland	7.1	60	19.9	24.1	28.6	654
Obermainhügelland	7.2	60	19.9	24.1	28.6	654
Oberpfälzer Becken- und Hügelland	9.1	30	12.3	13.4	18.5	2115
Waldsass. Schiefergeb./Wiesauer Senke	10.2	60	15.2	17.8	28.7	1045

### Definition der Standortparameter

Zur Fortschreibung von Stichprobeninventuren auf Betriebsebene wird von DURSKY (1999) eine Kreuzstratifizierung durchgeführt, die sowohl den Bestandes- als auch den Standortstyp berücksichtigt.

Da nur ein Bestandestyp (Kiefern-Reinbestand) untersucht wird, müssen nur diejenigen Standortparameter festgelegt werden, die sich auf die im jeweiligen Wuchsbezirk am häufigsten mit Kiefer bestockte Standortseinheit beziehen. Tabelle 5.3-2 charakterisiert den Nährstoff- und Wasserhaushalt der am häufigsten auftretenden Standortseinheit des jeweiligen Wuchsbezirkes.

Tab. 5.3-2: Verwendete Standortparameter der Wuchsbezirke für die Prognoserechnung mit dem Waldwachstumssimulator SILVA 2.2 (STOE= häufigste Standortseinheit des Wuchsbezirkes)

(Teil-) Wuchsbezirk		STOE	Verwendete Standortparameter	
			Wasserhaushalt	Nährstoffhaushalt
Östliche Vorrhön	3.1/2	782	mäßig frisch	mittel
Itz-Baunach-Hügelland	5.4	012	mäßig frisch	gering
Nördliche Keuperabdachung	5.5	142	mäßig frisch	mittel
Südliche Keuperabdachung	5.6	047	mäßig frisch	mittel
Regnitzsenke/ Rezat-Rednitzsenke	5.5/1,5.6/1	001	mäßig trocken	gering
Südliches Albvorland	5.8	022	mäßig frisch	gering-mittel
Nördliche Frankenalb	6.1	031	mäßig trocken	gering-mittel
Südliche Frankenalb	6.2	101	mäßig trocken	gering
Oberfränkisches Braunjuragebiet	6.4	102	mäßig frisch	gering
Oberpfälzer Jurarand	6.5	001	mäßig trocken	gering
Bruchschollenland	7.1	011	mäßig trocken	gering
Obermainhügelland	7.2	702	mäßig frisch	gering-mittel
Oberpfälzer Becken- und Hügelland	9.1	001	mäßig trocken	gering
Waldsass. Schiefergeb./Wiesauer Senke	10.2	132	mäßig frisch	gering-mittel

Die Klimadaten eines jeden Wuchsbezirkes beruhen auf Literaturangaben (ARBEITSKREIS STANDORTSKARTIERUNG, 1985). Diese Angaben werden im Standort-Leistungsmodell des Wachstumssimulators mit einer höhenbezogenen Klimagrößenanpassung und dem Einfluss von Exposition und Hangneigung noch weiter differenziert (KAHN, 1994; PRETZSCH und KAHN, 1998). Die Einstellungen des  $\text{NO}_x$ - und  $\text{CO}_2$ -Gehaltes der Luft basieren auf den Werten des IPCC-Reportes 1990.

Neben der Möglichkeit, Altershöhenkurven-Potentiale für beliebige Standortseinheiten aus verschiedenen Standortvariablen zu schätzen, kann die Altershöhenentwicklung durch die Vorgabe von Parametern der Altershöhenfunktion gesteuert werden (DURSKY, 1999; LEHRSTUHL FÜR WALDWACHSTUMSKUNDE, 2000). Die unechten Zeitreihen der Stichprobeninventur ermöglichen es, Altersentwicklungsverläufe auf der entsprechenden Standortseinheit eines jeden Wuchsbezirkes nachzubilden und in den Simulator einzusteuern. Dieses Verfahren wird hier jedoch nicht angewendet, denn die Höhen älterer Bestände aus der Stichprobeninventur repräsentieren Leistungen, die unter vergangenen Wuchsverhältnissen erbracht wurden. Faktoren wie Stickstoffeinträge,  $\text{CO}_2$ -Gehalt der Luft, aber auch die großflächig durchgeführte Streunutzung spielen dabei eine entscheidende Rolle. Die generell herrschenden ungünstigeren Rahmenbedingungen würden bei Einsteuerung dieser Höhenverläufe zu einer Unterschätzung des heutigen Wuchspotentials führen.

#### Festlegung des Behandlungskonzeptes

Für eine realitätsnahe Prognoserechnung ist es notwendig, praxisnahe Behandlungskonzepte vorzugeben. Deshalb orientiert sich das Durchforstungskonzept an den Pflegegrundsätzen der Bayerischen Staatsforstverwaltung (BAYSTMELF, 1995). Während eines Prognoselaufes können drei Durchforstungsphasen mit unterschiedlichen Behandlungskonzepten eingesteuert werden, wobei das Durchforstungsintervall auf 10 Jahre festgelegt wird. Die Abgrenzung der Phasen erfolgt über die Oberhöhe. Bis zu einer Oberhöhe von 21 m (dies entspricht bei einer II. Ertragsklasse nach WIEDEMANN (1943, mäßige Durchforstung) einem Alter von 70 Jahren, also ungefähr der Hälfte der Umtriebszeit) wird eine Auslesedurchforstung durchgeführt. Dann wechselt die Durchforstungsart zu einer Niederdurchforstung. In der letzten Durchforstungsphase (ab einer Oberhöhe von 27 m, was bei der II. Ertragsklasse nach WIEDEMANN (1943, mäßige Durchforstung) etwa einem Alter von 125 Jahren entspricht) wird zu einer Hochdurchforstung übergegangen, um die Kiefer auf den Überhalt vorzubereiten bzw. um eine langfristige Verjüngung einzuleiten.

Die Durchforstungsstärke wird über die Leitkurve der durchschnittlichen Grundflächenhaltung der jeweiligen Region definiert (DURSKY, 1999; PRETZSCH et al., 1998). Hierzu werden die Grundflächen über der Oberhöhe mit einem Polynom 2. Grades ausgeglichen (Gleichung 5.3-5).



$$G(M) = a_1 + a_2 \cdot ho + a_3 \cdot ho^2$$

Gleichung 5.3-5

wobei:

G(M) = mittlere Grundfläche (qm)

ho = Oberhöhe (m)

a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub>, a<sub>3</sub> = Koeffizienten der Regressionsgleichung

Da die vorhandenen Daten aus der Stichprobeninventur keine Oberhöhenwerte enthalten, werden aus den Ergebnissen der langfristigen Versuchsflächen die Zusammenhänge zwischen Mittelhöhe und Oberhöhe hergeleitet und anschließend die Mittelhöhen der Stichprobeninventur auf Oberhöhenwerte umgerechnet.

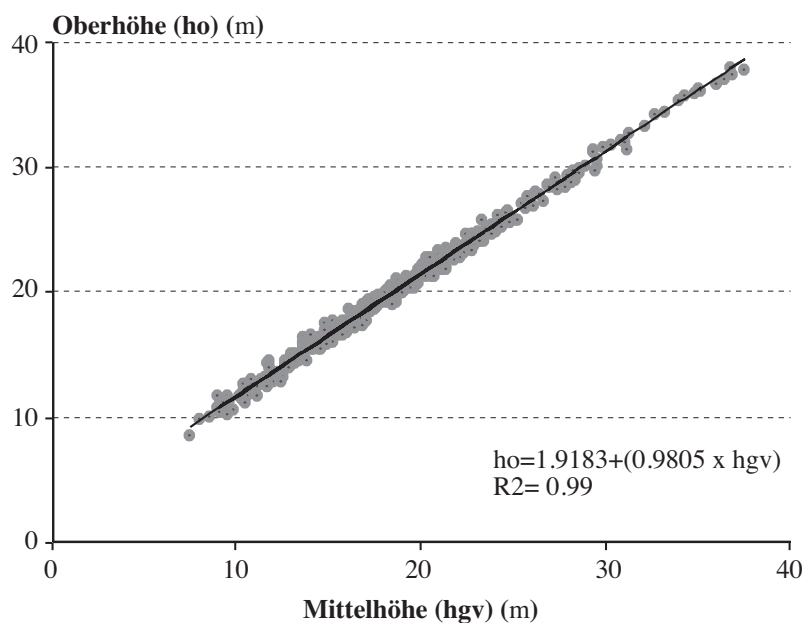


Abb.5.3-3: Darstellung der Beziehung zwischen Mittel- und Oberhöhe aus den Ergebnissen der langfristigen Versuchsflächen und deren Ausgleich mittels einer linearen Regression.

Abbildung 5.3-3 zeigt den Zusammenhang zwischen den Mittel- und Oberhöhen der langfristigen Versuchsflächen. Die Beziehung zwischen den beiden Parametern ist sehr straff und lässt sich gut mit einer linearen Regression ausgleichen.

In Abbildung 5.3-4 ist der Ausgleich der Grundflächen über der Oberhöhe beispielhaft für die Region Keuperhügelland dargestellt. Die Streuung um die Ausgleichskurve ist sehr hoch und die Bestimmtheitsmaße dementsprechend niedrig. Dennoch kann die mittlere Grundflächenhaltung in diesem Wuchsbezirk damit hinreichend genau beschrieben werden. Die Ausgleichsparameter für die einzelnen Regionen finden sich in Tabelle A-5 im Anhang.

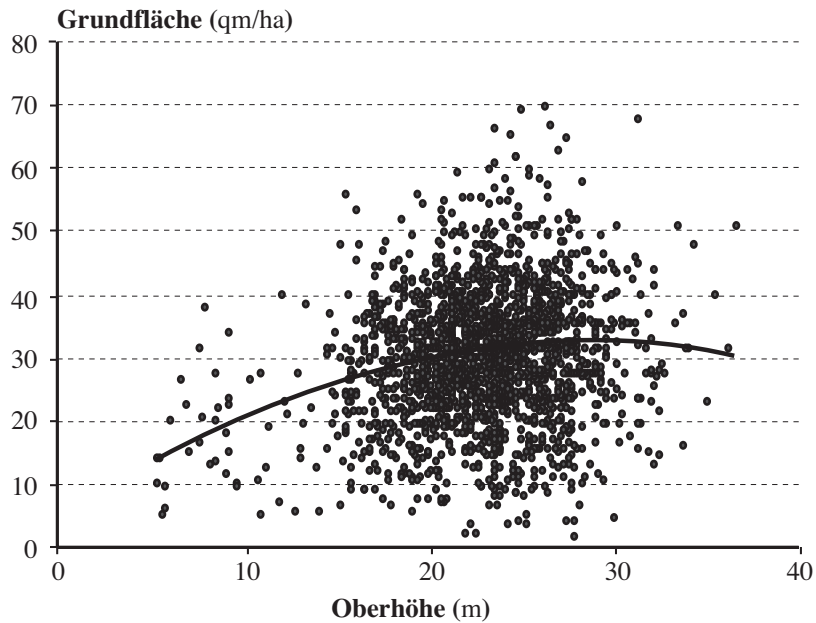


Abb. 5.3-4: Darstellung der Grundfläche über der Oberhöhe und der Ausgleichskurve (Polynom 2. Grades) für die Region Keuperhügelland.

Einststeuerung der Startwerte in SILVA 2.2

Mit den oben beschriebenen Parametern kann die automatisierte Version von SILVA 2.2 zur Fortschreibung von Inventurdaten auf Wuchsbezirksebene genutzt werden. Die benötigten Informationen verteilen sich dabei auf fünf Dateien (LEHRSTUHL FÜR WALDWACHSTUMSKUNDE, 2000), die in Tabelle 5.3-3 aufgelistet sind.

Tab. 5.3-3: Name, Art und Inhalt der für eine Prognoserechnung mit der automatisierten Version von SILVA 2.2 benötigten Dateien.

Name der Datei	Art der Datei	beinhaltete Informationen
*.str	Steuerdatei Inventurdatei	Art der Fortschreibung Startwerte; ertragskundliche Kennwerte im Alter 30 (60) Jahre
*.sto	Standortsdatei	sämtliche Standortparameter
*pgn	Prognosedatei	Prognose- und Reproduktionswiederholung, Durchforstungsart für drei Phasen, Durchforstungsintervall, maximale Entnahmemenge, Oberhöhengrenze zwischen den Durchforstungsphasen
*.dfo	Durchforstungsdatei	Durchforstungsstärke, z.B. die berechneten Koeffizienten der Ausgleichsfunktion zur Berechnung der mittleren Grundflächenhaltung.

Über die in jeder Datei enthaltenen Schlüsselvariablen FORST\_ID (Stratumidentifikation, hier der Wuchsbezirksname), BEST\_TYP (Bestandestyp, hier Kiefern-Reinbestand) und STO\_TYP (Standortstyp) können die Informationen den verschiedenen Dateien eindeutig zugeordnet werden.

Bei Aufruf der Steuerdatei in der automatisierten Version von SILVA 2.2 wird die Prognose gestartet. Da in verschiedenen Komponenten des Modells die Reststreuung durch Zufallsvariablen eingebracht wird, z.B. bei der Strukturgenerierung, dem Grundflächenzuwachsmodell, dem Höhenzuwachsmodell oder dem Mortalitätsmodell, erbringen Prognoseläufe auch unter gleichen Ausgangsbedingungen immer etwas unterschiedliche Ergebnisse. Für jeden Wuchsbezirk werden deshalb fünf Wiederholungen berechnet. Dies bedeutet, dass fünfmal mit Hilfe des Strukturgenerators ein Bestand erstellt wird. Jede Fortschreibung wird einmal wiederholt, so dass insgesamt 10 Prognoseläufe pro Wuchsbezirk durchgeführt werden. In der Ausgabedatei werden die Mittelwerte dieser Prognoseläufe ausgegeben.

## 6 Wachstumsbefunde in unterschiedlichen Regionen Bayerns

Ziel der folgenden Abschnitte ist es, Wachstumsdaten und Zuwachsgänge der Kiefer in einigen Regionen Bayerns zu charakterisieren (Abschnitt 6.1), Unterschiede und Gemeinsamkeiten zwischen den Datenquellen herauszuarbeiten und das Wachstum in den Regionen untereinander zu vergleichen (Abschnitt 6.2). Datengrundlage sind die Ergebnisse aus der Stichprobeninventur und den langfristigen Versuchsflächen. Da bei der Auswertung der Wiederholungsinventur aufgrund der geringen Anzahl von Inventurpunkten mit einem genügend hohen Kiefernanteil andere Auswahlkriterien definiert wurden (vgl. Abschnitt 4.1), muss auf eine vergleichende Darstellung der Zuwachswerte verzichtet werden. Die Daten aus der Wiederholungsinventur werden gesondert vorgestellt (Abschnitt 6.3). Eine Zusammenfassung der Ergebnisse findet sich in Abschnitt 6.4.

### 6.1 Überblick über die regionaltypischen Reaktionsmuster

Die Beschreibung der beiden Datenquellen erfolgt zunächst rein deskriptiv sowohl in tabellarischer als auch in grafischer Form. Für jede betrachtete Region und Datenquelle werden die Mittelwerte für 5 Altersstufen (1-30 Jahre, 31-60 Jahre, 61-90 Jahre, 91-120 Jahre und > 120 Jahre) gegenübergestellt. Die grafische Darstellung erfolgt bei den Werten aus der Stichprobeninventur als Streudiagramm, wobei jeder Punkt im Diagramm den Wert eines Inventurpunktes repräsentiert. Die Ergebnisse der Versuchsflächen werden mittels eines Liniendiagramms veranschaulicht. Hierbei beschreibt jede Linie den Wachstumsgang eines Bestandes bzw. einer Parzelle. Mit dieser Darstellungsform soll verdeutlicht werden, dass es sich bei den Ergebnissen aus der Stichprobeninventur nicht um eine echte Zeitreihe handelt. Für jeden Inventurpunkt ist nur eine Aufnahme vorhanden, eine Untersuchung der tatsächlichen Entwicklung des jeweiligen Bestandes ist somit nicht möglich. Die Liniendarstellung der Versuchsflächen zeigt dagegen eine tatsächliche zeitliche Entwicklung auf.

Die Beschreibung der Kiefernbestände in den unterschiedlichen Regionen beschränkt sich auf die Parameter Höhe des Grundflächenmittelstammes, Grundfläche pro Hektar, Vorrat pro Hektar und bei den Versuchsflächen zusätzlich auf den laufenden jährlichen Volumenzuwachs. Zum Vergleich sind die Erwartungswerte aus der WIEDEMANN-Ertragstafel (1943, mäßige Durchforstung) eingetragen.

### 6.1.1 Östliche Vorrhön

Im Teilwuchsbezirk Östliche Vorrhön (3.2.1) ist 1962 der Düngungs-Versuch Neustadt/Saale 231 ("Birkig") mit dem Ziel angelegt worden, durch Düngung über Jahrzehnte eine hohe Leistungsfähigkeit zu erhalten (FOERSTER, 1990). Die zwei zum Vergleich angelegten Kontrollparzellen ohne Düngungsmaßnahmen werden im folgenden beschrieben. Weiterhin befinden sich in diesem Gebiet 109 Inventurpunkte, in denen die Kiefer einen Anteil von mindestens 95 % in der Oberschicht einnimmt.

Die Höhenentwicklung der Versuchspartellen zeigt zu Untersuchungsbeginn eine durchschnittliche Bonität von II.6, die sich bis zum Alter 108 Jahre um eine halbe Ertragsklasse auf II.1 verbessert (Tab. 6.1-1, Abb. 6.1-1). Bei den Inventurpunkten scharen sich die Werte ebenfalls in erster Linie um die II. und III. Ertragsklasse. Im höheren Alter repräsentieren die beiden Versuchspartellen sehr gut die Höhenwuchsleistung der in dieser Region vorkommenden Kiefernbestände. Auffällig ist die geringe Bonität bei den Inventurpunkten in der Altersstufe größer 120 Jahre, was jedoch durch die geringe Anzahl von Datensätzen in dieser Altersstufe mit Vorsicht zu interpretieren ist.

Tab. 6.1-1: Anzahl Fälle, mittleres Alter, Bonität, Höhe des Grundflächenmittelstammes (HGV), Grundfläche (GV), Vorrat (VV), Bestockungsgrad (BG), laufender jährlicher Volumenzuwachs (IV) der Region Östliche Vorrhön für fünf Altersstufen. Datengrundlage: Daten aus der Stichprobeninventur (INV) und den langfristigen Versuchsflächen (VFL).

Alters- stufe (Jahre)	Anzahl Fälle		Alter (Jahre)		Bonität		HGV (m)		GV (qm/ha)		VV (VfmD/ha)		BG		IV (VfmD/ ha/a)
	INV	VFL	INV	VFL	INV	VFL	INV	VFL	INV	VFL	INV	VFL	INV	VFL	VFL
0-30	8		24		I.6		8.4		27.5		76		1.10		
31-60	5	4	52	58	II.4	II.6	15.1	15.6	28.7	26.0	197	176	0.96	0.90	7.0
61-90	57	10	74	76	II.2	II.3	20.2	19.9	28.9	25.1	255	222	0.88	0.82	8.6
91-120	27	2	108	91	I.9	II.1	25.4	22.7	37.1	26.5	416	273	1.13	0.85	10.1
>120	12		133		III.0		22.6		24.2		239		0.84		

Die Grundflächen- und die Vorratswerte zeigen bei den Parzellen der Versuchsfläche Neustadt/Saale keine gleichgerichtete Entwicklung zu den Höhenwerten. Nach einem Anstieg der Grundfläche bis zur I. Ertragsklasse wird sie durch einen starken Eingriff 1976 weit unter die IV. Ertragsklasse abgesenkt und kann bis 1997 gerade wieder die Erwartungswerte der IV. Ertragsklasse erreichen. Auch bei den Inventurpunkten streuen die Grundflächen sehr stark und können weit oberhalb oder unterhalb des Ertragstafelfächers liegen. Die Vorratswerte der Versuchspartellen folgen weitgehend der Kurve der III. Ertragsklasse. Trotz der geringen Bestockungsgrade übertrifft der Volumenzuwachs mit ca. 10 VfmD/ha/a im Alter von 91 Jahren die Werte der I. Ertragsklasse weit. Der Zuwachsverlauf schwankt zwar erheblich, was durch stärkere Durchforstungen in den Jahren 1976 und 1991 bedingt ist, zeigt aber langfristig eine deutlich steigende Tendenz, die entgegen dem erwarteten altersbedingten Abfall des Zuwachses verläuft.

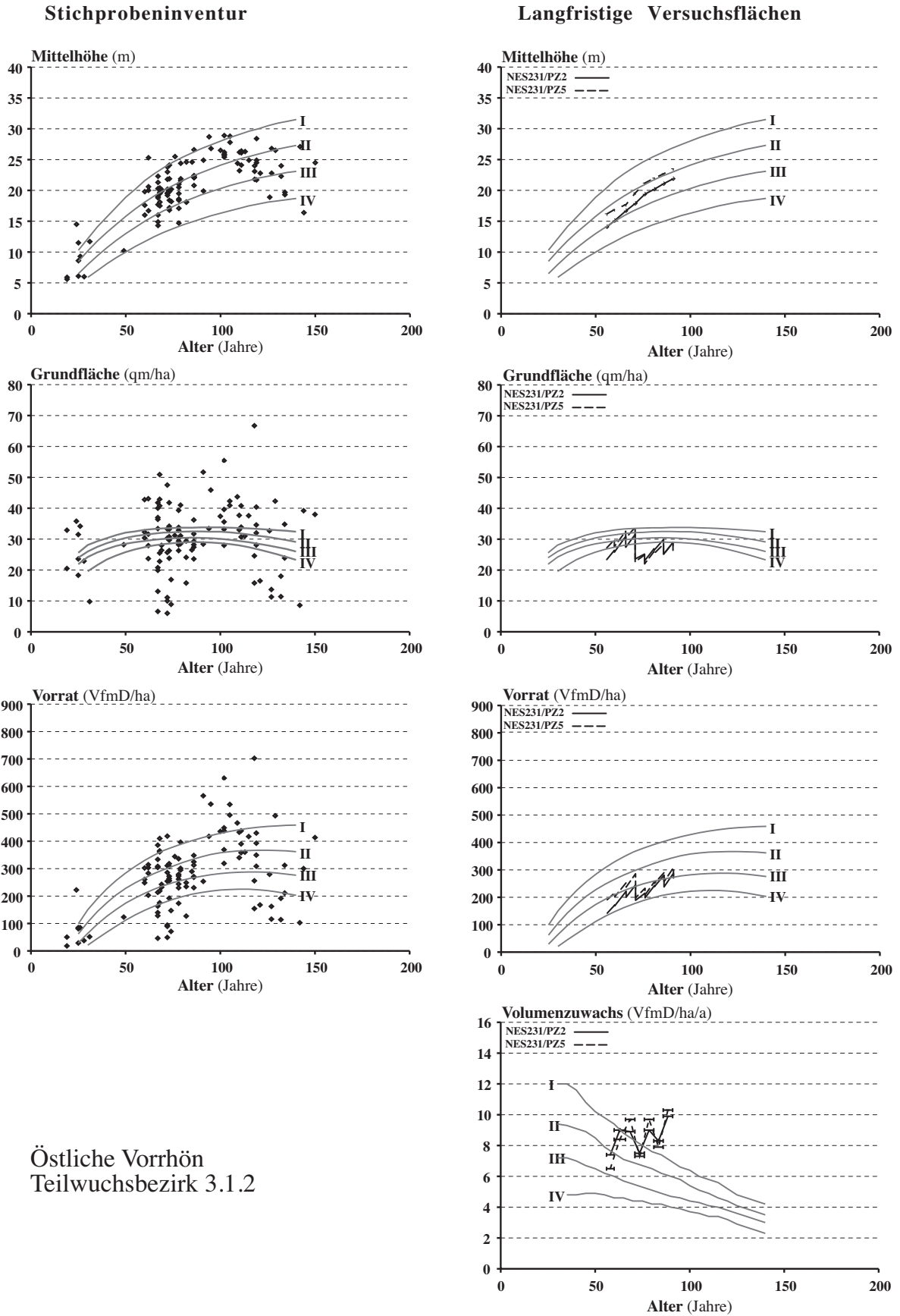


Abb. 6.1-1: Darstellung der Mittelhöhen, Grundflächen, Vorräte und des laufenden Volumenzuwachses der Stichprobendaten und Versuchsflächen über dem Alter, Region Östliche Vorrhön. Zum Vergleich sind die Werte der WIEDEMANN-Ertragstafel (1943, mäßige Durchforstung), I-IV. Ertragsklasse, eingetragen.

## 6.1.2 Keuperbergland

Im Keuperbergland ist die Anzahl der Inventurpunkte mit mindestens 95 % Kiefernanteil in der Oberschicht zu gering, als dass repräsentative Aussagen getroffen werden können. Deshalb wird hier auf eine Darstellung dieser Datenquelle verzichtet. Die 1912 angelegte Versuchsfläche Flachslanden 79 mit einer nach B-Grad (Parzelle 2) und einer nach C-Grad (Parzelle 3) durchforsteten Parzelle erlaubt jedoch einen Einblick in das Wuchsverhalten von Kiefernbeständen in dieser Region.

Tab. 6.1-2: Anzahl Fälle, mittleres Alter, Bonität, Höhe des Grundflächenmittelstammes (HGV), Grundfläche (GV), Vorrat (VV), Bestockungsgrad (BG), laufender jährlicher Volumenzuwachs (IV) der Region Keuperbergland für fünf Altersstufen. Datengrundlage: langfristige Versuchsflächen (VFL).

Alters- stufe (Jahre)	Anzahl Fälle	Alter (Jahre)	Bonität	HGV (m)	GV (qm/ha)	VV (VfmD/ha)	BG	IV (VfmD/ ha/a)
	VFL	VFL	VFL	VFL	VFL	VFL	VFL	VFL
0-30	2	27	II.2	8.8	22.6	104	0.96	
31-60	7	46	II.4	13.7	26.8	176	0.96	7.7
61-90	7	74	II.1	20.1	31.0	280	1.00	7.5
91-120	6	105	I.6	25.9	35.3	390	1.11	8.5
>120								

Schon im jüngeren Alter erreichen die Kiefern beider Parzellen eine recht gute Bonität von II.2 bis II.4, die während des Entwicklungsganges auf I.6 ansteigt (Tab. 6.1-2, Abb. 6.1-2). Im Alter von 105 Jahren werden Höhenwerte von ca. 26 m erreicht. Die Werte der beiden Parzellen liegen eng beieinander, haben also ein ähnliches Leistungsvermögen.

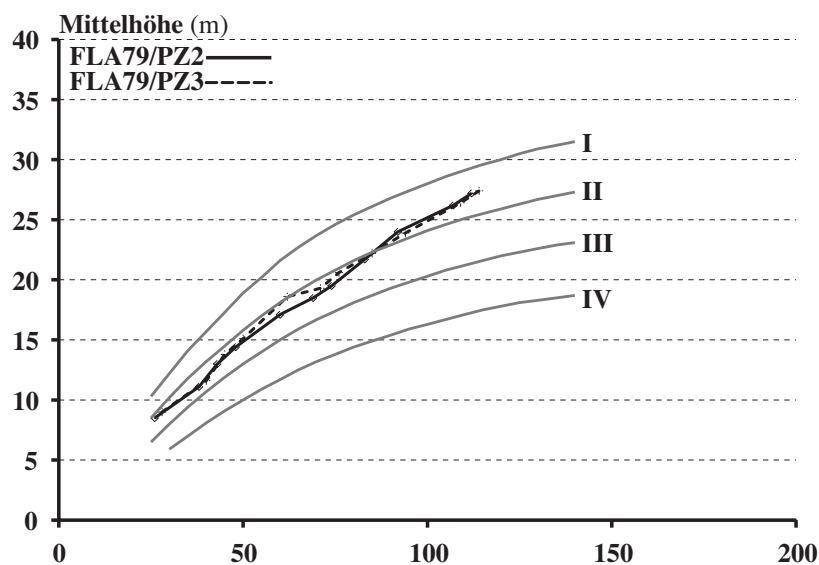


Abb. 6.1-2: Darstellung der Höhenentwicklung über dem Alter auf den Versuchsparzellen der Region Keuperbergland. Zum Vergleich sind die Werte der WIEDEMANN-Ertragstafel (1943), I-IV. Ertragsklasse, eingetragen.



Durch die geringen Eingriffe bis zum Jahr 1978 steigen die Grundflächen- und Vorratswerte deutlich an (Abb. 6.1-3, 6.1-4), verlaufen jedoch durch die unterschiedlichen Eingriffsstärken des B- (Parzelle 2) und C-Grades (Parzelle 3) auf unterschiedlichem Niveau.

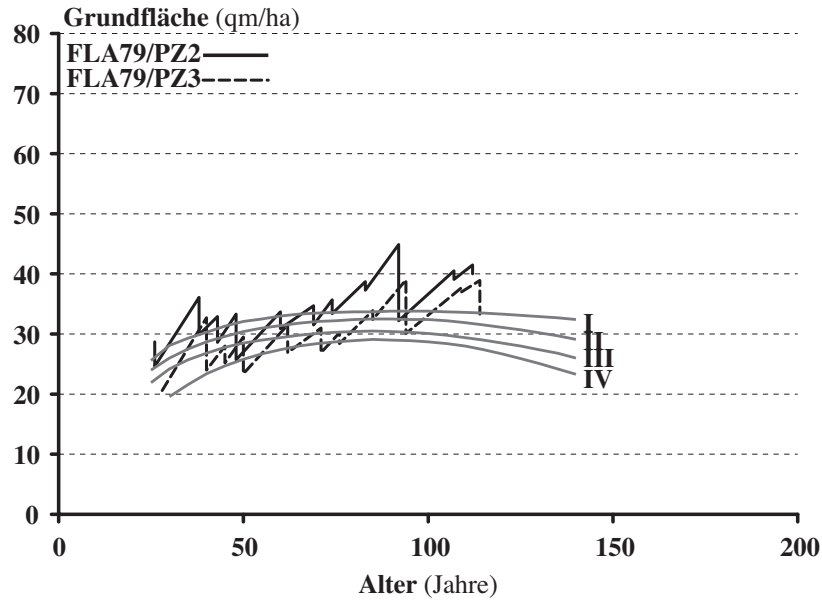


Abb. 6.1-3: Darstellung der Grundflächenentwicklung über dem Alter auf den Versuchspartellen der Region Keuperbergland. Zum Vergleich sind die Werte der WIEDEMANN-Ertragstafel (1943), I.-IV. Ertragsklasse, eingetragen.

In der B-Grad-Parzelle werden Grundflächen von mehr als 40 qm/ha und Vorräte bis über 450 VfmD/ha mit dementsprechend hohen Bestockungsgraden erreicht.

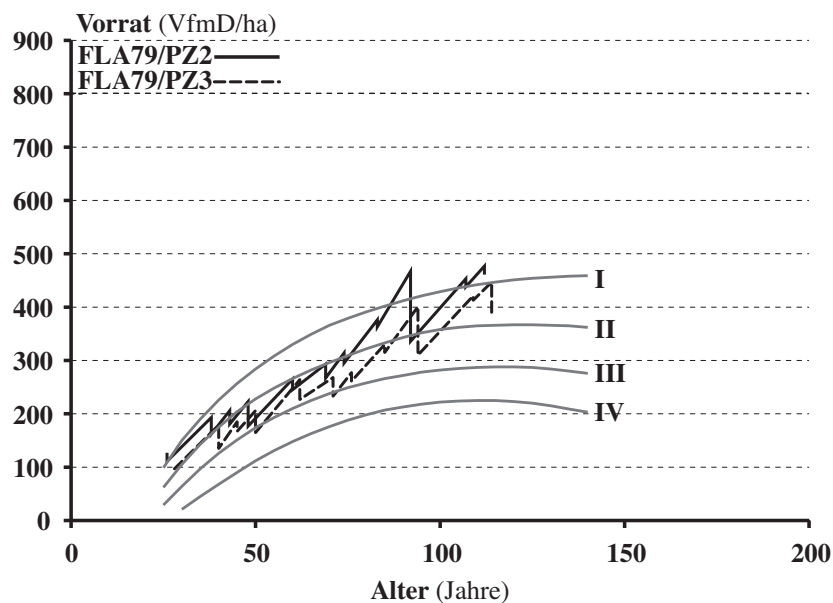


Abb. 6.1-4: Darstellung der Vorratsentwicklung über dem Alter auf den Versuchspartellen der Region Keuperbergland. Zum Vergleich sind die Werte der WIEDEMANN-Ertragstafel (1943), I.-IV. Ertragsklasse, eingetragen.

Diese Werte zeigen das mögliche Entwicklungspotential der Kiefer auf einem mäßig wechselfeuchten Schichtsand (siehe Tabelle 3.2-2, S. 14). Nach 1978, im Alter über 90 Jahren, wird der Vorrat durch starke Eingriffe wieder abgesenkt.

Der Volumenzuwachs schwankt stark in seinem Verlauf, langfristig steigt er jedoch deutlich an (Abb. 6.1-5) und erreicht mit Werten zwischen ca. 9.5 bis ca. 11.5 VfmD/ha/a im Alter von ca. 87 Jahren ein Maximum.

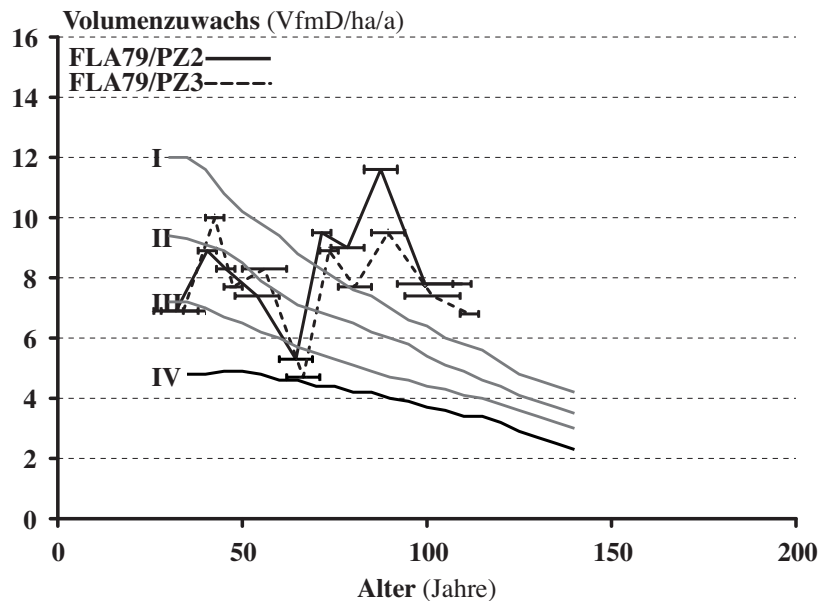


Abb. 6.1-5: Darstellung der Entwicklung des Volumenzuwachses über dem Alter auf den Versuchspartellen der Region Keuperbergland. Zum Vergleich sind die Werte der WIEDEMANN-Ertragstafel (1943), I.-IV. Ertragsklasse, eingetragen.

Nach dem starken Eingriff im Jahr 1978 sinkt der Zuwachs auf 8 VfmD/ha/a ab und kann auch in der darauffolgenden Periode nicht wieder ausgeglichen werden. Ob hier ein Ende des Zuwachshochs erreicht ist, können jedoch erst weitere Aufnahmen klären.

### 6.1.3 Keuperhügelland

Im Gebiet des Keuperhügellandes liegt ein großer Datenfundus aus beiden Datenquellen vor. Die vier Parzellen der Versuchsfelder Schlüsselfeld 49 und 50 wurden Anfang des 20. Jahrhunderts angelegt und ermöglichen so eine Darstellung langfristiger Wachstumsgänge. Besonders interessant ist die A-Grad-Parzelle (Parzelle 1) der Versuchsfelder Schlüsselfeld 50, die einen Einblick in das Wuchspotential der Kiefer auf einem besseren Standort (mäßig frischer lehmiger Schichtsand, vgl. Tabelle 3.2-2, S. 14) gibt. Bei Parzelle 2 handelt es sich um einen B-Grad, bei Parzelle 3 um einen C-Grad. Das Durchforstungskonzept der Versuchsfelder Schlüsselfeld 49 bewegt sich zwischen einem B- und C-Grad.

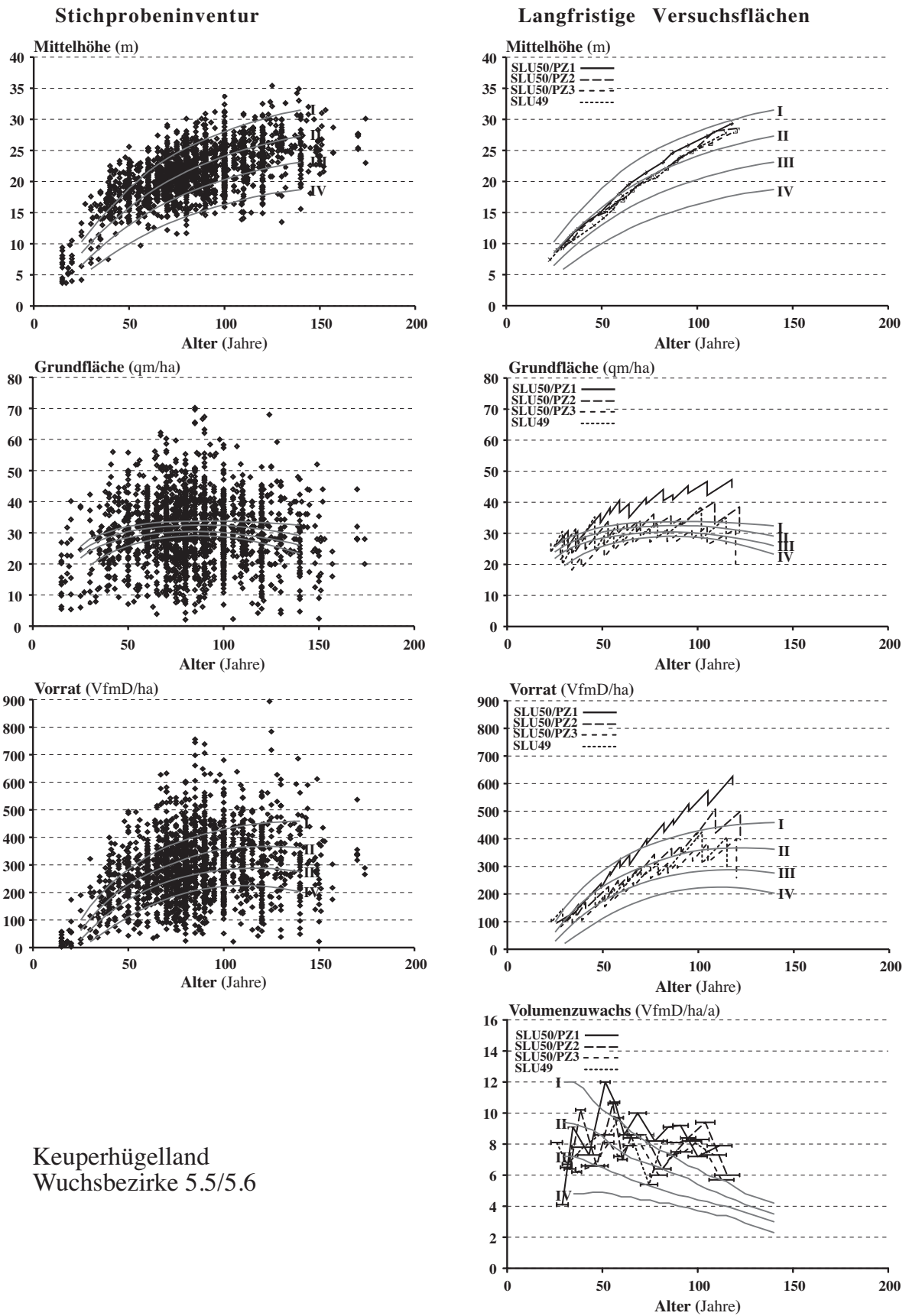
Aufgrund des vergleichsweise günstigen Standortes liegen die Höhenwerte der Versuchsflächen schon zu Beginn des Untersuchungszeitraumes zwischen der II. und III. Ertragsklasse und folgen dieser Kurve zunächst auch (Tab. 6.1-3, Abb. 6.1-6). Erst im Alter von ca. 91 Jahren (um 1960) zeichnet sich mit zunehmendem Alter auch eine Bonitätsverbesserung ab. Die Werte der Inventurpunkte erreichen selbst in Beständen über 120 Jahre eine mittlere Bonität von II.3. In jüngeren Beständen liegen die Werte bei einer Ertragsklasse von I.1 und entsprechen damit ungefähr der Ertragsklasse der alten Versuchsflächenbestände im Jahr 1998.

Tab. 6.1-3: Anzahl Fälle, mittleres Alter, Bonität, Höhe des Grundflächenmittelstammes (HGV), Grundfläche (GV), Vorrat (VV), Bestockungsgrad (BG), laufender jährlicher Volumenzuwachs (IV) der Region Keuperhügelland für fünf Altersstufen. Datengrundlage: Daten aus der Stichprobeninventur (INV) und den langfristigen Versuchsflächen (VFL).

Alters- stufe (Jahre)	Anzahl Fälle		Alter (Jahre)		Bonität		HGV (m)		GV (qm/ha)		VV (VfmD/ha)		BG		IV (VfmD/ ha/a)
	INV	VFL	INV	VFL	INV	VFL	INV	VFL	INV	VFL	INV	VFL	INV	VFL	VFL
0-30	39	5	21	27	I.1	II.1	8.3	8.9	20.2	23.6	62.2	95	0.88	0.98	8.1
31-60	314	17	50	46	I.2	II.2	18.2	14.0	30.0	26.6	239	172	0.93	0.94	7.7
61-90	916	17	78	75	I.9	II.0	21.6	20.6	31.4	31.3	297	295	0.91	1.00	7.8
91-120	501	12	106	104	II.4	I.5	23.2	26.3	30.2	32.7	311	388	0.91	1.02	7.8
>120	165	1	137	122	II.3	I.3	25.6	28.6	28.8	30.4	328	397	0.93	0.97	6.0

Die Grundflächen- und Vorratswerte der A-Grad-Parzelle liegen auf einem für Kiefernbestände beeindruckendem Niveau. Die Grundflächen können fast 50 qm/ha erreichen und die Vorratswerte steigen bis über 600 VfmD/ha. Durchforstungsbedingt liegen die anderen Parzellen unter diesen Werten, zeigen aber ebenfalls eine steigende Tendenz. Die Befunde der Inventurpunkte schwanken wie in den anderen Regionen stark mit extrem hohen oder niedrigen Werten, ergeben insgesamt aber die höchste in den untersuchten Gebieten auftretende Grundfläche. Im Durchschnitt steigen sie bis zu einem Alter von 106 Jahren auf ca. 30 qm/ha bzw. 311 VfmD/ha an und sinken dann wieder ab.

Besonders interessant ist die Entwicklung des laufenden Volumenzuwachses auf den vier Versuchspartellen. Der in den bisher beschriebenen Regionen beobachtete positive Zuwachstrend tritt in diesen Versuchspartellen nicht auf. Den üblichen, altersbedingt abfallenden Zuwachsverlauf zeigen die Werte jedoch auch hier nicht. Vielmehr bleibt der Zuwachs auf einem anhaltend hohen Niveau. Im Alter von über 100 Jahren werden noch durchschnittliche Zuwächse von ca. 8 VfmD/ha/a geleistet. Der durchschnittliche Volumenzuwachs in der Altersstufe älter 120 Jahre (Tab. 6.1-3) beruht auf nur einer Aufnahme und ist damit nicht repräsentativ.



Keuperhügelland  
Wuchsbezirke 5.5/5.6

Abb. 6.1-6: Darstellung der Mittelhöhen, Grundflächen, Vorräte und des laufenden Volumenzuwachses der Stichprobendaten und Versuchsflächen über dem Alter, Region Keuperhügelland. Zum Vergleich sind die Werte der WIEDEMANN-Ertragstafel (1943), I-IV. Ertragsklasse, eingetragen.

### 6.1.4 Keupersenkenland

Die Beckenlandschaften der beiden Teilwuchsbezirke 5.5/1 und 5.6/1 unterscheiden sich sowohl in den klimatischen Bedingungen als auch durch das geologische Ausgangsgestein vom Keuperhügelland. Dieses Senkengebiet ist durch kalt-trockene Winter und hohe Spätfrostgefahr gekennzeichnet (Nürnberger Reichswald). Weiteres Charakteristikum sind die armen Flug- und Dünenande, die den Burgsandstein, Zanklodon und Rät überdecken (ARBEITSKREIS STANDORTSKARTIERUNG, 1985). Aufgrund dieser Faktoren gehört die Beckenlandschaft mit zu den Hauptvorkommensgebieten der Kiefer in Bayern.

Tab. 6.1-4: Anzahl Fälle, mittleres Alter, Bonität, Höhe des Grundflächenmittelstammes (HGV), Grundfläche (GV), Vorrat (VV), Bestockungsgrad (BG), laufender jährlicher Volumenzuwachs (IV) der Region Keupersenkenland für fünf Altersstufen. Datengrundlage: Daten aus der Stichprobeninventur (INV) und den langfristigen Versuchsflächen (VFL).

Alters- stufe (Jahre)	Anzahl Fälle		Alter (Jahre)		Bonität		HGV (m)		GV (qm/ha)		VV (VfmD/ha)		BG		IV (VfmD/ ha/a)
	INV	VFL	INV	VFL	INV	VFL	INV	VFL	INV	VFL	INV	VFL	INV	VFL	VFL
0-30	28		23		I.7		8.2		15.5		43		0.70		
31-60	271		52		I.3		18.4		28.4		234		0.86		
61-90	1644	12	81	80	II.0	II.6	21.7	19.3	29.5	33.3	282	286	0.86	1.10	9.7
91-120	659	6	104	95	II.5	II.3	22.4	22.2	28.0	33.0	279	331	0.83	1.08	8.5
>120	70		135		III.0		22.7		23.8		243		0.72		

Entsprechend der ärmeren Standorte liegen auch die Höhen niedriger als im Keuperhügelland (Tab. 6.1-4, Abb. 6.1-7). Die durchschnittliche Bonität der Inventurpunkte liegt in der Altersstufe älter 120 Jahre nur bei III.0, während im Keuperhügelland bei ungefähr gleichem durchschnittlichen Alter die II.3 Bonität erreicht wird (vgl. Tabelle 6.1-3). Auffällig ist auch die große Bonitätsveränderung von den jungen hin zu den alten Beständen. Die drei ungedüngten Kontrollparzellen des Düngungsversuches Heideck 243 zeigen zu Beginn der Beobachtungszeit ebenfalls geringere Bonitäten, die sich im Laufe des Entwicklungsganges jedoch verbessern.

Die Grundflächen- und Vorratswerte der Inventurpunkte sind etwas niedriger als im benachbarten Keuperhügelland, weisen aber die gleiche Tendenz auf. Wie bei den bisherigen Ergebnissen zeigen auch die Werte auf den Heidecker Parzellen innerhalb einer Aufnahmeperiode eine Schwankungsbreite, die den gesamten Ertragstafelfächer umfasst. Bei den Vorratswerten zeichnet sich wie beim Höhenverlauf ebenfalls eine leicht steigende Tendenz ab.

In der Altersstufe 61-90 Jahre betragen die Werte 9.7 VfmD/ha/a im Vergleich zu 7.8 VfmD/ha/a im Keuperhügelland.

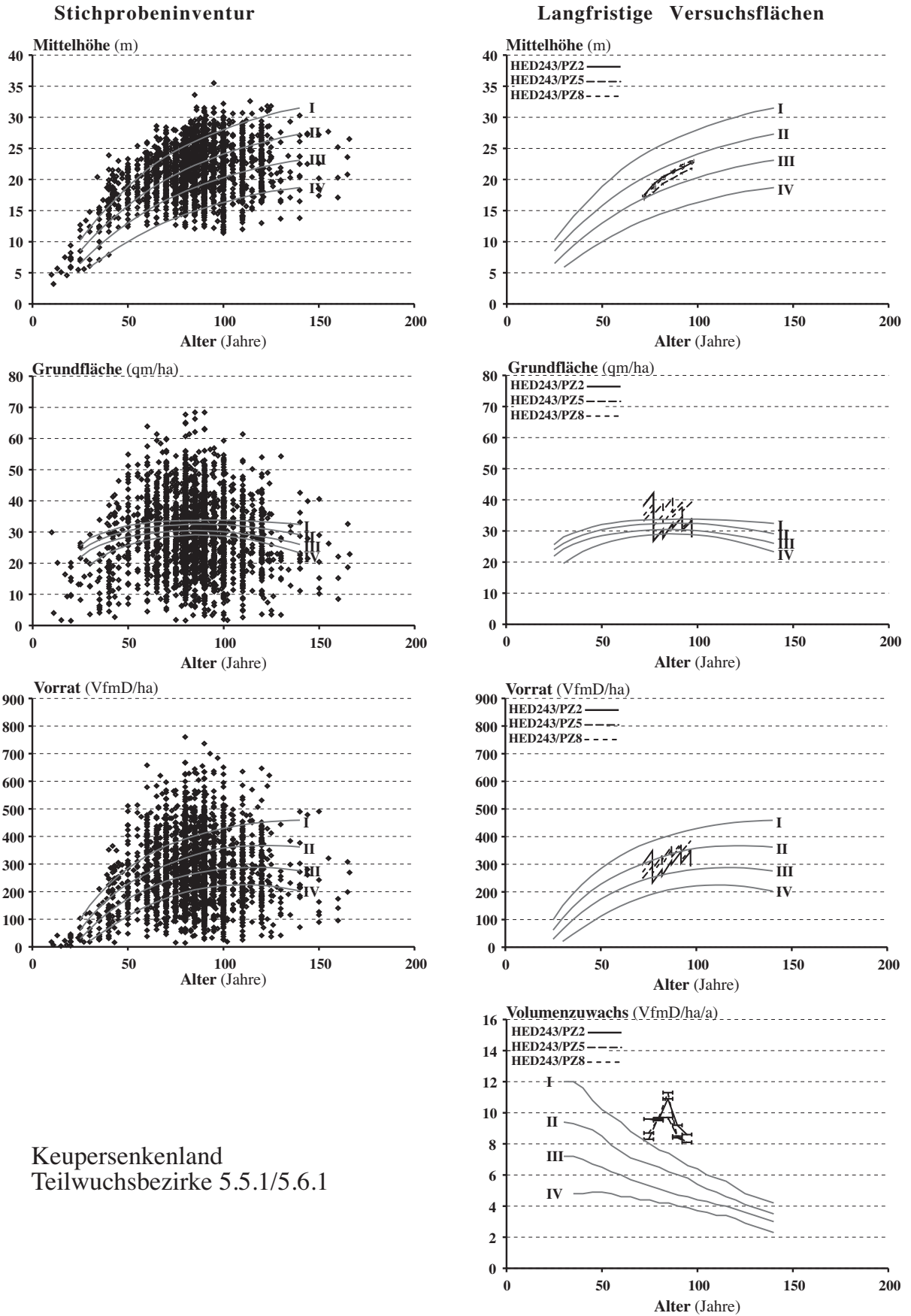


Abb. 6.1-7: Darstellung der Mittelhöhen, Grundflächen, Vorräte und des laufenden Volumenzuwachses der Stichprobendaten und Versuchsflächen über dem Alter, Region Keupersenkland. Zum Vergleich sind die Werte der WIEDEMANN-Ertragstafel (1943), I-IV. Ertragsklasse, eingetragen.

Da die Heidecker Versuchsfläche erst 1971 angelegt wurde, ist der Beobachtungszeitraum nicht so lang wie bei den Versuchsflächen in anderen Regionen. Trotzdem ist zu erkennen, dass bei einem vergleichbaren Bestockungsgrad die Zuwachswerte im Keupersenkenland auf einem höheren Niveau liegen als im Keuperhügelland (vgl. Tab. 6.1-3).

Auch in der folgenden Altersstufe werden hier trotz eines ungünstigeren Standortes höhere Werte erreicht. Durch den kurzen Beobachtungszeitraum ist hier außer einem auffällig hohen Niveau eine langfristige Tendenz nicht erkennbar.

### 6.1.5 Südliches Albvorland

Das gegenüber der Beckenlandschaft wärme- und niederschlagsbegünstigte Klima und das geologische Ausgangsmaterial dieses Gebietes führen zu leistungsfähigen Waldstandorten. In diesem Bereich liegt keine Versuchsfläche, und auch die Anzahl der Inventurpunkte mit einem hohen Kiefernanteil ist vergleichsweise gering.

Tab. 6.1-5: Anzahl Fälle, mittleres Alter, Bonität, Höhe des Grundflächenmittelstammes (HGV), Grundfläche (GV), Vorrat (VV), Bestockungsgrad (BG), laufender jährlicher Volumenzuwachs (IV) der Region Südliches Albvorland für fünf Altersstufen. Datengrundlage: Daten aus der Stichprobeninventur (INV).

Alters- stufe (Jahre)	Anzahl Fälle		Alter (Jahre)		Bonität		HGV (m)		GV (qm/ha)		VV (VfmD/ha)		BG		IV (VfmD/ ha/a)
	INV	VFL	INV	VFL	INV	VFL	INV	VFL	INV	VFL	INV	VFL	INV	VFL	VFL
0-30	9		21		I.5		7.9		13.6		38		0.63		
31-60	31		51		I.0		19.1		25.5		209		0.74		
61-90	111		78		I.7		22.5		27.2		269		0.80		
91-120	33		105		II.0		24.7		26.7		286		0.81		
>120	6		132		II.7		23.7		14.9		149		0.48		

Die Höhen streuen nur gering um die Erwartungswerte für die erste und zweite Ertragsklasse, ein Ausdruck der durchweg günstigen Wuchsbedingungen dieser Region (Abb. 6.1-8).



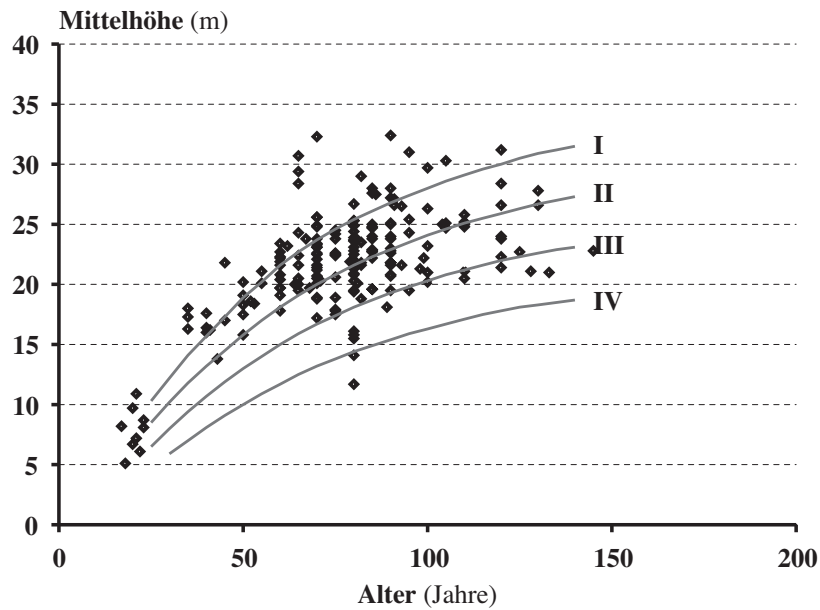


Abb. 6.1-8: Darstellung der Mittelhöhen über dem Alter in den Beständen der Stichprobeninventur, Region Südliches Albvorland. Zum Vergleich sind die Werte der WIEDEMANN-Ertragstafel (1943), I.-IV. Ertragsklasse, eingetragen.

Die durchschnittliche Mittelhöhe liegt im Alter von 105 Jahren mit 24.7 m über dem Höhenwert 132 Jahre alter Bestände (Tab. 6.1-5). Wie in den anderen Regionen nimmt auch hier die mittlere Bonität mit zunehmendem Alter um 1.2 Ertragsklassen ab.

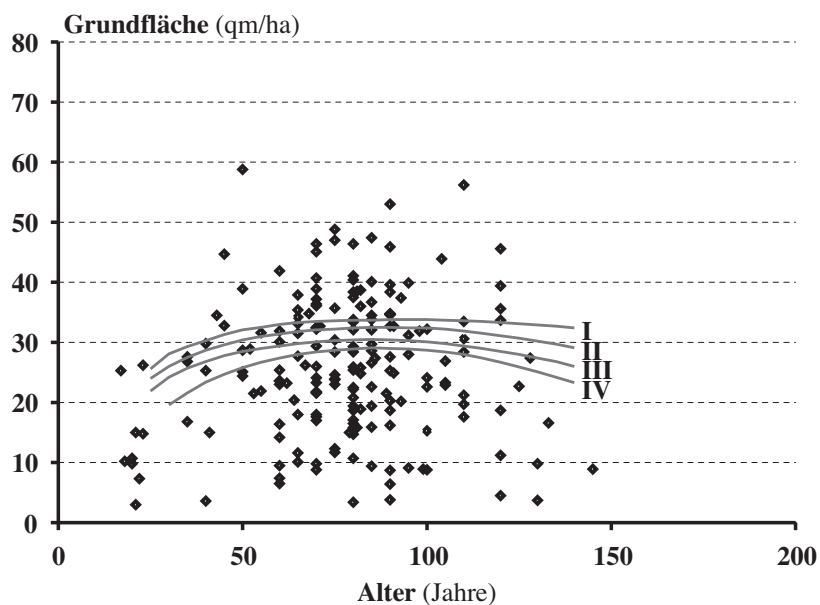


Abb. 6.1-9: Darstellung der Grundflächen über dem Alter in den Beständen der Stichprobeninventur, Region Südliches Albvorland. Zum Vergleich sind die Werte der WIEDEMANN-Ertragstafel (1943), I.-IV. Ertragsklasse, eingetragen.

Die mittleren Grundflächen aller Altersstufen liegen deutlich niedriger als im Keuperhügel- und senkenland (Abb. 6.1-9). Insbesondere in den Beständen mit einem Alter über 120 Jahre werden nur noch durchschnittliche Grundflächenwerte von 14.9 qm/ha erreicht.

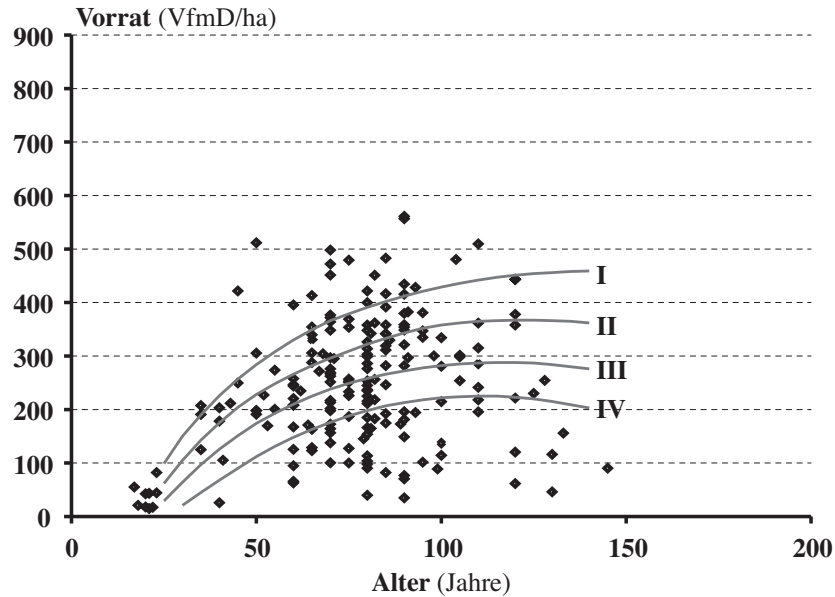


Abb. 6.1-10: Darstellung der Vorräte über dem Alter in den Beständen der Stichprobeninventur, Region Südliches Albvorland. Zum Vergleich sind die Werte der WIEDEMANN-Ertragstafel (1943), I.-IV. Ertragsklasse, eingetragen.

Dies drückt sich in einem entsprechend niedrigen Bestockungsgrad aus, der bei einem durchschnittlichen Alter von 132 Jahren nur noch 0.48 beträgt. Entsprechend den geringeren Grundflächen liegen auch die Vorratswerte niedriger. Bis zum durchschnittlichen Alter von 105 Jahren steigen die Werte auf 286 VfmD/ha an und sinken in der höchsten Altersstufe auf durchschnittlich 149 VfmD/ha ab (Abb. 6.1-10).

### 6.1.6 Frankenalb

Der nördliche Teil der Frankenalb, der den Großteil der Inventurpunkte dieser Region beinhaltet, zählt mit zu den trockensten Gebieten Bayerns. Die vergleichsweise hohen Niederschläge versickern in dem verkarsteten, dolinen- und hohlraumreichen Weißjura-Untergrund rasch und sind damit für Waldbäume nicht mehr verfügbar. Erst weit unterhalb der Albhochfläche tritt das Wasser als Karstquellen aus (ARBEITSKREIS STANDORTSKARTIERUNG, 1985).

Tab. 6.1-6: Anzahl Fälle, mittleres Alter, Bonität, Höhe des Grundflächenmittelstammes (HGV), Grundfläche (GV), Vorrat (VV), Bestockungsgrad (BG), laufender jährlicher Volumenzuwachs (IV) der Region Frankenalb für fünf Altersstufen. Datengrundlage: Daten aus der Stichprobeninventur (INV) und den langfristigen Versuchsflächen (VFL).

Alters- stufe (Jahre)	Anzahl Fälle		Alter (Jahre)		Bonität		HGV (m)		GV (qm/ha)		VV (VfmD/ha)		BG		IV (VfmD/ ha/a) VFL
	INV	VFL	INV	VFL	INV	VFL	INV	VFL	INV	VFL	INV	VFL	INV	VFL	
0-30	14		28		I.0		11.6		20.7		95		0.76		
31-60	58	8	47	50	I.6	II.1	16.0	15.6	25.0	25.2	174	175	0.82	0.86	8.6
61-90	168	8	77	72	II.5	I.5	19.4	22.0	28.1	24.6	241	248	0.86	0.77	10.4
91-120	95		101		II.8		21.0		26.4		246		0.82		
>120	31		138		III.1		22.6		21.3		212		0.76		

Die auf einem mäßig wechselfeuchten Feinlehm liegenden zwei Kontrollparzellen des Düngungsversuches Pegnitz 226 haben zu Beginn der Beobachtungsperiode eine recht gute durchschnittliche Bonität von II.1, die im weiteren Verlauf auf I.5 ansteigt (Tab. 6.1-6, Abb. 6.1-11). Die beiden Parzellen repräsentieren damit einen besseren Standort dieser Region. Die Bonitäten der Inventurpunkte zeigen eine von jüngeren zu älteren Beständen auffällig hohe Abnahme von 2.1 Ertragsklassen. Bei einem durchschnittlichen Alter von 138 Jahren wird nur eine Durchschnittshöhe von 22.6 m erreicht. Bei beiden Datenquellen finden sich nur geringe Grundflächen- und Vorratswerte, die schwerpunktmäßig unter der IV. Ertragsklasse liegen. Eine Ausnahme bildet nur die Vorratsentwicklung auf den Versuchsparzellen, die weitgehend dem Ertragsklassenverlauf folgt und in den letzten Perioden einen leicht steigenden Trend aufweist.

