

Mitteilungen aus der Bayerischen Staatsforstverwaltung

Heft XX

**Die Kiefer im Rein- und Mischbestand
Produktivität, Variabilität, Wachstumstrend**

Elke Küsters, Martin Bachmann,
Gerhard Schütze, Heinz Utschig, Hans Pretzsch

München 2004

Vorwort

Vorliegender Band fasst ertragskundliche Arbeiten über die Kiefer zusammen, die in den Jahren 2000 bis 2003 am Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Technischen Universität München entstanden. Die darin gebündelten Aussagen über Produktivität und Wachstumstrend der Kiefer (Teil I) stützen sich auf langfristige Versuchsflächen in Bayern, die mit einer Beobachtungsdauer von über 100 Jahren zu den ältesten Versuchsflächen der Welt zählen. Der Zusammenhang zwischen Provenienz und Wachstum der Kiefer (Teil II) wird auf der Grundlage von Herkunftsversuchen durchleuchtet, die auf die erste Hälfte des zurückliegenden Jahrhunderts zurück gehen. Dabei handelt es sich überwiegend um Versuchsflächen des ehemaligen Lehrstuhls für Forstpflanzenzüchtung und Immissionsforschung. Nach dessen Auflösung wurden ausgewählte Herkunftsversuche in das ertragskundliche Versuchsflächennetz des Lehrstuhls für Waldwachstumskunde übernommen und erstmals zusammenfassend ausgewertet. Das Wachstum der Kiefer im Mischbestand wird auf der Basis von Wuchsreihen untersucht (Teil III). Das in der Vergangenheit im Wesentlichen auf die Begründung und Behandlung von Reinbeständen ausgerichtete ertragskundliche Versuchswesen wurde in den zurückliegenden 20 Jahren systematisch um Mischbestandsversuche erweitert. Heute können wir auf ein Netzwerk von ca. 100 Versuchsanlagen in Mischbeständen zurückgreifen, die in ihrem Anlage- und Aufnahmekonzept höchsten Anforderungen gerecht werden und alle vorherrschenden Baumartenmischungen und wichtigen Standorte in Bayern abdecken. Die aus den Ergebnissen dieser Untersuchung ableitbaren Folgerungen und Konsequenzen für die Behandlung von Rein- und Mischbeständen mit Kiefer werden im Teil IV zusammenfassend behandelt. Die Praxisrelevanz der Ergebnisse steht im Mittelpunkt der Betrachtung.

Die Kiefer ist mit einem Anteil an der Waldfläche von ca. 25 % nach der Fichte die zweithäufigste Baumart in Bayern. Mit vorliegender Publikation wollen wir einem größeren Leserkreis aktuelle Struktur- und Leistungsdaten zur Kiefer zugänglich machen. Eine entsprechende Veröffentlichung zum Wachstum der Fichte in Heft 49 der Mitteilungen aus der Bayerischen Staatsforstverwaltung im Jahr 2000 wird rege nachgefragt. Aufgrund dieses Interesses planen wir für die Jahre 2005 bis 2007 ähnliche Monografien über das Wachstum der Baumarten Buche und Eiche.

Teil I des vorliegenden Bandes geht auf die Dissertation von Elke Küsters zum Thema „Wachstumstrends der Kiefer in Bayern“ zurück. In Teil II stellt M. Bachmann die Ergebnisse der Provenienzversuche zur Kiefer in Bayern von 1950/51 vor. In Teil III werden von G. Schütze

und H. Pretzsch Wachstumsmerkmale von Kiefern-Mischbeständen dargestellt. Im Teil IV fassen Heinz Utschig und Elke Küsters die Ergebnisse aus den vorangegangenen Teilen in den Folgerungen für die Praxis zusammen.

Für die Förderung der Untersuchungen danken wir dem Bayerischen Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten (Projekte W 07, W 28 und W 31) und der Deutschen Forschungsgemeinschaft (Sonderforschungsbereich 607).

Freising, 01. 12. 2003

Hans Pretzsch

Inhaltsverzeichnis

I	Die Kiefer im Reinbestand: Produktivität und Wachstumstrend	1
1	Zusammenfassung	3
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	17
4.1	Permanente Stichprobeninventur	17
4.2	Langfristig beobachtete Versuchsflächen	22
4.3	Einzelbaumanalysen	25
5	Methodische Grundlagen	28
5.1	Beschreibung des Wachstums mit Hilfe von Wachstumsfunktionen	28
5.1.1	Aufbau und Auswahl einer geeigneten Funktion	28
5.1.2	Modifizierung der KORF-Funktion	30
5.2	Methoden zur Identifizierung von Wachstumstrends	33
5.2.1	Ertragstafelvergleich	34
5.2.2	Vergleich des Wachstums in den Zeiträumen bis 1960 und nach 1960	39
5.2.3	Wachstum in unterschiedlichen Kalenderzeiträumen (Methode des konstanten Alters)	40
5.3	Prognose des Wachstums mit dem Wuchsmodell SILVA 2.2	41
5.3.1	Allgemeine Beschreibung von SILVA 2.2	42
5.3.2	Fortschreibung von Inventurdaten auf Wuchsbezirksebene	45
6	Wachstumsbefunde in unterschiedlichen Regionen Bayerns	51
6.1	Überblick über die regionaltypischen Reaktionsmuster	51
6.1.1	Östliche Vorrhön	52
6.1.2	Keuperbergland	54
6.1.3	Keuperhügelland	56
6.1.4	Keupersenkland	59
6.1.5	Südliches Albvorland	61
6.1.6	Frankenalb	64

6.1.7	Albabdachung	66
6.1.8	Oberfränkisches Triashügelland	68
6.1.9	Oberpfälzer Becken- und Hügelland	70
6.1.10	Waldsassener Schiefergebiet/Wiesauer Senke	74
6.1.11	Münchner Schotterebene	76
6.2	Vergleichende Betrachtung der Regionen	78
6.2.1	Mittelhöhe	78
6.2.2	Durchschnittliche Alter	80
6.2.3	Durchschnittliche Ertragsklassen	81
6.2.4	Bestandesgrundflächen, Bestockungsgrade und Vorräte	82
6.3	Zuwachsbefunde aus der Wiederholungsinventur	86
6.4	Zusammenfassung der regionaltypischen Reaktionsmuster	92
7	Einfluss von Standortfaktoren auf das Wachstum	96
7.1	Analyse des Höhenwachstums anhand der Daten aus der permanenten Stichprobeninventur	96
7.1.1	Untersuchte ertragskundliche Variable	96
7.1.2	Untersuchte Standortvariablen	98
7.1.3	Varianzanalytische Untersuchung des Standorteinflusses	99
7.1.4	Beschreibung des Höhenwachstums in Abhängigkeit von den Standortfaktoren	103
7.2	Analyse wichtiger Wachstumsgrößen anhand der Daten aus den langfristig beobachteten Versuchsflächen	105
7.2.1	Untersuchte ertragskundliche Variablen	105
7.2.2	Untersuchte Standortvariablen	107
7.2.3	Statistische Analyse des Standorteinflusses	110
7.2.4	Bildung von Standortgruppen und Darstellung der Entwicklungsverläufe	119
7.3	Typische Reaktionsmuster auf Einzelbaumebene	124
7.3.1	Analyse des Zuwachsverhaltens der Probebäume	125
7.3.2	Schlankheitsgrade	128
7.3.3	Untersuchung der Schaftform	129
8	Identifikation und Quantifizierung von Wachstumstrends	134
8.1	Vergleich des Wachstums mit der Ertragstafel von WIEDEMANN	134
8.1.1	Verwendetes Datenmaterial	134

8.1.2	Prozentuales Verhältnis der beobachteten Werte zu den Erwartungswerten der Ertragstafel von WIEDEMANN.	135
8.1.3	Linearer Ausgleich des prozentualen Verhältnisses zu den Erwartungswerten der Ertragstafel in Abhängigkeit von Alter, Bonität und Bestockungsgrad	137
8.2	Vergleich des Wachstums in den Zeiträumen bis 1960 und nach 1960	139
8.2.1	Verwendetes Datenmaterial	139
8.2.2	Betrachtung wichtiger waldwachstumskundlicher Kennwerte	139
8.2.3	Beschreibung der Zuwachsgrößen	141
8.2.4	Einfluss der Dichte auf den Volumenzuwachs	143
8.2.5	Funktionaler Ausgleich des Volumenzuwachses unter Berücksichtigung der Bestandesdichte	145
8.2.6	Prozentuales Verhältnis des Volumenzuwachses nach 1960 zum Zeitraum bis 1960	146
8.2.7	Einfluss des Standortes auf die festgestellten Wachstumsänderungen	149
8.2.8	Funktionaler Ausgleich des Volumenzuwachses unter Berücksichtigung der Bestandesdichte und des Standortes	154
8.3	Veränderung des alterstypischen Baumzuwachses (Methode des konstanten Alters)	157
8.3.1	Fränkischer Keuper und Albvorland (WG 5)	157
8.3.2	Frankenalb und Oberpfälzer Jura (WG 6)	159
8.3.3	Oberpfälzer Becken- und Hügelland (WG 9)	161
8.3.4	Oberpfälzer Wald (WG 10)	163
8.3.5	Zusammenfassender Überblick und Resümee	164
9	Wuchspotential der Kiefer unter heutigen Standortsbedingungen	166
9.1	Prognostizierte Oberhöhen im Alter 140 Jahre	167
9.2	Prognostizierter durchschnittlicher Gesamtzuwachs im Alter 140 Jahre	168
9.3	Einfluss der Standortparameter auf die Wachstumsprognose	171
10	Wachstum der Kiefer unter veränderten Klimabedingungen	173
10.1	Veränderung der Klimabedingungen	173
10.2	Auswahl der Klimaszenarien	174
10.3	Ergebnisse der Szenariorechnungen	175
10.4	Einfluss der Klimavariablen bei den Szenariorechnungen	177
11	Zusammenfassende Betrachtung und Diskussion	180
11.1	Wachstumsbefunde der Kiefer in Bayern	180

11.2	Einfluss von Standortfaktoren auf das Wachstum	182
11.3	Verändertes Wuchsverhalten der bayerischen Kiefernbestände	183
11.3.1	Bonitätsveränderungen	183
11.3.2	Veränderungen des Zuwachsdynamik	184
11.3.3	Reaktionsmuster auf verschiedenen Standorten	187
11.3.4	Zuwachsverhältnisse am Schaft	188
11.3.5	Erklärungsansätze	188
11.4	Wuchspotential unter veränderten Klimabedingungen	191
11.5	Zusammenfassende Überprüfung der Hypothesen	192
12	Literaturverzeichnis	195
II:	Provenienz und Wachstum	205
1	Zusammenfassung	207
2	Einleitung	208
3	Die Bayerischen Kiefernherkunftsversuche von 1950/51	210
3.1	Zielsetzung	210
3.2	Material	210
3.2.1	Versuchsanlage	210
3.2.2	Versuchsbehandlung	212
3.3	Methoden	213
3.3.1	Aufnahmekonzept	213
3.3.2	Ausgleich standörtlicher Inhomogenitäten mit Hilfe der „Standardstreifen“	214
3.3.3	Auswertungskonzept	215
3.4	Ergebnisse	216
3.4.1	Natürliche Mortalität	216
3.4.2	Quantitative Befunde	218
3.4.3	Qualitative Befunde der Beobachtungsjahre 1997 bis 1999	221
3.4.4	Bewertung durch Verknüpfung von Quantität und Qualität	222
3.4.5	Diskussion und Ausblick	224
4	Literatur	228
III:	Die Kiefer im Mischbestand	231
1	Zusammenfassung	233
1.1	Diversität und Produktivität von Wäldern	233

1.2	Wuchsreihen als unechte Zeitreihen	233
1.3	Kiefern/Buchen- und Kiefern/Fichten-Wuchsreihen	234
1.4	Ertragskundliche Zuwachs- und Zustandsdaten	235
1.5	Selbstdifferenzierung im Rein- und Mischbestand	235
1.6	Standfläche und Grundflächenzuwachs	236
1.7	Quantifizierung des Mischungseffekts auf Einzelbaumebene	236
1.8	Zuwachsverteilung auf die Bestandesglieder	236
1.9	Radialzuwachs als Indikator für Umwelt- und Klimaänderungen	237
2	Diversität und Produktivität von Wäldern	238
2.1	Geschichte der Mischbestandsfrage	238
2.2	Theorie	240
2.2.1	Ökologische Nische, Standort-Leistungs-Relation	240
2.2.2	Quantifizierung von Wechselwirkungseffekten	242
2.2.3	Leistungsgewinne durch Risikostreuung und Diversifikation	244
2.3	Empirie	244
2.3.1	Leistungsrelation zwischen den Mischbaumarten	244
2.3.2	Leistungsrelation in Abhängigkeit vom Standort	246
2.3.3	Archetypische Mischungsreaktionen	248
2.3.4	Störungen, waldbauliche Behandlung	251
2.4	Diskussion	253
3	Wuchsreihen als unechte Zeitreihen	258
3.1	Wuchsreihen zur Erfassung der Struktur und Leistung von Mischbeständen	258
3.2	Wiederholungsaufnahmen	260
4	Kiefern/Buchen- und Kiefern/Fichten-Wuchsreihen	261
4.1	Übersicht über Lage und Standort der Kiefern/Buchen- und Kiefern/Fichten-Wuchsreihen	264
4.1.1	Wuchsreihe Geisenfeld 832	265
4.1.2	Wuchsreihe Neuburg 841	266
4.1.3	Wuchsreihe Amberg 833	267
4.2	Bestandesbegründung und Bestandesstruktur	269
5	Ertragskundliche Zustands- und Zuwachsdaten	272
5.1	Ertragskundliche Basisdaten	272
5.1.1	Wuchsreihe Geisenfeld 832	273
5.1.2	Wuchsreihe Amberg 833	278
5.1.3	Wuchsreihe Neuburg 841	281

5.2	Altersverläufe von Vorrat und Volumenzuwachs	284
5.2.1	Absoluter Vorrat und Zuwachs	284
5.2.2	Relativierung von Vorrat und Zuwachs über die Trockenmasse	286
6	Selbstdifferenzierung im Rein- und Mischbestand	289
6.1	Stammzahl-Durchmesser-Allometrie	289
6.2	Allometrikoeffizient und Selbstdifferenzierung	292
7	Standfläche und Grundflächenzuwachs von Kiefer und Buche	295
7.1	Bestimmung der Standflächen über Voronoi-Diagramme	295
7.2	Standfläche und Grundflächenzuwachs	297
7.3	Standfläche und standflächenbezogene Produktivität	297
8	Quantifizierung des Mischungseffekts auf Einzelbaumebene	299
8.1	Analyse des Mischungseffektes	299
8.2	Auswirkung der Mischung auf den Zuwachs von Einzelbäumen	302
9	Zuwachsverteilung auf die Bestandesglieder	309
9.1	Ausgleichsfunktion zwischen Zuwachs und Baumdimension	309
9.2	Durchmesserzuwachsfunktion und Bestandesdichte	311
10	Radialzuwachs als Indikator für Umwelt- und Klimaänderungen	315
10.1	Jahrringanalysen	315
10.2	Veränderungen des Radialzuwachses in verschiedenen Kalenderzeiträumen (Methode des konstanten Alters)	316
10.3	Einfluss des Alters auf die Jahrringbreite	318
11	Literatur	321
IV:	Folgerungen für die forstliche Praxis	327
1	Zusammenfassung	329
2	Folgerungen für die forstliche Praxis	330
2.1	Bestandesdynamik unter geänderten Wuchsbedingungen	330
2.2	Trennung der Effekte Wachstumstrend und Dimensionssteigerung durch Durchforstung	332
2.3	Konsequenzen für die Bestandesbehandlung in gleichaltrigen Kiefern- Reinbeständen	336
2.4	Konsequenzen für die Behandlung von Kiefern-Mischbeständen	340
3	Literatur	343

TEIL I: Die Kiefer im Reinbestand: Produktivität und Wachstumstrend

Elke Küsters

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. In einem zweiten Schritt folgt die Identifizierung und Quantifizierung von Veränderungen im Wachstumsgang und Leistungspotential der Kiefer. Hierbei wird versucht, die Art und das Ausmaß festgestellter Wachstumstrends in Abhängigkeit von herrschenden Standortsbedingungen zu beschreiben. 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 stellte, 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 können.

Der Datenfundus aus den teilweise schon zu Beginn des letzten Jahrhunderts angelegten und in regelmäßigen Abständen aufgenommenen langfristigen Versuchsflächen der Bayerischen Staatsforstverwaltung, 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). Das Wachstum auf diesen Parzellen wurde während eines Beobachtungszeitraumes von 1900 bis 2000 untersucht. Weiterhin werden Einzelbaumanalysen von insgesamt 1900 Bäumen verwendet, bei denen vor allem die Entwicklung des Radialzuwachses analysiert wird. Für ausgewählte Probebäume 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 wichtige Wachstums- und Zuwachsgrößen beschrieben.

Die Identifizierung und Quantifizierung von Wachstumstrends erfolgt anhand dreier unterschiedlicher methodischer Ansätze. Hierzu gehört der Vergleich der beobachteten Bestandeswerte mit den Erwartungswerten der Ertragstafel von WIEDEMANN (1943, mäßige Durchforstung), der Vergleich des Wuchsverhaltens im Zeitraum von 1961 bis 2000 mit den Wuchsverläufen im Zeitraum von 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

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. In Gebieten mit geringeren Niederschlägen und einem hohen Anteil an nährstoffarmen Böden, wie dem Oberpfälzer Becken- und Hügelland, werden im Alter von 140 Jahren durchschnittliche Höhen von 22.9 m erreicht, während im niederschlagsbegünstigten Albvorland mit einem höheren Anteil an nährstoffreichen Tonleihen die durchschnittlichen Höhen bei 25.0 m liegen. Auf gut wasser- und nährstoffversorgten Böden können Kiefernbestände im Alter von 120 Jahren Mittelhöhen über 35.0 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

unterscheiden sich 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 Alborland. 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 Verhältnisse, 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. Ertragsklasse der Ertragstafel von WIEDEMANN (1943, mäßige Durchforstung). Im Alter von 120 Jahren werden noch Zuwächse zwischen 6 - 10 VfmD/ha/a erreicht. Die höchsten Zuwachswerte finden sich im Alborland und erstaunlicherweise im Oberpfälzer Becken- und Hügelland.

Veränderungen im Wachstumsgang und Leistungspotential durch großräumig einwirkende Umwelteinflüsse

In allen Regionen konnte ein verändertes Wuchsverhalten festgestellt werden, was ein deutlicher Indikator für großräumig veränderte Wuchsbedingungen ist. Sowohl bei Betrachtung der Höhen- als auch der Zuwachsentwicklung zeigt sich ein hohes, weiterhin ansteigendes Leistungsniveau. In jeder Region liegen auf vergleichbaren Standorten die Bonitäten heute junger Bestände um 1.2 bis 2.7 Ertragsklassen höher als die Bonitäten alter Bestände. Der Verlauf der Höhenentwicklung auf den langfristigen Versuchsflächen weist ebenfalls eine zunehmende Verbesserung der Bonitäten auf. Das prozentuale Verhältnis des Volumenzuwachses zur Ertragstafel von WIEDEMANN kann bis zu 212 % erreichen. In den letzten 40 Jahren leisteten die Bestände durchschnittlich 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 Höhenwachstumskurven folgen bis zu diesem Zeitpunkt weitgehend dem Ertragstafelverlauf und weichen dann zunehmend davon ab. Zu vergleichbaren Ergebnissen führt der Zeitraumvergleich und die Analyse der Einzelbaumentwicklungen.

Wird das mögliche Wuchspotential eines Kiefernbestandes unter heutigen Bedingungen untersucht, zeigen sich deutliche höhere Wuchsleistungen als bisher. Im Albvorland können unter den heutigen Bedingungen Mittelhöhen über 36.0 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 Gesamtzuwächse im Alter von 140 Jahren liegen zwischen 7 und 8 VfmD/ha/a.

Art und Ausmaß der Wachstumsänderungen in Abhängigkeit von den herrschenden Standortbedingungen

Die Art und das Ausmaß der veränderten Wuchsverläufe sind von den herrschenden standörtlichen Faktoren abhängig. Je ungünstiger sich ein Standort hinsichtlich des Nährstoff-, insbesondere des Stickstoffangebotes darstellt, um so höher ist die Abweichung vom Referenzverlauf. Auf ungünstigeren Standorten betragen die Differenzen des Volumenzuwachses von der Ertragstafel von WIEDEMANN über 200 %, während bessere Standorte nur Abweichungen von ca. 100 % aufweisen. In den letzten 40 Jahren wurde auf ungünstigeren Standorten im Alter von 90 Jahren eine Mehrleistung von 3.2 VfmD/ha/a erbracht, während auf mittleren Standorten nur Verbesserungen von 1.4 VfmD/ha/a erreicht wurden. Die Zuwachswerte 90jähriger Bestände liegen bei ungünstigeren Standorten bei 8.3 und bei besseren bei 8.5 VfmD/ha/a, zeigen also kaum noch Unterschiede im Leistungsniveau.

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 keine oder nur eine schwach positiv gerichtete Veränderung. Werden zusätzlich die Niederschläge um 10 % abgesenkt, reagiert die Kiefer in den einzelnen Regionen unterschiedlich, wobei die maximalen negativen Abweichungen von den heutigen Werten bei 17 % liegen. Die Verschlechterung der Wuchsleistung ist um so größer, je ungünstiger die Wasserhaushaltsituation bisher war. So sind die größten prozentualen Abweichungen im Oberpfälzer Becken- und Hügelland, in der Frankenalb und im Waldsassener Schiefergebiet/Wiesauer Senke zu finden.

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 CO₂-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 kurz- und langfristige Umweltveränderungen.

Mit einem Baumartenanteil von ca. 23% (BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR WALD UND FORSTWIRTSCHAFT, 1990) ist die Kiefer nach der Fichte die häufigste Baumart in Bayern, weshalb Untersuchungen über ihr Wuchsverhalten nach wie vor von großer Bedeutung sind. 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 oder war auf solchen Böden durch Mangel gekennzeichnet und veränderte Umweltbedingungen lassen gerade bei dieser Baumart stärkere Reaktionen erwarten.

Diese Arbeit soll dazu beitragen, aktuelle Wachstumsbefunde aufzuzeigen und das gegenwärtige Wuchsverhalten der Kiefer zusammenfassend 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, 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-Ertragstafeln 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 atmosphärischen Immissionen an Schwefeldioxid fest und HOFMANN et al. (1990) finden Zuwachsrückgänge in Beständen mit hoher atmosphärischer N-Belastung. Waldbäume bzw. -bestände 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).

Ebenfalls seit den achtziger Jahren 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 Ertragselementen ab Mitte der sechziger Jahre die Wirkung wachstumsfördernder Einflussfaktoren wie möglicherweise die nachlassende Streunutzung, wachstumsförderliche Klimabedingungen, erhöhtes Kohlendioxid-Angebot und zunehmender Stickstoffeintrag widerspiegeln. 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 neben Zuwachsrückgängen bei

Immisionsbelastungen auch 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 derzeitige und das zu erwartende künftige Wachstumsverhalten unserer Wälder unter veränderten Klimabedingungen 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 z.B. auf die Bemessung der Umtriebszeiten, der Zieldurchmesser, die Durchforstungsintervalle oder die Durchforstungsstärken aber auch auf die langfristigen Nährstoffbilanzen von forstlich genutzten Waldökosystemen auswirken.

2.3 Zielsetzung

Das Ziel dieser Arbeit ist daher 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.
2. Die in den letzten Jahrzehnten verstärkt großräumig einwirkenden Umwelteinflüsse verursachen quantifizierbare Veränderungen im Wachstumsgang und Leistungspotential der Kiefer.
3. Art und Ausmaß der Wachstumsveränderungen unterscheiden sich in Abhängigkeit von den herrschenden Standortbedingungen.
4. Klimaveränderungen lösen definierte Wachstumsreaktionen aus.

Für die Überprüfung dieser Hypothesen 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 stellte, 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 der Bayerischen Staatsforstverwaltung, 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 Schaftformen zulassen.

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 Probestämme 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 Ertragstafel von WIEDEMANN (1943, mäßige Durchforstung) 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 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.

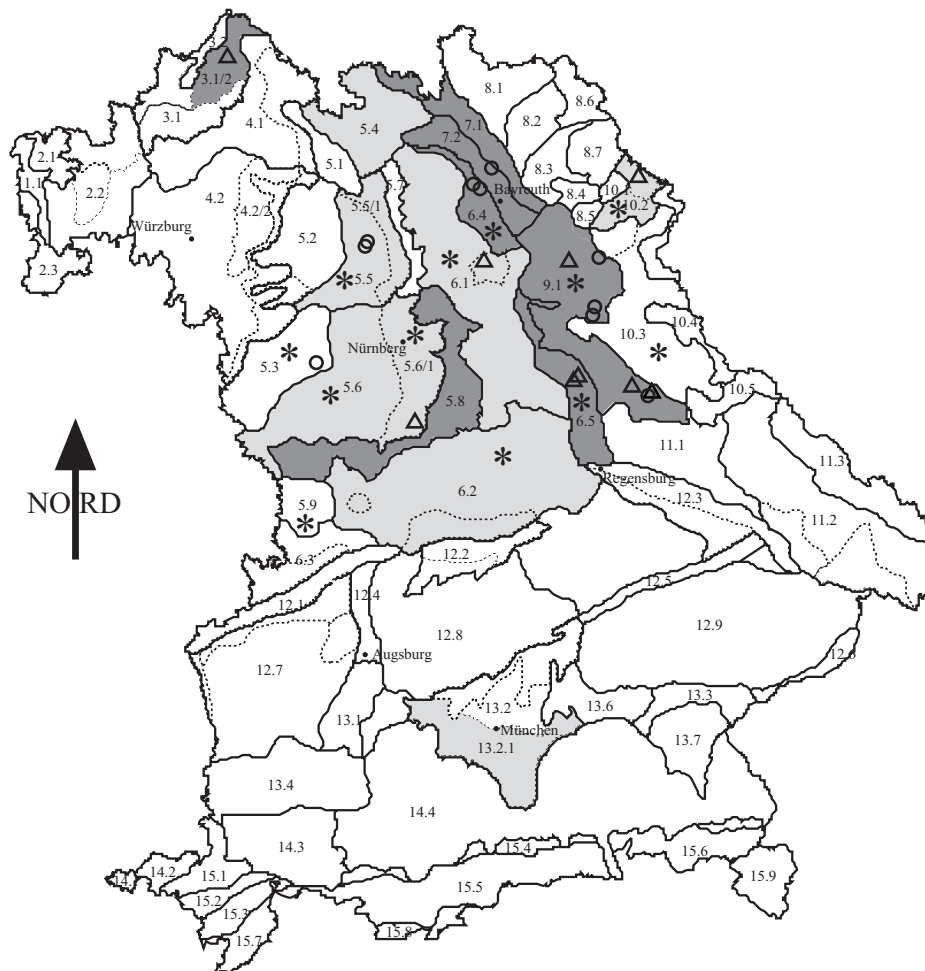


Abb. 3.1-1: Lage des verwendeten Datenmaterials in den Wuchsbezirken Bayerns (Sterne=Wuchsbezirke mit Einzelbaumanalysen; Dreiecke=Düngungsversuche; Kreise=Durchforstungsversuche; grau hinterlegte Wuchsbezirke kennzeichnen Gebiete, in denen die Daten aus der Stichprobeninventur ausgewertet wurden (Hellgrau: 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 Versuchspartellen 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 Kiefernanteil, 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 Inventurpunkt (Inv.pkt.) aus der jüngsten Forsteinrichtungsperiode (jüngste FE-Periode), der Wiederholungsinventur (Wdh.-Inventur), der Anzahl Parzellen aus dem Ertragskundlichen Versuchswesen (Langfr. Vfl.) und der Zahl der untersuchten Einzelbäume.

Wuchsgebiet (Landschaftsgruppe, Wuchsbezirk, Teilwuchsbezirk)	Jüngste FE-Periode Inv.pkt (%)	Wdh.-Inventur Inv.pkt (%)	Langfr. Vfl. Parzellen (%)	Einzelbäume Bäume (%)
Rhön (3) Östliche Vorrhön (3.1/2)	109 (1.2)	375 (18.3)	2 (2.9)	
Fränkischer Keuper und Albvorland (5) 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) Ries (5.9)	1935 (20.8) 2672 (28.8) 190 (2.1)	219 (10.7)	2 (2.9) 4 (5.7) 3 (4.2)	17 (0.9) 200 (10.5) 3 (0.2) 59 (3.1)
Frankenalb und Oberpfälzer Jura (6) Frankenalb (6.1;6.2) Albabdachung (6.4;6.5)	366 (3.9) 426 (4.6)	276 (13.5)	2 (2.9) 8 (11.4)	299 (15.8) 445 (23.4)
Oberfränkisches Triashügelland (7) Bruchschollenland/Obermainhügelland (7.1;7.2)	160 (1.7)	503 (24.6)	2 (2.9)	
Oberpfälzer Becken- und Hügelland (9) Oberpfälzer Becken- und Hügelland (9.1)	3183 (34.3)	675 (32.9)	40 (57.1)	612 (32.2)
Oberpfälzer Wald (10) Waldsassener Schiefergebiet/Wiesauer Senke (10.2) Vorderer Oberpfälzer Wald (10.3)	138 (1.5)		7 (10.0)	4 (0.2) 261 (13.7)
Schwäb.-Bayer. Schotterplatten- und Altmoränenlandschaft (13) Münchner Schotterebene (13.2)	102 (1.1)			
Summe	9281 (100)	2048 (100)	70 (100)	1900 (100)

3.2 Standörtliche Verhältnisse

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. Beim Wuchsbezirk 10.3 bestehen keine Angaben für die Höhenlagen, da hier nur Bohrspananalysen vorliegen, für die keine näheren standörtlichen Angaben gefunden wurden.

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)
	INV	VFL				
Rhön (3) Vorrhön (3.1)	400-600	440	12.5-15.5	120-170	17.0-18.0	290-470
Fränkische Platte (4) Südliche Fränkische Platte (4.2)	<400		14.0-17.0	160-180	18.0-18.5	280-390
Fränkischer Keuper u. Albvorland (5) 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
Keupersenkland (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
Frankenalb u. Oberpfälzer Jura (6) Frankenalb (6.1;6.2)	400-600	466	14.5-15.0	150-160	18.0-20.0	350-470
Albabdachung (6.4;6.5)	400-600	355-480	14.5-15.0	145-160	18.5-20.0	330-400
Oberfränkisches Triashügelland (7) Bruchschollenland, Obermainhügelland (7.1;7.2)	400-600	370	14.5-15.0	150-155	18.0-18.5	320-370
Oberpfälzer Becken- u. Hügelland (9) Oberpfälzer Becken- und Hügelland (9.1)	400-600	380-424	15.0-15.5	140-160	18.5-19.0	330-360
Oberpfälzer Wald (10) Waldsass. Schiefergeb./Wiesauer Senke; (10.2)	400-600	517-535	13.5-14.0	140-145	18.0-18.5	320-370
Vorderer Oberpfälzer Wald (10.3)			14.0-14.5	150-155	18.5-19.0	330-480
Schwäbisch-Bayerische Schotterplatten -u. Altmoränenlandschaft (13) 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 3.2-2 aufgelistet. Da bei der Stichprobeninventur nur die in größerem Umfang auftretenden Standortseinheiten aufgeführt sind, kann die Summe der Prozentangaben weniger als 100 % betragen.

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 dieser Untersuchung vom Lehrstuhl für Bodenkunde der Technischen Universität München eine neue Standortkartierung durchgeführt worden (REHFUESS et al., 2001). 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 länger zurückliegenden Standortkartierungen insbesondere für Kiefernstandorte der Wasserhaushalt tendenziell zu ungünstig angesprochen wurde (GULDER, 2000).

Für die Einzelbaumdaten aus dem Wuchsbezirk 10.3 (Vorderer Oberpfälzer Wald) sind keine Angaben zum Boden vorhanden.

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 Südliche Albvorland und die Albabdachung mit einem verstärkten Auftreten von Tonen und Tonlehmern bzw. Feinlehmern. Der Bodenwasserhaushalt schwankt zwischen trocken, mäßig trocken, mäßig frisch und frisch, mäßig wechselfeucht bis hin zu wechselfeucht.

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.

Wuchsgebiete (Landschaftsgruppen)	Langfristige Versuchsflächen	Stichprobeninventur
Rhön (3) Vorrhön (3.1)	- mä fr Sand (012)(100 %)	- mä tr Sande (31 %) - mä fr (Schicht-)Sande (38 %) - (mä) wefe (Schicht-) Sande (9 %)
Fränkischer Keuper u. Albvorland (5) Keuperbergland (5.1;5.2;5.3) Keuperhügelland (5.4;5.5;5.6) Keupersenkenland (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 wefr (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 Schichtsand (12 %) - mä fr-fr Tone (12 %) - mä wefe/wefe Tonlehme (15 %)
Frankenalb u. Oberpfälzer Jura (6) Frankenalb (6.1;6.2) Albabdachung (6.4;6.5)	- mä wefe Feinlehme (307) (100 %) - wefe Schichtlehme (808,828) (37 %) - mä tr Schichtlehme (311) (32 %) - mä wefr 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 %) - wefr (Fein-) Lehme (10 %)
Oberfränkisches Triasland (7) Bruchschollenland, Obermainhügelland (7.1;7.2)	- mä tr lehm. Sande (102) (100 %)	- mä tr Sande (22 %) - mä fr (Schicht-) Sande (52 %)
Oberpfälzer Becken- u. Hügelland (9) Oberpfälzer Becken- und Hügelland (9.1)	- tr Sande (010) (15 %) - mä tr Sande (011, 001) (67 %) - mä fr Sande (112) (8 %) - mä wefr 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 %)
Oberpfälzer Wald (10) 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 %)
Schwäbisch-Bayerische Schotterplatten- und Altmoränenlandschaft (13) Münchner Schotterebene (13.2)		- tr /mä tr (lehm.) Sande (89 %) - mä fr (lehm.) Sande (10 %)

4 Aufbereitung des Datenmaterials

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 Auswertungen.

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.

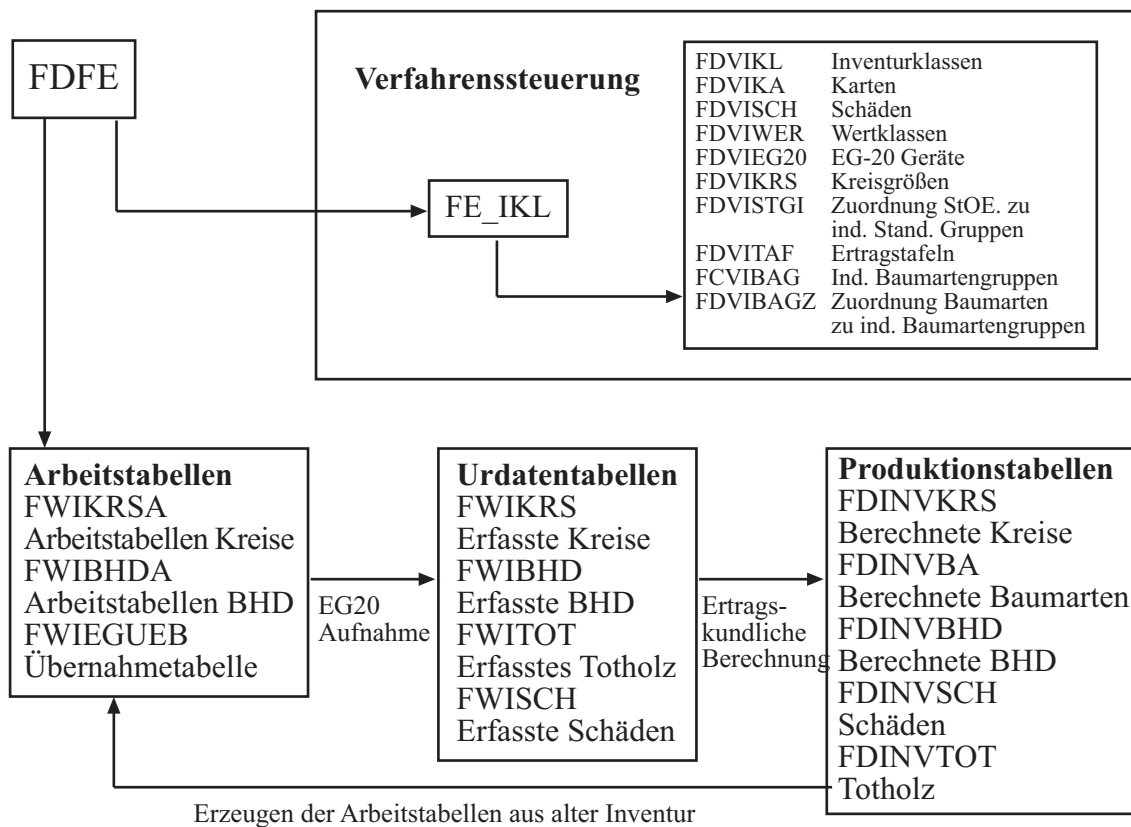


Abb. 4.1-1 : Ablauf der Inventur und Tabellen der Forsteinrichtungsdatenbank (verändert nach BAYSTMELF, 1997).