Die Entwicklung des laufenden jährlichen Volumenzuwachses zeigt dagegen einen auffällig positiv gerichteten Trend. Zwischen 69 und 74 Jahren werden Zuwächse von über 12 VfmD/ha/a erreicht, die in der Folgeperiode zwar leicht absinken, aber insgesamt auf einem hohen Niveau verweilen.

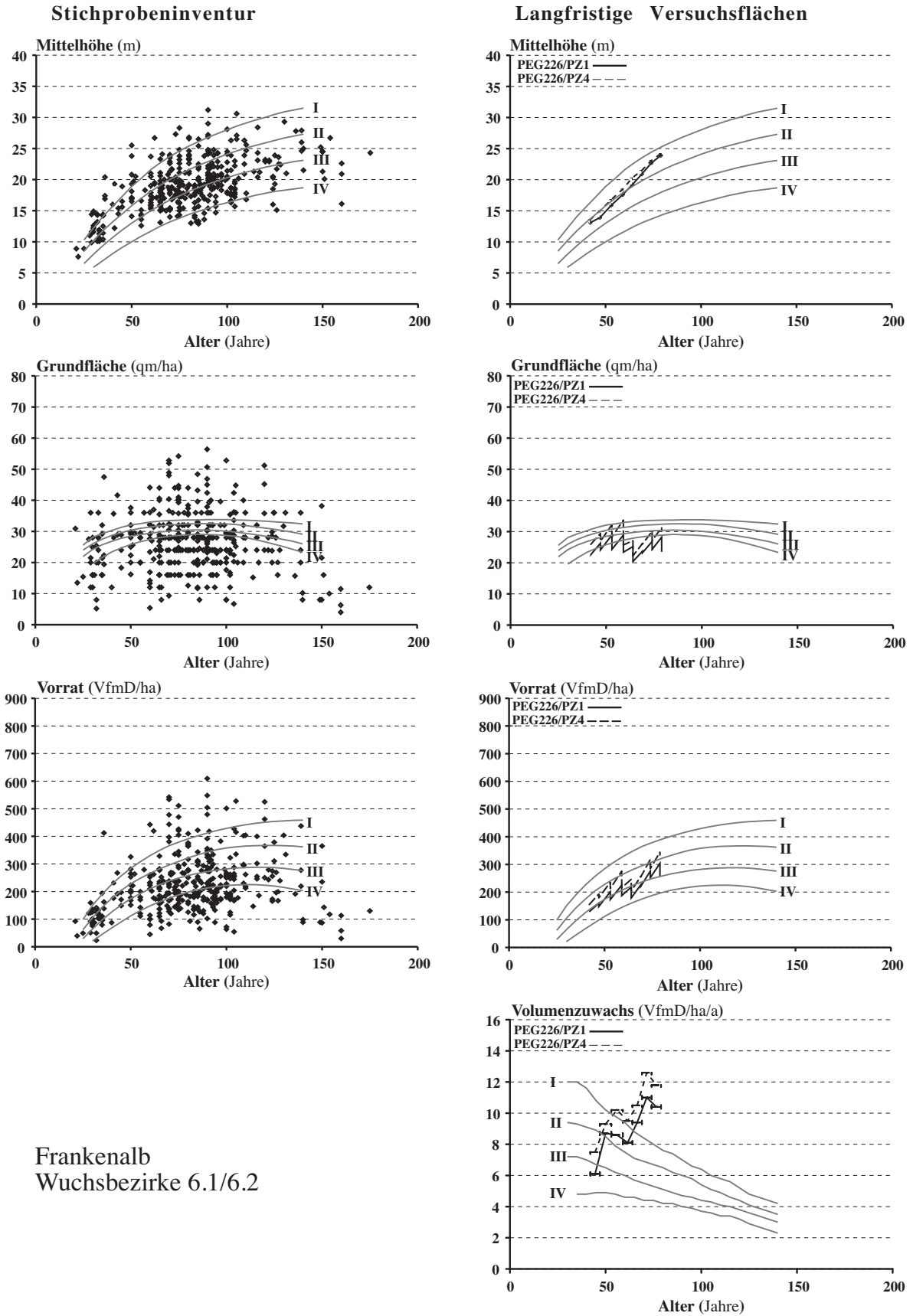


Abb. 6.1-11: Darstellung der Mittelhöhen, Grundflächen, Vorräte und des laufenden Volumenzuwachses der Stichprobendaten und Versuchsflächen über dem Alter, Region Frankenalb. Zum Vergleich sind die Werte der WIEDEMANN-Ertragstafel (1943), I.-IV. Ertragsklasse, eingetragen.

### 6.1.7 Alabdachung

Die Wuchsbezirke 6.4 und 6.5 gehören aufgrund ihres kontinentalen Klimateinschlages und den großflächigen Kreide- und Tertiärablagerungen zu einem Gebiet mit höherem Kiefernorkommen. Besonders interessant sind hier die Ergebnisse aus den acht Versuchspartellen der Versuchsfächen Bayreuth 51 und 52 sowie Burglengenfeld 235 und 240, weil damit das Wachstum auf zwei unterschiedlichen Standorten verglichen werden kann.

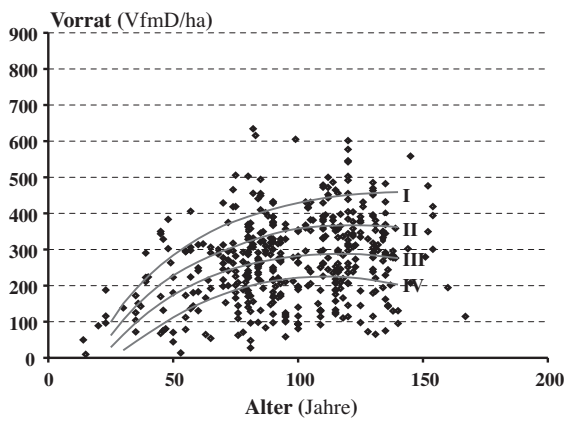
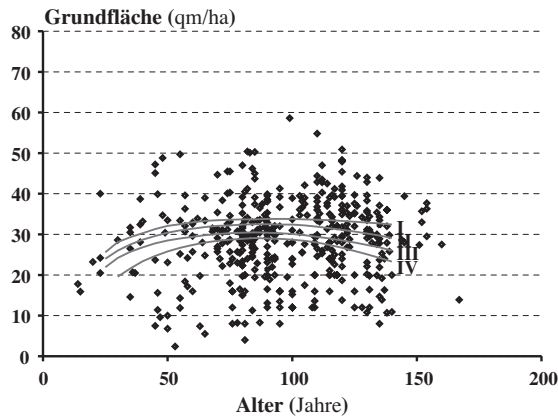
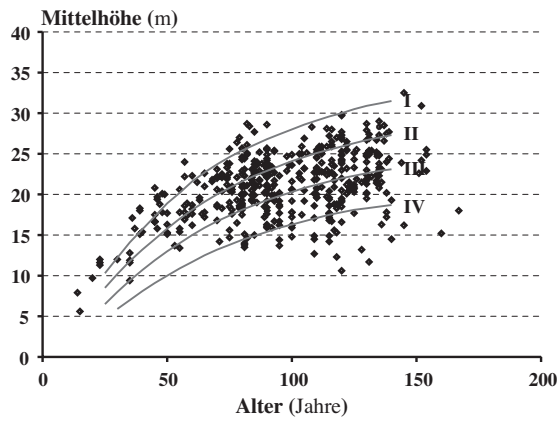
Tab. 6.1-7: Anzahl Fälle, mittleres Alter, Bonität, Höhe des Grundflächenmittelstammes (HGV), Grundfläche (GV), Vorrat (VV), Bestockungsgrad (BG), laufender jährlicher Volumenzuwachs (IV) der Region Alabdachung für fünf Altersstufen. Datengrundlage: Daten aus der Stichprobeninventur (INV) und den langfristigen Versuchsfächen (VFL).

Alters- stufe (Jahre)	Anzahl Fälle		Alter (Jahre)		Bonität		HGV (m)		GV (qm/ha)		VV (VfmD/ha)		BG		IV (VfmD/ ha/a)
	INV	VFL	INV	VFL	INV	VFL	INV	VFL	INV	VFL	INV	VFL	INV	VFL	VFL
0-30	7		21		0.2		10.0		24.3		98		0.97		
31-60	43	11	49	48	I.5	I.3	17.2	17.1	26.4	29.5	198	241	0.85	0.98	10.9
61-90	143	29	81	77	II.2	II.0	21.0	20.8	28.7	27.8	270	273	0.89	0.82	8.8
91-120	146	30	109	104	II.9	II.0	21.3	24.4	29.6	27.8	286	305	0.97	0.82	7.5
>120	87	7	134	134	II.9	0.0	23.1	36.3	28.5	34.2	296	492	1.02		5.7

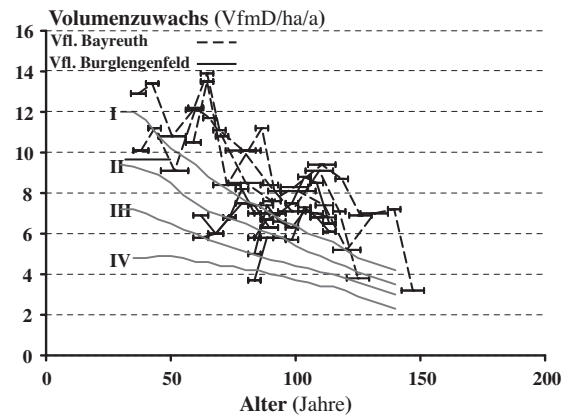
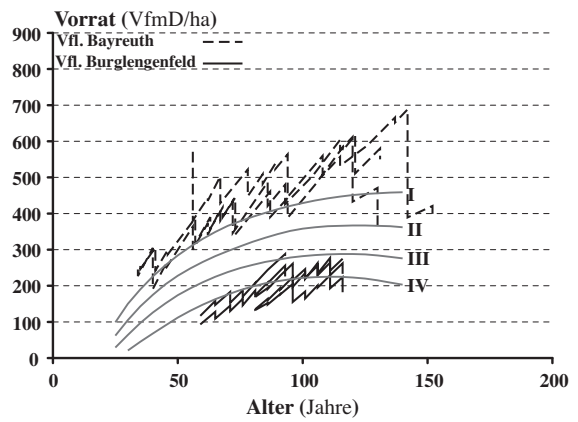
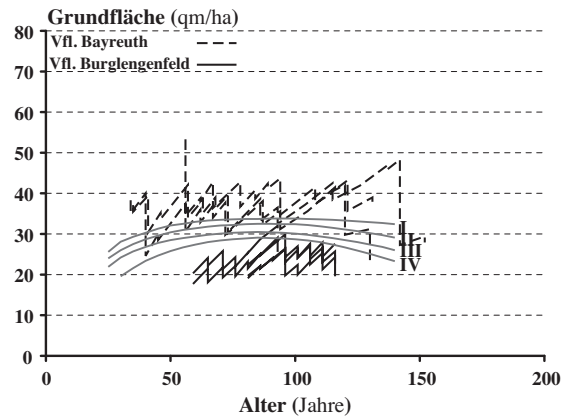
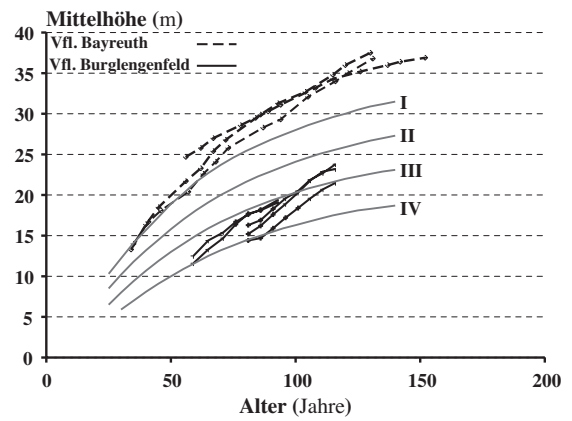
Die Höhen auf den Inventurpunkten in den älteren Altersstufen lassen durchschnittlich nur die Einordnung in die Ertragsklasse II.9 (Tab. 6.1-7, Abb. 6.1-12) zu. Wie in der Frankenalb ist jedoch eine hohe Differenz von fast drei Ertragsklassen zwischen den jungen und alten Beständen festzustellen. Die Höhenentwicklung der Versuchspartellen zeigt zwei vollkommen verschiedene Verläufe. Die Bestände der Versuchsfächen Bayreuth 51 und 52 stocken auf wechselfeuchten Schichtlehmen, während die Versuchsfächen Burglengenfeld 235 und 240 einem mäßig wechselfeuchten Feinlehm zuzuordnen sind (vgl. Tab. 3.2-2, S. 14). Letztere wurden vor der Versuchsanlage zudem stark streugenutzt, was eine starke Degradierung des Bodens nach sich zog (FOERSTER, 1990). Dieser Standortsunterschied lässt sich an den Höhen deutlich ablesen. Auf den mäßig frischen Standorten werden nur Werte zwischen der IV. und ca. II.5. Ertragsklasse erreicht, während auf dem wechselfeuchten nährstoffreichen Standort die Höhen schon zu Beginn der Beobachtungsperiode im Bereich der I. Ertragsklasse und im weiteren Verlauf weit oberhalb des Ertragstafelfächers liegen. In beiden Fällen ist ein Anstieg der Höhenbonität mit zunehmendem Alter zu erkennen, der auf den Bayreuther Versuchsfächen jedoch nicht so stark ausgeprägt ist.

Bei den Grundflächen- und Vorratswerten geben die Bayreuther Versuchsfächen einen Einblick in das Wuchspotential der Kiefer, wenn sie sich nicht mit ärmeren, schlechter wasserversorgten Böden begnügen muss. Trotz stärkerer Durchforstungen liegen die Grundflächenwerte über der I. Ertragsklasse und können Werte bis 50 qm/ha bzw. 700 VfmD/ha erreichen. Die Burglengenfelder Partellen zeigen großteils Werte unter der IV. Ertragsklasse und besitzen damit ein extrem niedriges Niveau.

**Stichprobeninventur**



**Langfristige Versuchsflächen**



Albabdachung  
Wuchsbezirke 6.4/6.5

Abb. 6.1-12: Darstellung der Mittelhöhen, Grundflächen, Vorräte und des laufenden Volumenzuwachses der Stichprobendaten und Versuchsflächen über dem Alter, Region Albabdachung. Zum Vergleich sind die Werte der WIEDEMANN-Ertragstafel (1943), I.-IV. Ertragsklasse, eingetragen.

Der Volumenzuwachs der Bayreuther Flächen erreicht meistens Werte über der I. Ertragsklasse, folgt jedoch dem typischen, von der WIEDEMANN- Ertragstafel vorgegebenen, abfallenden Alterstrend. Dagegen lässt der Volumenzuwachs auf dem Standort der beiden Burglengenfelder Versuchsflächen einen von einem niedrigen Niveau ausgehenden, mit dem Alter steigenden Trend erkennen, der erst in der letzten Beobachtungsperiode wieder absinkt. Ab einem Alter von ca. 100 Jahren zeigen die Burglengenfelder Versuchspartellen ähnliche Zuwachswerte wie die Bayreuther Bestände.

### 6.1.8 Oberfränkisches Triashügelland

Innerhalb dieser Region liegt die Versuchsanlage Kulmbach 53 mit einer nach B-Grad (Parzelle 2) und einer nach C- Grad (Parzelle 3) durchforsteten Parzelle. Der Versuch wurde schon 1900 angelegt und seitdem in regelmäßigen Abständen aufgenommen. Die Inventurpunkte sind hier nicht so zahlreich und liegen in erster Linie in höheren Altersstufen, lassen aber trotzdem aussagekräftige Folgerungen zu.

Tab. 6.1-8: Anzahl Fälle, mittleres Alter, Bonität, Höhe des Grundflächenmittelstammes (HGV), Grundfläche (GV), Vorrat (VV), Bestockungsgrad (BG), laufender jährlicher Volumenzuwachs (IV) der Region Oberfränkisches Triashügelland für fünf Altersstufen. Daten aus der Stichprobeninventur (INV) und den langfristigen Versuchsflächen (VFL).

Alters- stufe (Jahre)	Anzahl Fälle		Alter (Jahre)		Bonität		HGV (m)		GV (qm/ha)		VV (VfmD/ha)		BG		IV (VfmD/ ha/a) VFL
	INV	VFL	INV	VFL	INV	VFL	INV	VFL	INV	VFL	INV	VFL	INV	VFL	
0-30															
31-60	1	6	58	46	II.2	III.2	17.2	11.5	36.8	24.9	272	121	1.20	0.97	5.3
61-90	53	8	80	71	I.9	III.0	22.0	16.2	27.2	26.4	267	196	0.81	0.91	7.6
91-120	60	7	101	104	II.3	II.2	23.2	23.7	27.4	32.6	282	355	0.87	1.07	8.0
>120	46	5	136	130	II.6	I.2	24.4	29.7	28.0	33.1	304	448	0.96	1.07	10.5

Wie in allen Regionen spiegelt sich die Tendenz zu geringeren Bonitäten in höherem Alter in den Inventurdaten auch hier wieder. Wegen der fehlenden ersten Altersstufe ist dieser Trend jedoch nicht so stark ausgeprägt (Tab. 6.1-8, Abb. 6.1-13). Die Höhen der beiden Versuchspartellen liegen zu Beginn der Beobachtungsperiode unterhalb der III. Ertragsklasse, folgen bis 1958 (bis zum Alter von 98 Jahren) der Ertragstafelkurve und steigen dann bis zum Alter 135 (1995) auf Werte der I. Ertragsklasse.

Die zu Beginn des Beobachtungszeitraumes außergewöhnlich hohen Grundflächenwerte der Versuchspartellen schwanken in der folgenden Zeit aufgrund der Durchforstungen jedoch beträchtlich. Ab 1958 (98 Jahre) steigen sie, bedingt durch nur geringe Eingriffe im Alter zwischen 98 und 125 Jahren, stetig an und durchlaufen den Ertragstafelfächer, bis letztlich Werte über 40 qm/ha erreicht werden. In den beiden folgenden Beobachtungszeiträumen sind die Grundflächen durch stärkere Durchforstungen deutlich abgesenkt.



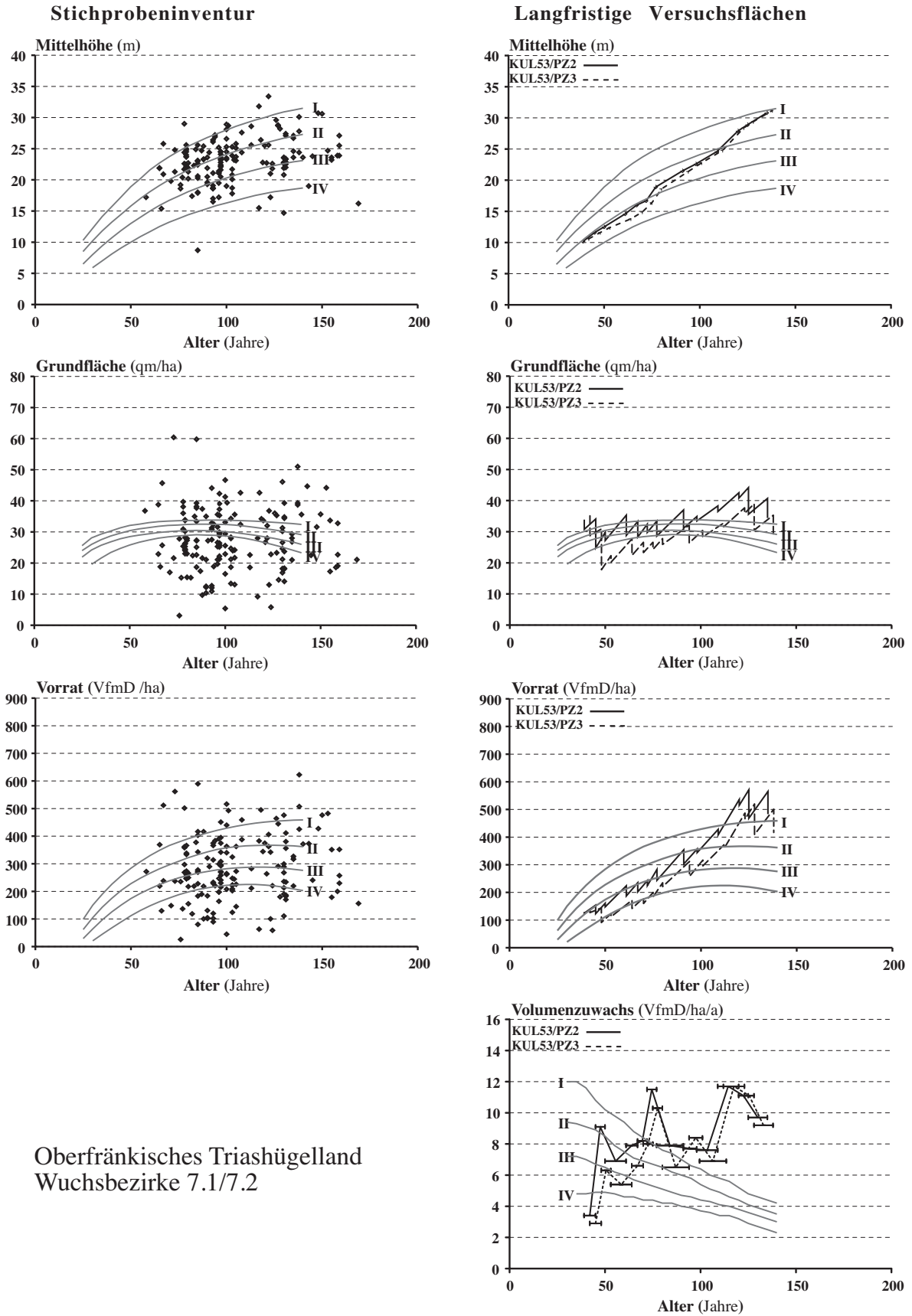


Abb. 6.1-13: Darstellung der Mittelhöhen, Grundflächen, Vorräte und des laufenden Volumenzuwachses der Stichprobendaten und Versuchsflächen über dem Alter, Region Oberfränkisches Triashügelland. Zum Vergleich sind die Werte der WIEDEMANN-Ertragstafel (1943), I.-IV. Ertragsklasse, eingetragen.

Der Vorrat folgt den starken Schwankungen der Grundfläche nicht so extrem, zeigt jedoch ebenfalls den steigenden Trend. Die durchschnittlichen Grundflächen und Vorräte der Inventurpunkte liegen im Vergleich zu den anderen Regionen recht hoch, was auf das Fehlen der ersten Altersstufe und die geringe Belegung der zweiten Altersstufe mit altersbedingt niedrigen Grundflächen- und Vorratswerten zurückzuführen ist.

Die Entwicklung des Volumenzuwachses ist starken Schwankungen unterworfen, folgt langfristig jedoch einem positiv gerichteten Trend. Im Alter von 77 Jahren erreicht die B-Grad-Parzelle Zuwachswerte von 11.5 VfmD/ha/a. Im Jahr 1937 (77 Jahre) und 1951 (91 Jahre) ist durch stärkere Entnahmen eine länger andauernde Zuwachsdepression zu beobachten, in deren Folge der Zuwachs jedoch wieder auf die Werte vor dem Zuwachseingriff ansteigt. Der Zuwachsrückgang der letzten Beobachtungsperiode ist ebenfalls durch stärkere Durchforstungen mit Entnahmemengen von 80-100 VfmD/ha erklärbar.

### 6.1.9 Oberpfälzer Becken- und Hügelland

Das Oberpfälzer Becken- und Hügelland gehört zu den Hauptvorkommensgebieten der Kiefer in Bayern. Hier findet sich dementsprechend auch die höchste Anzahl an Inventurpunkten und Versuchsflächen. Die Standorte wechseln zwischen trockenen, mäßig trockenen und mäßig frischen Sanden sowie mäßig wechselfeuchten lehmigen Sanden (vgl. Tab. 3.2-2, S. 14). Auffällig ist hier die Versuchsfläche Schnaittenbach 56. Im Jahr 1932 wurde sie als stark vernässt, voller Wasserlöcher und mit Wasser gefüllten Gräben beschrieben, die 1921 letztmals gesäubert wurden. Die Kiefer stand auf 30-50 cm hohen Sockeln. Wegen planwidriger Eingriffe und Verminderung der Flächengröße wurde diese Versuchsfläche 1983 aufgegeben. Weitere Besonderheit in diesem Gebiet ist die Versuchsfläche Weiden 611. Die 24 Parzellen wurden 1982 mit dem Ziel angelegt, das Kiefernwachstum bei unterschiedlicher Pflanzdichte und Durchforstung zu untersuchen.

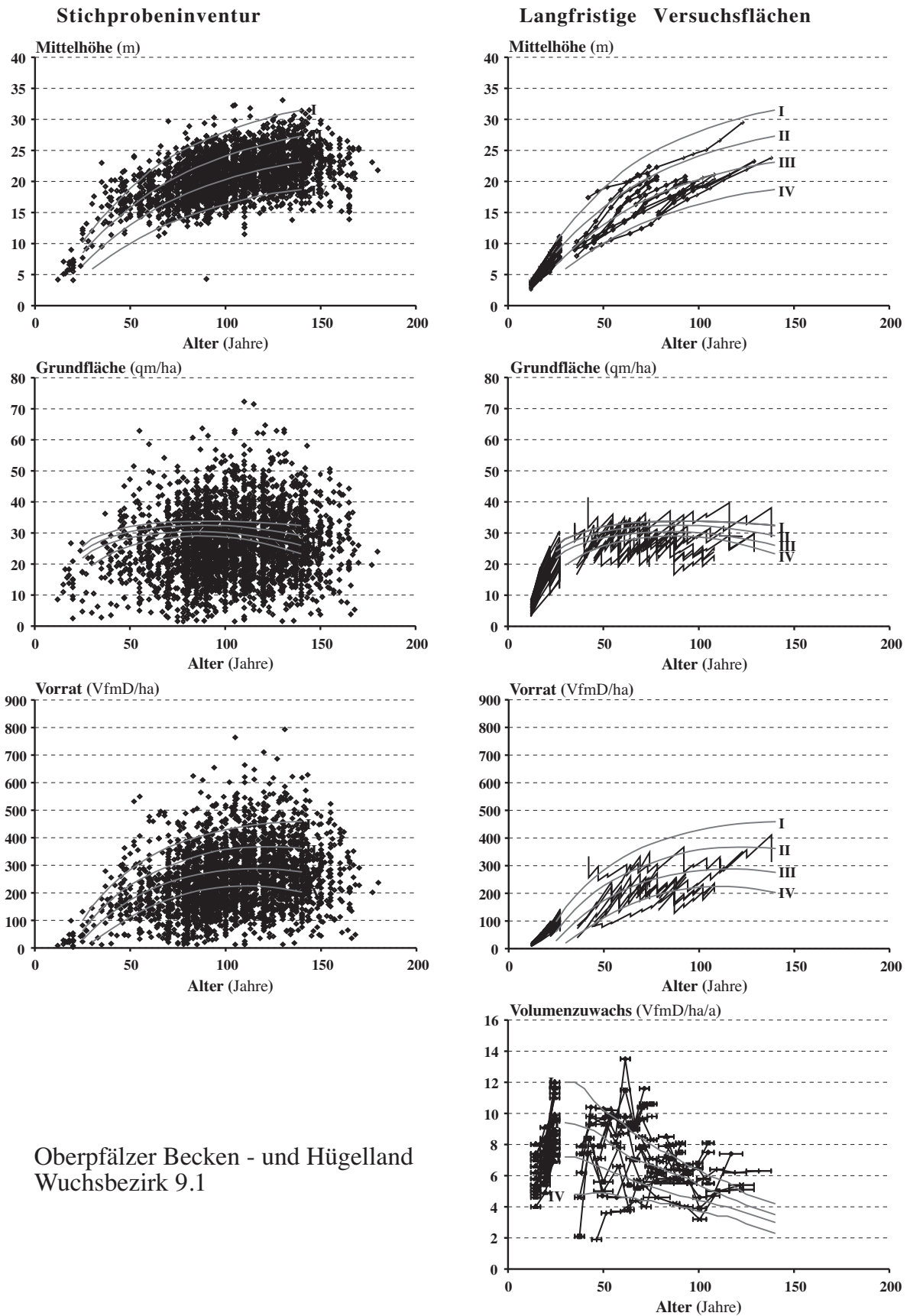
Tab. 6.1-9: Anzahl Fälle, mittleres Alter, Bonität, Höhe des Grundflächenmittelstammes (HGV), Grundfläche (GV), Vorrat (VV), Bestockungsgrad (BG), laufender jährlicher Volumenzuwachs (IV) der Region Oberpfälzer Becken- und Hügelland für fünf Altersstufen. Datengrundlage: Daten aus der Stichprobeninventur (INV) und den langfristigen Versuchsflächen (VFL).

Alters- stufe (Jahre)	Anzahl Fälle		Alter (Jahre)		Bonität		HGV (m)		GV (qm/ha)		VV (VfmD/ha)		BG		IV (VfmD/ ha/a)
	INV	VFL	INV	VFL	INV	VFL	INV	VFL	INV	VFL	INV	VFL	INV	VFL	VFL
0-30	29	96	22	20	I.1	I.9	8.2	6.3	15.0	14.0	47	54	0.70	0.73	7.4
31-60	166	38	51	48	I.5	II.9	17.5	12.5	24.2	24.4	189	139	0.76	0.92	7.6
61-90	869	60	81	74	II.6	II.8	19.4	17.6	24.9	25.6	214	204	0.77	0.86	7.3
91-120	1274	29	105	101	II.8	III.0	21.4	20.3	27.1	25.3	258	230	0.84	0.86	5.9
>120	845	5	136	129	III.0	II.5	22.8	24.3	27.6	27.9	279	296	0.89	1.01	5.9

Das Oberpfälzer Becken- und Hügelland gehört neben der Frankenalb und der Albabdachung zu den Regionen mit dem deutlichsten Sprung der durchschnittlichen Bonitäten bei den Inventurpunkten von den jungen zu den alten Beständen (Tab. 6.1-9, Abb. 6.1-14). Die Höhen der jüngsten Altersklasse zeigen um 1.9 Ertragsklassen höhere Werte. Aufgrund der Vielzahl von Versuchspartzen ist der deutlich steigende Trend bei der Bonitätsentwicklung zunächst nicht so deutlich wie in den anderen Regionen. Bei Betrachtung der einzelnen Höhenverläufe findet sich jedoch wieder das vertraute Bild steigender Höhenbonitäten mit zunehmendem Alter. Eine Ausnahme bildet nur die Parzelle der Versuchsfläche Schnaittenbach 56. Zu Beginn des Beobachtungszeitraumes wächst sie in Höhenbereiche, die über der I. Ertragsklasse liegen. Im weiteren Verlauf sinkt die Bonität durch einen sehr geringen Höhenzuwachs ab und steigt erst ab 1963, im Alter von 104 Jahren, wieder an, erreicht bis 1983 die I. Ertragsklasse jedoch nicht mehr. Grund für diesen Höhenverlauf kann der stark vernässte Standort sein. Die deutliche Verbesserung der Bonitäten erfolgt einige Jahre nach einem Fichtenunterbau, der durch den zunehmenden Wasserbedarf der unterständigen Fichten zu einer Verbesserung der Standortverhältnisse und damit zu steigenden Höhenwuchsleistungen der Kiefer geführt haben kann. Die Bonitäten der Weidener Versuchsflächen im jüngsten Altersbereich liegen mit Ausnahme der Versuchsfläche Schnaittenbach 56 deutlich über dem Höhenkurvenverlauf der übrigen Versuchsflächen bei einem Alter von ca. 40 Jahren. Der im Herbst 1973 92-jährige Vorbestand dieser Versuchsfläche wurde als Kiefernbaumholz der Bonität IV.0 beschrieben (UTSCHIG, 1993). Der Nachfolgebestand gibt mit Bonitäten zwischen der I. und III. Ertragsklasse einen deutlichen Hinweis auf verbesserte Wuchsbedingungen auf dieser Versuchsfläche.

Wie in den anderen Gebieten finden sich auch im Oberpfälzer Becken- und Hügelland extrem hohe Streuungen der Werte der Stichprobendaten. Die Grundflächen- und Vorratswerte steigen im Durchschnitt jedoch mit dem Alter an. 136 Jahre alte Bestände erreichen ca. 28 qm/ha bzw. ca. 280 VfmD/ha bei einem Bestockungsgrad von ca. 1.0.

Die Ergebnisse der Versuchspartzen bieten ebenfalls das typische Bild stark um den Ertragstafelfächer schwankender Werte. Die Weidener Parzellen decken aufgrund der unterschiedlichen Begründungsdichten und Durchforstungsstärken das gesamte Ertragstafelspektrum ab und liegen bei einigen Parzellen sogar unter der IV. Ertragsklasse. Die Vorratswerte entsprechen im Gesamtbild ungefähr dem Verlauf der Höhenentwicklung. Die Versuchsfläche Schnaittenbach 56 zeigt wiederum eine Besonderheit. Sowohl bei den Grundflächen- als auch bei den Vorratswerten werden, bedingt durch sehr hohe Stammzahlen, für das Alter sehr hohe Werte von über 40 qm/ha bzw. über 300 VfmD/ha geleistet, die in der weiteren Entwicklung jedoch stark abgesenkt werden.



Oberpfälzer Becken - und Hügelland  
Wuchsbezirk 9.1

Abb. 6.1-14: Darstellung der Mittelhöhen, Grundflächen, Vorräte und des laufenden Volumenzuwachses der Stichprobendaten und Versuchsflächen über dem Alter, Region Oberpfälzer Becken- und Hügelland. Zum Vergleich sind die Werte der WIEDEMANN-Ertragstafel (1943), I.-IV. Ertragsklasse, eingetragen.

Im Gesamtüberblick folgt die Entwicklung des Zuwachses dem als gesetzmäßig beschriebenen Altersverlauf (ASSMANN, 1961). Der Volumenzuwachs der Weidener Versuchsfläche steigt entsprechend der frühen Vollkraftphase stark an, sinkt in den höheren Altersstufen wieder ab und deckt den gesamten Ertragstafelfächer ab. Bei Betrachtung der einzelnen Versuchsflächen ergibt sich jedoch ein differenzierteres Bild. Es treten in erster Linie unterschiedlich stark ausgeprägte positive Trends auf. Da die Flächen bei der Anlage unterschiedliche Alter aufweisen und jeweils auf einem niedrigen Niveau beginnen, wird bei der Gesamtbetrachtung der Eindruck eines fallenden Trends erweckt. Dabei weisen nur die Parzellen der Versuchsflächen Bodenwöhr 239 und Pressath 241 einen wirklich negativ gerichteten Trend auf. Dieser lässt sich durch starke Zuwachseinbrüche, verursacht durch hohe Schneebruchschäden 1969/1970 bzw. 1979, erklären. In der Folge steigt bei diesen Parzellen der Zuwachs wieder deutlich an und schwächt den bisher negativen Wachstumstrend zwar ab, kann ihn jedoch noch nicht umkehren. In höheren Altern (über 100 Jahre) werden noch Volumenzuwächse von etwa 6 VfmD/ha/a erreicht.

### 6.1.10 Waldsassener Schiefergebiet/Wiesauer Senke

Im Teilwuchsbezirk Waldsassener Schiefergebiet (10.2/1) liegen drei Versuchspartellen, die auf ehemals stark streugenutzten Böden angelegt wurden, um Düngungseffekte auf das Kiefernwachstum zu untersuchen (FOERSTER, 1990). Die Daten der Stichprobeninventur liegen hauptsächlich in den höheren Altersstufen.

Tab. 6.1-10: Anzahl Fälle, mittleres Alter, Bonität, Höhe des Grundflächenmittelstammes (HGV), Grundfläche (GV), Vorrat (VV), Bestockungsgrad (BG), laufender jährlicher Volumenzuwachs (IV) der Region Waldsassener Schiefergebiet für fünf Altersstufen. Datengrundlage: Daten aus der Stichprobeninventur (INV) und den langfristigen Versuchsflächen (VFL).

Alters- stufe (Jahre)	Anzahl Fälle		Alter (Jahre)		Bonität		HGV (m)		GV (qm/ha)		VV (VfmD/ha)		BG		IV (VfmD/ ha/a) VFL
	INV	VFL	INV	VFL	INV	VFL	INV	VFL	INV	VFL	INV	VFL	INV	VFL	
0-30															
31-60	1	6	60	56	II.5	III.9	16.5	11.3	41.6	25.0	299	128	1.40	0.96	4.6
61-90	28	26	81	78	II.6	III.4	19.8	16.0	26.4	23.0	232	168	0.79	0.81	8.1
91-120	60	22	106	101	II.6	III.4	22.5	18.6	28.6	23.3	282	198	0.87	0.82	8.5
>120	49	3	148	122	II.8	II.8	24.2	22.8	27.5	22.6	294	238	0.82	0.82	8.5

Trotz der fehlenden ersten beiden Altersstufen bei den Werten der Inventurpunkte verschlechtert sich die Höhenwuchsleistung älterer Bestände um 0.3 Ertragsklassen (Tab. 6.1-10, Abb. 6.1-15). Die Höhen der Versuchspartellen liegen im jüngeren Alter deutlich unter denen der Inventurpunkte. Sie erreichen nur Werte der IV. Ertragsklasse, folgen mit zunehmendem Alter jedoch einem stark positiv gerichteten Trend.

Die bis zum Ende des zweiten Weltkrieges andauernde intensive Streunutzung und das arme Ausgangsgestein bedingen dieses geringe Ausgangsniveau. Alle drei zuletzt im Frühjahr 2000 aufgenommenen Versuchsflächen erreichen bei dieser Aufnahme unabhängig vom Alter eine Bonität um II.5, was ungefähr der Durchschnittsbonität der entsprechend alten Bestände aus der Stichprobeninventur nahe kommt.

Wegen unterlassener Durchforstungsmaßnahmen steigen die Grundflächen zu Beginn des Beobachtungszeitraumes beträchtlich an, werden durch einen starken Eingriff (Entnahmemengen über 80 VfmD/ha) jedoch weit unter die IV. Ertragsklasse abgesenkt. Im weiteren Verlauf verbleiben sie auf dem niedrigen Niveau. Die Vorratswerte zeigen ein ähnliches Bild. Bis zu einem mittleren Alter von 101 Jahren werden bei einem durchschnittlichen Bestockungsgrad von 0.82 nur Werte bis 198 VfmD/ha erreicht.

Der Volumenzuwachs weist bei allen Versuchspartzen einen langfristig stark ansteigenden Trend auf. Die Zuwachseinbrüche zwischen 64 und 71 Jahren bzw. 96 und 101 Jahren sind durch den ersten stärkeren Eingriff auf diesen Parzellen bedingt. Danach steigen die Zuwächse unabhängig vom Alter vehement an, bis sie Werte von circa 11 VfmD/ha/a erreichen. Bei der jüngsten Aufnahme im Jahr 2000 sinkt der Zuwachs wieder ab, jedoch wird der positiv gerichtete langfristige Trend bis jetzt nicht unterbrochen.

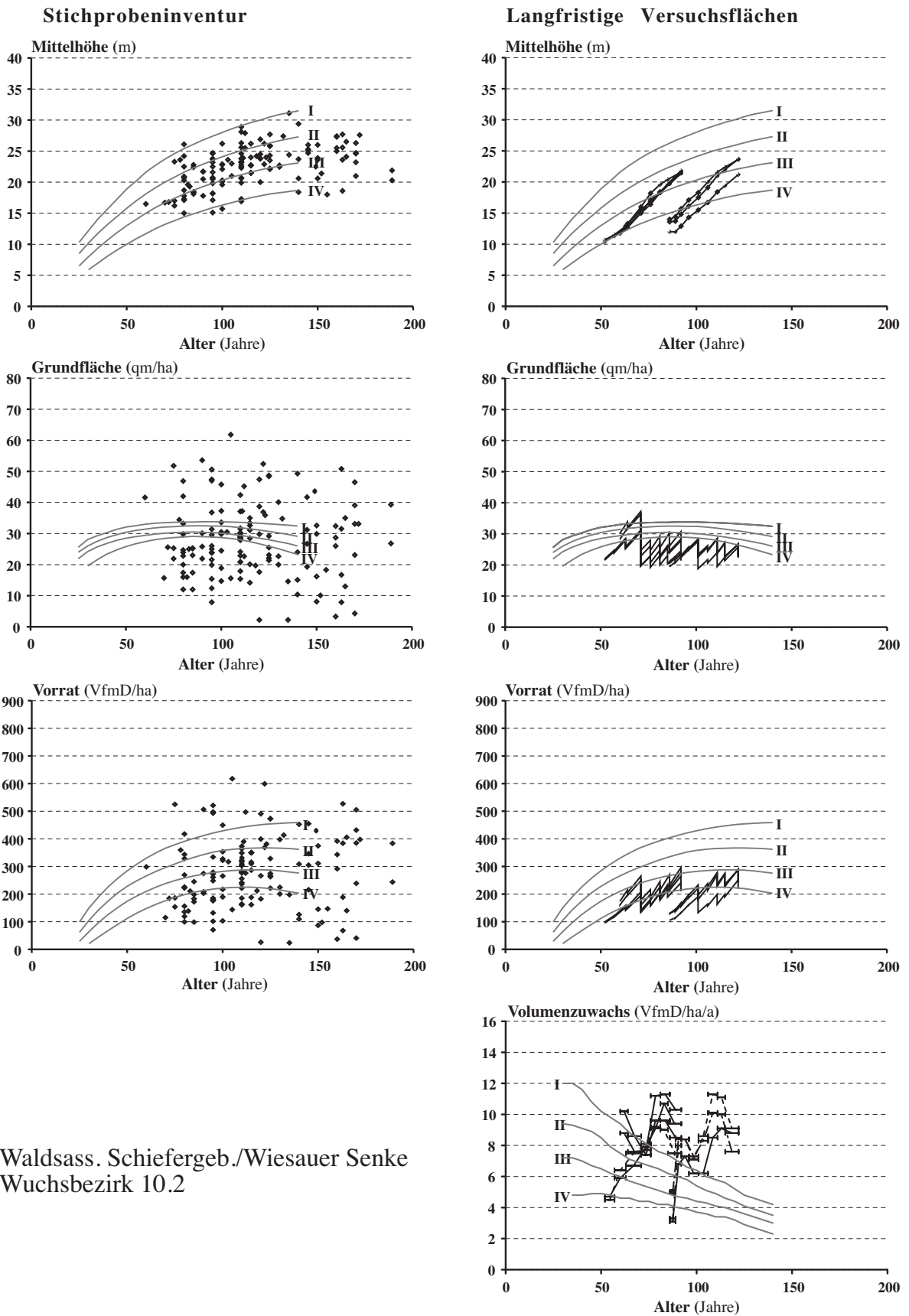


Abb. 6.1-15: Darstellung der Mittelhöhen, Grundflächen, Vorräte und des laufenden Volumenzuwachses der Stichprobendaten und Versuchsflächen über dem Alter, Region Waldsass. Schiefergeb./Wiesauer Senke. Zum Vergleich sind die Werte der WIEDEMANN-Ertragstafel (1943), I.-IV. Ertragsklasse, eingetragen.



### 6.1.11 Münchner Schotterebene

Bedingt durch höhere Niederschläge in diesem südlichen Teil Bayerns ist das Klima für das Waldwachstum recht günstig (ARBEITSKREIS STANDORTSKARTIERUNG, 1985), was sich auch in den guten durchschnittlichen Bonitäten der Kiefer ausdrückt (Tab. 6.1-11, Abb. 6.1-16).

Tab. 6.1-11: Anzahl Fälle, mittleres Alter, Bonität, Höhe des Grundflächenmittelstammes (HGV), Grundfläche (GV), Vorrat (VV), Bestockungsgrad (BG), laufender jährlicher Volumenzuwachs (IV) der Region Münchner Schotterebene für fünf Altersstufen. Datengrundlage: Daten aus der Stichprobeninventur (INV).

Alters- stufe (Jahre)	Anzahl Fälle		Alter (Jahre)		Bonität		HGV (m)		GV (qm/ha)		VV (VfmD/ha)		BG		IV (VfmD/ ha/a)
	INV	VFL	INV	VFL	INV	VFL	INV	VFL	INV	VFL	INV	VFL	INV	VFL	INV
0-30	76		23		1.3		8.7		21.1		71		0.84		
31-60	21		42		0.7		17.5		24.8		192		0.79		
61-90	5		67		0.8		23.4		30.4		318		0.94		
91-120															
>120															

Zum erstenmal zeigt sich auch bei den Ergebnissen der Inventurpunkte eine Verbesserung der durchschnittlichen Bonitäten mit zunehmendem Alter, was jedoch durch die geringe Datenzahl insbesondere in den höheren Altersstufen bedingt sein kann. Im Alter von durchschnittlich 67 Jahren werden schon Höhenwerte von 23.4 m erreicht.

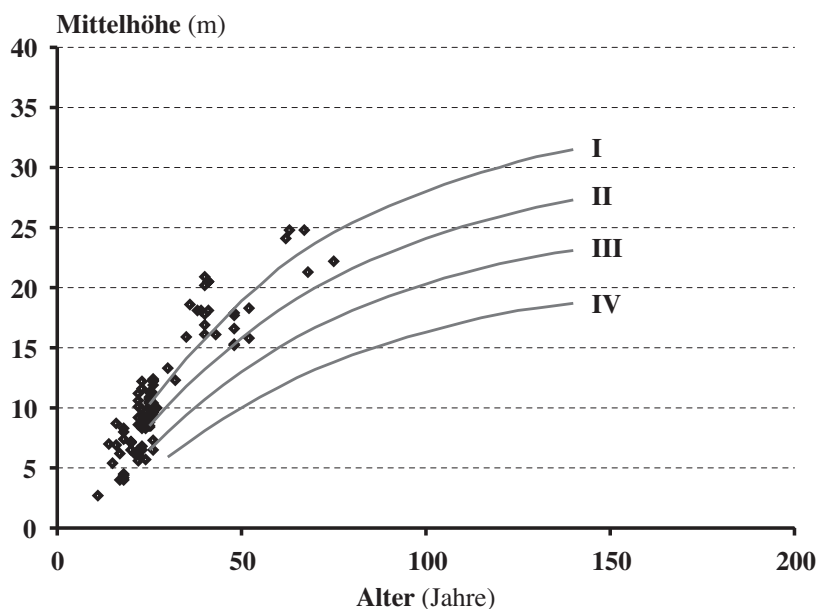


Abb. 6.1-16: Darstellung der Mittelhöhen über dem Alter in den Beständen der Stichprobeninventur, Region Münchner Schotterebene. Zum Vergleich sind die Werte der WIEDEMANN-Ertragstafel (1943), I.-IV. Ertragsklasse, eingetragen.

Die Grundflächenwerte streuen auch hier sehr stark. Dabei werden jedoch im Durchschnitt in jüngeren Beständen schon Werte von über 20 qm/ha erreicht (Abb. 6.1-17), die bis zur Altersstufe 61-90 Jahre auf über 30 qm/ha ansteigen.

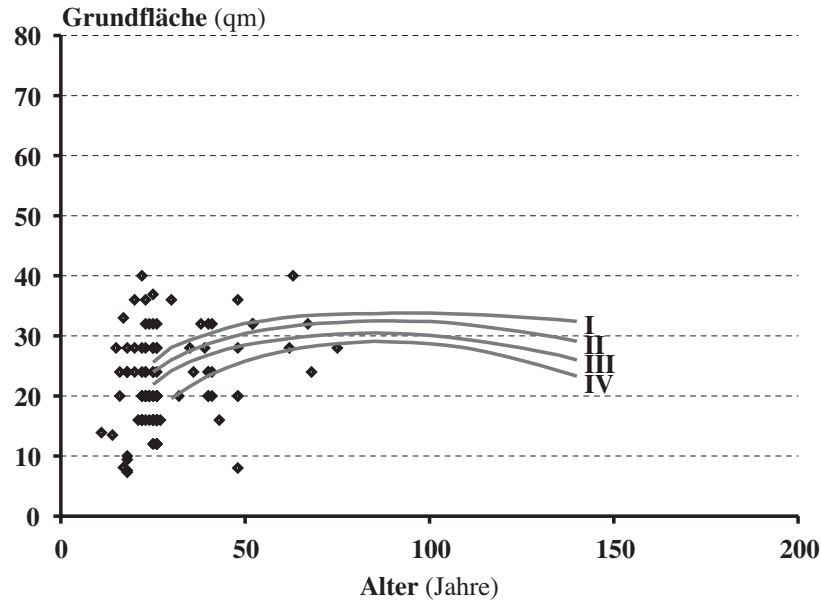


Abb. 6.1-17: Darstellung der Grundflächen über dem Alter in den Beständen der Stichprobeninventur, Region Münchner Schotterebene. Zum Vergleich sind die Werte der WIEDEMANN-Ertragstafel (1943), I.-IV. Ertragsklasse, eingetragen.

Die Vorratswerte dieser Region konzentrieren sich im Alter bis 30 Jahren zwischen der I. und II. Ertragsklasse (Abb. 6.1-18) mit einem durchschnittlichen Wert von 71 VfmD/ha. Bis zu einem Alter von 67 Jahren steigen die Vorräte bis auf 318 VfmD/ha.

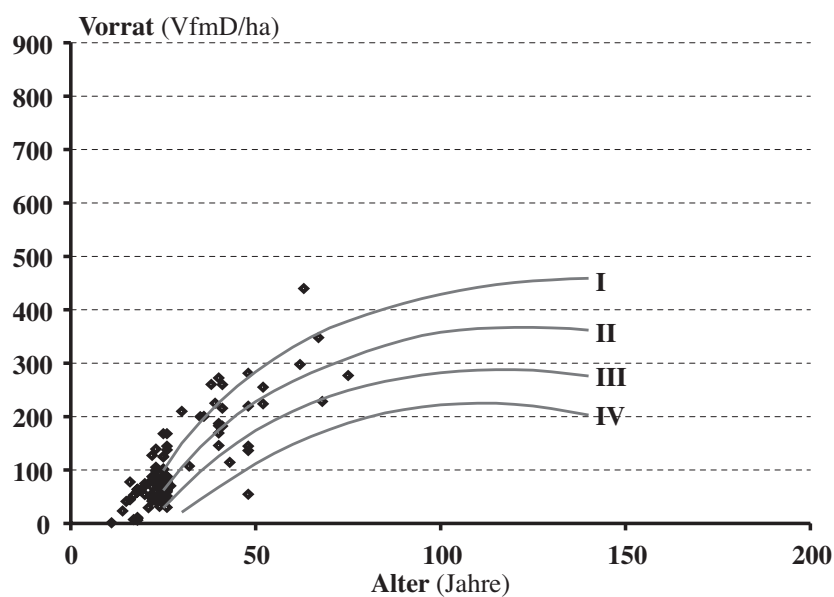


Abb. 6.1-18: Darstellung der Vorräte über dem Alter in den Beständen der Stichprobeninventur, Region Münchner Schotterebene. Zum Vergleich sind die Werte der WIEDEMANN-Ertragstafel (1943), I.-IV. Ertragsklasse, eingetragen.

## 6.2 Vergleichende Betrachtung der Regionen

Der folgende Abschnitt stellt die Ergebnisse aus den verschiedenen Regionen gegenüber und vergleicht einige wichtige Parameter anhand der Daten aus der permanenten Stichprobeninventur.

### 6.2.1 Mittelhöhe

Der Vergleich der Mittelhöhen ermöglicht Aussagen über das Wuchspotential der Kiefer innerhalb der Regionen. Hierbei können Klimafaktoren, das unterschiedliche Ausgangsgestein, das zur Entwicklung verschiedenartigster Bodentypen führt, oder anthropogene Einflüsse (Streunutzung, Waldweide) für das Kiefernwachstum ausschlaggebend sein. Für einen optimalen Vergleich der Höhen über dem Alter werden die Werte der einzelnen Regionen mit Hilfe der Wachstumsfunktion von KORF (vgl. Abschnitt 5.1.1, Gleichung 5.1-1, S. 29) ausgeglichen. Die geschätzten Parameter und Bestimmtheitsmaße finden sich in Tab. 6.2-1. Das geringe Bestimmtheitsmaß für die Region Oberfränkisches Triashügelland ist durch das vergleichsweise geringe Datenmaterial und die große Streuung der Höhenwerte bedingt.

Tab. 6.2-1: Geschätzte Parameter und Bestimmtheitsmaße ( $R^2$ ) beim Ausgleich der Mittelhöhe durch die Wachstumsfunktion von KORF; Datenquelle: Ergebnisse aus der Stichprobeninventur.

Region	Geschätzte Parameter			$R^2$
	a	b	c	
Östliche Vorrhön (3.1/2)	31.8100	33.7207	1.0100	0.67
Keuperhügelland (5.4;5.5;5.6)	30.6177	20.0757	0.9301	0.46
Keupersenkenland (5.5/1;5.6/1)	23.7493	513.2515	1.9643	0.21
Südliches Albvorland (5.8)	27.0113	95.4289	1.4450	0.56
Frankenalb (6.1;6.2)	27.8899	15.5918	0.8697	0.39
Albabdachung (6.4;6.5)	25.9609	23.5141	1.0536	0.28
Oberfränkisches Triashügelland (7.1;7.2)	26.6527	122.7191	1.4716	0.09
Oberpfälzer Becken- und Hügelland (9.1)	30.2940	12.0926	0.7616	0.31
Waldsassener Schiefergeb./Wiesauer Senke (10.2)	25.4390	28831.7427	2.6569	0.29
Münchner Schotterebene (13.2)	38.0715	30.8581	0.9769	0.85

In Abb. 6.2-1 ist als Beispiel der Ausgleich der Höhenwerte für die Region Albabdachung dargestellt. Die Kurve bildet die durchschnittliche Höhenentwicklung über dem Alter gut ab.

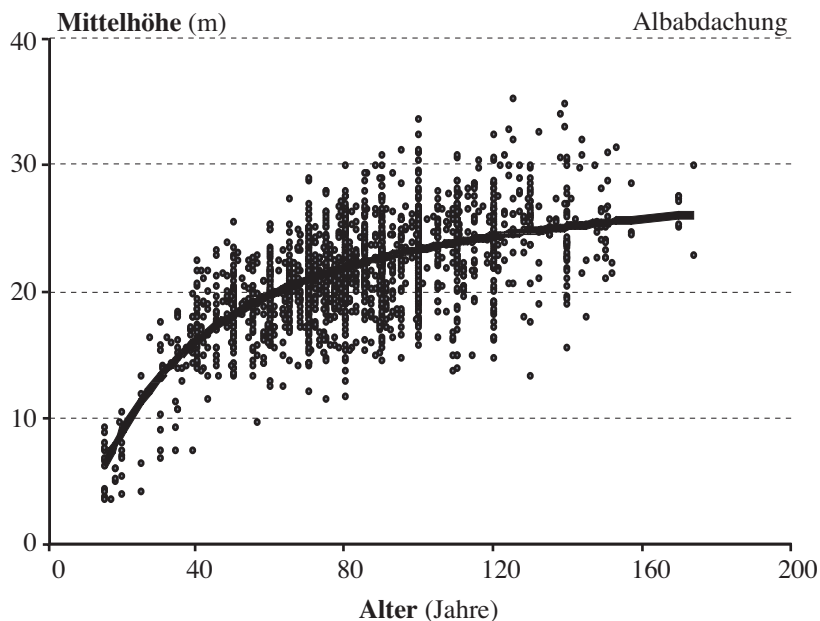


Abb. 6.2-1: Nichtlinearer Ausgleich der Mittelhöhen mit der KORF-Funktion für die Region Alabdaching; Datenquelle: Ergebnisse aus der Stichprobeninventur.

Das Ergebnis der einzelnen Regionen verdeutlicht noch einmal die in den Abschnitten 6.1.1 bis 6.1.11 aufgezeigten Tendenzen (Abb. 6.2-2). In jüngeren Altern liegen die Höhenwerte zwischen der I. und II. Ertragsklasse, schwenken dann auf ein niedrigeres Niveau ein und liegen im Alter 140 etwa zwischen der II.5 und III. Ertragsklasse.

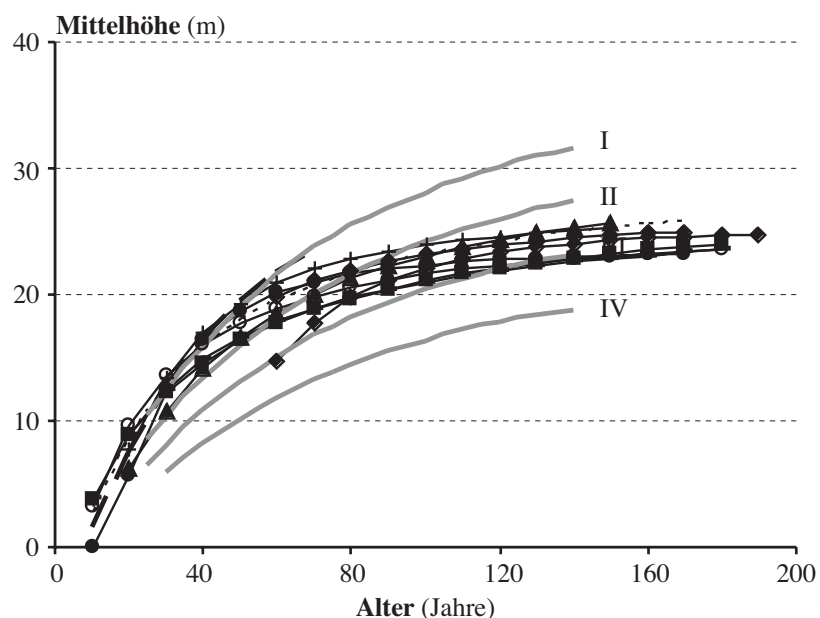


Abb. 6.2-2: Schätzfunktionen der Mittelhöhen für die einzelnen Regionen. Zum Vergleich sind die Werte der WIEDEMANN- Ertragstafel (1943), I.-IV. Ertragsklasse eingetragen. Datenquelle: Ergebnisse aus der Stichprobeninventur.

Das unterschiedliche Höhenniveau der Regionen zeigt Tabelle 6.2-3 für jüngere (Alter 50 Jahre) und ältere Bestände (Alter 100 Jahre und 140 Jahre). In der Östlichen Vorrhön, im Südlichen Albvorland und im Keuperhügelland liegen die Höhen im Alter 140 über 25 m, was die besseren Wuchsbedingungen in diesen Gebieten ausdrückt. Die geringsten Höhenwuchsleistungen zeigen sich auf der Frankenalb, der Alabdachung und im Oberpfälzer Becken- und Hügelland.

Tab. 6.2-2: Geschätzte Mittelhöhen im Alter 50, 100 und 140 Jahre für die einzelnen Regionen; Datenquelle: Ergebnisse aus der Stichprobeninventur.

Region	Mittelhöhe (m)		
	50 Jahre	100 Jahre	140 Jahre
Östliche Vorrhön (3.1/2)	16.6	23.1	25.3
Keuperhügelland (5.4;5.5;5.6)	18.1	23.2	25.0
Keupersenkenland (5.5/1;5.6/1)	18.8	22.4	23.0
Südliches Albvorland (5.8)	19.3	23.9	25.0
Frankenalb (6.1;6.2)	16.6	21.0	22.6
Alabdachung (6.4;6.5)	17.7	21.6	22.8
Oberfränkisches Triashügelland (7.1;7.2)		23.2	24.5
Oberpfälzer Becken- und Hügelland (9.1)	16.4	21.1	22.9
Waldsassener Schiefergeb./Wiesauer Senke (10.2)		22.1	24.0
Münchner Schotterebene (13.2)	19.3		

### 6.2.2 Durchschnittliche Alter

Mit Ausnahme der Region Münchner Schotterebene (im Durchschnitt 29 Jahre) schwanken die durchschnittlichen Alter zwischen 72 und 116 Jahren (Tab. 6.2-3). Alte Bestände (durchschnittliche Alter über 100 Jahren) finden sich in den Regionen Oberfränkisches Triashügelland, Oberpfälzer Becken- und Hügelland und im Waldsassener Schiefergebiet/Wiesauer Senke.

Tab. 6.2-3: Durchschnittswerte, Minimum und Maximum der auftretenden Alter in den Regionen; Datenquelle: Ergebnisse aus der Stichprobeninventur.

Region	Durchschnitt (Jahre)	Minimum (Jahre)	Maximum (Jahre)
Östliche Vorrhön (3.1/2)	84	19	150
Keuperhügelland (5.4;5.5;5.6)	85	15	174
Keupersenkenland (5.5/1;5.6/1)	85	10	166
Südliches Albvorland (5.8)	77	17	145
Frankenalb (6.1;6.2)	82	21	175
Alabdachung (6.4;6.5)	97	14	167
Oberfränkisches Triashügelland (7.1;7.2)	104	58	169
Oberpfälzer Becken- u. Hügelland (9.1)	103	12	180
Waldsassener Schiefergebiet/Wiesauer Senke (10.2)	116	60	189
Münchner Schotterebene (13.2)	29	11	75

Das Datenmaterial beginnt bei einem Alter zwischen 11 bis 20 Jahren und endet zwischen 145 bis 189 Jahren und zeigt damit in fast jeder Region eine hohe Altersspanne.

Nur im Oberfränkischen Triashügelland und Waldsassener Schiefergebiet/Wiesauer Senke finden sich keine jüngeren Bestände, während in der Münchner Schotterebene nur ein maximales Alter von 75 Jahren erreicht wird.

### 6.2.3 Durchschnittliche Ertragsklassen

Für den Vergleich der durchschnittlichen Bonitäten (nach WIEDEMANN, 1943, mäßige Durchforstung) werden die auftretenden Ertragsklassen in 5 Stufen eingeteilt (Tab. 6.2-4, Abb. 6.2-3). Bessere Bonitäten zeigen sich in den nordwestlichen Gebieten Bayerns (Keuperhügelland und Keupersenkenland) und im Südlichen Albvorland. Ein geringeres Wuchspotential mit durchschnittlichen Bonitäten unter II.5 findet sich im Oberpfälzer Becken- und Hügelland und auf der Albabdachung. Durch die hohe Standortvielfalt ist das Spektrum der vorkommenden Bonitäten in fast jeder Region sehr hoch. Bis auf die Münchner Schotterebene mit der maximalen Ertragsklasse von III.2 gibt es überall Ertragsklassen unter 0.0 und über IV.0. Durch die fehlenden jungen Bestände im Oberfränkischen Triashügelland und Waldsassener Schiefergebiet/Wiesauer Senke bzw. durch die fehlenden alten Bestände in der Münchner Schotterebene ist ein Vergleich der durchschnittlichen Bonitäten in diesen Regionen nur unter Vorbehalt möglich.

Tab. 6.2-4: Durchschnittswerte, Minimum und Maximum der Bonitäten nach WIEDEMANN (1943) in den Regionen; Datenquelle: Ergebnisse aus der Stichprobeninventur.

Region	Durchschnitt	Minimum	Maximum
Östliche Vorrhön (3.1/2)	II.1	-I.0	IV.5
Keuperhügelland (5.4;5.5;5.6)	II.0	-I.0	V.1
Keupersenkenland (5.5/1;5.6/1)	II.1	-II.0	V.2
Südliches Albvorland (5.8)	I.6	-II.0	IV.7
Frankenalb (6.1;6.2)	II.4	-I.0	IV.7
Albabdachung (6.4;6.5)	II.5	-0.4	V.7
Oberfränkisches Triashügelland (7.1;7.2)	II.3	-0.1	V.7
Oberpfälzer Becken- u. Hügelland (9.1)	II.7	-II.0	VII.0
Waldsassener Schiefergebiet/Wiesauer Senke (10.2)	II.6	0.8	IV.2
Münchner Schotterebene (13.2)	I.1	-0.8	III.2

Die typische Bonitätsverteilung innerhalb der verschiedenen Alter zeigt in allen Regionen abnehmende Bonitäten mit zunehmendem Alter (vgl. Abschnitte 6.1.1 bis 6.1.11). Fehlende niedrige Altersstufen führen demnach zu einer negativen und fehlende hohe Altersstufen zu einer positiven Verschiebung der mittleren Ertragsklassen.

**Ertragsklassen nach WIEDEMANN (1943, mäßige Durchforstung)**

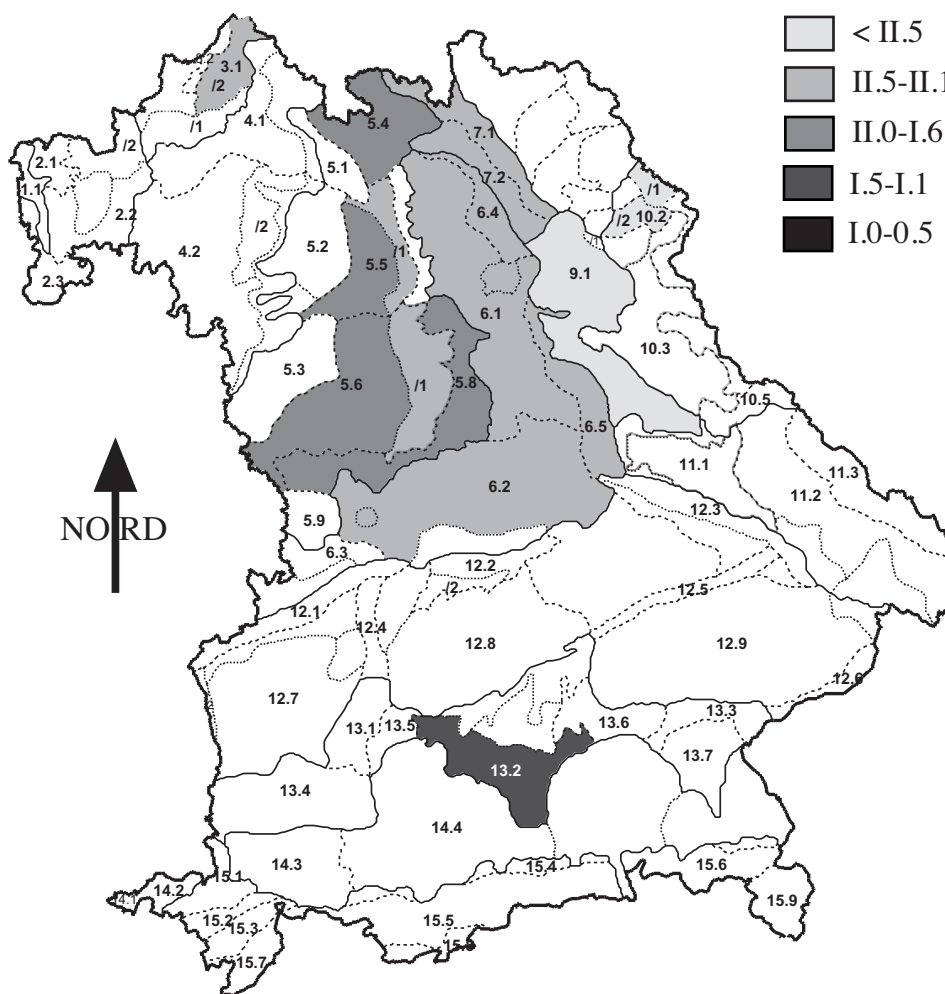


Abb. 6.2-3: Karte mit der Darstellung der durchschnittlichen Ertragsklassen in den untersuchten Regionen; Datenquelle: Ergebnisse aus der Stichprobeninventur.

**6.2.4 Bestandesgrundflächen, Bestockungsgrade und Vorräte**

Die durchschnittlichen Grundflächen schwanken zwischen 22.3 und 30.4 qm/ha (Tab. 6.2-5, Abb. 6.2-4), wobei die höchsten Werte im Keuperhügelland und in der Östlichen Vorrhön (über 30 qm/ha) anzutreffen sind. Hohe Grundflächenwerte mit durchschnittlich 28.7 qm/ha erreichen die Kiefernbestände im Keupersenkenland und auf der Albabdachung. Einen wesentlich geringeren Wert mit 22.3 qm/ha zeigt die Münchner Schotterebene aufgrund des geringen Durchschnittsalters. Die Bandbreite der vorkommenden Werte ist beträchtlich. So liegen die minimal auftretenden Werte überall unter 10 qm/ha, während die Maximalwerte mit Ausnahme der Münchner Schotterebene 50 qm/ha erreichen können.



Tab. 6.2-5: Durchschnittswerte, Minimum und Maximum der Grundflächen/ha in den Regionen; Datenquelle: Ergebnisse aus der Stichprobeninventur.

Region	Durchschnitt (qm/ha)	Minimum (qm/ha)	Maximum (qm/ha)
Östliche Vorrhön (3.1/2)	30.3	6.0	66.7
Keuperhügelland (5.4;5.5;5.6)	30.4	2.1	70.2
Keupersenkenland (5.5/1;5.6/1)	28.7	1.5	68.4
Südliches Albvorland (5.8)	25.8	3.0	58.8
Frankenalb (6.1;6.2)	26.3	4.0	56.4
Alabdachung (6.4;6.5)	28.7	2.4	58.6
Oberfränkisches Triashügelland (7.1;7.2)	27.5	3.1	60.4
Oberpfälzer Becken- u. Hügelland (9.1)	26.4	1.5	72.3
Waldsassener Schiefergebiet/Wiesauer Senke (10.2)	27.8	2.2	61.8
Münchener Schotterebene (13.2)	22.3	7.3	40.0

Der durchschnittliche Bestockungsgrad schwankt zwischen 0.77 und 0.95 (Tab. 6.2-6). Die mit Abstand geringste Dichte findet sich im Südlichen Albvorland.

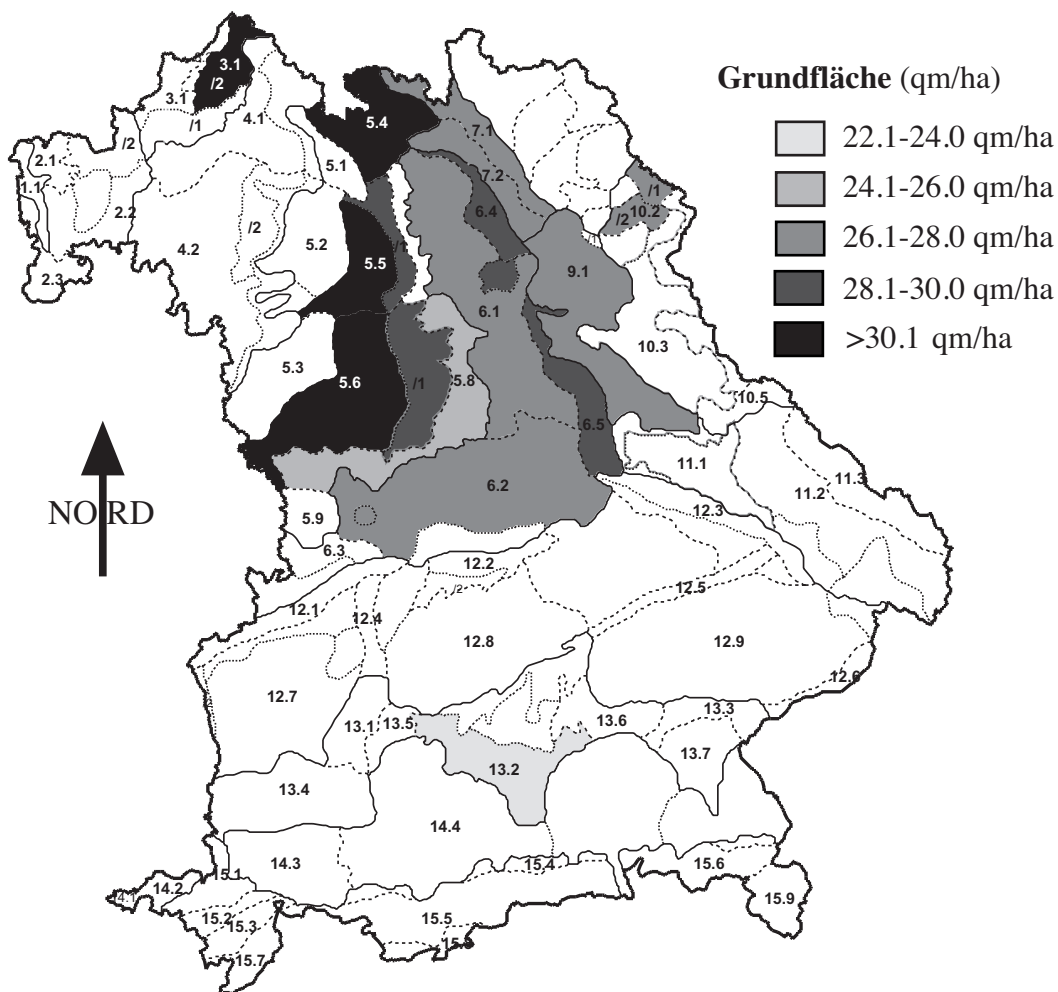


Abb. 6.2-4: Karte mit der Darstellung der durchschnittlichen Grundflächen (qm/ha) in den untersuchten Regionen; Datenquelle: Ergebnisse aus der Stichprobeninventur.

Dieses Gebiet zeigt zwar die gleiche durchschnittliche Grundfläche wie das Oberpfälzer Becken- und Hügelland (vgl. Tab. 6.2-5), ist im Durchschnitt jedoch jünger und müsste bei einem Vergleich mit den Erwartungswerten der WIEDEMANN-Ertragstafel höhere Grundflächenwerte aufweisen.

Den hohen Grundflächenwerten entsprechend erreichen die Bestände im Keuperhügelland, auf der Albabdachung und in der Östlichen Vorrhön hohe Bestockungsgrade. Die Differenz zwischen den auftretenden minimalen und maximalen Dichten ist auch hier sehr hoch. Überall finden sich minimale Bestockungsgrade zwischen 0.1 und 0.3, während die maximalen Werte zwischen 1.4 und 2.5 schwanken können.

Tab. 6.2-6: Durchschnittswerte, Minimum und Maximum der Bestockungsgrade in den Regionen; Datenquelle: Ergebnisse aus der Stichprobeninventur.

Region	Durchschnitt	Minimum	Maximum
Östliche Vorrhön (3.1/2)	0.95	0.2	2.2
Keuperhügelland (5.4;5.5;5.6)	0.92	0.1	2.1
Keupersenkenland (5.5/1;5.6/1)	0.85	0.1	2.1
Südliches Albvorland (5.8)	0.77	0.1	1.6
Frankenalb (6.1;6.2)	0.83	0.2	1.7
Albabdachung (6.4;6.5)	0.94	0.1	1.8
Oberfränkisches Triashügelland (7.1;7.2)	0.88	0.1	1.9
Oberpfälzer Becken-u. Hügelland (9.1)	0.83	0.1	2.5
Waldsassener Schiefergebiet/Wiesauer Senke (10.2)	0.84	0.1	2.0
Münchner Schotterebene (13.2)	0.84	0.3	1.4

Die durchschnittlichen hektarbezogenen Vorräte stellen sich genauso differenziert dar wie die anderen Parameter (Tab. 6.2-7, Abb. 6.2-5). Im Keuperhügelland finden sich Vorräte über 280 VfmD/ha, während im Südlichen Albvorland und im Oberpfälzer Becken- und Hügelland nur Werte um 240 VfmD/ha erreicht werden. Mit einem durchschnittlichen Vorrat von 108 VfmD/ha bildet die Münchner Schotterebene wiederum eine Ausnahme.

Tab. 6.2-7: Durchschnittswerte, Minimum und Maximum der Vorräte pro Hektar in den Regionen; Datenquelle: Ergebnisse aus der Stichprobeninventur.

Region	Durchschnitt (VfmD/ha)	Minimum (VfmD/ha)	Maximum (VfmD/ha)
Östliche Vorrhön (3.1/2)	277	18	702
Keuperhügelland (5.4;5.5;5.6)	289	2	894
Keupersenkenland (5.5/1;5.6/1)	273	3	761
Südliches Albvorland (5.8)	247	15	561
Frankenalb (6.1;6.2)	224	23	609
Albabdachung (6.4;6.5)	271	10	634
Oberfränkisches Triashügelland (7.1;7.2)	283	26	623
Oberpfälzer Becken-u. Hügelland (9.1)	246	3	793
Waldsassener Schiefergebiet/Wiesauer Senke (10.2)	276	24	618
Münchner Schotterebene (13.2)	108	1	440

Die Ursachen für die Schwankungen der Vorratshaltungen in den einzelnen Regionen können sehr unterschiedlicher Natur sein. So sind beispielsweise im Oberpfälzer Becken- und

Hügelland die Bonitäten sehr gering. Im Vergleich zum Gebiet der Frankenalb zeigen die Bestände jedoch einen recht hohen Bestockungsgrad und vor allem auch ein höheres Alter. Im Keupersenkenland sind die Bonitäten vergleichsweise besser und der Bestockungsgrad ist höher. Deshalb finden sich hier im Durchschnitt höhere Vorräte trotz geringeren Alters.

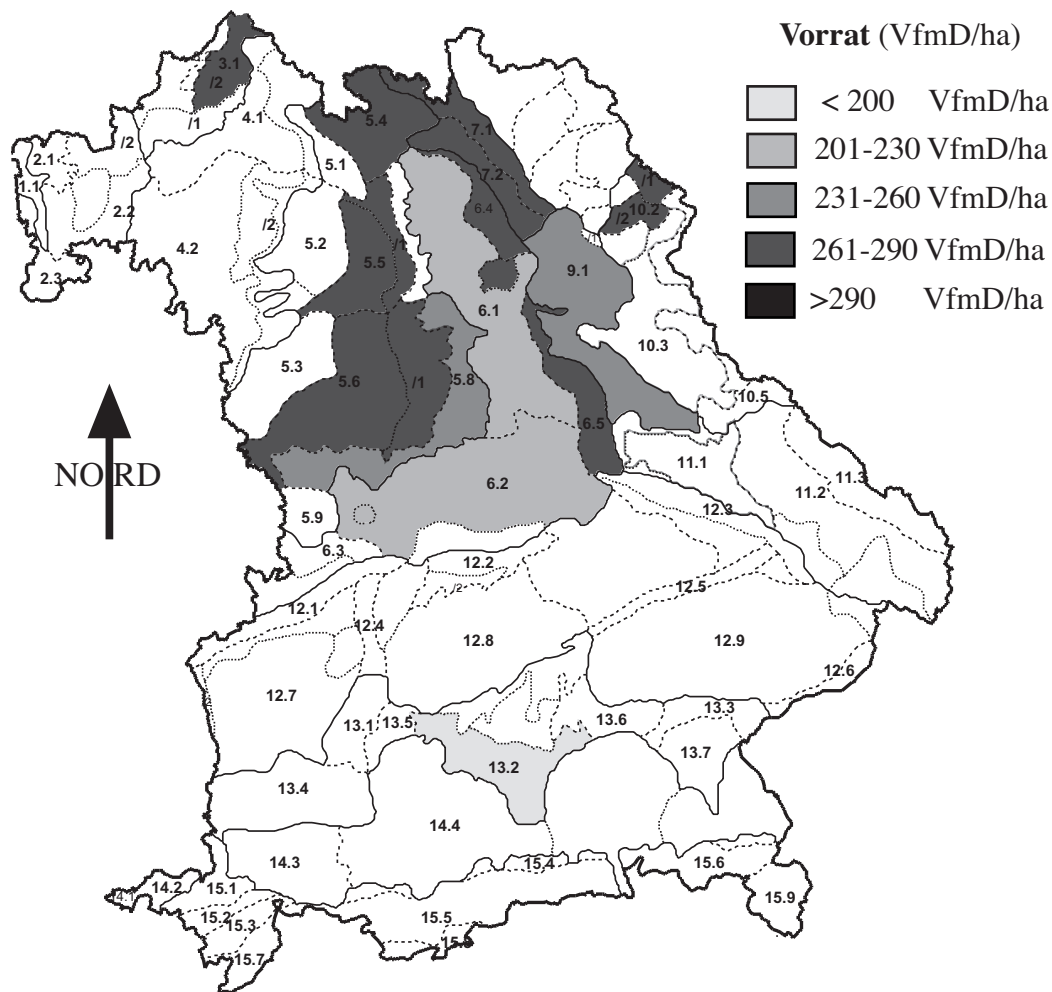


Abb. 6.2-5: Karte mit der Darstellung der durchschnittlichen Vorräte (VfmD/ha) in den untersuchten Regionen; Datenquelle: Ergebnisse aus der Stichprobeninventur.

### 6.3 Zuwachsbefunde aus der Wiederholungsinventur

Mit den Ergebnissen aus der Wiederholungsinventur lassen sich für Wuchsbezirke bzw. Regionen Aussagen über das Zuwachsverhalten von Kiefernbeständen treffen. Hierfür stehen zum einen Daten für den Durchmesser- und Höhenzuwachs von Einzelbäumen zur Verfügung, zum anderen können die berechneten laufenden jährlichen Volumenzuwächse der Bestände analysiert werden.

#### Durchmesser- und Höhenzuwachs der Einzelbäume

Im folgenden werden die Durchmesser- und Höhenzuwächse von 15448 Kiefern aus den 2048 Inventurpunkten mit einem Kiefernanteil von mindestens 70 % beschrieben (vgl. Abschnitt 4.1). Da je nach Länge des Zeitraumes bis zur Wiederholungsaufnahme der jährliche Zuwachswert unterschiedlich häufig auftritt, muss das Datenmaterial mit der Anzahl der Jahre, die zwischen den beiden Aufnahmen liegen, gewichtet werden. Die Aufteilung des Datenmaterials auf die untersuchten Regionen findet sich in Tabelle 6.3-1.

Tab. 6.3-1: Anzahl der Bäume und gewichteten Datensätze in den untersuchten Regionen.

Region	Anzahl Bäume	Anzahl gewichteter Datensätze
Vorrhön (3.1)	2130	21300
Südliches Albvorland (5.8)	1820	21840
Albabdachung (6.4;6.5)	2254	22764
Oberfränkisches Triashügelland (7.1)	3803	34252
Oberpfälzer Becken- und Hügelland (9.1)	5441	54851
<b>Summe</b>	<b>15448</b>	<b>155007</b>

Tabelle 6.3-2 zeigt den durchschnittlichen jährlichen Höhenzuwachs für fünf Altersstufen der fünf untersuchten Regionen. Da bei den Aufnahmen der Inventurpunkte nicht jeder Baum höhengemessen wird, handelt es sich bei den Höhenwerten um Funktionswerte aus Bestandeshöhenkurven, die aus den Durchmesser- und Höhenbefunden der Höhenmessbäume errechnet werden.

Tab. 6.3-2: Durchschnittlicher Höhenzuwachs der Einzelbäume aus der Wiederholungsinventur für fünf Altersstufen sowie der durchschnittliche Höhenzuwachs über alle Altersstufen (Gesamt).

Wuchsbezirke	Höhenzuwachs (m/a)					Gesamt
	Altersstufen (Jahre)					
	0-30	31-60	61-90	91-120	>120	
Vorrhön (3.1)	0.34	0.22	0.16	0.13	0.15	0.15
Südliches Albvorland (5.8)	0.34	0.23	0.20	0.21	0.23	0.21
Albabdachung (6.4;6.5)	0.29	0.23	0.18	0.10	0.07	0.17
Oberfränkisches Triashügelland (7.1)	0.30	0.23	0.17	0.16	0.16	0.18
Oberpfälzer Becken- und Hügelland (9.1)	0.44	0.24	0.21	0.20	0.18	0.21

Den höchsten jährlichen Zuwachs über alle Altersstufen leisten die Kiefern im Südlichen Albvorland und im Oberpfälzer Becken- und Hügelland mit 0.21 m/a, während in der Vorrhön die Bäume jährlich nur 0.15 m an Höhe zulegen. Der Kulminationszeitpunkt liegt bei allen Regionen zwischen 1-30 Jahren mit Werten zwischen 0.29 und 0.44 m/a. Mit zunehmendem Alter fallen die Zuwächse ab, können jedoch bei einem Alter über 120 Jahre mit Ausnahme der Kiefern auf der Albabdachung noch über 0.15 m/a erreichen. Alte Kiefern leisten einen höheren Zuwachs als die Werte der WIEDEMANN-Ertragstafel (1943, mäßige Durchforstung) für eine I. Ertragsklasse bei Beständen über 120 Jahre vorgeben. Der Abfall des Zuwachses mit zunehmendem Alter ist in den Regionen unterschiedlich. Im Südlichen Albvorland ist nur eine allmähliche Verringerung feststellbar, während auf der Albabdachung Bäume über 120 Jahre wesentlich geringere Werte aufweisen. In jüngeren Altern sind die Zuwächse im Oberpfälzer Becken- und Hügelland am höchsten. Ab der Altersstufe 91-120 Jahre übernehmen die Kiefern im Albvorland die führende Rolle. Auffällig ist das niedrige Niveau des Zuwachses auf der Albabdachung. Schon im jungen Alter liegen die Jahreswerte durchschnittlich unter 30 cm und fallen bis auf 7 cm ab. Unterschiede zwischen den Regionen zeigen sich vor allem in der jüngsten Altersstufe und bei älteren Bäumen.

Im Vergleich zum Höhenzuwachs zeigt der Durchmesserzuwachs über alle Altersstufen hinweg ein einheitliches Bild. Mit Ausnahme der Region Albabdachung liegen die Werte bei 0.26 cm/a. Der Zuwachs kulminiert in der jüngsten Altersstufe mit Werten zwischen 0.40 und 0.47 cm/a und fällt dann mit zunehmendem Alter ab. Bei Bäumen über 120 Jahre werden nur noch Werte zwischen 0.21 und 0.24 cm/a erreicht. Auch diese Ergebnisse liegen über den Ertragstafelwerten von WIEDEMANN (1943, mäßige Durchforstung), I. Ertragsklasse. Der Abfall des Zuwachses verläuft in den Regionen vergleichsweise gleichmäßig. In jüngeren Altern ist das Dickenwachstum der Kiefern im Oberpfälzer Becken- und Hügelland am stärksten und wird ab der Altersstufe 61-90 Jahre von den Bäumen der Vorrhön und des Albvorlandes abgelöst. Auch hier weist die Albabdachung generell das niedrigste Zuwachsniveau auf, die Unterschiede zwischen den Regionen sind jedoch nicht besonders deutlich ausgeprägt.

Tab. 6.3-3: Durchschnittlicher Durchmesserzuwachs der Einzelbäume aus der Wiederholungsinventur für fünf Altersstufen sowie der durchschnittliche Zuwachs über alle Altersstufen (Gesamt).

Wuchsbezirke	Durchmesserzuwachs (cm/a)					Gesamt	Datensätze (gewichtet)
	Altersstufen (Jahre)						
	1-30	31-60	61-90	91-120	>120		
Vorrhön (3.1)	0.43	0.28	0.28	0.25	0.24	0.26	21300
Südliches Altvorland (5.8)	0.42	0.26	0.25	0.27	0.22	0.26	21840
Alabdachung (6.4;6.5)	0.40	0.27	0.25	0.21	0.21	0.24	22764
Oberfränkisches Triashügelland (7.1)	0.46	0.27	0.26	0.23	0.24	0.26	34252
Oberpfälzer Becken- und Hügelland (9.1)	0.47	0.30	0.27	0.26	0.23	0.26	54851

Im Gegensatz zum Höhenzuwachs wird der Durchmesserzuwachs stark von der waldbaulichen Behandlung beeinflusst. Eine nähere Analyse dieses Effektes wird bei der Betrachtung des Volumenzuwachses der Bestände durchgeführt.

#### Volumenzuwachs der Bestände

Der Volumenzuwachs der Bestände errechnet sich aus den Differenzen der Einzelbaumvolumina der beiden Aufnahmen. Um einen späteren Vergleich mit den Zuwachswerten aus den langfristig beobachteten Versuchsflächen zu ermöglichen, werden die in Erntefestmeter vorliegenden Daten in Vorratsfestmeter Derbholz umgerechnet (vgl. Abschnitt 4.1).

Die Verteilung des Volumenzuwachses über dem Alter lässt eine hohe Streuung der Zuwachswerte in allen Regionen erkennen (Abb. 6.3-1). In jedem Alter treten Werte über 10 und unter 5 VfmD/ha/a auf. Dennoch wird deutlich, dass der Volumenzuwachs meist über den Erwartungswerten der I. Ertragsklasse nach WIEDEMANN (1943, mäßige Durchforstung) liegt und die Leistung der Bestände mit zunehmendem Alter abnimmt. Der Volumenzuwachs wird stark von den jeweiligen waldbaulichen Verfahren geprägt, deshalb muss auch hier die Bestandesdichte bei einem Vergleich der Regionen berücksichtigt werden.

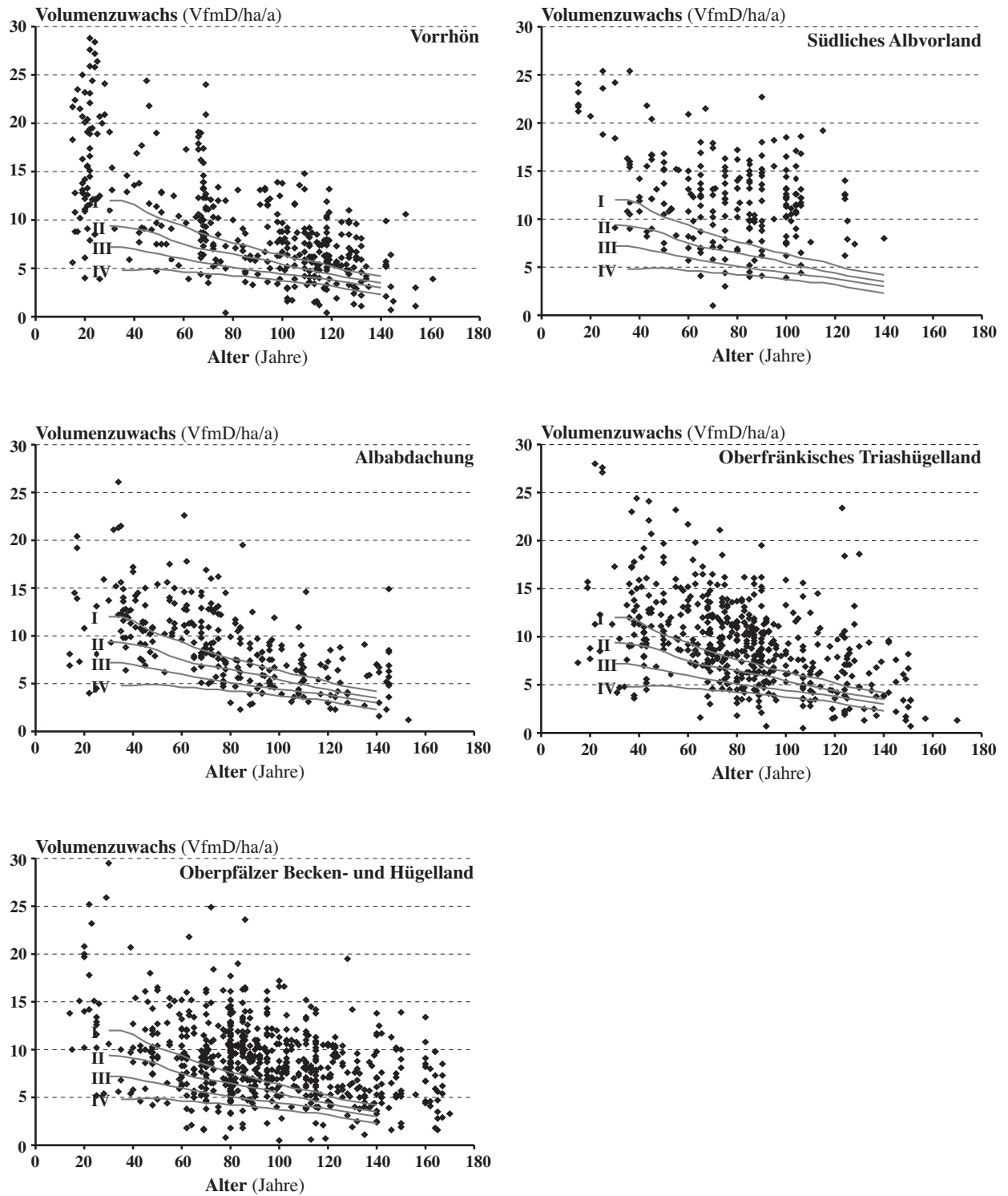


Abb. 6.3-1: Darstellung des Volumenzuwachses aus den Ergebnissen der Wiederholungsinventur der fünf untersuchten Regionen über dem Alter. Zum Vergleich sind die Erwartungswerte der WIEDEMANN-Ertragstafel (1943, mäßige Durchforstung) eingezeichnet.

Abbildung 6.3-2 zeigt den Volumenzuwachs in Abhängigkeit vom Bestockungsgrad für die Altersstufe 31-60 Jahre und 91-120 Jahre. Diese Werte werden mit Hilfe der Potenzfunktion (Gleichung 5.1-3, S. 30) ausgeglichen. Die geschätzten Parameter finden sich in Tabelle 6.3-4.



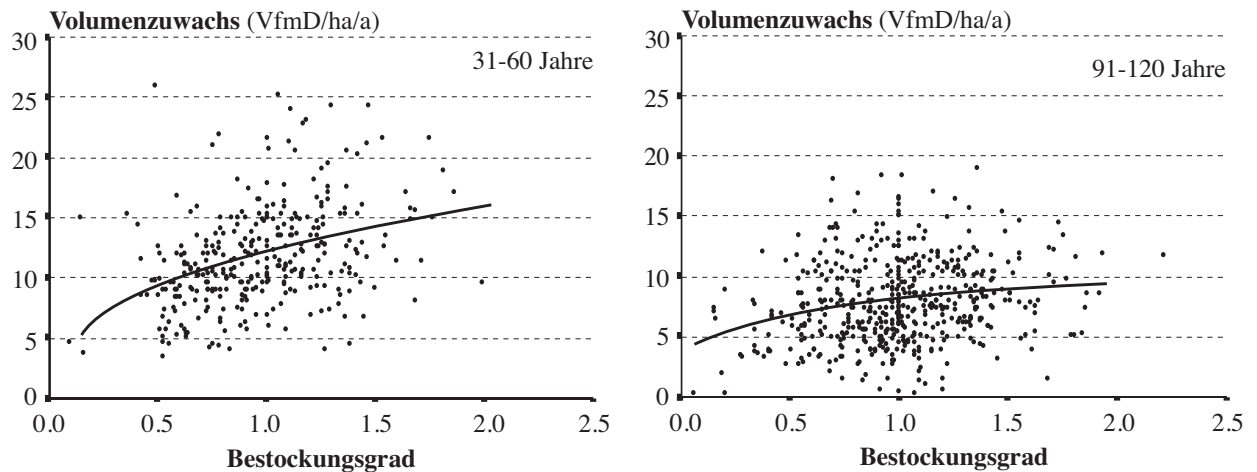


Abb. 6.3-2: Darstellung des Volumenzuwachses aus den Ergebnissen der Wiederholungsinventur in Abhängigkeit vom Bestockungsgrad für die Altersstufen 31-60 Jahre und 91-120 Jahre.

Trotz der starken Streuung zeigen sich mit zunehmendem Bestockungsgrad ansteigende Zuwachswerte.

Tab. 6.3-4: Geschätzte Parameter ( $d_0$  und  $d_1$ ) und Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ) für den Ausgleich des Volumenzuwachses über dem Bestockungsgrad mit einer Potenzfunktion; Datenquelle: Permanente Stichprobeninventur.

Altersstufe (Jahre)	$d_0$	$d_1$	$R^2$
31-60	12.239	0.386	0.14
91-120	8.170	0.223	0.04

Für einen Vergleich des Zuwachsverhaltens werden die beobachteten Werte jeder Region mit Hilfe der in Abschnitt 3.1 entwickelten Funktion (vgl. Gleichung 5.1-6, S. 30) unter Berücksichtigung der Parameter Alter und Bestockungsgrad ausgeglichen. Die geschätzten Parameter der Funktion mit dem jeweiligen Bestimmtheitsmaß finden sich in Tabelle 6.3-5.

Tab. 6.3-5: Geschätzte Parameter und Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ) der Ausgleichsfunktion zur Beschreibung des Volumenzuwachses in fünf Regionen.

Region	Geschätzte Parameter				$R^2$
	$a_0$	$b$	$c$	$d_1$	
Vorrhön (3.1)	2823.36	23.24	0.70	0.33	0.51
Südliches Altvorland (5.8)	54455.21	8.59	0.19	0.24	0.26
Albabdachung (6.4;6.5)	3078.17	20.69	0.63	0.29	0.42
Oberfränkisches Triashügelland (7.1)	3976.02	17.72	0.57	0.40	0.35
Oberpfälzer Becken- und Hügelland (9.1)	23153.01	8.54	0.24	0.43	0.28

Die Ergebnisse der berechneten Funktion zeigt Abbildung 6.3-3. Dargestellt ist der Zuwachsverlauf bei einem Bestockungsgrad von 1.0. Gemeinsam ist allen Kurvenverläufen, dass

sie auf hohem Niveau beginnen, mit zunehmendem Alter abfallen und durchweg deutlich über den Erwartungswerten der I. Ertragsklasse der WIEDEMANN-Ertragstafel (1943, mäßige Durchforstung) liegen.

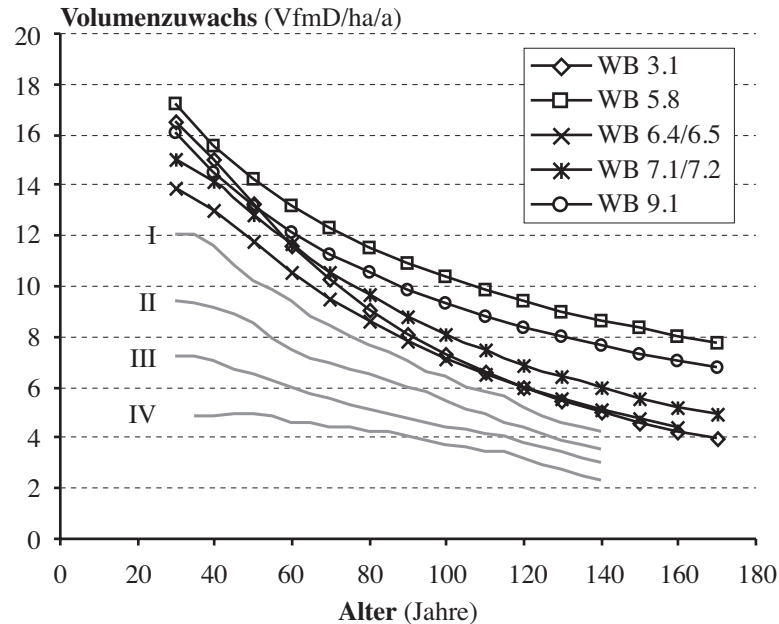


Abb. 6.3-3: Darstellung des durchschnittlichen Volumenzuwachses über dem Alter mit Hilfe der berechneten Schätzfunktion bei einem Bestockungsgrad von 1.0. Zum Vergleich sind die Werte der Ertragsklassen der WIEDEMANN-Ertragstafel (1943, mäßige Durchforstung) eingetragen.

Junge Bestände leisten einen Zuwachs zwischen 13.0 und 15.5 VfmD/ha/a (Tab. 6.3-6, Abb.6.3-3). Das Ausmaß der Zuwachsabsenkung mit zunehmendem Alter ist in den Regionen unterschiedlich. Den flachsten Kurvenverlauf zeigen Bestände im Südlichen Albvorland (WB 5.8), gefolgt vom Oberpfälzer Becken- und Hügelland (WB 9.1). Im Alter von 120 Jahren werden dort noch Zuwächse von 9.3 bzw. 8.3 VfmD/ha/a erreicht. In den anderen Regionen liegen die Werte mit 5.9 bis 6.8 VfmD/ha/a wesentlich niedriger. Verursacht wird dies insbesondere durch die differierenden Höhenzuwächse in diesen Regionen (vgl. Tab. 6.3-2). In der Vorrhön (WB 3.1) mit guten Wuchsbedingungen zeigen sich vergleichsweise geringe Zuwachswerte, was vor allem durch den niedrigen Höhenzuwachs bedingt ist.

Tab. 6.3-6: Durchschnittlicher Volumenzuwachs in fünf Regionen für 40-, 80- und 120jährige Bestände bei einem Bestockungsgrad von 1.0.

Region	Volumenzuwachs (VfmD/ha/a)		
	40 Jahre	80 Jahre	120 Jahre
Vorrhön (3.1)	14.9	9.0	5.9
Südliches Albvorland (5.8)	15.5	11.5	9.3
Alabdachung (6.4;6.5)	12.9	8.5	5.9
Oberfränkisches Triashügelland (7.1)	14.0	9.6	6.8
Oberpfälzer Becken- und Hügelland (9.1)	14.4	10.4	8.3

## 6.4 Zusammenfassung der regionaltypischen Reaktionsmuster

Elf verschiedene Regionen mit unterschiedlichen Wuchsbedingungen können in dieser Untersuchung berücksichtigt werden. Bedingt durch Durchforstungseingriffe, aber auch durch unterschiedliche standörtliche Einflussfaktoren, entstehen in jeder Region differenzierte Wachstumsreaktionen. Einige Gemeinsamkeiten, insbesondere bei der Interpretation der Höhen- und Volumenzuwachsbefunde lassen jedoch auf großräumig veränderte Wachstumsverhältnisse schließen. Die Ergebnisse aus der Stichprobeninventur sind ohne genaue Analyse der Standorte und Bestandesdichten schwierig zu interpretieren, da sie große Streuungen mit Extremwerten nach oben und unten aufweisen. Trotz dieser Problematik sind Tendenzen erkennbar und über die Bildung von Mittelwerten für verschiedene Altersstufen auch Aussagen möglich.

### Höhenentwicklung

Allen Regionen gemeinsam ist die Entwicklungstendenz der Mittelhöhen. Auf den langfristigen Versuchsflächen zeigt sich durchweg eine Verbesserung der Bonität mit zunehmendem Alter. Das Ausgangsniveau ist in Abhängigkeit vom Standort unterschiedlich und der Trend verschieden stark ausgebildet, aber in der Tendenz überall vorhanden. Bei den schon sehr langfristig (seit Beginn des 20. Jahrhunderts) beobachteten Versuchsflächen fällt zudem auf, dass die Höhenentwicklung zunächst der Ertragstafelkurve folgt und erst ab ca. 1960 eine Bonitätsverbesserung zeigt (vgl. z.B. Keuperbergland Abb. 6.1-2, Keuperhügelland Abb. 6.1-6). Die Werte der Stichprobeninventur zeigen mit zunehmendem Alter hingegen fallende Bonitäten. Diese zunächst widersprüchlich anmutende Tatsache ist durch den unterschiedlichen Charakter der Datenquellen bedingt. Während die Versuchsflächen tatsächliche Entwicklungen eines Bestandes aufzeigen, bilden die Werte der Inventur Momentaufnahmen eines Bestandes ab. An jedem Punkt kann eine den Versuchsflächen entsprechende Entwicklung stattgefunden haben, die hier aber nicht ersichtlich werden kann. Ein Erklärungsansatz für die guten Bonitäten der jungen Bestände wäre ein bevorzugter Anbau der Kiefer auf generell besseren Standorten. Dies erscheint jedoch unwahrscheinlich, da die Kiefer nicht auf günstigen Standorten angepflanzt wird, wo andere Baumarten wie Fichte und Buche ebenfalls gute Wuchsleistungen erbringen. Vielmehr ist es erklärtes Ziel, die Kiefer in bestandesbestimmendem Umfang nur auf nährstoffarmen, trockenen und wechsellackenen Sand - und Schluffböden einzubringen (BAYSTMELF, 1995). Das Endergebnis bleibt bei allen Datenquellen gleich. Wenn heute junge Bestände eine bessere Bonität aufweisen als ältere bzw. ein Bestand mit zunehmendem Alter eine bessere Höhenentwicklung zeigt, deutet das auf verbesserte Wuchsbedingungen hin. Trotz der Tatsache, dass sich die Mittelhöhe je nach Durchforstungsart rechnerisch verschieben und bei den Aufnahmen Messfehler auftreten können, bleibt die Höhe doch der Parameter, der durch direkte menschliche Eingriffe am wenigsten beeinflussbar ist (ASSMANN, 1961). Deswegen geben die hier untersuchten Höhenbefunde einen deutlichen Hinweis darauf, dass

sich die Wuchsverhältnisse in jeder untersuchten Region verbessert haben. Die Gründe hierfür können jedoch sehr unterschiedlicher Natur sein. Hierzu zählen die Regeneration der Böden nach Beendigung der Streunutzung, veränderte Klimabedingungen und erhöhte Stickstoffeinträge aus der Luft.

### Grundflächen- und Vorratsentwicklungen

Die Grundflächen- und Vorratswerte liegen in Abhängigkeit vom Standort, dem Alter und dem Bestockungsgrad der Bestände in den Regionen auf unterschiedlichem Niveau. Den höchsten durchschnittlichen Vorrat mit 289 VfmD/ha (vgl. Tab. 6.2-7) zeigen die Bestände im Keuperhügelland. Auffällig sind die Werte der Münchner Schotterebene, in der nur junge Kiefernreinbestände mit dementsprechend geringen Grundflächen- und Vorratswerten zu finden sind, sowie das Südliche Albvorland mit dem geringsten durchschnittlichen Bestockungsgrad.

Wie bei den Höhenbefunden ergibt sich auch für die Grundflächen ein in jeder Region erkennbares einheitliches Ergebnis. Bei beiden Datenquellen erfasst der Ertragstafelfächer nicht die tatsächlich möglichen Grundflächenhaltungen der Bestände. Bedingt durch abweichende Durchforstungskonzepte, zufällige Ereignisse (Schneebruch, Windwurf) und unterschiedliche Standorte wird der enge Spielraum der WIEDEMANN- Ertragstafel von beispielsweise 5.1 qm/ha zwischen der I. und IV. Ertragsklasse im Alter 100 weit unter- oder überschritten. Durch eine Durchforstung kann die Grundfläche von der I. Ertragsklasse auf die IV. Ertragsklasse abgesenkt werden und in der nächsten Zuwachsperiode wieder auf die I. Ertragsklasse ansteigen (vgl. Abbildung 6.1-6, Keuperhügelland). Ein ähnliches, jedoch weniger ausgeprägtes Bild zeigen die Vorratswerte. Die Schwankungen sind nicht ganz so hoch, können aufgrund einer Durchforstung aber ebenfalls mehrere Ertragsklassen durchlaufen.

### Wachstumstrends

Wichtiges Ziel dieser Arbeit ist es, ein eventuell verändertes Wuchsverhalten zu untersuchen und nach Möglichkeit regionaltypische Reaktionsmuster aufzudecken. In Tabelle 6.4-1 sind die Regionen nach ihrer durchschnittlichen Mittelhöhe im Alter 140 aufgelistet (vgl. Abschnitt 6.2). Die besten Höhenwuchsleistungen erbringen die klimabegünstigten Gebiete Bayerns wie das vergleichsweise niederschlagsreiche subatlantische Keuperhügelland und das Südliche Albvorland. Geringere Mittelhöhen finden sich hingegen im östlichen Teil Bayerns wie beispielsweise im trockenen subkontinental geprägten Oberpfälzer Becken- und Hügelland. Auch das niederschlagsärmere Klima der Albabdachung in Verbindung mit großflächigen Kreide- und Tertiärablagerungen, aus denen sich vergleichsweise arme Böden entwickeln, führen zu eher ungünstigeren Wuchsverhältnissen, die sich deutlich im Wuchspotential der Kiefer abzeichnen.

Tab. 6.4-1: Durchschnittliche Mittelhöhen im Alter 140 und Bonitätssprung von jungen nach alten Beständen der Inventurpunkte sowie eine Einschätzung langfristiger Zuwachstrends der Versuchsflächen.

	<b>durchschnittliche Höhen im Alter 140</b>	<b>Bonitätssprung (von jung nach alt)</b>	<b>langfristiger Zuwachstrend (VfmD/ha/a)</b>
<b>Datenquelle</b>	Inventurpunkte	Inventurpunkte	Versuchsflächen
Münchner Schotterebene			
Östl. Vorrhön	25.3	-1.4	steigend
Südliches Albvorland	25.0	-1.2	
Keuperbergland			steigend
Keuperhügelland	25.0	-1.2	gleichbleibend
Oberfränkisches Triashügelland	24.5		steigend
Waldsassener Schiefergebiet	24.0		stark steigend
Keupersenkenland	23.0	-1.4	
Oberpfälzer Becken- und Hügelland	22.9	-1.9	steigend und fallend
Albabdachung	22.8	-2.7	steigend und fallend
Frankenalb	22.6	-2.1	stark steigend

Die aus den Abschnitten 6.1.2 bis 6.1.11 ersichtliche Tatsache, dass bei den Befunden der Stichprobeninventur in jüngeren Beständen bessere Bonitäten auftreten als in älteren, kann, wie oben erläutert, ein Hinweis auf verändertes Wuchsverhalten sein. Bei der Betrachtung des Bonitätssprunges zwischen der jüngsten und ältesten Altersstufe können Rückschlüsse über das Ausmaß der Veränderung gezogen werden. Berücksichtigt sind hier nur Regionen, in denen alle Altersstufen vorhanden sind. In den meisten Fällen zeigen die jüngsten Altersstufen (0-30 Jahre) eine um 1.2 bis 1.4 Ertragsklassen verbesserte Bonität. Im Gegensatz dazu liegen die Bonitätsverbesserungen in den Gebieten mit schlechteren Wuchsverhältnissen bei 1.9 bis 2.7 Ertragsklassen.

Die Entwicklung des laufenden jährlichen Volumenzuwachses auf den langfristigen Versuchsflächen unterliegt in allen Regionen aufgrund von Durchforstungen oder kurzfristig wirkenden Klimaeinflüssen starken Schwankungen. Die langfristige Entwicklung des Zuwachses zeigt je nach Region unterschiedliche Verhaltensreaktionen. In den meisten Gebieten steigen die Zuwachswerte mit zunehmendem Alter (z.B. Abb. 6.1-11 und 6.1-13), zeigen also nicht den typischen altersbedingt abnehmenden Zuwachs. Wie bei der Höhenentwicklung ist das Ausgangsniveau unterschiedlich und die Ausprägung der Steigung unterschiedlich stark. Insbesondere in den Regionen Frankenalb (Abb. 6.1-11) und Waldsassener Schiefergebiet (Abb. 6.1-15) zeigt der Zuwachs einen stark positiv gerichteten Trend. Auf der Albabdachung (Abb. 6.1-12) treten hingegen auch Wachstumstrends auf, die dem alterstypischen Verlauf folgen, also entsprechend der Zuwachskurve der Ertragstafel mit zunehmendem Alter absinken.

Eine weitere Auffälligkeit ist die Abnahme des Zuwachses in den jüngsten Zuwachsperioden (z.B. Waldsassener Schiefergebiet (Abb. 6.1-15)). Dies können wie bei vorherigen Zuwachsperioden kurzfristige Schwankungen sein. Dieser Abfall unterbricht allerdings nicht den langfristig steigenden Trend. Erst weitere Aufnahmen werden zeigen, ob ein Maximum der langfristig positiv gerichteten Trends erreicht ist und der Zuwachs in nächster Zeit wieder dauerhaft absinkt. Die Volumenzuwächse liegen innerhalb der letzten 10 Jahre auf einem hohen Niveau. Durchschnittlich werden im Alter von 140 Jahren Zuwächse zwischen 6 und 9 VfmD/ha/a geleistet.

## 7 Einfluss von Standortfaktoren auf das Wachstum

Der Einfluss verschiedener Standortparameter auf das Wachstum der Kiefer wird zunächst anhand des umfangreichen Datenmaterials aus der permanenten Stichprobeninventur untersucht (Abschnitt 7.1). Auf diese Ergebnisse aufbauend, folgt eine Beschreibung der Höhenwachstumsgänge auf unterschiedlichen Standorten (Abschnitt 7.2). Für eine weitere Analyse der Reaktionsmuster werden zusätzlich die Zuwachsverläufe ausgewählter Probestämme, die aus unterschiedlichen Wuchsgebieten mit verschiedenen Standorten stammen, ausgewertet (Abschnitt 7.3).

### 7.1 Einflussfaktoren auf das Wachstum

Vor einer Untersuchung des standörtlichen Einflusses muss das Datenmaterial aus der permanenten Stichprobeninventur zunächst weiter aufbereitet werden, weil nur die Inventurpunkte verwendet werden können, für die Standortangaben vorhanden sind. Zusätzlich müssen die Bestände einen einschichtigen Aufbau aufweisen, um die Konkurrenz einer zweiten Bestandesschicht um Wasser und Nährstoffe des Bodens ausschließen zu können. Letztlich werden nur die Datensätze ausgewählt, die einen Bestockungsgrad zwischen 0.5 und 2.0 aufweisen, damit Extremwerte ausgeschlossen werden können. Für die Analyse bleiben damit 2552 Inventurpunkte übrig.

Im nächsten Schritt müssen weitere Einflussfaktoren, wie der Alterstrend und Auswirkungen von Durchforstungen, soweit wie möglich ausgeschaltet werden. Durch die Wahl der Mittelhöhe als Untersuchungsgröße werden die durchforstungsbedingten Wachstumseffekte weitgehend umgangen. Der Einfluss des Alters kann durch Bildung einer neuen Variablen berücksichtigt werden, in der das altersabhängige Wachstum mit einbezogen ist. Hierzu werden die Höhenwerte zunächst mit Hilfe der in Abschnitt 5.1 vorgestellten Wachstumsfunktion von KORF (Gleichung 7.1-1) ausgeglichen.

$$H_{pred} = a \cdot e^{-b \cdot t^{-c}}$$

Gleichung 7.1.1

wobei:

- H<sub>pred</sub> = geschätzte Mittelhöhe (m)
- t = Alter (Jahre)
- a, b, c = Funktionsparameter
- e = Euler'sche Konstante

Die Ergebnisse des Ausgleichs sind in Tabelle 7.1-1 und Abbildung 7.1-1 dargestellt.



Tab. 7.1-1: Parameterschätzung, Standardabweichung, 95 % Konfidenzintervall, Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ) und die Anzahl Datensätze für den nichtlinearen Ausgleich der Oberhöhe mit der KORF-Funktion.

Parameter	Schätzung	Standardabweichung	95 % Konfidenzintervall	
a	24.42	0.4308	23.57	25.26
b	57.79	13.7890	30.75	84.82
c	1.32	0.0774	1.16	1.47

$R^2 = 0.48$   
Anzahl Datensätze = 2552

Die geschätzten Werte der Ausgleichsfunktion repräsentieren die durchschnittlichen Höhen bei einem entsprechenden Alter.

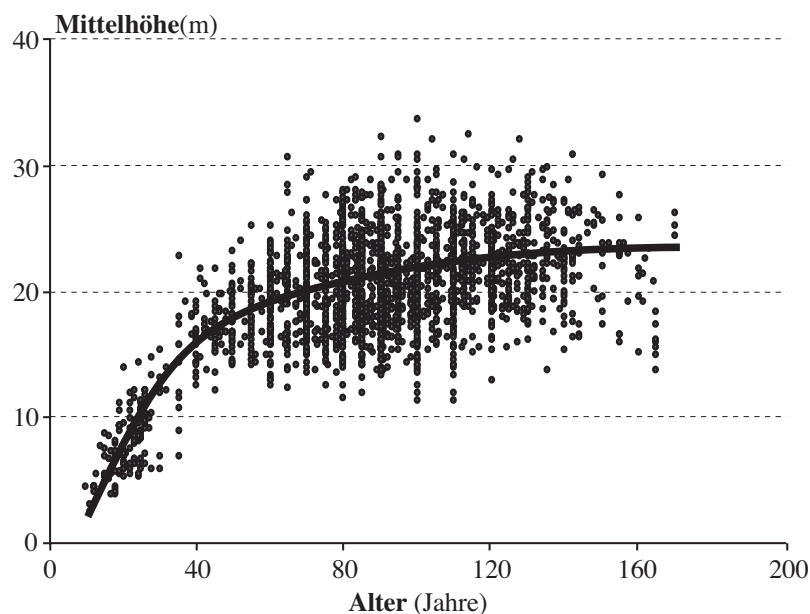


Abb. 7.1-1: Darstellung der Mittelhöhen und der Ausgleichskurve ( $H_{pred}$ ) der Daten aus der permanenten Stichprobeninventur.

Bei Bildung des Quotienten aus der Mittelhöhe ( $H_{mit}$ ) und der durch die Funktion errechneten Funktionswerte ( $H_{pred}$ , Gleichung 7.1-2) ergibt sich eine Variable, die das altersbedingte Wuchsverhalten beinhaltet (siehe auch POTT, 1997).

$$H_{rel} = \frac{H_{mit}}{H_{pred}}$$

Gleichung 7.1-2

wobei:

$H_{rel}$  = relative Höhe (m)

$H_{mit}$  = Mittelhöhe (m)

$H_{pred}$  = geschätzte Mittelhöhe der Ausgleichsfunktion (m)

### Untersuchte Standortparameter

Mit dieser neugebildeten Variablen werden die Einflüsse klimatischer und bodenkundlicher Kennwerte untersucht. Als klimatische Einflussfaktoren werden die durchschnittliche Temperatur und der durchschnittliche Niederschlag während der Vegetationszeit ausgewählt, da sie nach WENK et al. (1990) die Maximalhöhe begrenzen und das Wachstums- und Entwicklungstempo beeinflussen. Eingangswerte sind die langjährigen Mittel in den verschiedenen Regionen (ARBEITSKREIS STANDORTSKARTIERUNG, 1985). Auf eine von POTT (1997) durchgeführte Umrechnung der Temperatur- und Niederschlagswerte in Abhängigkeit von der Höhenlage des Inventurpunktes wird hier verzichtet, da das Datenmaterial insgesamt nur eine Höhenstufe aufweist und eine Verbesserung des Ergebnisses bei Umrechnung der Werte deshalb nicht zu erwarten ist.

Die auftretenden Temperaturwerte werden in zwei, die Niederschlagswerte in drei Klassen eingeteilt (Tab. 7.1-2)

Tab. 7.1-2: Einteilung der Temperatur- und Niederschlagswerte während der Vegetationszeit (Veg.) in Klassen.

<b>Temperatur (Veg.)</b>		<b>Niederschlag (Veg.)</b>	
Klasse	°C	Klasse	mm
1	14.1-15.0	1	301-350
2	15.1-16.0	2	351-400
		3	401-450

Zur Untersuchung bodenkundlicher Faktoren stehen die aus der Standortkartierung stammenden dreiziffrig codierten Standorteinheiten zur Verfügung, die das Substrat, die Sonstigen Merkmale und den Wasserhaushalt des Bodens in einem nach 10 Klassen eingeteilten System charakterisieren. Eine Auflistung des Ziffernsystems findet sich in Tabelle A-6 im Anhang.

### Untersuchung des Standorteinflusses mit einer Varianzanalyse

Mit einer Varianzanalyse als statistisches Verfahren kann die Wirkung einer (oder mehrerer) unabhängiger Variablen auf eine (oder mehrere) abhängige Variable untersucht werden, wobei die unabhängige Variable lediglich Nominalskalierung aufweisen muss, während bei der abhängigen Variablen ein metrisches Skalenniveau verlangt wird (BACKHAUS et al., 1996; BORTZ, 1993). Voraussetzung für die Durchführung der Varianzanalyse ist eine Varianzhomogenität und eine Normalverteilung der Werte in der Grundgesamtheit. Hier wird die Nullhypothese geprüft, ob sich das Höhenwachstum der Bestände bei unterschiedlichen

Standortsfaktoren nicht signifikant voneinander unterscheidet. Als abhängige Variable geht die altersbereinigte Höhe  $H_{rel}$  ein, und die unabhängigen Faktoren entsprechen den oben beschriebenen fünf Standortvariablen. Die zwischen den Standortvariablen bestehenden Wechselwirkungen konnten hier aufgrund der Vielzahl von Variablen und den vielschichtigen Beziehungen nicht mit berücksichtigt werden. Die Ergebnisse der Varianzanalyse zeigt Tabelle 7.1-3.

Tab. 7.1-3: Ergebnisse der Varianzanalyse mit der Summe der Abweichungsquadrate, den Freiheitsgraden, der mittl. quadratischen Abweichung, dem F-Wert und der Signifikanz von F.

	<b>Summe der Abweichungsquadrate</b>	<b>Freiheitsgrade</b>	<b>mittl. quadr. Abweichung</b>	<b>F-Wert</b>	<b>Signifikanz von F</b>
Haupteffekte	13.437	30	0.448	18.121	0.000
Temperatur während der Vegetationszeit	0.045	1	0.045	1.805	0.179
Niederschlag während der Vegetationszeit	0.581	2	0.291	11.760	0.000
Substrattyp	0.796	9	0.088	3.578	0.000
Sonstige Merkmale	1.601	9	0.178	7.198	0.000
Wasserhaushaltsstufe	4.102	9	0.456	18.438	0.000
Erklärte Streuung	13.437	30	0.448	18.121	0.000
Residualstreuung	59.968	2426	0.025		
Gesamt	73.405	2456	0.030		

Mit Ausnahme der Temperatur während der Vegetationszeit zeigen die Ergebnisse für jeden untersuchten Standortfaktor einen signifikanten Unterschied, die Nullhypothese muss zurückgewiesen werden. Dies bedeutet, dass sich die relativen Höhenwerte von mindestens zwei Faktorengruppen innerhalb eines Faktors signifikant voneinander unterscheiden. Die Summe der Abweichungsquadrate bezeichnet die quadrierte Streuung um den untersuchten Mittelwert. Wird die Summe der erklärten Abweichungsquadrate durch die Gesamtanzahl der Abweichungsquadrate geteilt, ergibt sich ein Faktor als Maß für die erklärte Streuung. In diesem Fall können 18.3 % der Streuung von den untersuchten Parametern erklärt werden. Den höchsten Einfluss hat dabei die Wasserhaushaltsstufe, gefolgt von den Sonstigen Merkmalen und dem Substrattyp.

In den Tabellen 7.1-4 bis 7.1-8 sind die Mittelwerte der relativen Höhen für die Standortsfaktoren dargestellt. Liegt der Wert von  $H_{rel}$  über 1, zeigt sich bei diesem Standortfaktor ein im Vergleich zur Ausgleichskurve überdurchschnittliches Wachstum. Ist  $H_{rel}$  dagegen  $< 1$ , liegen die tatsächlichen Werte unter den Funktionswerten der Ausgleichskurve.

Bei den Wasserhaushaltsstufen (Tab. 7.1-4) wird mit zunehmender Verfügbarkeit von Wasser im Boden eine bessere Wuchsleistung erbracht, während bei trockenen bis mäßig trockenen Standorten die Werte unter 1 liegen. Wechselfeuchte Standorte liegen im Mittelfeld, zeigen aber im Vergleich zur Ausgleichskurve immer noch überdurchschnittliche Werte (über 1).

Tab. 7.1-4: Durchschnittliche relative Höhe (H<sub>rel</sub>), Standardabweichung und Anzahl der Inventurpunkte bei 10 verschiedenen Wasserhaushaltsstufen.

<b>Wasserhaushalt</b>	<b>Durchschnitt HREL</b>	<b>Standard- abweichung</b>	<b>Anzahl Inventurpunkte</b>
(sehr) trocken	0.90	0.14	293
mäßig trocken	0.96	0.18	769
mäßig frisch	0.99	0.15	568
frisch	0.98	0.18	40
sehr frisch	1.10	0.16	109
hangwasserzünftig	1.12	0.15	7
mäßig wechsell trocken	1.01	0.14	136
mäßig wechselfeucht	1.07	0.15	160
wechselfeucht	1.06	0.15	145
feucht (nass)	1.12	0.17	248

Die Interpretation der Sonstigen Merkmale (Tab. 7.1-5) ist aufgrund der Stufeneinteilung problematisch. Innerhalb der zehn Stufen kann z.B. keine Wertigkeit in Bezug auf Nährstoffreichtum oder -armut getroffen werden. Ein tongründiger Standort kann ebenso nährstoffreich sein wie ein als nährstoffreich klassifizierter Boden. Das gleiche gilt bei Betrachtung der Merkmale Kalk bis 50 cm bzw. bei Kalk unterhalb 50 cm Bodentiefe. Bei tongründigen Standorten zeigen sich ähnlich gute Höhenwuchsleistungen wie bei einem Standort mit Kalkvorkommen unterhalb von 50 cm. Auffällig ist der hohe Wert von H<sub>rel</sub> bei nährstoffarmen, podsolierten Böden. Dieses unerwartete Verhalten kann ursächlich mit der geringen Anzahl an Datensätzen in dieser Gruppe zusammenhängen.