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 Standortsmerkmale 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: Bestandsschlüssel des Inventurkreises
- POL_WINK: Polarkoordinate Winkel
- POL_ENTF: Polarkoordinate Entfernung
- LFD_SATZ: Bestandesteilfläche, lfd. Flächennummer

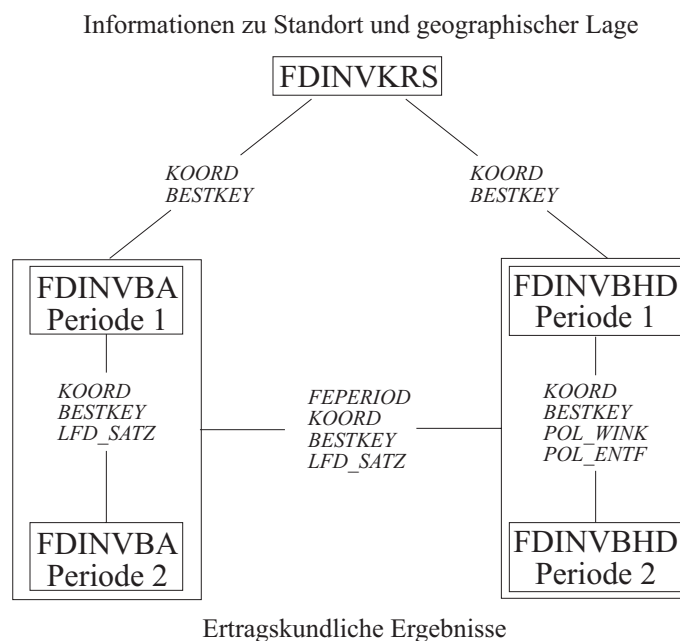


Abb. 4.1-2: Darstellung der verwendeten Dateien aus der Forsteinrichtungs-Datenbank und der zur Zusammenführung notwendigen Schlüsselvariablen (Erläuterung der Abkürzungen im Text).

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 die unvollständigen Datensätze aus der Datei entfernt. Weiterhin finden Inventurkreise mit negativen Einzelbaumzuwachsen (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 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 25 Forstämtern zur Verfügung (Tab. 4.1-1).

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

Forstamt	Forstdirektion	Forstamt	Forstdirektion
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 Kiefernvorkommen liegen. Um der Tatsache gerecht zu werden, dass eine Aussage um so repräsentativer ist, je höher die Stichprobenanzahl 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 drei verschiedene Situationen berücksichtigt werden (BAYSTMELF, 1997):

1. Zuwachs wiederholt gemessener Bäume
2. Zuwachs der Einwuchsbäume
3. Zuwachs ausgeschiedener 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 vorherigen Aufnahme nicht erfasst wurden, weil sie die in Abhängigkeit von der Probekreisgröße festgelegte Kluppschwelle noch nicht erreicht, diese jedoch während der zwischen den Inventuren liegenden Zeitperiode 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.

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 wurden 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 Brusthöhendurchmesser in Form einer Vollaufnahme, die Höhen und auch die Kronenansatzhöhen in Form einer Stichprobenaufnahme mit mindestens 30 Bäumen pro Parzelle gemessen. Zusätzlich wird in größeren Zeitabständen die soziale Stellung der Bäume registriert. Ab Mitte der 80er Jahre fanden auf einigen Flächen auch regelmäßige Schadstufenansprachen aller Bäume statt.

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	
Durchforstungs- und Standraumversuche										
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
Düngungsversuche										
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
Gesamt	22	145	70		210	1900	2000	12	152	

Plausibilitätsprüfungen

Insbesondere bei den Standraum- und Durchforstungsversuchen handelt es sich um Versuchsflächen, die seit sehr langer Zeit unter Beobachtung stehen. Lange Versuchsreihen beinhalten durch fehlerhafte Numeration, den Wechsel von Messgeräten oder der Aufnahmetrupps häufig unplausible Werte. Auch auf gut ausgewerteten Versuchsreihen, wie z.B. den Düngungsversuchsflächen (FOERSTER 1990) wird durch weitere Aufnahmen eine erneute Überprüfung des Datenmaterials erforderlich. 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 der 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 WWHOEHHE 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).

$$h = 1.3 + \left(\frac{BHD}{a + b \cdot BHD} \right)^3 \quad \text{Gleichung 4.2-1}$$

wobei:

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

Um einen Vergleich zwischen verschiedenen Aufnahmezeitpunkten zu ermöglichen wird an dieser Funktion auch dann festgehalten, wenn in Einzelfällen eine andere Funktion einen besseren Ausgleich erbringt. Tritt 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 werden 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.

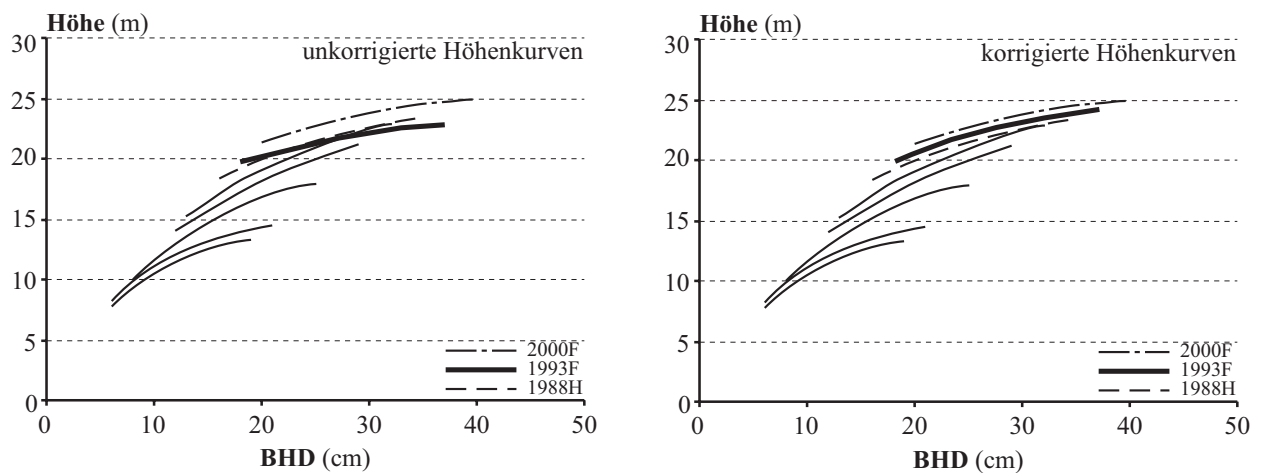


Abb. 4.2-1: Beispielhafte Darstellung der unkorrigierten (links) und korrigierten (rechts) Verlagerung der Bestandeshöhenkurven mit dem Alter für eine beispielhafte Versuchsflächenparzelle, Korrekturjahr 1993F

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 Durchforstungs- und Standraumversuche sowie der ungedüngten Kontrollparzellen der Düngungsversuche (insgesamt 70 Parzellen (Tab. 4.2-1)).

4.3 Einzelbaumanalysen

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 Zuwachstrendanalyseflächen (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 Digitalpositiometer 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'schen Baumklasse > 2 nicht berücksichtigt. Desweiteren sollen nur Bäume untersucht werden, die einen Nadelverlust von weniger als 30 % aufweisen, um schadbedingte Zuwachsvermindierungen 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 die Entwicklung des Volumenzuwachses 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 über die bekannten Entnahmehöhen der Stammscheiben rekonstruiert wird, und die Entwicklung der Formzahl, so dass schließlich umfassende Informationen über die Zuwachsentwicklung der untersuchten Bäume vorliegen.

Tab. 4.3-1: Vorstellung der für die Stammanalyse verwendeten Probebäume mit Versuchsfläche, Parzelle (PZ), Baumnummer (Nr.), Anzahl der entnommenen Stammscheiben, Alter bei der Entnahme, KRAFT'sche Baumklasse, Wuchsbezirk (WB) bzw. Teilwuchsbezirk (TWB).

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 eingetretener 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.

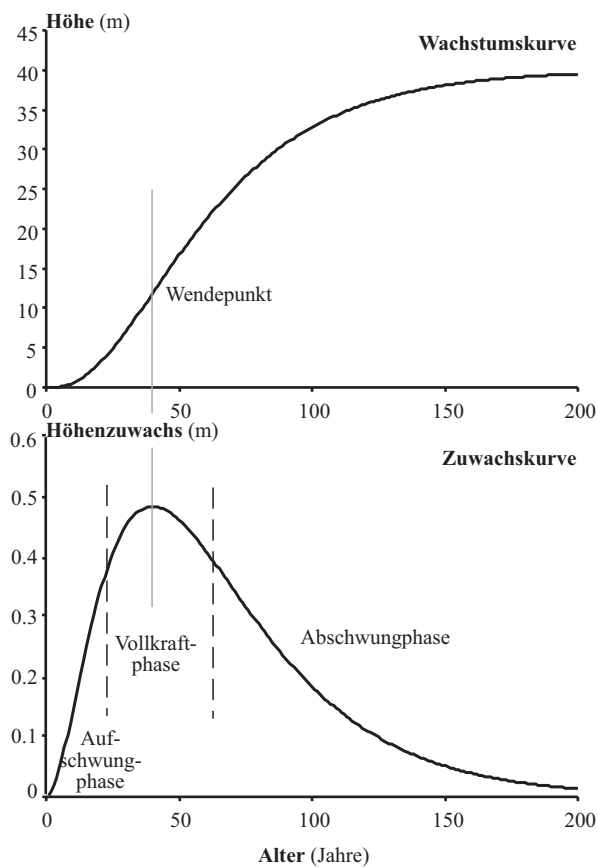


Abb. 5.1-1: Theoretische Darstellung des Verlaufs der Höhenentwicklung (Wachstumskurve) und des Zuwachses (Zuwachskurve) über dem Alter.

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 (KORF, 1939). 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 dazu verwendet, den Zusammenhang zwischen dem Bestandesalter und dem beobachteten Höhenwachstum bzw. Volumenzuwachs von Kiefernbeständen zu beschreiben.

Den Aufbau der KORF-Funktion (Wachstumsfunktion) und der ersten Ableitung davon (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 sind 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:

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

$$z_v = a_0 \cdot b \cdot c \cdot e^{-b \cdot t^{-c}} \cdot t^{-1-c} \cdot Dichte^{d_1}$$

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. Um das Verfahren überschaubar zu halten, wurde entschieden, die bei allen Datenquellen auftretende Vielzahl von Standortseinheiten bzw. Standortgruppen zu zwei Standortklassen zusammenzufassen („schlechter“ und „besserer“ Standort). Die Beschreibung der in den zwei Standortklassen enthaltenen Standortparameter findet sich in der Ergebnisdarstellung (Abschnitt 8.4). 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 in dem hier betrachteten Kontext lediglich die Werte 0 oder 1 annehmen. Jede Standortgruppe wird mit einer eigenen Dummy-Variablen belegt. Die Dummy-Variable derjenigen Standortgruppe, der ein konkreter Bestand angehört, nimmt den Wert 1 an, die andere Dummy-Variablen wird auf 0 gesetzt. Wird Gleichung 5.1-6 mit den Dummy-Variablen erweitert, ergibt sich die Gleichung 5.1-7:

$$z_v = (a_1 \cdot stoe_1 + a_2 \cdot stoe_2) \cdot b \cdot c \cdot e^{-b \cdot t^{-c}} \cdot t^{-1-c} \cdot Dichte^{d_1}$$

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 („besserer“ Standort), sonst 0.
e	=	Euler'sche Konstante
a_1, a_2, a_3, b, c, d_1	=	Funktionsparameter

Eine Dummy-Variable wird auch als „Niveaushiftungsvariable“ 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 (1939) 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, 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 der Ertragstafelvergleich, der Vorperiodenvergleich und die Methode des konstanten Alters zur Analyse herangezogen. Diese Methoden haben als Referenz Modelle oder zurückliegende Kalenderzeiträume (vgl. Tab. 5.2-1). 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).

Methode	Datenbasis	Referenz	Anwendungsfelder
1. Vergleich gegebener Zeitreihen mit Modellen			
Ertragstafelvergleich	lokal bis großregional erhobene Einzelbaum-Bestandesdaten	Wuchsmodelle	Überprüfung von Planungsgrundlagen Trendanalyse
Szenarienvergleich			
Synthetische Referenzkurven	Stammanalysen	Pflegeprogramme	Trendanalyse
2. Vergleich der Entwicklung ungestörter und gestörter Bäume und Bestände			
Zuwachstrendverfahren	lokal bis großregional gesammelte Zuwachszeitreihen aus Bohrkernen, Stammanalysen, Wiederholungsaufnahmen	Zuwachszeitreihen ungeschädigter Einzelbäume, Baumkollektive, Bestände	Datierung und Quantifizierung von Zuwachsschäden Wirkungsforschung, Beweissicherungsverfahren
Pärchenvergleich			
Nullflächenvergleich			
Regressionsanalytische Zuwachsd Diagnose		Regressionsmodell	
3. Wuchsverhalten in anderen Kalenderzeiträumen als Referenz			
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 Wiederholungsaufnahmen	Zuwachsniveau zurückliegender Inventuren	
4. Dendroökologische Zeitreihenanalyse			
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, 1960). In einer neueren Ertragstafel von LEMBCKE et al. (1981) sind Ertragsniveaus für den ostdeutschen

Raum eingeführt worden. Im bayerischen Raum liefert vor allem die Standorts-Ertragstafel von SCHMIDT (1971) differenzierte 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 damalig 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 Ertragstafel von WIEDEMANN (1948, mäßige Durchforstung), die für die Besteuerung und die langfristige Betriebsplanung immer noch eine wichtige Rolle spielt, 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 Standorts-Ertragstafel von SCHMIDT (1971) für den oberpfälzer Raum 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 Ertragstafel von WIEDEMANN 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.

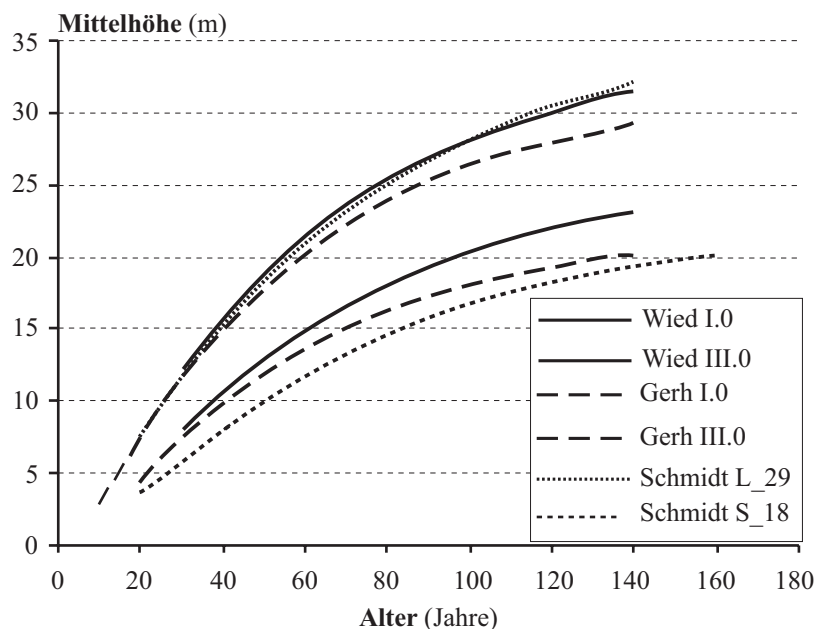


Abb. 5.2-1: Entwicklung der Mittelhöhe über dem Alter für die Kiefer nach den Ertragstafeln von WIEDEMANN (1948, mäßige Durchforstung), GEHRHARDT (1921, mittelstarke Durchforstung) und SCHMIDT (1971).

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 Ertragstafel von WIEDEMANN 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 Standortsguppe Lehm zeigt, dass die Erwartungswerte der Ertragstafel von GEHRHARDT die Grundflächenentwicklung besser beschreiben.

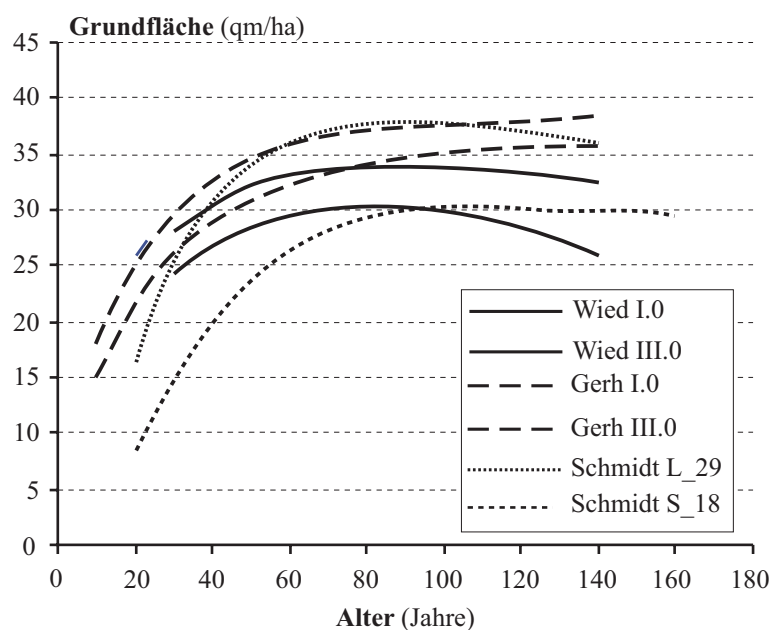


Abb. 5.2-2: Entwicklung der Grundfläche über dem Alter für die Kiefer nach den Ertragstafeln von WIEDEMANN (1948, mäßige Durchforstung), GEHRHARDT (1921, mittelstarke Durchforstung) und SCHMIDT (1971).

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 älteren Tabellenwerke. Bei WIEDEMANN ist das Abfallen der Zuwachskurven mit zunehmendem Alter jedoch nicht so stark ausgeprägt wie bei GEHRHARDT.

Im Vergleich dazu kulminiert im oberpfälzer Raum 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 Standortsguppe ‚Sand‘ stimmen ab einem Alter von

60 Jahren gut mit der Ertragstafel von WIEDEMANN 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.

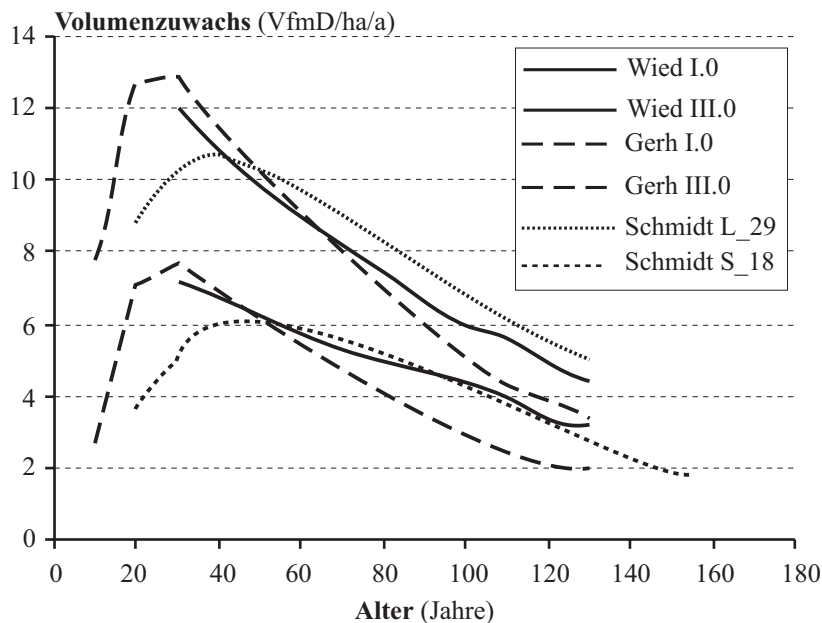


Abb. 5.2-3: Entwicklung des laufenden jährlichen Volumenzuwachses über dem Alter für die Kiefer nach den Ertragstafeln von WIEDEMANN (1948, mäßige Durchforstung), GEHRHARDT (1921, mittelstarke Durchforstung) und SCHMIDT (1971).

Beschreibung der verwendeten Methodik

Trotz der erwähnten Problematik wird in dieser Arbeit für einen Ertragstafelvergleich die Ertragstafel von WIEDEMANN (1943, mäßige Durchforstung) gewählt.

Das Wachstum auf verschiedenen Standorten wird auch durch typische Höhenentwicklungen abgebildet, die durch unterschiedliche Ertragsklassen beschrieben werden können. 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 ist die 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 eine solche Vorgehensweise. Dieses Verfahren bietet den Vorteil, dass die Datenbasis aus demselben Gebiet stammt und sowohl Standortsangaben 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, wobei zum einen die Zuwächse im Zeitraum nach 1960

zu den Erwartungswerten der Zuwächse im Zeitraum bis 1960 in Relation gesetzt werden. Zum anderen werden die Zuwachswerte für jeden Zeitabschnitt parametrisiert. 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.

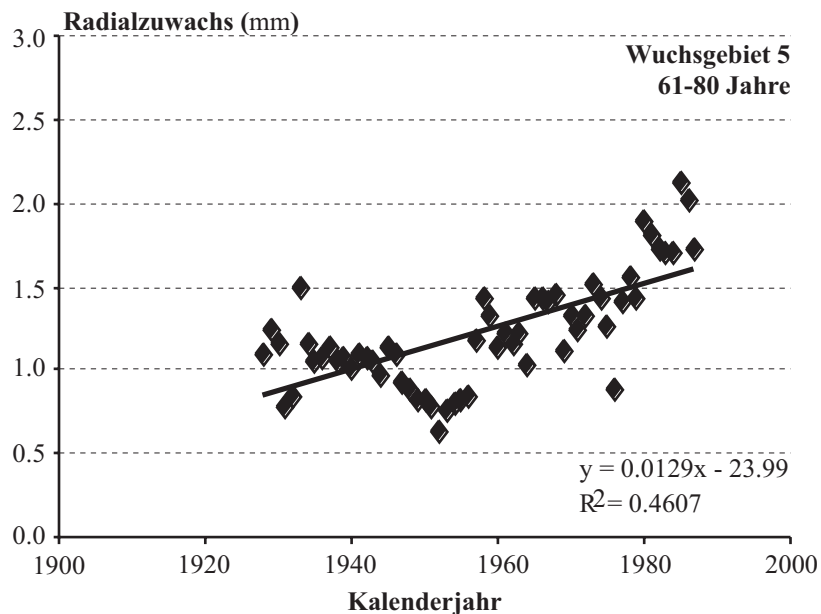


Abb. 5.2-4: Entwicklung des Radialzuwachses über dem Kalenderjahr für die Altersstufe 61-80 Jahre im Wuchsgebiet 5 (Fränkischer Keuper und Albvorland); Datenquelle: Einzelbaumanalysen.

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 wirklichem 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.

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).

Benötigte Eingangsgrößen für die Prognoserechnung 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.

Da bei der Durchführung der Prognoserechnungen (vgl. Kap. 9 und 10) 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 geschätzt und das Durchmesserwachstum modifiziert.

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

1. Nährstoffversorgung, mit den Variablen:

- NO_x globale Konzentration von Stickoxiden in der Atmosphäre in ppb,
- CO₂ 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 ARBEITSKREIS STANDORTSKARTIERUNG (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_x und CO_2 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 Standortfaktors auf den Höhenzuwachs mit einem Wirkungswert zwischen 0 und 1 ausgedrückt (Abb. 5.3-1).

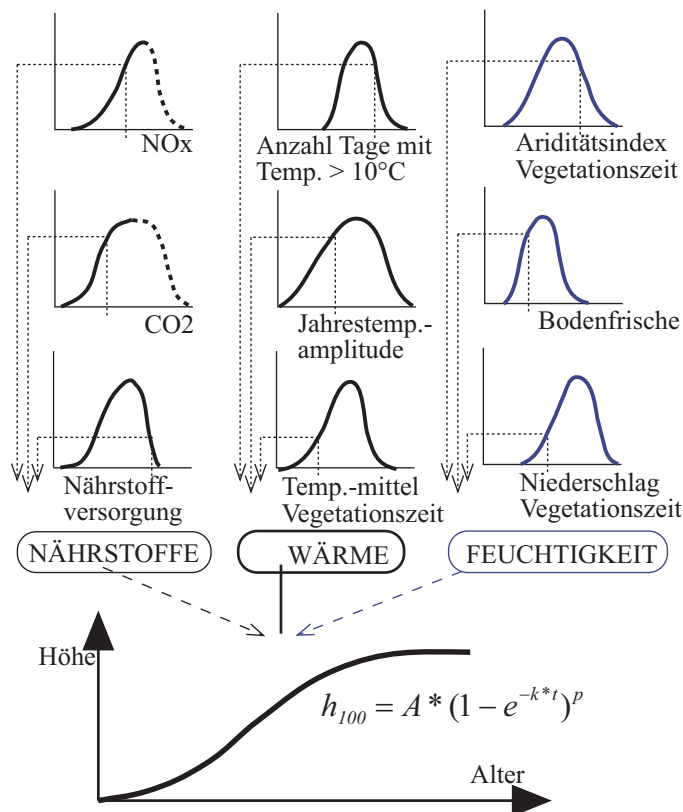


Abb. 5.3-1: Schematische Darstellung des Standort-Leistungs-Modelles des Wachstumssimulators SILVA 2.2 (PRETZSCH und KAHN, 1998).

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 Standortfaktoren in ihrer Wirkung kompensieren können. Diese komplexen Faktoren wirken sich auf die Funktionsparameter a , k und p der potentiellen Höhenwachstumskurve aus, wobei auch hier wieder eine Kompensation der Wirkung unterschiedlicher Ausprägungen von Standortvariablen möglich ist.

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 5.3-4).

Die geschätzten Parameter der Funktionen finden sich bei KÜSTERS (2001). Sowohl beim Höhen- als auch beim Durchmesser- und Stammzahlausgleich liegen die mittels Regressionsanalyse errechneten Bestimmtheitsmaße überwiegend sehr hoch (maximales $R^2=0,8$). Nur die Beziehung zwischen Grundfläche und Alter ist aufgrund der hohen Streuung

sehr gering (maximales $R^2=0.06$). Die Ausgleichsfunktionen repräsentieren dennoch die mittleren Grundflächen der Regionen recht gut.

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

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

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

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

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

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.

Tab. 5.3-2: Verwendete Standortparameter der Wuchsbezirke für die Prognoserechnung mit dem Waldwachstumssimulator SILVA 2.2 (STOE= häufigste Standortseinheit des Wuchsbezirkes, Codierung siehe Tab. 7.1-3)

(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

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 (Codierung siehe Tab. 7.1-3). Tabelle 5.3-2 charakterisiert den Nährstoff- und Wasserhaushalt der am häufigsten auftretenden

Standortseinheit des jeweiligen Wuchsbezirkes.

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 NO_x- und CO₂-Gehaltes der Luft basieren auf den Werten des IPCC-Reportes 1990.

Aus diesen Standortparametern werden von Silva die Altershöhenkurven-Potentiale für die jeweiligen Standortseinheiten geschätzt.

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)
 a₁, a₂, a₃ = Koeffizienten der Regressionsgleichung

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

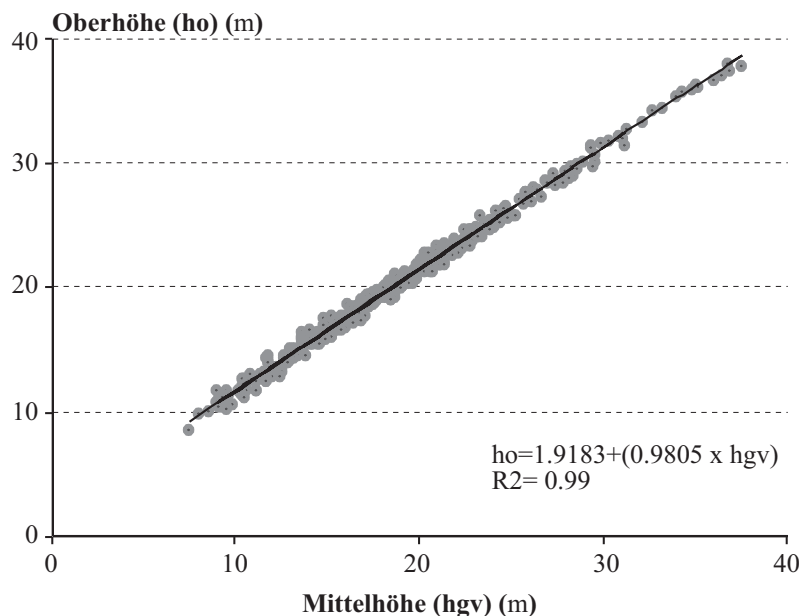


Abb.5.3-2: Darstellung der Beziehung zwischen Mittel- und Oberhöhe aus den Ergebnissen der langfristigen Versuchsflächen und deren Ausgleich mittels einer linearen Regression.

Abbildung 5.3-2 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 5.3-3 ist der Ausgleich der Grundflächen über der Oberhöhe nach Gleichung 5.3-5 beispielhaft für die Region Keuperhügelland dargestellt. Die Streuung um die Ausgleichskurve ist sehr hoch und die Bestimmtheitsmaße dementsprechend niedrig. Jedoch werden plausible Wertebereiche durch die Stichprobenaufnahmen nicht überschritten. Die Ausgleichskurve liegt, mit regionaltypischen Unterschieden, in Bereichen, die auch durch Ertragstafelmodelle abgebildet werden. Die Ausgleichsparameter für die einzelnen Regionen finden sich bei KÜSTERS (2001).

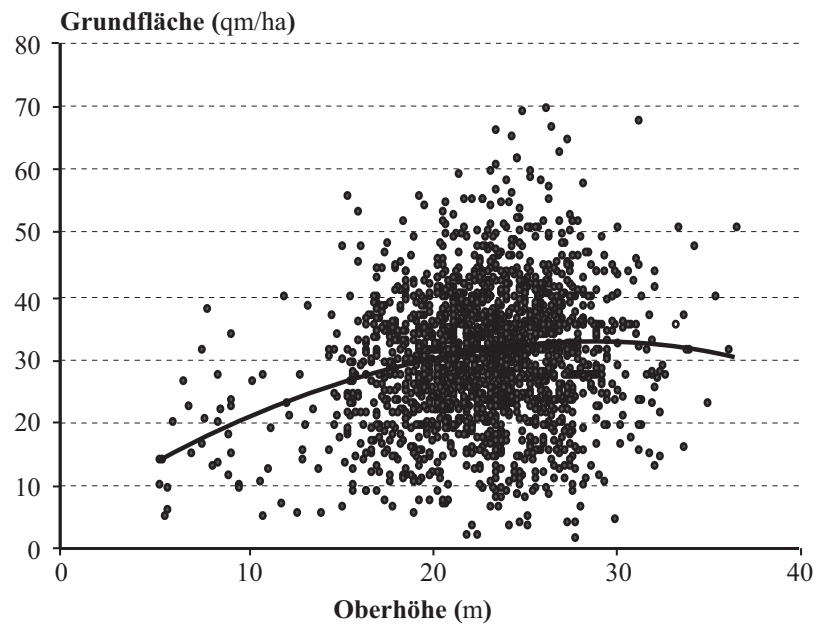


Abb. 5.3-3: Darstellung der Grundfläche über der Oberhöhe und der Ausgleichskurve (Polynom 2. Grades) für die Region Keuperhügelland.

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 Ertragstafel von WIEDEMANN (1943, mäßige Durchforstung) eingetragen.

6.1.1 Östliche Vorrhön

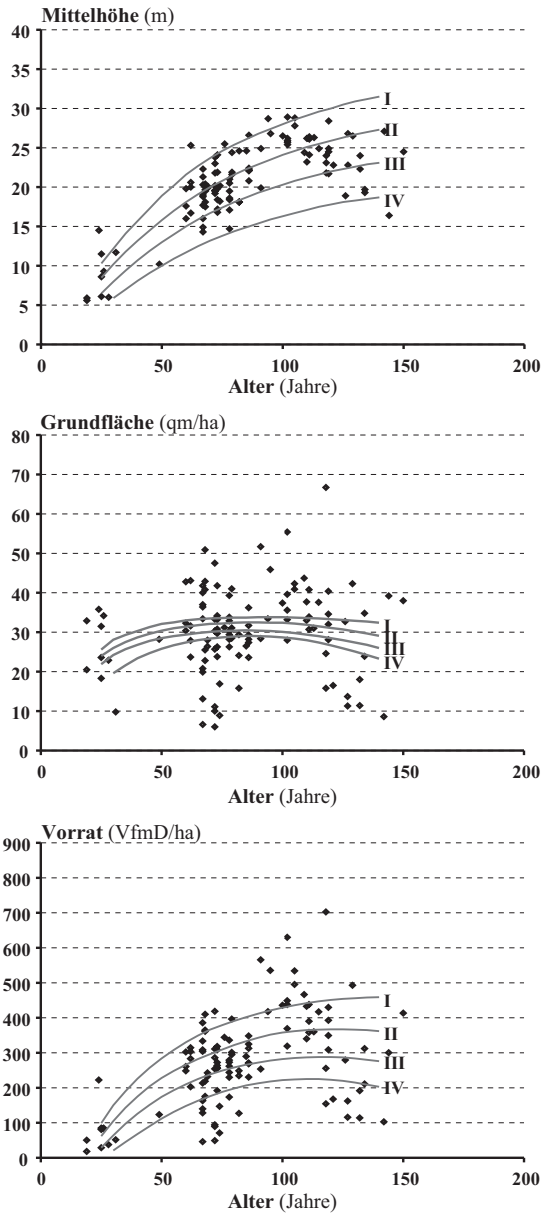
Im Teilwuchsbezirk Östliche Vorrhön (3.2/1) ist 1962 der Düngungs-Versuch Neustadt/Saale 231 („Birkig“) mit dem Ziel angelegt worden, durch Düngung über Jahrzehnte eine hohe Leistungsfähigkeit zu erhalten (FOERSTER, 1990). Die zwei zum Vergleich angelegten Kontrollparzellen ohne Düngungsmaßnahmen werden im Folgenden beschrieben. Weiterhin befinden sich in diesem Gebiet 109 Inventurpunkte mit Kiefernreinbeständen. 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 Werte, 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).

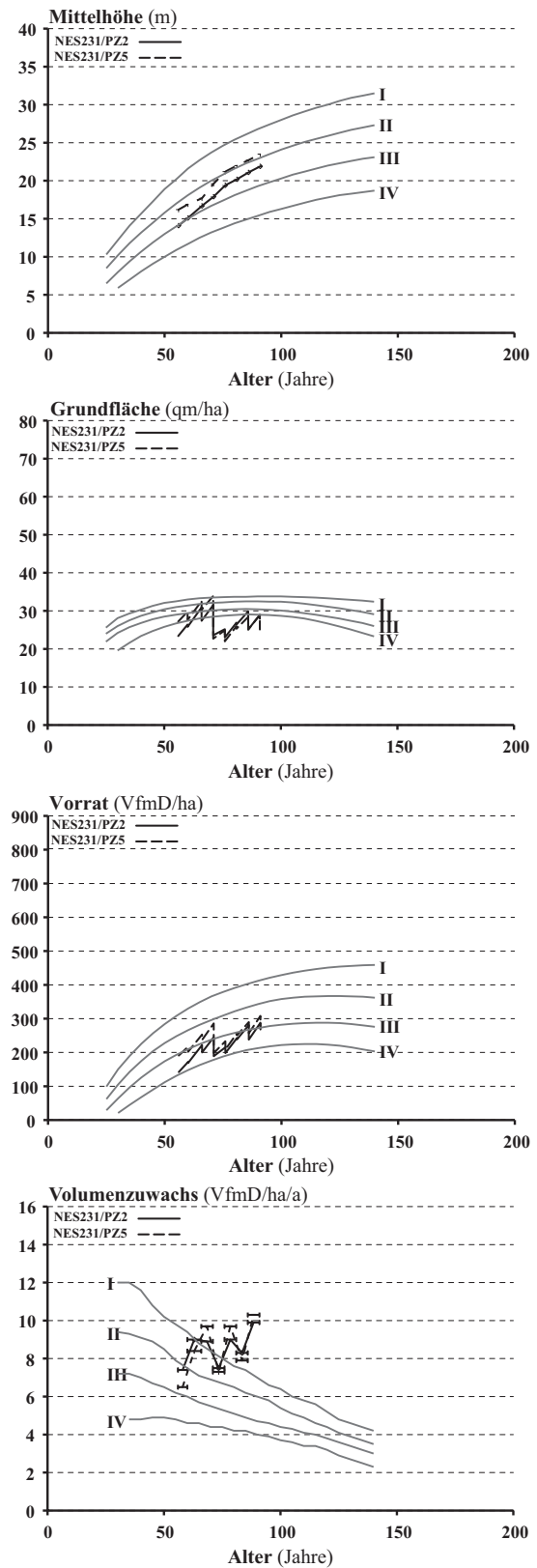
Altersstufe (Jahre)	Anzahl Werte		Alter (Jahre)		Bonität		HGV (m)		GV (qm/ha)		VV (VfmD/ha)		BG		IV (VfmD/ha/a)	
	INV	VFL	INV	VFL	INV	VFL	INV	VFL	INV	VFL	INV	VFL	INV	VFL	INV	VFL
1-30	8		24		I.6		8.4		27.5		76		1.10			
31-60	5	4	52	58	II.4	II.6	15.1	15.6	28.7	26.0	197	176	0.96	0.90		7.0
61-90	57	10	74	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 Versuchspartellen 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 ober- 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 zeigt aber langfristig eine deutlich steigende Tendenz, die entgegen dem erwarteten altersbedingten Abfall des Zuwachses verläuft.

Stichprobeninventur



Langfristige Versuchsflächen



Östliche Vorrhön
Teilwuchsbezirk 3.1/2

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 Ertragstafel von WIEDEMANN (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 Werte, 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).

Altersstufe (Jahre)	Anzahl Werte		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	VFL
1-30		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, die beiden Bestände haben also ein ähnliches Leistungsvermögen.

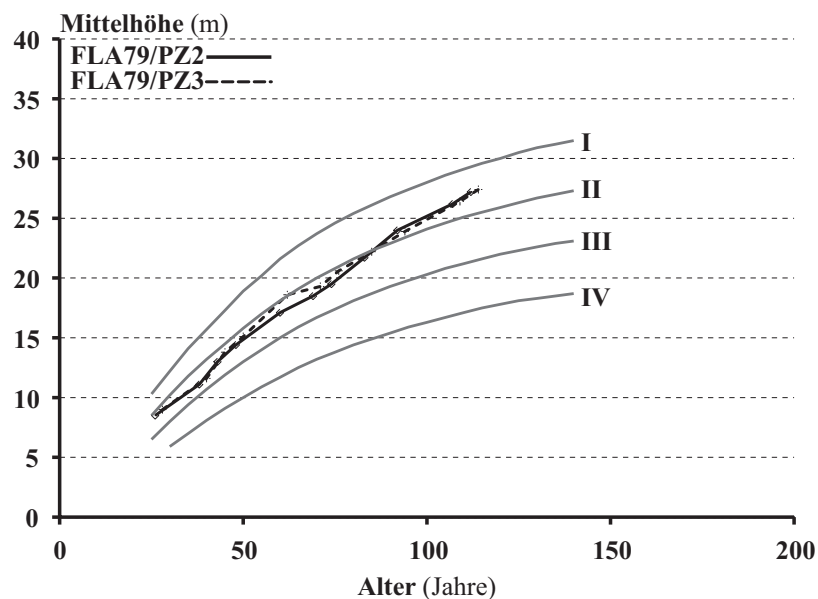


Abb. 6.1-2: Darstellung der Höhenentwicklung über dem Alter auf den Versuchsparzellen der Region Keuperbergland. Zum Vergleich sind die Werte der Ertragstafel von WIEDEMANN (1943), I.-IV. Ertragsklasse, eingetragen.

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.

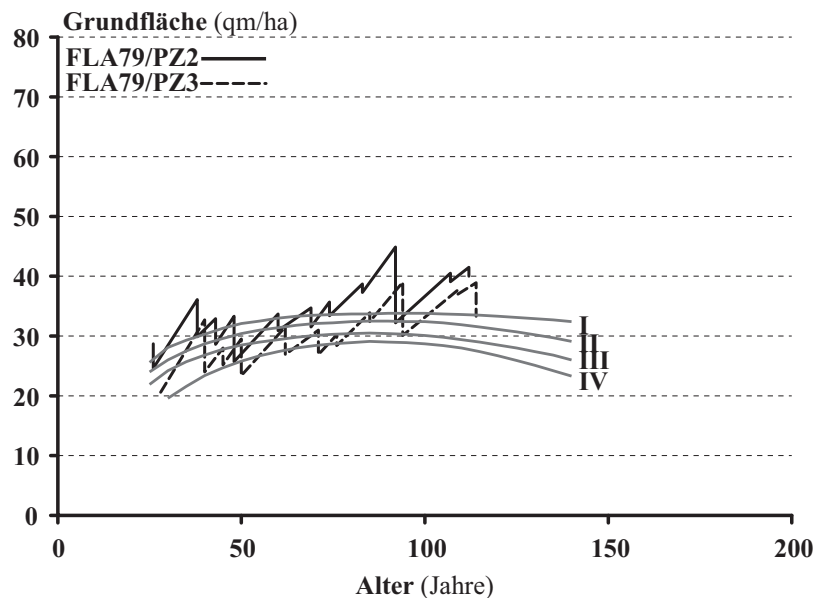


Abb. 6.1-3: Darstellung der Grundflächenentwicklung über dem Alter auf den Versuchsparzellen der Region Keuperbergland. Zum Vergleich sind die Werte der Ertragstafel von WIEDEMANN (1943), I.-IV. Ertragsklasse, eingetragen.

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

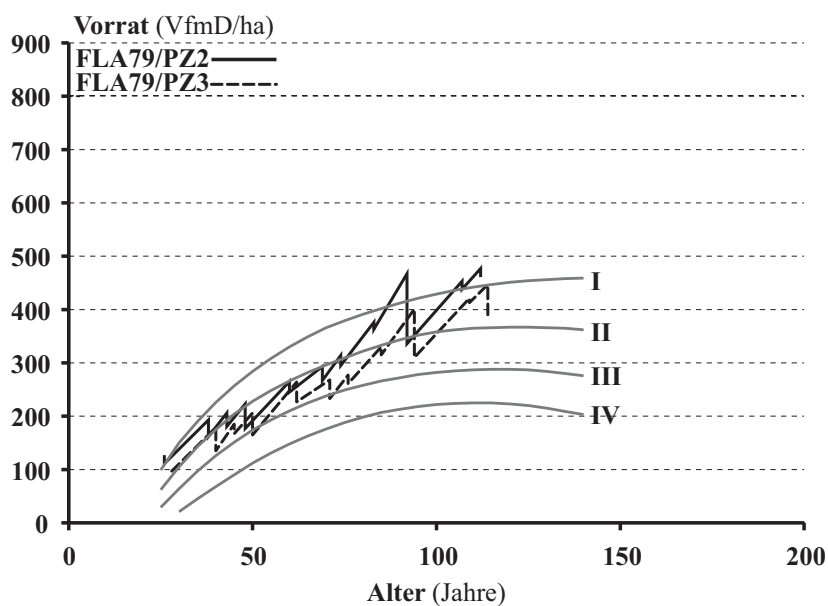


Abb. 6.1-4: Darstellung der Vorratsentwicklung über dem Alter auf den Versuchsparzellen der Region Keuperbergland. Zum Vergleich sind die Werte der Ertragstafel von WIEDEMANN (1943), I.-IV. Ertragsklasse, eingetragen.

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.

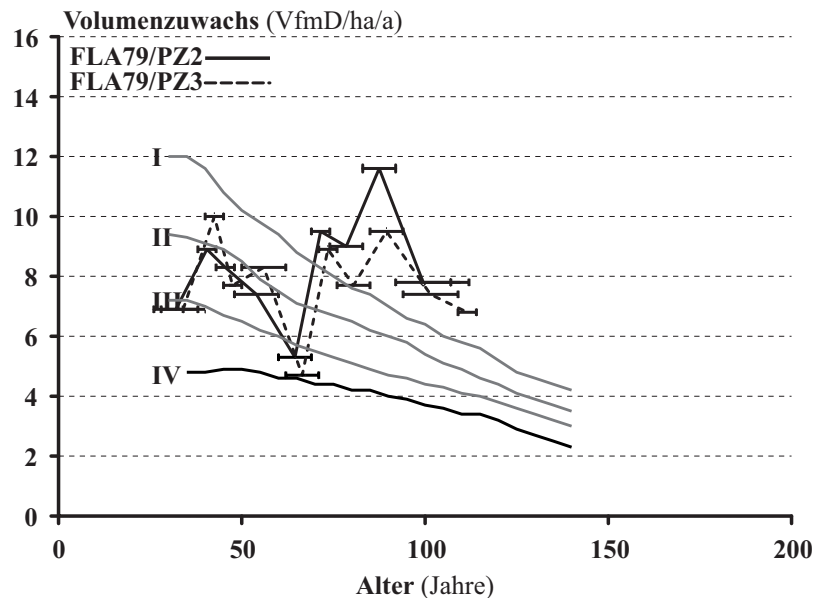


Abb. 6.1-5: Darstellung der Entwicklung des Volumenzuwachses über dem Alter auf den Versuchspartellen der Region Keuperbergland. Zum Vergleich sind die Werte der Ertragstafel von WIEDEMANN (1943), I.-IV. Ertragsklasse, eingetragen.

Nach dem starken Eingriff im Jahr 1978 sinkt der Zuwachs auf 8 VfmD/ha/a ab und kann sich auch in der darauffolgenden Periode nicht wieder erholen. Ob sich hier ein Ende der Zuwachshochphase abzeichnet, 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 Versuchsflächen 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 Versuchsfläche 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 Versuchsfläche 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.

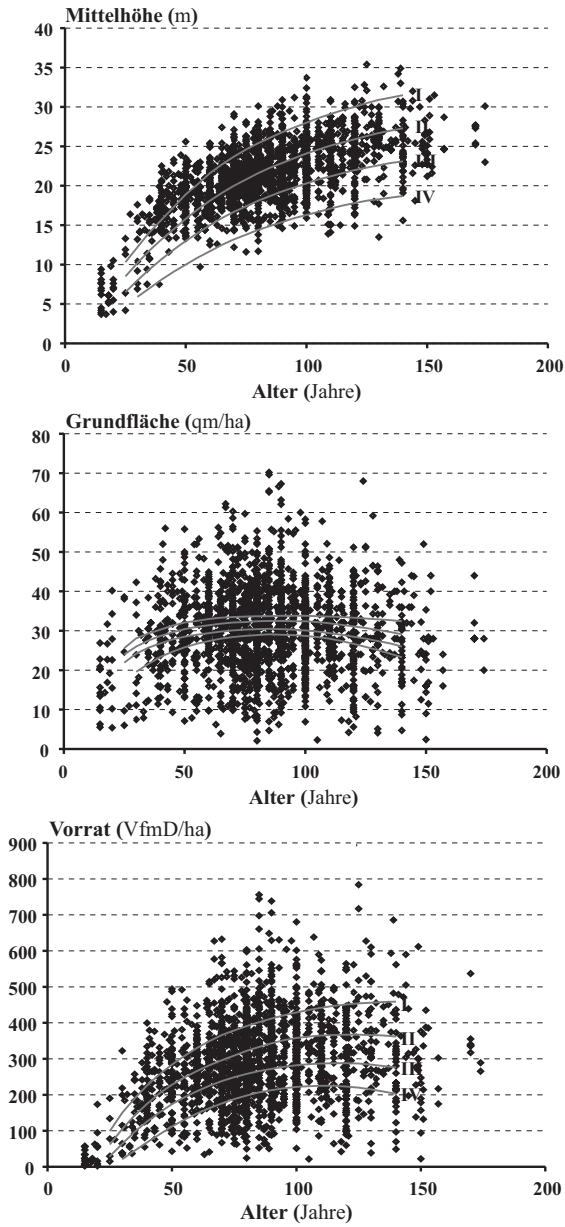
Tab. 6.1-3: Anzahl Werte, mittleres Alter, Bonität, Höhe des Grundflächenmittelstammes (HGV), Grundfläche (GV), Vorrat (VV), Bestockungsgrad (BG), laufender jährlicher Volumenzuwachs (IV) der Region Keuperhügelland für fünf Altersstufen. Datengrundlage: Daten aus der Stichprobeninventur (INV) und den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

Alters- stufe (Jahre)	Anzahl Werte		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	VFL
1-30	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	

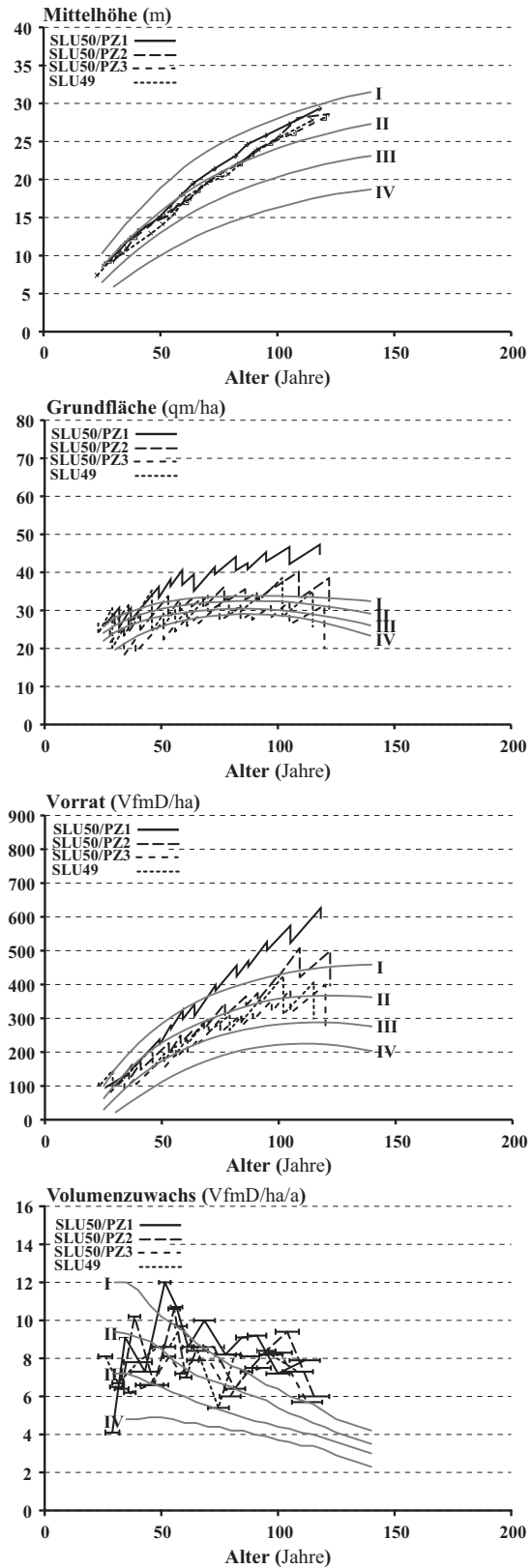
Die Grundflächen- und Vorratswerte der A-Grad-Parzelle liegen auf einem für Kiefernbestände beeindruckendem Niveau. Die Grundflächen können fast 50 qm/ha erreichen und die Vorratswerte steigen bis über 600 VfmD/ha an. Durchforstungsbedingt liegen die anderen Parzellen unter diesen Werten, zeigen aber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

Besonders interessant ist die Entwicklung des laufenden Volumenzuwachses auf den vier Versuchspartellen. Der in den bisher beschriebenen Regionen beobachtete deutlich ansteigende Zuwachs ist auf diesen Versuchspartellen nicht zu sehen. 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.

Stichprobeninventur



Langfristige Versuchsflächen



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 Ertragstafel von WIEDEMANN (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 ungünstigen Standortfaktoren gehört die Beckenlandschaft mit zu den Hauptvorkommensgebieten der Kiefer in Bayern.

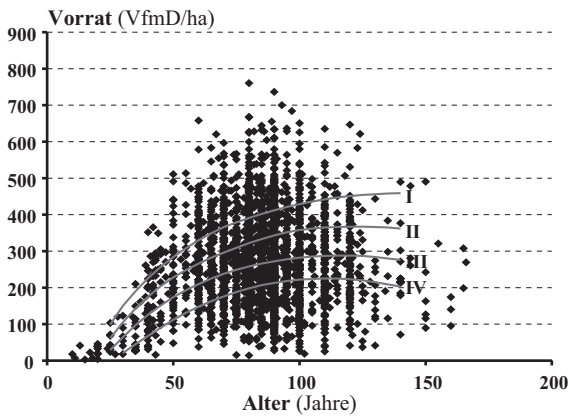
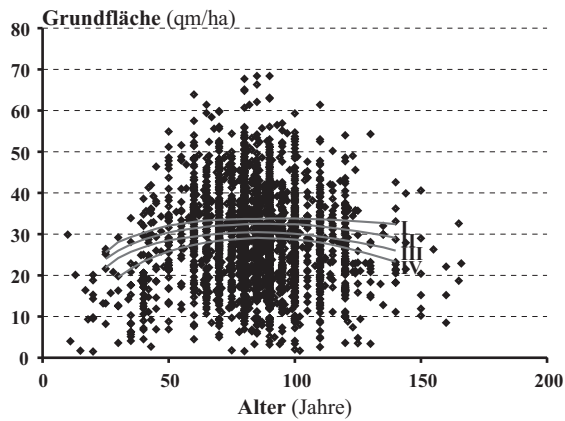
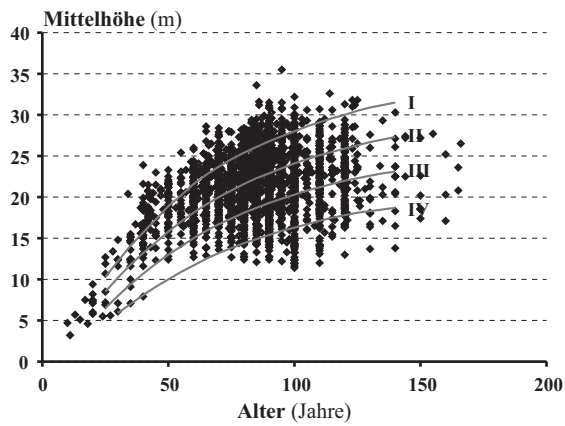
Tab. 6.1-4: Anzahl Werte, mittleres Alter, Bonität, Höhe des Grundflächenmittelstammes (HGV), Grundfläche (GV), Vorrat (VV), Bestockungsgrad (BG), laufender jährlicher Volumenzuwachs (IV) der Region Keupersenkenland für fünf Altersstufen. Datengrundlage: Daten aus der Stichprobeninventur (INV) und den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

Alters- stufe (Jahre)	Anzahl Werte		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 VFL
1-30	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		

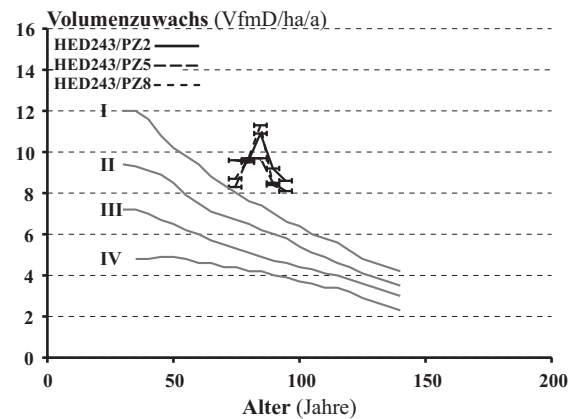
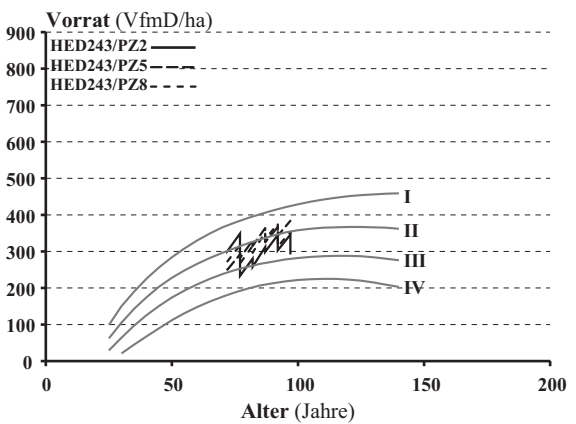
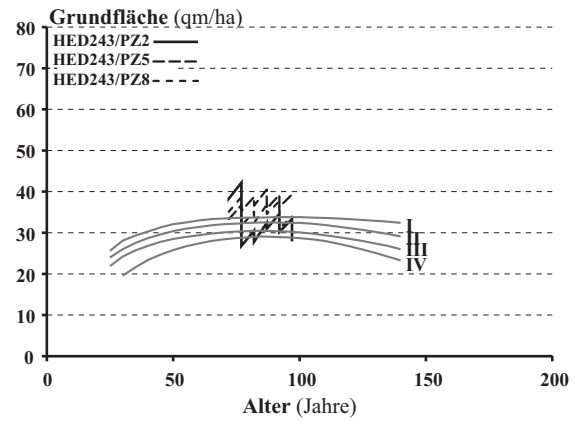
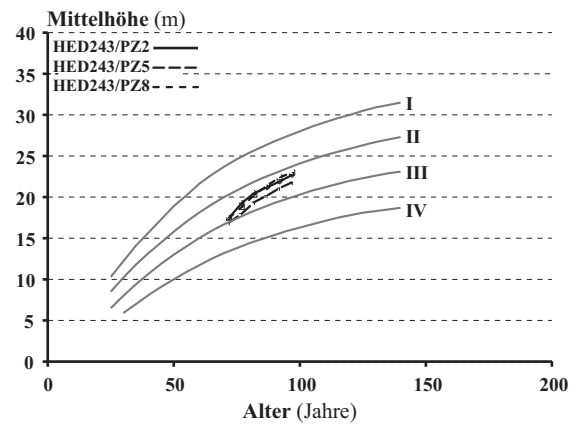
Entsprechend der ärmeren Standorte sind auch die mittleren Höhen in den jeweiligen Altersstufen niedriger als im Keuperhügelland (Tab. 6.1-4, Abb. 6.1-7). Die durchschnittliche Bonität der Inventurpunkte liegt in der Altersstufe älter 120 Jahre nur bei III.0, während im Keuperhügelland bei ungefähr gleichem 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, sie sinkt von I.7 auf III.0 ab. Die drei ungedüngten Kontrollparzellen des Düngungsversuches Heideck 243 zeigen den aktuellen Wachstumstrend, die zu Beginn der Beobachtungszeit geringe Bonität verbessert sich im Laufe des Entwicklungsganges um 0,8 Bonitätsstufen.

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 die Grundflächen- und Vorratswerte auf den Heidecker Versuchspartellen innerhalb einer Aufnahmeperiode eine beachtliche Schwankungsbreite. Bei den Vorratswerten zeichnet sich dazu eine leicht steigende Tendenz ab. In der Altersstufe 61-90 Jahre betragen die Werte für den jährlichen Volumenzuwachs 9.7 VfmD/ha/a im Vergleich zu 7.8 VfmD/ha/a im Keuperhügelland.

Stichprobeninventur



Langfristige Versuchsflächen



Keupersenkenland
Teilwuchsbezirke 5.5/1;5.6/1

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 Ertragstafel von WIEDEMANN (1943), I-IV. Ertragsklasse, eingetragen.

Da die Heidecker Versuchsfläche erst 1971 angelegt wurde, ist der Beobachtungszeitraum kürzer als 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).

6.1.5 Südliches Altvorland

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 wegen der Standortsgüte vergleichsweise gering.

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

Altersstufe (Jahre)	Anzahl Werte		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	VFL
1-30	9		21		1.5		7.9		13.6		38		0.63			
31-60	31		51		1.0		19.1		25.5		209		0.74			
61-90	111		78		1.7		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			

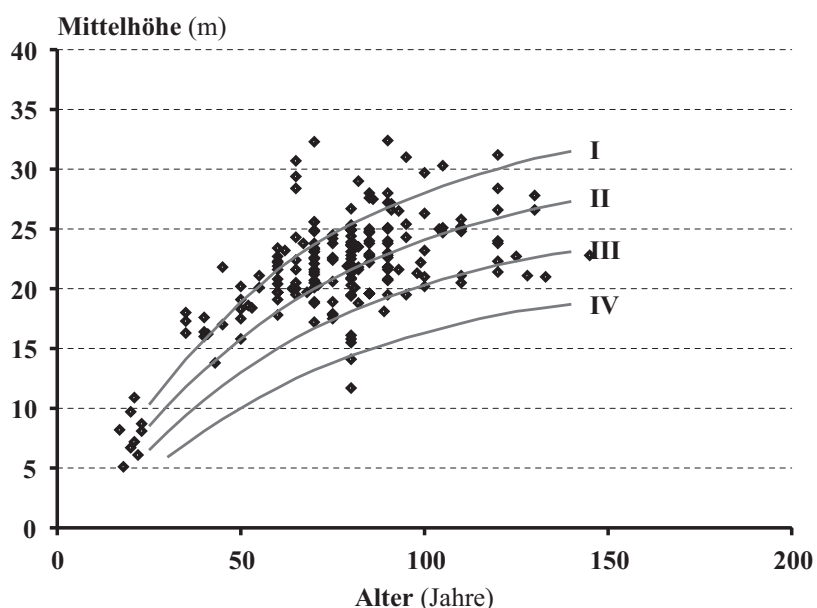


Abb. 6.1-8: Darstellung der Mittelhöhen über dem Alter in den Beständen der Stichprobeninventur, Region Südliches Altvorland. Zum Vergleich sind die Werte der Ertragstafel von WIEDEMANN (1943), I.-IV. Ertragsklasse, eingetragen.

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). 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.

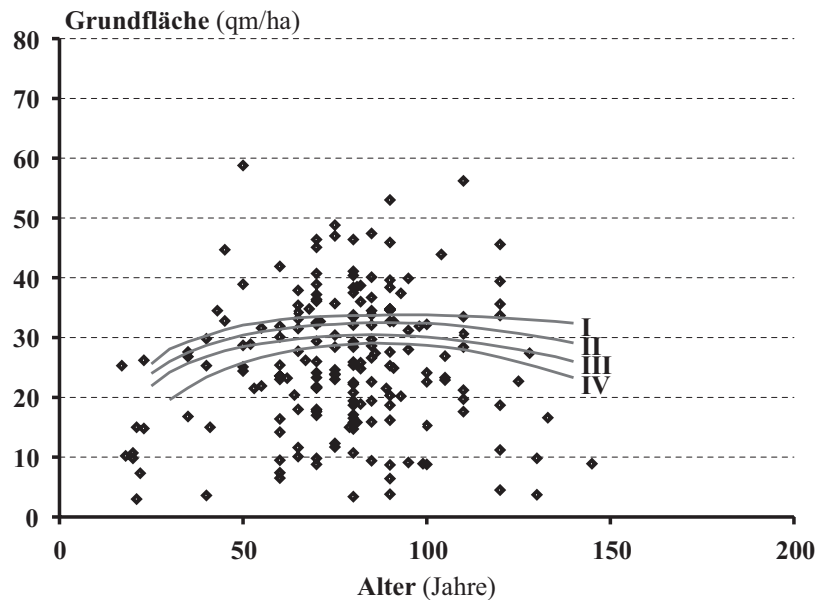


Abb. 6.1-9: Darstellung der Grundflächen über dem Alter in den Beständen der Stichprobeninventur, Region Albvorland. Zum Vergleich sind die Werte der Ertragstafel von WIEDEMANN (1943), I.-IV. Ertragsklasse, eingetragen.

Die mittleren Grundflächen aller Altersstufen liegen deutlich niedriger als im Keuperhügel- und senkenland (Abb. 6.1-9, Tab. 6.1-3, Tab. 6.1-4). Insbesondere in den Beständen mit einem Alter über 120 Jahre werden nur noch mittlere Grundflächenwerte von 14.9 qm/ha erreicht.

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 im Mittel auf 286 VfmD/ha an und sinken in der höchsten Altersstufe auf 149 VfmD/ha ab (Abb. 6.1-9).

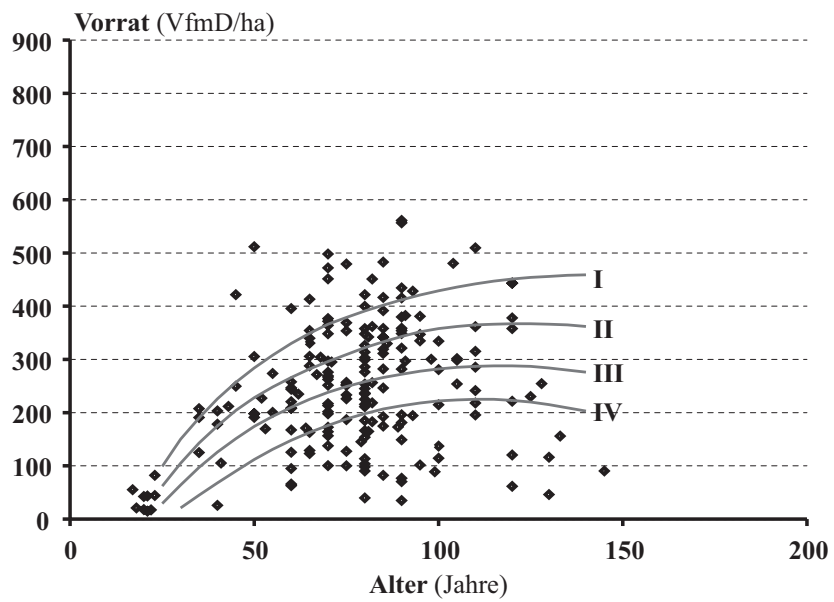


Abb. 6.1-10: Darstellung der Vorräte über dem Alter in den Beständen der Stichprobeninventur, Region Südliches Albvorland. Zum Vergleich sind die Werte der Ertragstafel von WIEDEMANN (1943), I.-IV. Ertragsklasse, eingetragen.

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).

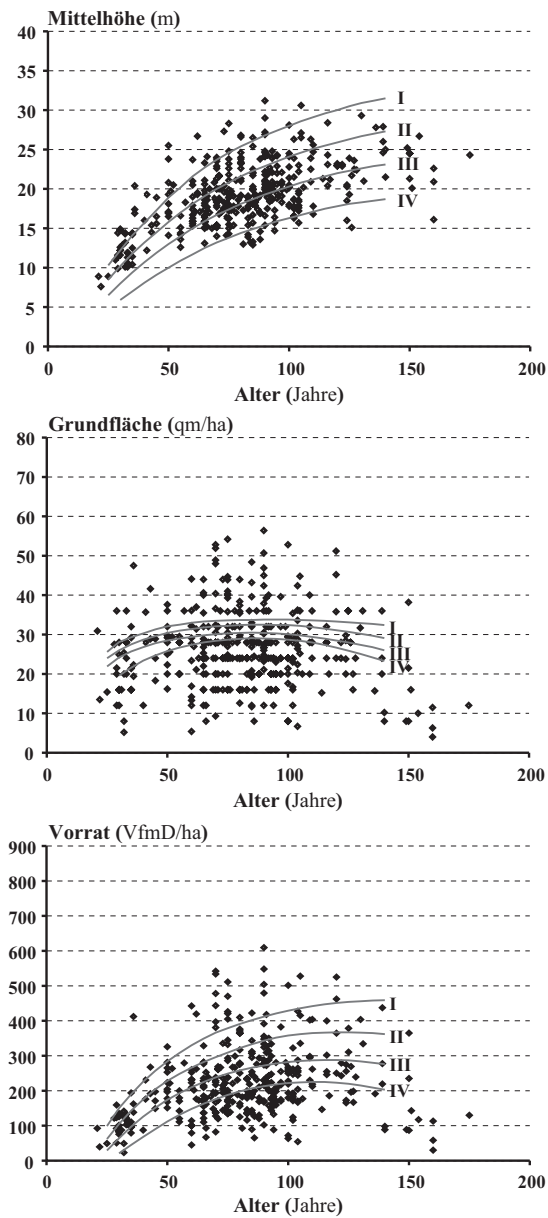
Tab. 6.1-6: Anzahl Werte, mittleres Alter, Bonität, Höhe des Grundflächenmittelstammes (HGV), Grundfläche (GV), Vorrat (VV), Bestockungsgrad (BG), laufender jährlicher Volumenzuwachs (IV) der Region Frankenalb für fünf Altersstufen. Datengrundlage: Daten aus der Stichprobeninventur (INV) und den langfristigen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

Altersstufe (Jahre)	Anzahl Werte		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	VFL
1-30	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			

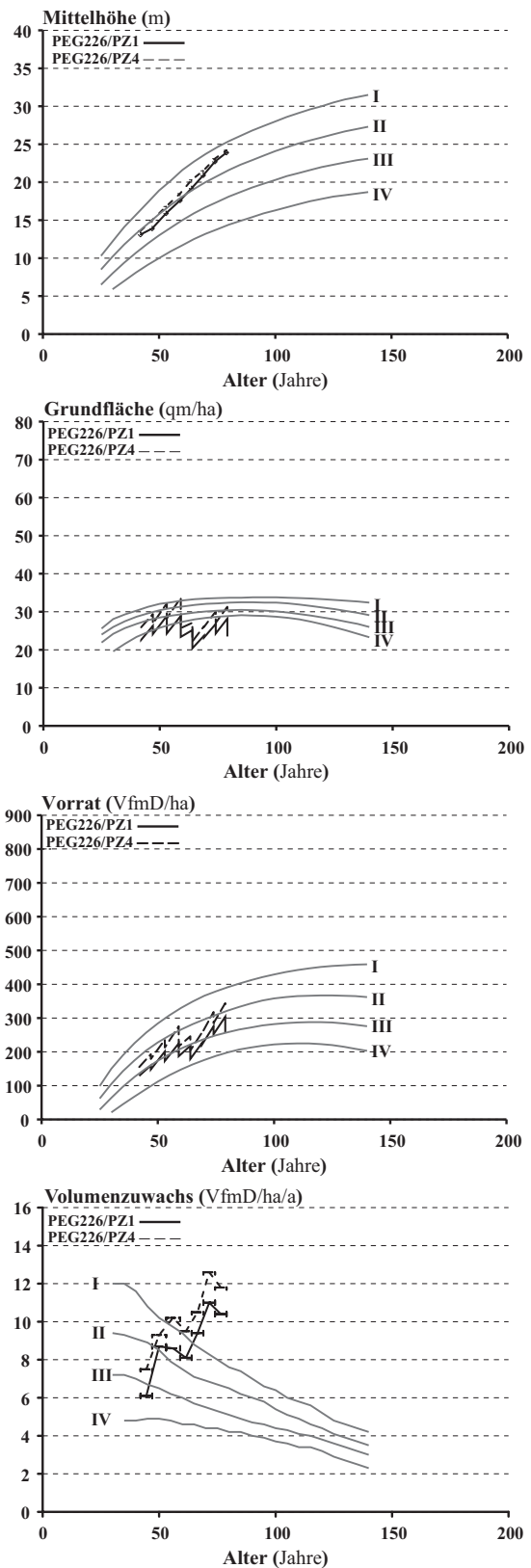
Die auf einem mäßig wechselfeuchten Feinlehm liegenden zwei Kontrollparzellen des Düngungsversuches Pegnitz 226 haben zu Beginn der Beobachtungsperiode eine recht gute durchschnittliche Bonität von II.1, die im weiteren Verlauf auf I.5 ansteigt (Tab. 6.1-6, Abb. 6.1-11). Sie repräsentieren damit einen besseren Standort in dieser Region. Die Bonitäten der Inventurpunkte zeigen eine von jüngeren zu älteren Beständen hin 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 im Bereich der III. Ertragsklasse liegen. Die Vorratsentwicklung auf den Versuchspartellen folgt weitgehend dem Ertragsklassenverlauf und weist in den letzten Perioden einen leicht steigenden Trend auf.

Die Entwicklung des laufenden jährlichen Volumenzuwachses zeigt dagegen einen auffällig positiv gerichteten Trend. In der Altersphase 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 bleiben.

Stichprobeninventur



Langfristige Versuchsflächen



Frankenalb
Wuchsbezirke 6.1;6.2

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 Ertragstafel von WIEDEMANN (1943), I.-IV. Ertragsklasse, eingetragen.

6.1.7 Albabdachung

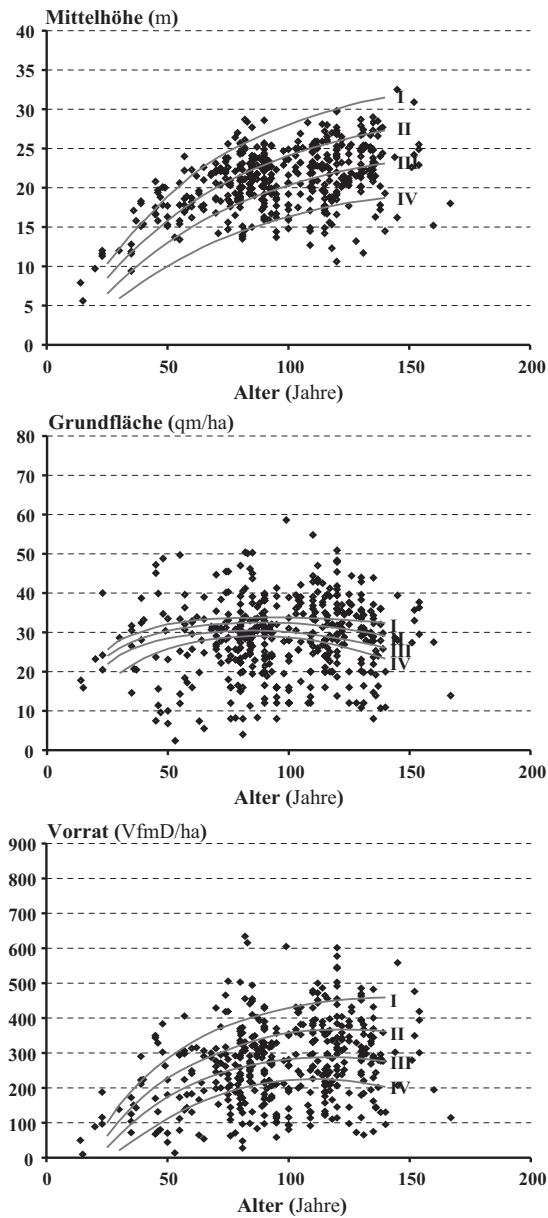
Die Wuchsbezirke 6.4 und 6.5 gehören aufgrund ihres kontinentalen Klimateinschlages und der großflächigen Kreide- und Tertiärablagerungen zu einem Gebiet mit höherem Kiefernorkommen. Besonders interessant sind hier die Ergebnisse aus den acht Versuchspartzen der Versuchsflächen Bayreuth 51 und 52 sowie Burglengenfeld 235 und 240, weil damit das Wachstum auf einem sehr guten und einem sehr schlechten Standort 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 Albabdachung 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	INV	VFL
1-30	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 Versuchspartzen zeigt zwei vollkommen verschiedene Verläufe. Die Bestände der Versuchsflächen Bayreuth 51 und 52 stocken auf wechselfeuchten Schichtlehmen, während die Versuchsflächen 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 Versuchsflächen jedoch nicht so stark ausgeprägt ist. Bei den Grundflächen- und Vorratswerten geben die Bayreuther Versuchsflächen einen Einblick in das mögliche Wuchspotential der Kiefer. Trotz stärkerer Durchforstungen liegen die Grundflächenwerte über der I. Ertragsklasse und können Werte bis 50 qm/ha bzw. 700 VfmD/ha erreichen.