Tab. 7.1-5: Durchschnittliche relative Höhe (H<sub>rel</sub>), Standardabweichung und Anzahl der Inventurpunkte (= Anzahl Fälle) bei 10 verschiedenen Trophiemerkmalen.

<b>Trophiemerkmale</b>	<b>Durchschnitt HREL</b>	<b>Standard- abweichung</b>	<b>Anzahl Fälle</b>
normal	0.96	0.16	1500
nährstoffarm, podsoliert	1.18	0.09	9
nährstoffreich	1.05	0.16	306
humusreich	1.09	0.18	94
Kalk oberhalb 50 cm	1.07	0.15	330
Kalk unterhalb 50 cm	1.12	0.16	69
tongründig	1.12	0.12	50
Verdichtung im Unterboden	1.05	0.12	11
Hanglage	0.95	0.20	85
anmoorig	1.09	0.07	3

Bei Betrachtung der Substrattypen (Tab. 7.1-6) zeigt sich, dass mit überwiegender Mehrheit Sande auftreten, auf denen Wuchsleistungen knapp unterhalb der geschätzten Mittelhöhe erbracht werden. Eine größere Anzahl von Inventurpunkten findet sich nur noch in der Gruppe der lehmigen Sande mit einer relativen Höhe von 1.00 und bei den Schichtsandten mit einer relativen Höhe (H<sub>rel</sub>) von 1.05.

Tab. 7.1-6: Durchschnittliche relative Höhe (H<sub>rel</sub>), Standardabweichung und Anzahl der Inventurpunkte bei 10 verschiedenen Substrattypen.

<b>Substrattyp</b>	<b>Durchschnitt HREL</b>	<b>Standard- abweichung</b>	<b>Anzahl Fälle</b>
Sand, Kies, Geröll	0.99	0.18	1783
lehmiger Sand	1.00	0.16	382
Lehm	0.97	0.13	34
Feinlehm, Schlufflehm	1.01	0.20	46
Tonlehm, milder Ton	1.05	0.09	13
strenger Ton	1.15	0.19	24
Decksand, -lehm	1.06	0.17	44
Schichtsand	1.05	0.14	101
Schichtlehm	1.10	0.09	2
Moor	1.13	0.13	28

Die klimatischen Parameter haben einen geringeren Einfluss auf das Höhenwachstum als die bodenkundlichen Faktoren, lassen mit zunehmendem Niederschlag jedoch Tendenzen zu höheren Leistungen erkennen, die aber bei Überschreiten einer Niederschlagsmenge von 400 mm wieder zurückgehen (Tab. 7.1-7). Als Ursache kann auch hier ein geringes Datenmaterial in Frage kommen.

Tab. 7.1-7: Durchschnittliche relative Höhe (H<sub>rel</sub>), Standardabweichung, Anzahl der Inventurpunkte bei unterschiedlichen Niederschlägen während der Vegetationszeit.

<b>Niederschlag während der Vegetationszeit (mm)</b>	<b>Durchschnitt HREL</b>	<b>Standard- abweichung</b>	<b>Anzahl Inventurpunkte</b>
301-350	0.99	0.17	2096
351-400	1.08	0.17	287
401-450	0.93	0.19	74

Der Temperatureinfluss während der Vegetationszeit führt mit zunehmender Temperatur zu einer Abnahme der Höhenwuchsleistung (Tab. 7.1-8).

Tab. 7.1-8: Durchschnittliche relative Höhe (H<sub>rel</sub>), Standardabweichung und Anzahl der Inventurpunkte bei unterschiedlichen Temperaturen während der Vegetationszeit.

<b>Temperatur während der Vegetationszeit (°C)</b>	<b>Durchschnitt HREL</b>	<b>Standard- abweichung</b>	<b>Anzahl Inventurpunkte</b>
14.1-15.0	1.05	0.17	195
15.1-16.0	0.99	0.17	2262

Anhand dieser Darstellungen ist gut ersichtlich, dass zwar bei jedem Standortfaktor alle Gruppen mit Daten belegt sind, jedoch trockene bis mäßig frische Sande bei einer mittleren Temperatur von ca. 15.5 °C mit durchschnittlichen Niederschlägen von 300-350 mm während der Vegetationszeit vorherrschen.

## 7.2 Beschreibung des Höhenwachstums in Abhängigkeit der Standortfaktoren

Die in Abbildung 7.1-1 ersichtliche deutliche Streuung der Höhenwerte um die Ausgleichsfunktion kann durch die in Abschnitt 7.1 untersuchten Standortfaktoren teilweise erklärt werden. Um die Wuchsleistung der Kiefer auf den verschiedenen Standorten besser beschreiben zu können, kann die beschriebene Wachstumsfunktion von KORF (Gleichung 7.1-1) um den Faktor Standort erweitert werden. Da die Ergebnisse der Varianzanalyse einen hohen Einfluss des Wasserhaushaltes auf die Höhenwuchsleistung der Kiefer aufzeigen, wird zunächst nur dieser Faktor durch die Multiplikation des jeweiligen  $H_{rel}$ -Mittelwertes mit dem Funktionsparameter  $a$  (Asymptote) berücksichtigt (Gleichung 7.2-1).

$$H_{pred} = (H_{rel\_w} \cdot a) \cdot e^{-b \cdot t^c} \quad \text{Gleichung 7.2-1}$$

wobei:

- $H_{pred}$  = geschätzte Mittelhöhe (m)
- $H_{rel\_w}$  = Mittelwert von  $H_{rel}$  jeder Wasserhaushaltsstufe (Tab. 7.1-4)
- $t$  = Alter (Jahre)
- $a, b, c$  = Funktionsparameter
- $e$  = Euler'sche Konstante

Die Schätzparameter des Ausgleichs zeigt Tabelle 7.2-1. Im Vergleich zur Funktion ohne Berücksichtigung des Standortfaktors hat sich das Bestimmtheitsmaß von 0.48 (Tab. 7.1-1) auf 0.55 erhöht.

Tab. 7.2-1: Parameterschätzung, Standardabweichung, 95% Konfidenzintervall, Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ) und Anzahl der untersuchten Datensätze für den Ausgleich der Mittelhöhen mit der erweiterten Wachstumsfunktion.

Parameter	Schätzung	Standardabweichung	95% Konfidenzintervall	
a	25.3461	0.5311	24.30	26.38
b	32.7157	6.7714	19.43	45.99
c	1.1362	0.0686	1.00	1.27

$$R^2 = 0.55$$

Anzahl Datensätze = 2552

Die Berücksichtigung weiterer Standortparameter wie der Sonstigen Merkmale und des Niederschlags während der Vegetationszeit führt zu keinem besseren Ergebnis.

Abbildung 7.2-1 zeigt die Ausgleichskurven für mäßig frische und mäßig wechselfeuchte Standorte. Die Streuung um die Funktionswerte hat sich deutlich verringert.

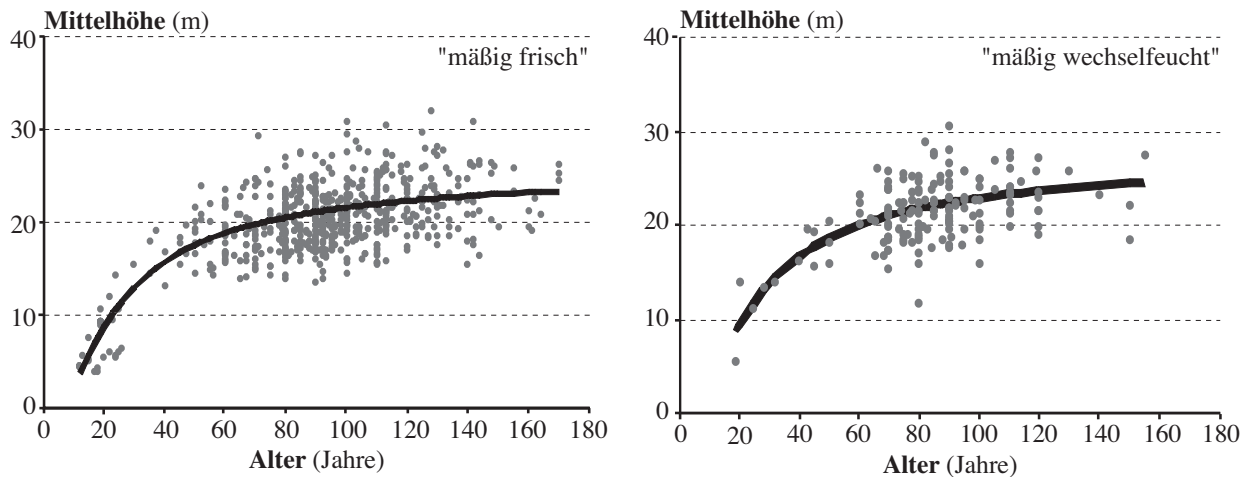


Abb. 7.2-1: Darstellung des nichtlinearen Ausgleichs der Mittelhöhe mittels der KORF-Funktion unter Berücksichtigung des Standortfaktors Wasserhaushaltsstufe auf mäßig frischen und mäßig wechselfeuchten Standorten.

Einen Vergleich der Höhenleistungen der zehn Wasserhaushaltsstufen zeigt Abbildung 7.2-2. Zur besseren Einordnung werden die Werte der WIEDEMANN- Ertragstafel (1943, mäßige Durchforstung) gegenübergestellt. Die Kurven zeigen im jüngeren Alter nur einen geringen Streurahmen, der zwischen der I. und II. Ertragsklasse liegt. Mit zunehmendem Alter differenzieren sich die Kurven jedoch voneinander. Die deutlich geringste Wuchsleistung erbringt die Kiefer auf trockenen Standorten mit Werten, die kaum über 20 m hinaus gehen. Die größten Mittelhöhen finden sich auf feuchten (nassen) Böden mit Höhen über 25 m in einem Alter von 140 Jahren.

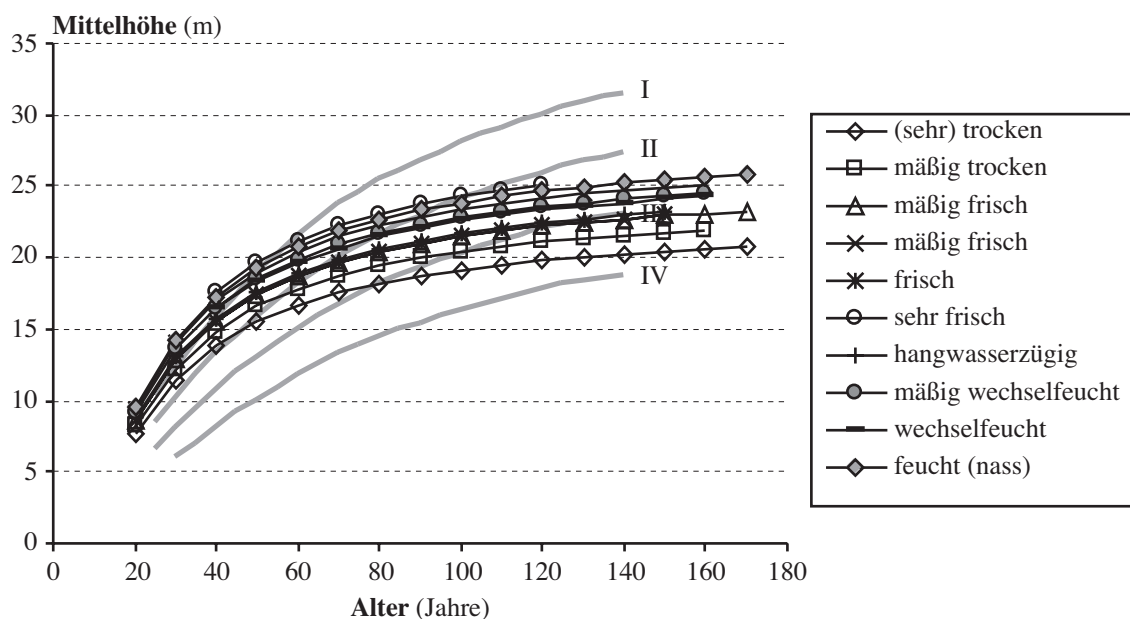


Abb. 7.2-2: Darstellung der Ausgleichshöhenkurven für die zehn Wasserhaushaltsstufen. Zum Vergleich sind die Erwartungswerte der WIEDEMANN-Ertragstafel (1943, mäßige Durchforstung), I-IV. Ertragsklasse, eingezeichnet.



## 7.3 Typische Reaktionsmuster auf Einzelbaumebene

Im folgenden Kapitel wird an ausgewählten Stämmen das Zuwachsverhalten von Einzelbäumen näher analysiert. Untersucht wird der Volumen- sowie der Höhen- und Durchmesserzuwachs von sieben Probebäumen aus zwei Wuchsbezirken (Wuchsbezirk 6.4 und 10.2/1), die unter unterschiedlichen klimatischen Verhältnissen und auf unterschiedlich mit Nährstoff und Wasser versorgten Böden aufgewachsen sind, um den Faktor der Standortsunterschiede berücksichtigen zu können. Eine Betrachtung des Zuwachses in verschiedenen Schafthöhen erlaubt Aussagen über die Formigkeit und damit über den Volumenertrag und die Stabilität eines Baumes.

Ausgewählt werden drei Probebäume der Versuchsfläche Bayreuth 51 im Wuchsbezirk 6.4 (Oberfränkisches Braunjurgebiet) und vier Probebäume der Versuchsflächen Waldsassen 234 und 238 im Wuchsbezirk 10.2/1 (Waldsassener Schiefergebiet). Die Bayreuther Kiefern stockten auf einem wechselfeuchten nährstoffreichen Schichtlehm, während die Waldsassener Kiefern auf einem mäßig wechselfeuchten, nährstoffarmen, durch Streunutzung (FOERSTER, 1990) stark devastierten Feinlehm standen (vgl. Tab. 3.2-2, S. 14; 4.2-1, S. 22, 4.3-1, S. 26).

### 7.3.1 Analyse des Zuwachsverhaltens der Probebäume

#### Der Volumenzuwachs

Auf den beiden Standorten zeigen sich unterschiedliche Verläufe des Volumenzuwachses (Abb. 7.3-1). Der gut mit Wasser und Nährstoffen ausgestattete Standort der Bayreuther Versuchsflächen ermöglicht ein hohes Niveau des zunächst steil ansteigenden Volumenzuwachses, der anschließend für einen längeren Zeitraum auf einem hohen Niveau verweilt, um dann wieder einen absteigenden Trend anzuzeigen. Ab 1960 nimmt der Zuwachs wieder zu und sinkt im weiteren Verlauf mit Ausnahme eines Baumes nicht wieder ab. Auch der Verlauf der Zuwachskurven der Probebäume aus den Waldsassener Versuchsflächen zeigt ein ähnliches Bild, allerdings auf einem wesentlich niedrigeren Niveau. Der Anstieg im frühen Alter verläuft nicht so steil, aber überall ist danach wieder ein absinkender Trend zu erkennen. Diese Probebäume zeigen schon einige Jahre vor 1960 (ca. 1955) einen wieder ansteigenden Volumenzuwachs, der wesentlich steiler verläuft und nicht so große Schwankungen aufweist wie die Bayreuther Kiefern.

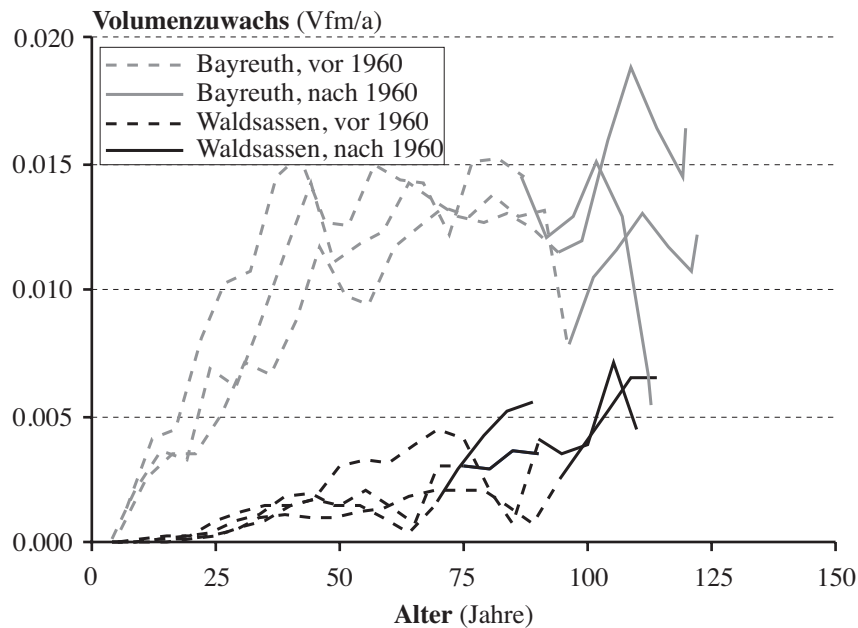


Abb. 7.3-1: Volumenzuwächse über dem Alter der Probestämme aus den Bayreuther (BAY 52) und Waldsassener (WAS 234 und 238) Versuchsflächen; Datenquelle: Einzelbaumanalysen auf den langfristigen Versuchsflächen.

### Höhen- und Durchmesserzuwachs

Die in den Volumenzuwachs einfließenden Wachstumsgrößen Höhen- und Durchmesserzuwachs sind in Abbildung 7.3-2 dargestellt. Zum Vergleich sind die Erwartungswerte der WIEDEMANN-Ertragstafel (1943, mäßige Durchforstung) eingetragen, wobei zu berücksichtigen ist, dass es sich bei den Ertragstafelwerten um die Zuwächse des Grundflächenmittelstammes handelt, während es sich bei den Probestämmen um vorherrschende bzw. herrschende Bäume handelt.

Der Höhenzuwachs der Bayreuther Probestämme liegt von Beginn an meist über der I. Ertragsklasse, kulminiert bei einem Alter von 10 Jahren und folgt dann auf sehr hohem Niveau bis 1960 dem Verlauf der Ertragstafelkurven. Auf der Waldsassener Fläche sind bis 1960 nur in Ausnahmefällen Werte über der III. Ertragsklasse zu finden, vielmehr liegen sie durchschnittlich unter der IV. Ertragsklasse. Das unterschiedliche Wuchspotential dieser beiden Flächen kommt damit klar zum Ausdruck, was auch durch den wesentlich späteren Kulminationszeitpunkt der Waldsassener Kiefern bestätigt wird. Der Höhenzuwachs sinkt mit zunehmendem Alter wieder ab. Ab 1960 verändert sich das Wuchsverhalten aller untersuchten Probestämme. Auf beiden Flächen wird der langfristig sinkende Trend durch eine Zuwachssteigerung abgelöst. Besonders auffällig sind dabei die Höhenzuwächse der Waldsassener Kiefern. Nach 1960 schwanken die Werte beträchtlich und teilweise können sie über 0.3 m pro Jahr in der Höhe zuwachsen. Die Bäume erreichen damit im höheren Alter bessere Zuwachswerte als in ihrer Jugend und überschreiten deutlich die Erwartungswerte der I. Ertragsklasse. Auch bei den Bayreuther Kiefern zeigt sich ein leicht ansteigenden Trend, der jedoch bei weitem nicht so stark verläuft wie in Waldsassen.

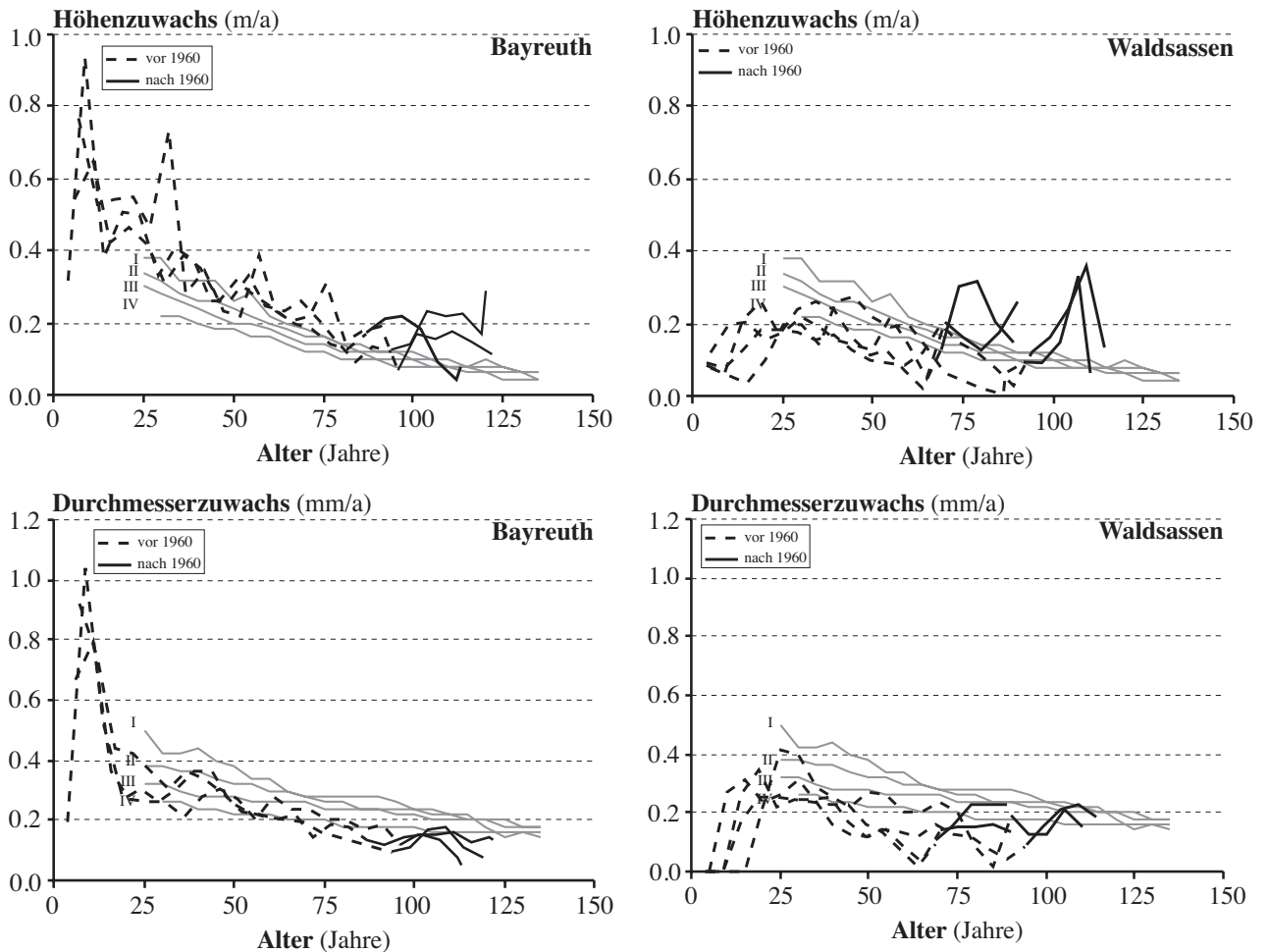


Abb. 7.3-2: Höhen- und Durchmesserzuwachs über dem Alter der Probestämme aus den Bayreuther (BAY 52) und Waldsassener (WAS 234 und 238) Versuchsflächen; Datenquelle: Einzelbaumanalysen auf den langfristigen Versuchsflächen.

Der Durchmesserzuwachs zeigt tendenziell ein ähnliches Bild. Das Zuwachsniveau der Bayreuther Probestämme liegt im Vergleich zum Höhenzuwachs ab einem Alter von ca. 30 Jahren jedoch niedriger. Die Werte liegen zwischen der II. und III. Ertragsklasse und sinken im späteren Verlauf unter die Erwartungswerte der IV. Ertragsklasse. In Waldsassen verläuft der Durchmesserzuwachs bezogen auf die Ertragstafel auf dem gleichen Niveau wie der Höhenzuwachs. Nach 1960 zeigen die Durchmesserzuwächse der Bayreuther Kiefern keinen steigenden langfristigen Trend, während die Waldsassener Kiefern wiederum abweichen und höhere Zuwächse leisten, wenngleich nicht so stark wie beim Höhenzuwachs. Die Werte der I. Ertragsklasse werden nur von zwei Bäumen erreicht.

Die Ergebnisse zeigen insbesondere bei den Waldsassener Kiefern ein verändertes Wuchsverhalten ab 1960 auf beiden Standorten, wobei der Höhenzuwachs verstärkt zur Verbesserung der Volumenzuwachseleistung beiträgt. Auf dem stark streugennutzten und damit sehr nährstoffarmen Standort der Waldsassener Versuchsflächen zeichnet sich dieses Bild

besonders deutlich ab. Über 100jährige Bäume leisten dort einen höheren Zuwachs als die Probestämme der Bayreuther Versuchsfläche bei entsprechendem Alter.

In Abbildung 7.3-3 sind die mittleren Grundflächenhaltungen derjenigen Parzellen eingetragen, aus denen die Bäume stammen. Da die beiden Waldsassener Versuchsflächen erst 1963 bzw. 1968 angelegt wurden, kann die Entwicklung der mittleren Grundflächenhaltung nur über einen kurzen Zeitraum verfolgt werden (vgl. Tab.4.2-1, S. 22). Die Parzellen der Bayreuther Versuchsflächen stehen dagegen schon seit 1900 unter Beobachtung.

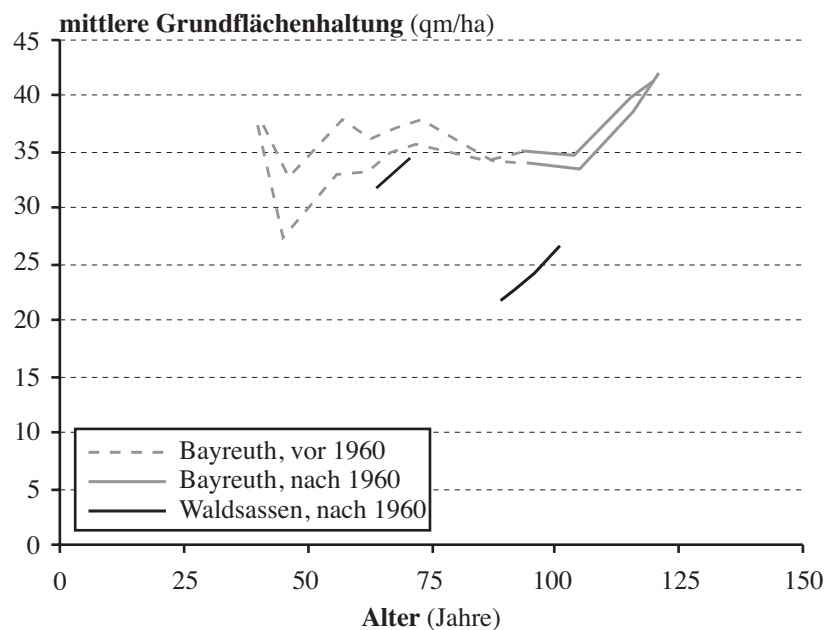


Abb. 7.3-3: mittlere Grundflächenhaltung über dem Alter auf den Versuchsflächen Bayreuth (BAY 52) und Waldsassen (WAS 234 und 238) vor und nach 1960; Datenquelle: Langfristige Versuchsflächen.

Bis zum Alter von ca. 75 Jahren nimmt die mittlere Grundflächenhaltung der Bayreuther Parzellen mit Ausnahme eines Einbruchs im Alter von ca. 40 Jahren stetig zu und sinkt ab einem Alter von ca. 75 Jahren im weiteren Verlauf wieder ab. Ab ca. 1965 steigt die mittlere Grundflächenhaltung deutlich an, obwohl zu diesem Zeitpunkt Durchforstungen durchgeführt werden (vgl. Abb. 6.1-12, S. 67). Auch die mittleren Grundflächenhaltungen der Waldsassener Versuchsflächen nehmen stetig zu. Hier sind im untersuchten Zeitraum keine stärkeren Durchforstungen durchgeführt worden. Trotz des geringen Wuchspotentials der Waldsassener Standorte erreicht die Parzelle der Versuchsfläche Waldsassen 238 erstaunlicherweise ähnliche Grundflächen wie die Bayreuther Parzellen. Auf allen hier untersuchten Parzellen nimmt die Dichte der Bestände zu, was zumindest bei den Waldsassener Versuchsflächen durch fehlende Durchforstungen in diesem Zeitabschnitt hervorgerufen worden sein kann.

### 7.3.2 Schlankheitsgrade

Die Definition, die alterstypische Entwicklung und die Bedeutung des Schlankheitsgrades (H/D-Verhältnis) für einen Baum bzw. Bestand wird in Abschnitt 8.2.4, S. 122, dargelegt. Die Entwicklung des H/D-Verhältnisses der untersuchten Probebäume aus den Versuchsflächen ist in Abbildung 7.3-4 ersichtlich.

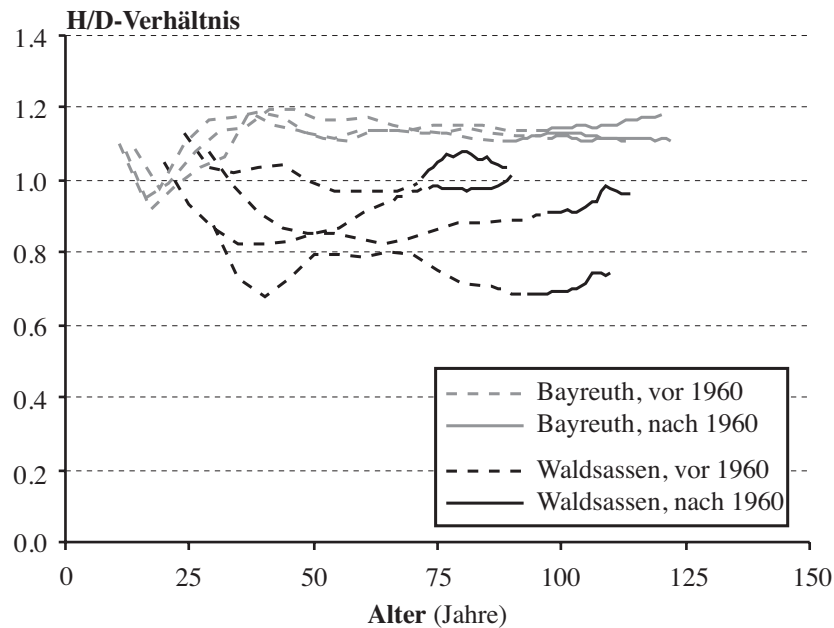


Abb. 7.3-4: Entwicklung des H/D-Verhältnisses über dem Alter der Probebäume aus den Bayreuther (BAY 52) und Waldsassener (WAS 234 und 238) Versuchsflächen vor und nach 1960; Datenquelle: Einzelbaumanalysen auf den langfristigen Versuchsflächen.

Beide Standorte zeigen ein deutlich differenziertes Bild. Durch eine starke Absenkung der mittleren Grundflächenhaltung nehmen die Schlankheitsgrade der Bayreuther Kiefern zunächst kurzfristig ab und steigen dann stetig bis zu einem Alter von ca. 40 Jahren an. Danach sinken sie dem gesetzmäßigen Verlauf folgend langsam ab, verbleiben aber auf einem hohen Niveau, das sich auch nach 1960 nicht auffällig verändert. Die Schlankheitsgrade der Waldsassener Kiefern verhalten sich vollständig anders. Gemeinsam ist allen vier Probebäumen zunächst ein abfallendes H/D-Verhältnis, das bis auf einen Baum schon weit vor 1960 wieder ansteigt. Nach 1960 zeigen sich gleichbleibende oder erneut steigende Schlankheitsgrade, die erst in den letzten Jahren wieder eine uneinheitliche Entwicklung widerspiegeln. Dieses unterschiedliche Verhalten ist bedingt durch die starken Schwankungen des Durchmesser- und Höhenzuwachses auf den Waldsassener Versuchsflächen. Tendenziell nehmen die H/D-Werte der Waldsassener Kiefern zu unterschiedlichen Zeitpunkten wieder zu, folgen also dem von WIEDEMANN (1948) beschriebenen Verlauf nicht. Insgesamt liegen sie jedoch immer noch auf einem niedrigeren Niveau als die Bayreuther Kiefern.

### 7.3.3 Untersuchung der Schaftform

Der Entwicklung des Grundflächenzuwachses in unterschiedlichen Schafthöhen folgt unter normalen Umständen einem gesetzmäßigen Verlauf, der im höheren Alter mit der Höhe abnimmt (ASSMANN, 1961). Nur in jungen Beständen, in denen das Höhenwachstum noch verstärkt zunimmt, wird die Holzsubstanz im oberen Kronenteil zur Sprossverlängerung und -verstärkung verwendet.

Für die Darstellung der Zuwachsentwicklung in unterschiedlichen Schafthöhen werden die Zuwachswerte der verschiedenen Baumhöhen zum Grundflächenzuwachs in 1.3 m Höhe in Relation gesetzt (Abb. 7.3-5 und 7.3-6). Um eine Veränderung über der Zeit feststellen zu können, werden drei Zeiträume ausgewählt (1938-1942, 1956-1960, 1970-1974). Zwei der Bayreuther Probebäume folgen weitgehend dem gesetzmäßigen Verlauf, während ein Baum ein deutlich abweichendes Wuchsverhalten aufweist. Tendenziell sinken auch in diesem Fall die Zuwächse mit zunehmender Höhe, jedoch nicht in dem Ausmaß der beiden anderen Probebäume. Zudem sind deutliche Zuwachsverlagerungen in obere Schaftbereiche zu erkennen, was besonders im Zeitraum 1956-1960 ins Auge fällt. Hier ist in ca. 14 m Höhe der Querflächenzuwachs trotz eines geringeren Durchmessers höher als bei 1.3 m.

Die Waldsassener Probebäume zeigen ebenfalls tendenziell abnehmende Querflächenzuwächse mit zunehmender Höhe. Relativ gesehen erfolgen sie jedoch wesentlich schwächer als in Bayreuth. Bei der Hälfte der Baumhöhe (ca. 8 m) erreichen sie im Zeitraum 1970-1974 noch ca. 80 % des Zuwachses, während die Bayreuther Bäume in dieser Höhenrelation (ca. 18 m) im gleichen Zeitraum nur ca. 55-60 % des Bezugswachses in 1.3 m Höhe haben.

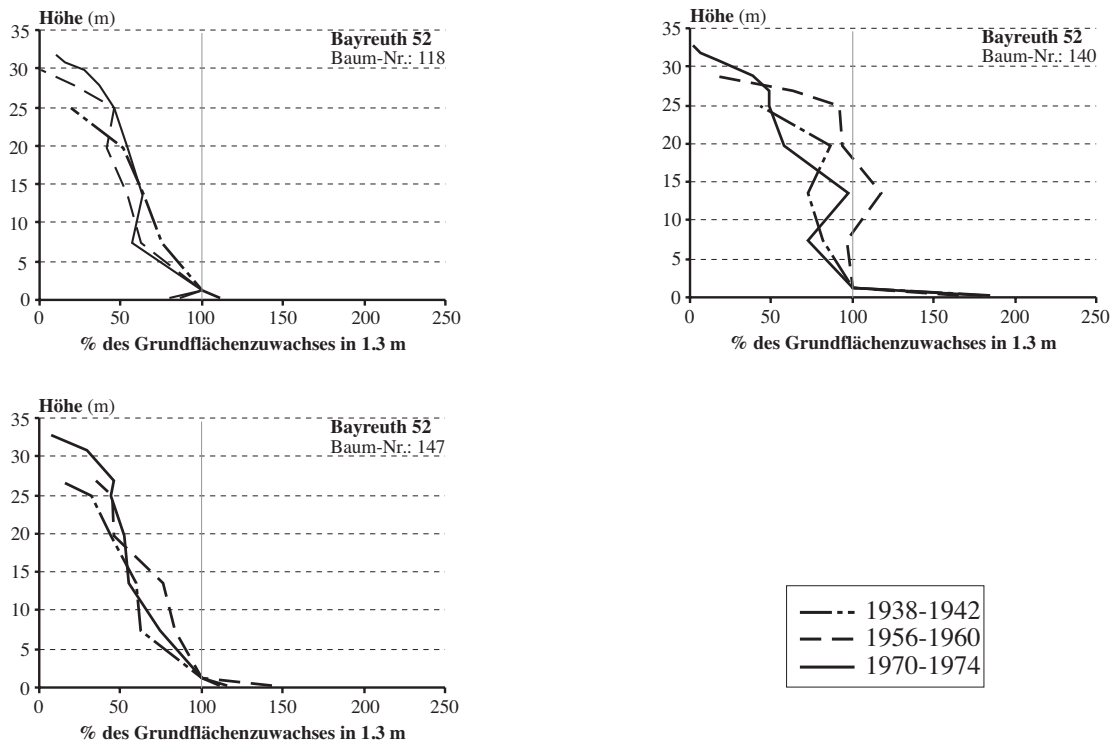


Abb. 7.3-5: Zuwachsentwicklung in unterschiedlichen Schafthöhen über dem prozentualen Grundflächenzuwachs von 1.3 m Höhe der Probestämme aus der Versuchsfläche Bayreuth (BAY 52); Datenquelle: Einzelbaumanalysen aus langfristigen Versuchsflächen.

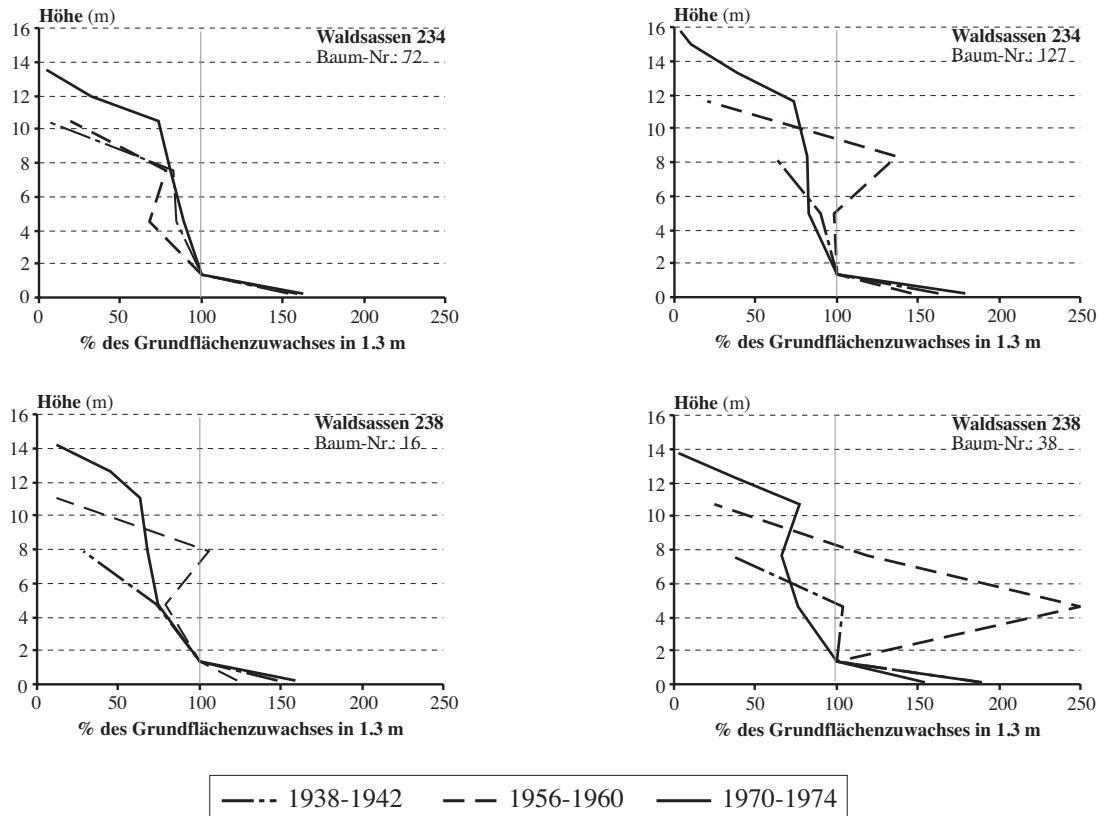


Abb. 7.3-6: Zuwachsentwicklung in unterschiedlichen Schafthöhen über dem prozentualen Grundflächenzuwachs von 1.3 m Höhe der Probestämme aus der Versuchsfläche Waldsassen (WAS 234 und 238); Datenquelle: Einzelbaumanalysen aus langfristigen Versuchsflächen.



Auffällig sind hier wiederum die starken Ausschläge mit weit über 100 % insbesondere zwischen 1956-1960, in denen sich die Kiefern in einem Bereich zunehmenden Durchmesser- und Höhenzuwachs befinden (Abb. 8.3-2).

### Die Formzahlentwicklung

Die Formzahl wird durch den Quotient aus dem tatsächlichen Volumen und dem Volumen einer Bezugswalze eines definierten Durchmessers gebildet. Die echte Formzahl ( $f_{0.9}$ ) bezieht sich auf einen Durchmesser, der immer in der gleichen relativen Baumhöhe (z.B. bei 1/10 der Höhe) gemessen wird. Nach ASSMANN (1961) verändert er sich systematisch mit zunehmendem Alter nur wenig. Die unechte Formzahl ( $f_{1.3}$ ) nimmt hingegen Bezug auf den Durchmesser in 1.3 m Höhe, der sich aufgrund der starren Messhöhe mit zunehmender Baumhöhe verändert. Sie beschreibt also nicht die echte Form eines Baumes. Dieser Formzahl wird wegen dem vergleichsweise geringeren Messaufwand jedoch überall der Vorzug als Reduktionsfaktor gegeben.

Die oben beschriebenen Ergebnisse werden bei der Darstellung der Entwicklung der Formzahlen verdeutlicht (Abb. 7.3-7). Die wesentlich geringere Abnahme des Querflächenzuwachs mit zunehmender Baumhöhe bewirkt eine langfristige Zunahme der echten Formzahl bei den Waldsassener Kiefern und beim Baum Nr. 140 von der Versuchsfläche Bayreuth. Die Bäume werden mit zunehmendem Alter vollholziger. In den letzten beiden Jahrzehnten sinken die Formzahlen jedoch wieder, was durch den stark ansteigenden Höhenzuwachs bedingt sein kann.

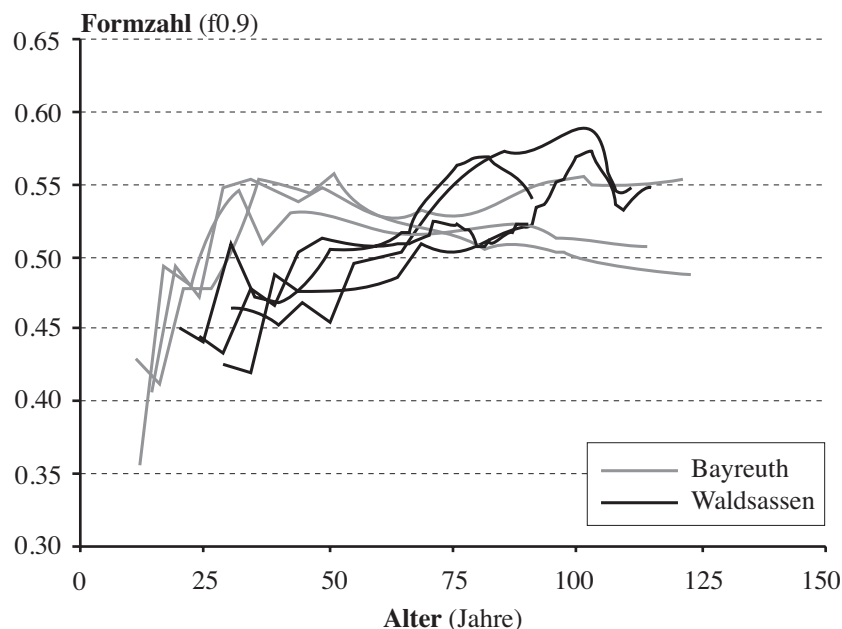


Abb. 7.3-7: Entwicklung der echten Formzahl über dem Alter der Probestämme aus den Versuchsflächen Bayreuth (BAY 52) und Waldsassen (WAS 234 und 238); Datenquelle: Einzelbaumanalysen aus langfristigen Versuchsflächen.

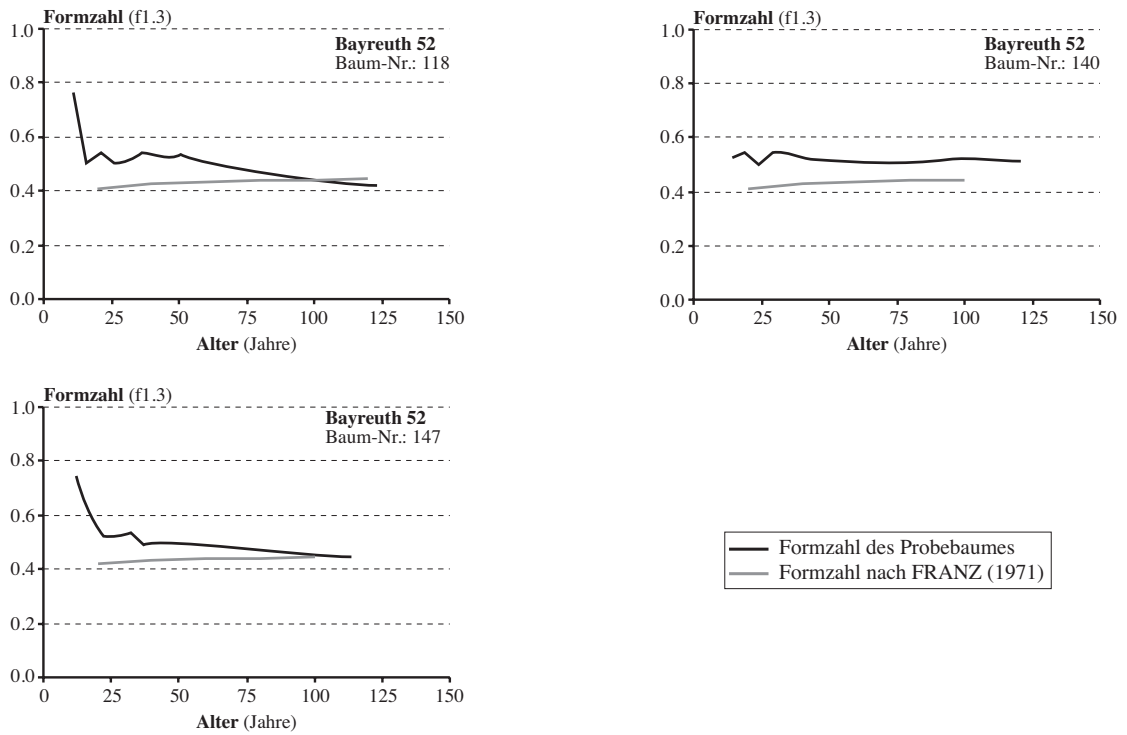


Abb. 7.3-8: Entwicklung der unechten Formzahl und der von FRANZ (1971) entwickelten Formzahl über dem Alter der Probebäume aus der Versuchsfläche Bayreuth (BAY 52); Datenquelle: Einzelbaumanalysen aus langfristigen Versuchsflächen.

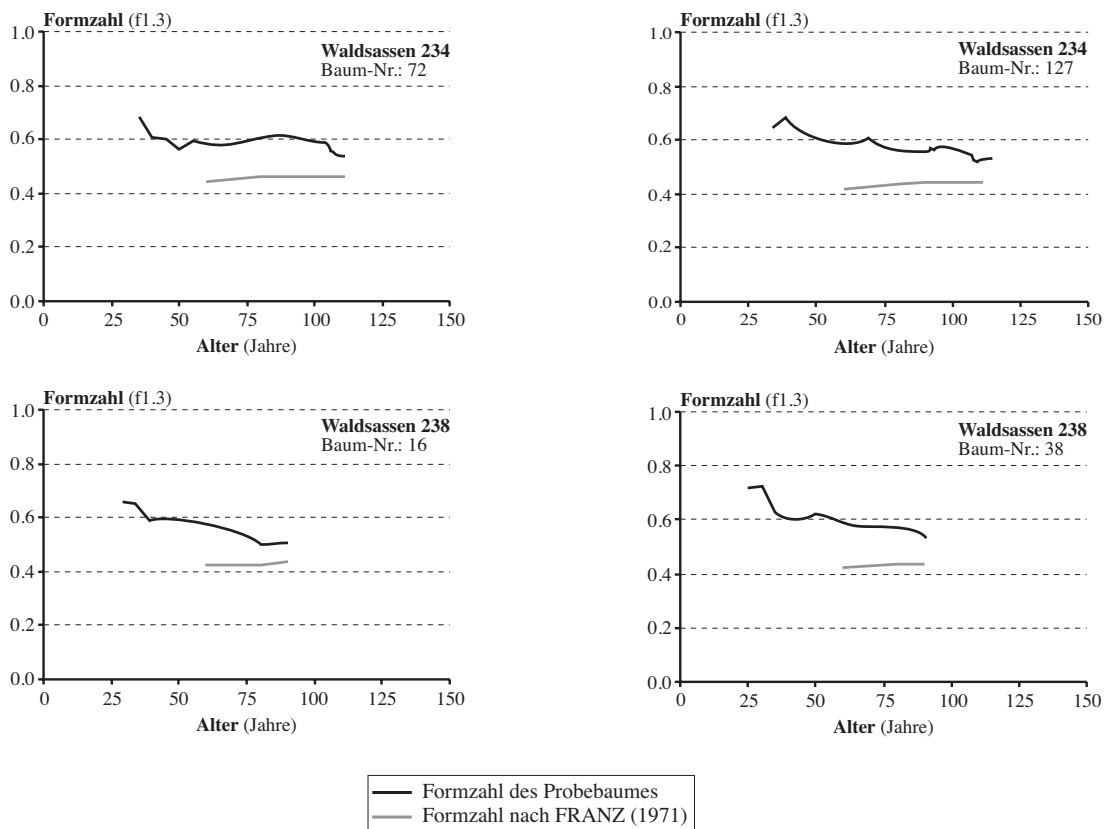


Abb. 7.3-9: Entwicklung der unechten Formzahl und der von FRANZ (1971) entwickelten Formzahl über dem Alter der Probebäume aus der Versuchsfläche Waldsassen (WAS 234 und 238); Datenquelle: Einzelbaumanalysen aus langfristigen Versuchsflächen.

Um einen Vergleich mit praxisüblichen Formzahlen treffen zu können, wird in Abbildung 7.3-8 und 7.3-9 die Entwicklung der unechten Formzahl ( $f_{1.3}$ ) der von FRANZ (1971) hergeleiteten Formzahl gegenübergestellt. Die beiden Bayreuther Kiefern haben insbesondere im höheren Alter größere Formzahlen, die sich mit zunehmendem Alter annähern. Der Baum Nr. 140 bildet mit einem parallelen Verlauf oberhalb der Werte von FRANZ (1971) wiederum eine Ausnahme. Die Bäume der Waldsassener Kiefern zeigen diesen Trend noch deutlicher mit wesentlich höheren Formzahlen und einem langsameren Abfall. Im Alter von ca. 90 Jahren werden Formzahlen zwischen ca. 0.55 und 0.60 erreicht. Auf diesen Versuchsflächen wird bei Verwendung dieser Formzahl der Vorrat der Bäume deutlich unterschätzt.

## 8 Identifikation und Quantifizierung von Wachstumstrends

Nachdem in den vorhergehenden Abschnitten das Wachstum der Kiefer in unterschiedlichen Regionen und auf verschiedenen Standorten beschrieben und analysiert wurde, sollen im Folgenden Kapitel Wachstumsänderungen genauer erfasst werden. Hierbei geht es insbesondere um die Frage, ob und in welchem Umfang sich das Wuchsverhalten im Vergleich zu einem Referenzwachstum verändert hat. Weiterhin sollen Wachstumstrends auf verschiedenen Standorten untersucht werden, um festzustellen, ob hier Unterschiede auftreten. Für die Beantwortung der Fragen werden die in Abschnitt 5.2 vorgestellten Verfahren auf das vorhandene Datenmaterial aus den langfristigen Versuchsflächen angewendet.

### 8.1 Vergleich des Wachstums mit der WIEDEMANN-Ertragstafel

Trotz der in Abschnitt 5.2.1 erläuterten Probleme bei Anwendung der WIEDEMANN-Ertragstafel soll hier ein Vergleich mit den tatsächlich beobachteten Wachstumswerten durchgeführt werden, da dieses Tafelwerk in der Praxis allgemein zur Einwertung von Kiefernbeständen herangezogen wird.

#### 8.1.1 Verwendetes Datenmaterial

Für die folgende Untersuchung konnten ein Großteil der Durchforstungs-Versuchsflächen und alle ungedüngten Kontrollparzellen der Düngungs-Versuchsflächen herangezogen werden. Um zu gewährleisten, dass alle Parzellen für einen annähernd gleichen Zeitraum analysiert werden, sind nur Aufnahmen ab 1960 berücksichtigt, da die Düngungsversuche (und deren Kontrollparzellen) erst zu dieser Zeit angelegt wurden. Die Ergebnisse aus der Durchforstungs-Versuchsfläche Weiden WEI 611 können aus diesem Grund hier nicht berücksichtigt werden, da die Versuchsflächenanlage erst 1982 erfolgte. Weiterhin können nur Werte ab einem Alter von 25 Jahren verwendet werden, da für jüngere Bestände keine Ertragstafelwerte vorliegen. Untersucht werden die ertragskundlichen Parameter Oberhöhe, Volumenzuwachs und Vorrat. Da die Aufnahmeperioden der verschiedenen Versuchsflächen verschieden lang sind (zwischen 5 bis 11 Jahre), war es notwendig, die berechneten Zuwachswerte einer jeden Aufnahme mit der Periodenlänge zu gewichten.

Insgesamt handelt es sich um 281 bzw. 1506 (gewichtete) Datensätze.

### 8.1.2 Prozentuale Abweichung der beobachteten Werte von der WIEDEMANN-Ertragstafel.

Nachdem die Erwartungswerte der WIEDEMANN-Ertragstafel entsprechend der Ausgangsbonität einer Versuchsparzelle den jeweiligen Aufnahmen zugeordnet und die Vorrats- und Volumenzuwachswerte mit dem Bestockungsgrad reduziert sind (vgl. Abschnitt 5.1), kann die prozentuale Relation der beobachteten Werte zur Ertragstafel berechnet werden.

Die Ergebnisse für die drei Kennwerte zeigen die Abbildungen 8.1-1 bis 8.1-3. Die tatsächlich beobachteten Höhen liegen durchweg über den Erwartungswerten der WIEDEMANN-Ertragstafel mit Schwankungen zwischen 105 % und 173 %. Höhere Abweichungen ergeben sich vor allem ab einem Alter von ca. 110 Jahren, es ist also ein steigender Trend mit zunehmendem Alter zu beobachten.

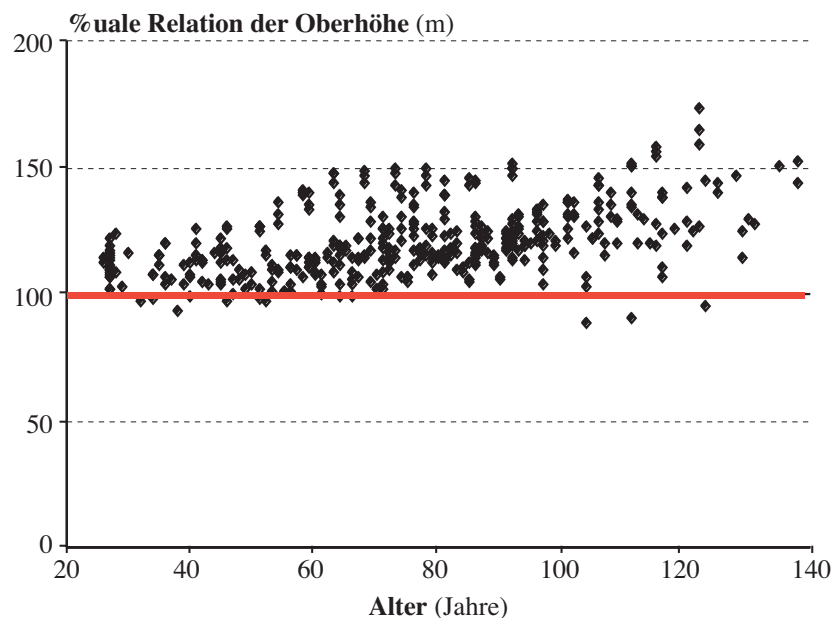


Abb. 8.1-1: Prozentuale Relation der Oberhöhe zu den Erwartungswerten der WIEDEMANN-Ertragstafel (1943, mäßige Durchforstung); Datenquelle: Langfristige Versuchsflächen.

Beim laufenden jährlichen Volumenzuwachs ist mit zunehmendem Alter ein stark positiv gerichteter Trend mit maximalen Schwankungen von über 300 % bei einem Alter von ca. 110 Jahren festzustellen. Werte, die unterhalb der Ertragstafelwerte liegen, finden sich regelmäßig nur in jüngeren Altern.

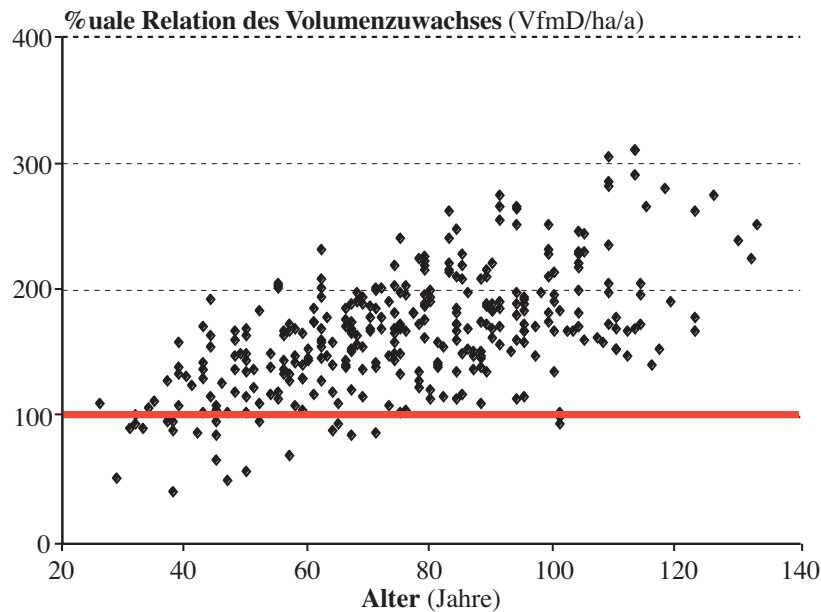


Abb. 8.1-2: Prozentuale Relation des laufenden jährlichen Volumenzuwachses zu den Erwartungswerten der WIEDEMANN-Ertragstafel (1943, mäßige Durchforstung); Datenquelle: Langfristige Versuchsflächen.

Trotz des beträchtlich abweichenden Volumenzuwachses zeigt der verbleibende Vorrat nur eine unwesentliche Streuung. Die Werte entsprechen weitgehend den von der Ertragstafel vorgegebenen Vergleichswerten, d.h. bei entsprechender Vorratshaltung liegen die Volumenzuwächse weit über den von WIEDEMANN angenommenen Werten. Dass hier die Vorräte keine höheren Abweichungen zeigen, kann nur durch höhere Entnahmemengen erklärt werden, die dem der Ertragstafel unterstellten Durchforstungskonzept nicht entsprechen.

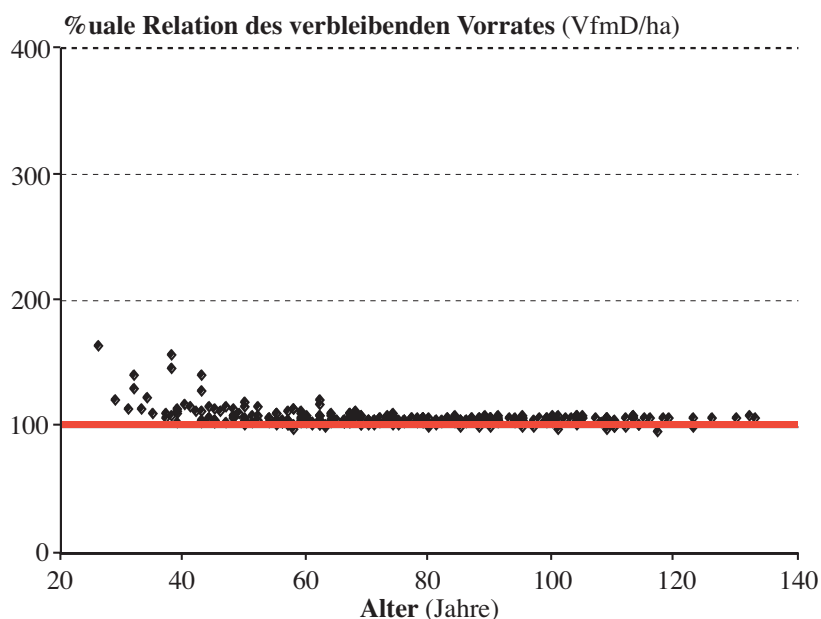


Abb. 8.1-3: Prozentuale Relation des verbleibenden Vorrates zu den Erwartungswerten der WIEDEMANN-Ertragstafel (1943, mäßige Durchforstung); Datenquelle: Langfristige Versuchsflächen.

### 8.1.3 Linearer Ausgleich der prozentualen Abweichungen von der Ertragstafel in Abhängigkeit von Alter, Bonität und Bestockungsgrad

Um genauere Aussagen über das abweichende Wuchsverhalten treffen zu können bzw. dieses zu quantifizieren, werden die Abweichungsprozente mit Hilfe eines linearen Regressionsmodells ausgeglichen (Gleichung 8.1-1). Bei dieser Analyse wird neben dem Bestockungsgrad als Maß für die Dichte der Bestände auch der Standort mit berücksichtigt. Damit soll festgestellt werden, ob sich die Reaktionsmuster der Kiefernbestände auf unterschiedlichen Standorten unterscheiden.

$$y = a + b \cdot t + c \cdot \text{bon} + d \cdot \text{bg}$$

Gleichung 8.1-1

wobei:

- t = Alter (Jahre)
- bon = Ausgangsbonität
- bg = Bestockungsgrad
- a, b, c, d = Funktionsparameter

Zur Einordnung der Standorte wird die Ausgangsbonität verwendet. Dabei werden die auftretenden Höhenbonitäten in 5 Stufen eingeteilt (Ertragsklasse I-V). Der Höhenrahmen, den die jeweiligen Ertragsklassen aufspannen, unterscheidet sich bei einem Vergleich der Ertragsklassen nur geringfügig (maximal 30 cm), so dass diese untereinander verglichen werden können. Tabelle 8.1-1 zeigt den Umfang des Datenmaterials (ungewichtet und mit der Periodenlänge gewichtet) in den einzelnen Ertragsklassen.

Tab. 8.1-1: Anzahl der für den Ertragstafelvergleich (WIEDEMANN, 1943, mäßige Durchforstung) verwendeten Datensätze (ungewichtet bzw. mit der Periodenlänge gewichtet).

Ertragsklasse	ungewichtet	gewichtet
I	4	36
II	60	425
III	70	352
IV	138	657
V	9	36
<b>Gesamt</b>	<b>281</b>	<b>1506</b>

Die geschätzten Parameter mit ihrer Irrtumswahrscheinlichkeit und dem Bestimmtheitsmaß zeigt Tab. 8.1-2. Bis auf wenige Ausnahmen haben alle Parameter eine Irrtumswahrscheinlichkeit von nur 0.001. Nur bei der Oberhöhe zeigen die Funktionsparameter a und b kein signifikantes Ergebnis. Hier macht sich die weitgehende Unabhängigkeit der Entwicklung der 100 höchsten Bäume von der Bestandesdichte bemerkbar (vgl. Gleichung 8.1-1).



Tab. 8.1-2: Geschätzte Parameter der Ausgleichsfunktion mit den Irrtumswahrscheinlichkeiten (\* = 0.05, \*\* = 0.01, \*\*\* = 0.001) und dem Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ) für die Oberhöhe, den verbleibenden Vorrat und den laufenden jährlichen Volumenzuwachs.

	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>d</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
Oberhöhe	-10.19	0.13 ***	7.85 ***	-2.17	0.35
Vorrat	-127.33 ***	0.09 **	6.89 ***	115.44 ***	0.77
Volumenzuwachs	-183.17 ***	1.18 ***	33.85 ***	77.54 ***	0.36

Die folgenden Tabellen (Tab. 8.1-3 und 8.1-4) zeigen die Ergebnisse des Ausgleichs für die Oberhöhe und den Volumenzuwachs. Bei der I. Ertragsklasse ist das Datenmaterial für eine Auswertung zu gering und auch die Ergebnisse der V. Ertragsklasse müssen aus diesem Grund mit Vorsicht interpretiert werden. Generell wird von einem vollbestockten Bestand (Bestockungsgrad von 1.0) ausgegangen.

Die prozentualen Abweichungen der Oberhöhen von den Erwartungswerten der Ertragstafel zeigen bei jeder Ausgangsbonität mit zunehmendem Alter eine stärkere Unstimmigkeit zwischen beobachteten und erwarteten Werten. Weiterhin nimmt die prozentuale Abweichung mit schlechter werdendem Standort bzw. abnehmender Bonität zu. Beträgt die Abweichung bei der Ausgangsbonität II im Alter 120 noch 19 %, so liegt sie bei einer Ausgangsbonität V bei 42 %.

Tab. 8.1-3: Prozentuale Abweichung von den erwarteten Oberhöhen der WIEDEMANN-Ertragstafel bei einem Bestockungsgrad von 1.0.

<b>Abweichung (%) von der erwarteten Oberhöhe</b>				
<b>Alter (Jahre)</b>	<b>Ausgangsbonitäten</b>			
	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>IV</b>	<b>V</b>
40	8	16	24	
50	10	18	25	
60	11	19	27	
70	12	20	28	
80	14	21	29	
90	15	23	31	38
100	16	24	32	40
110	17	25	33	41
120	19	27	34	42
130	20	28	36	
140	21		37	

Die Ergebnisse des laufenden jährlichen Volumenzuwachses zeigen prinzipiell den gleichen Trend wie die Oberhöhen. Auffällig ist jedoch, dass die Differenzen sowohl innerhalb als auch zwischen den Ausgangsbonitäten wesentlich größer sind. Beträgt die Abweichung im Alter von 120 Jahren bei der Ausgangsbonität II noch 112 %, steigt sie bei Ausgangsbonität V auf 212 %.

Tab. 8.1-4: Prozentuale Abweichung vom erwarteten laufenden Volumenzuwachs der WIEDEMANN-Ertragstafel bei einem Bestockungsgrad von 1.0

<b>Abweichung (%) vom erwarteten lfd. Volumenzuwachs</b>				
<b>Alter</b>	<b>Ausgangsbonitäten</b>			
	II	III	IV	V
40	6	40	73	
50	20	53	86	
60	33	66	99	
70	46	79	113	
80	59	92	126	
90	72	106	139	172
100	86	119	152	185
110	99	132	165	199
120	112	145	178	212
130	125	158	192	
140	138		205	

## 8.2 Vergleich des Wachstums in den Zeiträumen bis 1960 und nach 1960

### 8.2.1 Verwendetes Datenmaterial

Für den Vergleich der Entwicklungsgänge in den beiden Zeiträumen wird wiederum das Datenmaterial aus den langfristigen Versuchsflächen herangezogen. Insgesamt handelt es sich um 416 Datensätze (Tab. 8.2-1), die sich aufgrund der fehlenden Zuwachswerte bei der Erstaufnahme auf 370 reduzieren. Da die Länge der Beobachtungsperiode und damit die Häufigkeit des Auftretens der Zuwachswerte für die Interpretation der Ergebnisse von Bedeutung ist, müssen die Zuwachswerte mit der Länge der jeweiligen Periode gewichtet werden.

Tab. 8.2-1: Anzahl der untersuchten Datensätze in den beiden Zeiträumen bis 1960 und nach 1960; Datenquelle: Langfristige Versuchsflächen.

	<b>bis 1960</b>	<b>nach 1960</b>	<b>Gesamt</b>
Anzahl Datensätze	170	246	416
Anzahl Zuwachswerte	124	246	370
Anzahl gewichteter Zuwachswerte	883	1524	2407

### 8.2.2 Einteilung der auftretenden Standorte in Standortsklassen

Wie in Abschnitt 5.1 erläutert, übt der Standort einen entscheidenden Einfluss auf die Wuchsleistung von Beständen aus. Um Aussagen über das Wuchsverhalten auf verschiedenen Standorten treffen zu können, werden die Standorte der Versuchspartzen für die folgende Untersuchung in drei Standortgruppen (ungünstigerer, mittlerer und besserer Standort) zusammengefasst. Wie die in Abschnitt 7 vorgestellten Ergebnisse zeigen, spielen vor allem der Wasser- und der Nährstoffhaushalt bei der Wuchsleistung eine entscheidende Rolle. Deswegen sind diese beiden Faktoren die entscheidenden Komponenten bei der Einstufung. Tab. 8.2-2 gibt einen Überblick über die in den Standortgruppen befindlichen Standortseinheiten und die Anzahl der dort auftretenden gewichteten Zuwachswerte. Die Codierung erfolgt nach dem in Bayern üblichen Ziffernsystem (siehe Tab. A 6 im Anhang).

Tab. 8.2-2: Standortseinheiten der drei Standortgruppen (1 = ungünstigerer Standort, 2 = mittlerer Standort, 3 = besserer Standort).

		Standortseinheiten	Anzahl gewichteter Datensätze (%)	
			bis 1960	nach 1960
Standortgruppe 1	ungünstig	001,176,010,111,306,012,311	248 (28.1)	579 (37.9)
Standortgruppe 2	mittel	102,202,212,217,307,702,177,707	397 (44.9)	804 (52.8)
Standortgruppe 3	besser	703,808,828	238 (26.9)	141 (9.2)

In beiden Zeiträumen sind die drei Standortgruppen mit unterschiedlicher Besetzung zu finden, wobei nach 1960 prozentual gesehen deutlich mehr ungünstigere und mittlere Standorte, vor 1960 mehr bessere Standorte auftreten.

### 8.2.3 Betrachtung wichtiger waldwachstumskundlicher Kennwerte

Im Folgenden wird die Entwicklung der wichtigsten waldwachstumskundlichen Parameter in Form von Boxplots beschrieben (Abb. 8.2-1). Da das Alter für die untersuchten Wachstumsgrößen eine entscheidende Rolle spielt, werden fünf Altersstufen gebildet:

Altersstufe 30	=	21-40 Jahre
Altersstufe 50	=	41-60 Jahre
Altersstufe 70	=	61-80 Jahre
Altersstufe 90	=	81-100 Jahre
Altersstufe 110	=	> 100 Jahre

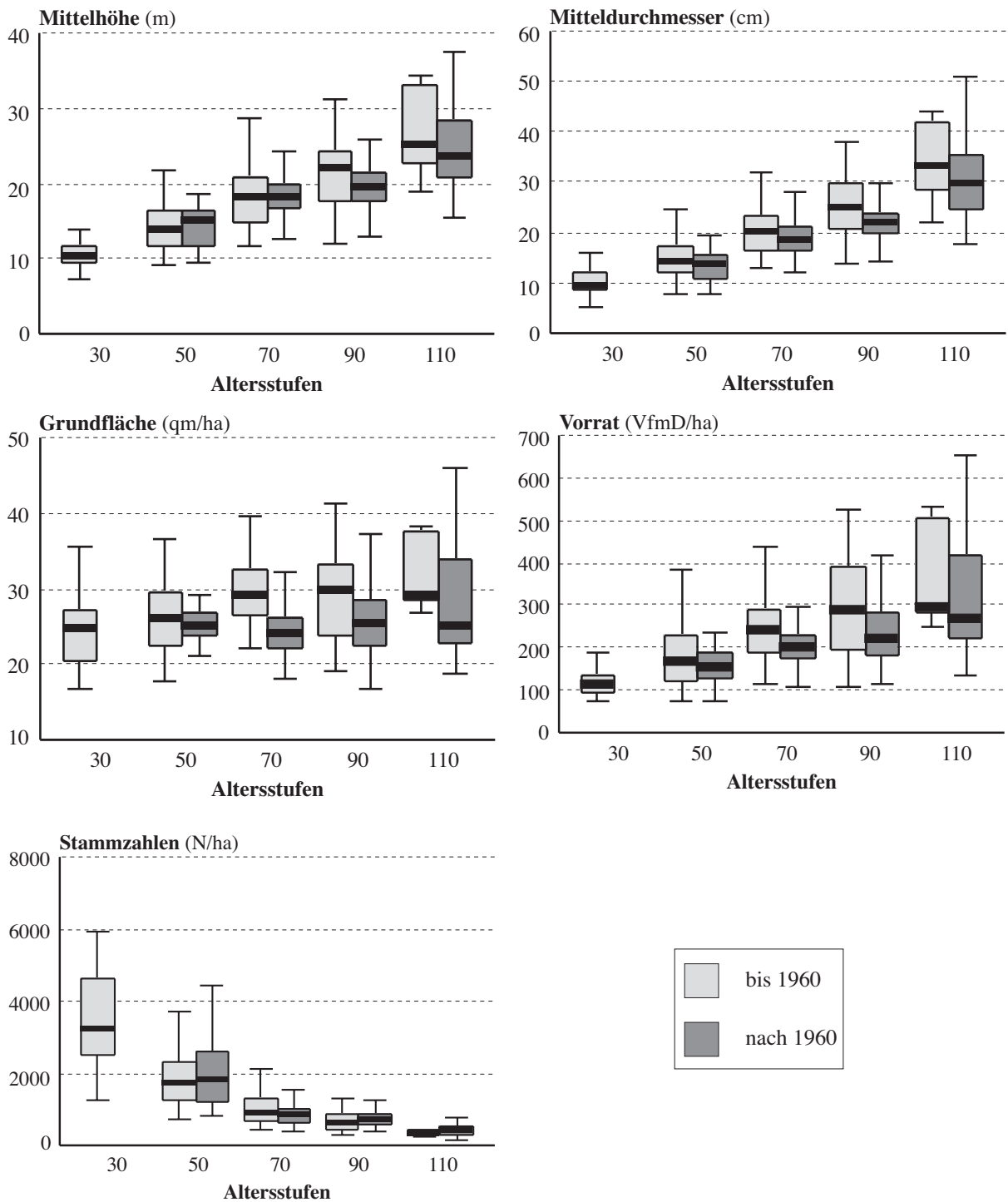


Abb. 8.2-1: Mittelhöhe, Mitteldurchmesser, Grundfläche, Vorrat und Stammzahlen der Zeiträume bis 1960 und nach 1960 für fünf Altersstufen; Datenquelle: Langfristige Versuchsflächen.

Im Zeitraum nach 1960 liegen die Mittelhöhen, die Mitteldurchmesser, die Grundflächen- und Vorratswerte deutlich unter den Werten von vor 1960. Die Differenz zwischen den beiden Zeiträumen wird dabei um so größer, je älter die Bestände sind. In der Altersstufe 50 liegen die Werte auf ähnlichem Niveau, bei den Mittelhöhen sogar etwas darüber. Generell spiegeln diese Parameter, und hier insbesondere die Mittelhöhe, die durchschnittlich ungünstigeren Standorte

im Zeitraum nach 1960 wider. Neben den standörtlichen Unterschieden können jedoch bei den Durchmesser-, Grundflächen- und Vorratswerten auch Durchforstungsmaßnahmen bzw. zufällige Ereignisse (Schneebruch und Windwurf) für die Differenz ausschlaggebend sein. Da die Dichte der Bestände einen bedeutenden Einfluss auf die Entwicklung des Volumenzuwachses hat (ASSMANN, 1961), müssen neben standörtlichen auch die behandlungsbedingten Effekte berücksichtigt werden.

## 8.2.4 Analyse der Zuwachsgrößen

Im Folgenden Abschnitt werden die Höhen-, Durchmesser- und Volumenzuwächse der beiden Zeiträume näher untersucht. Da auch der Einfluss des Standortes mit berücksichtigt werden soll, werden diese Größen für die in Abschnitt 8.2.2 gebildeten Standortgruppen getrennt vorgestellt. Zur Prüfung signifikanter Unterschiede zwischen den Werten vor und nach 1960 wird ein t-Test (BORTZ, 1993) verwendet, die Irrtumswahrscheinlichkeiten sind in Tab. 8.2-3 aufgeführt. Da für die Standortgruppe „besser“ nur in höheren Altern Werte für den Zeitraum nach 1960 vorhanden sind, wird hier auf die Vorstellung dieser Standortgruppe verzichtet.

Tab. 8.2-3: Irrtumswahrscheinlichkeiten der mit einem t-Test untersuchten Parameter Durchmesser-, Höhen- und Volumenzuwachs und des H/D-Verhältnisses des Grundflächenmittelstammes für fünf Altersstufen (\*\*\*) = 0.001; \*\* = 0.01; \* = 0.05; - = kein signifikanter Unterschied).

	Altersstufen			
	50	70	90	110
<b>Durchmesserzuwachs</b>				
Standortgruppe 1	***	***	***	**
Standortgruppe 2	***	***	***	***
Standortgruppe 3			-	**
<b>Höhenzuwachs</b>				
Standortgruppe 1	***	***	***	-
Standortgruppe 2	**	***	-	*
Standortgruppe 3			**	-
<b>Volumenzuwachs</b>				
Standortgruppe 1	***	***	***	*
Standortgruppe 2	-	***	***	-
Standortgruppe 3			*	*
<b>H/D-Verhältnis</b>				
Standortgruppe 1	***	***	***	*
Standortgruppe 2	***	***	***	*
Standortgruppe 3			***	-

Die Zuwachswerte in den fünf Altersklassen unterscheiden sich für den Großteil der Fälle signifikant voneinander, nur in höheren Altern finden sich geringere Unterschiede zwischen den Werten vor und nach 1960.

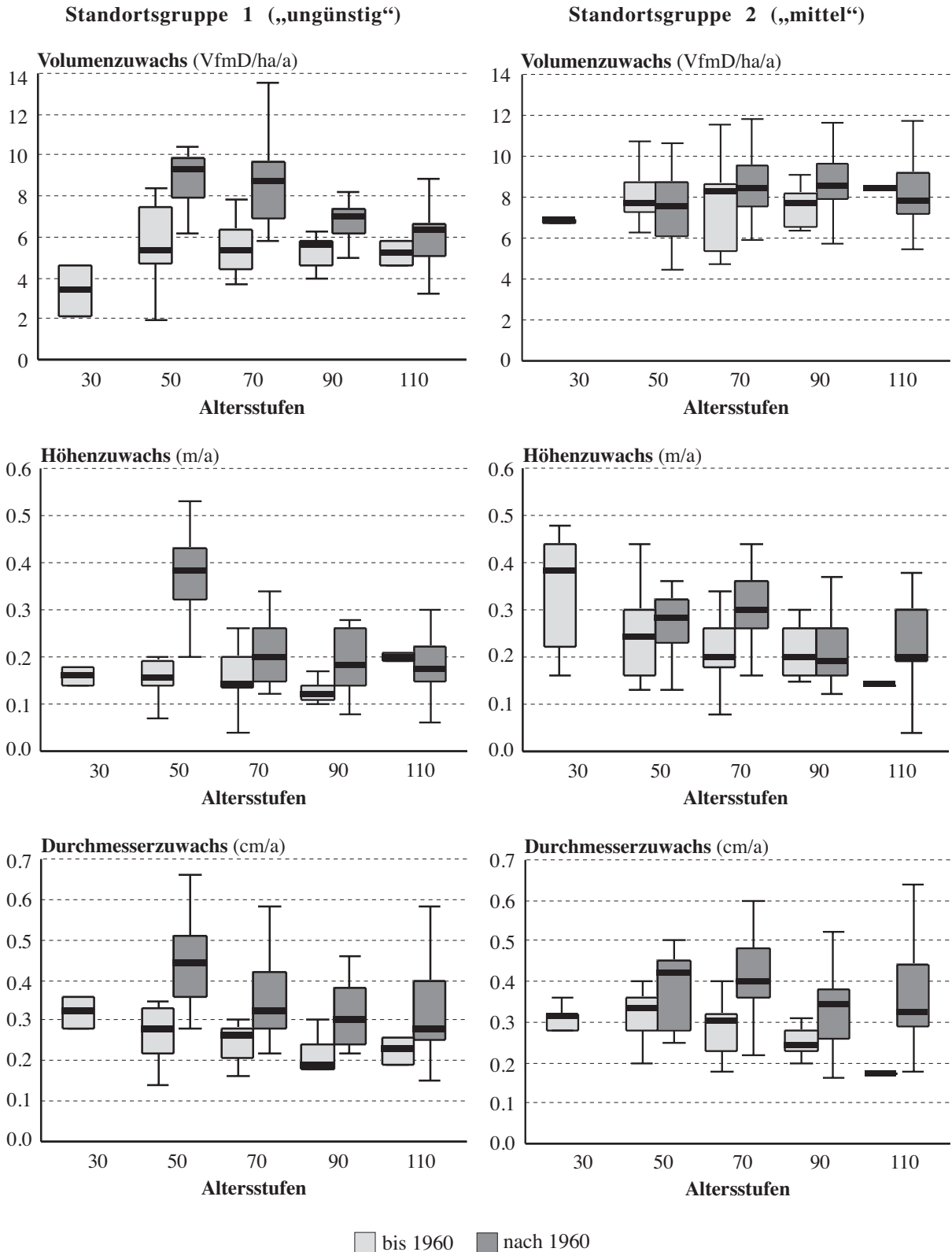


Abb. 8.2-2: Volumen-, Höhen- und Durchmesserzuwachs bis 1960 und nach 1960 der fünf Altersstufen für die Standortsgruppen 1 und 2; Datenquelle: Langfristige Versuchsflächen.

Der Volumenzuwachs zeigt nach 1960 mit nur zwei Ausnahmefällen deutlich höhere Werte als vor 1960 (Abb. 8.2-2). Dieser Unterschied ist in der Standortsgruppe 1 („ungünstig“) wesentlich stärker ausgeprägt als in der Standortsgruppe 2 („mittel“).

Diese Tendenzen zeigen sich sowohl beim Höhen- als auch beim Durchmesserzuwachs. Nur in der Altersstufe 70 erscheinen augenfällig höhere Werte in der Gruppe 2. Beim Volumenzuwachs ist jedoch zu berücksichtigen, dass neben dem Durchmesser- und Höhenzuwachs auch die Anzahl der Stämme, die diesen Zuwachs tragen, von Bedeutung ist. Hiermit kann beispielsweise der geringe Unterschied des Volumenzuwachses der Standortsgruppe 2 in der Altersklasse 70 trotz stärker abweichender Durchmesser- und Höhenzuwächse erklärt werden. Werden diese beträchtlichen Zuwächse nur von einer geringen Anzahl Stämme geleistet, ergibt sich dennoch ein vergleichsweise geringer Volumenzuwachs. Diese unterschiedlichen Dichten müssen bei der Interpretation berücksichtigt werden.

Das Verhältnis der Höhe zum Durchmesser gibt Aufschluss über den Schlankheitsgrad eines Baumes bzw. Bestandes und ist ein Maß für die Stabilität (WENK et al., 1990). Die Entwicklung des Schlankheitsgrades folgt einem alterstypischen Verlauf. Der Konkurrenzdruck in der Jugend bedingt einen im Vergleich zum Durchmesserzuwachs verstärkten Höhenzuwachs und damit höhere Schlankheitsgrade (WIEDEMANN, 1948). Das Höhenwachstum der Kiefer lässt nach den ersten drei Jahrzehnten nach, während der Durchmesserzuwachs nicht in gleichem Maße zurückgeht. Dadurch werden die Schlankheitsgrade wieder niedriger und führen zu einer Stabilisierung des Baumes bzw. Bestandes.

Die H/D-Werte der beiden Standortsgruppen innerhalb der untersuchten Zeiträume werden in Abbildung 8.2-3 gegenübergestellt. Jeder Zeitraum für sich betrachtet zeigt den beschriebenen alterstypischen Verlauf, wobei der Anstieg in frühen Altern hier nicht erfasst wird. Der Vergleich der beiden Zeiträume zeigt jedoch ein signifikant höheres Niveau der Schlankheitsgrade im Zeitraum nach 1960. Diese Differenz ist auf ungünstigeren Standorten höher und führt in der Altersstufe 50 zu einem durchschnittlichen Wert von über 100. Dies weist auf einen im Verhältnis zum Durchmesserzuwachs überproportional angestiegenen Höhenzuwachs hin, der auf schlechteren Standorten verstärkt erfolgt. Die Differenzen sind um so größer, je jünger die Bestände sind, d.h. je schneller sie noch auf veränderte Wuchskonstellationen reagieren können.



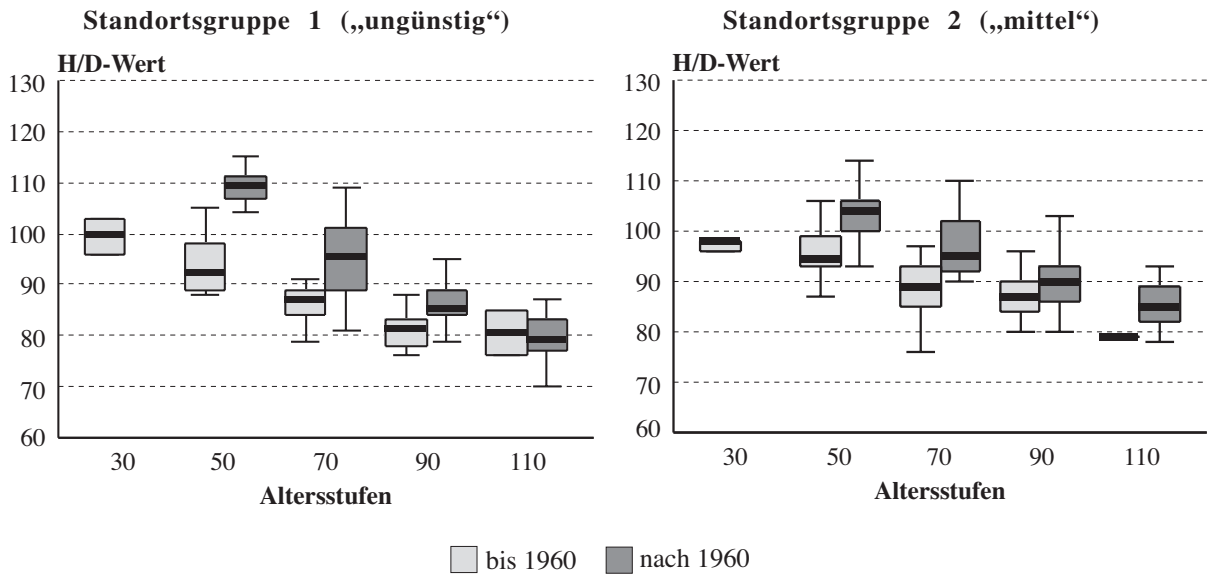


Abb. 8.2-3: H/D-Werte der fünf Altersgruppen bis 1960 und nach 1960 für die Standortgruppen 1 und 2; Datenquelle: Langfristige Versuchsflächen.

### 8.2.5 Einfluss der Dichte auf den Volumenzuwachs

Für die Untersuchung der Dichte in den beiden Zeiträumen wird die mittlere Grundflächenhaltung gewählt (ASSMANN, 1961). Abbildung 8.2-4 zeigt die durchschnittliche mittlere Grundflächenhaltung innerhalb der beiden Zeiträume für die fünf Altersstufen in Form von Boxplots.

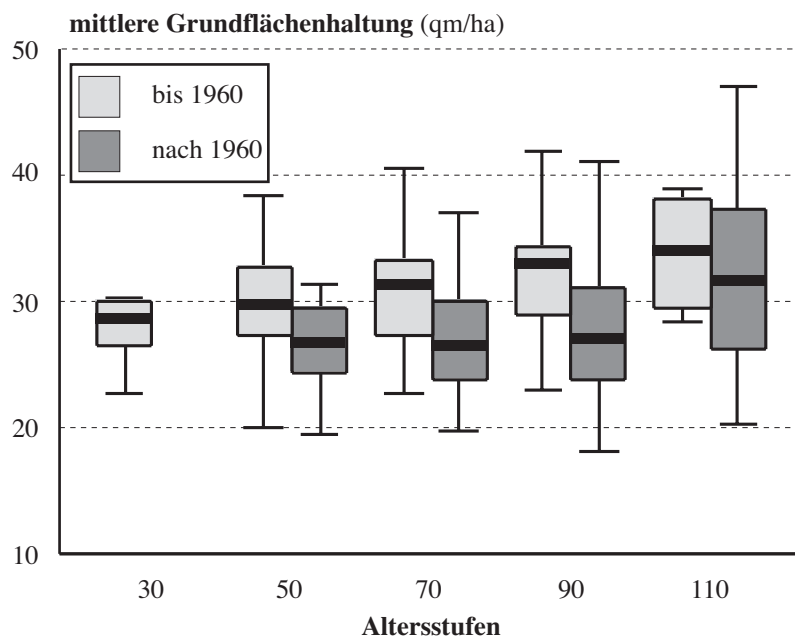


Abb. 8.2-4: Durchschnittliche mittlere Grundflächenhaltung für die fünf Altersstufen vor und nach 1969; Datenquelle: Langfristige Versuchsflächen.

Im Zeitraum vor 1960 steigt die mittlere Grundflächenhaltung bis zur Altersstufe 110 auf ca. 35 qm/ha an. Dagegen verweilt im Zeitraum nach 1960 die mittlere Grundflächenhaltung in fast allen Altersstufen auf einem wesentlich niedrigeren Niveau und steigt erst in Beständen über 100 Jahren an.

Die Abbildung 8.2-5 stellt die Entwicklung des Volumenzuwachses über der mittleren Grundflächenhaltung für alle Daten der zwei Altersstufen 50 (41-60 Jahre) und 90 (81-100 Jahre) dar. Diese Werte wurden mit Hilfe der in Abschnitt 5.1 vorgestellten Potenzfunktion ausgeglichen, die geschätzten Parameter der Funktion finden sich in Tabelle 8.2-4.

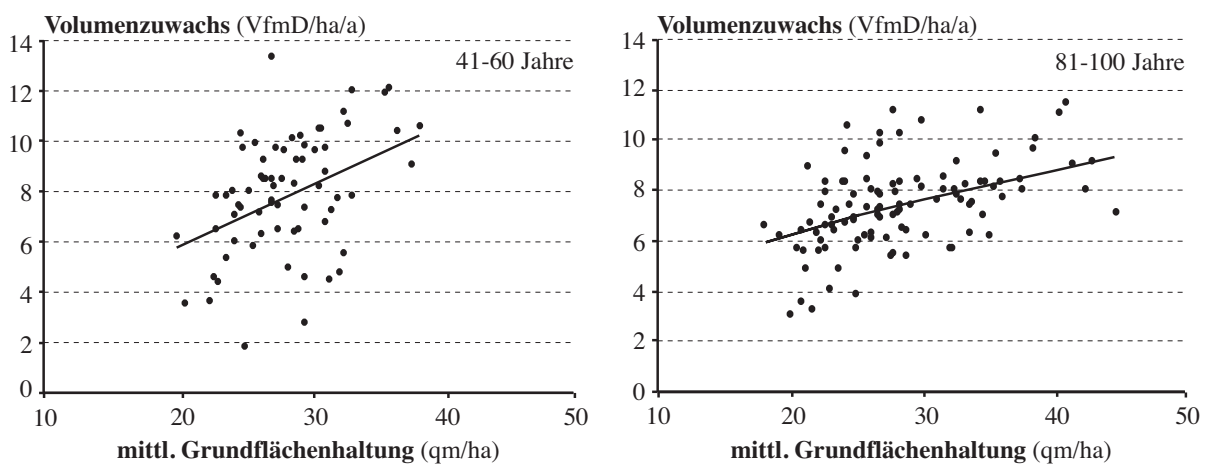


Abb. 8.2-5: Darstellung des Volumenzuwachses über der mittleren Grundflächenhaltung und Ausgleich der Werte mit einer Potenzfunktion für die Altersstufen 50 (41-60) Jahre und 90 (81-100 Jahre); Datenquelle: Langfristige Versuchsflächen.

In beiden Altersstufen ist mit zunehmender mittlerer Grundflächenhaltung ein steigender Volumenzuwachs festzustellen, der in jüngeren Beständen stärker als in älteren Beständen in Erscheinung tritt. Bedingt durch die verschiedenen Standorte erlaubt die hohe Streuung nur ein geringes Bestimmtheitsmaß, ermöglicht mit diesem Ausgleich aber dennoch eine Beschreibung mittlerer Zuwachsgänge in Abhängigkeit von der Dichte.

Tab. 8.2-4: Geschätzte Parameter ( $d_0$  und  $d_1$ ) und Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ) für den Ausgleich des Volumenzuwachses über der mittleren Grundflächenhaltung mit einer Potenzfunktion; Datenquelle: Langfristige Versuchsflächen..

Altersstufe (Jahre)	$d_0$	$d_1$	$R^2$
41-60	0.373	0.908	0.19
81-100	1.423	0.493	0.21

### 8.2.6 Funktionaler Ausgleich des Volumenzuwachses

Die festgestellten unterschiedlichen Wuchsverläufe innerhalb der beiden Zeiträume sollen nun durch eine nichtlineare Regression beschrieben und die durchschnittlichen Volumenzuwachswerte für die beiden Zeiträume bei definierter Dichte und Standort berechnet werden.

#### Funktionaler Ausgleich unter Berücksichtigung der Bestandesdichte

Bei einem Vergleich der beiden Zeiträume wird davon ausgegangen, dass das Wuchsverhalten bis 1960 weitgehend ungestört verlaufen ist und als Referenzwachstum zur Identifizierung eines abweichenden Wuchsverhaltens ab 1960 herangezogen werden kann. Bei der Beschreibung des Referenzzuwachses muss dabei sowohl das Alter als auch die Bestandesdichte berücksichtigt werden. Die Beschreibung des Wachstums in beiden Zeiträumen erfolgt mit Hilfe der in Abschnitt 5.1 erläuterten modifizierten Zuwachsfunktion (Gleichung 5.1-6, S. 30). Die geschätzten Parameter der Funktion, die Anzahl der verwendeten Datensätze und das Bestimmtheitsmaß finden sich in Tabelle 8.2-5.

Tab. 8.2-5: Geschätzte Parameter, Anzahl verwendeter Datensätze und Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ) der Volumenzuwachsdaten aus dem Zeitraum bis 1960; Datenquelle: Langfristige Versuchsflächen.

Parameter	Schätzwert
$a_0$	168.6075
$b$	12.0196
$c$	0.4734
$d_1$	0.1400
$R^2 = 0.43$	
$N = 883$	

In Abbildung 8.2-6 sind die Ergebnisse der Funktion dargestellt. Um die Zuwachswerte bei unterschiedlicher mittlerer Grundflächenhaltung zu vergleichen, wird der Volumenzuwachs sowohl mit der durchschnittlichen Grundflächenhaltung von vor 1960 als auch mit der niedrigeren durchschnittlichen Grundflächenhaltung des Zeitraumes nach 1960 errechnet (vgl. Abb. 8.2-4).

Die deutlich höheren Dichten bis 1960 drücken sich durch ein höheres Niveau der Zuwachskurve aus. Bei einem Alter von ca. 50 Jahren beträgt die Differenz ungefähr 1.5 VfmD/ha/a. Wird von einem unveränderten Wachstumsverlauf ausgegangen, müssten die Zuwachswerte im Zeitraum nach 1960 deutlich unter denen von vor 1960 liegen. Die Ergebnisse aus Abschnitt 8.2.5 zeigen jedoch, dass die Zuwachswerte nach 1960 höher liegen, obwohl die standörtlichen Verhältnisse sich in diesem Zeitraum ungünstiger darstellen (vgl. Tab. 8.2-2).

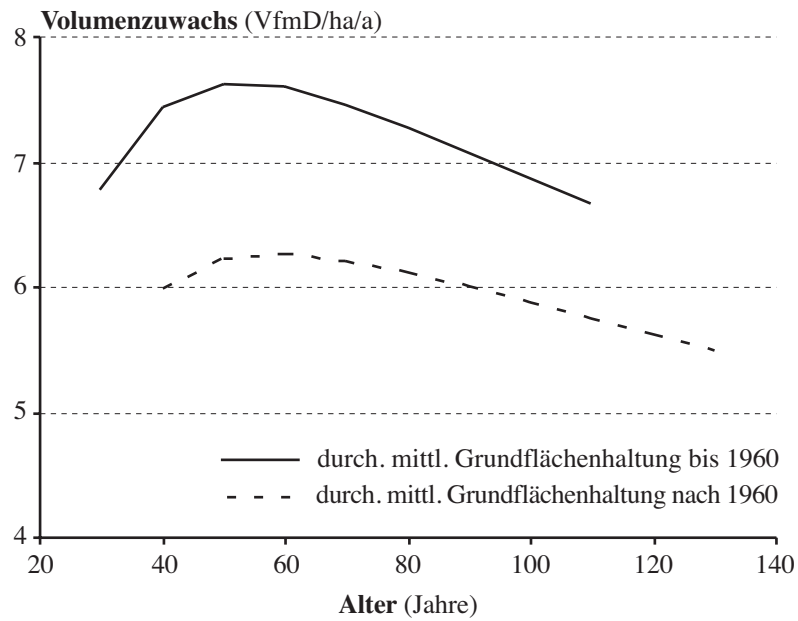


Abb. 8.2-6: Darstellung des Volumenzuwachses bis 1960 mit der Schätzfunktion bei der durchschnittlichen mittleren Grundflächenhaltung bis und nach 1960; Datenquelle: Langfristige Versuchsflächen.

Funktionaler Ausgleich des Volumenzuwachses unter Berücksichtigung der Bestandesdichte und des Standortes

In einem letzten Schritt soll das Wuchsverhalten der Kiefernbestände auf den unterschiedlichen Standorten beschrieben werden. Hierfür wird die in Abschnitt 5.1 vorgestellte Gleichung 5.1-7 (S. 31) verwendet.

Um absolute Zuwachswerte zu erhalten, werden sowohl die Funktionswerte des Zeitraumes bis nach 1960 als auch nach 1960 berechnet. Tab. 8.2-6 zeigt die geschätzten Parameter, die Anzahl der verwendeten und gewichteten Zuwachswerte und das Bestimmtheitsmaß.

Tab. 8.2-6: Schätzparameter, Anzahl der verwendeten Zuwachswerte (N) und Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ) für die Zeiträume bis 1960 und nach 1960; Datenquelle: Langfristige Versuchsflächen.

Parameter	Schätzwert	
	bis 1960	nach 1960
$a_1$	273.3229	1399.8953
$a_2$	371.7011	1540.9918
$a_3$	434.5927	1328.2448
$b$	21.0400	21.9079
$c$	0.5144	0.5147
$d_1$	0.7374	0.3976
	$R^2=0.56$	$R^2=0.26$
	N= 883	N= 1524

Auf der Basis der mittleren Grundflächenhaltung des Zeitraums bis 1960 zeigen die Ergebnisse deutliche Unterschiede sowohl zwischen den beiden Zeiträumen als auch auf den unterschiedlichen Standorten (Abb. 8.2-7). Bei Betrachtung des Zeitraumes vor 1960 ist deutlich das unterschiedliche Zuwachsniveau zu erkennen. Mit zunehmender Standortgüte liegen die Zuwachswerte höher. Bei ungünstigeren Standorten liegen sie unter 6 VfmD/ha/a, auf mittleren Standorten werden Werte zwischen 7 und 8 VfmD/ha/a erreicht und auf besseren Standorten weisen sie ein Niveau von über 8 VfmD/ha/a auf.

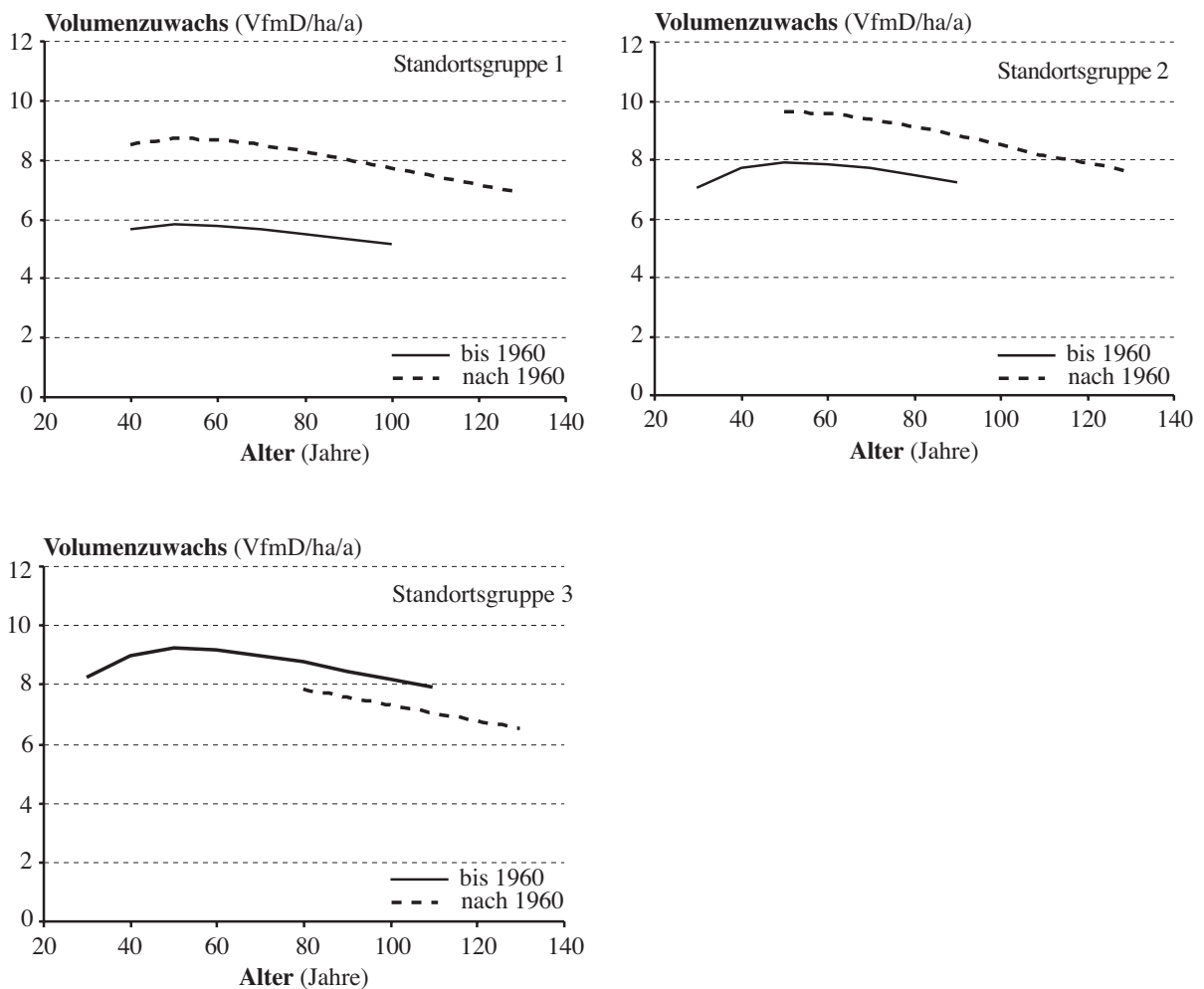


Abb. 8.2-7: Darstellung der berechneten Volumenzuwächse aus der modifizierten Zuwachsfunktion für die drei Standortsgruppen bei einer durchschnittlichen mittleren Grundflächenhaltung aus dem Zeitabschnitt bis 1960 für die Zeiträume vor 1960 und nach 1960; Datenquelle: Langfristige Versuchsflächen.

Bei einem Vergleich der beiden Zeiträume ist bei den schlechteren und mittleren Standorten nach 1960 ein deutlich höheres Niveau festzustellen. Interessanterweise ist die Differenz je nach Standort jedoch unterschiedlich. Ungünstigere Standorte zeigen einen Differenz von ca. 2.9 VfmD/ha/a, während mittlere Standorte Differenzen von nur 1.7 VfmD/ha/a aufweisen (Tab. 8.2-7). Bei den besseren Standorten liegen die Zuwachswerte nach 1960 unter denen im Zeitraum vor 1960. Dies kann jedoch durch die vergleichsweise geringe Anzahl an Werten in

dieser Standortgruppe bedingt sein (Tab. 8.2-2). Durch die unterschiedlich hohen Differenzen nähert sich das Zuwachsniveau der drei Standortgruppen im Zeitraum nach 1960 aneinander an, zeigt also nicht mehr so deutlich die unterschiedlichen Standorten entsprechenden höheren und niedrigeren Zuwächse.

Tab. 8.2-7: Berechnete Zuwachswerte der beiden Zeiträume bis 1960 und nach 1960 für drei Standortgruppen; Datenquelle: Langfristige Versuchsflächen.

Alter	Volumenzuwachs (VfmD/ha/a)					
	ungünstiger Standort		mittlerer Standort		besserer Standort	
	bis 1960	nach 1960	bis 1960	nach 1960	bis 1960	nach 1960
30			7.0		8.2	
40	5.6	8.5	7.7		9.0	
50	5.8	8.7	7.9	9.6	9.2	
60	5.7	8.7	7.8	9.5	9.1	
70	5.6	8.5	7.7	9.4	9.0	
80	5.5	8.2	7.5	9.1	8.7	7.8
90	5.3	8.0	7.2	8.8	8.5	7.6
100	5.1	7.7		8.5	8.2	7.3
110		7.4		8.2	7.9	7.0
120		7.1		7.9		6.8
130		6.9		7.6		6.5
140						6.3

Zusammenfassend zeigt sich, dass nach Berücksichtigung der Bestandesdichte und des Standortes das Zuwachsniveau im Zeitraum nach 1960 höher liegt, also eine deutliche Veränderung im Zuwachsverhalten von Kiefernbeständen seit den sechziger Jahren eingetreten ist. Das Ausmaß der Veränderung ist dabei von der Standortsgüte abhängig. Je ungünstiger die Standortverhältnisse, desto höher ist die Abweichung vom Referenzwachstum im Zeitraum vor 1960.

### 8.3 Veränderung des alterstypischen Baumzuwachses (Methode des konstanten Alters)

Nachdem in den beiden vorherigen Abschnitten in erster Linie der Volumenzuwachs des Bestandes untersucht wird, erfolgt hier eine nähere Analyse von Einzelbäumen. Betrachtet wird der Radialzuwachs in unterschiedlichen Kalenderjahrzeiträumen nach der in Abschnitt 5.2 vorgestellten Methode für die vier Wuchsgebiete „Fränkischer Keuper und Albvorland“ (WG 5), „Frankenalb und Oberpfälzer Jura“ (WG 6), „Oberpfälzer Becken- und Hügelland“ (WG 9) und „Oberpfälzer Wald“ (WG 10).

#### 8.3.1 Fränkischer Keuper und Albvorland (WG 5)

Im Fränkischen Keuper und Albvorland deckt das Datenmaterial mit einem Untersuchungszeitraum von 1887-1998 (Abb. 8.3-1) mehr als 100 Jahre ab.

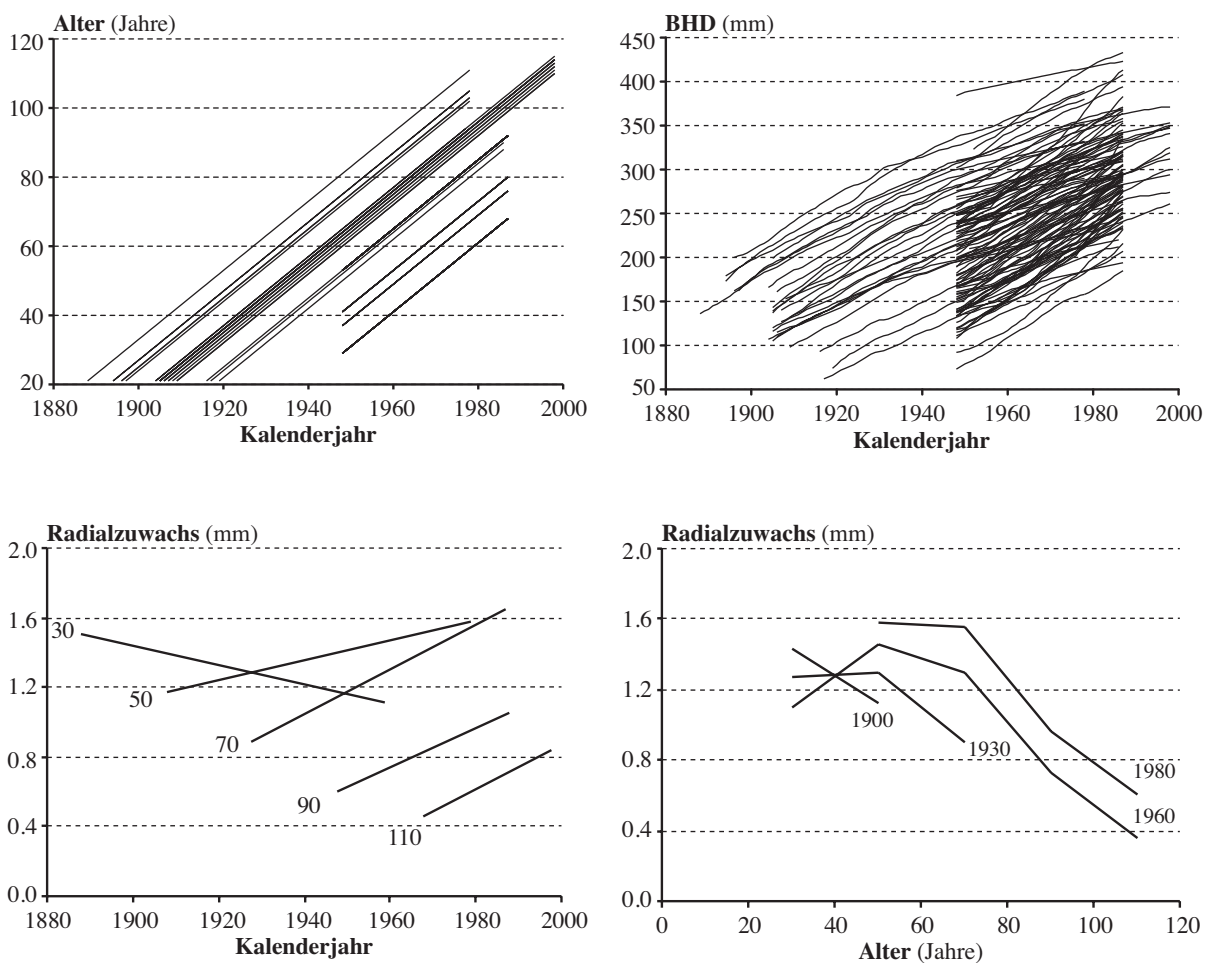


Abb. 8.3-1: Analyse der Entwicklung des jährlichen Radialzuwachses von Bäumen gleichen Alters in unterschiedlichen Kalenderzeiträumen im Wuchsgebiet Fränkischer Keuper und Albvorland (WG 5). Dargestellt sind das untersuchte Altersspektrum (oben links), die BHD-Entwicklung (oben rechts), die mittleren Radialzuwächse verschiedener Altersstufen über dem Kalenderjahr (unten links) und die mittleren Radialzuwächse verschiedener Kalenderzeiträume über dem Alter (unten rechts).

Der Großteil der untersuchten Bäume (mehr als 50 %) stammt aus dem Wuchsbezirk 5.6 (Südliche Keuperabdachung). Weiter vertreten sind die Wuchsbezirke 5.3 (Frankenhöhe), 5.5 (Nördliche Keuperabdachung) und 5.9 (Ries). Das Altersspektrum reicht von 20 bis 115 Jahre (Abb. 8.3-1, oben links) und umfasst Brusthöhendurchmesser zwischen 59 und 433 mm (Abbildung 8.3-1, oben rechts).

Für die untersuchten Bäume dieses Wuchsgebietes sind nicht alle Standortsangaben vorhanden. Es handelt sich überwiegend um Bohrspananalysen aus den Trendanalyseflächen, bei denen nicht jede Probefläche standörtlich untersucht wurde. Jedoch wurde bei der Flächenauswahl ein breites Standortsspektrum abgedeckt (RÖHLE et al., 1989), so dass sowohl ärmere trockenere als auch nährstoffreichere besser wasserversorgte Standorte vertreten sind. Die Analysen der Stammscheiben aus den langfristigen Versuchsflächen repräsentieren ebenfalls sowohl wechselfeuchte, nährstoffreichere Böden als auch mäßig frische, nährstoffarme Sande.

Das mittlere Niveau der Jahrringbreiten liegt in der jüngsten Altersstufe bei 1.31 mm, steigt dann weiter auf 1.37 mm an und sinkt mit zunehmenden Alter bis auf 0.65 mm ab (Tab. 8.3-1). Zu Beginn des Beobachtungszeitraumes liegt der Kulminationszeitpunkt zwischen 41 und 60 Jahren, während die Bäume am Ende des Untersuchungszeitraumes erst in höheren Altersstufen ihren höchsten Radialzuwachs erreichen.

Die Ergebnisse des linearen Ausgleichs lassen in allen Altersstufen mit zunehmendem Kalenderjahr ein verändertes Wuchsverhalten der Bäume erkennen (Abb. 8.3-1, unten links). Bis auf die Altersstufe 30 (21-40 Jahre) steigt die Gerade mit dem Kalenderjahr an. Bäume zwischen 41 und 60 Jahren haben um 1910 eine durchschnittliche Jahrringbreite von 1.16 mm (Tab. 8.3-1), die bis zum Jahr 1979 auf 1.57 mm ansteigt. In der Altersstufe 70 ist die Steigung noch stärker. Von 0.9 mm im Jahr 1930 erreicht sie 1.6 mm im Jahr 1980. Einen ähnlichen Anstieg verzeichnen Bäume der Altersstufe 90 und 110. Auffällig ist der negative Trend junger Bäume zwischen 21 und 40 Jahren. Die Jahrringbreite liegt 1880 mit durchschnittlich 1.5 mm deutlich über der Jahrringbreite von 1960 mit 1.1 mm. Der abfallende Trend kann durch verschiedene Ursachen hervorgerufen worden sein. Zum einem findet sich nur bis ca. 1930 eine genügend hohe Anzahl an Bäumen, so dass dieses Ergebnis mit Vorsicht zu interpretieren ist (Abb. 8.3-1). Zum anderen kann die Verschiebung des Kulminationszeitpunktes in höhere Altersbereiche diesen Effekt hervorrufen.

Der Vergleich der durchschnittlichen Jahrringbreiten über dem Alter für verschiedene Kalenderjahre (Abb. 8.3-1, unten rechts) verdeutlicht die Ergebnisse nochmals. In jedem Kalenderjahr ist mit Ausnahme des Jahres 1900 die typische Zuwachskurve mit



Kulminationszeitpunkt und danach mit zunehmendem Alter abfallender Jahrringbreite zu erkennen. Mit dem Kalenderjahr steigt das Niveau der durchschnittlichen Jahrringbreiten an.

Tab. 8.3-1: Durchschnittlicher jährlicher Radialzuwachs, Radialzuwachs zu Beginn und am Ende der Beobachtungsperiode sowie das durchschnittliche Alter und die Anzahl der Datensätze für die fünf Altersstufen im Wuchsgebiet 5 (Fränkischer Keuper und Albvorland).

Altersstufe (Jahre)	durchschnittlicher Radialzuwachs (mm/a)			Alter (Jahre)	Datensätze
	Durchschnitt	Beginn	Ende		
30 (21-40)	1.31	1.50	1.10	32	845
50 (41-60)	1.37	1.16	1.57	52	1661
70 (61-80)	1.26	0.88	1.64	70	1876
90 (81-100)	0.82	0.59	1.05	88	1016
110 (> 100)	0.65	0.45	0.84	107	195

### 8.3.2 Frankenalb und Oberpfälzer Jura (WG 6)

Im Wuchsgebiet Frankenalb und Oberpfälzer Jura konnten Radialzuwächse von 1847 bis 1998 untersucht werden (Abb. 8.3-2). Die analysierten Bäume stammen zu ca. 60 % aus dem Wuchsbezirk 6.5 (Oberpfälzer Jurarand) und zu über 20 % aus dem Wuchsbezirk 6.1 (Nördliche Frankenalb). Zudem sind Analysen aus den Wuchsbezirken 6.4 (Oberfränkisches Braunjuragebiet) und 6.2 (Südliche Frankenalb) vorhanden.

Wie im Wuchsgebiet 5 (Abschnitt 8.3.1) findet sich auch hier ein großes Standortsspektrum. Sowohl flach- bis mittelgründige Kalkverwitterungslehme als auch Fein- und Schichtlehme aus Tertiärsanden sind vertreten. Die Wasserhaushaltsstufen decken sowohl mäßig trockene bis mäßig frische als auch schwach wechselfeuchte bis wechselfeuchte Standorte ab.

Das Altersspektrum reicht von 20 bis 144 Jahren (Abb. 8.3-2, oben links) und umspannt damit einen BHD-Bereich von 50 bis 500 mm (Abb. 8.3-2, oben rechts).

Entsprechend den Ergebnissen aus dem Wuchsgebiet 5 finden sich auch hier die höchsten Jahrringbreiten mit durchschnittlich 1.55 mm in jungen Beständen mit abnehmendem Trend bei zunehmendem Alter (Tab. 8.3-2), bis bei über 100 Jahre alten Beständen nur noch Radialzuwächse von 0.67 mm erreicht werden. Es deutet sich an, dass sich auch hier der Kulminationszeitpunkt am Ende der Beobachtungsperiode in höhere Alter verschiebt.

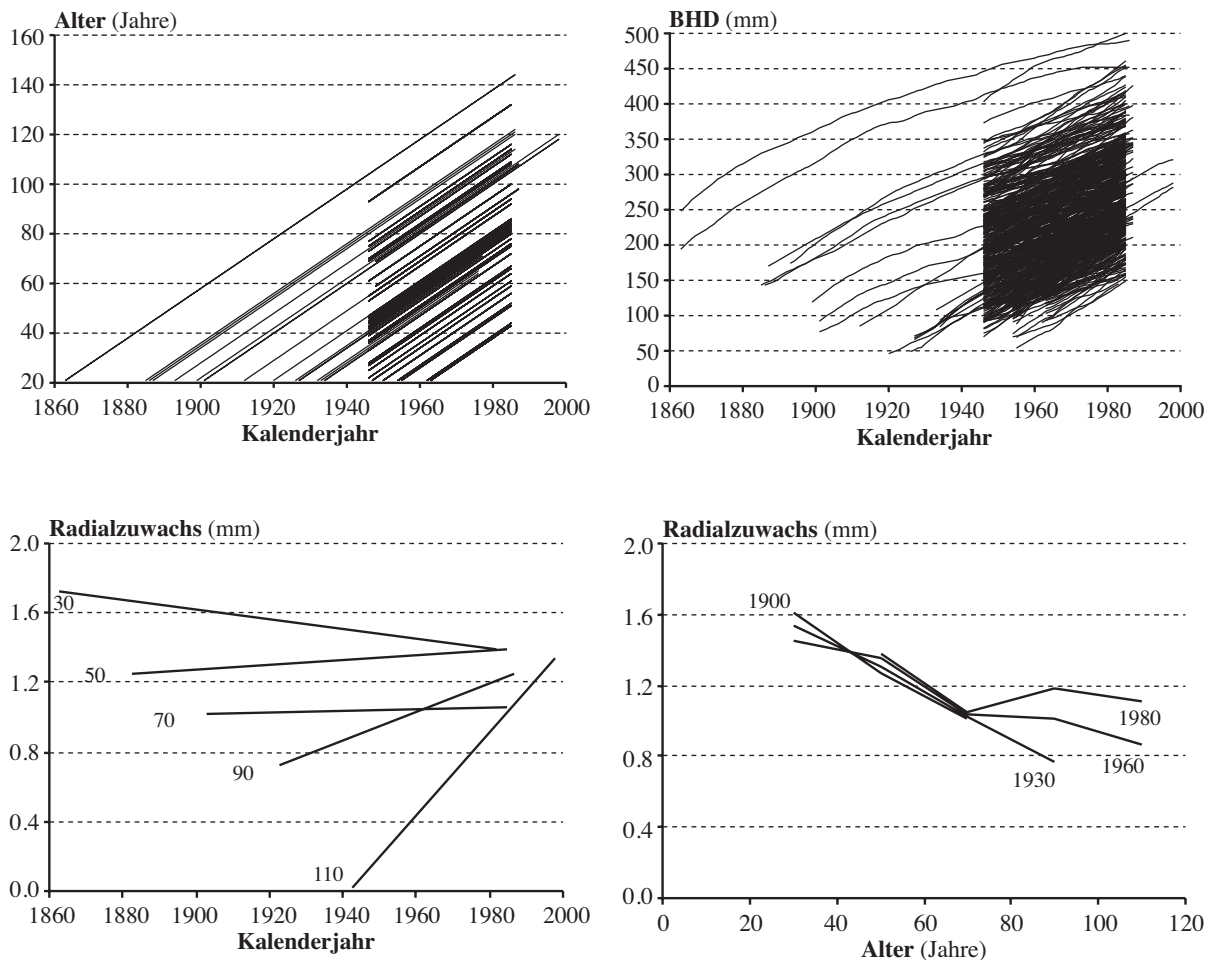


Abb. 8.3-2: Analyse der Entwicklung des Radialzuwachses von Bäumen gleichen Alters in unterschiedlichen Kalenderzeiträumen im Wuchsgebiet Frankenalb und Oberpfälzer Jura (WG 6). Dargestellt sind das untersuchte Altersspektrum (oben links), die BHD-Entwicklung (oben rechts), die mittleren Radialzuwächse verschiedener Altersstufen über dem Kalenderjahr (unten links) und die mittleren Radialzuwächse verschiedener Kalenderzeiträume über dem Alter (unten rechts).

Die Jahrringbreiten der einzelnen Altersstufen verteilen sich nicht gleichmäßig über dem Kalenderjahr, sondern lassen wiederum einen Wachstumstrend erkennen (Abb. 8.3-2, unten links). Im Gegensatz zum Fränkischen Keuper und Alvorland ist dieser Trend bis zur Altersstufe 70 nicht so deutlich ausgeprägt. In der jüngsten Altersstufe liegen die Jahrringbreiten am Ende der Beobachtungsperiode niedriger, in der Altersstufe 50 zeigen sie einen leicht positiven Trend, während 60-80jährige Bäume heute den gleichen Radialzuwachs vorweisen wie zu Beginn des letzten Jahrhunderts. Ein deutlich positiv gerichteter Trend findet sich erst ab der Altersstufe 90. So können über 100 Jahre alte Bäume um 1940 einen Radialzuwachs weniger als 0.1 mm leisten, während ca. 1990 durchschnittliche Jahrringbreiten von 1.3 mm erreicht werden. Der negative Trend in der jüngsten Altersstufe kann auch hier durch eine Verschiebung des Kulminationszeitpunktes zustande kommen. Im Gegensatz zum Wuchsgebiet 5 deckt das Datenmaterial den gesamten Zeitraum gut ab und erlaubt damit repräsentative Aussagen (Abb. 8.3-2, oben links). Die Verschiebung des Kulminationszeitpunktes in ein höheres Alter kann

auch hier ein möglicher Grund für diesen Verlauf der Ausgleichsgeraden sein. Die Darstellung der durchschnittlichen Radialzuwächse über dem Alter für vier Kalenderjahre zeigt bis zum Alter 70 in allen Kalenderzeiträumen ähnliche Jahrringbreiten, die sich im späteren Alter jedoch wieder deutlich differenzieren. Im Alter von 90 Jahren treten 1980 die höchsten und 1930 die niedrigsten Radialzuwächse auf.

Tab. 8.3-2: Durchschnittlicher jährlicher Radialzuwachs, Radialzuwachs zu Beginn und am Ende der Beobachtungsperiode sowie das durchschnittliche Alter und die Anzahl der Datensätze für die fünf Altersstufen im Wuchsgebiet 6 (Frankenalb und Oberpfälzer Jura).