Stichprobeninventur



Albabdachung
Wuchsbezirke 6.4;6.5

Langfristige Versuchsflächen

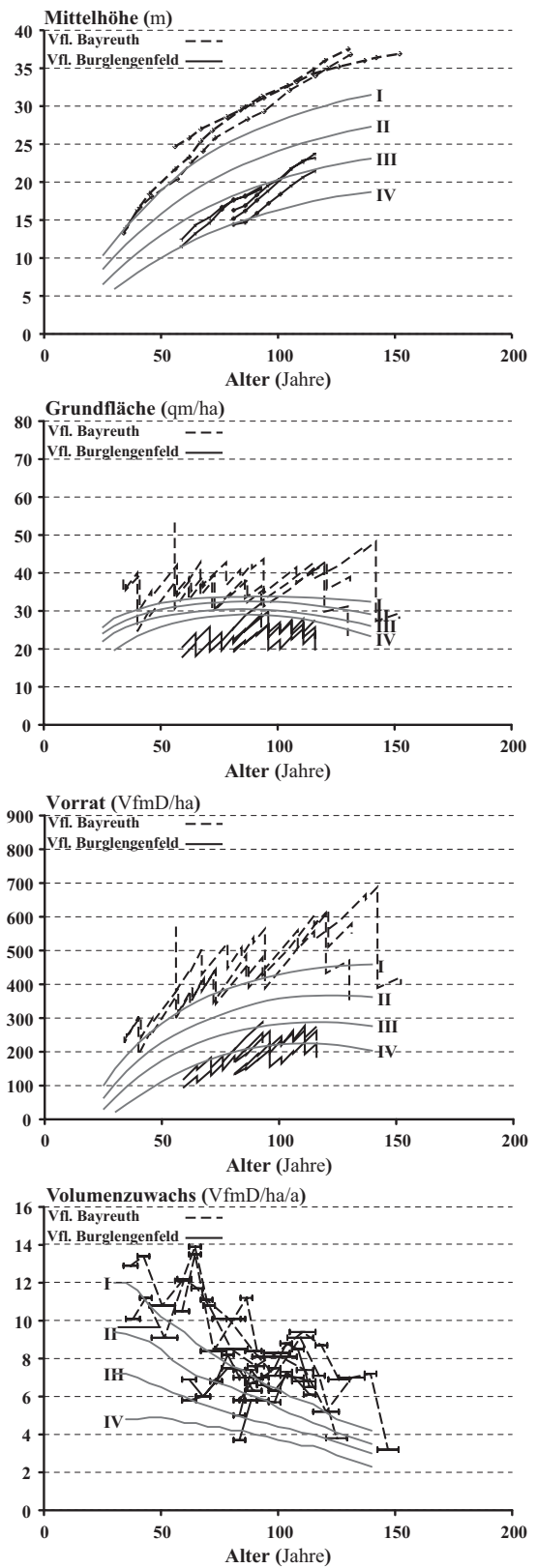


Abb. 6.1-12: Darstellung der Mittelhöhen, Grundflächen, Vorräte und des laufenden Volumenzuwachses der Stichprobendaten und Versuchsflächen über dem Alter, Region Albabdachung. Zum Vergleich sind die Werte der Ertragstafel von WIEDEMANN (1943), I.-IV. Ertragsklasse, eingetragen.

Der Volumenzuwachs der Bayreuther Flächen erreicht meistens Werte über der I. Ertragsklasse, folgt jedoch dem typischen, von der Ertragstafel von WIEDEMANN vorgegebenen, abfallenden Alterstrend. Dagegen lässt der Volumenzuwachs auf dem Standort der beiden Burglengelfelder 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 Burglengelfelder Versuchspartzen ähnliche Zuwachswerte wie die Bayreuther Bestände.

6.1.8 Oberfränkisches Triashügelland

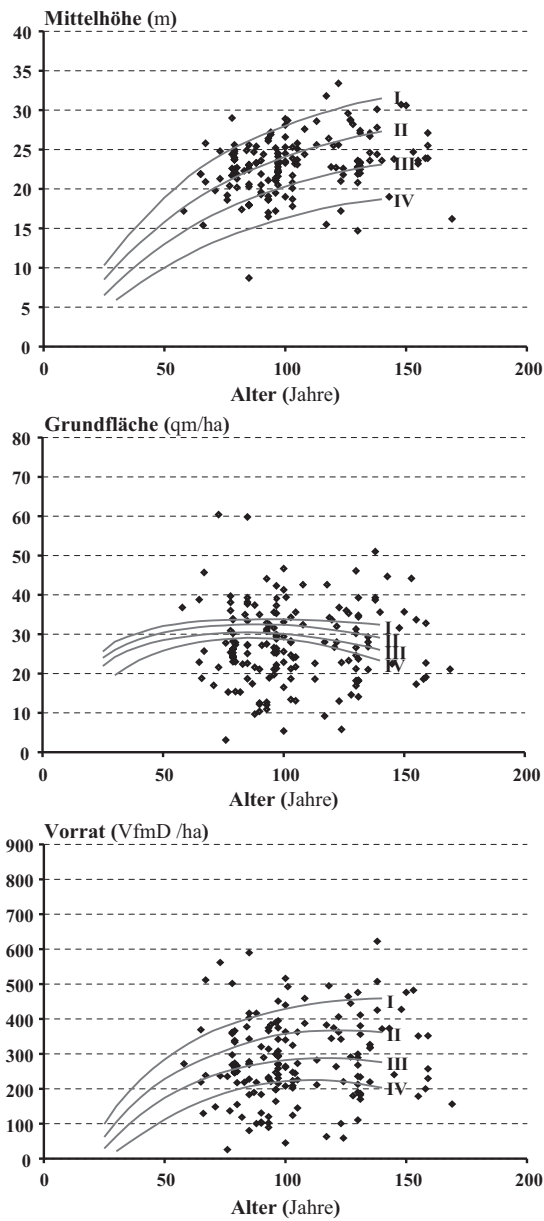
Innerhalb dieser Region liegt die Versuchsanlage Kulmbach 53 mit einer nach B-Grad (Parzelle 2) und einer nach C- Grad (Parzelle 3) durchforsteten Parzelle. Der Versuch wurde schon 1900 angelegt und seitdem in regelmäßigen Abständen aufgenommen. Die Inventurpunkte sind in diesem Gebiet nicht so zahlreich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

Tab. 6.1-8: Anzahl Werte, 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).

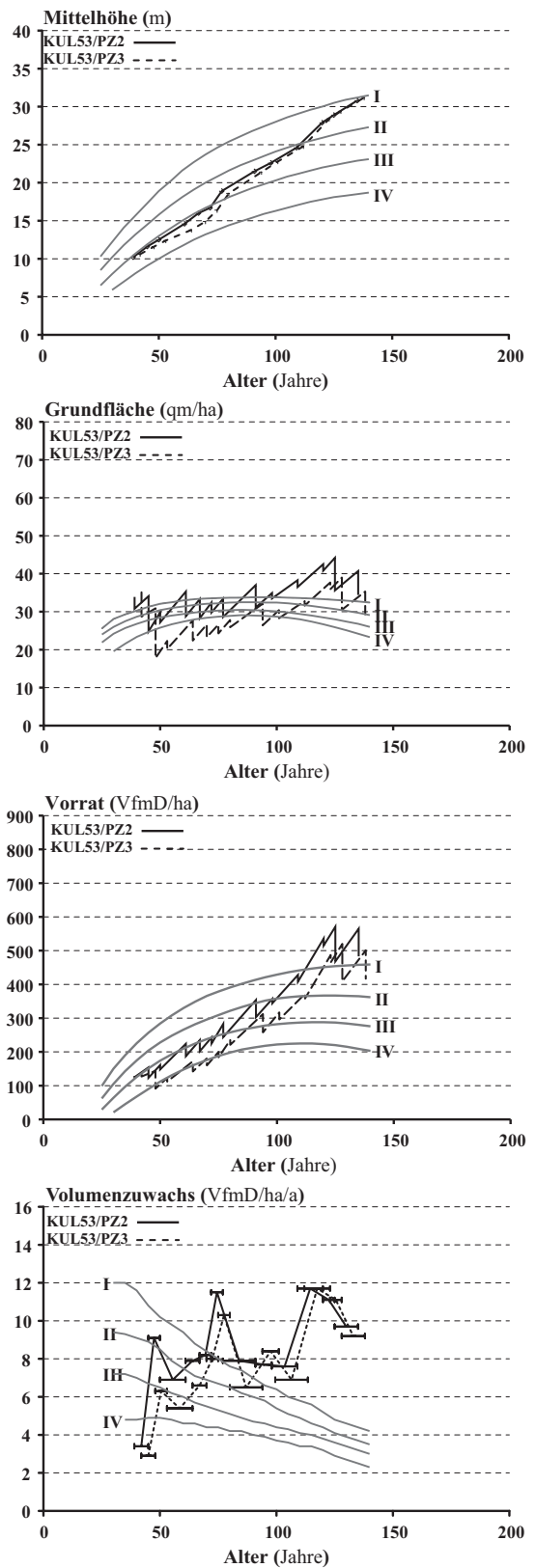
Alters- stufe (Jahre)	Anzahl Werte		Alter (Jahre)		Bonität		HGV (m)		GV (qm/ha)		VV (VfmD/ha)		BG		IV (VfmD/ ha/a)	
	INV	VFL	INV	VFL	INV	VFL	INV	VFL	INV	VFL	INV	VFL	INV	VFL	INV	VFL
1-30																
31-60	1	6	58	46	II.2	III.2	17.2	11.5	36.8	24.9	272	121	1.20	0.97		5.3
61-90	53	8	80	71	I.9	III.0	22.0	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 Versuchspartzen 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 an.

Stichprobeninventur



Langfristige Versuchsflächen



Oberfränkisches Triashügelland
Wuchsbezirke 7.1;7.2

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 Ertragstafel von WIEDEMANN (1943), I.-IV. Ertragsklasse, eingetragen.

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.

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.

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 ein länger andauernder Zuwachseinbruch zu beobachten, bis der Zuwachs wieder auf die Werte vor dem Eingriff 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.

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	INV VFL
1-30	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

Die Standorte wechseln zwischen trockenen, mäßig trockenen und mäßig frischen Sanden sowie mäßig wechselfeuchten lehmigen Sanden (vgl. Tab. 3.2-2). Auffällig ist die Versuchsfläche Weiden 611. Die 24 Parzellen wurden 1982 mit dem Ziel angelegt, das Kiefernwachstum bei unterschiedlicher Pflanzdichte und Durchforstung zu untersuchen. Damit kann die Jugendentwicklung der Kiefer in diesem Gebiet gut beschrieben werden.

Das Oberpfälzer Becken- und Hügelland gehört neben der Frankenalb und der Alabdachung 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 zu erkennen 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 Höhenbereichen, 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.

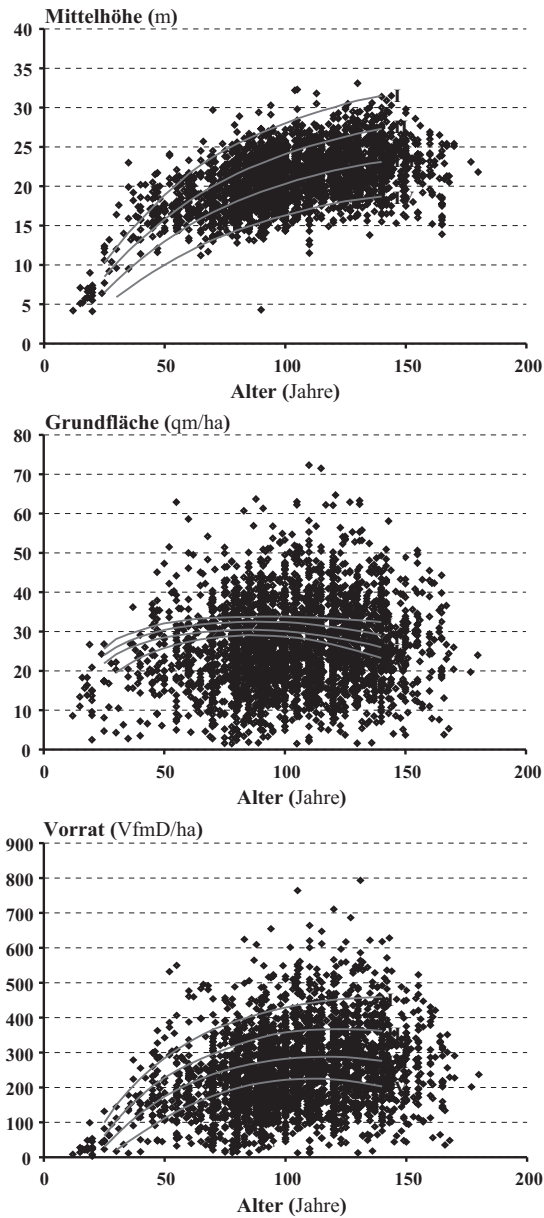
Wie in den anderen Gebieten finden sich auch im Oberpfälzer Becken- und Hügelland extrem hohe Streuungen der Werte der Stichprobendaten. Die Grundflächen- und Vorratswerte steigen im Durchschnitt jedoch mit dem Alter an. 136 Jahre alte Bestände erreichen ca. 28 qm/ha bzw. ca. 280 VfmD/ha bei einem Bestockungsgrad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

Die Ergebnisse der Versuchspartellen 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, einige Parzellen liegen mit bestimmten Kennwerten 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 erreicht, die in der weiteren Entwicklung jedoch stark abgesenkt werden.

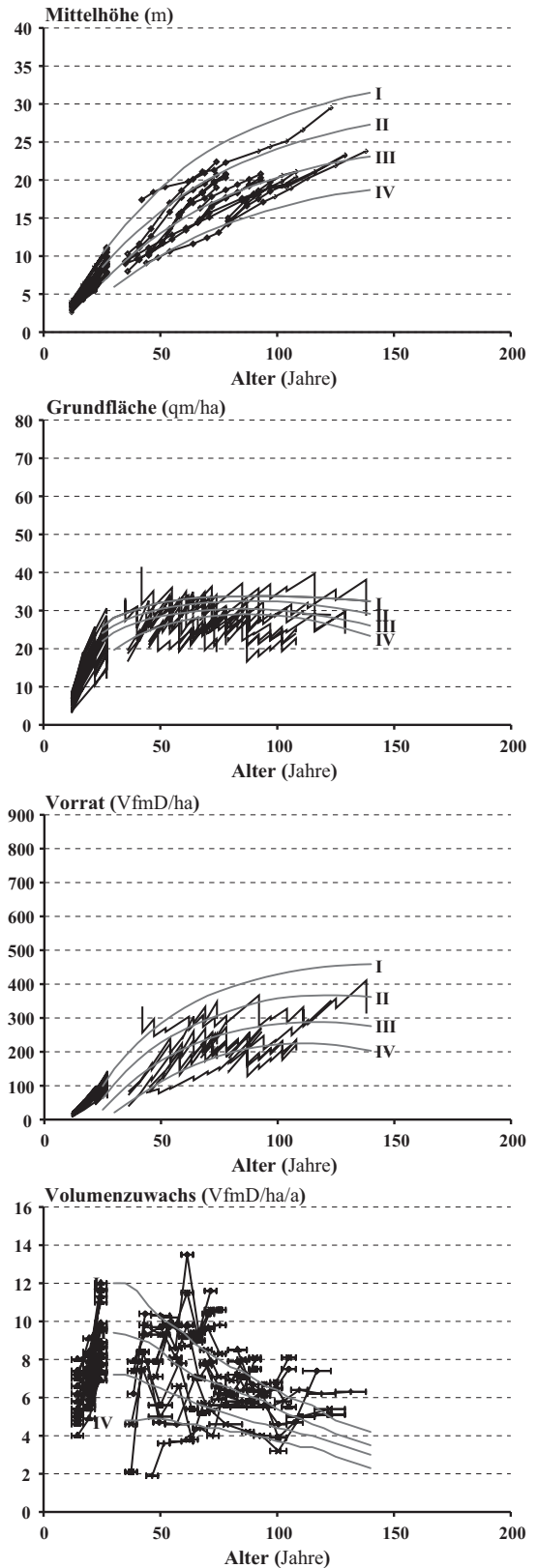
Im Gesamtüberblick folgt die Entwicklung des Zuwachses dem als gesetzmäßig beschriebenen Altersverlauf (ASSMANN, 1961). Der Volumenzuwachs der Weidener Versuchsfläche steigt entsprechend der frühen Vollkraftphase stark an. Insgesamt sinkt in den höheren Altersstufen der Volumenzuwachs wieder ab und deckt 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 nicht umkehren. In höheren Altern (über 100 Jahre) werden noch Volumenzuwächse von etwa 6 VfmD/ha/a erreicht.

Stichprobeninventur



Langfristige Versuchsflächen



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 Ertragstafel von WIEDEMANN (1943), I-IV. Ertragsklasse, eingetragen.

6.1.10 Waldsassener Schiefergebiet/Wiesauer Senke

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

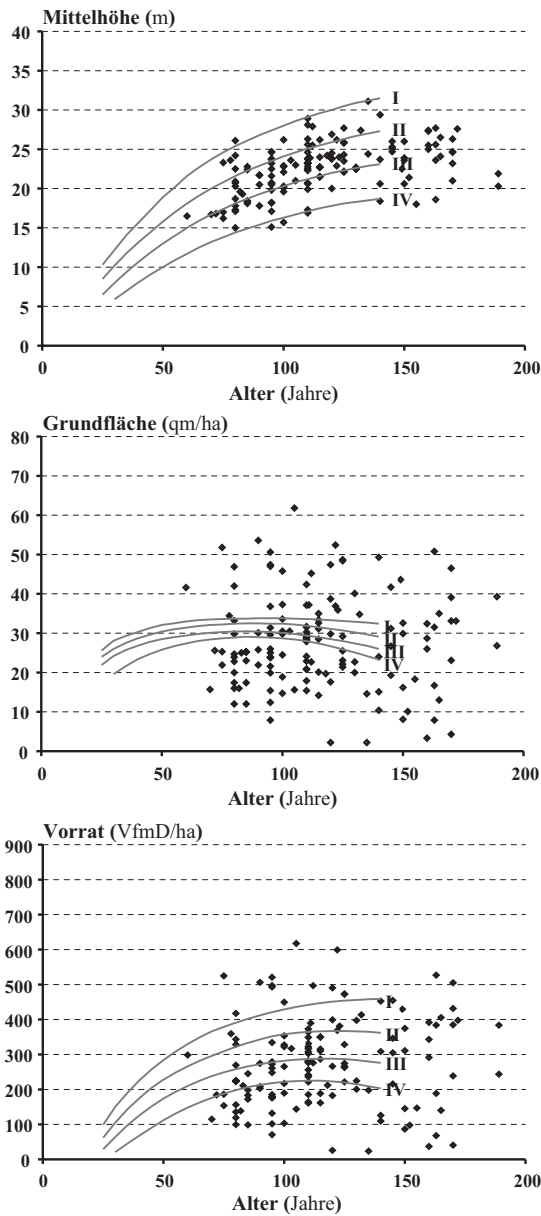
Tab. 6.1-10: Anzahl Werte, mittleres Alter, Bonität, Höhe des Grundflächenmittelstammes (HGV), Grundfläche (GV), Vorrat (VV), Bestockungsgrad (BG), laufender jährlicher Volumenzuwachs (IV) der Region Waldsassener Schiefergebiet für fünf Altersstufen. Datengrundlage: Daten aus der Stichprobeninventur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

Alters- stufe (Jahre)	Anzahl Werte		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	VFL
1-30																
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

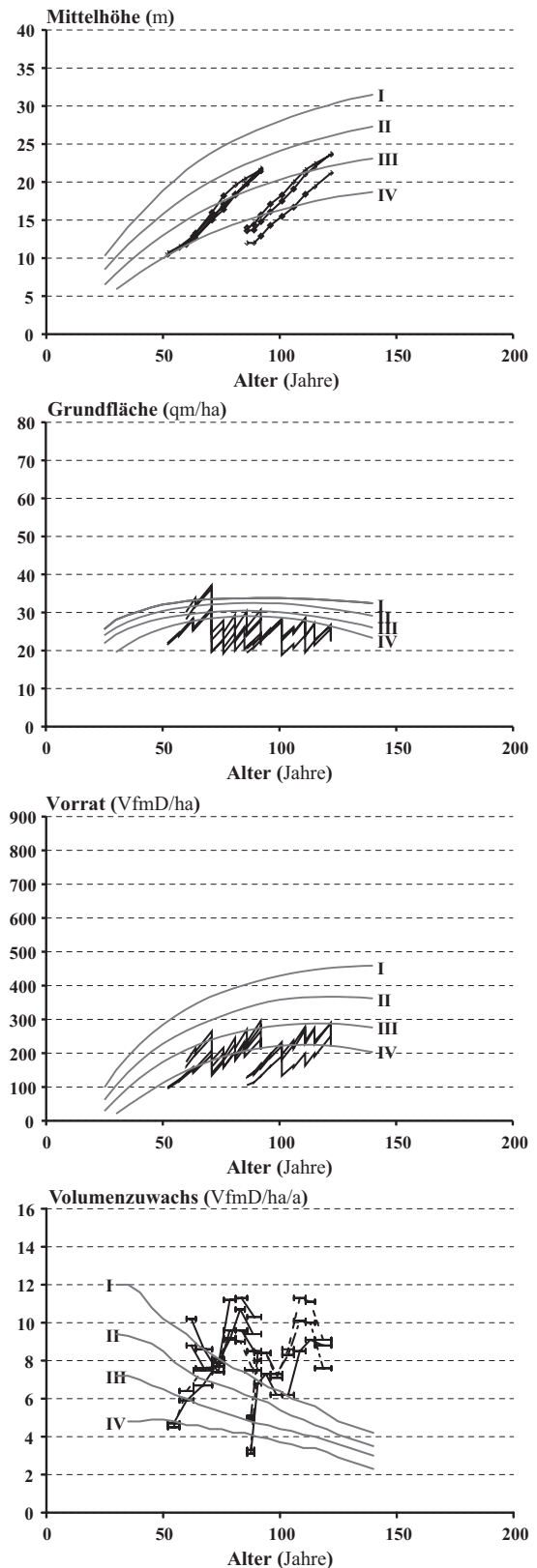
Trotz der fehlenden ersten beiden Altersstufen bei den Werten der Inventurpunkte verschlechtert sich die mittlere Höhenwuchsleistung älterer Bestände um 0.3 Ertragsklassen (Tab. 6.1-10, Abb. 6.1-15). Die Höhen der Versuchspartzellen liegen im jüngeren Alter deutlich unter denen der Inventurpunkte. Sie 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 haben dieses geringe Ausgangsniveau verursacht. 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 fehlender Durchforstungsmaßnahmen steigen auf den Versuchsflächen 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 Versuchspartzellen unabhängig vom Ausgangsalter 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 Partzellen bedingt. Danach steigen die Zuwächse unabhängig vom Alter vehement an, bis sie Werte von ca. 11 VfmD/ha/a erreichen.

Stichprobeninventur



Langfristige Versuchsflächen



Waldsass. Schiefergebiet/Wiesauer Senke
Wuchsbezirk 10.2

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 Ertragstafel von WIEDEMANN (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 insgesamt 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 Werte, 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).

Altersstufe (Jahre)	Anzahl Werte		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	VFL
1-30	76		23		I.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. Eine Interpretation dieser Daten ist jedoch schwierig, weil die Belegung in den Altersstufen sehr gering ist, insbesondere bei 61-90 Jahren. Im Alter von durchschnittlich 67 Jahren werden schon Höhenwerte von 23.4 m erreicht.

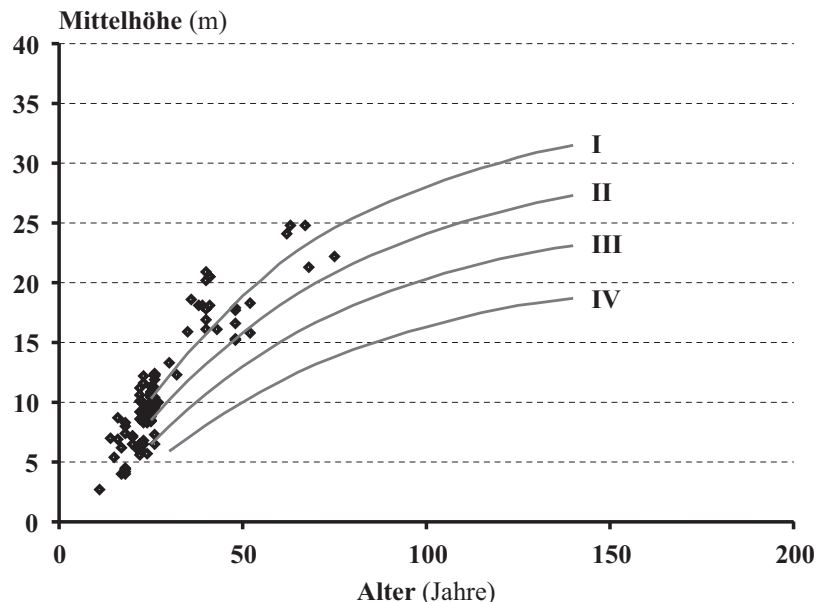


Abb. 6.1-16: Darstellung der Mittelhöhen über dem Alter in den Beständen der Stichprobeninventur, Region Münchner Schotterebene. Zum Vergleich sind die Werte der Ertragstafel von WIEDEMANN (1943), I.-IV. Ertragsklasse, eingetragen.

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.

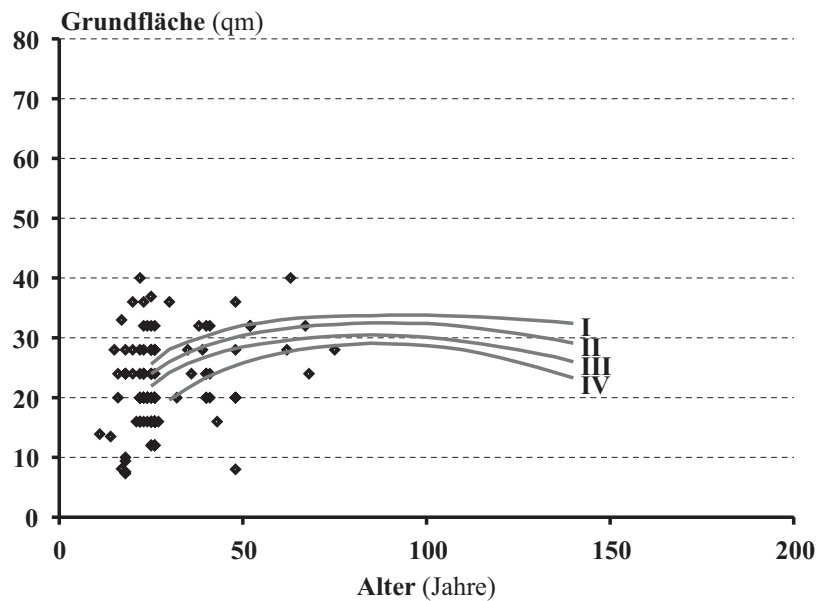


Abb. 6.1-17: Darstellung der Grundflächen über dem Alter in den Beständen der Stichprobeninventur, Region Münchner Schotterebene. Zum Vergleich sind die Werte der Ertragstafel von WIEDEMANN (1943), I.-IV. Ertragsklasse, eingetragen.

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.

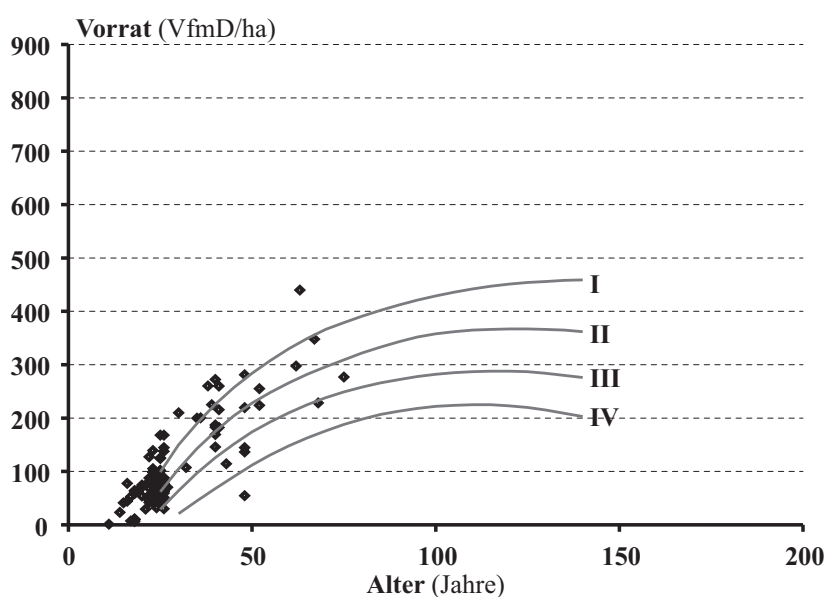


Abb. 6.1-18: Darstellung der Vorräte über dem Alter in den Beständen der Stichprobeninventur, Region Münchner Schotterebene. Zum Vergleich sind die Werte der Ertragstafel von WIEDEMANN (1943), I.-IV. Ertragsklasse, eingetragen.

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.

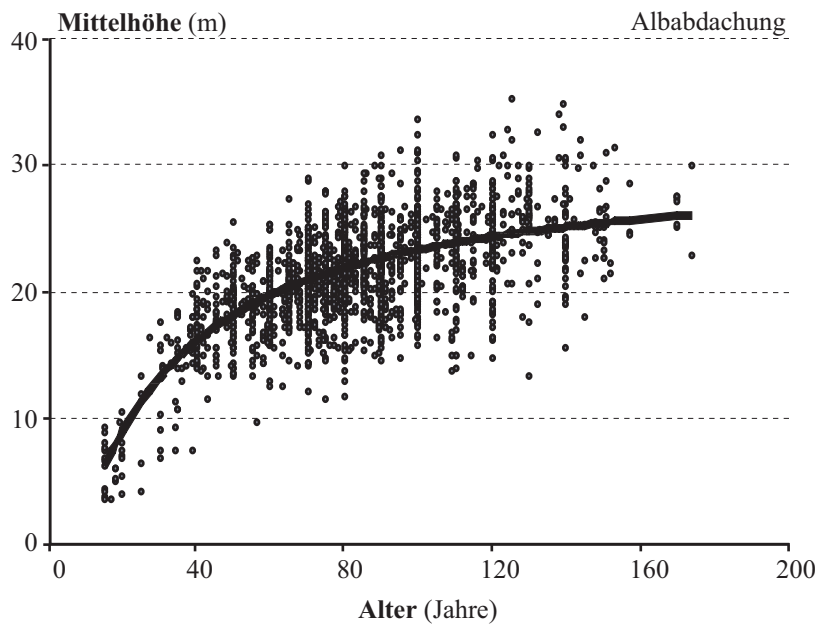


Abb. 6.2-1: Nichtlinearer Ausgleich der Mittelhöhen mit der KORF-Funktion für die Region Alabdachung; Datenquelle: Ergebnisse aus der Stichprobeninventur.

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.

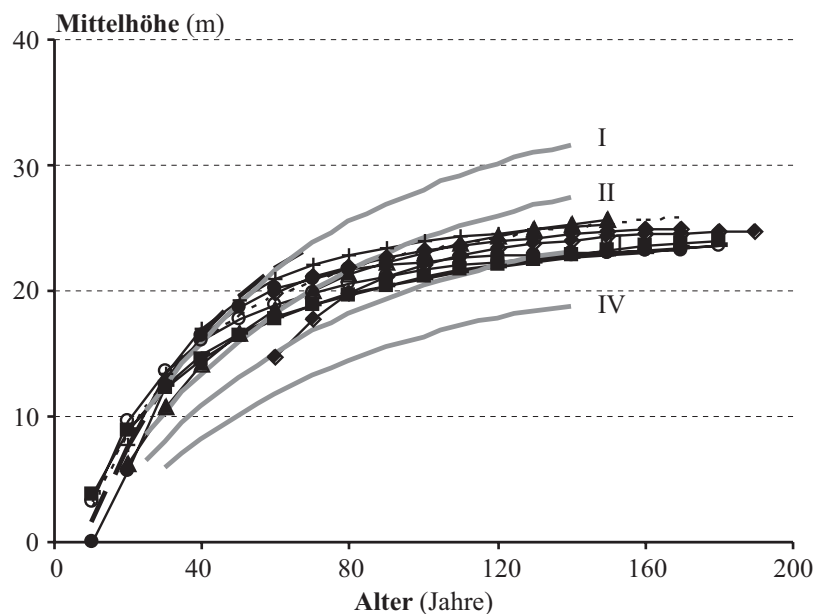


Abb. 6.2-2: Schätzfunktionen der Mittelhöhen für die einzelnen Regionen. Zum Vergleich sind die Werte der Ertragstafel von WIEDEMANN (1943), I.-IV. Ertragsklasse eingetragen. Datenquelle: Ergebnisse aus der Stichprobeninventur.

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 Albabdachung 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
Keupersenkland (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
Albabdachung (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
Keupersenkland (5.5/1;5.6/1)	85	10	166
Südliches Albvorland (5.8)	77	17	145
Frankenalb (6.1;6.2)	82	21	175
Albabdachung (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 Standortsvielfalt 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)

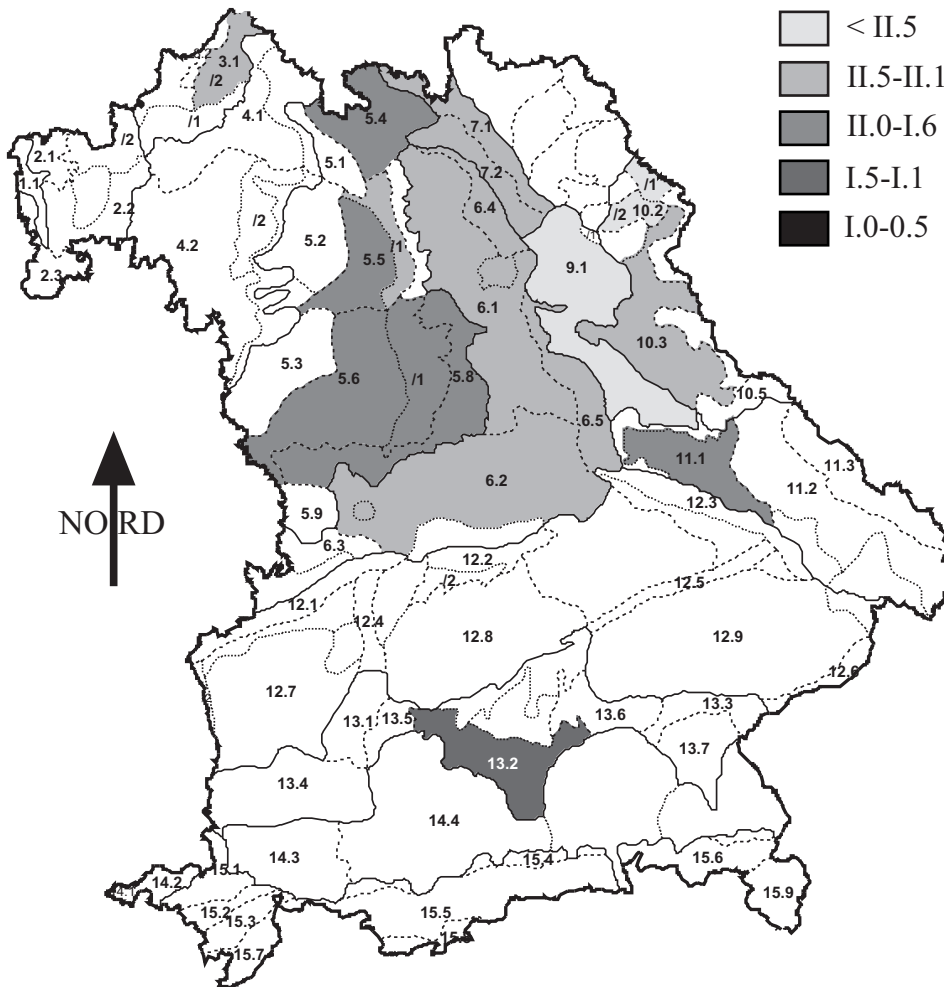


Abb. 6.2-3: Karte mit der Darstellung der durchschnittlichen Ertragsklassen in den untersuchten Regionen; Datenquelle: Ergebnisse aus der Stichprobeninventur.