Altersstufe (Jahre)	durchschnittlicher Radialzuwachs (mm/a)			Alter (Jahre)	Datensätze
	Durchschnitt	Beginn	Ende		
30 (21-40)	1.55	1.71	1.38	32	2433
50 (41-60)	1.32	1.25	1.38	51	5351
70 (61-80)	1.03	1.01	1.05	71	6010
90 (81-100)	0.98	0.71	1.24	89	3052
110 (> 100)	0.67	0.01	1.33	111	1570

### 8.3.3 Oberpfälzer Becken- und Hügelland (WG 9)

Mit einem Beobachtungszeitraum von 1872 bis 1985 werden im Oberpfälzer Becken- und Hügelland wiederum 100 Jahre abgedeckt. Die Bäume der letzten 40 Jahre stammen überwiegend aus einer Untersuchung von FRANZ und PRETZSCH (1988) über das Zuwachsverhalten und den Gesundheitszustand der Waldbestände im Bereich des Braunkohlekraftwerks Schwandorf und repräsentieren sowohl trockene bis mäßig frische Sande als auch Zweischichtböden. Die Bäume aus den langfristigen Versuchsflächen stocken ebenfalls auf armen Sanden sowie auf Sanden mit Verdichtung im Unterboden.

Der untersuchte Altersbereich liegt zwischen 20 und 170 Jahren (Abb. 8.3-3, oben links) wobei die Brusthöhendurchmesser von 31 bis 478 mm reichen (Abb. 8.3-3, oben rechts). Wie bei den bisher beschriebenen Wuchsgebieten zeigen die Bäume im jüngeren Alter insgesamt einen höheren Radialzuwachs (Tab. 8.3-3). Im Gegensatz zu den beiden vorher besprochenen Wuchsgebieten (WG 5 und WG 6) kulminieren die Radialzuwächse hier am Ende der Beobachtungsperiode im jüngeren Alter (Tab. 8.3-3).

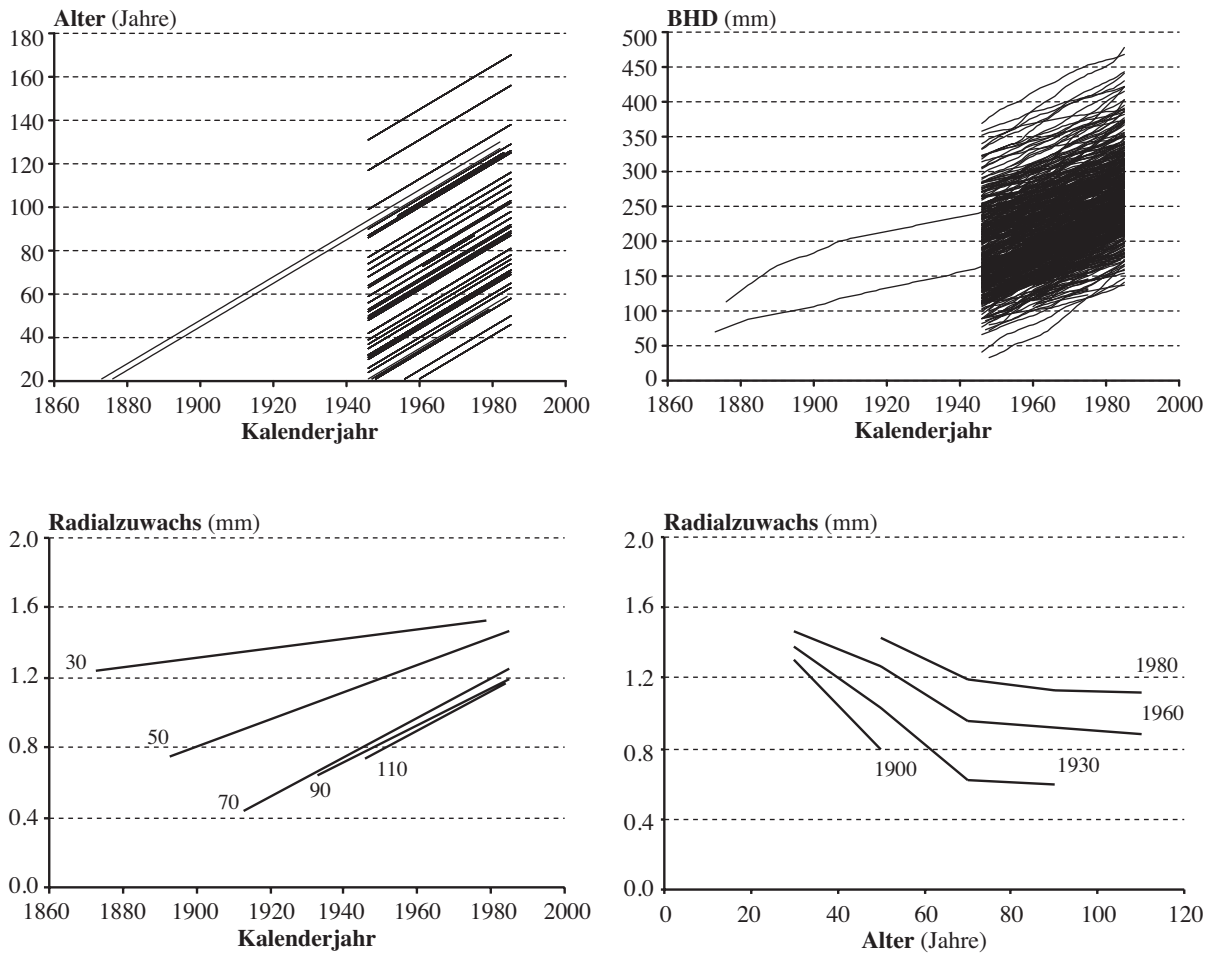


Abb. 8.3-3: Analyse der Entwicklung des jährlichen Radialzuwachses von Bäumen gleichen Alters in unterschiedlichen Kalenderzeiträumen im Wuchsgebiet Oberpfälzer Becken- und Hügelland (WG 9). Dargestellt sind das untersuchte Altersspektrum (oben links), die BHD-Entwicklung (oben rechts), die mittleren Radialzuwächse verschiedener Altersstufen über dem Kalenderjahr (unten links) und die mittleren Radialzuwächse verschiedener Kalenderzeiträume über dem Alter (unten rechts).

Die Entwicklung der jährlichen Radialzuwächse über dem Kalenderjahr gibt den schon aufgezeigten Trend der anderen Wuchsgebiete nur mit dem Unterschied wieder, dass hier auch die jüngste Altersstufe einen positiven Trend aufweist. (Abb. 8.3-3, unten links). Mit zunehmendem Alter nimmt die Steigung der Geraden zunächst zu und bleibt ab der Altersstufe 90 ungefähr gleich. Die Darstellung über dem Alter (Abb.8.3-3, unten rechts) zeigt ein sehr differenziertes Bild des Dickenwachstums für vier Kalenderjahre. Deutlich ist das steigende Niveau der Jahrringbreiten mit zunehmendem Kalenderjahr zu erkennen.

Tab. 8.3-3: Durchschnittlicher Radialzuwachs, Radialzuwachs zu Beginn und am Ende der Beobachtungsperiode sowie das durchschnittliche Alter und die Anzahl der Datensätze für die fünf Altersstufen im Wuchsgebiet 9 (Oberpfälzer Becken- und Hügelland).

Altersstufe (Jahre)	durchschnittlicher Radialzuwachs (mm/a)			Alter (Jahre)	Datensätze
	Durchschnitt	Beginn	Ende		
30 (21-40)	1.37	1.22	1.52	33	1885
50 (41-60)	1.10	0.74	1.46	51	3968
70 (61-80)	0.84	0.43	1.24	71	4505
90 (81-100)	0.90	0.63	1.18	88	3491
110 (> 100)	0.94	0.73	1.16	121	3989

### 8.3.4 Oberpfälzer Wald (WG 10)

Im Wuchsgebiet 10 (Oberpfälzer Wald) stehen Bohrspan- und Stammscheibenanalysen über einen Untersuchungszeitraum von ca. 90 Jahren (1892 bis 1985) zur Verfügung.

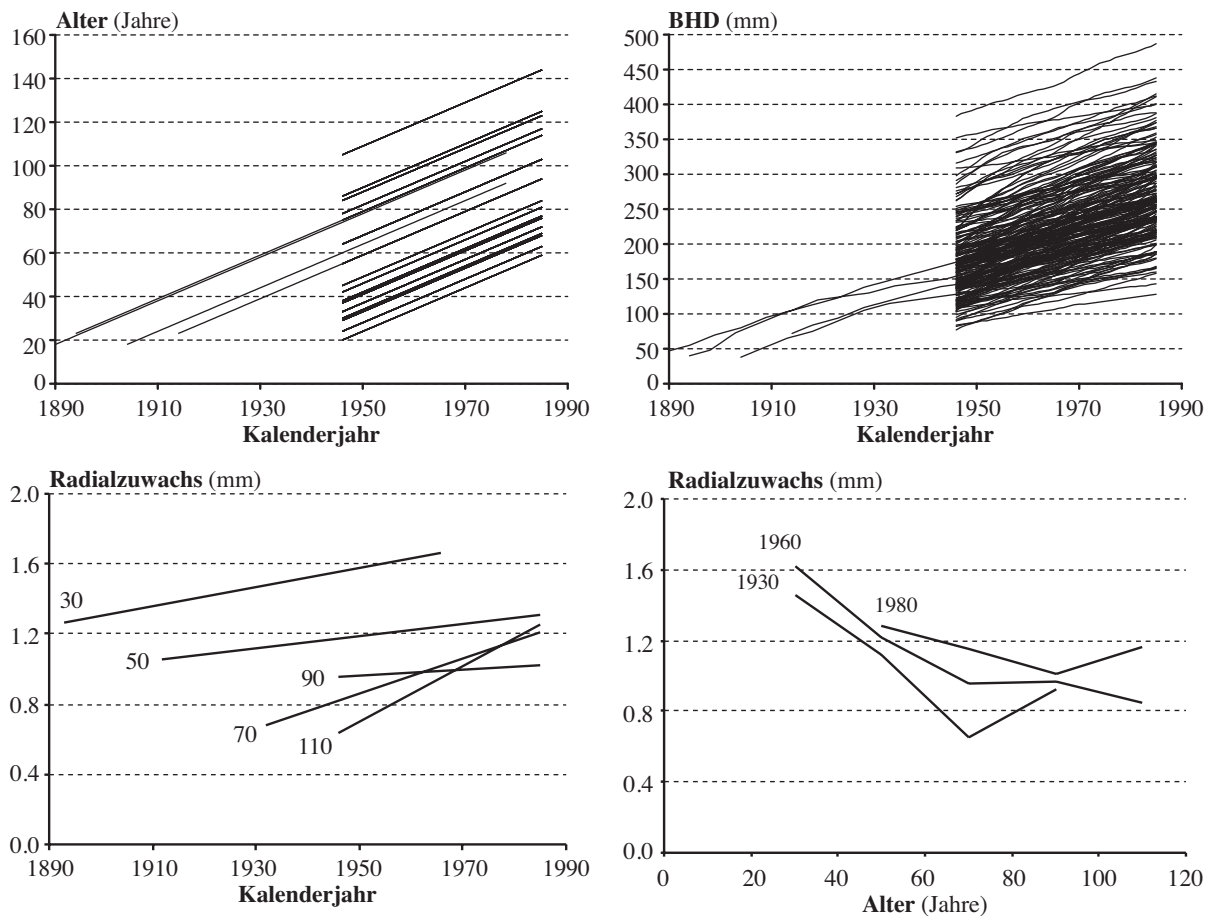


Abb. 8.3-4: Analyse der Entwicklung des jährlichen Radialzuwachses von Bäumen gleichen Alters in unterschiedlichen Kalenderzeiträumen im Wuchsgebiet Oberpfälzer Wald (WG 10). Dargestellt sind das untersuchte Altersspektrum (oben links), die BHD-Entwicklung (oben rechts), die mittleren Radialzuwächse verschiedener Altersstufen über dem Kalenderjahr (unten links) und die mittleren Radialzuwächse verschiedener Kalenderzeiträume über dem Alter (unten rechts).

Die Bäume stammen zu über 95 % aus dem Wuchsbezirk 10.3 (Vorderer Oberpfälzer Wald) und zu ca. 4 % aus dem Teilwuchsbezirk 10.2/1 (Waldsassener Schiefergebiet).

Der Altersbereich reicht von 20 bis 144 Jahren (Abb. 8.3-4, oben links) mit Brusthöhendurchmessern von 40 bis 487 mm (Abb. 8.3-4, oben rechts). Die durchschnittliche Jahrringbreite der einzelnen Altersstufen zeigt über dem gesamten Kalenderzeitraum maximale Radialzuwächse in jüngeren Altern, die bis zur Altersstufe 70 absinken und dann ein gleichbleibendes Niveau erreichen (Tab. 8.3-4). Sowohl zu Beginn als auch zum Ende des Untersuchungszeitraumes liegt der Kulminationszeitpunkt in der Altersstufe 30.

Wie in den drei vorhergehenden Wuchsgebieten bestätigt sich auch hier der gleiche Trend (Abb. 8.3-4, unten links und unten rechts). Bäume aus der ersten Hälfte des letzten Jahrhunderts zeigen in jeder Altersstufe einen niedrigeren Radialzuwachs als Bäume, die in der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts gewachsen sind. Die Steigungen der Geraden nehmen mit Ausnahme der Altersstufe 90 mit dem Alter zu.

Tab. 8.3-4: Durchschnittlicher jährlicher Radialzuwachs, Radialzuwachs zu Beginn und am Ende der Beobachtungsperiode, sowie das durchschnittliche Alter und die Anzahl der Datensätze für die fünf Altersstufen im Wuchsgebiet 10 (Oberpfälzer Wald).

Altersstufe (Jahre)	durchschnittlicher Radialzuwachs (mm/a)			Alter (Jahre)	Datensätze
	Durchschnitt	Beginn	Ende		
30 (21-40)	1.46	1.26	1.66	34	1030
50 (41-60)	1.18	1.05	1.30	51	2516
70 (61-80)	0.94	0.67	1.20	69	2139
90 (81-100)	0.98	0.95	1.02	90	1328
110 (> 100)	0.94	0.63	1.24	114	1212

### 8.3.5 Zusammenfassender Überblick und Resümee

Die vorgestellten Ergebnisse aus den vier Wuchsgebieten zeigen tendenziell ein einheitliches Bild. In fast jeder Altersstufe eines jeden Wuchsgebietes findet sich in der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts ein anderes Wuchsverhalten als in der ersten Hälfte. Die Art und das Ausmaß dieses Trends ist jedoch unterschiedlich. Tabelle 8.3-5 bildet die prozentuale Abweichung des Radialzuwachses am Ende der Beobachtungsperiode vom Radialzuwachs zu Beginn der Beobachtungsperiode ab.

Tab. 8.3-5: Prozentuale Abweichung des jährlichen Radialzuwachses am Ende der Beobachtungsperiode vom Radialzuwachs zu Beginn der Beobachtungsperiode für die vier untersuchten Wuchsgebiete.

Altersstufe (Jahre)	prozentuale Abweichung (%)			
	WG 5	WG 6	WG 9	WG 10
30 (21-40)	-27	-19	25	32
50 (41-60)	35	10	97	24
70 (61-80)	86	4	88	79
90 (81-100)	78	75	87	7
110 (> 100)	87	133	59	97

Bis auf die Altersstufe 30 der Wuchsgebiete 5 (Fränkischer Keuper und Albvorland) und 6 (Frankenalb und Oberpfälzer Jura) ergeben sich durchweg positive Abweichungen. Die Bäume sind demnach in der Lage, heute einen höheren Radialzuwachs zu leisten als zu Beginn des letzten Jahrhunderts. Im Wuchsgebiet 6 liegt bei über 100 Jahre alten Bäumen die Abweichung bei über 130 %. Bei Betrachtung der prozentualen Abweichungen ist zu beachten, dass die Unterschiede relativ gesehen zwar sehr hoch sind, die absoluten Differenzen jedoch nur zwischen ca. 0.3 und 0.8 mm liegen. Nur in einem Fall wird ein Zuwachsverbesserung von über 1 mm erreicht (WG 6, Altersstufe > 100 Jahre).

Der in jedem Wuchsbezirk auftretende positive Trend ist ein deutliches Zeichen verbesserter großregionaler Wuchsbedingungen in ganz Bayern, unabhängig von der klimatischen oder bodenkundlichen Ausgangslage. Aufgrund der Auswahl der Bäume (nur KRAFT-Klasse 1 und 2) kann dieser Effekt nicht durch veränderte waldbauliche Verfahrensweisen hervorgerufen werden.

In zwei Wuchsgebieten (Fränkischer Keuper und Albvorland sowie Frankenalb und Oberpfälzer Jura) zeigt sich eine Verschiebung des Kulminationszeitpunktes in höhere Alter zum Ende der Beobachtungsperiode. Hierdurch wird in der jüngsten Altersstufe ein negativer Trend hervorgerufen.

## 9 Wuchspotential der Kiefer unter heutigen Standortbedingungen

Die in den vorherigen Abschnitten beschriebenen Ergebnisse zeigen Zustandsdaten des Kiefernwachstums, die unter zurückliegenden Wuchsbedingungen erreicht wurden. Die waldwachstumskundlichen Kennwerte aus der Stichprobeninventur und aus den langfristig beobachteten Versuchsflächen sind zum einen das Resultat vergangener direkter menschlicher Eingriffe wie z.B. der Streunutzung, die zu einer starken Verarmung der Boden führte. Hierzu gehört auch die waldbauliche Behandlung, die früher nach anderen Konzepten durchgeführt wurde. Zum anderen kann von Rahmenbedingungen gesprochen werden, die eine geringere indirekte Einflussnahme des Menschen beinhalten wie z.B. niedrigere Stickstoffeinträge aus der Luft oder ein geringerer CO<sub>2</sub>-Gehalt in der Atmosphäre. Die Ergebnisse aus Kapitel 8 zeigen, dass die Wachstumsgänge von Kiefernbeständen und Einzelbäumen heute anders verlaufen als in der Vergangenheit. Aus diesem Grund soll im nächsten Schritt untersucht werden, wie sich das Wachstum in den unterschiedlichen Regionen unter den heutigen Wuchsbedingungen mit aktuellen Durchforstungskonzepten darstellt. Dabei kann es sich jedoch nur um eine Momentaufnahme handeln, da die Einflussnahme des Menschen weiterhin anhält und sich die Rahmenbedingungen für das Baumwachstum durch wechselnde waldbauliche Konzepte oder eine stetige Veränderung der Zusammensetzung der Atmosphäre und den daraus folgenden klimatischen Reaktionen (siehe auch Kapitel 8) neu konstituieren. Die Prognose erfolgt mit dem Wachstumssimulator SILVA 2.2, dessen Standort-Leistungsmodell es erlaubt, neben Klimaangaben und Bodenparametern auch die Änderungen der Stickstoff- und der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre zu berücksichtigen. Eine genaue Erläuterung des angewendeten Verfahrens findet sich in Abschnitt 5.3.

Untersucht werden die waldwachstumskundlichen Kennwerte Oberhöhe und durchschnittlicher Gesamtzuwachs bei einem Alter von 140 Jahren. Die Darstellung erfolgt in Form von Karten und Tabellen.



## 9.1 Prognostizierte Oberhöhen im Alter 140 Jahre

Die Oberhöhenwerte stellen sich für die Wuchsbezirke stark differenziert dar. Die Höhen schwanken zwischen ca. 31.0 und 37 m, wobei im Südlichen Albvorland (5.8) und im Keuperhügelland (5.4; 5.5; 5.6) die höchsten Werte erreicht werden. Mit 30.2 m liegen die Oberhöhen im Keupersenkland (5.5/1, 5.6/1) am niedrigsten, gefolgt vom Oberpfälzer Becken- und Hügelland (9.1) und der Nördlichen Frankenalb (6.1). Die Oberhöhe gilt als Ausdruck für die Güte des Standortes (ASSMANN, 1961), da sie weitgehend von Durchforstungseingriffen unabhängig ist. Die Ergebnisse zeigen damit deutlich das Wuchspotential der Kiefer bei unterschiedlichen Boden- und Klimaparametern. Welcher Standortfaktor dabei ausschlaggebend ist, wird in Abschnitt 9.3 näher erläutert.

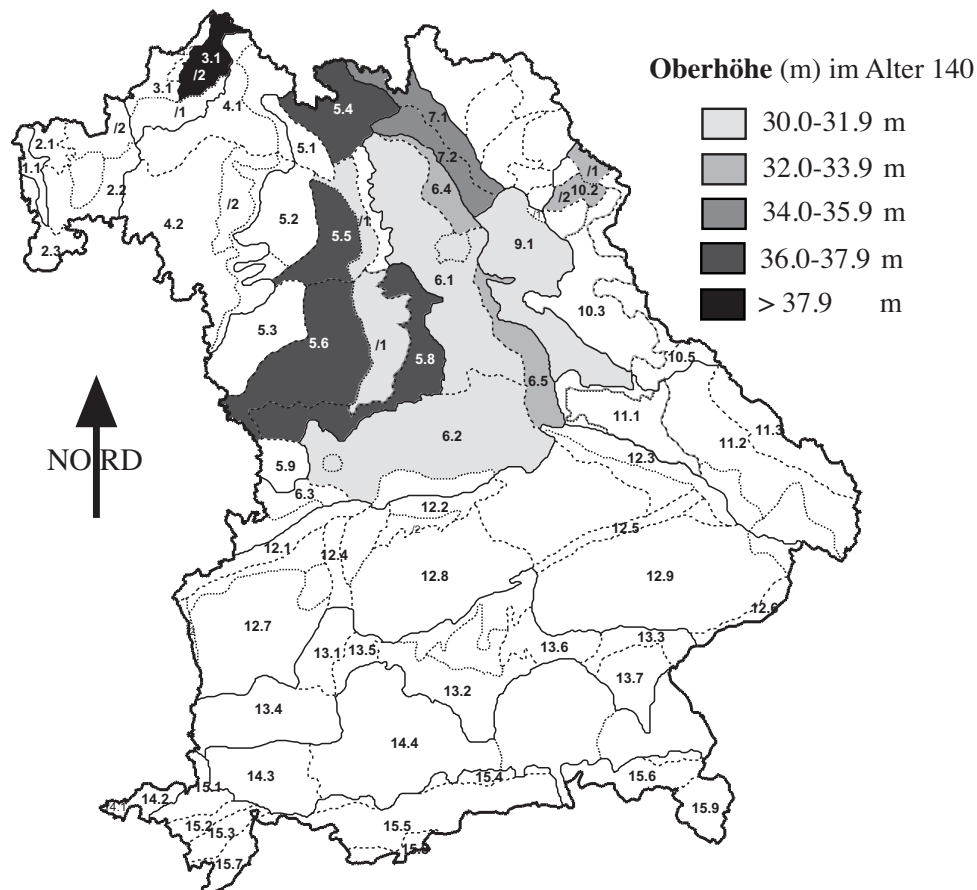


Abb. 9.1-1: Darstellung der vom Waldwachstumssimulator SILVA 2.2 prognostizierten Oberhöhen im Alter 140 in den untersuchten Wuchsgebieten.

Durchschnittlich liegt die Oberhöhe der Wuchsbezirke im Alter von 140 Jahren bei 34.0 m, was in Anbetracht der bisher geleisteten Höhen (vgl. Abschnitt 6.1 und 6.2) sehr hoch erscheint. In der Literatur werden jedoch erreichbare Höhen von 40-48 m (MAYER, 1984; SCHÜTT et al., 1992; ERLBECK et al., 1998; KINDEL, 1995) angegeben.

Tab. 9.1-1: Mit dem Waldwachstumssimulator SILVA 2.2 prognostizierte Oberhöhen im Alter 140.

(Teil-) Wuchsbezirk		Oberhöhe im Alter 140 (m)
Östliche Vorrhön	3.1/2	38.2
Itz-Baunach-Hügelland	5.4	36.7
Nördliche Keuperabdachung	5.5	36.3
Südliche Keuperabdachung	5.6	36.3
Regnitzsenke/ Rezat-Rednitzsenke	5.5/1, 5.6/1	30.2
Südliches Albvorland	5.8	36.9
Nördliche Frankenalb	6.1	31.0
Südliche Frankenalb	6.2	31.9
Oberfränkisches Braunjuragebiet	6.4	32.2
Oberpfälzer Jurarand	6.5	32.1
Bruchschollenland	7.1	35.6
Obermainhügelland	7.2	35.8
Oberpfälzer Becken- und Hügelland	9.1	30.5
Waldsass. Schiefergeb./Wiesauer Senke	10.2	32.7

Die Betrachtung der Mittelhöhenwerte von Kiefern aus Mischbeständen der Stichprobeninventur, die auf durchschnittlich besseren Standorten stocken, zeigt ebenfalls, dass in fast jedem Wuchsbezirk Mittelhöhen über 40 m erreicht werden können. Auch die Ergebnisse aus Abschnitt 6.1 und 6.2 lassen die prognostizierten Höhenwerte plausibel erscheinen. Die Höhen junger Kiefernbestände liegen überwiegend über den Erwartungswerten der I. Ertragsklasse nach WIEDEMANN (1943, mäßige Durchforstung). Bei der Interpretation ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Kiefern aufgrund von Schneebruch oder durch Waldgärtnerbefall oftmals geringere tatsächliche Höhen aufweisen, als sie dem Standort nach zu leisten vermögen. SILVA 2.2 bildet diese Höhenverkürzungen jedoch nicht nach.

## 9.2 Prognostizierter durchschnittlicher Gesamtwuchs im Alter 140 Jahre

Auch beim durchschnittlichen Gesamtwuchs ergeben sich für alle Wuchsbezirke erstaunlich hohe Werte (Abb. 9.2-1, Tab. 9.2-1). Der Zuwachs im Alter von 140 Jahren schwankt zwischen 6.2 und 9.0 VfmD/ha/a. Zuwächse über 8 VfmD/ha/a zeigen sich im Keuperhügelland (5.4; 5.5; 5.6) und in der Östlichen Vorrhön (3.1/2), während geringere Zuwächse um 6 VfmD/ha/a im Waldsassener Schiefergebiet/Wiesauer Senke (10.2) und in der Nördlichen Frankenalb (6.1) zu finden sind. Die Feststellung von MAYER (1984), dass im Waldviertel 120 Jahre alte Kiefern auf mittleren bis besseren Standorten einen durchschnittlichen Gesamtwuchs von 8.2 VfmD/ha/a erreichen, bestätigt die Plausibilität der berechneten Werte.

Wie bei der Oberhöhe können die Ergebnisse überwiegend durch Klima- und Bodenparameter erklärt werden. Jedoch spielt die mittlere Grundflächenhaltung, also die Dichte der Bestände, eine zusätzliche Rolle. Tabelle 9.2-2 zeigt die in Abschnitt 5.3.2 berechneten mittleren Grundflächen für die Alter 40, 90 und 140 Jahre. Insbesondere in den Wuchsbezirken mit

höherem Wuchspotential (3.1/2, 5.4, 5.5 und 5.6) liegen die mittleren Grundflächen höher als in den anderen Wuchsbezirken. Zum einen kann dies durch entsprechend geringe Durchforstungsstärken bedingt sein, zum anderen ist dies wiederum durch das bessere Standortspotential verursacht. Bessere Wuchsverhältnisse führen dazu, dass auf einer definierten Fläche die Bäume nicht nur besser wachsen, sondern auch eine höhere Anzahl von Bäumen ihr Auskommen finden (ASSMANN, 1961). Abschnitt 6.3 hat gezeigt, dass mit zunehmender Dichte der Bestände der Volumenzuwachs der Kiefer steigt. Aufgrund dieser Tatsachen werden durchschnittliche Gesamtwuchseleistungen bis zu 9 VfmD/ha/a erreicht.

Tab. 9.2-1: Mit dem Waldwachstumssimulator SILVA 2.2 prognostizierte durchschnittliche Gesamtwüchse im Alter 140 für die untersuchten Wuchsbezirke.

<b>(Teil-) Wuchsbezirk</b>		<b>Durch. Gesamtwuchs im Alter 140 (VfmD/ha/a)</b>
Östliche Vorrhön	3.1/2	9.0
Itz-Baunach-Hügelland	5.4	8.4
Nördliche Keuperabdachung	5.5	8.3
Südliche Keuperabdachung	5.6	8.4
Regnitzsenke/ Rezat-Rednitzsenke	5.5/1, 5.6/1	6.5
Südliches Albvorland	5.8	6.6
Nördliche Frankenalb	6.1	6.2
Südliche Frankenalb	6.2	7.0
Oberfränkisches Braunjuragebiet	6.4	7.7
Oberpfälzer Jurarand	6.5	7.7
Bruchschollenland	7.1	6.3
Obermainhügelland	7.2	6.4
Oberpfälzer Becken- und Hügelland	9.1	6.3
Waldsass. Schiefergeb./Wiesauer Senke	10.2	6.2

Wird die Grundfläche jedoch stark abgesenkt, können Zuwachseinbußen auftreten. So sind die im Vergleich zur Höhenwuchsleistung eher geringen Werte des durchschnittlichen Gesamtwuchses im Südlichen Albvorland (5.8) durch die insbesondere im höheren Alter niedrigere Grundflächenhaltung bedingt (Tab. 9.2-2).

Tab. 9.2-2: Mittlere Grundflächen (qm/ha) bei einem Alter von 40, 90 und 140 Jahren für die untersuchten Wuchsbezirke.

(Teil-) Wuchsbezirk		mittl. Grundflächen (qm/ha)		
		40 Jahre	90 Jahre	140 Jahre
Östliche Vorrhön	3.1/2	28.1	30.9	31.7
Itz-Baunach-Hügelland	5.4	28.8	30.8	30.8
Nördliche Keuperabdachung	5.5	28.8	30.8	30.8
Südliche Keuperabdachung	5.6	28.8	30.8	30.8
Regnitzsenke/ Rezat-Rednitzsenke	5.5/1, 5.6/1	25.2	29.1	29.2
Südliches Albvorland	5.8	24.6	26.6	26.6
Nördliche Frankenalb	6.1	24.9	26.8	26.8
Südliche Frankenalb	6.2	24.9	26.8	26.8
Oberfränkisches Braunjuragebiet	6.4	26.0	28.8	29.6
Oberpfälzer Jurarand	6.5	26.0	28.8	29.6
Bruchschollenland	7.1		27.4	27.3
Obermainhügelland	7.2		27.4	27.3
Oberpfälzer Becken- und Hügelland	9.1	20.9	26.2	27.6
Waldsass. Schiefergeb./Wiesauer Senke	10.2		28.1	27.5

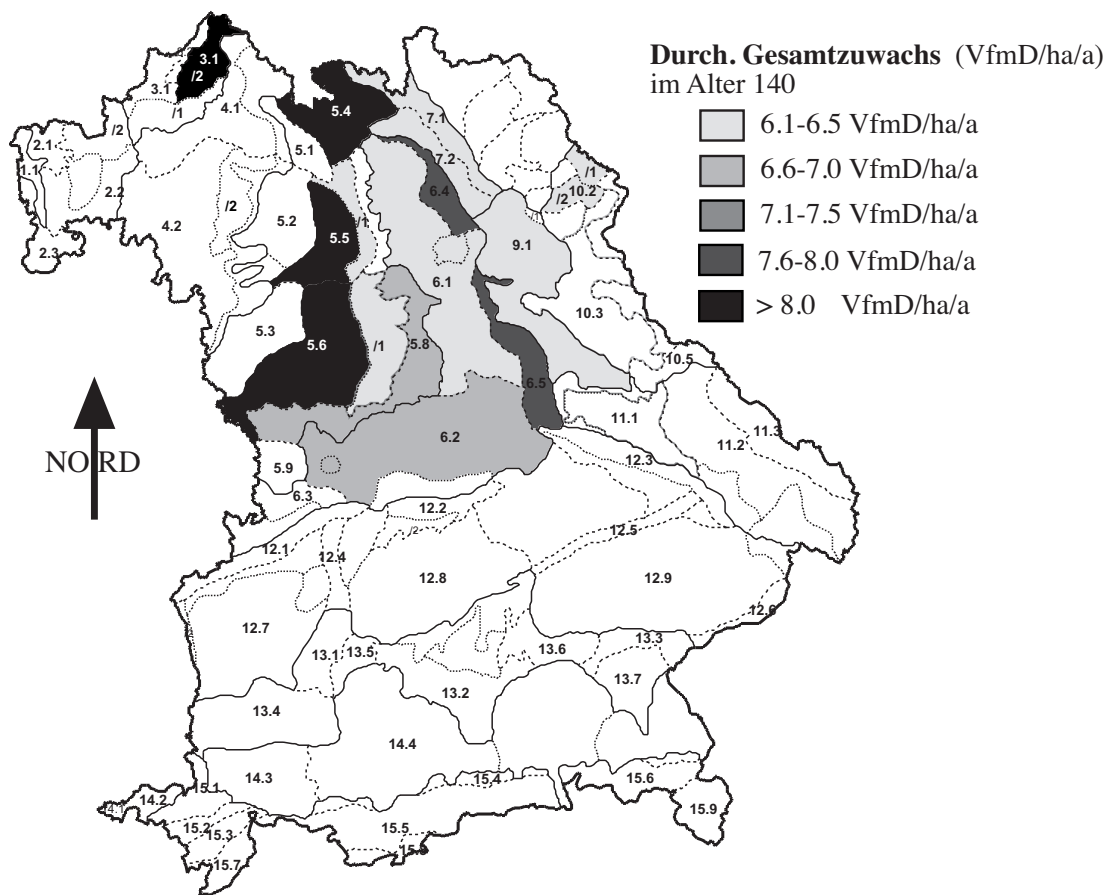


Abb. 9.2-1: Darstellung des vom Waldwachstumssimulator SILVA 2.2 prognostizierten durchschnittlichen Gesamtwuchses im Alter 140 in den untersuchten Wuchsgebieten.

### 9.3 Einfluss der Standortparameter auf die Wachstumsprognose

Die in Abschnitt 9.1 und 9.2 dargestellten Ergebnisse zeigen deutlich die Abhängigkeit des Baumwachstums von den gegebenen Klima- und Standortparametern, was sich anhand der in SILVA 2.2 implementierten Wirkungsfunktionen verdeutlichen lässt (vgl. Abschnitt 5.3.1). In Abbildung 9.3-1 sind beispielhaft die Wirkungsfunktionen einiger wichtiger Standortparameter und die entsprechende Lage der Wuchsbezirke Südliches Albvorland (5.8) und Oberpfälzer Becken- und Hügelland (9.1) dargestellt.

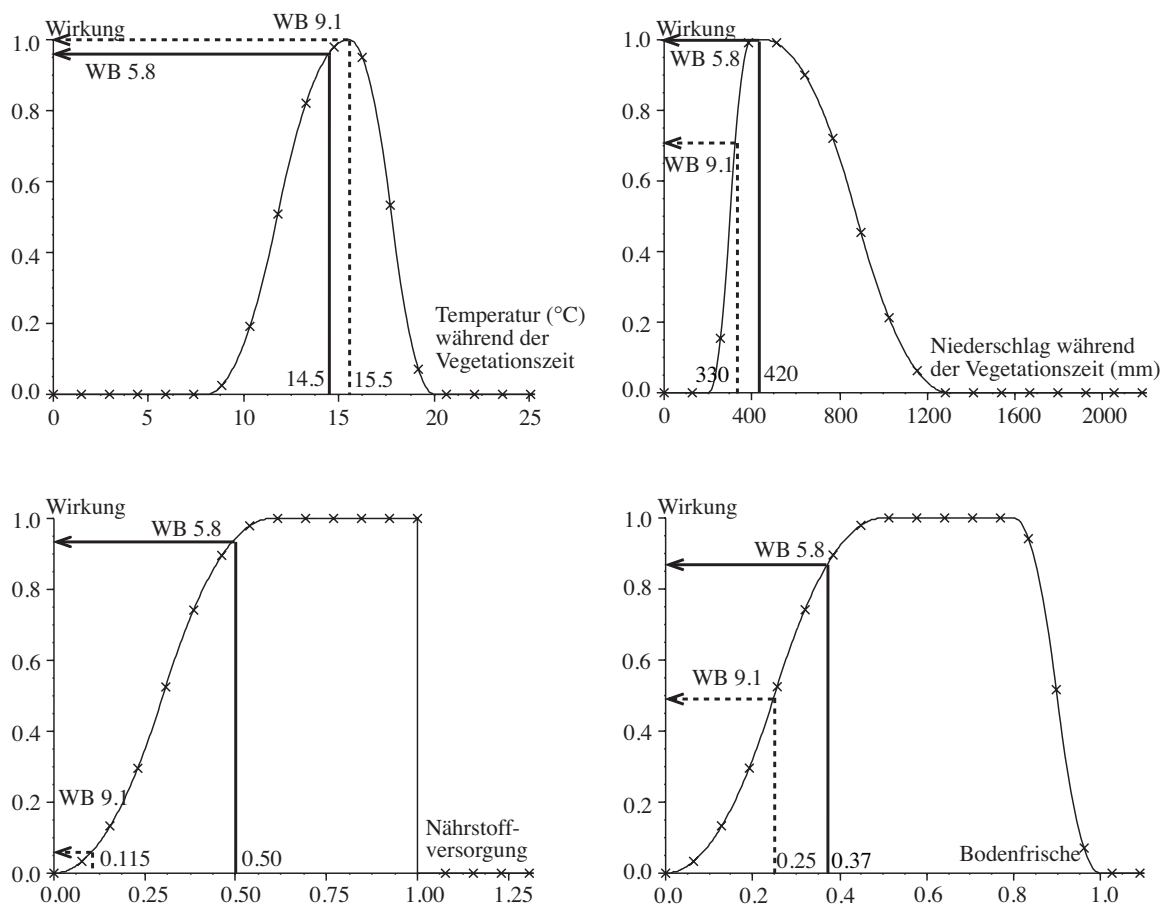


Abb. 9.3-1: Wirkungsfunktionen der Standortparameter mittlere Lufttemperatur während der Vegetationszeit (oben links), Niederschlag während der Vegetationszeit (oben rechts), Nährstoffversorgung (unten links) und Bodenfrische (unten rechts) für die Baumart Kiefer mit Einordnung der Wuchsbezirke Südliches Albvorland (5.8) und Oberpfälzer Becken- und Hügelland (9.1).

Der Niederschlag während der Vegetationszeit liegt im Südlichen Albvorland (5.8) für die Kiefer im Optimalbereich, und auch die mittlere Lufttemperatur während der Vegetationszeit übt hier keinen wuchshemmenden Einfluss aus.

Die Bodenmerkmale Nährstoffversorgung und Wasserhaushalt bieten ebenfalls relativ günstige Bedingungen, die es der Kiefer erlauben, Oberhöhen bis ca. 37 m zu erreichen. Im Oberpfälzer Becken- und Hügelland stellt sich die Lage vollkommen anders dar. Die Niederschläge liegen

wesentlich niedriger und hemmen damit deutlich das Höhenwachstum. Auch der Wasserhaushalt des Bodens und insbesondere die Nährstoffversorgung des untersuchten Standortes bieten der Kiefer keine günstigen Wuchsbedingungen. Dies kann auch durch eine im Optimum befindliche mittlere Lufttemperatur während der Vegetationszeit nicht ausgeglichen werden. Aufgrund dieser Rahmenbedingungen kann die Kiefer hier nur mittlere Oberhöhenwerte von 30.5 m erreichen.

Die Höhenwuchsleistungen in den anderen Wuchsbezirken lassen sich ebenfalls anhand dieser klimatischen und bodenkundlichen Einflussfaktoren erklären. Entscheidend ist, in welcher Konstellation die einzelnen Parameter zusammentreffen.

## 10 Bedeutung der Kiefer unter veränderten Klimabedingungen

### 10.1 Veränderung der Klimabedingungen

Seit der Zeit der Industrialisierung wirkt der Mensch massiv auf die Zusammensetzung unserer Atmosphäre und damit indirekt auf das Klima ein (FABIAN, 1991). Das Anwachsen des atmosphärischen Gehaltes an  $\text{CH}_4$  und  $\text{N}_2\text{O}$  als Folge von Massentierhaltung, Nassfeldkulturen und Stickstoffdüngung, der Ausstoß von  $\text{CO}_2$  aufgrund der Verbrennung fossiler Energieträger und der Eintrag halogenisierter Kohlenwasserstoffe in unsere Atmosphäre führen zu einer Verstärkung des Treibhauseffektes und damit zu einer Veränderung unseres Klimas (FABIAN, 1991). Seit etwa 100 Jahren hat sich die Temperatur um 0.6 K und der  $\text{CO}_2$ -Gehalt der Atmosphäre um 60 ppm erhöht. RAPP und SCHÖNWIESE (1995) weisen für den Zeitraum 1891-1990 eine deutliche Erhöhung des Temperaturregimes um durchschnittlich 0.8 °C und eine Zunahme des Niederschlags um 10 % für den deutschen Raum nach. Nach MENZEL (1997) findet die Temperaturerhöhung vor allem im Herbst statt. Vor allem zwischen den Breitengraden 45 °N und 70 °N verlängert sich aufgrund dessen die Vegetationszeit um 12 Tage (MYNENI et al., 1997). Verschiedene Autoren gehen davon aus, dass sich der  $\text{CO}_2$ -Gehalt der Atmosphäre in diesem Jahrhundert (bis 2030 oder 2070) gegenüber der vorindustriellen Zeit verdoppelt haben wird. Das Ausmaß der dadurch veränderten Klimaparameter wird von vielen Klimatologen diskutiert. Klimamodelle werden entwickelt, um unser zukünftiges Klima unter den veränderten atmosphärischen Bedingungen prognostizieren zu können. Diese Rechnungen führen jedoch nicht immer zu einheitlichen Ergebnissen. Die Komplexität der Wechselbeziehungen und die Entwicklung des Ausstoßes der relevanten Schadstoffe sind nicht überschaubar. Zudem sind einige wichtige Prozesse nur unzureichend in den heutigen Modellen enthalten.

Relativ einheitlich wird über die Entwicklung der globalen Mitteltemperatur diskutiert. Bei einer Verdopplung des  $\text{CO}_2$ -Gehaltes ist mit einem Anstieg zwischen 2.5 und 3 °C zu rechnen (z.B. IPCC, 1995; FABIAN, 1991; GRASSL, 1994; ULRICH und PUHE, 1993; CHARNEY, 1979), der jedoch regional zu differenzieren ist. Verschiedene Modellrechnungen haben eine mit der geographischen Breite steigende Temperaturzunahme ergeben (THOMASIUS, 1991; GRASSL, 1987). Nach BROUWER und FALKENBERG (1989) liegt der Anstieg in Süddeutschland unter 2 °C .

Die Prognosen über die Veränderung von Niederschlagsmenge und -verteilung sind wesentlich schwieriger. Klimamodelle berechnen, dass es zwischen 30 ° südlicher und 30 ° nördlicher Breite trockener wird, jenseits von 50 ° jedoch ergiebiger Niederschläge fallen (FABIAN, 1991). Bayern liegt zwischen 47 ° und 50 ° nördlicher Breite, demnach also eher an der Grenze



zu höheren Niederschlagsmengen. Die Niederschlagsänderungen in Europa werden sich nach BROUWER und FALKENBERG (1989) bis zu  $\pm 300$  mm/a verändern, wobei in Nordwesteuropa mit Gewinnen, in Südosteuropa mit Verlusten zu rechnen ist. Speziell für Süddeutschland werden bis zu 290 mm/a geringere Niederschläge, Humiditätsverlust und daraus folgende Dürreperioden prognostiziert. BRUENIG (1990) beschreibt eine größere Trockenheit in Mitteleuropa mit Witterungsextremen, Orkanen, Überschwemmungen, Hitze- und Dürreperioden. Nach ULRICH und PUHE (1993) nehmen die Niederschläge um 2-3 % vor allem im Winter zu, während sie sich im Sommer nicht verändern. GRASSL (1994) beschreibt zunehmend feuchtere Winter, während die Sommerdürre des Mittelmeerraumes weiter nach Norden ausgreift.

Nach einem Klimaszenario, das im Rahmen einer Sensitivitätsstudie für die Baumart Fichte vom Potsdam Institut für Klimafolgenforschung berechnet wurde (PRETZSCH et al., 2000; DURSKY, 2000) wird für den deutschen Raum je nach Modell bis zum Jahr 2041 oder 2070 ein durchschnittlicher Temperaturanstieg während der Vegetationszeit von 2.15 °C (1.4 bis 3.4 °C) mit sich wenig ändernden Niederschlagsverhältnissen (-43.6 bis +41.1 mm) erwartet. Die Anzahl der Tage mit einer mittleren Lufttemperatur  $> 10$  °C steigt durchschnittlich um 50.1 Tage und die Jahrestemperaturamplitude sinkt durchschnittlich um 2.55 °C (von -4.6 °C bis +1 °C), wobei starke regionaltypische Unterschiede bestehen.

## 10.2 Auswahl der Klimaszenarien

In der folgenden Untersuchung soll den verschiedenen Klimaprognosen Rechnung getragen und das Wachstum der Kiefer unter zwei verschiedenen Szenarien untersucht werden. In beiden Fällen wird davon ausgegangen, dass sich der CO<sub>2</sub>-Gehalt der Atmosphäre bis zur Mitte dieses Jahrhunderts gegenüber dem vorindustriellen Zeitalter um 280 ppm auf 560 ppm verdoppeln wird. Der NO<sub>x</sub>- Gehalt der Atmosphäre wird bei diesen Rechnungen auf heutigem Niveau gehalten (305 ppb), da Prognosen über dessen Entwicklung zu unsicher erscheinen. Die Startwerte, die waldbauliche Behandlung und die bodenkundlichen Werte (Nährstoff- und Wasserhaushalt) entsprechen den in Kapitel 9 verwendeten Parametern, um vergleichbare Ergebnisse zu erreichen.

### Szenario 1

In der ersten Szenariorechnung werden die prognostizierten Klimaänderungen des Potsdamer Instituts für Klimafolgenforschung mit einem durchschnittlichen Temperaturanstieg während der Vegetationszeit von 2 °C und gleichbleibenden Niederschlagsverhältnissen übernommen. Die Anzahl der Tage mit einer mittleren Lufttemperatur  $> 10$  °C erhöht sich um 50 Tage, und die Jahrestemperaturamplitude sinkt um 2.55 °C.



Szenario 2

In der zweiten Szenariorechnung wird entsprechend der Prognosen anderer Klimamodelle den geringeren Niederschlägen während der Vegetationszeit Rechnung getragen und diese um 10 % abgesenkt. Die Anzahl der Tage mit einer Lufttemperatur > 10 °C steigt um nur 12 Tage (siehe auch PRETZSCH und UTSCHIG, 2000).

**10.3 Ergebnisse der Szenariorechnungen**

Die Tabellen 10.3-1 und 10.3-2 zeigen die Ergebnisse aus den beiden Szenariorechnungen. Neben den absoluten Werten wird hier zusätzlich die prozentuale Abweichung zu den unter heutigen Klimabedingungen prognostizierten Werten (vgl. Tab. 9.1-1 und 9.2-1) dargestellt.

Bei Unterstellung gleichbleibender Niederschlagsverhältnisse mit ansteigenden Temperaturen (Szenariorechnung 1) zeigen sich in allen Wuchsbezirken bei der Oberhöhe durchweg positive Abweichungen (Tab. 10.3-1). Die Differenz ist jedoch nicht allzu groß, die höchsten Abweichungen der Oberhöhe zeigt mit 3.5 % der Wuchsbezirk Nördliche Frankenalb (6.1). Beim durchschnittlichen Gesamtwuchs finden sich im Vergleich zur Prognoserechnung unter heutigen Bedingungen ebenfalls nur schwach positiv geprägte Auswirkungen. Das Kiefernwachstum scheint kaum auf eine Temperaturerhöhung während der Vegetationszeit zu reagieren.

Tab. 10.3-1: Mit dem Wuchsmodell SILVA 2.2 berechnete Oberhöhen und durchschnittliche Gesamtwüchse (dgz) im Alter 140 Jahre bei veränderten Klimabedingungen (Szenariorechnung 1) und die prozentuale Abweichung (% Abw) von den prognostizierten Werten unter heutigen Standortsbedingungen.

(Teil-) Wuchsbezirk		Szenario 1			
		Oberhöhe		dgz	
		im Alter 140 Jahre m	% Abw	im Alter 140 Jahre VfmD/ha/a	% Abw
Vorrhön	3.1	39.2	2.6	9.0	0.0
Itz-Baunach-Hügelland	5.4	37.9	3.3	8.6	2.4
Nördliche Keuperabdachung	5.5	36.6	0.8	8.4	1.2
Südliche Keuperabdachung	5.6	36.6	0.8	8.4	0.0
Regnitzsenke/ Rezat-Rednitzsenke	5.5/1, 5.6/1	31.2	3.3	6.8	4.6
Südliches Altvorland	5.8	37.4	1.4	6.7	1.5
Nördliche Frankenalb	6.1	32.1	3.5	6.9	11.3
Südliche Frankenalb	6.2	33.0	3.3	7.1	1.4
Oberfränkisches Braunjuragebiet	6.4	33.1	2.8	7.8	1.3
Oberpfälzer Jurarand	6.5	33.1	3.1	7.9	2.6
Bruchschollenland	7.1	36.5	2.5	6.5	3.2
Obermainhügelland	7.2	36.6	2.2	6.5	1.6
Oberpfälzer Becken- und Hügelland	9.1	31.2	2.3	6.5	3.2
Waldsass. Schiefergeb./Wiesauer Senke	10.2	33.2	1.5	6.2	3.2

Verringern sich jedoch auch die Niederschlagsverhältnisse während der Vegetationszeit (Szenariorechnung 2), dann ergibt sich ein differenziertes Bild. In den meisten Wuchsbezirken reduziert sich sowohl das Höhenwachstum als auch der durchschnittliche Gesamtwuchs (Tab. 10.3-2). Das Ausmaß der Veränderungen ist jedoch nach Regionen differenziert. Mit 17.4 % zeigen sich die stärksten Abweichungen der Oberhöhen im Waldsassener Schiefergebiet/Wiesauer Senke (10.2), wo im Alter 140 Jahre nur noch Oberhöhenwerte von 27 m erreicht werden. Auch im Oberpfälzer Becken- und Hügelland (9.1), in der Nördlichen Frankenalb (6.1) und im Obermainhügelland finden sich Abweichungen von deutlich über 10 %. Schwach positive Wachstumsreaktionen zeigen die Gebiete Südliches Albvorland (5.8), Vorrhön (3.1) und Oberfränkisches Braunjuragebiet (6.4). Das gleiche Bild mit tendenziell etwas höheren Abweichungen bietet der durchschnittliche Gesamtwuchs.

Tab. 10.3-2: Mit dem Wuchsmodell SILVA 2.2 berechnete Oberhöhen und durchschnittliche Gesamtwüchse (dgz) im Alter 140 Jahre bei veränderten Klimabedingungen (Szenariorechnung 2) und die prozentuale Abweichung (% Abw) von den prognostizierten Werten unter heutigen Standortsbedingungen.

(Teil-) Wuchsbezirk		Szenario 2			
		Oberhöhe		dgz	
		im Alter 140 Jahre m	% Abw	im Alter 140 Jahre VfmD/ha/a	% Abw
Vorrhön	3.1	38.3	0.3	9.0	0.0
Itz-Baunach-Hügelland	5.4	32.4	-11.7	7.8	-7.1
Nördliche Keuperabdachung	5.5	33.4	-8.0	7.9	-4.8
Südliche Keuperabdachung	5.6	33.2	-8.5	7.8	-7.1
Regnitzsenke/ Rezat-Rednitzsenke	5.5/1, 5.6/1	27.3	-9.6	5.9	3.6
Südliches Albvorland	5.8	37.1	0.5	6.7	1.5
Nördliche Frankenalb	6.1	25.8	-16.8	5.4	-12.9
Südliche Frankenalb	6.2	31.9	-0.1	7.0	0.0
Oberfränkisches Braunjuragebiet	6.4	32.4	0.6	7.7	0.0
Oberpfälzer Jurarand	6.5	31.3	-2.5	7.5	-2.6
Bruchschollenland	7.1	35.1	-1.4	6.3	0.0
Obermainhügelland	7.2	31.3	-12.6	5.7	-10.9
Oberpfälzer Becken- und Hügelland	9.1	25.3	-17.0	4.9	-22.2
Waldsass. Schiefergeb./Wiesauer Senke	10.2	27.0	-17.4	5.4	-12.9

Bei beiden Szenarien sind die Wachstumsveränderungen jedoch nicht so hoch, dass ein Kiefernanaubau nicht mehr möglich wäre. Die maximalen Abweichungen betragen bei der Oberhöhe -17.4 % und beim durchschnittlichen Gesamtwuchs -22.1 %. Dies entspricht absoluten Werten von 27.0 m bzw. 3.2 VfmD/ha/a im Alter 140. Damit vermögen die Kiefernbestände immer noch mehr zu leisten, als es ihnen unter zurückliegenden Wuchsbedingungen (vgl. Abschnitt 6.3) möglich war. Ein Vergleich der Ergebnisse mit der Sensitivitätsstudie über die Fichte (PRETZSCH et al., 2000; DURSKY, 2000) zeigt, dass in Gebieten, in denen sich diese Baumart bereits am Rand ihrer ökologischen Amplitude befindet, ein Wachstum überhaupt nicht mehr möglich ist. Eine weitere Untersuchung der Fichte (PRETZSCH und UTSCHIG, 2000) erbringt ähnliche Ergebnisse. In einigen Regionen Bayerns ergeben sich unter Klimaveränderungen, die hier Szenariorechnung 2 entsprechen, negative Abweichungen bis zu 45 %, was wesentliche höhere Wachstumseinbußen bedeutet, als

sie bei der Kiefer zu erwarten sind. Die weite ökologische Amplitude der Kiefer (vgl. Abb. 3.2-1) führt dazu, dass selbst maximale Temperaturen von 17.7 °C und geringe Niederschläge (minimal 320 mm) während der Vegetationszeit sie nicht an die Grenze des Wachstums bringen.

## 10.4 Einfluss der Klimavariablen bei den Szenariorechnungen

Zur näheren Erläuterung des Einflusses veränderter Klimabedingungen auf das Wachstum sind in den Abbildungen 10.4-1 und 10.4-2 die Wirkungsfunktionen der Baumart Kiefer für die Standortparameter Niederschlag während der Vegetationszeit, Temperatur während der Vegetationszeit, Jahrestemperaturamplitude und die Anzahl der Tage mit einer mittleren Lufttemperatur > 10 °C für zwei ausgewählte Wuchsbezirke (Südliches Albvorland (5.8) und Oberpfälzer Becken- und Hügelland (9.1)) dargestellt. Zum Vergleich sind neben den Werten der beiden Klimaszenarien die gegenwärtigen Klimadaten eingetragen.

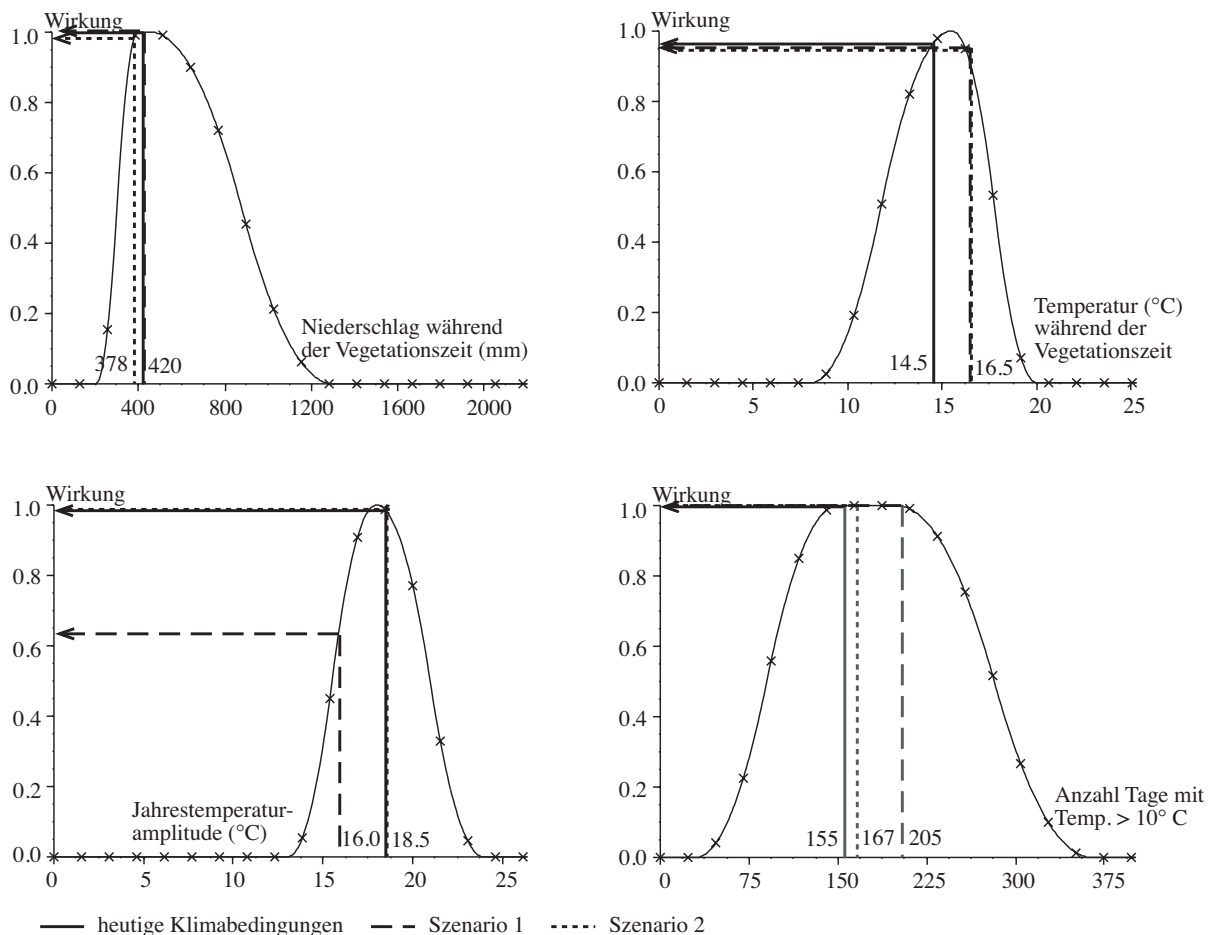


Abb. 10.3-1: Darstellung einiger Wirkungsfunktionen der Baumart Kiefer (Niederschlag während der Vegetationszeit, Temperatur während der Vegetationszeit, Jahrestemperaturamplitude und Anzahl Tage mit einer Temperatur > 10 °C) aus dem Waldwachstumssimulator SILVA 2.2 für den Wuchsbezirk Südliches Albvorland (5.8) mit den klimatischen Werten unter gegenwärtigen Bedingungen und für die Szenariorechnungen 1 und 2.

Im Wuchsbezirk 5.8 liegen die Werte des Niederschlags während der Vegetationszeit im Optimalbereich. Eine Reduzierung um 10 % übt keinen Einfluss auf das Wachstum aus. Auch die Veränderung der Temperatur sowie die Verlängerung der Vegetationszeit reduziert das Wachstum kaum. Nur die Absenkung der Jahrestemperaturamplitude verringert das potentiell mögliche Wachstum. In klimatisch günstigen Gebieten, deren Böden zudem gute Nährstoff- und Wasserversorgung aufweisen (vgl. Abb. 9.3-1) zeigen die untersuchten Klimaszenarien keine Auswirkungen auf die Baumart Kiefer. Die Abweichungen in diesem Wuchsbezirk liegen in beiden Szenarien sehr niedrig.

Liegen die Kiefernbestände jedoch in Gebieten, die durch generell ungünstigere Klimabedingungen und zusätzlich schlechtere Bodenverhältnisse charakterisiert sind wie im Oberpfälzer Becken- und Hügelland (vgl. Abb. 9.3-1), reagiert das Wachstum unter veränderten Klimabedingungen deutlich. Insbesondere die Verringerung des Niederschlags während der Vegetationszeit bewirkt ein reduziertes Wachstum der Bäume.

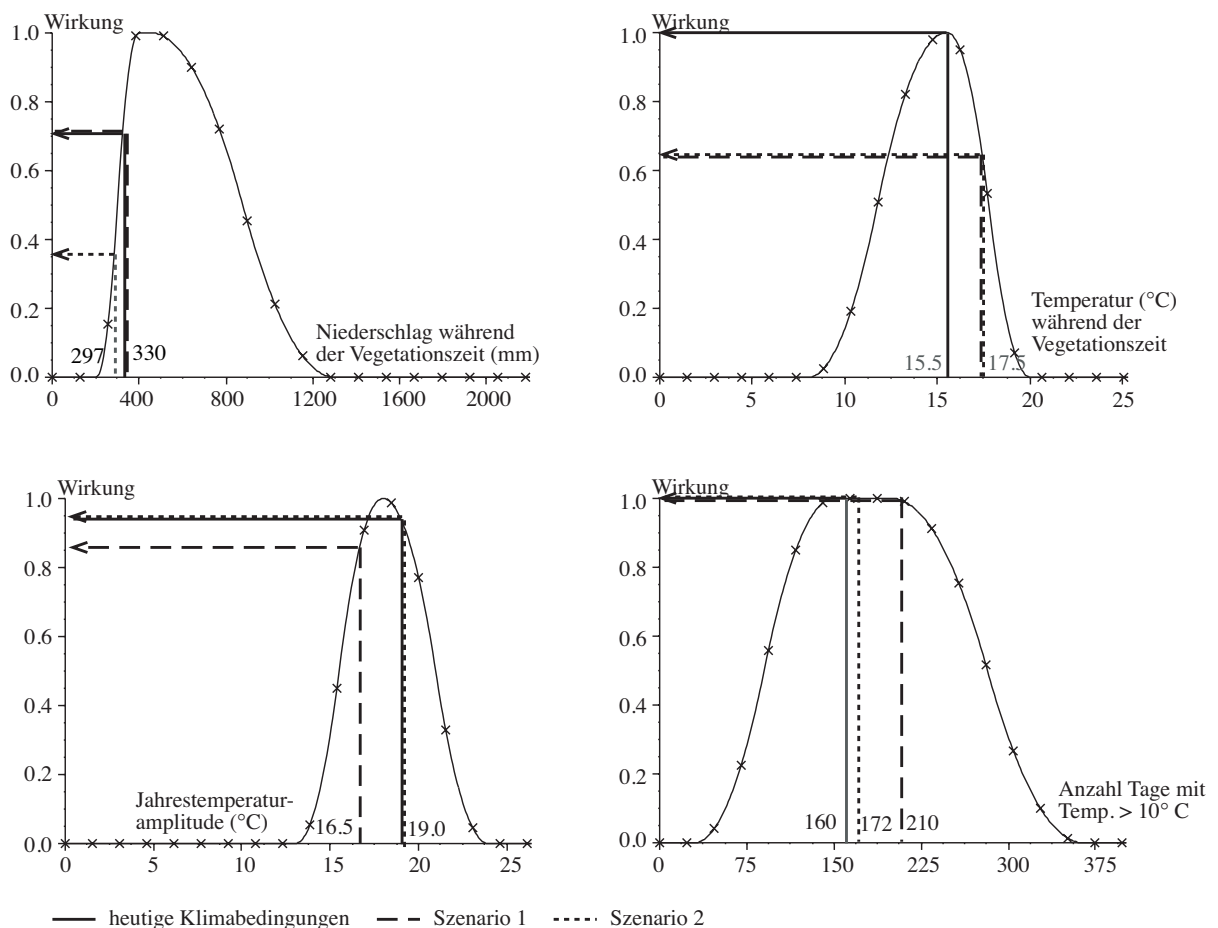


Abb. 10.3-2: Darstellung einiger Wirkungsfunktionen der Baumart Kiefer (Niederschlag während der Vegetationszeit, Temperatur während der Vegetationszeit, Jahrestemperaturamplitude und Anzahl Tage mit einer Temperatur > 10 °C) aus dem Waldwachstumssimulator SILVA 2.2 für den Wuchsbezirk Oberpfälzer Becken- und Hügelland (9.1) mit den klimatischen Werten unter gegenwärtigen Bedingungen und für die Szenariorechnungen 1 und 2.