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 Keupersenkland 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
Albabdachung (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
Münchner Schotterebene (13.2)	22.3	7.3	40.0

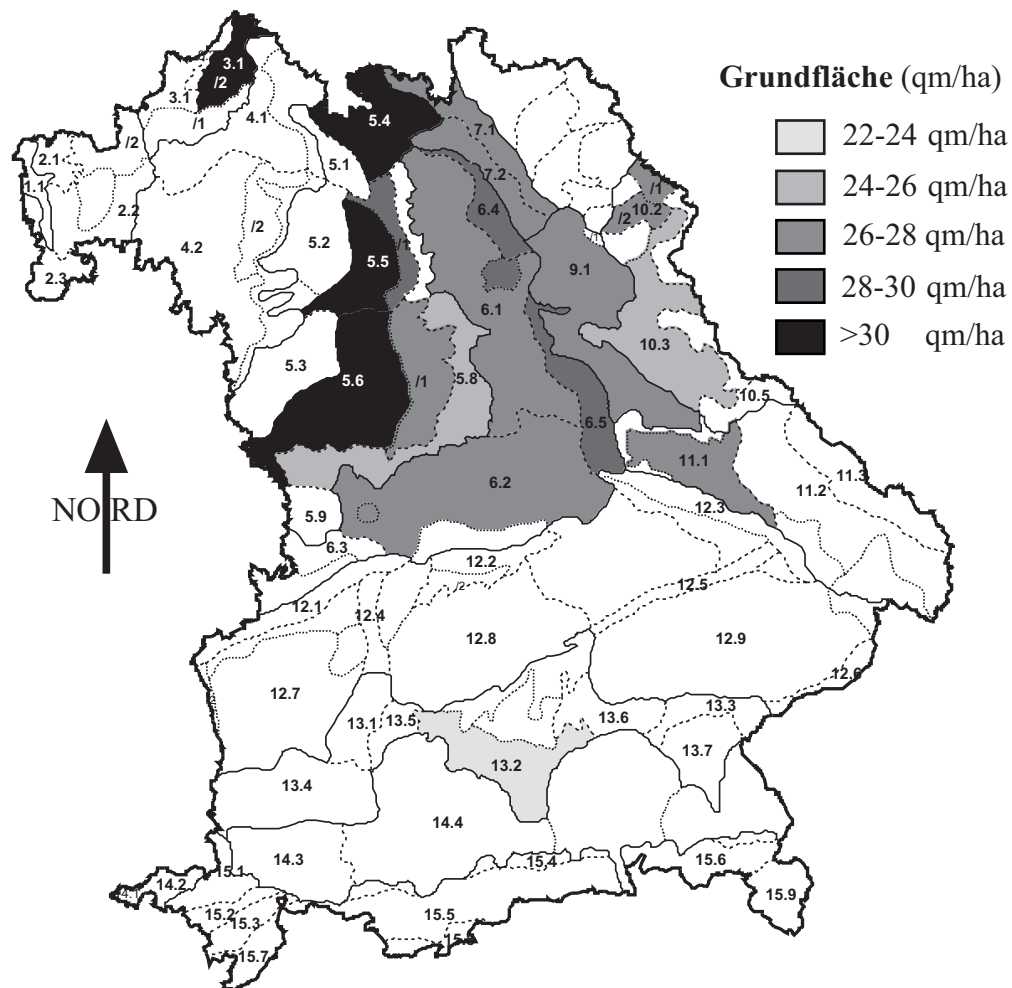


Abb. 6.2-4: Karte mit der Darstellung der durchschnittlichen Grundflächen (qm/ha) in den untersuchten Regionen; Datenquelle: Ergebnisse aus der Stichprobeninventur.

Der durchschnittliche Bestockungsgrad schwankt zwischen 0.77 und 0.95 (Tab. 6.2-6). Die mit Abstand geringste Dichte findet sich im Südlichen Albvorland. 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 Ertragstafel von WIEDEMANN 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 in den einzelnen Regionen 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.

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.

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

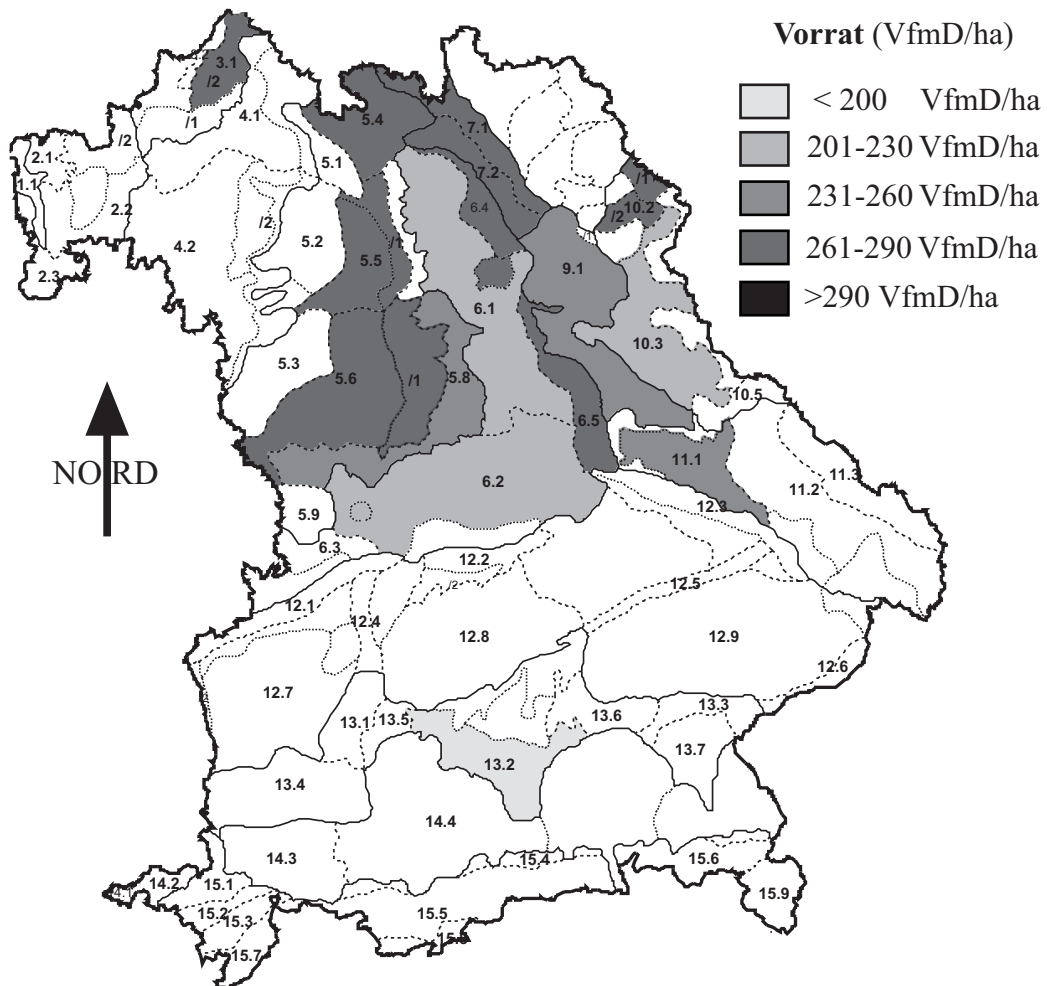


Abb. 6.2-5: Karte mit der Darstellung der durchschnittlichen Vorräte (VfmD/ha) in den untersuchten Regionen; Datenquelle: Ergebnisse aus der Stichprobeninventur.

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
Summe	15448	155007

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.

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.

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)					
	1-30	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

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 Ertragstafel von WIEDEMANN (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 Albvorland (5.8)	0.42	0.26	0.25	0.27	0.22	0.26	21840
Albabdachung (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.

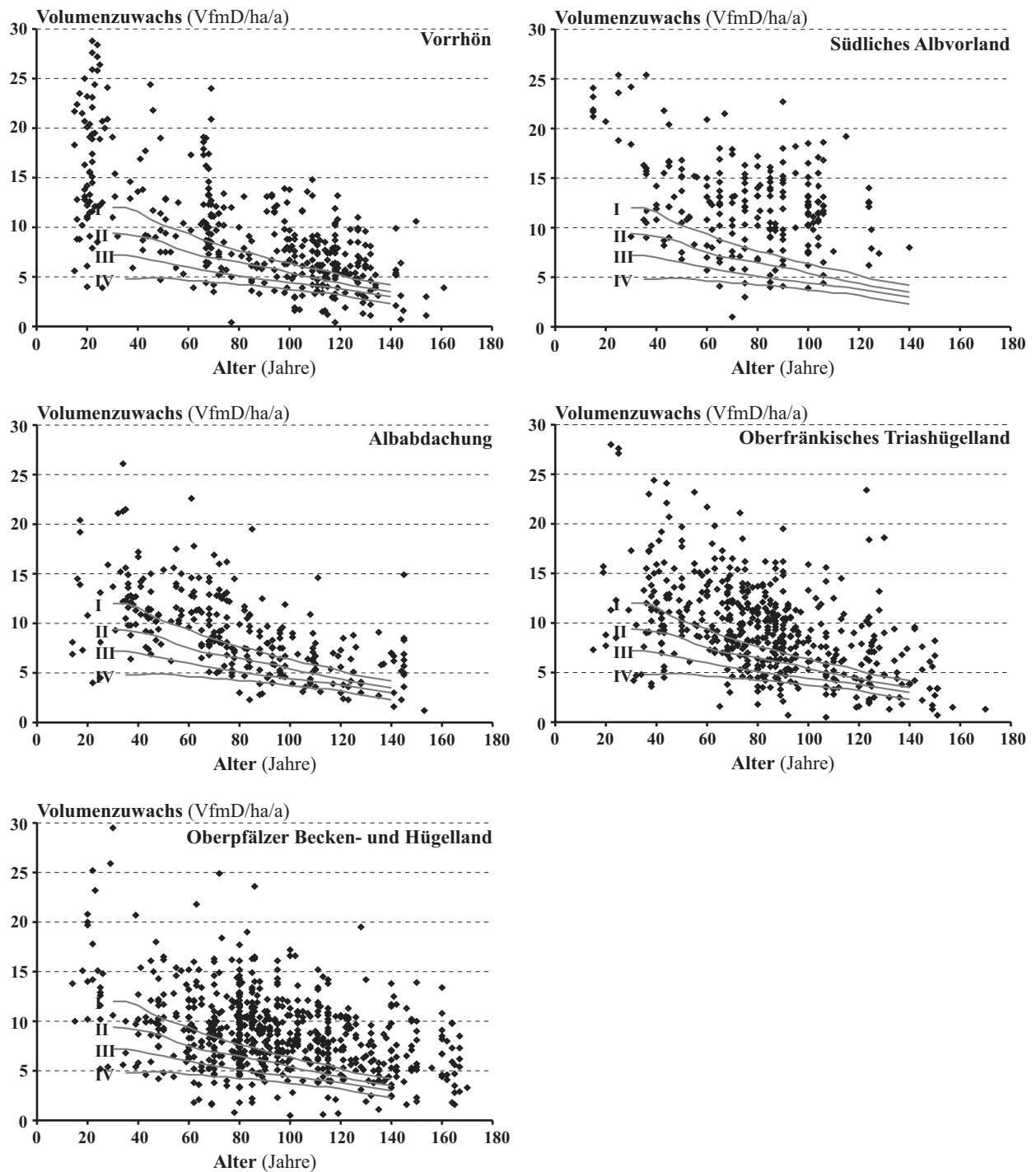


Abb. 6.3-1: Darstellung des Volumenzuwachses aus den Ergebnissen der Wiederholungsinventur der fünf untersuchten Regionen über dem Alter. Zum Vergleich sind die Erwartungswerte der Ertragstafel von WIEDEMANN (1943, mäßige Durchforstung) eingezeichnet.

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.

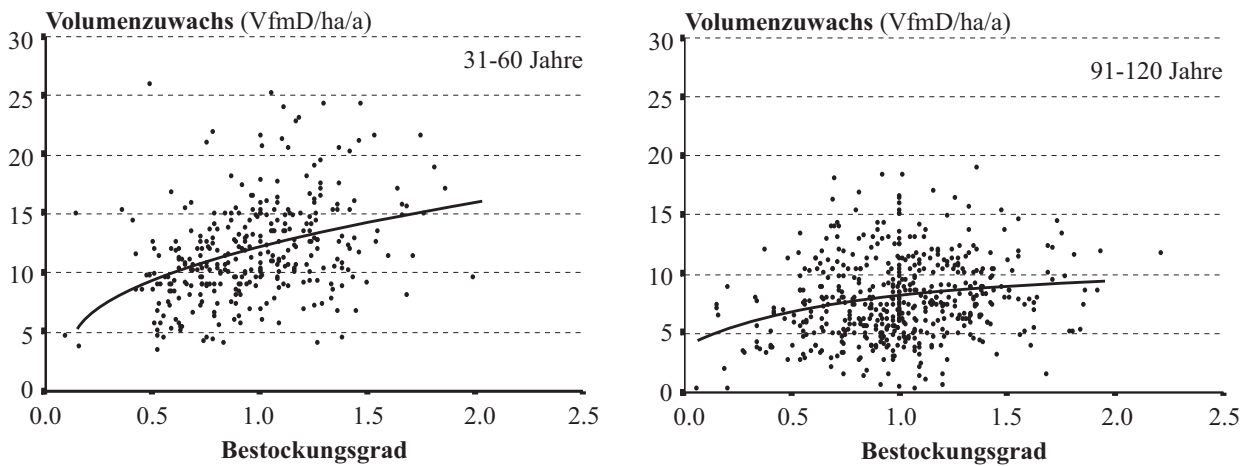


Abb. 6.3-2: Darstellung des Volumenzuwachses aus den Ergebnissen der Wiederholungsinventur in Abhängigkeit vom Bestockungsgrad für die Altersstufen 31-60 Jahre und 91-120 Jahre.

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 erweiterten KORF-Funktion (vgl. Gleichung 5.1-6) 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 Albvorland (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 Ertragstafel von WIEDEMANN (1943, mäßige Durchforstung) liegen.

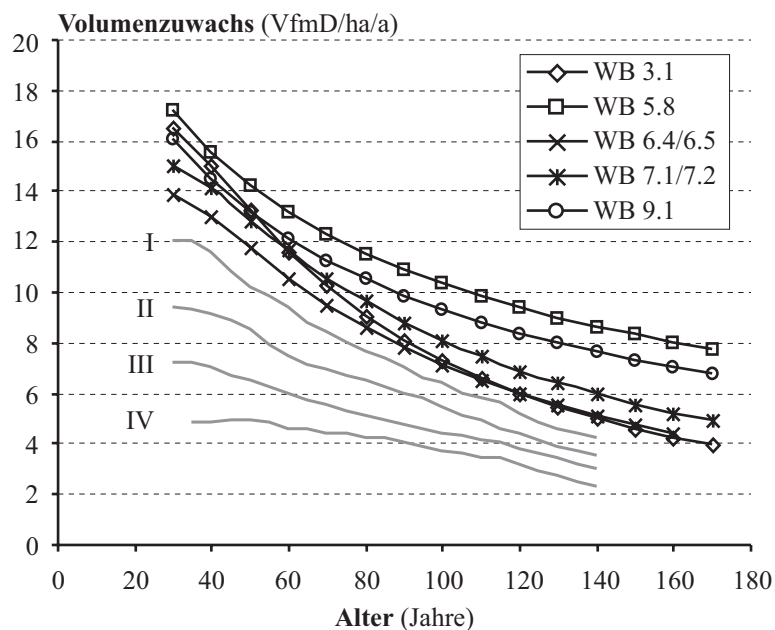


Abb. 6.3-3: Darstellung des durchschnittlichen Volumenzuwachses über dem Alter mit Hilfe der berechneten Schätzfunktion bei einem Bestockungsgrad von 1.0. Zum Vergleich sind die Werte der Ertragsklassen der Ertragstafel von WIEDEMANN (1943, mäßige Durchforstung) eingetragen.

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 in diesem Alter 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 in höherem Alter 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
Albabdachung (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 klare 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 Ertragstafel von WIEDEMANN 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.

	durchschnittliche Höhen im Alter 140	Bonitätssprung (von jung nach alt)	langfristiger Zuwachstrend (VfmD/ha/a)
Datenquelle	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 (1-30 Jahre) eine um 1.2 bis 1.4 Ertragsklassen verbesserte Bonität. Noch größer sind die Bonitätsverbesserungen in den Gebieten mit schlechteren Wuchsverhältnissen mit einer Steigerung um 1.9 bis 2.7 Ertragsklassen.

Die kurzfristige Entwicklung des laufenden jährlichen Volumenzuwachses auf den 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 Alabdachung (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)). Die Ursache hierfür können wie bei vorherigen Zuwachsperioden kurzfristige Schwankungen durch stark wirkende Klimaeinflüsse sein. Der 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). Bei dieser Analyse werden nur die Haupteffekte der Standortvariablen auf das Höhenwachstum berücksichtigt und Interaktionen zwischen den Standortvariablen nicht betrachtet, da wichtige Einflussgrößen, wie beispielsweise der Nährstoffhaushalt des Bodens, nicht miteinbezogen werden können. Auf diese Ergebnisse aufbauend folgt eine Beschreibung der Höhenwachstumsgänge auf unterschiedlichen Standorten. Eine nähergehende Analyse erfolgt mit den Daten aus den langfristigen Versuchsflächen (Abschnitt 7.2). Hier können die tatsächlichen Entwicklungsgänge verschiedener ertragskundlicher Kennwerte auf unterschiedlichen Standorten untersucht und vor allem auch die Reaktionen des Zuwachses auf die Standortparameter analysiert werden. In diesem Abschnitt werden auch die Wechselwirkungen der Standortvariablen untereinander mitberücksichtigt. Für eine weitere Untersuchung der Reaktionsmuster werden zusätzlich die Zuwachsverläufe ausgewählter Probestämme, die aus unterschiedlichen Wuchsgebieten mit verschiedenen Standorten stammen, ausgewertet (Abschnitt 7.3).

7.1 Analyse des Höhenwachstums anhand der Daten aus der permanenten Stichprobeninventur

7.1.1 Untersuchte ertragskundliche Variable

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.

$$H_pred = a \cdot e^{-b \cdot t^{-c}} \quad \text{Gleichung 7.1.1}$$

wobei:

- H_pred = 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.

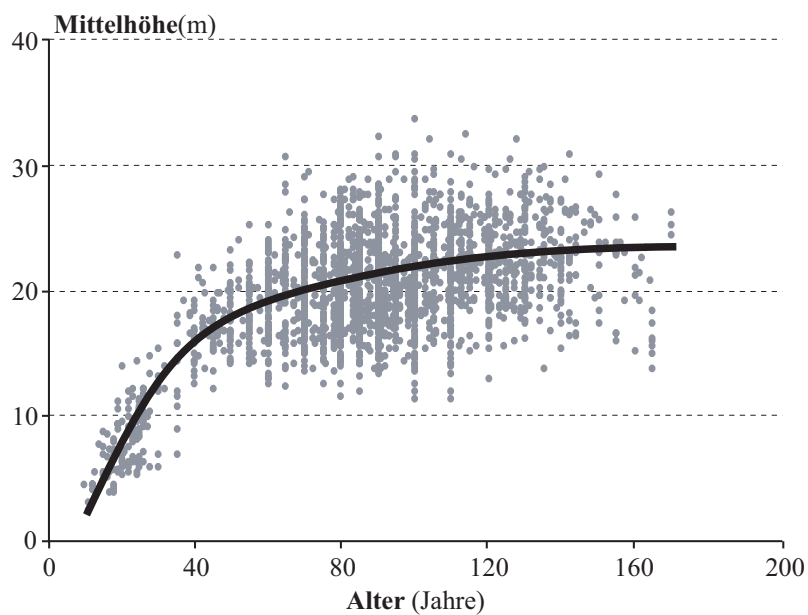


Abb. 7.1-1: Darstellung der Mittelhöhen und der Ausgleichskurve (H_pred) der Daten aus der permanenten Stichprobeninventur.

Bei Bildung des Quotienten aus der Mittelhöhe (H_{mit}) und der durch die Funktion errechneten geschätzten Mittelhöhe ergibt sich eine Variable (Gleichung 7.1-2), die das Alter aus der Betrachtung eliminiert (siehe auch POTT, 1997).

$$H_{rel} = \frac{H_{mit}}{H_{pred}} \quad \text{Gleichung 7.1-2}$$

wobei:

- H_{rel} = relative Höhe (m)
- H_{mit} = Mittelhöhe (m)
- H_{pred} = geschätzte Mittelhöhe der Ausgleichsfunktion (m)

7.1.2 Untersuchte Standortvariablen

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.

Temperatur (Veg.)		Niederschlag (Veg.)	
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 dreiziffrige codierten Standortseinheiten zur Verfügung, die das Substrat, die Besonderen Merkmale und den Wasserhaushalt des Bodens in einem nach 10 Klassen eingeteilten System charakterisieren (Tab. 7.1-3).

Tab. 7.1-3: Ziffernsystem zur Codierung der Standortseinheiten (Bayern, außer Hochgebirge).

Gliederung der Standorteinheiten (Bayern, außer Hochgebirge)

1. Ziffer: Bodenart+Schichtung		2. Ziffer: Besondere Merkmale		3. Ziffer: Wasserhaushalt	
0	Sand, Kies, Geröll, Fels-Blockwerk	0	normal	0	(sehr) trocken
1	lehmiger Sand, sandiger Lehm	1	nährstoffarm, podsoliert	1	mäßig trocken, grundwechselfeucht
2	Lehm (± 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

7.1.3 Varianzanalytische Untersuchung des Standortseinflusses

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 7.1-4.

Tab. 7.1-4: Ergebnisse der Varianzanalyse zur Prüfung des Einflusses des Niederschlags während der Vegetationszeit (NVEG_KL), der Temperatur während der Vegetationszeit (TVEG_KL), des Substrates (STOE_1), der Besonderen Merkmale (STOE_2) und des Wasserhaushaltes (STOE_3) auf die Abweichung der Mittelhöhe von den erwarteten Werten (HREL) mit den Quadratsummen, den Freiheitsgraden (df), dem Mittel der Quadrate, dem F-Wert (F) und dem Signifikanzniveau.

Tests der Zwischensubjekteffekte					
Abhängige Variable: HREL					
Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Korrigiertes Modell	13.144 ^a	33	.398	16.015	.000
Konstanter Term	47.295	1	47.295	1901.661	.000
NVEG_KL	.415	3	.138	5.559	.001
TVEG_KL	.205	3	.068	2.754	.041
STOE_1	.741	9	.082	3.313	.000
STOE_2	2.580	9	.287	11.526	.000
STOE_3	2.942	9	.327	13.143	.000
Fehler	60.261	2423	.025		
Gesamt	2523.675	2457			
Korrigierte Gesamtvariation	73.405	2456			
a	R-Quadrat = .179 (korrigiertes R-Quadrat = .168)				

Mit Ausnahme der Temperatur während der Vegetationszeit zeigen die Ergebnisse für jeden untersuchten Standortsfaktor einen höchstsignifikanten Unterschied, die Nullhypothese muss zurückgewiesen werden (Tab. 7.1-4). 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 16,8 % der Streuung von den untersuchten Parametern erklärt werden. Den höchsten Einfluss hat dabei die Wasserhaushaltsstufe, gefolgt von den Besonderen Merkmalen und dem Substrattyp.

In den Tabellen 7.1-5 bis 7.1-9 sind die Mittelwerte der relativen Höhen für die Standortsfaktoren dargestellt. Liegt der Wert von H_{rel} über 1, zeigt sich bei diesem Standortsfaktor 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. 7.1-5) 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. 7.1-5: Durchschnittliche relative Höhe (H_{rel}), Standardabweichung und Anzahl der Inventurpunkte bei 10 verschiedenen Wasserhaushaltsstufen.

Wasserhaushalt	Durchschnitt HREL	Standard- abweichung	Anzahl Inventurpunkte
(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 wechselfeucht	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. 7.1-6) 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_{rel} bei nährstoffarmen, podsolierten Böden. Dieses unerwartete Verhalten kann ursächlich mit der geringen Anzahl an Datensätzen (9) in dieser Gruppe zusammenhängen.

Tab. 7.1-6: Durchschnittliche relative Höhe (H_{rel}), Standardabweichung und Anzahl der Inventurpunkte (= Anzahl Fälle) bei 10 verschiedenen Trophiemerkmalen.

Trophiemerkmale	Durchschnitt HREL	Standard- abweichung	Anzahl Fälle
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. 7.1-7) 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 Schichtsand mit einer relativen Höhe (H_{rel}) von 1.05.

Tab. 7.1-7: Durchschnittliche relative Höhe (H_{rel}), Standardabweichung und Anzahl der Inventurpunkte bei 10 verschiedenen Substrattypen.

Substrattyp	Durchschnitt HREL	Standard- abweichung	Anzahl Fälle
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. 7.1-8). Als Ursache kann auch hier ein geringes Datenmaterial bei 401-450 mm (74 Inventurpunkte) in Frage kommen.

Tab. 7.1-8: Durchschnittliche relative Höhe (H_{rel}), Standardabweichung, Anzahl der Inventurpunkte bei unterschiedlichen Niederschlägen während der Vegetationszeit.

Niederschlag während der Vegetationszeit (mm)	Durchschnitt HREL	Standard- abweichung	Anzahl Inventurpunkte
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. 7.1-9).

Tab. 7.1-9: Durchschnittliche relative Höhe (H_{rel}), Standardabweichung und Anzahl der Inventurpunkte bei unterschiedlichen Temperaturen während der Vegetationszeit.

Temperatur während der Vegetationszeit (°C)	Durchschnitt HREL	Standard- abweichung	Anzahl Inventurpunkte
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.

7.1.4 Beschreibung des Höhenwachstums in Abhängigkeit von den 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 einer Wasserhaushaltsstufe 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 7.1-10. Im Vergleich zur Funktion ohne Berücksichtigung des Standortfaktors hat sich das Bestimmtheitsmaß von 0.48 (Tab. 7.1-1) auf 0.55 erhöht.

Tab. 7.1-10: 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 führte zu keinem besseren Ergebnis. Abbildung 7.1-2 zeigt die Ausgleichskurven für mäßig frische und mäßig wechselfeuchte Standorte. Die Streuung um die Funktionswerte hat sich durch den Einbezug des Wasserhaushaltes deutlich verringert.

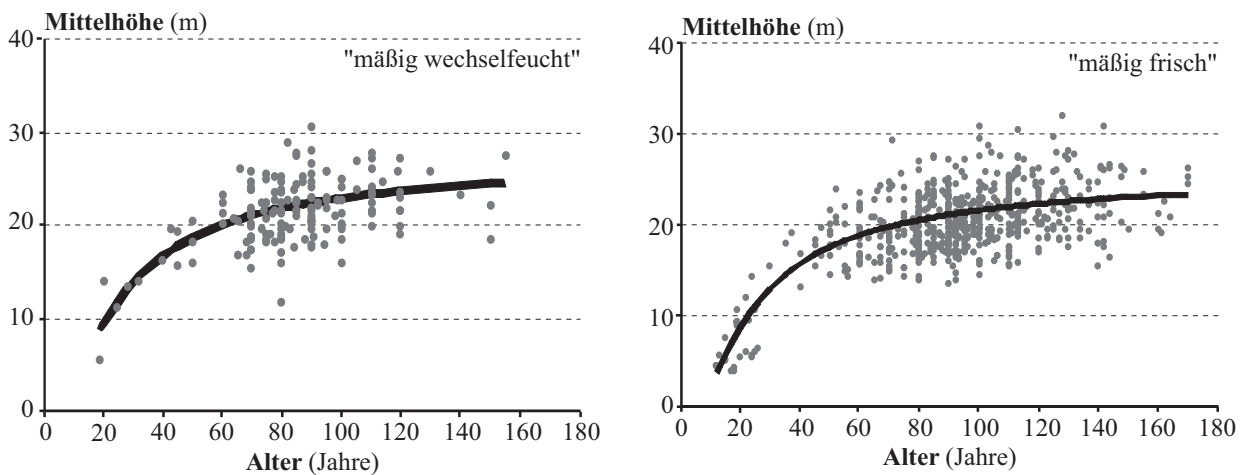


Abb. 7.1-2: Darstellung des nichtlinearen Ausgleichs der Mittelhöhe mittels der KORF-Funktion unter Berücksichtigung des Standortfaktors Wasserhaushaltsstufe auf mäßig frischen und mäßig wechselfeuchten Standorten.

Einen Vergleich der Höhenleistungen der zehn Wasserhaushaltsstufen zeigt Abbildung 7.1-3. Zur besseren Einordnung werden die Werte der Ertragstafel von WIEDEMANN (1943, mäßige Durchforstung) gegenübergestellt.

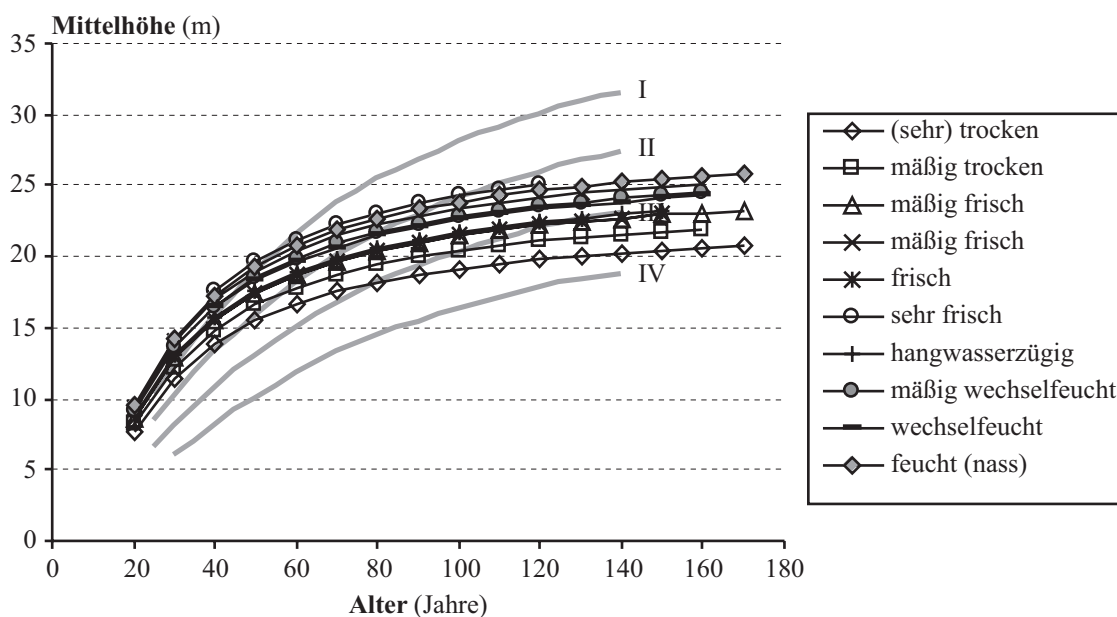


Abb. 7.1-3: Darstellung der Ausgleichshöhenkurven für die zehn Wasserhaushaltsstufen. Zum Vergleich sind die Erwartungswerte der Ertragstafel von WIEDEMANN (1943, mäßige Durchforstung), I-IV. Ertragsklasse, eingezeichnet.

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 mit Abstand 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.

7.2 Analyse wichtiger Wachstumsgrößen anhand der Daten aus den langfristig beobachteten Versuchsflächen

Im folgenden Abschnitt werden die Daten einiger wichtiger Wachstumsgrößen aus den langfristigen Versuchsflächen auf ihren Standortseinfluss überprüft. Da diese Versuchsflächen teilweise seit Ende des 19. Jahrhunderts unter Beobachtung stehen, können hier, im Gegensatz zur Untersuchung in Abschnitt 7.1, auch die tatsächlichen langfristigen Entwicklungsreihen und damit der Zuwachs analysiert werden. Zudem stehen für diese Versuchsflächen genauere Angaben zum Standort zur Verfügung, sodass hier eine intensivere Untersuchung des Standortseinflusses möglich wird.

7.2.1 Untersuchte ertragskundliche Variablen

Neben der Oberhöhe als Ausdruck einer durchforstungsunabhängigen Wachstumsgröße, der Gesamtwuchsleistung als Weiser für die Produktivität sowie der mittleren Grundflächenhaltung als Kennwert für die Bestandesdichte, werden bei dieser Analyse auch die drei Zuwachsgrößen Oberhöhen-, Grundflächen- und Volumenzuwachs in ihrer Ausprägung betrachtet.

Ausschluss des Alterstrends

Um eine Verzerrung der Ergebnisse durch den altersbedingten Wachstumsverlauf zu vermeiden, wird wie in Abschnitt 7.1.1 das Alter durch Relativierung der jeweiligen Wachstumsgröße anhand der mittleren Entwicklung herausgerechnet. Unter Verwendung der Gleichungen 5.1-1, bzw. 5.12 aus Abschnitt 5.1 werden der durchschnittliche Wachstums-, bzw. Zuwachsverlauf berechnet und mit Hilfe dieses „Erwartungswertes“ mit der Gleichung 7.1-2 aus Abschnitt 7.1, die Variablen HO_REL, GWL_REL, IHO_REL, IG_REL, IV_REL gebildet. Für die mittlere Grundflächenhaltung erwies sich zur Berechnung des durchschnittlichen Entwicklungsverlaufes die Gleichung 7.2-1 als die geeignetste.

$$MGH_{pred} = a + b \cdot \log(t)$$

Gleichung 7.2-1

wobei:

- MGH_pred = geschätzte mittlere Grundflächenhaltung (qm/ha)
- t = Alter (Jahre)
- a, b = Funktionsparameter
- log = natürlicher Logarithmus

Der Ausgleich der verschiedenen Variablen ist in Abbildung 7.2-1 grafisch dargestellt.

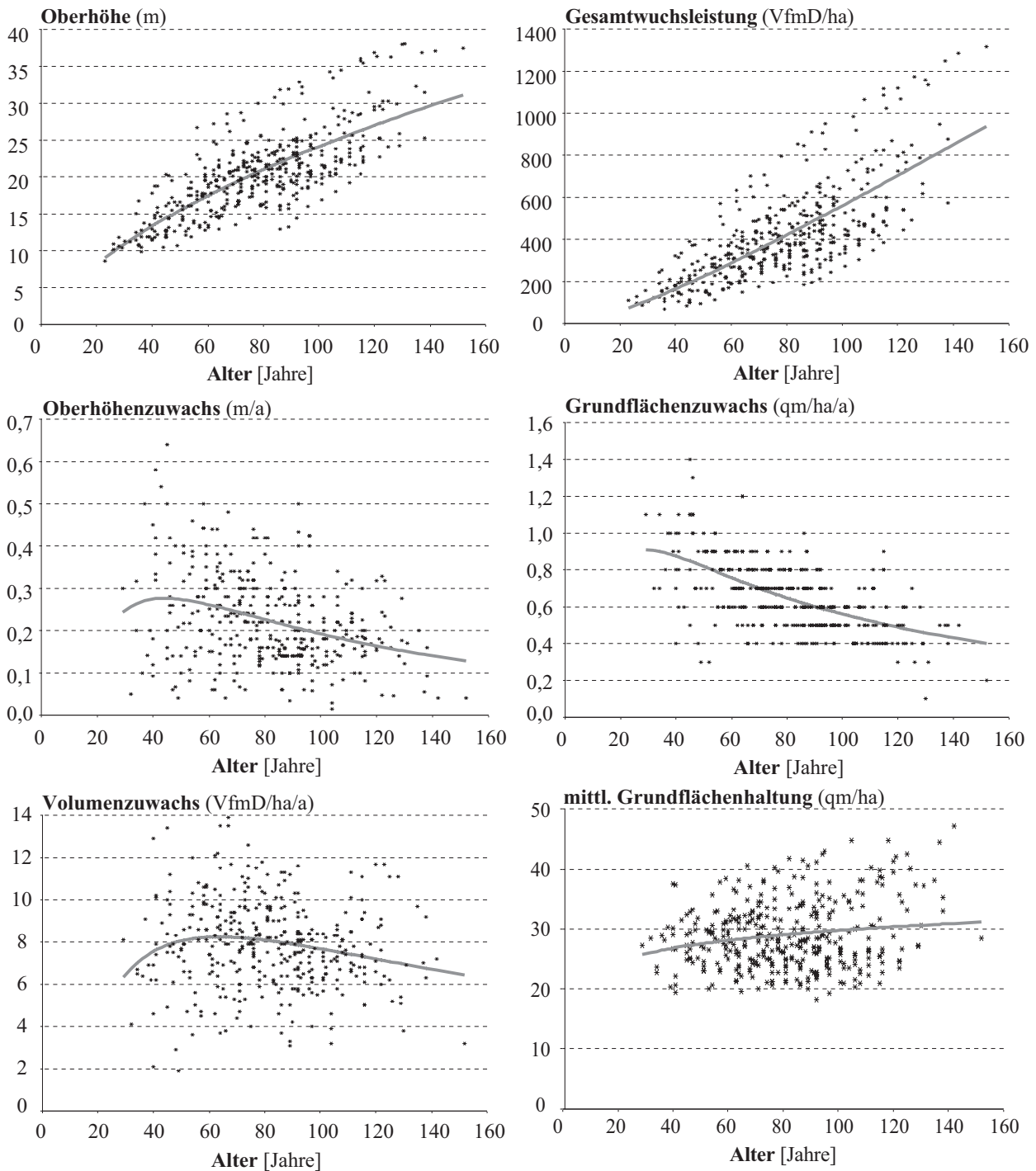


Abb. 7.2-1: Zusammenhang zwischen Alter und Wachstums- bzw. Zuwachsgrößen. Ausgleich der Wachstums- bzw. Zuwachswerte mit Hilfe von Wachstumsfunktionen.