## 11 Zusammenfassende Betrachtung und Diskussion

Die in dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen folgen unterschiedlichen Ansätzen. Der erste Blick gilt der Beschreibung räumlicher Wachstumsbefunde, die die Entwicklung der Kiefernbestände unter vergangenen Rahmenbedingungen zum Ausdruck bringen. Zweiter Schwerpunkt dieser Arbeit ist das Ziel, Wachstumsveränderungen, die aufgrund großräumig wirkender Störeinflüsse auftreten, zu erfassen und zu quantifizieren. Hierbei werden zudem einige standörtliche Parameter betrachtet, die Auswirkung auf die Ausprägung der räumlichen und zeitlichen Reaktionsmuster von Kiefernbeständen haben. Letztlich wird das unter heutigen Bedingungen zu erwartende Wuchspotential der Kiefer untersucht und ein Blick auf mögliche Reaktionen des Kiefernwachstums auf veränderte Klimabedingungen gegeben.

### 11.1 Wachstumsbefunde der Kiefer in Bayern

Die große Fülle des vorhandenen Datenmaterials aus der permanenten Stichprobeninventur und die Auswertungen der langfristig beobachteten Versuchsflächen ermöglichen eine umfassende räumliche und zeitliche Darstellung der bis heute erreichten Wuchsleistung von Kiefernbeständen in unterschiedlichen Regionen und auf verschiedenen Standorten Bayerns.

#### Die Höhenentwicklung

Die Höhe von Bäumen bzw. Waldbeständen gilt als Ausdruck des vorhandenen Standortpotentials (z.B. ASSMANN, 1961) und ist für einen Vergleich regionaltypischer Wuchsunterschiede besonders geeignet. Das Wachstum der Kiefernbestände unterscheidet sich in den untersuchten Regionen deutlich voneinander. Die durchschnittlichen Höhen schwanken in einem Alter von 140 Jahren zwischen ca. 23 und 25 m. Hierbei handelt es sich jedoch um Durchschnittswerte, die das generelle Leistungsniveau einer Region beschreiben. Die Ergebnisse aus den langfristigen Versuchsflächen zeigen, dass die Kiefer auf einem gut mit Wasser- und Nährstoffen versorgten Boden (z.B. die Versuchsfläche Bayreuth 51) Höhen über 35 m erreichen kann, während auf einem armen, ehemals extrem streugennutzten Boden (z.B. die Versuchsfläche Waldsassen 238) schon bei ca. 20 m das Wuchspotential des Bodens ausgeschöpft ist.

#### Die Grundflächen- und Vorratswerte

Die Grundflächen- und Vorratswerte werden neben den standörtlichen Verhältnissen stark durch die waldbauliche Behandlung geprägt, die starke Schwankungen der Grundflächen um die Erwartungswerte der WIEDEMANN-Ertragstafel hervorrufen kann. Bedingt durch andere

Wuchsbedingungen und Durchforstungskonzepte in Bayern kann der eng gefasste Rahmen des Ertragstafelfächers von WIEDEMANN (1943, mäßige Durchforstung) die möglichen Grundflächenhaltungen und –entwicklungen nur unzureichend beschreiben.

Die Grundflächenwerte in den Regionen liegen durchschnittlich zwischen ca. 22 und 30 qm/ha, stellenweise finden sich auch Inventurpunkte mit Grundflächen bis ca. 70 qm/ha (Keuperhügelland). Die Ergebnisse aus der langfristigen Versuchsfläche Bayreuth 51 zeigen dagegen maximal erreichbare Werte bis knapp 50 qm/ha. Auf einer Schweizerischen Versuchsreihe wird jedoch zwischen der Altersperiode 61-83 Jahre eine mittlere Grundflächenhaltung von 63 qm/ha festgestellt (ASSMANN, 1961) und auch FRANZ und PRETZSCH (1988) finden Grundflächenwerte von 50 bis 60 qm/ha. Nicht auszuschließen ist jedoch auch ein durch die Hochrechnung der kleinen Probekreise auf Hektar-Werte entstehender Fehler (FUCHS, 1993).

Die durchschnittlichen Vorratswerte der untersuchten Gebiete liegen zwischen 108 und 289 VfmD/ha und entsprechen damit durchschnittlich den Ergebnissen aus der Bundeswaldinventur für den Staatswald (LWF, 1994). Die Schwankungen in den einzelnen Regionen sind dabei stark vom durchschnittlichen Alter, den Bonitäten und der Dichte der Bestände abhängig. Maximale Werte liegen bei 894 VfmD/ha, wobei hier wieder Hochrechnungsfehler nicht auszuschließen sind. Der Kiefernbestand der Versuchsfläche Bayreuth 51 stockt auf einem besser wasser- und nährstoffversorgtem Boden. Mit einem maximalen Vorrat von ca. 700 VfmD/ha gibt er einen Einblick in das mögliche Wuchspotential der Kiefer.

### Der Volumenzuwachs

Der Volumenzuwachs der letzten zwölf Jahre liegt bei Betrachtung der Ergebnisse aus der Wiederholungsinventur bei vollbestockten Flächen deutlich über der I. Ertragsklasse. Die Werte erreichen im Alter von 40 Jahren zwischen 8 und 9 VfmD/ha/a und liegen im Alter von 120 Jahren mit Ausnahme der Vorrhön immer noch deutlich über 6 VfmD/ha/a. Die Zuwachsentwicklungen der langfristigen Versuchsflächen zeigen darüber hinaus, dass die Kiefer in Einzelfällen auch im höheren Alter noch Werte über 10 VfmD/ha/a zu leisten im Stande ist.

### Anwendbarkeit der Ertragstafel

Die Ergebnisse weisen noch einmal deutlich darauf hin, dass insbesondere die Vorgabewerte der WIEDEMANN-Ertragstafel (1943, mäßige Durchforstung) als Planungsgrundlage für die Forsteinrichtung aufgrund zu großer Differenzen im Ertragsniveau und der Anwendung anderer Durchforstungskonzepte an ihre Grenzen stößt. Alternativen bieten hier dynamische



Wuchsmodelle, die flexibel auf standörtliche und behandlungsbedingte Unterschiede reagieren können und die tatsächlichen Ertragsgrößen realitätsnah nachbilden (z.B. PRETZSCH, 1992).

## 11.2 Einfluss von Standortfaktoren auf das Wachstum

Bei der Untersuchung der klimatischen (Niederschlag während der Vegetationszeit, Temperatur während der Vegetationszeit) und bodenkundlichen (Substrat, Nährstoff- und Wasserhaushalt) Parameter sind in erster Linie die Bodenmerkmale Wasserhaushalt und Sonstige Merkmale für die Ausprägung der Höhenentwicklung verantwortlich. Dies entspricht Untersuchungen von LAATSCH (1963), der in erster Linie den Nährstoffgehalt und die Wasserversorgung des Bodens als den am stärksten begrenzenden Ertragsfaktor sieht. Der Niederschlag während der Vegetationszeit zeigt nur einen geringen, die Temperatur während der Vegetationszeit keinen signifikanten Einfluss auf die Höhenentwicklung. Auch KAHN (1994) findet bei der Entwicklung des Standort-Leistungsmodells keinen gerichteten Zusammenhang zwischen der Höhenwuchsleistung und dem Temperaturmittel während der Vegetationsperiode. Die fehlende Signifikanz bei der Temperatur kann jedoch auch durch die Konzentration der Werte in den untersuchten Wuchsgebieten zwischen 14 und 15 °C bedingt sein, was eine Feststellung von Unterschieden nicht zulässt. Tendenziell werden die erreichten Höhenleistungen um so größer, je kühler und niederschlagsreicher das Klima während der Vegetationszeit ausfällt. Ähnliche Ergebnisse findet BROCKMANN et al. (1987), der eine positive Reaktion der Kiefer auf höhere Niederschläge und niedrigere Temperaturen während der Vegetationszeit herausarbeitet. Bei der Interpretation der Ergebnisse muss berücksichtigt werden, dass der Einfluss eines Parameters ein- oder mehrfaktoriell bedingt sein kann. So können die hohen Wuchsleistungen der Kiefer auf einem Schichtlehm sowohl durch eine höhere Wasserspeicherkapazität als auch durch eine verbesserte Nährstoffversorgung hervorgerufen worden sein. Auch die Interpretation des Einflussgröße Sonstige Merkmale erscheint schwierig, da beispielsweise ein tongründer Boden genauso nährstoffreich und gut mit Wasser versorgt sein kann wie ein sich in Hanglage befindlicher Boden.

Der Einfluss der untersuchten Faktoren spiegelt sich in den einzelnen Regionen deutlich wieder. In Gebieten mit durchschnittlich niedrigeren Niederschlägen (wie z.B. das Oberpfälzer Becken- und Hügelland) erreicht die Kiefer durchschnittlich geringere Höhen als im niederschlagsbegünstigten Albvorland. Innerhalb dieser Regionen ist jedoch ein Boden mit höherer Wasserspeicherkapazität in der Lage, geringere Niederschläge in der Vegetationsperiode bis zu einem gewissen Grad zu kompensieren, so dass der Bodenwasserhaushalt weiter differenzierend auf die Höhenentwicklung einwirken kann. Neben dem Wasserhaushalt spielt auch die Ernährung des Baumes eine entscheidende Rolle. So können die niedrigen Höhen in der Oberpfalz nicht nur durch geringe Niederschläge verursacht, sondern durch die magere

Nährstoffausstattung der Böden und starke extensive Übernutzung der Wälder in der Vergangenheit bedingt sein (REBEL, 1920; BAYSTMELF, 1981).

### **11.3 Verändertes Wuchsverhalten der bayerischen Kiefernbestände**

Die Untersuchungen über ein verändertes Wuchsverhalten bayerischer Kiefernbestände konzentrieren sich in erster Linie auf den Volumenzuwachs bzw. die in ihn einfließenden Wachstumsgrößen Durchmesser- und Höhenzuwachs. Diese Parameter beeinflussen nicht nur die Höhe der Wuchsleistung und den Ertrag aus unseren Wäldern, sondern auch deren Bestandesstruktur und Stabilität. Für eine Analyse dieser Art sind lange Zeitreihen notwendig, die mit dem teilweise seit Beginn des 20. Jahrhunderts unter Beobachtung stehenden langfristigen Versuchsflächen zur Verfügung stehen.

#### **11.3.1 Bonitätsveränderungen**

Sowohl bei den Höhenentwicklungen der langfristigen Versuchsflächen als auch bei den Ergebnissen aus der Stichprobeninventur findet sich in allen Regionen ein einheitliches Bild verbesserter Bonitäten. Bei den Höhenbefunden aus der permanenten Stichprobeninventur äußert sich dies in deutlich besseren Höhenwerten junger Bestände, die oftmals über der I. Ertragsklasse nach WIEDEMANN (1943, mäßige Durchforstung) liegen. Die Bonitätssprünge sind regional unterschiedlich und können zwischen 1.4 und 2.7 Ertragsklassen betragen. Es erscheint unwahrscheinlich, dass die Standorte junger Bestände sich generell besser darstellen, da die Kiefer aufgrund ihrer Genügsamkeit nur auf ärmeren Standorten angebaut wird, wo beispielsweise die Buche oder die Fichte keine befriedigenden Wuchsleistungen mehr erbringen (BAYSTMELF, 1995). Auch bei Betrachtung der jungen Kiefern der Versuchsfläche Weiden 611 zeigt sich, dass die Höhenwerte durchschnittlich der I.-III. Ertragsklasse entsprechen, während der Vorbestand im Alter von 92 Jahren nur eine IV. Ertragsklasse aufwies (UTSCHIG, 1993). Eine Inventur der Fichte Nordrhein-Westfalens erbringt die gleichen Ergebnisse (SPELSBERG, 1994).

Das Wachstum der Kiefernbestände auf den langfristigen Versuchsflächen zeigt im Vergleich zur WIEDEMANN-Ertragstafel (1943, mäßige Durchforstung) eine deutliche Verbesserung der Höhenentwicklung. Das Ausgangsniveau ist unterschiedlich und der Grad der Steigerung verschieden stark ausgeprägt, die Tendenz ist jedoch überall vorhanden. Insbesondere auf den seit Beginn des letzten Jahrhunderts untersuchten Flächen ist ersichtlich, dass die Entwicklung bis zu den 60er Jahren weitgehend ertragstafelkonform verläuft und erst danach eine Wuchsveränderung eintritt. Dies entspricht den Ergebnissen von SCHMIDT (1971), der bei der Konstruktion seiner Standorts-Ertragstafel für den Raum der Oberpfalz einen Bonitätsanstieg aller Altersstufen in den letzten Jahrzehnten findet und bemerkt, dass die Tafeln "eine schon fast



historische Bestandesentwicklung repräsentieren". Weitere Untersuchungen in der Oberpfalz (PRETZSCH, 1985; FRANZ und PRETZSCH, 1988) und im unterfränkischen Raum (PRETZSCH, 1985) sowie von FOERSTER (1990) über die Düngungsversuchsflächen erbringen ähnliche Resultate. In allen untersuchten Versuchsflächen bzw. Gebieten mit hohem Kiefernorkommen bestätigen sich die Ergebnisse. Eine Veränderung dieses Trends tritt auch bis zum heutigen Zeitpunkt nicht auf. Nur die Versuchsfläche Schnaittenbach 56, deren Höhenverlauf sich aufgrund besonderer Standortverhältnisse anders gestaltet, bildet hier eine Ausnahme.

### 11.3.2 Veränderungen des Zuwachsdynamik

Die Ergebnisse aller hier verwendeten Methoden ergeben tendenziell ein ähnliches Bild. Sowohl bei den Bestandeskennwerten als auch bei den Einzelbaumanalysen liegt der Zuwachs unserer Kiefernwälder heute durchschnittlich auf einem höheren Niveau als die Erwartungswerte des jeweils definierten Normalwachstums. Das Ausmaß der Veränderungen ist dabei, bedingt durch den Standort, unterschiedlich ausgeprägt. Bei Betrachtung der Entwicklung einzelner Kiefernbestände können dabei auch negative Trends auftreten.

#### Der Vergleich mit der WIEDEMANN-Ertragstafel

Der Vergleich des Bestandeszuwachses mit den Werten der WIEDEMANN-Ertragstafel (1943, mäßige Durchforstung) ergibt eine positive Abweichung von den Ertragstafelwerten, die um so stärker auftritt, je älter der Bestand ist. Die Abweichung des Volumenzuwachses kann hierbei durchschnittlich Werte bis zu 212 % betragen. Diese Feststellung bestätigen ebenfalls die Ergebnisse von SCHMIDT (1971), PRETZSCH (1985) sowie FRANZ und PRETZSCH (1988). Dieses positive Zuwachsverhalten spiegelt sich jedoch nicht in einer zunehmenden Vorratshaltung wider, vielmehr verbleiben die Vorratswerte auf dem von der Ertragstafel vorgegebenen Niveau. Die auf den Versuchsflächen durchgeführten Durchforstungen müssen demnach wesentlich höher ausgefallen sein, als sie das Behandlungskonzept der WIEDEMANN-Ertragstafel (1943, mäßige Durchforstung) vorgeben. Die Interpretation der Ergebnisse aus dem Ertragstafelvergleich kann jedoch nur unter Vorbehalt erfolgen. ASSMANN (1961) weist darauf hin, dass diese Tafel die Wuchsverhältnisse im süddeutschen Raum nicht korrekt wiedergibt, sondern vielmehr in der Jugend zu hohe und im Alter erheblich zu geringe Grundflächenwerte angegeben werden. Der Vergleich in Abschnitt 4.1 zwischen der WIEDEMANN-Ertragstafel und der Standorts-Ertragstafel von SCHMIDT (1971) zeigt, dass bei besseren Standorten der Volumenzuwachs ab dem Alter 50 bei Verwendung der WIEDEMANN-Ertragstafel unterschätzt, die ungünstigeren Sandstandorte jedoch recht gut wiedergegeben werden.

Dennoch ist ein Vergleich mit diesem Tafelwerk von Bedeutung, da es bis heute zur Einwertung von Kiefernbeständen herangezogen wird.

#### Zeitraumvergleich vor 1960 und nach 1960

Bei diesem methodischen Ansatz ergeben sich ähnliche Befunde. Kiefernbestände aller Altersstufen zeigen nach 1960 ein signifikant höheres Zuwachsniveau als im Zeitraum vor 1960. Die Beschreibung der Entwicklung des Volumenzuwachses mit Hilfe der modifizierten KORF-Funktion erbringt Zuwachssteigerungen bis 2.5 VfmD/ha/a. Dieser Mehrzuwachs wird sowohl vom Höhen- als auch vom Durchmesserzuwachs getragen.

Bei Betrachtung der Schlankheitsgrade zeigt sich, dass die H/D-Werte nach 1960 auf einem signifikant höheren Niveau liegen. Der Höhenzuwachs nimmt im Vergleich zum Durchmesserzuwachs überproportional zu. Besonders auffällig ist dies in jüngeren Beständen, die noch in der Vollkraftphase sind und verstärkt reagieren können. Der Schlankheitsgrad bestimmt die Stabilität von Bäumen und Beständen gegenüber mechanischen Belastungen wie Schneedruck und Wind (WENK et al., 1990), eine Erhöhung bewirkt eine Destabilisierung der Bestände. Bei den hier untersuchten Versuchsflächen ist der Anstieg nicht gravierend, H/D-Werte über 100 werden nur in der Altersstufe 50 erreicht. PRETZSCH (1985) bestätigt dieses Verhalten bei den von ihm untersuchten Versuchsflächen. Das verstärkte Höhenwachstum führt zur Ausbildung außergewöhnlich spitzwipfliger Kronenformen. Dieses Aufsetzen eines neuen Wipfels auf bereits abgewölbte Kronen wird auch von WENK et al. (1990) im obervogtländischen Schiefergebiet beschrieben. Trotz des abweichenden Verhaltens findet er jedoch eine gute Übereinstimmung mit der DDR-Kiefern-Ertragstafel und folgert daraus, dass auf ungünstigen Standorten die Periodizität des Zuwachses bei der Kiefer nicht ungewöhnlich ist. Auch WIEDEMANN (1948) findet dieses Wuchsverhalten bei der Kiefer und führt dies auf Witterungsschwankungen zurück, da sich das Wechselspiel von Stockung und Erholung entsprechend dem Rhythmus der Witterung wiederholt. MITSCHERLICH (1978) beobachtet Kiefernbestände, die in dem Moment wieder Höhenzuwachs anlegen, als unterbaute Buchen und Tannen ins Kronendach einwachsen.

Die Ergebnisse der hier untersuchten Einzelbäume zeigen insbesondere auf ärmeren Standorten stärkere Höhenzuwächse, die mit einem Anstieg der mittleren Grundflächenhaltung einhergehen. Das verbesserte Wuchsverhalten führt zu einer neuen Konstellation der Einzelbäume untereinander. Abgeschlossene Konkurrenzkämpfe der Bäume könnten durch steigende Dichten wieder angeregt werden und in erster Linie das Höhenwachstum forcieren.

#### Methode des konstanten Alters

Auch bei der Analyse der durchschnittlichen Radialzuwächse in vier verschiedenen Wuchsgebieten wurden Zuwachssteigerungen gefunden. Im Vergleich zu den Zuwachswerten zu Beginn des letzten Jahrhunderts liegen sie Ende der 90er Jahre auf einem wesentlich höheren Niveau. Die Steigerung erscheint auf den ersten Blick sehr hoch, in absoluten Werten

ausgedrückt werden jedoch nur in einem Fall Mehrleistungen von 1 mm gefunden. Der davon abweichende negative Verlauf junger Kiefern kann entweder durch fehlendes Datenmaterial in der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts oder durch eine Verschiebung des Kulminationszeitpunktes in ein höheres Alter bedingt sein. Dies widerspricht den Ergebnissen von ASSMANN (1961), der bei besseren Standortsverhältnissen eine frühere Kulmination des Zuwachses beschreibt. Weiterhin ist aus diesen Ergebnissen ersichtlich, dass eine Zuwachssteigerung schon weit vor 1960 auftritt. Die Erholung der Böden auf den stark durch Streunutzung devastierten Böden in Bayern (REBEL, 1920) führt schon lange vor Eintreten großflächiger Störfaktoren zu einer Verbesserung des Wachstums (REHFUESS, 1990). Ein verstärktes Wachstum in den letzten Jahrzehnten kann durch den linearen Ausgleich nicht abgebildet werden.

Voraussetzung für die Anwendung dieses methodischen Ansatzes ist eine weitgehende Standortsgleichheit über den betrachteten Zeitraum hinweg (MIELIKÄINEN und TIMONEN, 1996; PRETZSCH, 1999). Diese Bedingung kann hier nicht überprüft werden, da bei einer Vielzahl der einbezogenen Einzelbaumanalysen genaue Standortsansprachen nicht vorhanden sind. Die erarbeiteten Tendenzen können deshalb nur vorsichtig interpretiert werden, da standörtliche Unterschiede im Datenmaterial nicht ausgeschlossen werden können.

#### Mögliches Wuchspotential unter heutigen Standortsbedingungen

Die heute auf die Standorte in erster Linie einwirkenden wuchsverbessernden Faktoren führen zu einem verbesserten Wuchspotential bayerischer Kiefernbestände. Zu welchen Möglichkeiten dieses Potential führt, kann jedoch anhand des verwendeten Datenmaterials nicht untersucht werden. Die in der Vergangenheit herrschenden Wuchsbedingungen haben zu einer bestimmten Ausformung eines Baumes bezüglich seiner Höhe und seines Durchmessers geführt, die durch die heute herrschende Bedingungen nicht mehr verändert werden kann. Um einen Einblick in das heute mögliche Wuchspotential zu bekommen, werden mit dem Einzelbaumsimulator SILVA 2.2 Prognoserechnungen unter heutigen Bedingungen durchgeführt. Damit ist es möglich, die Entwicklung eines Baumes für eine gesamte Umtriebszeit unter den heute herrschenden Bedingungen zu untersuchen. Die Ergebnisse brachten erstaunlich hohe Wuchsleistungen der Kiefer. Im Alter von 140 Jahren sind Oberhöhen von 36 m in den Regionen kein Einzelfall, und der durchschnittliche Gesamtwuchs liegt im Bereich von ca. 6-9 VfmD/ha/a.

### 11.3.3 Reaktionsmuster auf verschiedenen Standorten

Die Zuwachstrends sind auf den verschiedenen Standorten jedoch unterschiedlich ausgeprägt. Sowohl der Vergleich mit der WIEDEMANN-Ertragstafel als auch der Vergleich des Wachstums im Zeitraum vor und nach 1960 zeigen auf schlechteren Standorten eine höhere Abweichung des Volumenzuwachses vom jeweils definierten Normalwachstum.

Zur Beschreibung der Standorte wurden zwei verschiedene Verfahren angewendet. Beim Vergleich mit der WIEDEMANN-Ertragstafel wird die Höhenentwicklung zur Einteilung des Wuchspotentials des Bodens verwendet. Beim Vergleich des Wachstums bis 1960 und nach 1960 wird hingegen versucht, anhand der vorhandenen Standortsansprachen eine Klassifizierung durchzuführen. Die Einordnung kann nur grob nach dem in Bayern üblichen Standortklassifizierungssystem erfolgen, beinhaltet also mit Sicherheit Ungenauigkeiten.

Eine nähere Analyse der Zuwachsveränderungen zeigt deutlichere Reaktionen der Kiefernbestände, die auf armen Standorten stocken. Der Vergleich mit den Erwartungswerten der WIEDEMANN-Ertragstafel (1943, mäßige Durchforstung) legt mit abnehmender Bonität signifikant höhere Abweichungen des Volumenzuwachses offen. Bei der II. Ertragsklasse betragen sie im Alter von 120 Jahren 112 %, während sie bei der V. Ertragsklasse bis zu 212 % erreichen können. Die gleiche Tendenz zeigt der Zeitraumvergleich bis und nach 1960. Die ärmeren Standorte haben im Vergleich zum Zeitraum vor 1960 einen Mehrzuwachs von ca. 2.5 VfmD/ha/a, die mittleren Standorte erreichen jedoch nur ca. 1.5 VfmD/ha/a. Das Niveau der Zuwachsleistung bleibt weiterhin unterschiedlich, jedoch nähern sich die möglichen Zuwächse aneinander an. Die Einzelbaumanalysen bestätigen diese Ergebnisse. Durch die Wahl von Probebäumen aus zwei unterschiedlichen Wuchsbezirken können die Reaktionen der Kiefern untersucht werden. Der Zuwachs der Kiefern auf einem wechselfeuchten und nährstoffreichen Schichtlehm liegt auf sehr hohem Niveau, während die Kiefern auf dem nachweislich stark streunutzten nährstoffarmen Lehm ein wesentlich niedrigeres Niveau haben. Hier nehmen die Zuwachswerte mit dem Alter zu, was auf eine Erholung der Böden von der Streunutzung hinweist (REHFUESS, 1990, HÜSER und REHFUESS, 1988). Nach 1960 zeigen sich jedoch stark positive Ausschläge, die den Zuwachs weit oberhalb der Werte der I. Ertragsklasse heben. Die Bayreuther Kiefern zeigen zwar auch eine erneute Steigerung der Zuwachswerte, die aber bei weitem nicht so hoch liegt.

Diese Ergebnisse unterstreichen die Grundtendenz: Je ungünstiger sich der Standort darstellt, um so größer ist die Wachstumssteigerung ausgeprägt. Auch die Untersuchung der Probebäume erbringt auf armen Standorten langfristig steigende Schlankheitsgrade, während der besser mit Nährstoffen und Wasser versehene Boden mit geringer Wachstumssteigerung keine augenfälligen Veränderungen zeigt. Dieser Unterschied ist um so deutlicher, je jünger die Bestände sind. Die verbesserten Wuchsbedingungen führen vor allen Dingen auf den armen Standorten zu einer Destabilisierung der Einzelbäume und der Bestände.

### 11.3.4 Zuwachsverhältnisse am Schaft

Eine weitere Auffälligkeit bei der Analyse ist eine Verlagerung des Zuwachses in obere Schaftbereiche, die insbesondere im Zeitraum von 1956 bis 1960 auftritt. Dieses Ergebnis entspricht den Beobachtungen von PRETZSCH (1985) bei der Kiefer und RÖHLE (1987) bei der Fichte. Insbesondere geschädigte, aber auch ungeschädigte Bäume zeigen einen ausgeprägten Anstieg der Relativzuwächse im Kronenbereich. Die mit der Verlagerung des Zuwachses einhergehenden Formveränderungen scheinen zunächst erfreulich, da die Bäume vollholziger werden und damit einen höheren Volumenertrag bringen. Diese Formveränderung führt jedoch auch zu einer weiteren Destabilisierung des Baumes. Auch der Vergleich mit den Formzahlen von FRANZ (1971) zeigt, dass insbesondere auf dem ärmeren Standorten höhere Formzahlen auftreten, was tendenziell zu einer Unterschätzung des Vorrats führt. Aufgrund der geringen Anzahl an untersuchten Bäumen muss dieses Ergebnis jedoch mit Vorsicht interpretiert werden.

### 11.3.5 Erklärungsansätze

Eine Vielzahl von Untersuchungen kommen zu dem Befund, dass die Zuwachsveränderungen unserer Waldbestände Auswirkungen großregionaler Standortveränderung sind (KENK et al., 1991; RÖHLE, 1995; SPIECKER et al. 1996; PRETZSCH, 1999). Die hier in allen Regionen mit unterschiedlichen Methoden aufgefundenen Trends bestätigen ein großräumig verändertes Wuchsverhalten der bayerischen Kiefernbestände. Die Vielzahl der veränderten Umweltbedingungen wie beispielsweise der Anstieg des CO<sub>2</sub>-Gehaltes in der Atmosphäre, veränderte Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse und erhöhte Stickstoffeinträge aus der Luft erschweren die Erfassung eines ausschlaggebenden Faktors. Der erhöhte atmogene Stickstoffeintrag sowie die natürliche Regeneration der Böden von Streunutzung gilt jedoch mit als Hauptverursacher für die auftretenden Wuchssteigerungen (HÜSER und REHFUESS, 1988; PRETZSCH und UTSCHIG, 2000).

Intensive Forschungen aus dem Institut für Forstwissenschaften Eberswalde (BERGMANN und FLÖHR, 1989; HOFMANN et al., 1990; ANDERS, 1996; BECK und ANDERS, 2000) finden einen Einfluss von ansteigenden Stickstoffeinträgen in die Wälder auf das Wuchsverhalten von Kiefernbeständen. In Gebieten mit lang andauernden, aber mäßigen Stickstoffeinträgen aus der Luft wird ein verstärktes Wachstum der Kiefer festgestellt, welches aber nach Überschreitung eines bestimmten N-Gehaltes in den Nadeln aufgrund von Nährstoffinbalancen wieder absinkt. An den bayerischen Waldklimastationen (LWF, 2000) werden Stickstoffdepositionen zwischen 7 und 24 kg/ha/a gemessen, in Kiefernbeständen liegen sie zwischen 8 und 14 kg/ha/a. Hinzugerechnet werden muss zusätzlich das durch natürliche Regeneration erhöhte Stickstoffangebot in den Beständen, das zwischen 10-13 kg/ha/a



(REHFUESS und SCHMIDT, 1971) beträgt. Das auf den meisten Versuchsflächen auftretende gesteigerte Wachstum entspricht demnach der von HOFMANN et al. (1990) definierten Anreicherungsphase.

Auch im bayerischen Raum bestätigen eine Vielzahl von Untersuchungen über die Auswirkungen von Düngungen eine enge Beziehung zwischen der Stickstoffdüngung, dem Stickstoffgehalt der Nadeln und dem Zuwachs der Bestände (KREUTZER, 1967,1972; KREUTZER und SCHMIDT, 1975, PREUHSLER und REHFUESS, 1982; WEHRMANN, 1959). Auf bisher ungedüngten Flächen führt die Erholung der Böden von der Streunutzung ebenfalls zu einer Verbesserung der N-Versorgung (KREUTZER, 1972), die durch die Stickstoffeinträge aus der Luft, welche die Größenordnung einer praxisüblichen Düngung erreicht, beschleunigt wird (PREUHSLER und REHFUESS, 1982; REHFUESS, 1990). Neueste Untersuchungen von HEITZ (2001) bestätigen auf ungedüngten Parzellen ebenfalls erhöhte Werte an Stickstoff in den Nadeln und Beziehungen zwischen dem Volumenzuwachs und der Stickstoffversorgung der Bestände. Eine Stickstoffzufuhr von 120 kg/ha über drei Jahre auf einem armen, mit Kiefer bestocktem, Standort führt zu einer Erhöhung des Volumenzuwachses um 2 bis 3.5 VfmD/ha/a, die der in dieser Arbeit festgestellten durchschnittlichen Wuchssteigerung entspricht (HIPPELI, 1967).

Dieser generell erkennbare Trend muss jedoch nach dem jeweiligen Standort differenziert betrachtet werden. Die deutlichen Unterschiede der Zuwachssteigerungen auf den verschiedenen Standorten werden wiederum von Ergebnissen aus Düngungsversuchen bestätigt. KENNEL (1967) findet beispielsweise nach Stickstoffdüngung einen Anstieg des Massenzuwachses bei einer I. Bonität um 20 %, bei einer III.5 Bonität lag er jedoch bei 80 %.

Jedoch bestimmt nicht nur der Stickstoff das Wuchsverhalten unserer Kiefernbestände. Bei Betrachtung der Entwicklung einzelner Versuchspartellen ergeben sich negative Trends, die HEITZ (2001) auf Wasserstress zurückführt. In einer Arbeit von FRANZ und PRETZSCH (1988) wird aufgezeigt, dass auch in der Nähe von Schadstoffemittenten negative Wuchsreaktionen hervorgerufen werden können.

Die veränderten Wuchsbedingungen spiegeln sich auch im Zuwachsverhalten in den oberen Schaftbereichen wieder. Die in jüngeren Beständen von ASSMANN (1961) beschriebene Zuwachsverlagerung in obere Kronenbereiche zur Sprossverstärkung in jüngeren Beständen kann sich durch das veränderte Wuchsverhalten in höhere Alter verschoben haben. Der erneut angeregte Höhenzuwachs, wie beispielsweise auf der Waldsassener Versuchsfläche, erfordert eine Stabilisierung der Schaftes. Forschungsergebnisse aus dem Institut für Forstwissenschaften Eberswalde (LOCKOW, 1985; BERGMANN und FLÖHRL, 1989; BERGMANN, 1990) zeigen, dass eine erhöhte Stickstoffzufuhr sich zuerst in einer

Verbesserung des Nadelwachstums ausdrückt. Die Trockengewichte von 100 Nadelpaaren erhöhen sich um das Fünffache. Infolge des höheren Gewichtes entsteht eine größere Belastung der Zweige. Bei längerer Stickstoffeinwirkung balanciert der Baum dies durch verstärkte Bildung von stärkerem Kronenholz aus. Die sich neubildende, schwergewichtige Krone zwingt den Stamm, die statischen Verhältnisse zu verändern und den Zuwachs vorwiegend unterhalb der Krone anzulegen. Erfolgt die Stickstoffzufuhr zu schnell bzw. hat der Baum keine Zeit sich an die veränderten Gegebenheiten anzupassen, führt dies zu einer erhöhten Gefährdung durch Schnee, Sturm und Eisanhang, was sich in der Praxis durch einen größeren Anfall an Bruchholz, v.a. Zweigabbrüchen mitteilt. Die ernährungskundlichen Untersuchungen auf den bayerischen Versuchsflächen (PRIETZEL et al., 1997) finden ebenfalls erhöhte Nadelgewichte an den Kiefern, was die oben genannten Ergebnisse stützt.

## **11.4 Wuchspotential unter veränderten Klimabedingungen**

Trotz der großen Unsicherheiten bezüglich der Klimaprognosen (IPCC, 1995) wird versucht, einen Ausblick über die Wuchsentwicklung der Kiefer bei zwei möglichen Klimaszenarien zu geben. Das hier angewendete Verfahren wurde von DURSKY (2000) sowie von PRETZSCH und UTSCHIG (2000) zur Berechnung von Klimaszenarien bei der Fichte verwendet. Mit den Ergebnissen dieser Arbeit ist nun ein Vergleich der Reaktionsweisen beider Baumarten möglich. Bei gleichbleibenden Niederschlagsverhältnissen und ansteigenden Temperaturen (Szenariorechnung 1) zeichnen sich in allen untersuchten Regionen positive Auswirkungen auf das Höhenwachstum und den durchschnittlichen Gesamtzuwachs ab. Sie sind jedoch nur gering, so dass von gleichbleibenden Wuchsentwicklungen gesprochen werden kann. Reduziert sich jedoch zusätzlich der Niederschlag während der Vegetationszeit (Szenariorechnung 2), reagiert die Kiefer mit Minderleistungen sowohl bei der Höhenentwicklung als auch beim durchschnittlichen Gesamtzuwachs. Augenfällig wird dies vor allem im Waldsassener Schiefergebiet/Wiesauer Senke und im Oberpfälzer Becken- und Hügelland, deren Klima schon heute von niederschlagsarmen Sommern geprägt ist (ARBEITSKREIS STANDORTSKARTIERUNG, 1985) und im Itz-Baunach-Hügelland und Obermainhügelland, wo die Kiefer auf nur mäßig frischen und gering mit Nährstoffen versorgten Standorten steht.

Vergleichbare Szenariorechnungen mit der Fichte zeigen wesentlich stärkere negative Abweichungen bei Einsteuerung des zweiten Klimaszenarios (PRETZSCH et al., 2000, DURSKY, 2000). In Gebieten, in denen sich die Fichte bereits am Rand ihrer ökologischen Amplitude befindet, ist ein Wachstum überhaupt nicht mehr möglich. In einigen Regionen Bayerns werden bei einem Klimaszenario, das hier der Szenariorechnung 1 entspricht, negative Abweichungen bis zu 45 % erreicht, also wesentlich höhere Wachstumseinbußen, als sie bei der Kiefer zu erwarten wären. Diese Ergebnisse sind an für sich nicht erstaunlich, da schon das

große Verbreitungsgebiet bzw. die weite ökologische Amplitude der Kiefer (siehe Kap. 2.2.2) auf eine hohe Toleranz gegenüber Klimaextremen hinweist. Nach BLACEK (1996) deckt die Kiefer die gesamte Breite der möglichen Klimaszenarien für den mitteleuropäischen Raum ab. In Bayern wird der Kiefer unter den Bedingungen, wie sie sich heute darstellen, nicht mehr viel Platz eingeräumt (BAYSTMELF, 1995). So soll der Kieferteil von gegenwärtig 18 % im bayerischen Staatswald auf 9 % abgesenkt werden. Unter der Annahme eines veränderten Klimas, wie es hier unterstellt wird, sollte der Anbau der Kiefer jedoch nicht aus den Augen verloren werden.

## 11.5 Auswirkungen auf die forstwirtschaftliche Praxis

Das deutlich bessere Wuchspotential der Kiefer hat tiefreichende Auswirkungen auf die forstwirtschaftliche Praxis. Die Annahme, dass die Kiefer nicht in der Lage ist, höhere Massenleistungen zu erbringen, ist unter den heutigen Bedingungen nicht mehr gerechtfertigt. Das im Vergleich zur Vergangenheit höhere Wuchspotential führt dazu, dass auf gegebenen Standorten eine höhere Stammzahlhaltung möglich und damit eine wesentlich höhere Ausbeute an Volumenerträgen zu erwarten ist (ASSMANN, 1961).

Junge Bestände wachsen in einem kürzeren Zeitraum in stärkere, besser bezahlte Dimensionen, was gerade bei einer wirtschaftlich schwierigen Baumart wie der Kiefer von großer Bedeutung ist, weil sie gerade im Schwachholzbereich nur geringe Erlöse erbringt. Vor allem der oft defizitäre Industrieholzanfall bei den ersten Durchforstungen wird dadurch zugunsten schwacher Stammholzsortimente bzw. Standardlängen reduziert. In vergleichbaren Zeiträumen wird der festgelegte Zieldurchmesser von mindestens L2a (L2b, BAYSTMELF, 1995) übertroffen oder zu einem früheren Zeitpunkt erreicht.

Eine frühzeitige Verjüngung der älteren Bestände nutzt das Leistungspotential nicht voll aus. Vielmehr sollte unter den momentan herrschenden Bedingungen insbesondere auf den ärmeren Standorten ein Vorratsaufbau betrieben werden. Dieser Mehrzuwachs kann an qualitativ guten Stämmen verstärkt genutzt werden. Dies gilt auch für den Überhalt von Kiefern.

Die Kiefer ist eine stark qualitätsdifferenzierte Baumart, von der insbesondere Astreinheit und Geradschaftigkeit verlangt wird. Das festgestellte verstärkte Wachstum kann jedoch zu höheren Aststärken führen, dem allerdings durch eine gezielte Astung entgegengewirkt werden kann. Durch die Möglichkeit, höhere Zieldurchmesser zu erreichen, sollten auch stärkere Kiefern noch geastet werden. Sowohl die Aststärken als auch die Geradschaftigkeit hängt in starkem Maße von der Provenienz ab, was über die Wahl geeigneter Herkünfte gesteuert werden kann.

Die Verlagerung des Zuwachses in höhere Stammbereiche führt zur größerer Vollholzigkeit. Dadurch steigt der Stammholzanteil der Kiefer bei sinkendem Industrieholzanteil. Auch die



Steigerung des Höhenwachstums zeigt die gleichen Auswirkungen, was wiederum die Wirtschaftlichkeit von Kiefernbeständen verbessert. Die Erhöhung der Schlankheitsgrade durch den verstärkten Höhenzuwachs hat den Effekt einer Destabilisierung der Bestände, dem durch geeignete Durchforstungsmaßnahmen vor allem in jungen Beständen entgegengewirkt werden sollte.

Der wichtigste Aspekt ist vor allem die Anpassungsfähigkeit der Kiefer an veränderte Umweltbedingungen. Im Gegensatz zu anderen heimischen Baumarten ist sie auch bei zunehmenden Temperaturen und niedrigeren Niederschlägen während der Vegetationszeit in der Lage, zu überleben und weiterhin befriedigende Massenleistungen zu erbringen. Ihre Beteiligung am Aufbau der bayerischen Wälder darf insbesondere unter dem Aspekt künftig zu erwartender Klimaveränderungen nicht vernachlässigt werden. Dies gilt insbesondere für Gebiete, die durch Wassermangel oder ein geringes Nährstoffangebot geprägt sind. Die Ergebnisse der Untersuchungen an der Fichte (PRETZSCH und UTSCHIG, 2000) zeigen, dass gerade dort ein Fichtenwachstum bei einer nur geringen Zunahme der Temperatur nicht mehr möglich ist.

## 11.6 Zusammenfassende Überprüfung der Hypothesen

### Regionale Unterschiede im Wachstum der Kiefer sind vorhanden und beschreibbar.

Bedingt durch unterschiedliche standörtliche Einflussfaktoren und Durchforstungseingriffe zeigt sich in jeder Region ein differenziertes Bild des Kiefernwachstums. So liegen im Keuperhügelland bei einer durchschnittlichen Ertragsklasse von II.0 und einem Alter von 85 Jahren die Grundflächen- und Vorratswerte bei 30 qm/ha bzw. 290 VfmD/ha. Im Oberpfälzer Becken- und Hügelland werden trotz eines höheren Durchschnittsalters, bei einer durchschnittlichen Ertragsklasse von II.7, Grundflächen- und Vorratswerte von 26 qm/ha bzw. 250 VfmD/ha erreicht. Generell sind maximale Werte von 50 qm/ha und 700 VfmD/ha in Beständen im Alter von 140 Jahren möglich.

Das unterschiedliche Standortfaktoren differierende Wachstumsgänge nach sich ziehen, ist eine allgemeingültige Tatsache, die zur Entwicklung von Standortertragstafeln führte (z.B. SCHMIDT, 1971). Auch die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, wie notwendig eine differenzierte Betrachtung des Wachstumsganges ist, um eine realistische Einschätzung des Wachstums treffen zu können. Auch die unterschiedlichen Durchforstungsvarianten fanden ihren Niederschlag in unterschiedlichen Ertragstafelmodellen. Hier zeigt sich jedoch, dass die von WIEDEMANN (1943) unterstellten Durchforstungsmodelle nicht die in Bayern gebräuchliche Behandlungsweise wiedergibt.

Die in den letzten Jahrzehnten verstärkt großräumig einwirkenden Umwelteinflüsse verursachen quantifizierbare Veränderungen im Wachstumsgang und Leistungspotential der Kiefer.

In allen Regionen finden sich veränderte Entwicklungstendenzen, die als eindeutige Indizien für großräumig einwirkende Umwelteinflüsse gewertet werden können. Sie äußern sich bei Betrachtung der Mittelhöhen durch eine verbesserte Bonität junger Bestände. Die Differenz kann bis zu 2.7 Ertragsklassen betragen. Die Entwicklung des Höhenwachstums folgt insbesondere seit den sechziger Jahren nicht mehr den Erwartungswerten der Ertragstafel, sondern durchläuft mit zunehmendem Alter den Ertragstafelfächer.

Die Untersuchungen des Volumenzuwachses bestätigen dieses Ergebnis. In jeder Region finden sich des Zuwachsveränderungen, die in erster Linie positiv sind. Die Abweichungen von der WIEDEMANN-Ertragstafel können dabei bis zu 200 % betragen. In den letzten 40 Jahren liegt die Wuchsleistung um bis zu 2.5 VfmD/ha/a höher als in vorherigen Jahrzehnten, was bei älteren Beständen zu Zuwachswerten zwischen 7 und 8 VfmD/ha/a führt. Diese vergleichsweise hohen Werte zeigen sowohl die Bestandeskennwerte der Langfristigen Versuchsflächen als auch die Auswertungen der Daten aus der permanenten Stichprobeninventur. Diese Zuwachssteigerungen wurden auch von anderen Autoren in bayerischen Kieferbeständen gefunden (z.B. SCHMIDT, 1969, 1971; PRETZSCH (1985); FRANZ und PRETZSCH 1988). Auch die Ergebnisse dem Institut für Forstwissenschaften in Eberswalde zeigen bei der Kiefer bis zu einem gewissen Grad Wachstumssteigerungen (z.B. BERGMANN und FLÖHRL, 1989; BECK und ANDERS, 2000).

Unter heutigen Bedingungen lässt das mögliche Wuchspotential der Kiefer also wesentlich mehr erwarten, als sie in der Vergangenheit zu leisten vermochte. Die prognostizierten Höhen und durchschnittlichen Gesamtzuwächse im Alter 140 mit 31-38 m bzw. 6-9 VfmD/ha/a liegen deutlich über den heute erreichten Werten.

Art und Ausmaß der Reaktionsmuster unterscheiden sich in Abhängigkeit von den herrschenden Standortsbedingungen

Je nach Ausgangsbedingung unterscheiden sich die festgestellten Wachstumstrends jedoch voneinander. Es finden sich in den in den Regionen in meisten Fällen zwar einen Wachstumsanstieg, aber je nach Ausgangsniveau differiert das Ausmaß der Wachstumsänderung. Diese gefundenen Ergebnisse lassen sich anhand der unterschiedlichen standörtlichen Faktoren erklären. Insbesondere der Wasserhaushalt und die Nährstoffversorgung und in geringerem Maße der Niederschlag und die Temperatur während der Vegetationszeit haben Einfluss auf das Wuchsverhalten der Kiefer. Je ungünstiger sich ein Standort darstellt, das heißt, je stärker das Wachstum der Kiefer durch Mangel geprägt ist, desto niedriger liegen die gefundenen Wachstumsgrößen und um so stärker ist die Reaktion der Kiefer

auf veränderte Wuchsbedingungen. Auf ungünstigen Standorten können Mehrleistungen von 2.5 VfmD/ha/a erreicht werden, während auf einem mittleren Standort nur eine Steigerung von ca. 1.5 VfmD/ha/a erbracht wird. In einem Gebiet mit einem hohen Anteil an nährstoffarmen Sanden, die in der Vergangenheit stark streugenutzt wurden, wie beispielsweise dem Oberpfälzer Becken- und Hügelland, liegen die Ertragsklassen junger Bestände um 2.7 Stufen höher als in älteren Beständen, während im Alvorland mit einem höheren Anteil an nährstoffreicheren Tonlehmen die Ertragsklassen nur um ca. 1 Stufe steigen.

Entsprechende Ergebnisse aus den Düngungsversuchen zeigen (z.B. KENNEL, 1967), dass Bäume insbesondere bei verbesserter Stickstoffzufuhr umso stärker mit einem Zuwachsanstieg reagieren, je mehr sich dieser Faktor im Minimum befindet.

Da das Wachstum jedoch nicht nur von einem Faktor gesteuert wird, ist es durchaus möglich, dass neben positiven auch negative Trends, also ein Absinken des Zuwachses gefunden werden kann. So konnte auf einzelnen Versuchsflächen ein deutlich abnehmender Trend festgestellt werden, den HEITZ (2001) auf Wasserstress zurückführt. Hier kann das, durch eine erhöhte Stickstoffzufuhr hervorgerufene verbesserte Wuchspotential nicht ausgenutzt werden, da nun ein anderer Faktor das Wachstum begrenzt.

#### Klimaveränderungen lösen definierte Wachstumsreaktionen aus

Durch die auch in Zukunft weiterhin zu erwartenden klimatischen Veränderungen muss mit weiteren Reaktionen im Wachstum der Kiefer gerechnet werden. Bei einem Anstieg der Temperatur während der Vegetationszeit sind kaum Abweichungen im Wuchsverhalten zu erwarten. Ein Rückgang der Niederschläge während der Vegetationszeit bringt allerdings Wachstumseinbußen mit sich, die um so größer werden, je angespannter sich die Niederschlagslage heute schon darstellt. Das momentan ansteigende Zuwachsniveau kann in Zukunft bei veränderten Klimabedingungen also durchaus wieder umschlagen, nämlich dann, wenn ein anderer Standortfaktor, wie hier das Wasser, ins Minimum gerät und die durch eine verbesserte Ernährungssituation verursachten Wachstumssteigerungen kompensiert. War in der Vergangenheit der Stickstoff limitierender Faktor, kann in Zukunft mangelnde Wasserversorgung für ein begrenztes Wachstum der Kiefer sorgen.

Die Wachstumseinbußen liegen jedoch bei weitem nicht so hoch wie beispielsweise bei der Fichte. Durch die weite ökologische Amplitude der Kiefer (ELLENBERG, 1996; BLACEK, 1996), die auch bei klimatischen Extremwerten dauerhaft überleben kann, sind die Reaktionen jedoch nicht so ausgeprägt.

## 12 Literaturverzeichnis

### Verwendete Abkürzungen

BAYSTMELF: Bayerische Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten

LWF: Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft

ANDERS, S. (Hrsg.), 1996: Waldökosystemforschung Eberswalde - Struktur, Dynamik und Stabilität von Kiefern- und Buchenwaldökosystemen unter Normal- und multiplen Störfbedingungen unterschiedlicher Ausprägung im nordostdeutschen Tiefland. Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Nr. 182, 109 S.

ARBEITSKREIS STANDORTSKARTIERUNG, 1985: Forstliche Wuchsgebiete und Wuchsbezirke in der Bundesrepublik Deutschland. Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup, 170 S.

ARBEITSKREIS STANDORTSKARTIERUNG, 1996: Forstliche Standortsaufnahme. IHW-Verlag, Eching bei München, 5. Aufl., 352 S.

ASSMANN, E., 1961: Waldertragskunde. Organische Produktion, Struktur, Zuwachs und Ertrag von Waldbeständen. BLV Verlagsgesellschaft München Bonn Wien, 490 S.

BACKHAUS, K., ERICHSON, B., PLINK E, W. und WEIBER, R., 1996: Multivariate Analysemethoden. Eine anwendungsorientierte Einführung. Springer Verlag, 8. Auflage, 591 S.

BAYSTMELF, 1981: Der Wald in Bayern.

BAYSTMELF, 1982: Richtlinien für die mittel- und langfristige Forstbetriebsplanung in der Bayerischen Staatsforstverwaltung (Forsteinrichtungsrichtlinien)

BAYSTMELF, 1995: Pflegegrundsätze für die Kiefer. LMS v. 06.02.1995, F 4- W 100-92, 17 S.

BAYSTMELF, 1997: Datenbankbeschreibung und Tabellenabfragen.

BECK, W. und ANDERS, S., 2000: Wachstumsabläufe in Kiefernbeständen des nordostdeutschen Tieflandes unter dem Einfluss differenzierter Fremdstoffeinträge. Beiträge Forstwirtschaft und Landschaftsökologie, 34. Jg., S. 158-164.

BERGMANN, J.-H., 1990: Der Einfluß des Sandrohres (*Calamagrostis epigejos*) auf das Wachstum der Kiefern unter den Bedingungen starker Stickstoffimmissionen. Beiträge für die Forstwirtschaft, 24. Jg., S. 12-15

BERGMANN, J.-H. und FLÖHR, W., 1989: Die Eutrophierung unserer Wälder durch Stickstoff und ihre Konsequenzen für die Kiefernwirtschaft. Sozialistische Forstwirtschaft, Berlin, 39. Jg., S. 373-376.

BIBER, P., 1999: Wuchsverhalten von Fichte, Tanne und Buche in unterschiedlichen Höhenlagen der Alpen bei Veränderung der Klimabedingungen. Abschlussbericht zum Bayerischen Klimaforschungsprogramm (BayFORKLIM), Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Universität München, Forstwissenschaftliche Fakultät, 47 S.

- BLACEK, R., 1996: Aktueller Wissensstand über eine mögliche Klimaveränderung. LWF aktuell, Bd. 7, S. 2-4.
- BLACEK, R. und GULDER, H.J., 1996: Klimaveränderung und Waldwachstum. LWF aktuell, Bd. 7, S. 12-16
- BLACEK, R., GULDER, H.J. und PRÖBSTLE, P., 1996: Betrachtungen zur klimatischen Belastbarkeit von Fichte, Kiefer, Buche und Eiche. LWF aktuell, Bd. 7, S. 6-11.
- BORTZ, J., 1993: Statistik für Sozialwissenschaftler. Springer Verlag, 4. Auflage, 753 S.
- BROCKMANN, W.G., ECKSTEIN, D. und ANIOL, R.W., 1987: Dendroklimatische Untersuchungen zur Bedeutung des Produktionsfaktors Wasser für das Baumwachstum. Forstw. Cbl., 106. Jg., S. 340-354.
- BROSIUS, G., 1995: SPSS - Base System and Professional Statistics. International Thompson Publishing, Bonn, 1002 S.
- BROUWER, F. und FALKENBERG, M., 1989, in: THOMASIU, 1991: Mögliche Auswirkungen einer Klimaveränderung auf die Wälder in Mitteleuropa. Forstw. Cbl., 110. Jg., S. 305-330.
- BRUENIG, E.F., 1990: Forstwirtschaft und Klimaänderung. Allgemeine Forstzeitschrift, 45. Jg., S. 258-261.
- CHARNEY, J. 1979, in: THOMASIU, 1991: Mögliche Auswirkungen einer Klimaveränderung auf die Wälder in Mitteleuropa. Forstw. Cbl., 110. Jg., S. 305-330.
- DURSKY, J., 1997: Modellierung der Absterbeprozesse in Rein- und Mischbeständen aus Fichte und Buche. Allg. Forst- u. J.- Ztg., H. 6/7, S. 130-134.
- DURSKY, J., 1998: Optimierung und Fortschreibung der Naturalproduktion von Waldbeständen für einen Forstbetrieb auf der Basis von Inventurdaten. Tagungsbericht des DVFFA -Sektion Ertragskunde, 25.-27. Mai 1998, Kevelaer, S. 52-67.
- DURSKY, J., 1999: Zur Verwendung von Rasterstichproben für die Fortschreibung, Nutzungsplanung und Behandlungsverbesserung in einem Forstbetrieb. Forstw. Cbl., 118. Jg., S. 314-325.
- DURSKY, J., 2000: Einsatz von Waldwachstumssimulatoren für Bestand, Betrieb und Großregion. Habilitationsschrift an der TU München, 223 S.
- ELLENBERG, H., 1996: Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht. Verlag Eugen Ulmer, 5. Aufl., 1095 S.
- ELLING, W., 1993: Immissionen im Ursachenkomplex von Tannenschädigung und Tannensterben. Allgemeine Forstzeitschrift, 48. Jg., H.2, S.87-95.
- ENQUETE-KOMMISSION, 1991: Schutz der Erde. Economica Verlag, Bonn, 686 S.
- ERLBECK, R., HASEDER, I.E. und STINGLWAGNER, G.K.F., 1998: Das Kosmos Wald- und Forstlexikon. Kosmos-Verlag, 880 S.
- ERTELD, W., 1954: Ertragskundliche Merkmale einiger norddeutscher Kiefernwaldgebiete. Arch. f. Forstwesen, 3, S. 432-440.
- ERTELD, W., 1960: Untersuchungen über Leistung und Entwicklung der Kiefer bei verschiedener Behandlung. Archiv für Forstwesen, Band 9, S. 326-364.

- FABIAN, P., 1991: Klima und Wald-Perspektiven für die Zukunft. Forstw. Cbl., 110. Jg., S. 286-304.
- FIEDLER, F. UND WENK, G., 1973: Einfluß der Temperatur und des Niederschlages auf den Holzzuwachs an Waldbäumen im jahreszeitlichen Ablauf. Soz. Forstwirtschaft, 23. Jg., S. 52-54.
- FOERST, K. und KREUTZER, K., 1978: Forstliche Wuchsgebietsgliederung Bayerns. Karte 1:1 000 000, BayStMinELF.
- FOERSTER, W. 1990: Zusammenfassende ertragskundliche Auswertung der Kiefern-Düngungsversuchsflächen in Bayern. Forstliche Forschungsberichte, Nr. 105, 328 S.
- FOERSTER, W. und BÖSWALD, K., 1995: Vorratsstruktur, Zuwachs und Bonität in den bayerischen Waldbeständen nach den Ergebnissen der Bundeswaldinventur 1986-1990 in Verbindung mit einer Abschätzung der gespeicherten Kohlenstoffvorräte und der Möglichkeit zu deren Erhöhung. Lehrstuhl für Waldwachstumskunde, Universität München, unveröff. Abschlussbericht, gem. LMS v. 02.12.1993, Nr. V2-FV 100 A-2470, 74 S.
- FRANZ, F., 1971: Funktionen und Tabellen der Derbholzformhöhen für die wichtigsten Baumarten in Bayern. München, Manuskript, unveröffentlicht.
- FRANZ, F., 1983: Zur Behandlung und Wuchsleistung der Kiefer. Forstw. Cbl., 102. Jg., S. 18-36.
- FRANZ, F. und PRETZSCH, H., 1988: Zuwachsverhalten und Gesundheitszustand der Waldbestände im Bereich des Braunkohlekraftwerkes Schwandorf. Forstliche Forschungsberichte, München, Band 92, 156 S.
- FUCHS, A., 1993: Wiederholungsaufnahme und Auswertung einer permanenten Betriebsinventur im Bayerischen Forstamt Ebrach. Forstliche Forschungsberichte, München, Nr. 131, 191 S.
- GEHRHARDT, E., 1921: Eine Kieferntragsstafel. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, 97. Jg., S. 145-156.
- GRASSL, H., 1987: Klimaänderung durch erhöhte Spurenstoffgehalte in der Atmosphäre. Forstw. Cbl., 106. Jg., S. 236-248.
- GRASSL, H., 1994: Ursachen und Wirkungen der anthropogenen Klimaänderung, in: VERBAND WEIHENSTEPHANER FORSTINGENIEURE (Hrsg): Waldökosysteme im globalen Klimawandel, Economica Verlag, 115 S.
- GULDER, H.-J., 2000: mündliche Mitteilung .
- HASEL, K., 1985: Forstgeschichte. Verlag Paul Parey, Hamburg Berlin, 258 S.
- HEITZ, R., 2001: in: HEITZ, R. und KÜSTERS, E.: Zuwachstrends von Kiefer und Fichte in Abhängigkeit von Ernährungszustand, Standort und Depositionsbelastung. Unveröffentlichter Abschlussbericht des Projektes W31, im Druck.
- HEITZ, R. und KÜSTERS, E.: Zuwachstrends von Kiefer und Fichte in Abhängigkeit von Ernährungszustand, Standort und Depositionsbelastung. Unveröffentlichter Abschlussbericht des Projektes W31, im Druck.



- HIPPELI, P., 1967: Der Einfluß wiederholter NPKCaMg-Düngung auf die Ernährung mittelalter Kiefernbestände auf verbreiteten grundwasserfernen Standorten des nordostdeutschen Tieflandes. *Archiv Forstwesen*, 16. Jg., S. 1073-1086.
- HOFMANN, G., HEINSDORF, D. und KRAUSS, H.H., 1990: Wirkung atmogener Stickstoffeinträge auf Produktivität und Stabilität von Kiefern- Forstökosystemen. *Beiträge für die Forstwirtschaft*, 24. Jg., H. 2, S. 59-73.
- HÜSER, R. und REHFUESS, K.-E., 1988: Stoffdeposition durch Niederschläge in ost- und südbayerischen Waldbeständen. *Forstliche Forschungsberichte*, München, Band 86, 153 S.
- IPPC, 1995: in: Stand der Wissenschaften zu globalen Klimaänderungen. Ergebnis der Sitzung IPPC-Plenums und der IPPC-Arbeitsgruppe I. *Umwelt Nr.2/96*.
- KAHN, M., 1994: Modellierung der Höhenentwicklung ausgewählter Baumarten in Abhängigkeit vom Standort. *Forstliche Forschungsberichte München*, Band 141, 204 S.
- KAHN, M., 1995: Die Fuzzy-Logik basierte Modellierung von Durchforstungseingriffen. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, 166. Jg., S. 169-176.
- KENK, G., 1984: Zum Problemkreis Walderkrankung und Wachstumsforschung. *Der Forst- und Holzwirt*, 39. Jg., S. 435-437.
- KENK, G., 1989: Zuwachsuntersuchungen im Zusammenhang mit den gegenwärtigen Waldschäden in Baden-Württemberg. In: *Proc. 14th Int. meeting for specialists in air pollution effects on forest ecosystems*. IUFRO P 2.05, Interlaken Switzerland, 2.-8.10.1988., Birmensdorf, S. 263-269.
- KENK, G. und FISCHER, H., 1988: Evidence from nitrogen fertilisation in the forests of Germany. *Environmental Pollution*, 54 Jg., S. 199-218.
- KENK, G., SPIECKER, H. und DIENER, G., 1991: Referenzdaten zum Waldwachstum. Projekt Europäisches Forschungszentrum für Maßnahmen zur Luftreinhaltung (PEF), Forschungsbericht KfK-PEF-82, 54 S.
- KENNEL, R., 1967: Ertragskundliche Ergebnisse neuer Düngungsversuche in Kiefern-, Fichten- und Buchenbeständen Bayerns. *Forstw. Cbl.*, 86 Jg., S. 13-28.
- KINDEL, K.-H., 1995: *Kiefern in Europa*. Gustav Fischer Verlag, 204 S.
- KRAMER, H. und AKCA, A., 1987: *Leitfaden für Dendrometrie und Bestandesinventur*. J.D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a. Main, 287 S.
- KREMER, W.O., 1985: Reaktionsmuster der Jahrringbreitenentwicklung kranker Tannen. *Jahrestagung des DVFFA-Sektion Ertragskunde*, Kälberbronn, S. 8/1-8/17.
- KREUTZER, 1967: Ernährungszustand und Volumenzuwachs von Kiefernbeständen neuer Düngungsversuche in Bayern. *Forstw. Cbl.*, 86, S. 28-53.
- KREUTZER, K., 1972: Über den Einfluss der Streunutzung auf den Stickstoffhaushalt von Kiefernbeständen (*Pinus sylvestris* L.). *Forstw. Cbl.*, 91, S. 263-270.
- KREUTZER, K., 1978: *Forstliche Wuchsgebietsgliederung in Bayern*.