7.2.2 Untersuchte Standortvariablen

Im Gegensatz zu dem in Abschnitt 7.1 untersuchten Datenmaterial steht für die langfristig beobachteten Versuchsflächen eine wesentlich größere und vor allem genauere Anzahl von Standortparametern zur Verfügung. Für insgesamt 13 der hier untersuchten 21 Versuchsflächen wurden im Rahmen des Projektes W31 „Wachstumstrends von Kiefer und Fichte in Bayern in Abhängigkeit von Ernährungszustand, Standort und Depositionsbelastung“ vom Lehrstuhl für Bodenkunde und Standortlehre (REHFUESS et al., 2001) genauere boden- und ernährungskundliche Untersuchungen durchgeführt.

Klimavariablen

Als Klimavariablen werden die langfristigen Durchschnittswerte aus den jeweiligen Standortoperaten verwendet, die dem Lehrstuhl für Waldwachstumskunde vorliegen. Untersucht werden die durchschnittliche Jahrestemperatur, die durchschnittliche Temperatur während der Vegetationsperiode, der durchschnittliche Jahresniederschlag und der durchschnittliche Niederschlag während der Vegetationsperiode. Die Vegetationsperiode ist hier definiert als Zeitraum zwischen Mai und September. Jede Klimavariablen wird im Hinblick auf die spätere statistische Auswertung und für eine übersichtliche Darstellung in Klassen eingeteilt (siehe Tab. 7.2-1).

Tab. 7.2-1: Einteilung der klimatischen Variablen Jahrestemperatur, Temperatur während der Vegetationszeit, Jahresniederschlag, Niederschlag während der Vegetationszeit, Temperaturamplitude, Dauer der Vegetationszeit und der Höhenlage in Klassen

		Klassen		
		1	2	3
Jahrestemperatur	°C	5-5-6.4	6.5-7.4	7.5-8.4
Temperatur w. d. Vegetationszeit	°C	14.0-14.4	14.5-14.9	15.0-15.4
Jahresniederschlag	mm	500-599	600-699	700-799
Niederschlag w. d. Vegetationszeit	mm	250-299	300-349	350-399
Temperaturamplitude	°C	18.0-18.9	19.0-19.9	
Dauer der Vegetationszeit	Tage	141-150	151-160	161-170
Höhenlage	m ü. NN	201-400	401-600	

Wasserhaushalt

Für die Charakterisierung des Wasserhaushaltes wird auf die Werte aus dem dreiziffrigen Codierungssystem (siehe Tab. 7.1-3) aus den Standortoperaten zurückgegriffen. Bei den

meisten Versuchsflächen finden sich im Versuchsakt zudem nähere Angaben zum Standort, die bei der Beurteilung des Wasserhaushaltes mitberücksichtigt werden. Wenn die Codierung aus den Standortoperaten stark von den Angaben im Versuchsakt abweicht, werden die Standortbestimmungen aus dem Versuchsakt übernommen, da diese sich genau auf die Fläche beziehen. Die sieben auftretenden Wasserhaushaltsstufen werden in die drei Klassen „ungünstiger“, „mittlerer“ und „besserer“ Wasserhaushalt zusammengefasst (siehe Tab. 7.2-2).

Tab. 7.2-2 Einteilung der Wasserhaushaltsstufen in die drei Klassen „ungünstiger“, „mittlerer“ und „besserer“ Wasserhaushalt

Wasserhaushaltsstufe		Klasse
0	(sehr) trocken	ungünstig
1	mäßig trocken	ungünstig
2	mäßig frisch	mittel
3	mäßig frisch-frisch	besser
6	mäßig wechsell trocken	ungünstig
7	mäßig wechselfeucht	mittel
8	wechselfeucht	besser

Nährstoffversorgung

Um die Nährstoffversorgung des Bodens zu charakterisieren, wird auf drei Datengrundlagen zurückgegriffen: Erstens die Erläuterungen zu den Standortseinheiten aus den Standortoperaten, zweitens die Angaben aus dem Versuchsakt und drittens einige der im Rahmen des Projektes W31 vom Lehrstuhl für Bodenkunde und Standortslehre (REHFUESS et al., 2001) erhobenen boden- und ernährungkundlichen Parameter.

Von letzteren wird der Ernährungszustand der Kiefernbestände (aufgenommen anhand der Blattspiegelwerte) als Ausdruck des für die Kiefern aufnehmbaren Nährstoffangebotes ausgewählt. Da die Berücksichtigung aller analysierter Nährelemente die Anzahl der zu untersuchenden Variablen zu stark erhöhen würde, wird hier nur der Stickstoffgehalt der Nadeln verwendet. In den Untersuchungen des Lehrstuhls für Bodenkunde und Standortslehre (REHFUESS et al., 2001) ist der Minimumfaktor der Nährelementversorgung in erster Linie der Stickstoff (N), wobei die Versorgung mit Kalium und Calcium nur wenig günstiger ist. Nach dem Minimumgesetz von LIEBIG (1855) bestimmt der im Minimum befindliche Faktor das Wachstum der Bestände. Im Rahmen des Projektes W31 wurden die Blattspiegelwerte in Ernährungsklassen nach HEINSDORF (1999) eingeteilt, die hier zur Einwertung des Nährstoffhaushaltes herangezogen werden (Tab. 7.2-3). Hierbei bedeuten die Werte zwischen 0-1 extremen Mangel, zwischen 1-2 mangelhafte Ernährung, zwischen 2-3 ausreichende-optimale Ernährung, zwischen 3-4 luxuriöse Ernährung und zwischen 4-5 eine sehr luxuriöse Ernährung, z.T. Überernährung.

Bei fast allen im Projekt W31 ernährungskundlich untersuchten Kiefernbeständen liegt der Stickstoffgehalt der Nadeln im Bereich „mangelhaft“ (siehe Tab. 7.2-3; „N-Klasse“). Nur auf vier Versuchsflächen reicht die Stickstoffernährung an die Grenze zu „ausreichend“ heran bzw. ist eine ausreichende Ernährung vorhanden. Bei dieser Größe ist jedoch zu beachten, dass es sich bei den Ernährungsclassen um eine Momentaufnahme aus dem Jahr 1998 handelt.

Als weitere Variable zur Einordnung des Nährstoffhaushaltes des Bodens dient die Streunutzungswahrscheinlichkeit, da durch diese Waldnutzungsform dem Boden ein Großteil der Nährstoffe und hier insbesondere Stickstoff entzogen wurde (REHFUESS, 1990). Für diese Variable stehen zum einen Aussagen aus den Standortoperaten zur Verfügung. Zum anderen wurden sie für die bodenkundlich untersuchten Versuchsflächen berechnet (REHFUESS et al., 2001).

Tab. 7.2-3 Angaben zur Nährstoffversorgung der Böden (Informationsquelle: Angaben aus den Standortoperaten, dem Versuchsakt und dem boden- bzw. ernährungskundlichen Teil des Projektes W31 (REHFUESS et al., 2001)) und Einteilung in die beiden Nährstoffklassen „schlecht“ und „besser“.

	Angaben Standortoperat/Versuchsakt		Angaben Projekt W31		Klasse
	Nährstoffhaushalt	Bemerkungen	Streunutzung	N-Klasse	
SLU 49	mittel-gut				besser
SLU 50	ausreichend		gering	1.89	besser
BAY 51	gut		gering	1.82	besser
BAY 52	gut	hochanstehender Ton			besser
KUL 53	ausreichend	evt. Streunutzung	möglich	1.71	besser
SNA 56	unzureichend	Streunutzung			schlecht
SNA 57	unzureichend	Streunutzung			schlecht
SLU 58	nährstoffarm	Streunutzung	möglich	1.34	schlecht
FLA 79	mittel-gut		gering	2.34	besser
PEG 226	ausreichend - gut		möglich	1.60	besser
WAS 228	nährstoffarm	Streunutzung			schlecht
BOD 229	nährstoffarm		wahrscheinl. intensiv	1.28	schlecht
BOD 230	nährstoffarm	intensive Streunutzung			schlecht
NES 231	geringe Versorg.	mäßige Streunutzung	möglich	1.40	schlecht
WAS 234	nährstoffarm	Streunutzung	wahrscheinl. intensiv	1.32	schlecht
BUL 235	basenarm,gering	starke Streunutzung; Weide	wahrscheinl. intensiv	1.95	schlecht
WAS 238	nährstoffarm	Streunutzung			schlecht
BOD 239	unzureichend				schlecht
BUL 240	gering-mittel	starke Streunutzung; Weide	möglich	1.47	schlecht
PRE 241	mineralstoffarm	Streunutzung			schlecht
HED 243	nährstoffreich		möglich	1.10	schlecht

Die Nährelementversorgung wird anhand der vorgestellten Angaben für die folgende Untersuchung in die zwei Klassen „schlecht“ und „besser“ eingeteilt (Tab. 7.2-3).

7.2.3 Statistische Analyse des Standorteinflusses

Untersuchung des Standorteinflusses mittels einer Korrelationsanalyse

Im ersten Schritt wird der Einfluss der einzelnen Standortvariablen auf die Wachstums- und Zuwachsgrößen und der Einfluss der Standortvariablen untereinander geprüft.

Verwendet werden die Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman (s), da hiermit eine Untersuchung ordinalskalierten Daten möglich ist (BORTZ, 1993). In Tab. 7.2-4 ist die Korrelationsmatrix dargestellt.

Bei Betrachtung der Ergebnisse mit einem Signifikanzniveau von $p < 0.01$ und einem Korrelationskoeffizienten $s > 0.3$ zeigen sich auf den ersten Blick für die relative Abweichung der Oberhöhe, der Gesamtwuchsleistung und der mittleren Grundflächenhaltung von den berechneten erwarteten Werten engere Zusammenhänge. Die straffesten Beziehungen bestehen beim Nährstoff- und Wasserhaushalt des Bodens, dem Niederschlag während der Vegetationszeit und der Jahrestemperatur. Bei der mittleren Grundflächenhaltung spielt daneben auch die Dauer der Vegetationszeit und die Höhenlage eine wichtigere Rolle.

Bei den Zuwachsgrößen scheint keine der untersuchten Standortvariablen einen größeren Einfluss zu besitzen, da keine Korrelationskoeffizienten $s > 0.3$ auftreten. Signifikante engere Zusammenhänge finden sich beim Oberhöhenzuwachs und dem Niederschlag während der Vegetationszeit sowie der Jahrestemperatur, während der Grundflächenzuwachs in erster Linie vom Nährstoffhaushalt des Bodens und dann vom Niederschlag während der Vegetationszeit abhängt. Die Temperaturamplitude und der Wasserhaushalt des Bodens haben beim Volumenzuwachs einen höheren Korrelationskoeffizienten.

Auffälligstes Ergebnis ist jedoch, dass die Beziehungen bei den Zuwachsgrößen oftmals negativ ausfallen, während sie bei Oberhöhe, Gesamtwuchsleistung und mittlerer Grundflächenhaltung durchweg positiv gerichtet sind. Nehmen beispielsweise die Oberhöhen mit ansteigendem Niederschlag während der Vegetationszeit und bei steigender Temperatur zu, sinkt der Oberhöhen- und der Grundflächenzuwachs ab. Entsprechendes findet sich beim Nährstoffhaushalt des Bodens. Dieses widersprüchliche Ergebnis kann auf eine Veränderung im Wuchsrhythmus der Bestände hinweisen, der auf verschiedenen Standorten unterschiedlich stark auftritt und damit das Ergebnis verzerrt. So bringt ein vermeintlich guter Standort nicht mehr unbedingt die besten Zuwächse.

Tab. 7.2-4 Korrelationskoeffizienten nach Spearman für die untersuchten ertrags- und standortkundlichen Variablen. Als ertragskundliche Größen werden die Abweichungen vom erwarteten Wachstumsverlauf für die Oberhöhe (HO_REL), die Gesamtwuchsleistung (GWL_REL), die mittlere Grundflächenhaltung (MGH_REL), den Oberhöhen-, Grundflächen- und Volumenzuwachs (IHO_REL, IG_REL und IV_REL) verwendet.

Variable		HO_REL	GWL_REL	MGH_REL	IHO_REL	IG_REL	IV_REL
HO_REL	Korrelationskoeffizient	1.000	.892**	.562**	.031	.013	.526**
	Sig. (2-seitig)		.000	.000	.547	.806	.000
	N	416	416	370	370	370	370
GWL_REL	Korrelationskoeffizient	.892**	1.000	.692**	-.142**	-.070	.396**
	Sig. (2-seitig)	.000		.000	.006	.181	.000
	N	416	416	370	370	370	370
MGH_REL	Korrelationskoeffizient	.562**	.692**	1.000	-.146**	-.095	.320**
	Sig. (2-seitig)	.000	.000		.005	.068	.000
	N	370	370	370	370	370	370
IHO_REL	Korrelationskoeffizient	.031	-.142**	-.146**	1.000	.246**	.464**
	Sig. (2-seitig)	.547	.006	.005		.000	.000
	N	370	370	370	370	370	370
IG_REL	Korrelationskoeffizient	.013	-.070	-.095	.246**	1.000	.683**
	Sig. (2-seitig)	.806	.181	.068	.000		.000
	N	370	370	370	370	370	370
IV_REL	Korrelationskoeffizient	.526**	.396**	.320**	.464**	.683**	1.000
	Sig. (2-seitig)	.000	.000	.000	.000	.000	
	N	370	370	370	370	370	370
Temperatur/Jahr	Korrelationskoeffizient	.401**	.472**	.427**	-.183**	-.160**	.065
	Sig. (2-seitig)	.000	.000	.000	.000	.002	.212
	N	416	416	370	370	370	370
Temperatur/Vegetationszeit	Korrelationskoeffizient	.170**	.240**	.206**	-.152**	-.239**	-.157**
	Sig. (2-seitig)	.000	.000	.000	.003	.000	.002
	N	416	416	370	370	370	370
Niederschlag/Jahr	Korrelationskoeffizient	.286**	.296**	.148**	-.092	.047	.172**
	Sig. (2-seitig)	.000	.000	.004	.078	.369	.001
	N	416	416	370	370	370	370
Niederschlag/Vegetationszeit.	Korrelationskoeffizient	.447**	.637**	.555**	-.309**	-.299**	-.007
	Sig. (2-seitig)	.000	.000	.000	.000	.000	.888
	N	416	416	370	370	370	370
Temperaturamplitude	Korrelationskoeffizient	-.337**	-.364**	-.344**	-.068	-.082	-.358**
	Sig. (2-seitig)	.000	.000	.000	.197	.119	.000
	N	405	405	360	360	360	360
Dauer Vegetationszeit	Korrelationskoeffizient	.419**	.442**	.401**	-.023	-.159**	.161**
	Sig. (2-seitig)	.000	.000	.000	.665	.003	.003
	N	392	392	348	348	348	348
Höhenlage	Korrelationskoeffizient	-.295**	-.345**	-.424**	.179**	.187**	-.023
	Sig. (2-seitig)	.000	.000	.000	.001	.000	.661
	N	405	405	360	360	360	360
Wasserhaushalt Boden	Korrelationskoeffizient	.540**	.540**	.456**	.123*	.124*	.495**
	Sig. (2-seitig)	.000	.000	.000	.018	.017	.000
	N	416	416	370	370	370	370
Nährstoffhaushalt Boden	Korrelationskoeffizient	.548**	.609**	.514**	-.105*	-.294**	.098
	Sig. (2-seitig)	.000	.000	.000	.045	.000	.059
	N	416	416	370	370	370	370

** Korrelation ist auf dem Niveau von 0.01 signifikant (2-seitig).

* Korrelation ist auf dem Niveau von 0.05 signifikant (2-seitig).

Um die obigen Ergebnisse richtig werten zu können, müssen die Wechselwirkungen der Standortvariablen untereinander mitberücksichtigt werden. In Tabelle 7.2-5 sind die Korrelationskoeffizienten zwischen den Standortvariablen aufgeführt.

Tab. 7.2-5: Korrelationskoeffizienten nach Spearman zur Untersuchung der Einflusses der Standortvariablen untereinander.

Variable		Temp./Jahr	Temp./Veg.	Nied./Jahr	Nied./Veg.	Temperatur-amplitude	Dauer Veg.zeit	Höhenlage	Wasserhaus-halt Boden	Nährstoff-haushalt
HO_REL	Korrelationskoeffizient	.401**	.170**	.286**	.447**	-.337**	.419**	-.295**	.540**	-.548**
	Sig. (2-seitig)	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
	N	416	416	416	416	405	392	405	416	416
GWL_REL	Korrelationskoeffizient	.472**	.240**	.296**	.637**	-.364**	.442**	-.345**	.540**	.609**
	Sig. (2-seitig)	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
	N	416	416	416	416	405	392	405	416	416
MGH_REL	Korrelationskoeffizient	.427**	.206**	.148**	.555**	-.344**	.401**	-.424**	.456**	.514**
	Sig. (2-seitig)	.000	.000	.004	.000	.000	.000	.000	.000	.000
	N	370	370	370	370	360	348	360	370	370
IHO_REL	Korrelationskoeffizient	-.183**	-.152**	-.092	-.309**	-.068	-.023	.179**	.123*	-.105*
	Sig. (2-seitig)	.000	.003	.078	.000	.197	.665	.001	.018	.045
	N	370	370	370	370	360	348	360	370	370
IG_REL	Korrelationskoeffizient	-.160**	-.239**	.047	-.299**	-.082	-.159**	.187**	.124*	-.294**
	Sig. (2-seitig)	.002	.000	.369	.000	.119	.003	.000	.017	.000
	N	370	370	370	370	360	348	360	370	370
IV_REL	Korrelationskoeffizient	.065	-.157**	.172**	-.007	-.358**	.161**	-.023	.495**	.098
	Sig. (2-seitig)	.212	.002	.001	.888	.000	.003	.661	.000	.059
	N	370	370	370	370	360	348	360	370	370
Temp./Jahr	Korrelationskoeffizient	1.000	.740**	-.081	.563**	-.273**	.727**	-.166**	.203**	.428**
	Sig. (2-seitig)		.000	.099	.000	.000	.000	.001	.000	.000
	N	416	416	416	416	405	392	405	416	416
Temp./Veg.	Korrelationskoeffizient	.740**	1.000	-.444**	.216**	.205**	.594**	-.251**	-.167**	.304**
	Sig. (2-seitig)	.000		.000	.000	.000	.000	.000	.001	.000
	N	416	416	416	416	405	392	405	416	416
Nied./Jahr	Korrelationskoeffizient	-.081	-.444**	1.000	.530**	-.464**	-.265**	.090	.212**	.110*
	Sig. (2-seitig)	.099	.000		.000	.000	.000	.070	.000	.025
	N	416	416	416	416	405	392	405	416	416
Nied./Veg.	Korrelationskoeffizient	.563**	.216**	.530**	1.000	-.444**	.342**	-.271**	.288**	.597**
	Sig. (2-seitig)	.000	.000	.000		.000	.000	.000	.000	.000
	N	416	416	416	416	405	392	405	416	416
Temp.amplitude	Korrelationskoeffizient	-.273**	.205**	-.464**	-.444**	1.000	-.388**	-.215**	-.749**	-.397**
	Sig. (2-seitig)	.000	.000	.000	.000		.000	.000	.000	.000
	N	405	405	405	405	405	392	405	405	405
Dauer Veg.zeit	Korrelationskoeffizient	.727**	.594**	-.265**	.342	-.388**	1.000	-.160**	.404**	.626**
	Sig. (2-seitig)	.000	.000	.000	.000	.000		.001	.000	.000
	N	392	392	392	392	392	392	392	392	392
Höhenlage	Korrelationskoeffizient	-.166**	-.251**	.090	-.271**	-.215**	-.160**	1.000	-.093	-.392**
	Sig. (2-seitig)	.001	.000	.070	.000	.000	.001		.062	.000
	N	405	405	405	405	405	392	405	405	405
Wasserhaushalt Boden	Korrelationskoeffizient	.203**	-.167**	.212**	.288**	-.749**	.404**	-.093	1.000	.464**
	Sig. (2-seitig)	.000	.001	.000	.000	.000	.000	.062		.000
	N	416	416	416	416	405	392	405	416	416
Nährstoffhaushalt Boden	Korrelationskoeffizient	.428**	.304**	.110*	.597**	-.397	.626**	-.392**	.464**	1.000
	Sig. (2-seitig)	.000	.000	.025	.000	.000	.000	.000	.000	
	N	416	416	416	416	405	392	405	416	416

** Korrelation ist auf dem Niveau von 0.01 signifikant (2-seitig).

* Korrelation ist auf dem Niveau von 0.05 signifikant (2-seitig).

Bei den klimatischen Parametern zeigt sich, dass mit zunehmendem Niederschlag während der Vegetationszeit auch der Jahresniederschlag, die Jahrestemperatur, die Temperatur während der Vegetationszeit und die Dauer der Vegetationszeit steigen, die Temperaturamplitude und die Höhe ü. NN hingegen sinken. Dieser an sich untypische Zusammenhang zwischen Niederschlag und Temperatur während der Vegetationszeit ist durch die Verteilung der Versuchsfelder in Bayern bedingt und wird in erster Linie durch die Versuchsfelder im Wuchsgebiet 10.2 (Waldsassener Schiefergebiet und Wiesauer Senke) verursacht. Im Vergleich zum Wuchsgebiet 5.3 (Frankenhöhe) liegen im Wuchsgebiet 10.2 die durchschnittlichen Temperaturen während der Vegetationszeit niedriger, während der Niederschlag während der Vegetationszeit ähnlich ist (ARBEITSKREIS STANDORTSKARTIERUNG, 1985). Bei Betrachtung der durchschnittlichen Jahreswerte ergeben sich die bekannten Beziehungen mit sinkenden Temperaturen bei zunehmendem Niederschlag, die hier jedoch auch keinen signifikanten Korrelationskoeffizienten haben.

Neben diesen Zusammenhängen zeigen die klimatischen Variablen auch eine Wechselbeziehung mit dem Nährstoffhaushalt des Bodens und einen nicht ganz so deutlichen Zusammenhang mit dem Wasserhaushalt des Bodens. Diese Wechselwirkungen erschweren die Interpretation deutlich, müssen bei der weiteren Analyse aber mitberücksichtigt werden.

Um die weitere Untersuchung übersichtlich zu gestalten, werden die Zusammenhänge zwischen den klimatischen Variablen dazu genutzt, diese zu einer Klimavariablen zusammenzufassen. Im Folgenden wird die Klimavariablen Niederschlag während der Vegetationszeit repräsentativ für den Klimaeinfluss herangezogen, da sie die straffeste Beziehung zu den Wachstumsparametern aufweist. Für die weitere Analyse des Standortseinflusses bleiben demnach die Variable Klima, der Wasser- und der Nährstoffhaushalt des Bodens übrig.

Varianzanalytische Überprüfung des Standortseinflusses

Mittels einer Varianzanalyse wird der Einfluss der drei unterschiedlichen Standortparameter auf die oben vorgestellten Wachstums- und Zuwachsgrößen untersucht. Neben den Haupteffekten werden, im Gegensatz zu Abschnitt 7.1, aufgrund der Ergebnisse der Korrelationsanalyse auch die Wechselwirkungen der drei Standortvariablen untereinander geprüft, da sie die Ergebnisse verzerren und Fehlinterpretationen hervorrufen können. Diese Prüfung hinsichtlich der Standortparameter ist hier aufgrund der im Vergleich zu den Daten aus der Stichprobeninventur besseren Datengrundlage gut möglich.

In Tab. 7.2-6 ist die Ausgabe der Varianzanalyse für die Abweichung der Oberhöhe von den erwarteten Werten (HO_REL) dargestellt. Mit einem korrigiertem R-Quadrat von 0.62 ist die Güte des Modells recht hoch. Alle drei untersuchten Standortparameter haben einen signifikanten Einfluss auf die Oberhöhe. Anhand der Quadratsummen ist zu erkennen, dass hierbei der Wasserhaushalt des Bodens den höchsten Einfluss zu haben scheint, gefolgt vom Niederschlag während der Vegetationszeit. Eine signifikante Wechselwirkung zwischen den Standortvariablen tritt in der Verbindung Nährstoff- und Wasserhaushalt des Bodens auf, sodass der Einfluss der Nährstoffversorgung durch diese indirekten Beziehung nicht unterschätzt werden darf. Die Einflussparameter lassen sich also nur schwer getrennt voneinander interpretieren. Ein nachvollziehbares Ergebnis, denn mit steigendem Wasserhaushalt kann sich die Umsetzung im Boden und damit auch der Nährstoffreichtum erhöhen.

Der hier festgestellte hohe Einfluss des Wasserhaushaltes bestätigt die gefundenen Zusammenhänge in Abschnitt 7.1, wo sich ebenfalls der Wasserhaushalt als bedeutende Einflussvariable herausstellte.

Tab. 7.2-6: Ergebnisse der Varianzanalyse zur Prüfung des Einflusses des Nährstoffhaushaltes des Bodens (NAEHR), des Wasserhaushaltes des Bodens (WASSER) und des Niederschlags während der Vegetationszeit (NV_KL) auf die Abweichung der Oberhöhe von den erwarteten Werten (HO_REL) mit den Quadratsummen, den Freiheitsgraden (df), dem Mittel der Quadrate, dem F-Wert (F) und dem Signifikanzniveau.

Tests der Zwischensubjekteffekte					
Abhängige Variable: HO_REL					
Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Korrigiertes Modell	82358.621 ^a	8	10294.828	85.247	.000
Konstanter Term	1267455.509	1	1267455.500	10495.271	.000
NAEHR	1702.527	1	1702.527	14.098	.000
WASSER	37745.563	2	18872.782	156.278	.000
NV_KL	2487.571	2	1243.786	10.299	.000
NAEHR * WASSER	626.781	1	626.781	5.190	.023
NAEHR * NV_KL	1.485	1	1.485	.012	.912
WASSER * NV_KL	434.956	1	434.956	3.602	.058
Fehler	49151.127	407	120.764		
Gesamt	4311600.296	416			
Korrigierte Gesamtvariation	131509.748	415			
a	R-Quadrat = .626 (korrigiertes R-Quadrat = .619)				

Bei Betrachtung der Ergebnisse für die Gesamtwuchsleistung und der mittleren Grundflächenhaltung (Tab. 7.2-7 und 7.2-8) ergibt sich ein ähnliches Bild.

Das Bestimmtheitsmaß ist bei beiden Größen mit 0.65 bzw. 0.40 relativ hoch und aussagekräftigste Erklärungsvariable ist ebenfalls der Wasserhaushalt des Bodens. Auch hier ergeben sich enge und vor allem signifikante Interaktionen zwischen den Standortvariablen. Bei der Gesamtwuchsleistung weist die Beziehung zwischen Nährstoff- und Wasserhaushalt des Bodens den zweithöchsten Anteil an den erklärten Quadratsummen auf, bevor der Einfluss des Niederschlages während der Vegetationszeit zum Tragen kommt.

Tab. 7.2-7: Ergebnisse der Varianzanalyse zur Prüfung des Einflusses des Nährstoffhaushaltes des Bodens (NAEHR), des Wasserhaushaltes des Bodens (WASSER) und des Niederschlags w. d. Veg.zeit (NV_KL) auf die Abweichung der Gesamtwuchsleistung von den erwarteten Werten (GWL_REL) mit den Quadratsummen, den Freiheitsgraden (df), dem Mittel der Quadrate, dem F-Wert (F) und dem Signifikanzniveau.

Tests der Zwischensubjekteffekte					
Abhängige Variable: GWL_REL					
Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Korrigiertes Modell	338728.038 ^a	8	42341.005	98.749	.000
Konstanter Term	1365312.293	1	1365312.293	3184.229	.000
NAEHR	3462.348	1	3462.348	8.075	.005
WASSER	136633.177	2	68316.589	159.330	.000
NV_KL	5497.433	2	2748.716	6.411	.002
NAEHR * WASSER	6041.834	1	6041.834	14.091	.000
NAEHR * NV_KL	2051.797	1	2051.797	4.785	.029
WASSER * NV_KL	5486.951	1	5486.951	12.797	.000
Fehler	174510.732	407	428.773		
Gesamt	4869590.181	416			
Korrigierte Gesamtvariation	513238.770	415			
a	R-Quadrat = .660 (korrigiertes R-Quadrat = .653)				

Tab. 7.2-8: Ergebnisse der Varianzanalyse zur Prüfung des Einflusses des Nährstoffhaushaltes des Bodens (NAEHR), des Wasserhaushaltes des Bodens (WASSER) und des Niederschlags w. d. Veg.zeit (NV_KL) auf die Abweichung der mittleren Grundflächenhaltung von den erwarteten Werten (MGH_REL) mit den Quadratsummen, den Freiheitsgraden (df), dem Mittel der Quadrate, dem F-Wert (F) und dem Signifikanzniveau.

Tests der Zwischensubjekteffekte					
Abhängige Variable: MGH_REL					
Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Korrigiertes Modell	55254.813 ^a	8	6906.852	32.288	.000
Konstanter Term	945697.332	1	945697.332	4420.994	.000
NAEHR	233.620	1	233.620	1.092	.297
WASSER	12014.874	2	6007.437	28.084	.000
NV_KL	5049.428	2	2524.714	11.803	.000
NAEHR * WASSER	910.777	1	910.777	4.258	.040
NAEHR * NV_KL	1646.227	1	1646.227	7.696	.006
WASSER * NV_KL	130.271	1	130.271	.609	.436
Fehler	77221.722	361	213.911		
Gesamt	3832724.832	370			
Korrigierte Gesamtvariation	132476.535	369			
a	R-Quadrat = .417 (korrigiertes R-Quadrat = .404)				

Bei der mittleren Grundflächenhaltung (Tab. 7.2-8) hat der Nährstoffhaushalt keinen signifikanten Einfluss und auch die Beziehung zwischen Wasser- und Nährstoffhaushalt ist nicht besonders eng.

Tabelle 7.2-9 zeigt das Ergebnis für den Oberhöhenzuwachs. Zunächst fällt die geringe Anpassungsgüte ($R^2=0.069$) auf. Dadurch gibt es bei den Haupteffekten keinen signifikanten Zusammenhang und auch bei den Interaktionen besteht nur in der Kombination Nährstoffhaushalt und Niederschlag während der Vegetationszeit eine signifikante Beziehung. Die Abweichungen des Oberhöhenzuwachses vom mittleren Verlauf lassen sich nicht durch die untersuchten Variablen erklären, ein Ergebnis, das sich schon bei Betrachtung der Korrelationsanalyse abzeichnete.

Tab. 7.2-9: Ergebnisse der Varianzanalyse zur Prüfung des Einflusses des Nährstoffhaushaltes des Bodens (NAEHR), des Wasserhaushaltes des Bodens (WASSER) und des Niederschlags während der Vegetationszeit (NV_KL) auf die Abweichung des Oberhöhenzuwachses von den erwarteten Werten (IHO_REL) mit den Quadratsummen, den Freiheitsgraden (df), dem Mittel der Quadrate, dem F-Wert (F) und dem Signifikanzniveau.

Tests der Zwischensubjekteffekte					
Abhängige Variable: IHO_REL					
Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Korrigiertes Modell	63632.431 ^a	8	7954.054	4.438	.000
Konstanter Term	996606.313	1	996606.313	556.026	.000
NAEHR	.031	1	3.065E-02	.000	.997
WASSER	7789.709	2	3894.855	2.173	.115
NV_KL	8194.685	2	4097.342	2.286	.103
NAEHR * WASSER	255.661	1	255.661	.143	.706
NAEHR * NV_KL	9010.905	1	9010.905	5.027	.026
WASSER * NV_KL	1208.088	1	1208.088	.674	.412
Fehler	647047.312	361	1792.375		
Gesamt	4416865.574	370			
Korrigierte Gesamtvariation	710679.743	369			
a	R-Quadrat = .090 (korrigiertes R-Quadrat = .069)				

Deutlichere Zusammenhänge finden sich beim Grundflächenzuwachs (Tab. 7.2-10). Mit einem $R^2=0.2$ ist die Anpassungsgüte wieder etwas höher, erreicht aber bei weitem nicht die Werte für die Oberhöhe oder die Gesamtwuchsleistung.

Tab. 7.2-10: Ergebnisse der Varianzanalyse zur Prüfung des Einflusses des Nährstoffhaushaltes des Bodens (NAEHR), des Wasserhaushaltes des Bodens (WASSER) und des Niederschlags während der Vegetationszeit (NV_KL) auf die Abweichung des Grundflächenzuwachses von den erwarteten Werten (IG_REL) mit den Quadratsummen, den Freiheitsgraden (df), dem Mittel der Quadrate, dem F-Wert (F) und der Signifikanz.

Tests der Zwischensubjekteffekte					
Abhängige Variable: IG_REL					
Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Korrigiertes Modell	40693.808 ^a	8	5086.726	12.591	.000
Konstanter Term	973746.831	1	973746.83	2410.364	.000
NAEHR	3806.229	1	3806.229	9.422	.002
WASSER	5908.415	2	2954.207	7.313	.001
NV_KL	381.909	2	190.955	.473	.624
NAEHR * WASSER	221.570	1	221.570	.548	.459
NAEHR * NV_KL	1922.854	1	1922.854	4.760	.030
WASSER * NV_KL	193.884	1	193.884	.480	.489
Fehler	145837.947	361	403.983		
Gesamt	3884115.502	370			
Korrigierte Gesamtvariation	186531.755	369			
a	R-Quadrat = .218 (korrigiertes R-Quadrat = .201)				

Tab. 7.2-11: Ergebnisse der Varianzanalyse zur Prüfung des Einflusses des Nährstoffhaushaltes des Bodens (NAEHR), des Wasserhaushaltes des Bodens (WASSER) und des Niederschlags während der Vegetationszeit (NV_KL) auf die Abweichung des Volumenzuwachses von den erwarteten Werten (IV_REL) mit den Quadratsummen, den Freiheitsgraden (df), dem Mittel der Quadrate, dem F-Wert (F) und der Signifikanz.

Tests der Zwischensubjekteffekte					
Abhängige Variable: IV_REL					
Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Korrigiertes Modell	65255.314 ^a	8	8156.914	16.278	.000
Konstanter Term	1032759.353	1	1032759.353	2060.986	.000
NAEHR	141.448	1	141.448	.282	.596
WASSER	33789.873	2	16894.937	33.716	.000
NV_KL	1778.729	2	889.364	1.775	.171
NAEHR * WASSER	1493.852	1	1493.852	2.981	.085
NAEHR * NV_KL	1895.543	1	1895.543	3.783	.053
WASSER * NV_KL	206.239	1	206.239	.412	.522
Fehler	180896.930	361	501.100		
Gesamt	3947128.141	370			
Korrigierte Gesamtvariation	246152.244	369			
a	R-Quadrat = .265 (korrigiertes R-Quadrat = .249)				

Dies kann durch die hier nicht mit berücksichtigte Bestandesdichte, die einen hohen Einfluss auf den Grundflächenzuwachs ausübt, hervorgerufen worden sein. Bei diesem Ergebnis ist besonders interessant, dass der Nährstoffhaushalt des Bodens erstmals eine bedeutendere Rolle einnimmt. Nach dem Wasserhaushalt des Bodens ist er die wichtigste Einflussgröße. Dafür ist die bis dahin wichtige Interaktion zwischen Wasserhaushalt und Nährstoffhaushalt hier nicht signifikant.

Beim Volumenzuwachs (Tab. 7.2-11) bringt nur der Wasserhaushalt des Bodens ein signifikantes Ergebnis, die Interaktionseffekte sind hier ebenfalls nicht von Bedeutung.

Zusammenfassende Betrachtung

Bei den Wachstumsgrößen Oberhöhe, Gesamtwuchsleistung und mittlere Grundflächenhaltung finden sich deutliche Zusammenhänge zu den untersuchten Standortvariablen, wobei insbesondere der Wasserhaushalt und der Niederschlag während der Vegetationszeit von Bedeutung sind. Enge Interaktionen zwischen den Standortvariablen lassen aber auch den Nährstoffhaushalt indirekt in das Ergebnis mit einfließen, was auch die Ergebnisse der Korrelationsanalyse bestätigen. Hier kann ein hoher Korrelationskoeffizient zwischen Wachstumsgröße und Nährstoffhaushalt des Bodens festgestellt werden. Eine Trennung der Effekte und die Interpretation einzelner Standortvariablen ist aufgrund der Wechselbeziehungen jedoch nur schwer möglich.

Die Zuwachswerte weisen im Gegensatz zu den Wachstumsgrößen kaum signifikante Zusammenhänge mit den betrachteten Standortvariablen auf. Zudem verringern sich die Zuwachswerte mit besser werdenden Standortbedingungen, während die Wachstumsgrößen dort ihre besten Werte erbringen. Ein zunächst widersprüchliches Ergebnis, da die Wachstumsgrößen akkumulierte Zuwachsgrößen darstellen.

Dies kann durch eine Veränderung der Wachstumsbedingungen hervorgerufen worden sein. Durch eine Verbesserung ungünstiger Standortfaktoren, die bisher keine hohen Wuchsleistungen zugelassen haben, können nun höhere Zuwächse gebildet und damit zukünftig auch höhere Wachstumsgrößen möglich werden. Diese Veränderung ist auf den günstigen Standorten nicht so ausgeprägt. Daher kehren sich die Zuwachsverhältnisse im Vergleich zu den Wachstumsgrößen um.

7.2.4 Bildung von Standortgruppen und Darstellung der Entwicklungsverläufe

Um trotz der schwierig zu interpretierenden Ergebnisse Aussagen über unterschiedliche Standorte treffen zu können, werden die drei untersuchten Standortvariablen durch Kombination zu jeweils einer Standortgruppe zusammengefasst und die durchschnittliche Abweichung der untersuchten ertragskundlichen Größen von den erwarteten Werten für jede Standortgruppe berechnet (Tab. 7.2-12).

Tab. 7.2-12: Zusammenfassung der drei Standortvariablen Niederschlag während der Vegetationszeit, Wasserhaushalt- und Nährstoffhaushalt des Bodens) zu Standortgruppen mit den durchschnittlichen Abweichungen in Prozent der Wachstumsgrößen (Oberhöhe (HO_REL), Gesamtwuchsleistung (GWL_REL), mittl. Grundflächenhaltung (MGH_REL), bzw. Zuwachsgrößen (Oberhöhen-, Grundflächen- und Volumenzuwachs (IHO_REL, IG_REL, IV_REL) von den erwarteten Werten.

Nied./ Veg.	Wasserhaush.	Nährstoffhaush.	Code	Anzahl Werte	HO_REL (%)	GWL_REL (%)	MGH_REL (%)	IHO_REL (%)	IG_REL (%)	IV_REL (%)
gering	ungünstig	schlecht	111	77 (66)	90.1	74.9	82.5	106.6	104.6	93.6
gering	mittel	schlecht	121	81 (71)	90.2	77.3	88.7	127.1	115.3	107.4
mittel	ungünstig	schlecht	211	44 (39)	89.4	93.8	99.6	71.8	88.8	75.7
mittel	ungünstig	besser	212	25 (23)	95.7	95.7	98.7	74.8	74.2	69.9
mittel	mittel	schlecht	221	18 (15)	100.8	103.9	119.2	83.8	114.6	115.9
mittel	mittel	besser	222	103 (94)	105.9	117.5	109.8	100.1	97.4	106.7
mittel	gut	besser	232	52 (48)	129.7	158.2	118.3	94.3	90.7	112.3
hoch	mittel	schlecht	321	16 (14)	104.3	113.6	94.0	90.1	107.0	105.7

Die Wachstumsgrößen Oberhöhe, Gesamtwuchsleistung und mittlere Grundflächenhaltung verhalten sich wie erwartet, mit niedrigen Abweichungen von der Mittelwertkurve auf ungünstigen (z.B. Standortgruppe 111) und höheren Abweichungen auf besseren Standorten (z.B. Standortgruppe 232). Bei den Zuwachswerten ist das Ergebnis jedoch ein anderes. Die höchsten Abweichungen, insbesondere des Oberhöhen- und Grundflächenzuwachses, finden sich auf den ungünstigen Standorten, zumeist bei einer schlechten Nährstoffversorgung, was insbesondere bei der Standortgruppe 321 auffällt.

An diesen Werten ist gut zu erkennen, wie die ertragskundlichen Größen bei der Veränderung eines Standortfaktors reagieren. So liegt das prozentuale Verhältnis der tatsächlichen Oberhöhe zu der mittleren Oberhöhe bei entsprechendem Alter bei mittleren Niederschlägen, ungünstiger Wasserversorgung und schlechtem Nährstoffangebot (Standortgruppe 211) bei nur ca. 89 %, also noch unter den mittleren zu erwartenden Werten. Verbessert sich der Nährstoffhaushalt des Bodens, so steigt auch die Relation um ca. 7 % auf ca. 96 % an. Der wichtige Einfluss des Wasserhaushaltes zeigt sich bei Betrachtung der Standortgruppe 221, wo die Werte bei mittlerer

Wasserversorgung und schlechter Nährstoffversorgung auf über 100 % steigen.

Im Folgenden wird für drei ausgesuchte Standortsgruppen die Entwicklung der ertragskundlichen Größen vorgestellt. In Abb. 7.2-2 sind die Wachstumsgrößen Oberhöhe, Gesamtwuchsleistung und mittlere Grundflächenhaltung abgebildet. Die Linien der linken Abbildungen repräsentieren den Entwicklungsverlauf einer Parzelle untergliedert nach den drei Standortsgruppen. Auf den rechten Abbildungen sind die Werte der einzelnen Parzellen für sechs Altersstufen zusammengefasst, wobei die letzte Stufe alle Werte über 120 Jahre enthält.

Besonders deutlich sind die Unterschiede zwischen den Standortsgruppen bei der Oberhöhe zu erkennen. Auf guten Standorten (Standortsklasse 232) liegen die Werte erheblich über der I. Ertragsklasse nach WIEDEMANN (1943, mäßige Durchforstung). Hier können Kiefernbestände im Alter von ca. 120 Jahren an die 40 m hoch werden. Mittlere Standorte nehmen den Raum zwischen der I. und ca. II.5 Ertragsklasse ein, während ungünstige Standorte (Standortsgruppe 111) auf dem Niveau der III. Ertragsklasse liegen. Auffällig ist, dass insbesondere die Standortsgruppe 111 bei jüngeren Beständen einen besseren Verlauf zeigt als ältere Bestände sie vorgeben. Anhand der Boxplots ist ebenfalls zu erkennen, dass die Differenzen zwischen den Standortsgruppen mit zunehmendem Alter ansteigen.

Bei der Gesamtwuchsleistung sind die Unterschiede des Wuchsniveaus in den drei Standortsgruppen ebenfalls gut sichtbar. In der Standortsgruppe 232 können im Alter von 120 Jahren über 1200 VfmD/ha erreicht werden. Auch hier zeigen die Boxplots, dass die Differenzen mit zunehmendem Alter ansteigen.

Bei der mittleren Grundflächenhaltung finden sich, bedingt durch unterschiedliche Eingriffsstärken, beim Verlauf der Entwicklungskurven keine so eindeutigen Ergebnisse. Auffällig ist hier jedoch vor allem das niedrige Niveau der ungünstigen Standortsgruppe (111). Die Werte verlaufen unter den Werten der III. Ertragsklasse nach WIEDEMANN (1943, mäßige Durchforstung). Erst bei Betrachtung der Boxplots wird eine Abstufung deutlich. Gut erkennbar sind die niedrigen Grundflächen der Standortsgruppe 111 mit durchschnittlich ca. 23 qm/ha. Bei den anderen Standortsgruppen werden die Werte mit zunehmendem Alter deutlich höher und können auf guten Standorten durchschnittlich 40 qm/ha erreichen.

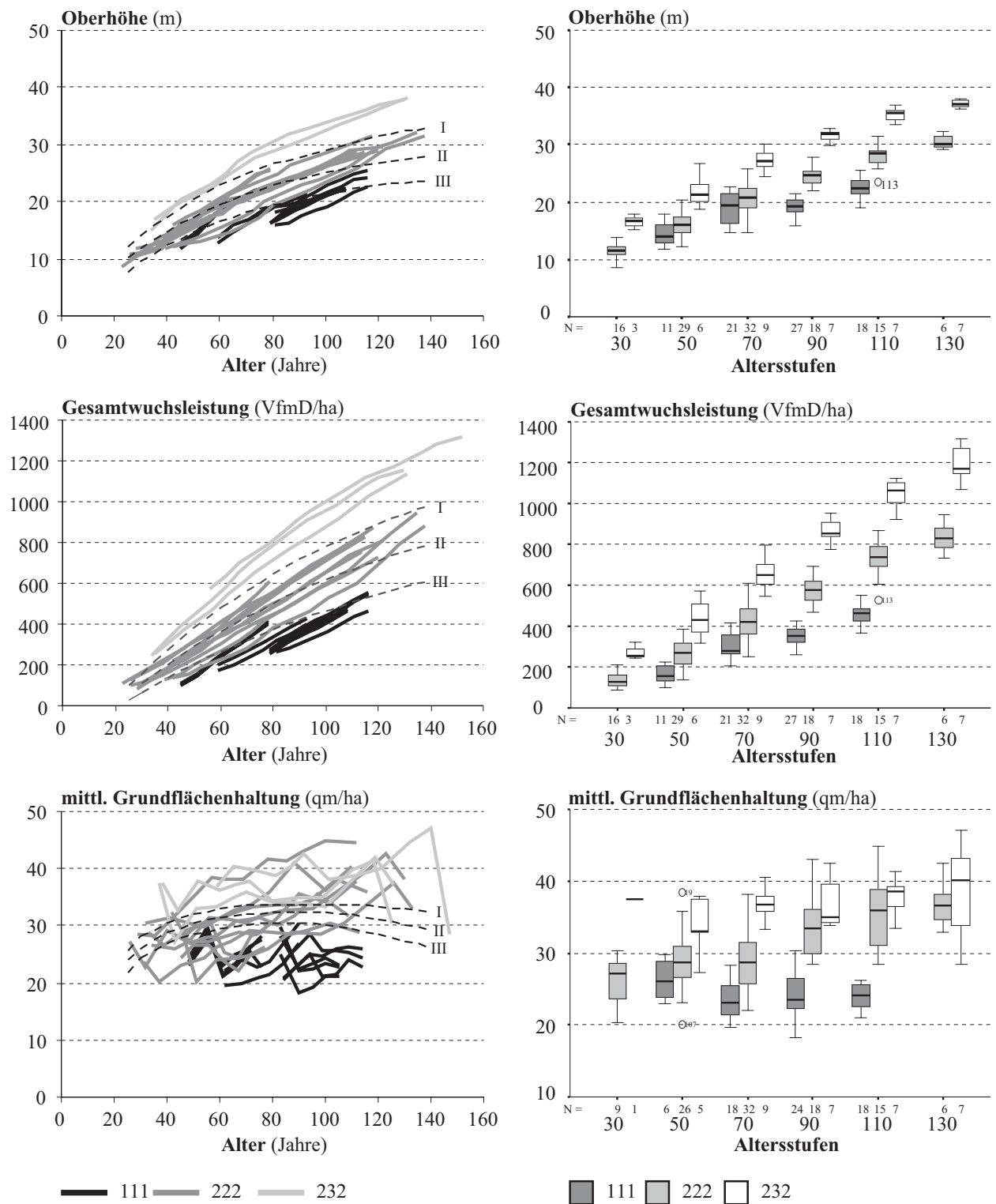
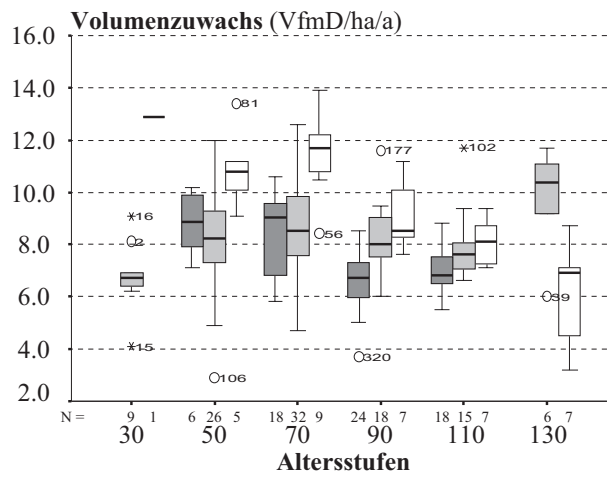
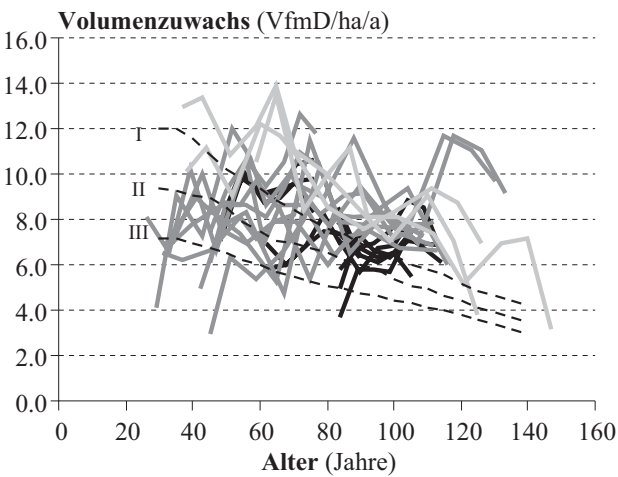
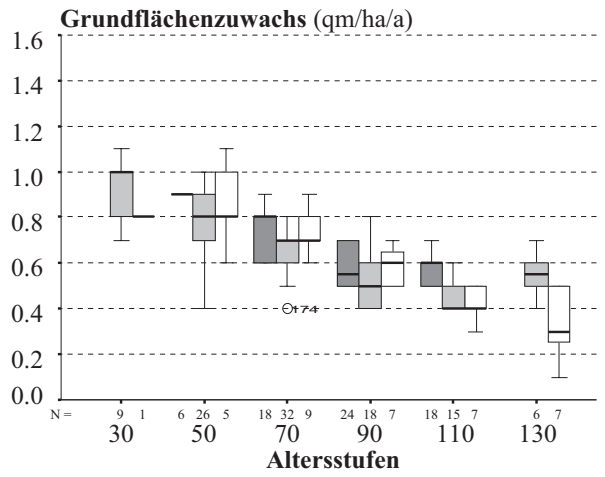
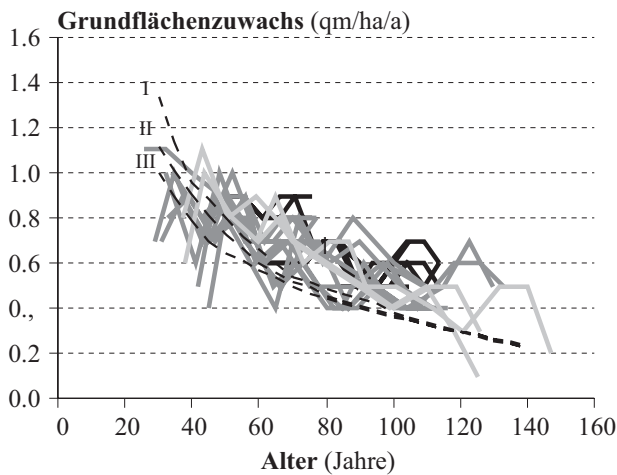
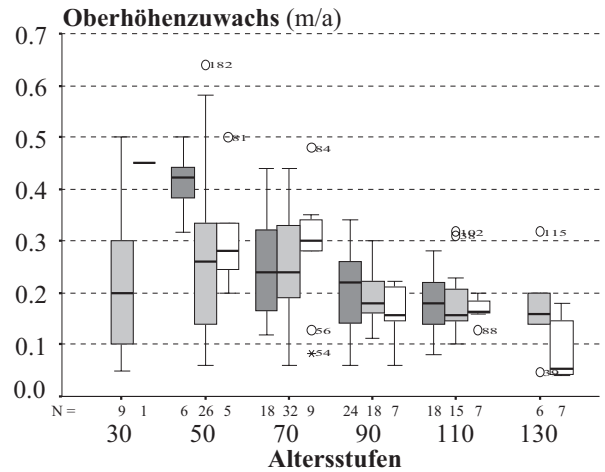
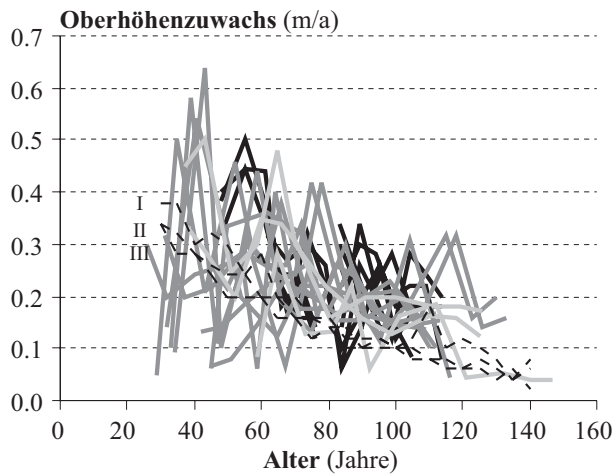


Abb. 7.2-2: Wachstumsverläufe der Oberhöhe, der Gesamtwuchsleistung und der mittleren Grundflächenhaltung für drei Standortgruppen (111, 222 und 232). Linke Abbildungen: Entwicklung der einzelnen Bestände (Parzellen) mit den Vergleichswerten der Ertragstafel von WIEDEMANN (1943, mäßige Durchforstung). Rechte Abbildungen: Zusammengefasste Wachstumsgrößen für unterschiedliche Altersstufen in Form von Boxplots.

Kein so klares aber trotzdem sehr interessantes Ergebnis zeigen die Zuwachswerte (Abb. 7.2-3). Der Oberhöhenzuwachs schwankt bei allen drei Standortsgruppen deutlich um den Ertragstafelfächer von WIEDEMANN (1943, mäßige Durchforstung), wobei die Werte oftmals weit über den Erwartungswerten der I. Ertragsklasse liegen. Zu erkennen ist weiterhin, dass ab der Alterstufe 90 die Höhenzuwächse der ungünstigen Standortsgruppe 111 über den Werten der besseren Standorte liegen. Ein entsprechendes Bild zeigen auch die Grundflächenzuwächse.

Der Volumenzuwachs streut deutlicher als die beiden zuerst genannten Zuwachswerte. Gute Standorte (232) zeigen jedoch mit zunehmendem Alter den erwarteten abfallenden Alterstrend, während mittlere und schlechte Standorte deutlich weniger absinken und in den höheren Altersstufen sogar wieder ansteigen. Im Gegensatz zu den beiden anderen Zuwachsgrößen liegen die Volumenzuwächse auf ungünstigeren Standorten im höheren Alter unter denen mittlerer und besserer Standorte. Dies ist durch das niedrigere Ausgangsniveau der Wachstumsgrößen auf ungünstigen Standorten bedingt. Es zeigen sich zwar jetzt größere Oberhöhen- und Grundflächenzuwächse bei ungünstigeren Standorten, aber die absolute Höhe der Bestände ist noch deutlich niedriger als bei besseren Standortsbedingungen.



— 111 — 222 — 232

■ 111 ■ 222 □ 232

Abb. 7.2-3: Oberhöhen-, Grundflächen- und Volumenzuwachs für drei Standortgruppen (111, 222 und 232). Linke Abbildungen: Entwicklung der einzelnen Bestände (Parzellen) mit den Vergleichswerten der Ertragstafel von WIEDEMANN (1943, mäßige Durchforstung). Rechte Abbildungen: Zusammengefassten Zuwachsgrößen für unterschiedliche Altersstufen in Form von Boxplots.

Zusammenfassende Betrachtung

Nach Bildung von Standortgruppen, die alle untersuchten Standortfaktoren mitberücksichtigen, können die Entwicklungsverläufe der absoluten Werte aufgezeigt werden. Hier sind die Standortunterschiede noch deutlich zu erkennen. Wie erwartet werden auf besseren Standorten größere Höhen und eine höhere Massenleistung erreicht als auf ungünstigeren Standorten.

Diese bekannten Zusammenhänge sind bei den Zuwachsgrößen jedoch nicht mehr ersichtlich. Auf ungünstigeren Standorten können höhere Oberhöhen- und Grundflächenzuwächse erreicht werden als bei ungünstigeren Standorten. Mit zunehmendem Alter nähern sich die Volumenzuwachswerte der unterschiedlichen Standortgruppen aneinander an, sodass die standörtlichen Unterschiede kaum mehr zu erkennen sind. Deutlich sind langfristige Veränderungen im Wuchsverhalten der Kiefer zu erkennen, bedingt durch Veränderungen des Standortes, die sich anscheinend auf ungünstigeren Standorten stärker auswirken als auf besseren Standorten. Eine nähere Analyse des hier festgestellten veränderten Wachstums erfolgt in Kapitel 8.

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 Wuchsregionen (Wuchsbezirk 6.4 und Teilwuchsbezirk 10.2/1), die unter unterschiedlichen klimatischen Verhältnissen und auf unterschiedlich mit Nährstoffen und Wasser versorgten Böden aufgewachsen sind. Damit kann die Ausprägung des Wachstumstrends in Abhängigkeit von der Standortgüte und dem Klima beschrieben werden. Eine Betrachtung des Zuwachses in verschiedenen Schafthöhen erlaubt darüber hinaus Aussagen darüber, wie sich die Formigkeit und damit der Volumenertrag und die Stabilität eines Baumes mit dem höheren Zuwachs verändern.

Ausgewählt werden drei Probebäume der Versuchsfläche Bayreuth 51 im Wuchsbezirk 6.4 (Oberfränkisches Braunjuragebiet) und vier Probebäume der Versuchsflächen Waldsassen 234 und 238 im Teilwuchsbezirk 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, 4.2-1 und 4.3-1).

7.3.1 Analyse des Zuwachsverhaltens der Probebäume

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 zunächst einen steil ansteigenden Volumenzuwachs, der anschließend für einen längeren Zeitraum auf einem hohen Niveau verweilt, um dann wieder einen leicht absteigenden Trend anzuzeigen. Ab 1960 nimmt der Zuwachs jedoch 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 Zuwachs steigt im frühen Alter nicht so steil an, kulminiert und lässt danach wieder einen absinkenden Trend erkennen. Diese Probebäume zeigen schon einige Jahre vor 1960 (ab ca. 1955) einen wieder ansteigenden Volumenzuwachs. Der Anstieg verläuft steiler und weist keine so große Schwankungen auf wie bei den Bayreuther Kiefern.

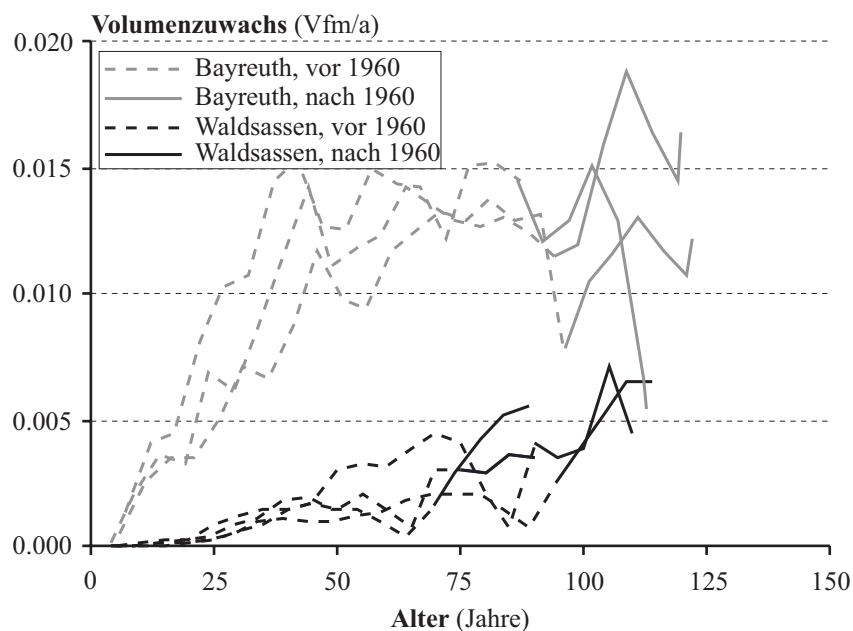


Abb. 7.3-1: Volumenzuwächse über dem Alter der Probebäume aus den Bayreuther (BAY 52) und Waldsassener (WAS 234 und 238) Versuchsflächen; Datenquelle: Einzelbaumanalysen auf den langfristigen Versuchsflächen.

Höhen- und Durchmesserzuwachs

Die in den Volumenzuwachs einfließenden Zuwachsgrößen Höhen- und Durchmesserzuwachs sind in Abbildung 7.3-2 dargestellt. Zum Vergleich sind die Erwartungswerte der Ertragstafel von WIEDEMANN (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 Probebäumen um vorherrschende bzw. herrschende Bäume handelt.

Der Höhenzuwachs der Bayreuther Probebäume 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. Nach 1960 verändert sich das Wuchsverhalten aller untersuchten Probebäume. 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, 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 ansteigender Trend, der jedoch bei weitem nicht so stark ausgeprägt ist wie in Waldsassen.

Der Durchmesserzuwachs zeigt tendenziell ein ähnliches Bild. Das Zuwachsniveau der Bayreuther Probebäume 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 langfristig steigenden 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.

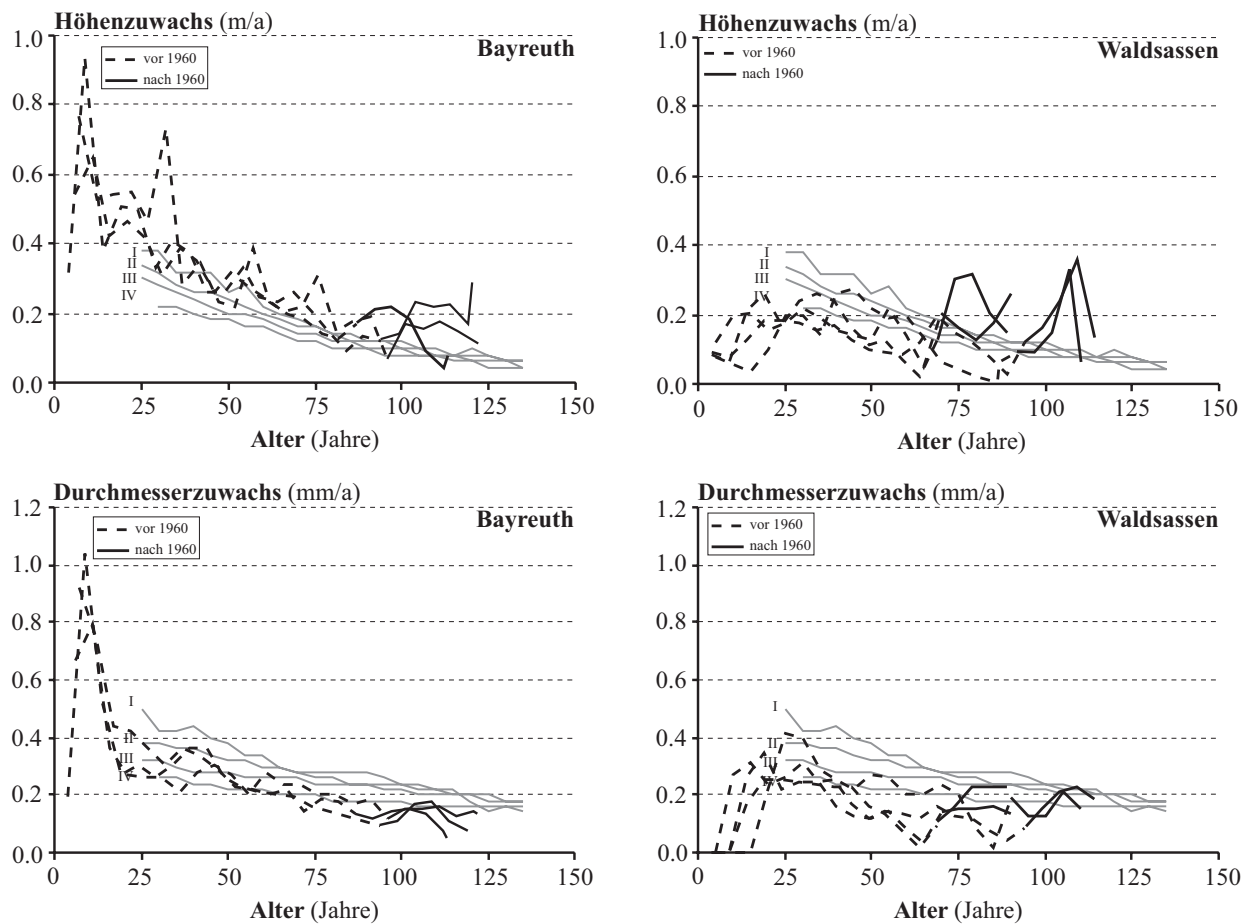


Abb. 7.3-2: Höhen- und Durchmesserzuwachs über dem Alter der Probestämme aus den Bayreuther (BAY 52) und Waldsassener (WAS 234 und 238) Versuchsfeldern; Datenquelle: Einzelbaumanalysen auf den langfristigen Versuchsfeldern.

Die Ergebnisse zeigen insbesondere bei den Waldsassener Kiefern ein verändertes Wuchsverhalten ab 1960 auf beiden Standorten, wobei der Höhenzuwachs verstärkt zur Verbesserung der Volumenzuwachslleistung beiträgt. Auf dem stark streugenutzten und damit sehr nährstoffarmen Standort der Waldsassener Versuchsfeldern zeichnet sich dieses Bild besonders deutlich ab. Über 100jährige Bäume leisten dort einen höheren Zuwachs als die Probestämme der Bayreuther Versuchsfeldern bei entsprechendem Alter.

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

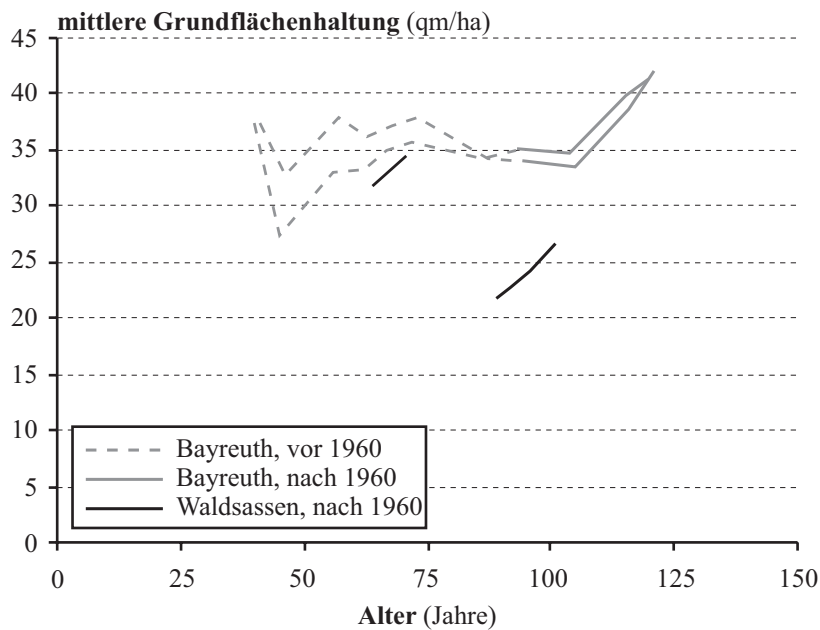


Abb. 7.3-3: mittlere Grundflächenhaltung über dem Alter auf den Versuchsflächen Bayreuth (BAY 52) und Waldsassen (WAS 234 und 238) vor und nach 1960; Datenquelle: Langfristige Versuchsflächen.

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). 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, dargelegt. Die Entwicklung des H/D-Verhältnisses der untersuchten Probestämme aus den Versuchsflächen ist in Abbildung 7.3-4 ersichtlich.

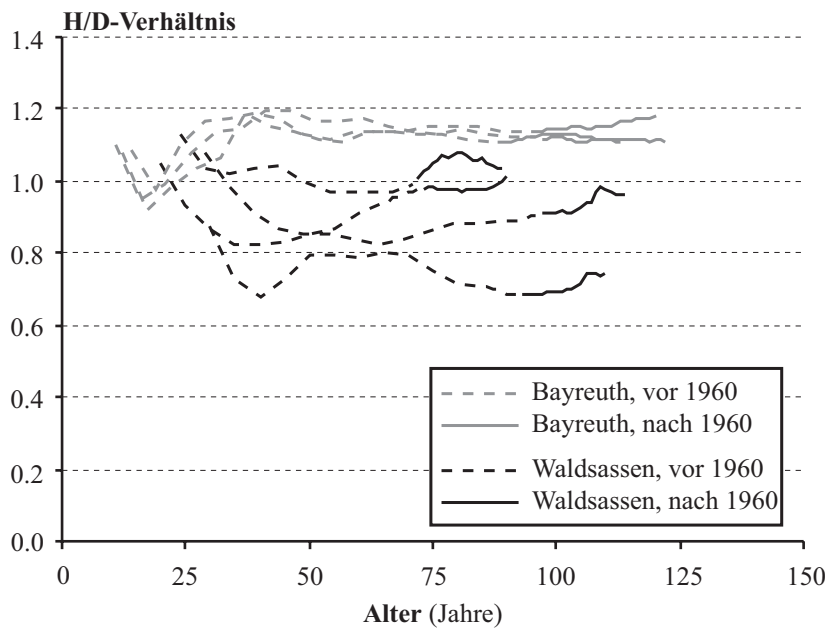


Abb. 7.3-4: Entwicklung des H/D-Verhältnisses über dem Alter der Probestämme aus den Bayreuther (BAY 52) und Waldsassener (WAS 234 und 238) Versuchsflächen vor und nach 1960; Datenquelle: Einzelbaumanalysen auf den langfristigen Versuchsflächen.

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, 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 Probestämmen 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 sich erst in den letzten Jahren wieder differenzieren. Dieses unterschiedliche Verhalten ist bedingt durch die starken Schwankungen des Durchmesser- und Höhenwachses 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 Schaffform

Die Entwicklung des Grundflächenwachses in unterschiedlichen Schaffhöhen folgt normalerweise einem gesetzmäßigen Verlauf, der im höheren Alter mit der Höhe abnimmt (ASSMANN, 1961). Nur in jungen Beständen, in denen das Höhenwachstum noch 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 diese Abnahmen jedoch wesentlich schwächer als bei den Probebäumen aus 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.

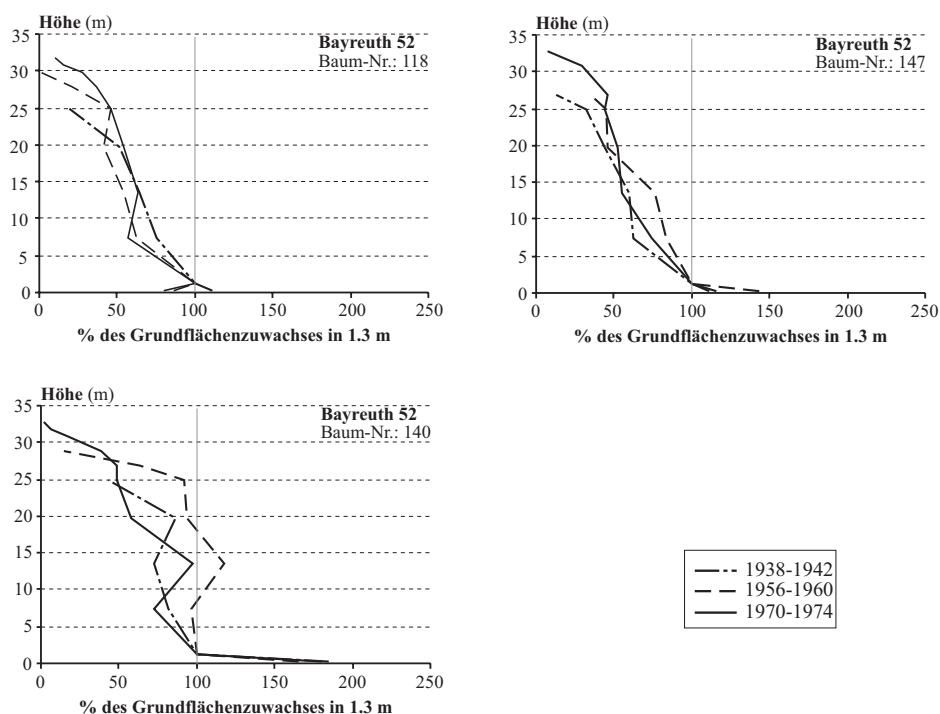


Abb. 7.3-5: Zuwachsentwicklung in unterschiedlichen Schafthöhen über dem prozentualen Grundflächenzuwachs von 1.3 m Höhe der Probebäume aus der Versuchsfläche Bayreuth (BAY 52); Datenquelle: Einzelbaumanalysen aus langfristigen Versuchsflächen.

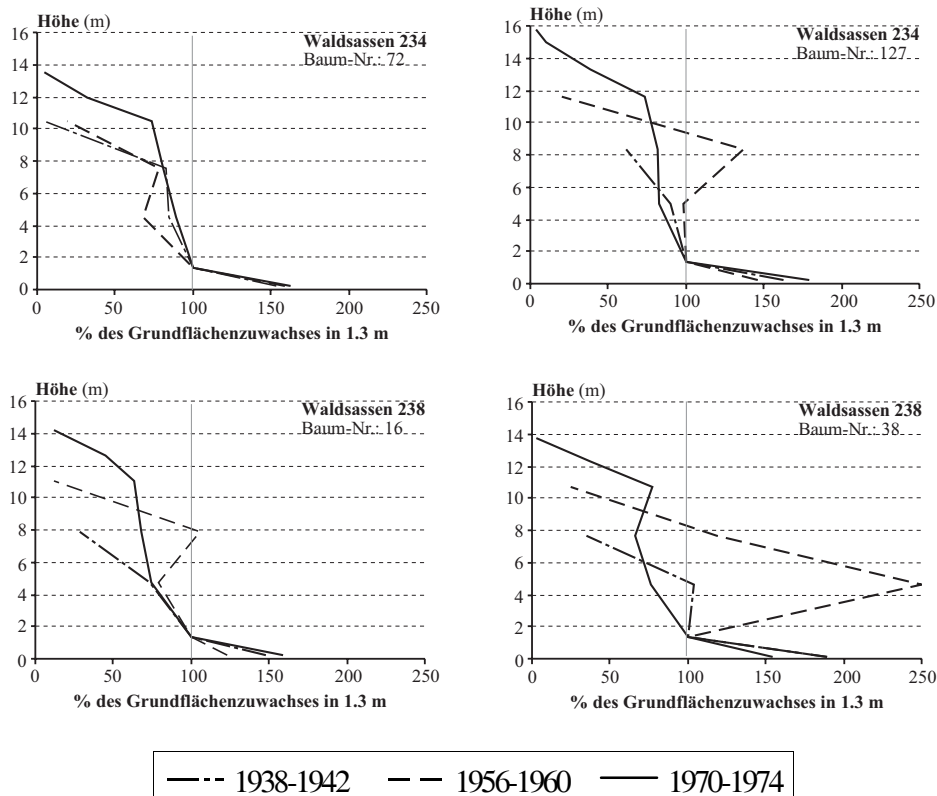


Abb. 7.3-6: Zuwachsentwicklung in unterschiedlichen Schafthöhen über dem prozentualen Grundflächenzuwachs von 1.3 m Höhe der Probebäume aus der Versuchsfläche Waldsassen (WAS 234 und 238); Datenquelle: Einzelbaumanalysen aus langfristigen Versuchsflächen.