- KREUTZER, K., 1993: Changes in the role of of nitrogen in Central European forests. In: R.F. Huettl, B. Müller-Dombois (eds.): Forest decline in the Atlantic and Pacific Region. Springer-Verlag, Berlin, S. 82-95.
- KREUTZER, K. und SCHMIDT, A., 1975: Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen der Mineralstoffernährung und der Wuchsleistung der Kiefer (*Pinus sylvestris* L.) auf der Grundlage neuer Standortsertragstafeln für die mittlere Oberpfalz. Forstw. Cbl., 94, S. 301-310.
- LAATSCH, W., 1963: Bodenfruchtbarkeit und Nadelholzanbau. BLV Verlagsgesellschaft München Bonn Wien, 75 S.
- LEHRSTUHL FÜR WALDWACHSTUMSKUNDE, 2000: Benutzerhandbuch zum Waldwachstumssimulator SILVA 2.2, 181 S.
- LEMBCKE, G., KNAPP, E. und DITTMAR, O., 1981: Die neue DDR-Kieferntragstafel 1975. Beiträge f. d. Forstwirtschaft, H. 2, S. 55-64.
- LINDNER, M. und LASCH, P., 1999: Klimawirkungsstudien in Wirtschaftswäldern mit FORSKA. Allgemeine Forstzeitschrift/Der Wald, H. 11, S. 565-566.
- LOCKOW, K.-W., 1985: Holzmeß- und ertragskundliche Untersuchungen in terrestrisch gedüngten Kiefernjungbeständen. Beiträge für die Forstwirtschaft, Berlin, S. 127-133
- LWF, 1994: Der Wald in Bayern. Ergebnisse der Bundeswaldinventur 1986-1990. Berichte aus der Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Nr. 1, 91 S.
- LWF, 2000: Waldzustandsbericht 2000.
- MAYER, H., 1984: Waldbau auf soziologisch-ökologischer Grundlage. Gustav-Fischer-Verlag, 3. Auflage, 513 S.
- MENZEL, A., 1997: Phänologie von Waldbäumen unter sich ändernden Klimabedingungen - Auswertung der Beobachtungen in den internationalen phänologischen Gärten und Möglichkeiten der Modellierung von Phänodaten. Forstliche Forschungsberichte, München, Nr. 164, 179 S.
- MESCHEDERU, M., 1999: Wachstumsfunktionen und ihre Anwendung in den Forstwissenschaften. Zusammenfassung des Vortrag vom 29.11.1999 im Seminar „Forstliches Versuchswesen“ des Lehrstuhles für Waldwachstumskunde der TU München, 18 S.
- MIELIKÄINEN, K. UND NJÖD, P., 1996: Growth Trends in the Finnish Forest-Results and methodological considerations. Conference of Effects of Environmental Factors on Tree and Stand Growth, Tagungsbericht, S. 164-174.
- 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. in: SPIECKER, H.; MIELIKÄINEN, K.; KÖHL, M. and SKOVSGAARD, J.P. (ed.): Growth Trends in European Forests. European Forest Institute Research Report No. 5, Springer-Verlag, S. 41-59.

- MITSCHERLICH, G., 1978: Wald, Wachstum und Umwelt. Bd. 1: Form und Wachstum von Baum und Bestand. Frankfurt a. Main, J. D. Sauerländer's Verlag.
- MUNRO, D., 1974: Forest Growth Models-A Prognosis, in: FRIES, J. (Ed.): Growth Models for Tree and Stand Simulation, Royal College of Forestry, S-104 05 Stockholm, Sweden, Research Notes, Nr. 30, S. 7-21
- 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. 698-702.
- NAGEL, J. und BIGING, G.S., 1995: Schätzung der Parameter der Weibullfunktion zur Generierung von Durchmesservertellungen. Allg. Forst- u. Jagdzeitung., H. 9-10, S. 185-189.
- OTTO, H.-J., 1994: Waldökologie. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 391 S.
- PAULSEN, J.C., 1795: in PRETZSCH, 1992: Konzeption und Konstruktion von Wuchsmodellen für Rein- und Mischbestände. Forstliche Forschungsberichte, München, Band 115, 332 S.
- POMMERENING, A., 1998: Fortschreibung von Stichprobendaten mit positionsabhängigen Wuchsmodellen. Tagungsbericht des DVFFA-Sektion Ertragskunde, 25.-27. Mai 1998, Kevelaer, S. 35-51.
- POTT, M., 1997: Wachstum der Fichte in Bayern - Auswertung von Daten der Forsteinrichtungsdatenbank der bayerischen Staatsforstverwaltung. Diplomarbeit der Forstwissenschaftlichen Fakultät, LMU München, MWW-DA 117, 95 S.
- PRETZSCH, H., 1985: Wachstumsmerkmale süddeutscher Kiefernbestände in den letzten 25 Jahren. Forstliche Forschungsberichte, München, Band 65, 173 S.
- PRETZSCH, H., 1989: Untersuchungen an kronengeschädigten Kiefern (*Pinus sylvestris* L.) in Nordost-Bayern. Teil 1, Krankheitsbild und Wuchsverhalten. Forstarchiv, 60. Jg., S. 62-69
- PRETZSCH, H., 1992: Konzeption und Konstruktion von Wuchsmodellen für Rein- und Mischbestände. Forstliche Forschungsberichte, München, Band 115, 332 S.
- PRETZSCH, H., 1993: Analyse und Reproduktion räumlicher Bestandesstrukturen. Versuche mit dem Strukturgenerator STRUGEN. Schriften aus der Forstl. Fakultät der Univ. Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt, Band 114, 87 S.
- PRETZSCH, H., 1995a: Perspektiven einer modellorientierten Waldwachstumsforschung. Forstw. Cbl., 114 Jg., S. 188-209.
- PRETZSCH, H., 1995b: Zum Einfluß des Baumverteilungsmusters auf den Bestandeszuwachs. Allg. Forst- und Jagdzeitung, 166. Jg., H. 9/10, S. 190-201.
- PRETZSCH, H., 1996: Growth trends in Forests in southern Germany. in: SPIECKER, H., MIELIKÄINEN, K., KÖHL, M., SKOVGAARD J.P., (Hrsg.): Growth trends in european forests, Springer Verlag, S. 107-131.

- PRETZSCH, H., 1997: Wachstumstrends in süddeutschen Wäldern. vdbiol- Forum: Zum aktuellen Stand der Waldschadensforschung, 30.09.1997, München.
- PRETZSCH, H., 1999: Waldwachstum im Wandel. Forstw. Cbl., 118. Jg., 228-250.
- PRETZSCH, H., 2001: Modellierung des Waldwachstums. Parey Verlag, 1. Auflage, ca. 336 S., im Druck.
- PRETZSCH, H. und KAHN, M., 1998: Konzeption und Konstruktion des Wuchsmodells SILVA 2.2. Abschlussbericht zum Projekt W 28, Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der LMU München.
- PRETZSCH, H. und UTSCHIG, H., 2000: Wachstumstrends der Fichte in Bayern. Mitteilungen aus der Bayerischen Staatsforstverwaltung, Heft 49, 170 S.
- PRETZSCH, H., DURSKY, J., POMMERENING, A. und FABRIKA, M., 2000: Waldwachstum unter dem Einfluss großregionaler Standortveränderungen. Forst und Holz, 55. Jg., S. 307-314.
- PRETZSCH, H., KAHN, M., und DURSKY, J., 1998: Stichprobendaten für die Entwicklungsprognose und die Nutzungsplanung. Allgemeine Forstzeitschrift/Der Wald, H. 25, S. 1552-1558.
- PREUHLER, T. und REHFUESS, K.E., 1982: Über die Melioration degradierter Kiefernstandorte (*Pinus sylv. L.*) in der Oberpfalz. Forstw. Cbl., 101, S. 388-407.
- PRIETZEL, J., KOLB, E. UND REHFUESS, K.E., 1997: Langzeituntersuchungen ehemals streugenutzter Kiefernökosysteme in der Oberpfalz: Veränderungen von bodenchemischen Eigenschaften und der Nährelementversorgung der Bestände. Forstw. Cbl., 116, S. 269-290.
- RAPP, J. und SCHÖNWIESE, C., 1995: Atlas der Niederschlags- und Temperaturtrends in Deutschland 1891-1990. Frankfurter Geowissenschaftliche Arbeiten, Serie B, Meteorologie und Geophysik, Band 5.
- REBEL, K., 1920: Streunutzung, insbesondere im bayerischen Staatswald. Verlag Jos. C. Huber, Diessen vor München, 172 S.
- REBEL, K., 1922: Waldbauliches aus Bayern. Verlag Jos. C. Huber, Diessen vor München, 228 S.
- REHFUESS, K.E., 1990: Waldböden. Entwicklung, Eigenschaften und Nutzung. Verlag Paul Parey, 1990, 294 S.
- 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. 237-259.
- REIMEIER, S., 2000: Erklärung und Prognose des Holzuwachses in Waldökosystemen als Grundlage für eine nachhaltige Waldentwicklung. Unveröffentlichter Abschlussbericht des Projektes E 35.
- RÖHLE, H., 1987: Entwicklung von Vitalität, Zuwachs und Biomassestruktur der Fichte in verschiedenen Bayerischen Untersuchungsgebieten unter dem Einfluß der neuartigen Walderkrankungen. Forstliche Forschungsberichte, München, Band 83, 122 S.

- RÖHLE, H., 1995: Zum Wachstum der Fichte auf Hochleistungsstandorten in Südbayern. Mitteilungen aus der Staatsforstverwaltung Bayerns, Heft 48, 272 S.
- RÖHLE, H., 1997: Änderung von Bonität und Ertragsniveau in südbayerischen Fichtenbeständen . Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 168 (6/7), S. 110-114).
- RÖHLE, H., PRETZSCH, H. und UTSCHIG, H., 1989: Waldwachstumskundliche Untersuchungen im Zusammenhang mit Waldschäden. Unveröffentlichter Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben W23. 46 S.
- SCHMIDT, A., 1971: Wachstum und Ertrag der Kiefer auf wirtschaftlich wichtigen Standortseinheiten der Oberpfalz. Forstliche Forschungsberichte, München, Bd. 1, 187 S.
- SCHÖPFER, W. und HRADEZKY, J., 1986: Zuwachsrückgang in erkrankten Fichten- und Tannenbeständen – Auswertungsmethoden und Ergebnisse. Forstw. Cbl., 105. Jg., S. 446-470.
- SCHÖPFER, W., HRADEZKY, J. und KUBLIN, E., 1994: Wachstumsänderungen der Fichte in Baden-Württemberg. Forst und Holz, 49. Jg., H.21, S. 633-644.
- SCHÜTT, P., SCHUCK, H.J. und STIMM, B. (Hrsg.), 1992: Lexikon der Forstbotanik. Ecomed Verlag, 1. Aufl., 581 S.
- SCHWAPPACH, A., 1889: Wachstum und Ertrag normaler Kiefernbestände in der norddeutschen Tiefebene. Julius Springer Verlag, Berlin, 72 S.
- SCHWAPPACH, A., 1908: Die Kiefer. Verlag J. Neumann, Neudamm, 180 S.
- SEKTION ERTRAGSKUNDE, 1993: DESER-Norm, 1993, Normen der Sektion Ertragskunde im Deutschen Verband Forstlicher Forschungsanstalten zur Aufbereitung von waldwachstumskundlichen Dauerversuchen.
- SPELSBERG, G., 1994: Zum Höhenwachstum der Fichte in Nordrhein-Westfalen. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, 165. Jg., S. 77-80
- SPIECKER, H., MIELIKÄINEN, K., KÖHL, M. und SKOVSGAARD, J.P., 1996: Growth Trends in European Forests. European Forest Institute Research Report No. 5, Springer Verlag, 372 S.
- STRATMANN, J., 1982: Die Bedeutung von Bestandesbehandlung und Umtriebszeit für die Massen-, Sorten- und Wertleistung der Kiefer. Allg. Forst- und Jagdzeitung, 153 Jg., S. 77-86.
- STRATMANN, J., 1983: Kiefernwirtschaft muss kein Verlustgeschäft sein! Allgemeine Forstzeitschrift, 37. Jg., S. 268-270.
- THOMASIUS, H., 1991: Mögliche Auswirkungen einer Klimaveränderung auf die Wälder in Mitteleuropa. Forstw. Cbl., 110. Jg., S. 305-330.
- ULRICH, B. und PUHE, J., 1993: Auswirkungen der zukünftigen Klimaveränderung auf mitteleuropäische Waldökosysteme und deren Rückkopplungen auf den Treibhauseffekt. Studienbericht für die Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ des Deutschen Bundestages.

- UTSCHIG, H., 1989: Waldwachstumskundliche Untersuchungen im Zusammenhang mit Waldschäden. Auswertung der Zuwachstrendanalyseflächen des Lehrstuhles für Waldwachstumskunde für die Fichte (*Picea abies* (L.) Karst.). Forstliche Forschungsberichte, München, Band 97, 198 S.
- UTSCHIG, H., 1993: Vorläufige Auswertungsergebnisse des Kiefern-Verbandversuches Weiden 611. Exkursionsführer MWW-EF 81, Lehrstuhl für Waldwachstumskunde, Forstwissenschaftliche Fakultät der LMU München, 19 S.
- WEHRMANN, J., 1959: Die Mineralstoffernährung von Kiefernbeständen (*Pinus sylvestris*) in Bayern. Forstw. Cbl., 78. Jg., S.129-150.
- WEISE, U., 1991: Ertragsniveau und Zuwachsgang der Weißtanne. Allgemeine Forstzeitschrift, 46. Jg., H.4, S. 192-195.
- WEISE, W., 1880: Ertragstafeln für die Kiefer. Springer Verlag, Berlin.
- WENK, G., ANTANAITIS, V. und SMELKO, S., 1990: Waldertragslehre. Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin, 448 S.
- WIEDEMANN, E., 1943: in: SCHOBER, R., 1987: Ertragstafeln wichtiger Baumarten. J.D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a. Main, 3. neubearbeitete und erweiterte Auflage, 166 S.
- WIEDEMANN, E., 1948: Die Kiefer. Verlag M. und H. Schaper, Hannover, 337 S.
- ZEIDE, B., 1993: Analysis of Growth Equations. Forest Science, Vol. 39, Nr. 3, S. 594-616.
- ZIMMERLE, H., 1933: Beiträge zur Biologie der Kiefer in Württemberg. Mitteilungen der Württbg. Forstl. Versuchsanst., Bd. 3, Heft 1.

## 13 Verzeichnis der Tabellen und Abbildungen

### 13.1 Verzeichnis der Tabellen

- Tab. 3.1-1: Übersicht über die Verteilung des Datenmaterials auf die Wuchsbezirke Bayerns mit der Anzahl der Inventurpunkte (Inv.pkt) aus der jüngsten Forsteinrichtungsperiode und der Wiederholungsinventur (Wdh.-Inventur), der Anzahl der Parzellen aus dem Ertragskundlichen Versuchswesen (Langfr. Vfl.) und der Zahl der untersuchten Einzelbäume.
- Tab. 3.2-1: Allgemeine Klimaangaben der untersuchten Regionen, mit Höhenlage der Inventurbestände (INV) und Versuchsflächen (VFL), Temperatur während der Vegetationszeit ( $T_v$ ), mittlerer Dauer der Lufttemperatur  $> 10^\circ\text{C}$  (Veg.zeit), mittlerer Jahresschwankung der Temperatur (T.-Schwank.) und Niederschlag während der Vegetationszeit ( $N_v$ ).
- Tab. 3.2-2: Standorte der untersuchten Versuchsflächen und Inventurpunkte (fe=feucht, fr=frisch, tr=trocken, we=wechsel, mä=mäßig, lehm.=lehmig) mit Häufigkeit ihres Auftretens (%).
- Tab. 4.1-1: Aufzählung der Forstämter mit durchgeführter Wiederholungsinventur.
- Tab. 4.2-1: Übersicht über die in die Untersuchung einbezogenen Versuchsflächen (Vfl), die Versuchsart (V-Art) mit Düngungs- (DÜ) und Durchforstungsversuchen (DF), der Anzahl Parzellen gesamt (ges.) und ohne Düngung (o.Dg), Forstamt, Anzahl der Aufnahmen und Beobachtungszeitraum (Frühjahr (F) und Herbst (H)), Alter bei der Erst- und Letzaufnahme sowie Wuchsbezirk (WB) bzw. Teilwuchsbezirk (TWB).
- Tab. 4.3-1: Vorstellung der für die Stammanalyse verwendeten Probestämme mit Versuchsfläche, Parzelle (PZ), Baumnummer (Nr.), Anzahl der entnommenen Stammscheiben, Alter bei der Entnahme, KRAFT-Klasse und Wuchsbezirk (WB).
- Tab. 5.3-1: Startwerte für die Prognoserechnung mit dem Waldwachstumssimulator SILVA 2.2 bei einem Alter von 30 (60) Jahren für die untersuchten Wuchsgebiete (hl = Loreysche Mittelhöhe; dg = Durchmesser des Grundflächenmittelstammes; G = Grundfläche; N = Stammzahl).
- Tab. 5.3-2: Verwendete Standortparameter der Wuchsbezirke für die Prognoserechnung mit dem Waldwachstumssimulator SILVA 2.2.
- Tab. 5.3-3: Name, Art und Inhalt der für eine Prognoserechnung mit der automatisierten Version von SILVA 2.2 benötigten Dateien.
- Tab. 5.2-1: Übersicht über die Methoden zur Diagnose von Wachstumstrends (verändert nach PRETZSCH und UTSCHIG, 2000; PRETZSCH, 2001).
- Tab. 6.1-1: Anzahl Fälle, mittleres Alter, Bonität, Höhe des Grundflächenmittelstammes (HGV), Grundfläche (GV), Vorrat (VV), Bestockungsgrad (BG), laufender jährlicher Volumenzuwachs (IV) der Region Östliche Vorrhön für 5 Altersstufen. Datengrundlage: Daten aus der Stichprobeninventur (INV) und den langfristigen Versuchsflächen (VFL).
- Tab. 6.1-2: Anzahl Fälle, mittleres Alter, Bonität, Höhe des Grundflächenmittelstammes (HGV), Grundfläche (GV), Vorrat (VV), Bestockungsgrad (BG), laufender jährlicher Volumenzuwachs (IV) der Region Keuperbergland für fünf Altersstufen. Datengrundlage: langfristige Versuchsflächen (VFL).
- Tab. 6.1-3: Anzahl Fälle, mittleres Alter, Bonität, Höhe des Grundflächenmittelstammes (HGV), Grundfläche (GV), Vorrat (VV), Bestockungsgrad (BG), laufender jährlicher Volumenzuwachs (IV) der Region Keuperhügelland für fünf Altersstufen. Datengrundlage: Daten aus der Stichprobeninventur (INV) und den langfristigen Versuchsflächen (VFL).
- Tab. 6.1-4: Anzahl Fälle, mittleres Alter, Bonität, Höhe des Grundflächenmittelstammes (HGV), Grundfläche (GV), Vorrat (VV), Bestockungsgrad (BG), laufender jährlicher Volumenzuwachs (IV) der Region Keupersenkenland für fünf Altersstufen. Datengrundlage: Daten aus der Stichprobeninventur (INV) und den langfristigen Versuchsflächen (VFL).



- Tab. 6.1-5: Anzahl Fälle, mittleres Alter, Bonität, Höhe des Grundflächenmittelstammes (HGV), Grundfläche (GV), Vorrat (VV), Bestockungsgrad (BG), laufender jährlicher Volumenzuwachs (IV) der Region Albvorland für fünf Altersstufen. Datengrundlage: Daten aus der Stichprobeninventur (INV).
- Tab. 6.1-6: Anzahl Fälle, mittleres Alter, Bonität, Höhe des Grundflächenmittelstammes (HGV), Grundfläche (GV), Vorrat (VV), Bestockungsgrad (BG), laufender jährlicher Volumenzuwachs (IV) der Region Frankenalb für fünf Altersstufen. Datengrundlage: Daten aus der Stichprobeninventur (INV) und den langfristigen Versuchsflächen (VFL).
- Tab. 6.1-7: Anzahl Fälle, mittleres Alter, Bonität, Höhe des Grundflächenmittelstammes (HGV), Grundfläche (GV), Vorrat (VV), Bestockungsgrad (BG), laufender jährlicher Volumenzuwachs (IV) der Region Albabdachung für fünf Altersstufen. Datengrundlage: Daten aus der Stichprobeninventur (INV) und den langfristigen Versuchsflächen (VFL).
- Tab. 6.1-8: Anzahl Fälle, mittleres Alter, Bonität, Höhe des Grundflächenmittelstammes (HGV), Grundfläche (GV), Vorrat (VV), Bestockungsgrad (BG), laufender jährlicher Volumenzuwachs (IV) der Region Oberfränkisches Triashügelland für fünf Altersstufen. Daten aus der Stichprobeninventur (INV) und den langfristigen Versuchsflächen (VFL).
- Tab. 6.1-9: Anzahl Fälle, mittleres Alter, Bonität, Höhe des Grundflächenmittelstammes (HGV), Grundfläche (GV), Vorrat (VV), Bestockungsgrad (BG), laufender jährlicher Volumenzuwachs (IV) der Region Oberpfälzer Becken- und Hügelland für fünf Altersstufen. Datengrundlage: Daten aus der Stichprobeninventur (INV) und den langfristigen Versuchsflächen (VFL).
- Tab. 6.1-10: Anzahl Fälle, mittleres Alter, Bonität, Höhe des Grundflächenmittelstammes (HGV), Grundfläche (GV), Vorrat (VV), Bestockungsgrad (BG), laufender jährlicher Volumenzuwachs (IV) der Region Waldsassener Schiefergebiet für fünf Altersstufen. Datengrundlage: Daten aus der Stichprobeninventur (INV) und den langfristigen Versuchsflächen (VFL).
- Tab. 6.1-11: Anzahl Fälle, mittleres Alter, Bonität, Höhe des Grundflächenmittelstammes (HGV), Grundfläche (GV), Vorrat (VV), Bestockungsgrad (BG), laufender jährlicher Volumenzuwachs (IV) der Region Münchner Schotterebene für fünf Altersstufen. Datengrundlage: Daten aus der Stichprobeninventur (INV).
- Tab. 6.2-1: Geschätzte Parameter und Bestimmtheitsmaße ( $R^2$ ) beim Ausgleich der Mittelhöhe durch die Wachstumsfunktion von KORF; Datenquelle: Ergebnisse aus der Stichprobeninventur.
- Tab. 6.2-2: Geschätzte Mittelhöhen im Alter 50, 100 und 140 Jahre für die einzelnen Regionen; Datenquelle: Ergebnisse aus der Stichprobeninventur.
- Tab. 6.2-3: Durchschnittswerte, Minimum und Maximum der auftretenden Alter in den Regionen; Datenquelle: Ergebnisse aus der Stichprobeninventur.
- Tab. 6.2-4: Durchschnittswerte, Minimum und Maximum der Bonitäten nach WIEDEMANN (1943) in den Regionen; Datenquelle: Ergebnisse aus der Stichprobeninventur.
- Tab. 6.2-5: Durchschnittswerte, Minimum und Maximum der Grundflächen/ha in den Regionen; Datenquelle: Ergebnisse aus der Stichprobeninventur.
- Tab. 6.2-6: Durchschnittswerte, Minimum und Maximum der Bestockungsgrade in den Regionen; Datenquelle: Ergebnisse aus der Stichprobeninventur.
- Tab. 6.2-7: Durchschnittswerte, Minimum und Maximum der Vorräte pro Hektar in den Regionen; Datenquelle: Ergebnisse aus der Stichprobeninventur.
- Tab. 6.3-1: Anzahl der Bäume und gewichteten Datensätze in den untersuchten Regionen.
- Tab. 6.3-2: Durchschnittlicher Höhenzuwachs der Einzelbäume aus der Wiederholungsinventur für fünf Altersstufen sowie der durchschnittliche Höhenzuwachs über alle Altersstufen (Gesamt).
- Tab. 6.3-3: Durchschnittlicher Durchmesserzuwachs der Einzelbäume aus der Wiederholungsinventur für fünf Altersstufen sowie der durchschnittliche Zuwachs über alle Altersstufen (Gesamt).



- Tab. 6.3-4: Geschätzte Parameter ( $b_0$  und  $b_1$ ) und Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ) für den Ausgleich des Volumenzuwachs über dem Bestockungsgrad mit einer Potenzfunktion; Datenquelle: Permanente Stichprobeninventur.
- Tab. 6.3-5: Geschätzte Parameter und Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ) der Ausgleichsfunktion zur Beschreibung des Volumenzuwachses in fünf Regionen.
- Tab. 6.3-6: Durchschnittlicher Volumenzuwachs in fünf Regionen für 40-, 80- und 120jährige Bestände bei einem Bestockungsgrad von 1.0.
- Tab. 6.4-1: Durchschnittliche Mittelhöhen im Alter 140 und Bonitätssprung von jungen nach alten Beständen der Inventurpunkte sowie eine Einschätzung langfristiger Zuwachstrends der Versuchsflächen.
- Tab. 7.1-1: Parameterschätzung, Standardabweichung, 95% Konfidenzintervall, Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ) und die Anzahl Datensätze für den nichtlinearen Ausgleich der Oberhöhe mit der KORF-Funktion.
- Tab. 7.1-2: Einteilung der Temperatur- und Niederschlagswerte während der Vegetationszeit (Veg.) in Klassen.
- Tab. 7.1-3: Ergebnisse der Varianzanalyse mit der Summe der Abweichungsquadrate, dem F-Wert und der Signifikanz von F.
- Tab. 7.1-4: Durchschnittliche relative Höhe ( $H_{rel}$ ), Standardabweichung und Anzahl der Inventurpunkte bei 10 verschiedenen Wasserhaushaltsstufen.
- Tab. 7.1-5: Durchschnittliche relative Höhe ( $H_{rel}$ ), Standardabweichung und Anzahl der Inventurpunkte (= Anzahl Fälle) bei 10 verschiedenen Trophiemerkmalen.
- Tab. 7.1-6: Durchschnittliche relative Höhe ( $H_{rel}$ ), Standardabweichung und Anzahl der Inventurpunkte bei 10 verschiedenen Substrattypen.
- Tab. 7.1-7: Durchschnittliche relative Höhe ( $H_{rel}$ ), Standardabweichung, Anzahl der Inventurpunkte bei unterschiedlichen Niederschlägen während der Vegetationszeit.
- Tab. 7.1-8: Durchschnittliche relative Höhe ( $H_{rel}$ ), Standardabweichung und Anzahl der Inventurpunkte bei unterschiedlichen Temperaturen während der Vegetationszeit.
- Tab. 7.2-1: Parameterschätzung, Standardabweichung, 95% Konfidenzintervall, Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ) und Anzahl der untersuchten Datensätze für den Ausgleich der Mittelhöhen mit der erweiterten Wachstumsfunktion.
- Tab. 8.1-1: Anzahl der für den Ertragstafelvergleich (WIEDEMANN, 1943, mäßige Durchforstung) verwendeten Datensätze (ungewichtet bzw. mit der Periodenlänge gewichtet).
- Tab. 8.1-2: Geschätzte Parameter der Ausgleichsfunktion mit ihren Irrtumswahrscheinlichkeiten (\* = 0.05, \*\* = 0.01, \*\*\* = 0.001) und dem Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ) für die Oberhöhe, den verbleibenden Vorrat und den laufenden jährlichen Volumenzuwachs.
- Tab. 8.1-3: Prozentuale Abweichung von den erwarteten Oberhöhen der WIEDEMANN-Ertragstafel bei einem Bestockungsgrad von 1.0.
- Tab. 8.1-4: Prozentuale Abweichung vom erwarteten laufenden Volumenzuwachs der WIEDEMANN-Ertragstafel bei einem Bestockungsgrad von 1.0
- Tab. 8.2-1: Anzahl der untersuchten Datensätze in den beiden Zeiträumen bis 1960 und nach 1960; Datenquelle: Langfristige Versuchsflächen.
- Tab. 8.2-2: Standortseinheiten der drei Standortgruppen (1 = ungünstigerer Standort, 2 = mittlerer Standort, 3 = besserer Standort).
- Tab. 8.2-3: Irrtumswahrscheinlichkeiten der mit einem t-Test untersuchten Parameter Durchmesser-, Höhen- und Volumenzuwachs und des H/D-Verhältnisses des Grundflächenmittelstammes für fünf Altersstufen (\*\*\* = 0.001; \*\* = 0.01; \* = 0.05; - = kein signifikanter Unterschied).

- Tab. 8.2-4: Geschätzte Parameter ( $b_0$  und  $b_1$ ) und Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ) für den Ausgleich des Volumenzuwachs über der mittleren Grundflächenhaltung mit einer Potenzfunktion; Datenquelle: Langfristige Versuchsflächen..
- Tab. 8.2-5: Geschätzte Parameter, Anzahl verwendeter Datensätze und Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ) der Volumenzuwachsdaten aus dem Zeitraum bis 1960; Datenquelle: Langfristige Versuchsflächen.
- Tab. 8.2-6: Schätzparameter, Anzahl der verwendeten Zuwachsdaten (N) und Bestimmtheitsmaß für die Zeiträume bis 1960 und nach 1960; Datenquelle: Langfristige Versuchsflächen.
- Tab. 8.2-7: Berechnete Zuwachswerte der beiden Zeiträume bis 1960 und nach 1960 für drei Standortgruppen; Datenquelle: Langfristige Versuchsflächen.
- Tab. 8.3-1: Durchschnittlicher jährlicher Radialzuwachs, Radialzuwachs zu Beginn und am Ende der Beobachtungsperiode, sowie das durchschnittliche Alter und die Anzahl der Datensätze für die fünf Altersstufen im Wuchsgebiet 5 (Fränkischer Keuper und Albvorland).
- Tab. 8.3-2: Durchschnittlicher jährlicher Radialzuwachs, Radialzuwachs zu Beginn und am Ende der Beobachtungsperiode, sowie das durchschnittliche Alter und die Anzahl der Datensätze für die fünf Altersstufen im Wuchsgebiet 6 (Frankenalb und Oberpfälzer Jura).
- Tab. 8.3-3: Durchschnittlicher Radialzuwachs, Radialzuwachs zu Beginn und am Ende der Beobachtungsperiode, sowie das durchschnittliche Alter und die Anzahl der Datensätze für die fünf Altersstufen im Wuchsgebiet 9 (Oberpfälzer Becken- und Hügelland).
- Tab. 8.3-4: Durchschnittlicher jährlicher Radialzuwachs, Radialzuwachs zu Beginn und am Ende der Beobachtungsperiode, sowie das durchschnittliche Alter und die Anzahl der Datensätze für die fünf Altersstufen im Wuchsgebiet 10 (Oberpfälzer Wald).
- Tab. 8.3-5: Prozentuale Abweichung des jährlichen Radialzuwachses am Ende der Beobachtungsperiode vom Radialzuwachs zu Beginn der Beobachtungsperiode für die vier untersuchten Wuchsgebiete.
- Tab. 9.1-1: Mit dem Waldwachstumssimulator SILVA 2.2 prognostizierte Oberhöhen im Alter 140.
- Tab. 9.2-1: Mit dem Waldwachstumssimulator SILVA 2.2 prognostizierte durchschnittliche Gesamtwüchse im Alter 140 für die untersuchten Wuchsbezirke.
- Tab. 9.2-2: mittlere Grundflächen ( $qm/ha$ ) bei einem Alter von 40, 90 und 140 Jahren für die untersuchten Wuchsbezirke.
- Tab. 10.3-1: Mit dem Wachstumsmodell SILVA 2.2 berechnete Oberhöhen und durchschnittliche Gesamtwüchse ( $dgz$ ) im Alter 140 Jahre bei veränderten Klimabedingungen (Szenariorechnung 1) und die prozentuale Abweichung (% Abw) von den prognostizierten Werten unter heutigen Klimabedingungen.
- Tab. 10.3-2: Mit dem Wachstumsmodell SILVA 2.2 berechnete Oberhöhen und durchschnittliche Gesamtwüchse ( $dgz$ ) im Alter 140 Jahre bei veränderten Klimabedingungen (Szenariorechnung 2) und die prozentuale Abweichung (% Abw) von den prognostizierten Werten unter heutigen Klimabedingungen.

## 13.2 Verzeichnis der Abbildungen

- Abb. 3.1-1: Lage des verwendeten Datenmaterials in den Wuchsbezirken Bayerns (Sterne=Wuchsbezirke mit Einzelbaumanalysen; Dreiecke=Düngungsversuche; Kreise=Durchforstungsversuche; grau hinterlegte Wuchsbezirke kennzeichnen Gebiete, in denen die Daten aus der Stichprobeninventur ausgewertet wurden (hellgrau: Inventurpunkte aus der jüngsten Forsteinrichtungsperiode; dunkelgrau: Inventurpunkte mit Wiederholungsinventur).
- Abb. 3.2-1: Ökogramme forstwirtschaftlich bedeutungsvoller Baumarten für Mitteleuropa (verändert nach THOMASIUS, 1991).
- Abb. 4.1-1: Ablauf der Inventur und Tabellen der Forsteinrichtungsdatenbank (verändert nach BAYER. STAATSMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN, 1997).
- Abb. 4.1-2: Darstellung der verwendeten Dateien aus der Forsteinrichtungs-Datenbank und der zur Zusammenführung notwendigen Schlüsselvariablen (Erläuterung der Abkürzungen im Text).
- Abb. 4.2-1: Beispielhafte Darstellung der unkorrigierten (links) und korrigierten (rechts) Verlagerung der Bestandeshöhenkurven mit dem Alter für eine beispielhafte Versuchsflächenparzelle, Korrekturjahr 1993F.
- Abb. 5.1-1: Theoretische Darstellung des Verlaufs der Höhenentwicklung (Wachstumskurve) und des Zuwachses (Zuwachskurve) über dem Alter.
- Abb. 5.2-1: Entwicklung der Mittelhöhe über dem Alter für die Kiefer nach den Ertragstafeln von WIEDEMANN (1948, mäßige Durchforstung), GERHARD (1921, mittelstarke Durchforstung) und SCHMIDT (1971).
- Abb. 5.2-2: Entwicklung der Grundfläche über dem Alter für die Kiefer nach den Ertragstafeln von WIEDEMANN (1948, mäßige Durchforstung), GERHARD (1921, mittelstarke Durchforstung) und SCHMIDT (1971).
- Abb. 5.2-3: Entwicklung des laufenden jährlichen Volumenzuwachses über dem Alter für die Kiefer nach den Ertragstafeln von WIEDEMANN (1948, mäßige Durchforstung), GERHARD (1921, mittelstarke Durchforstung) und SCHMIDT (1971).
- Abb. 5.2-4: Entwicklung des Radialzuwachses über dem Kalenderjahr für die Altersstufe 61-80 Jahre im Wuchsgebiet 5 (Fränkischer Keuper und Albvorland); Datenquelle: Einzelbaumanalysen.
- Abb. 5.3-1: Ablaufschema des Wachstumsmodells SILVA 2.2 bei einem Prognoselauf (PRETZSCH und KAHN, 1998).
- Abb. 5.3-2: Schematische Darstellung des Standort-Leistungsmodells des Wachstumssimulators SILVA 2.2 (PRETZSCH und KAHN, 1998).
- Abb. 5.3-3: Darstellung der Beziehung zwischen Mittel- und Oberhöhe aus den Ergebnissen der langfristigen Versuchsflächen und deren Ausgleich mittels einer linearen Regression.
- Abb. 5.3-4: Darstellung der Grundfläche über der Oberhöhe und der Ausgleichskurve (Polynom 2. Grades) für die Region Keuperhügelland.
- Abb. 6.1-1: Darstellung der Mittelhöhen, Grundflächen, Vorräte und des laufenden Volumenzuwachses der Stichprobendaten und Versuchsflächen über dem Alter, Region Östliche Vorrhön. Zum Vergleich sind die Werte der WIEDEMANN-Ertragstafel (1943, mäßige Durchforstung), I.-IV. Ertragsklasse, eingetragen.
- Abb. 6.1-2: Darstellung der Höhenentwicklung über dem Alter auf den Versuchspartellen der Region Keuperbergland. Zum Vergleich sind die Werte der WIEDEMANN-Ertragstafel (1943), I.-IV. Ertragsklasse eingetragen.
- Abb. 6.1-3: Darstellung der Grundflächenentwicklung über dem Alter auf den Versuchspartellen der Region Keuperbergland. Zum Vergleich sind die Werte der WIEDEMANN-Ertragstafel (1943), I.-IV. Ertragsklasse, eingetragen.
- Abb. 6.1-4: Darstellung der Vorratsentwicklung über dem Alter auf den Versuchspartellen der Region Keuperbergland. Zum Vergleich sind die Werte der WIEDEMANN-Ertragstafel (1943), I.-IV. Ertragsklasse, eingetragen.

- Abb. 6.1-5: Darstellung der Entwicklung des Volumenzuwachses über dem Alter auf den Versuchspartellen der Region Keuperbergland. Zum Vergleich sind die Werte der WIEDEMANN-Ertragstafel (1943), I.-IV. Ertragsklasse, eingetragen.
- Abb. 6.1-6: Darstellung der Mittelhöhen, Grundflächen, Vorräte und des laufenden Volumenzuwachses der Stichprobendaten und Versuchsflächen über dem Alter, Region Keuperhügelland. Zum Vergleich sind die Werte der WIEDEMANN-Ertragstafel (1943), I.-IV. Ertragsklasse, eingetragen.
- Abb. 6.1-7: Darstellung der Mittelhöhen, Grundflächen, Vorräte und des laufenden Volumenzuwachses der Stichprobendaten und Versuchsflächen über dem Alter, Region Keupersenkenland. Zum Vergleich sind die Werte der WIEDEMANN-Ertragstafel (1943), I.-IV. Ertragsklasse, eingetragen.
- Abb. 6.1-8: Darstellung der Mittelhöhen über dem Alter in den Beständen der Stichprobeninventur, Region Altvorland. Zum Vergleich sind die Werte der WIEDEMANN-Ertragstafel (1943), I.-IV. Ertragsklasse eingetragen.
- Abb. 6.1-9: Darstellung der Grundflächen über dem Alter in den Beständen der Stichprobeninventur, Region Altvorland. Zum Vergleich sind die Werte der WIEDEMANN-Ertragstafel (1943), I.-IV. Ertragsklasse eingetragen.
- Abb. 6.1-10: Darstellung der Vorräte über dem Alter in den Beständen der Stichprobeninventur, Region Altvorland. Zum Vergleich sind die Werte der WIEDEMANN-Ertragstafel (1943), I.-IV. Ertragsklasse eingetragen.
- Abb. 6.1-11: Darstellung der Mittelhöhen, Grundflächen, Vorräte und des laufenden Volumenzuwachses der Stichprobendaten und Versuchsflächen über dem Alter, Region Frankenalb. Zum Vergleich sind die Werte der WIEDEMANN-Ertragstafel (1943), I.-IV. Ertragsklasse, eingetragen.
- Abb. 6.1-12: Darstellung der Mittelhöhen, Grundflächen, Vorräte und des laufenden Volumenzuwachses der Stichprobendaten und Versuchsflächen über dem Alter, Region Albabdachung. Zum Vergleich sind die Werte der WIEDEMANN-Ertragstafel (1943), I.-IV. Ertragsklasse, eingetragen.
- Abb. 6.1-13: Darstellung der Mittelhöhen, Grundflächen, Vorräte und des laufenden Volumenzuwachses der Stichprobendaten und Versuchsflächen über dem Alter, Region Oberfränkisches Triashügelland. Zum Vergleich sind die Werte der WIEDEMANN-Ertragstafel (1943), I.-IV. Ertragsklasse eingetragen.
- Abb. 6.1-14: Darstellung der Mittelhöhen, Grundflächen, Vorräte und des laufenden Volumenzuwachses der Stichprobendaten und Versuchsflächen über dem Alter, Region Oberpfälzer Becken- und Hügelland. Zum Vergleich sind die Werte der WIEDEMANN-Ertragstafel (1943), I.-IV. Ertragsklasse, eingetragen.
- Abb. 6.1-15: Darstellung der Mittelhöhen, Grundflächen, Vorräte und des laufenden Volumenzuwachses der Stichprobendaten und Versuchsflächen über dem Alter, Region Waldsass. Schieferg./Wiesauer Senke. Zum Vergleich sind die Werte der WIEDEMANN-Ertragstafel (1943), I.-IV. Ertragsklasse, eingetragen.
- Abb. 6.1-16: Darstellung der Mittelhöhen über dem Alter in den Beständen der Stichprobeninventur, Region Münchner Schotterebene. Zum Vergleich sind die Werte der WIEDEMANN-Ertragstafel (1943), I.-IV. Ertragsklasse, eingetragen.
- Abb. 6.1-17: Darstellung der Grundflächen über dem Alter in den Beständen der Stichprobeninventur, Region Münchner Schotterebene. Zum Vergleich sind die Werte der WIEDEMANN-Ertragstafel (1943), I.-IV. Ertragsklasse eingetragen.
- Abb. 6.1-18: Darstellung der Vorräte über dem Alter in den Bestände der Stichprobeninventur, Region Münchner Schotterebene. Zum Vergleich sind die Werte der WIEDEMANN-Ertragstafel (1943), I.-IV. Ertragsklasse eingetragen.
- Abb. 6.2-1: Nichtlinearer Ausgleich der Mittelhöhen mit der KORF-Funktion für die Region Albabdachung; Datenquelle: Ergebnisse aus der Stichprobeninventur.
- Abb. 6.2-2: Schätzfunktionen der Mittelhöhen für die einzelnen Regionen. Zum Vergleich sind die Werte der WIEDEMANN-Ertragstafel (1943), I.-IV. Ertragsklasse eingetragen. Datenquelle: Ergebnisse aus der Stichprobeninventur.

- Abb. 6.2-3: Karte mit der Darstellung der durchschnittlichen Ertragsklassen in den untersuchten Regionen; Datenquelle: Ergebnisse aus der Stichprobeninventur.
- Abb. 6.2-4: Karte mit der Darstellung der durchschnittlichen Grundflächen (qm/ha) in den untersuchten Regionen; Datenquelle: Ergebnisse aus der Stichprobeninventur.
- Abb. 6.2-5: Karte mit der Darstellung der durchschnittlichen Vorräte (VfmD/ha) in den untersuchten Regionen; Datenquelle: Ergebnisse aus der Stichprobeninventur.
- Abb. 6.3-1: Darstellung des Volumenzuwachses aus den Ergebnissen der Wiederholungsinventur der fünf untersuchten Regionen über dem Alter. Zum Vergleich sind die Erwartungswerte der WIEDEMANN-Ertragstafel (1943, mäßige Durchforstung) eingezeichnet.
- Abb. 6.3-2: Darstellung des Volumenzuwachses aus den Ergebnissen der Wiederholungsinventur in Abhängigkeit vom Bestockungsgrad für die Altersstufen 31-60 Jahre und 91-120 Jahre.
- Abb. 6.3-3: Darstellung des durchschnittlichen Volumenzuwachses über dem Alter mit Hilfe der berechneten Schätzfunktion. Zum Vergleich sind die Werte der Ertragsklassen der WIEDEMANN-Ertragstafel (1943, mäßige Durchforstung) eingetragen.
- Abb. 7.1-1: Darstellung der Mittelhöhen und der Ausgleichskurve ( $H_{pred}$ ) der Daten aus der permanenten Stichprobeninventur.
- Abb. 7.2-1: Darstellung des nichtlinearen Ausgleichs der Mittelhöhe mittels der KORF-Funktion unter Berücksichtigung des Standortfaktors Wasserhaushaltsstufe auf mäßig frischen und mäßig wechselfeuchten Standorten.
- Abb. 7.2-2: Darstellung der Ausgleichshöhenkurven für die zehn Wasserhaushaltsstufen. Zum Vergleich sind die Erwartungswerte der WIEDEMANN-Ertragstafel (1943, mäßige Durchforstung), I-IV. Ertragsklasse, eingezeichnet.
- Abb. 7.3-1: Volumenzuwächse über dem Alter der Probebäume aus den Bayreuther (BAY 52) und Waldsassener (WAS 234 und 238) Versuchsflächen; Datenquelle: Einzelbaumanalysen auf den langfristigen Versuchsflächen.
- Abb. 7.3-2: Höhen- und Durchmesserzuwachs über dem Alter der Probebäume aus den Bayreuther (BAY 52) und Waldsassener (WAS 234 und 238) Versuchsflächen; Datenquelle: Einzelbaumanalysen auf den langfristigen Versuchsflächen.
- Abb. 7.3-3: mittlere Grundflächenhaltung über dem Alter auf den Versuchsflächen Bayreuth (BAY 52) und Waldsassen (WAS 234 und 238) vor und nach 1960; Datenquelle: Langfristige Versuchsflächen.
- Abb. 7.3-4: Entwicklung des H/D-Verhältnisses über dem Alter vor und nach 1960 der Probebäume aus den Bayreuther BAY 52) und Waldsassener (WAS 234 und 238) Versuchsflächen; Datenquelle: Einzelbaumanalysen auf den langfristigen Versuchsflächen.
- Abb. 7.3-5: Zuwachsentwicklung in unterschiedlichen Schafthöhen über dem prozentualen Grundflächenzuwachs von 1.3 m Höhe der Probebäume aus der Versuchsfläche Bayreuth (BAY 52); Datenquelle: Einzelbaumanalysen aus langfristigen Versuchsflächen.
- Abb. 7.3-6: Zuwachsentwicklung in unterschiedlichen Schafthöhen über dem prozentualen Grundflächenzuwachs von 1.3 m Höhe der Probebäume aus der Versuchsfläche Waldsassen (WAS 234 und 238); Datenquelle: Einzelbaumanalysen aus langfristigen Versuchsflächen.
- Abb. 7.3-7: Entwicklung der echten Formzahl über dem Alter der Probebäume aus den Versuchsflächen Bayreuth (BAY 52) und Waldsassen (WAS 234 und 238); Datenquelle: Einzelbaumanalysen aus langfristigen Versuchsflächen.
- Abb. 7.3-8: Entwicklung der unechten Formzahl und der von FRANZ (1971) entwickelten Formzahl über dem Alter der Probebäume aus der Versuchsfläche Bayreuth (BAY 52); Datenquelle: Einzelbaumanalysen aus langfristigen Versuchsflächen.

- Abb. 7.3-9: Entwicklung der unechten Formzahl und der von FRANZ (1971) entwickelten Formzahl über dem Alter der Probestämme aus der Versuchsfläche Waldsassen (WAS 234 und 238); Datenquelle: Einzelbaumanalysen aus langfristigen Versuchsflächen.
- Abb. 8.1-1: Prozentuale Relation der Oberhöhe zu den Erwartungswerten der WIEDEMANN-Ertragstafel (1943, mäßige Durchforstung); Datenquelle: Langfristige Versuchsflächen.
- Abb. 8.1-2: Prozentuale Relation des laufenden jährlichen Volumenzuwachses zu den Erwartungswerten der WIEDEMANN-Ertragstafel (1943, mäßige Durchforstung); Datenquelle: Langfristige Versuchsflächen
- Abb. 8.1-3: Prozentuale Relation des verbleibenden Vorrates zu den Erwartungswerten der WIEDEMANN-Ertragstafel (1943, mäßige Durchforstung); Datenquelle: Langfristige Versuchsflächen
- Abb. 8.2-1: Mittelhöhe, Mitteldurchmesser, Grundfläche, Vorrat und Stammzahlen der Zeiträume vor und nach 1960 für fünf Altersstufen; Datenquelle: Langfristige Versuchsflächen.
- Abb. 8.2-2: Volumen-, Höhen- und Durchmesserzuwachs vor und nach 1960 der 5 Altersstufen für die Standortgruppen 1 und 2; Datenquelle: Langfristige Versuchsflächen.
- Abb. 8.2-3: H/D-Werte der fünf Altersgruppen vor und nach 1960 für die Standortgruppen 1 und 2; Datenquelle: Langfristige Versuchsflächen.
- Abb. 8.2-4: durchschnittliche mittlere Grundflächenhaltung für die fünf Altersstufen vor und nach 1969; Datenquelle: Langfristige Versuchsflächen.
- Abb. 8.2-5: Darstellung des Volumenzuwachses über der mittleren Grundflächenhaltung und Ausgleich der Werte mit einer Potenzfunktion für die Altersstufen 50 (41-60) Jahre und 90 (81-100 Jahre); Datenquelle: Langfristige Versuchsflächen
- Abb. 8.2-6: Darstellung des Volumenzuwachses bis 1960 mit der Schätzfunktion bei der durchschnittlichen mittleren Grundflächenhaltung bis und nach 1960; Datenquelle: Langfristige Versuchsflächen.
- Abb. 8.2-7: Darstellung der berechneten Volumenzuwächse aus der modifizierten Zuwachsfunktion für die drei Standortgruppen bei einer durchschnittlichen mittleren Grundflächenhaltung aus dem Zeitabschnitt bis 1960 für die Zeiträume vor 1960 und nach 1960; Datenquelle: Langfristige Versuchsflächen.
- Abb. 8.3-1: Analyse der Entwicklung des jährlichen Radialzuwachses von Bäumen gleichen Alters in unterschiedlichen Kalenderzeiträumen im Wuchsgebiet Fränkischer Keuper und Albvorland (WG 5). Dargestellt sind das untersuchte Altersspektrum (oben links), die BHD-Entwicklung (oben rechts), die mittleren Radialzuwächse verschiedener Altersstufen über dem Kalenderjahr (unten links) und die mittleren Radialzuwächse verschiedener Kalenderzeiträume über dem Alter (unten rechts).
- Abb. 8.3-2: Analyse der Entwicklung des Radialzuwachses von Bäumen gleichen Alters in unterschiedlichen Kalenderzeiträumen im Wuchsgebiet Frankenalb und Oberpfälzer Jura (WG 6). Dargestellt sind das untersuchte Altersspektrum (oben links), die BHD-Entwicklung (oben rechts), die mittleren Radialzuwächse verschiedener Altersstufen über dem Kalenderjahr (unten links) und die mittleren Radialzuwächse verschiedener Kalenderzeiträume über dem Alter (unten rechts)
- Abb. 8.3-3: Analyse der Entwicklung des jährlichen Radialzuwachses von Bäumen gleichen Alters in unterschiedlichen Kalenderzeiträumen im Wuchsgebiet Oberpfälzer Becken- und Hügelland (WG 9). Dargestellt sind das untersuchte Altersspektrum (oben links), die BHD-Entwicklung (oben rechts), die mittleren Radialzuwächse verschiedener Altersstufen über dem Kalenderjahr (unten links) und die mittleren Radialzuwächse verschiedener Kalenderzeiträume über dem Alter (unten rechts).
- Abb. 8.3-4: Analyse der Entwicklung des jährlichen Radialzuwachses von Bäumen gleichen Alters in unterschiedlichen Kalenderzeiträumen im Wuchsgebiet Oberpfälzer Wald (WG 10). Dargestellt sind das untersuchte Altersspektrum (oben links), die BHD-Entwicklung (oben rechts), die mittleren Radialzuwächse verschiedener Altersstufen über dem Kalenderjahr (unten links) und die mittleren Radialzuwächse verschiedener Kalenderzeiträume über dem Alter (unten rechts).
- Abb. 9.1-1: Darstellung der vom Waldwachstumssimulator SILVA 2.2 prognostizierten Oberhöhen im Alter 140 in den untersuchten Wuchsgebieten.

- Abb. 9.2-1: Darstellung der vom Waldwachstumssimulator SILVA 2.2 prognostizierten durchschnittlichen Gesamtzuwachses im Alter 140 in den untersuchten Wuchsgebieten.
- Abb. 9.3-1: Wirkungsfunktionen der Standortparameter mittlere Lufttemperatur während der Vegetationszeit (oben links), Niederschlag während der Vegetationszeit (oben rechts), Nährstoffversorgung (unten links) und Bodenfrische (unten rechts) für die Baumart Kiefer mit Einordnung der Wuchsbezirke Albvorland (5.8) und Oberpfälzer Becken- und Hügelland (9.1).
- Abb. 10.3-1: Darstellung einiger Wirkungsfunktionen der Baumart Kiefer (Niederschlag während der Vegetationszeit, Temperatur während der Vegetationszeit, Jahrestemperaturamplitude und Anzahl Tage mit einer Temperatur > 10 °C) aus dem Waldwachstumssimulator SILVA 2.2 für den Wuchsbezirk Südliches Albvorland (5.8) mit den klimatischen Werten unter gegenwärtigen Bedingungen und für die Szenariorechnung 1 und 2.
- Abb. 10.3-2: Darstellung einiger Wirkungsfunktionen der Baumart Kiefer (Niederschlag während der Vegetationszeit, Temperatur während der Vegetationszeit, Jahrestemperaturamplitude und Anzahl Tage mit einer Temperatur > 10 °C) aus dem Waldwachstumssimulator SILVA 2.2 für den Wuchsbezirk Oberpfälzer Becken- und Hügelland (9.1) mit den klimatischen Werten unter gegenwärtigen Bedingungen und für die Szenariorechnungen 1 und 2.



## 14 Anhang

Tab. A-1: Funktionsparameter und Bestimmtheitsmaß (R<sup>2</sup>) zum Ausgleich der Mittelhöhen (Höhe des Grundflächenmittelstammes) mit der CHAPMAN-RICHARDS-Funktion.

<b>Höhe des Grundflächenmittelstammes (hg)</b>				
<b>Wuchsregion</b>	<b>Funktionsparameter</b>			<b>Bestimmtheitsmaß R<sup>2</sup></b>
	<b>a<sub>1</sub></b>	<b>k<sub>1</sub></b>	<b>p<sub>1</sub></b>	
Östliche Vorrhön	25.840	0.028	1.630	0.678
Keuperhügelland	25.805	0.023	0.981	0.456
Keupersenkland	22.601	0.053	2.739	0.211
Südl. Albvorland	24.512	0.043	2.003	0.562
Frankenalb	23.809	0.019	0.766	0.389
Albabdachung	23.050	0.028	1.000	0.278
Oberfränkisches Triashügelland	25.375	0.022	0.797	0.093
Oberpfälzer Becken- und Hügelland	24.619	0.017	0.747	0.308
Waldsassener Schiefergebirge/ Wiesauer Senke	24.705	0.036	3.921	0.298

Tab. A-2: Funktionsparameter und Bestimmtheitsmaß (R<sup>2</sup>) zum Ausgleich der Mitteldurchmesser (Durchmesser des Grundflächenmittelstammes) mit der CHAPMAN-RICHARDS-Funktion.

<b>Durchmesser des Grundflächenmittelstammes (dg)</b>				
<b>Wuchsregion</b>	<b>Funktionsparameter</b>			<b>Bestimmtheitsmaß R<sup>2</sup></b>
	<b>a<sub>2</sub></b>	<b>k<sub>2</sub></b>	<b>p<sub>2</sub></b>	
Östliche Vorrhön	58.519902	0.00963437	1.33391384	0.84819
Keuperhügelland	59.472620	0.00572826	0.81056847	0.65886
Keupersenkland	41.286639	0.01128892	0.86303942	0.39200
Südl. Albvorland	44.830792	0.01494595	1.15711035	0.64171
Frankenalb	96.410925	0.00188994	0.72070501	0.62140
Albabdachung	41.841379	0.00968301	0.83486892	0.51364
Oberfränkisches Triashügelland	63.087087	0.00220514	0.46085699	0.27248
Oberpfälzer Becken- und Hügelland	42.246973	0.00862587	0.77758012	0.44080
Waldsassener Schiefergebirge/ Wiesauer Senke	44.436076	0.01066180	1.22011521	0.54853

Tab. A-3: Funktionsparameter und Bestimmtheitsmaß (R<sup>2</sup>) zum Ausgleich der Grundflächen mit der CHAPMAN-RICHARDS-Funktion.

<b>Grundflächen (G)</b>				
<b>Wuchsregion</b>	<b>Funktionsparameter</b>			<b>Bestimmtheitsmaß R<sup>2</sup></b>
	<b>a<sub>3</sub></b>	<b>k<sub>3</sub></b>	<b>p<sub>3</sub></b>	
Östliche Vorrhön	32.0840097	0.02098147	0.2333	0.01805
Keuperhügelland	30.8441185	0.08673449	2.1695	0.02413
Keupersenkland	29.1519189	0.08881786	5.0000	0.02224
Südl. Albvorland	26.5831136	0.10436348	5.0000	0.05524
Frankenalb	26.7789213	0.09877203	3.7204	0.02022
Albabdachung	30.1609121	0.01885678	0.2329	0.01349
Oberfränkisches Triashügelland	27.3248481	0.15772643	-2769.5034	0.00739
Oberpfälzer Becken- und Hügelland	28.1525976	0.02561602	0.6738	0.02322
Waldsassener Schiefergebirge/ Wiesauer Senke	24.2436614	0.00066555	-0.0522	0.00087

Tab. A-4: Funktionsparameter und Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ) zum Ausgleich der Stammzahlen mit einer Potenz-Funktion

<b>Stammzahlen (N)</b>			
<b>Wuchsregion</b>	<b>Funktionsparameter</b>		<b>Bestimmtheitsmaß <math>R^2</math></b>
	<b><math>a_4</math></b>	<b>b</b>	
Östliche Vorrhön	2.05168546	4985619.570	0.78672
Keuperhügelland	1.74413464	1171535.420	0.51427
Keupersenkenland	1.62747653	704623.329	0.42866
Südl. Albvorland	1.50994102	312089.413	0.54580
Frankenalb	1.49340254	449080.785	0.46899
Alabdachung	1.30293536	194416.595	0.65172
Oberfränkisches Triashügelland	0.86134405	22247.083	0.11932
Oberpfälzer Becken- und Hügelland	1.26418752	155812.712	0.40374
Waldsassener Schiefergebirge/ Wiesauer Senke	1.26496609	185572.043	0.27457

Tab. A-5: Funktionsparameter und Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ) zum Ausgleich der Grundflächen über der Oberhöhe zur Bestimmung der mittleren Grundflächen mit einem Polynom 2. Grades.

<b>Grundflächen über der Oberhöhe (G(M))</b>				
<b>(Teil-) Wuchsbezirk</b>		<b>Funktionsparameter</b>		
		<b><math>a_1</math></b>	<b><math>a_2</math></b>	<b><math>a_3</math></b>
Östliche Vorrhön	3.1/2	27.6664839	-0.30674120	0.0182540
Itz-Baunach-Hügelland	5.4	4.0259534	1.96706762	-0.0345345
Nördliche Keuperabdachung	5.5	4.0259534	1.96706762	-0.0345345
Südliche Keuperabdachung	5.6	4.0259534	1.96706762	-0.0345345
Regnitzsenke/ Rezat-Rednitzsenke	5.5/1,5.6/1	-10.8981680	3.12253778	-0.0590502
Südliches Albvorland	5.8	-10.9709740	3.41712210	-0.0759288
Nördliche Frankenalb	6.1	12.7865731	0.95228724	-0.0140431
Südliche Frankenalb	6.2	12.7865731	0.95228724	-0.0140431
Oberfränkisches Braunjuragebiet	6.4	8.0298001	0.97383134	-0.0023834
Oberpfälzer Jurarand	6.5	8.0298001	0.97383134	-0.0023834
Bruchschollenland	7.1	-5.2217930	2.04005893	-0.0281804
Obermainhügelland	7.2	-5.2217930	2.04005893	-0.0281804
Oberpfälzer Becken- und Hügelland	9.1	-2.0045163	2.03433477	-0.0334334
Waldsass. Schiefergeb./Wiesauer Senke	10.2	-79.3746300	8.75742640	-0.1756317

Tab. A-6: Ziffernsystem zur Codierung der Standorteinheiten (Bayern, außer Hochgebirge).

<b>Gliederung der Standorteinheiten</b> (Bayern, außer Hochgebirge)		
<b>1. Ziffer: Bodenart+Schichtung</b>	<b>2. Ziffer: besondere Merkmale</b>	<b>3. Ziffer: Wasserhaushalt</b>
0 Sand, Kies, Geröll, Fels-Blockwerk	0 normal	0 (sehr) trocken
1 lehmiger Sand, sandiger Lehm	1 nährstoffarm, podsoliert	1 mäßig trocken, grund wechselfeucht
2 Lehm ( $\pm$ Steinanteil)	2 nährstoffreich	2 mäßig frisch, mäßig grundfrisch, mäßig hangfrisch
3 Feinlehm, Schlufflehm, Schluff	3 humusreich	3 mäßig frisch-frisch, grundfrisch, frühjahrsfrisch
4 Tonlehm, milder Ton, incl. KVL	4 Kalk oberhalb 50 cm	4 (sehr) frisch, hangfrisch, (mä.) grundfeucht
5 strenger Ton	5 Kalk in 50 – 100 cm Tiefe	5 hangwasserzünftig, quellfrisch, wechselnd hangfeucht
6 Decksand, -lehm (Ton in 10-30 cm anstehend)	6 tongründig	6 mäßig wechselfeucht
7 Schichtsand (Ton in 30-60 cm anstehend)	7 Verdichtung im Unterboden	7 mäßig wechselfeucht
8 Schichtlehm	8 Hanglage	8 wechselfeucht, stark wechselfeucht
9 Moor	9 anmoorig	9 feucht

## **Lebenslauf**

Geburtsdatum: 12.06.1968

Geburtsort: Köln

1974-1987: Grundschule der Stadt Köln

Gymnasium Köln-Porz, Abschluss mit der Allgemeinen Hochschulreife

1987-1989: Vorbereitungsdienst für die Laufbahn des mittleren Justizdienstes beim Oberlandesgericht Köln; Abschluss mit dem Befähigungszeugnis für den mittleren Justizdienst

1989-1995: Studium der Forstwissenschaften an der Ludwig-Maximilians-Universität München

1995-1997: Vorbereitungsdienst als Forstreferendarin bei der Bayerischen Staatsforstverwaltung; Ablegung der Großen Forstlichen Staatsprüfung im Mai 1997

1997-2000: Wissenschaftliche Angestellte am Lehrstuhl für Waldwachstumskunde, Departement für Ökosystem- und Landschaftsmanagement, Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt, TU München

## **Erklärung**

Ich versichere hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig angefertigt und keine anderen als die angegebenen Quellen und Anregungen verwendet habe.

Freising, im April 2001