Auffällig sind hier wiederum die starken Ausschläge mit weit über 100 % insbesondere im Zeitraum zwischen 1956-1960, in denen sich die Kiefern in einer Phase zunehmenden Durchmesser- und Höhenzuwachses befinden (Abb. 7.3-2).

Formzahlentwicklung

Die Formzahl wird durch den Quotient aus dem tatsächlichen Volumen und dem Volumen einer Bezugswalze eines definierten Durchmessers gebildet. Die echte Formzahl ($\lambda_{0.9}$) 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 sie sich mit zunehmendem Alter nur wenig. Die unechte Formzahl ($f_{1.3}$) nimmt hingegen Bezug auf den Durchmesser in 1.3 m Höhe, dessen geometrische Lage im Stamm sich aufgrund der starren Messhöhe mit zunehmender Baumhöhe verändert. Sie beschreibt also nicht die echte Formigkeit eines Baumes. Dieser Formzahl wird jedoch wegen des vergleichsweise geringeren Messaufwandes 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 Quersflächenzuwachses mit zunehmender Baumhöhe bewirkt eine langfristige Zunahme der echten Formzahl bei den Waldsassener Kiefern und beim Baum Nr. 140 aus 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.

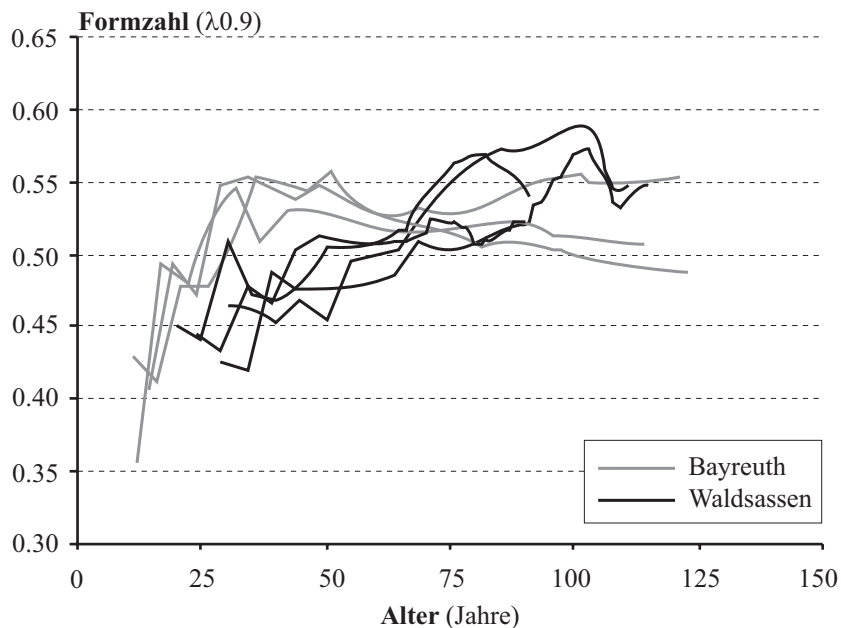


Abb. 7.3-7: Entwicklung der echten Formzahl ($\lambda_{0.9}$) über dem Alter der Probebäume aus den Versuchsflächen Bayreuth (BAY 52) und Waldsassen (WAS 234 und 238); Datenquelle: Einzelbaumanalysen aus langfristigen Versuchsflächen.

Um einen Vergleich mit praxisüblichen Formzahlen treffen zu können, wird in Abbildung 7.3-8 und 7.3-9 die tatsächliche Entwicklung der unechten Formzahl ($f_{1.3}$) der Probebäume der von FRANZ (1971) aus einem großen Datenkollektiv 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 der Formzahlfunktion von FRANZ (1971) der Vorrat der Bäume deutlich unterschätzt.

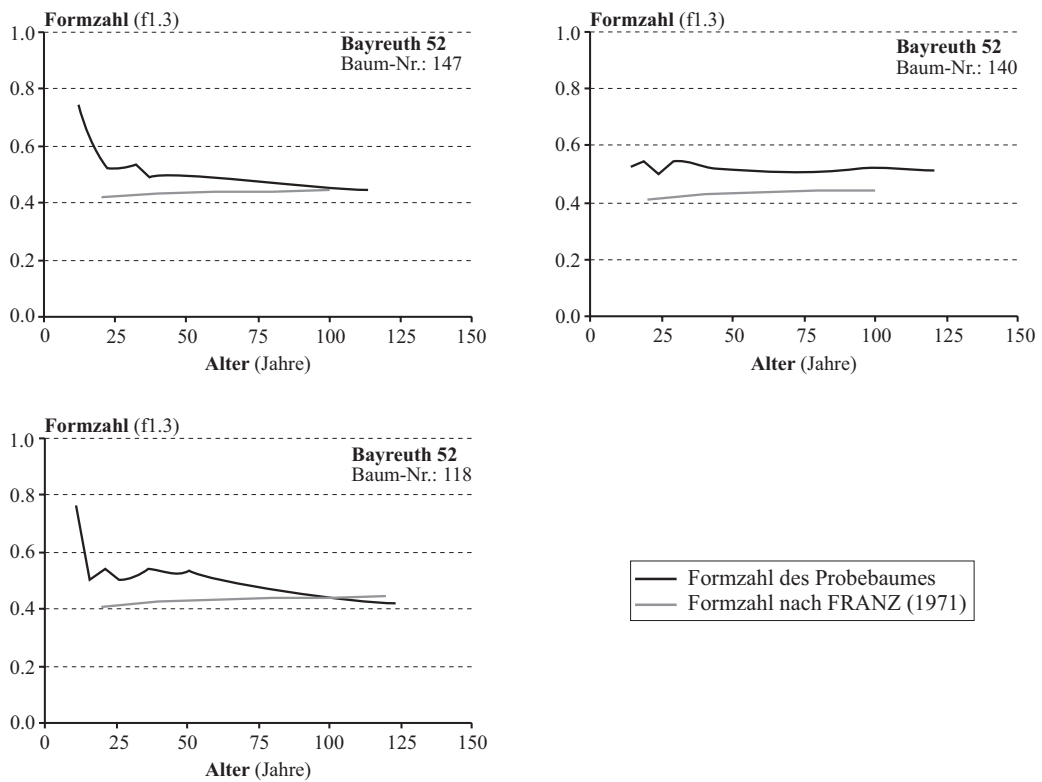


Abb. 7.3-8: Entwicklung der unechten Formzahl (f1.3) und der von FRANZ (1971) entwickelten Formzahl über dem Alter der Probebäume aus der Versuchsfläche Bayreuth (BAY 52); Datenquelle: Einzelbaumanalysen aus langfristigen Versuchsflächen.

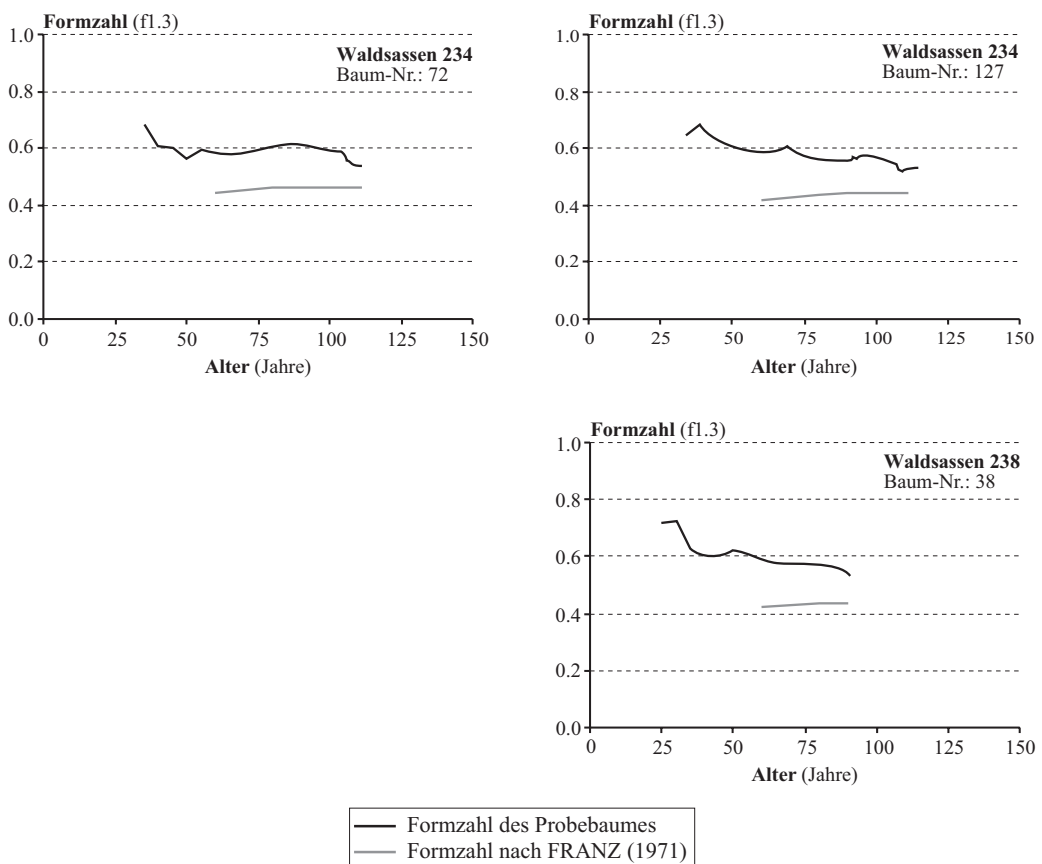


Abb. 7.3-9: Entwicklung der unechten Formzahl (f1.3) und der von FRANZ (1971) entwickelten Formzahl über dem Alter der Probebäume aus der Versuchsfläche Waldsassen (WAS 234 und 238); Datenquelle: Einzelbaumanalysen aus langfristigen Versuchsflächen.

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 auftretende 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 Ertragstafel von WIEDEMANN

Trotz der in Abschnitt 5.2.1 erläuterten Probleme bei Anwendung der Ertragstafel von WIEDEMANN soll sie hier als ein Vergleichsmaßstab für die tatsächlich beobachteten Wachstumswerten benutzt werden, da dieses Tafelwerk in der Praxis allgemein zur Einwertung von Kiefernbeständen herangezogen wird.

8.1.1 Verwendetes Datenmaterial

Für die folgende Untersuchung konnte 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 611 können 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 Prozentuales Verhältnis der beobachteten Werte zu den Erwartungswerten der Ertragstafel von WIEDEMANN

Nachdem die Erwartungswerte der Ertragstafel von WIEDEMANN entsprechend der Ausgangsbonität einer Versuchsparzelle den jeweiligen Aufnahmen zugeordnet und die Vorrats- und Volumenzuwachswerte mit dem Bestockungsgrad reduziert sind (vgl. Abschnitt 5.2.1), kann das prozentuale Verhältnis 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 Ertragstafel von WIEDEMANN 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.

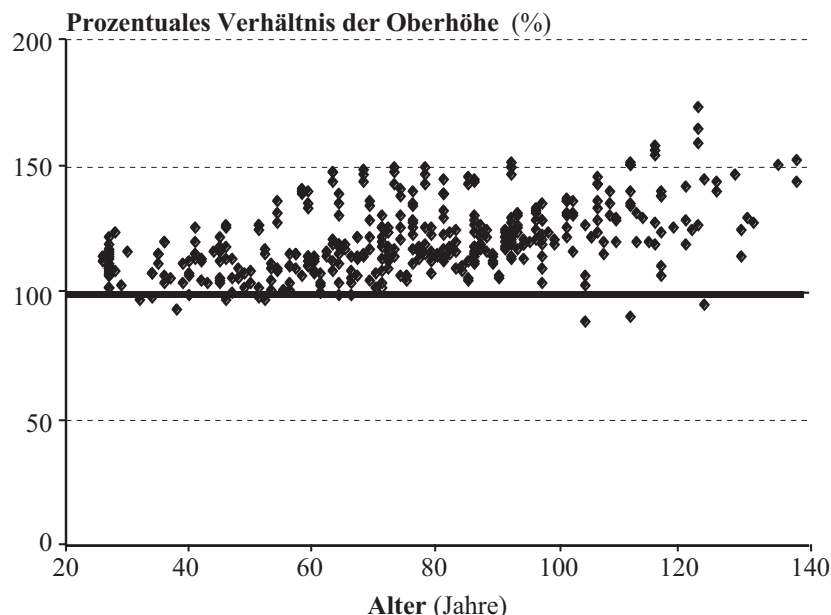


Abb. 8.1-1: Prozentuales Verhältnis der tatsächlichen Oberhöhe zu den Erwartungswerten der Ertragstafel von WIEDEMANN (1943, mäßige Durchforstung); Datenquelle: Langfristige Versuchsflächen.

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.

Trotz des beträchtlich abweichenden Volumenzuwachses zeigt der verbleibende Vorrat nur eine unwesentliche Streuung (Abb. 8.1-2). Die Werte entsprechen weitgehend den von der Ertragstafel vorgegebenen Vergleichswerten.

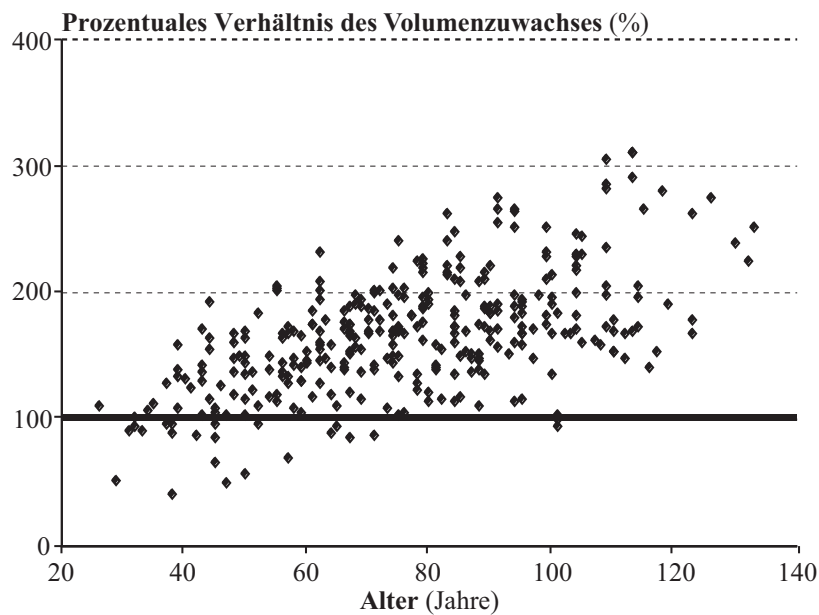


Abb. 8.1-2: Prozentuales Verhältnis des tatsächlichen laufenden jährlichen Volumenzuwachses zu den Erwartungswerten der Ertragstafel von WIEDEMANN (1943, mäßige Durchforstung); Datenquelle: Langfristige Versuchsflächen.

Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass bei entsprechender Vorratshaltung die Volumenzuwächse weit über den von WIEDEMANN angegebenen Werten liegen. Dass die Vorräte keine höheren Abweichungen zeigen, kann nur durch höhere Entnahmemengen erklärt werden, die dem in der Ertragstafel unterstellten Durchforstungskonzept nicht entsprechen.

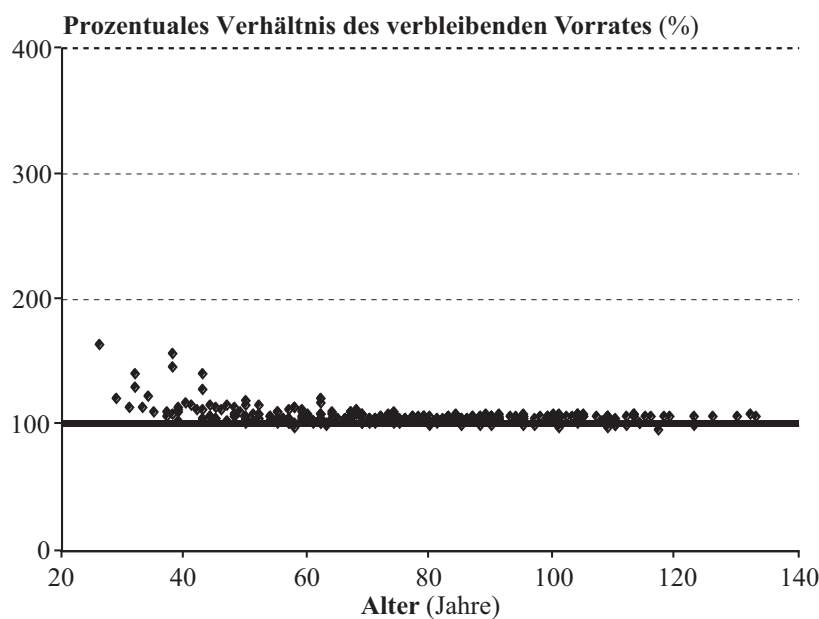


Abb. 8.1-3: Prozentuale Verhältnis des tatsächlichen verbleibenden Vorrates zu den Erwartungswerten der Ertragstafel von WIEDEMANN (1943, mäßige Durchforstung); Datenquelle: Langfristige Versuchsflächen.

8.1.3 Linearer Ausgleich des prozentualen Verhältnisses zu den Erwartungswerten 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.

$$y = a + b \cdot t + c \cdot bon + d \cdot bg \quad \text{Gleichung 8.1-1}$$

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), sodass 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
Gesamt	281	1506

Die geschätzten Parameter mit ihrer Irrtumswahrscheinlichkeit und dem Bestimmtheitsmaß zeigt Tab. 8.1-2. Bis auf wenige Ausnahmen sind alle Parameter höchst signifikant (Irrtumswahrscheinlichkeit kleiner als 0.001). Nur bei der Oberhöhe zeigen die Funktionsparameter a und d 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.

	a	b	c	d	R²
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 Ertragstafel von WIEDEMANN bei einem Bestockungsgrad von 1.0.

Abweichung von der erwarteten Oberhöhe (%)				
Alter (Jahre)	Ausgangsbonitäten			
	II	III	IV	V
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 der Ausgangsbonität V auf 212 %.

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

Abweichung vom erwarteten lfd. Volumenzuwachs (%)				
Alter	Ausgangsbonitäten			
	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.

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

8.2.2 Betrachtung wichtiger waldwachstumskundlicher Kennwerte

Im Folgenden wird die Entwicklung der wichtigsten waldwachstumskundlichen Parameter in Form von Boxplots beschrieben (Abb. 8.2-1).

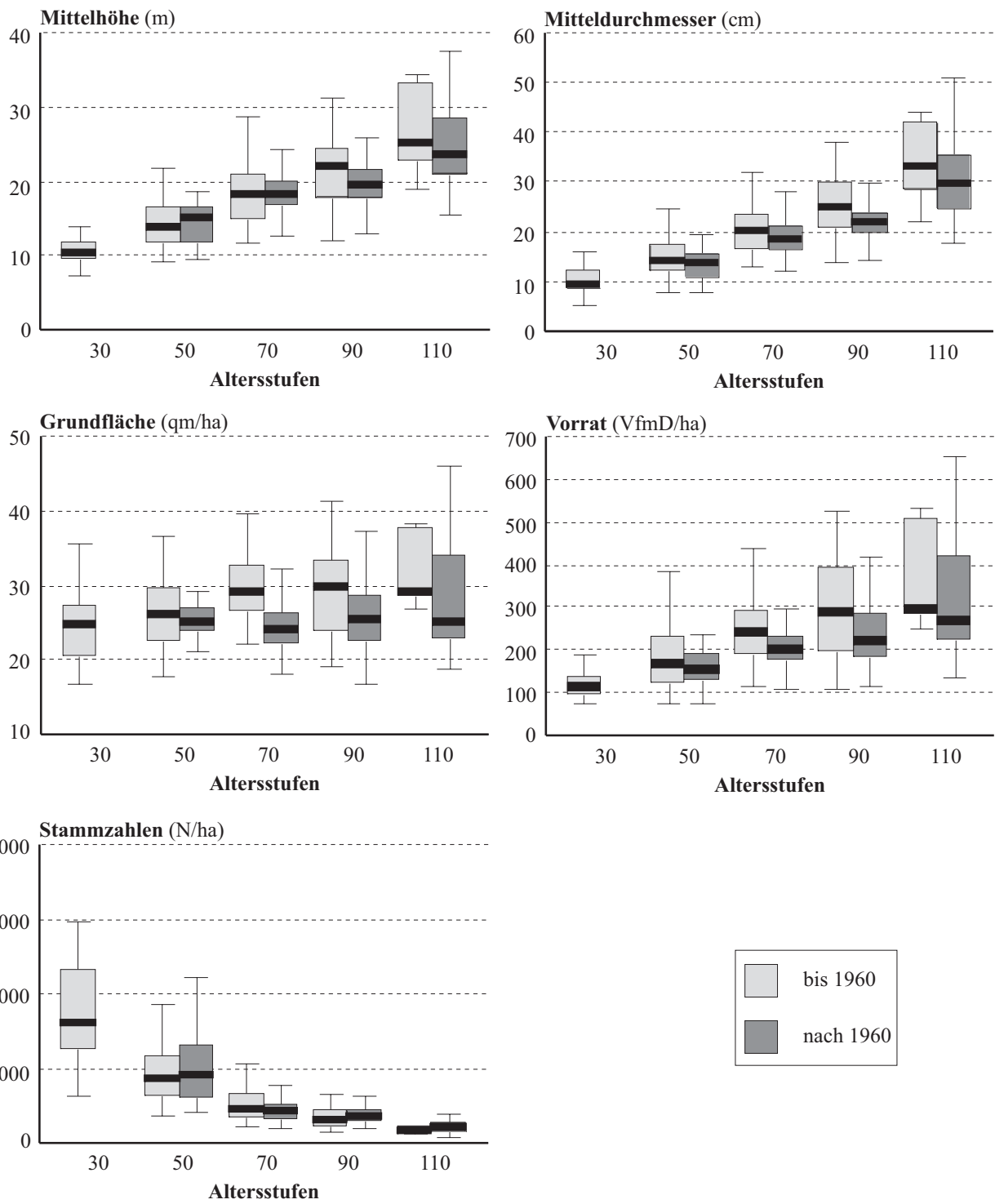


Abb. 8.2-1: Mittelhöhe, Mitteldurchmesser, Grundfläche, Vorrat und Stammzahlen der Zeiträume bis 1960 und nach 1960 für fünf Altersstufen; Datenquelle: Langfristige Versuchsflächen.

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

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 der im Zeitraum nach 1960 neu angelegten Versuchsflächen 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.

8.2.3 Beschreibung der Zuwachsgrößen

Im folgenden Abschnitt werden die Höhen-, Durchmesser- und Volumenzuwächse der beiden Zeiträume näher untersucht. Zur Prüfung signifikanter Unterschiede zwischen den Werten vor 1960 und nach 1960 wird ein t-Test (BORTZ, 1993) verwendet, die Irrtumswahrscheinlichkeiten sind in Tab. 8.2-2 aufgeführt.

Tab. 8.2-2: Irrtumswahrscheinlichkeiten der mit einem t-Test untersuchten Parameter Höhen-, Durchmesser- und Volumenzuwachs und des H/D-Wertes für fünf Altersstufen (*** ≤ 0.001 ; ** ≤ 0.01 ; * ≤ 0.05 ; = kein signifikanter Unterschied).

	Altersstufen			
	50	70	90	110
Höhenzuwachs	***	***	***	*
Durchmesserzuwachs	***	***	***	***
Volumenzuwachs	***	***	***	-
H/D-Wert	***	***	***	***

Die Zuwachswerte in den fünf Altersklassen unterscheiden sich in fast allen Fällen mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 0.001 signifikant voneinander, nur in Beständen über 100 Jahren finden sich geringere bzw. keine signifikanten Unterschiede.

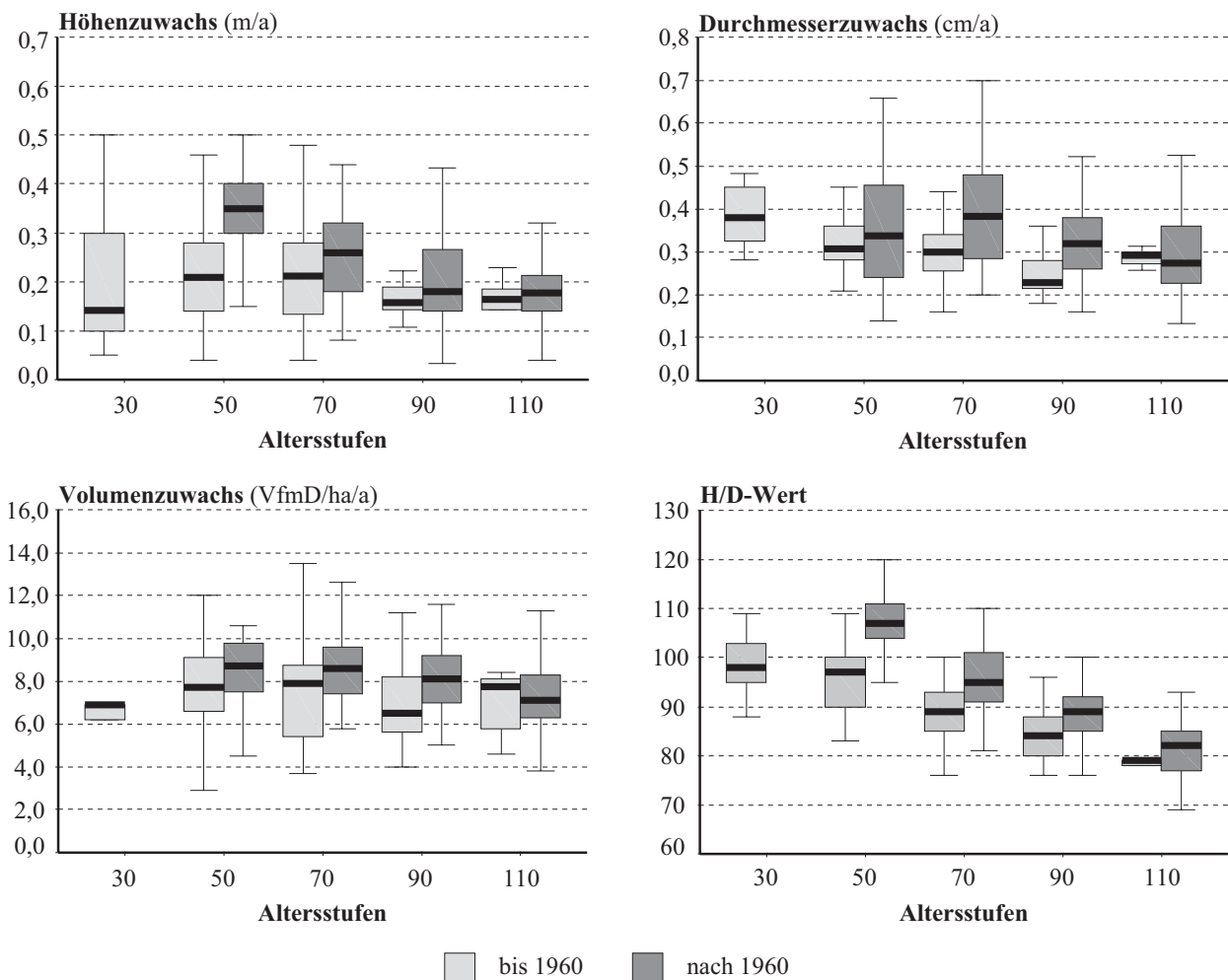


Abb. 8.2-2: Volumen-, Höhen- und Durchmesserzuwachs bis 1960 und nach 1960 der fünf Altersstufen für die Standortsgruppen 1 und 2; Datenquelle: Langfristige Versuchsflächen.

In Abb. 8.2-2 sind die Werte der Altersstufen gruppiert nach den beiden Zeiträumen in Form von Boxplots dargestellt. Sowohl beim Höhen- als auch beim Durchmesserzuwachs liegen die Mediane nach 1960 über den Medianen der Werte vor 1960.

Beim Höhenzuwachs ist die Differenz in jüngeren Beständen höher und nimmt mit zunehmendem Alter ab. In der Altersstufe 50 liegt der Höhenzuwachs vor 1960 bei durchschnittlich ca. 0.20 m/a, während er nach 1960 0.35 m/a erreicht. In Beständen über 100 Jahre liegt er in beiden Zeiträumen bei ca. 0.18 m/a.

Die Durchmesserzuwächse unterscheiden sich vor allem in den Altersstufen 70 und 90, also in den älteren Beständen, voneinander. Die Differenzen erreichen hier durchschnittlich ca. 0.08 cm/a.

Die gleiche Tendenz ergibt sich beim Volumenzuwachs. In fast allen Alterstufen liegen die Zuwächse bis 1960 unter denen der Werte nach 1960. Erreichen die Zuwachswerte in der Altersstufe 50 bis 1960 durchschnittlich ca. 7.9 VfmD/ha/a, steigen sie nach 1960 auf fast 9 VfmD/ha/a an. Nur in der Alterstufe 110 liegen die Werte nach 1960 niedriger, wobei dieses Ergebnis nicht signifikant ist.

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.

Wenn jeder Zeitraum für sich betrachtet wird, zeigen die H/D-Werte 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. Dies weist auf einen im Verhältnis zum Durchmesserzuwachs überproportional angestiegenen Höhenzuwachs hin. Die Differenzen sind um so größer, je jünger die Bestände sind, d.h. je schneller sie noch auf veränderte Wuchskonstellationen reagieren können.

8.2.4 Einfluss der Dichte auf den Volumenzuwachs

Für die Untersuchung der Dichteverhältnisse in den beiden Zeiträumen wird die mittlere Grundflächenhaltung gewählt (ASSMANN, 1961). Abbildung 8.2-3 zeigt die durchschnittliche mittlere Grundflächenhaltung innerhalb der beiden Zeiträume für die fünf Altersstufen in Form von Boxplots.

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.

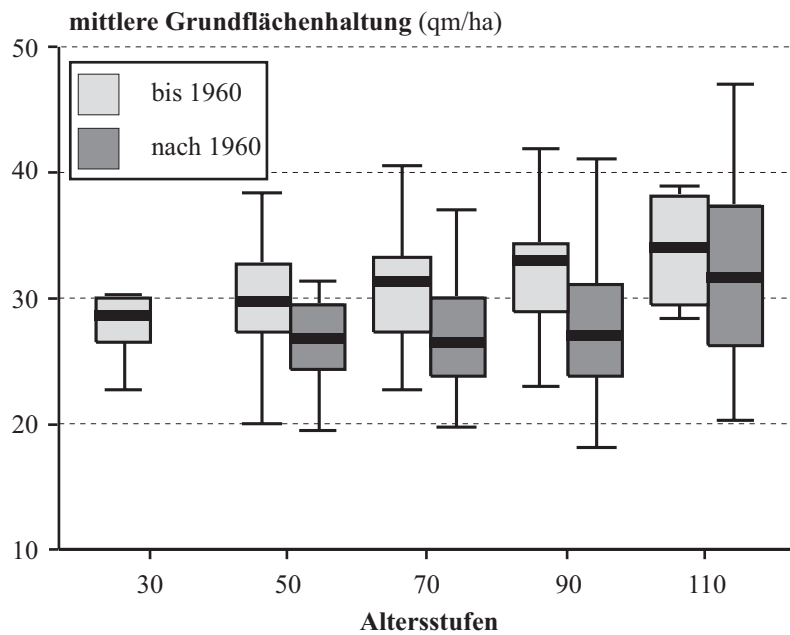


Abb. 8.2-3: Durchschnittliche mittlere Grundflächenhaltung für die fünf Altersstufen vor und nach 1960; Datenquelle: Langfristige Versuchsflächen.

Die Abbildung 8.2-4 stellt die Entwicklung des Volumenzuwachses über der mittleren Grundflächenhaltung für alle Daten der beiden 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 8.2-3.

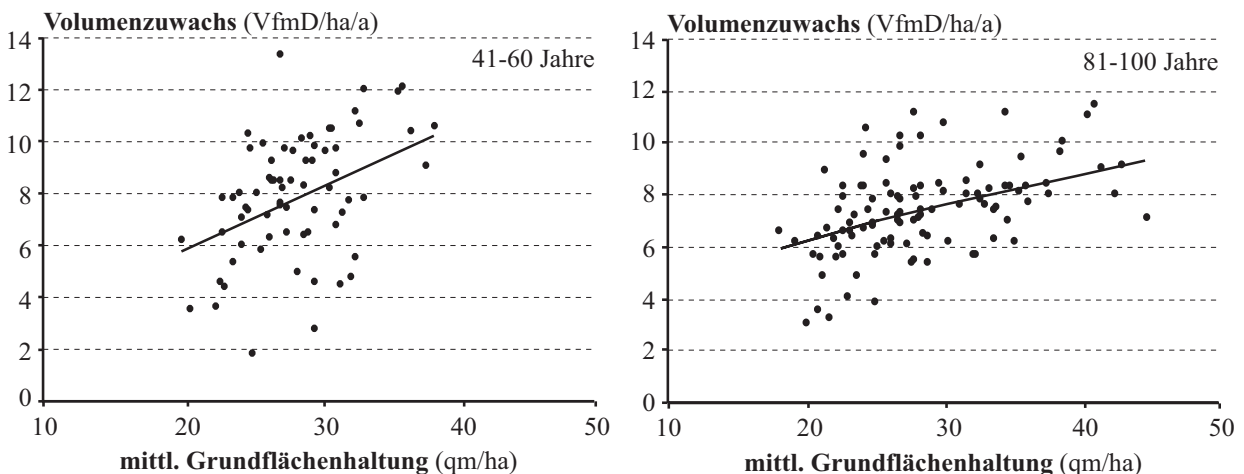


Abb. 8.2-4: Darstellung des Volumenzuwachses über der mittleren Grundflächenhaltung und Ausgleich der Werte mit einer Potenzfunktion für die Altersstufen 50 (41-60 Jahre) und 90 (81-100 Jahre); Datenquelle: Langfristige Versuchsflächen.

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 (Tab. 8.2-3). Dennoch ist mit diesem Ausgleich eine Beschreibung mittlerer Zuwachsgänge in Abhängigkeit von der Dichte möglich.

Tab. 8.2-3: Geschätzte Parameter (d_0 und d_1) und Bestimmtheitsmaß (R^2) für den Ausgleich des Volumenzuwachs 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

8.2.5 Funktionaler Ausgleich des Volumenzuwachses unter Berücksichtigung der Bestandesdichte

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 berechnet werden.

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. Mit Hilfe der in Abschnitt 5.1 erläuterten modifizierten Zuwachsfunktion (Gleichung 5.1-6) kann der Volumenzuwachs im Zeitraum bis 1960 beschrieben werden. Die geschätzten Parameter der Funktion, die Anzahl der verwendeten Datensätze und das Bestimmtheitsmaß finden sich in Tabelle 8.2-4.

Tab. 8.2-4: Geschätzte Parameter, Anzahl verwendeter Datensätze (N) 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 8.2-5 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.

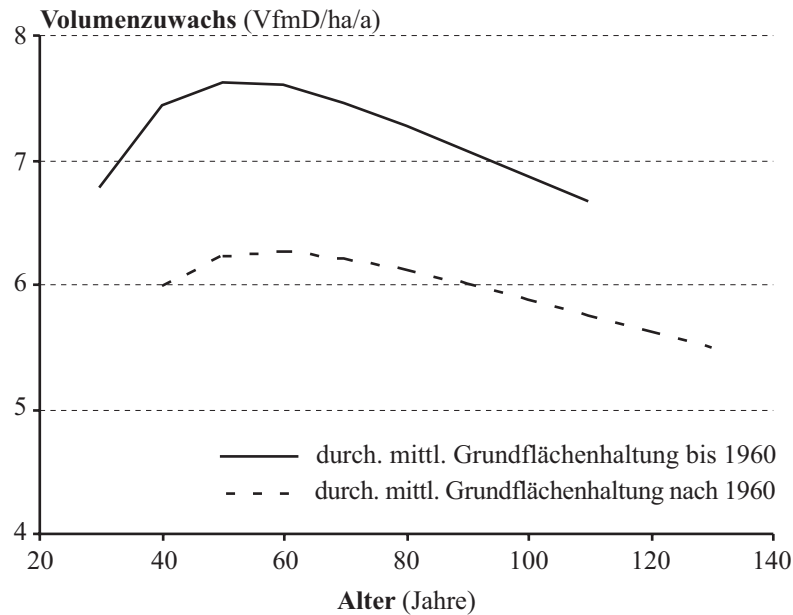


Abb. 8.2-5: Darstellung des Volumenzuwachses bis 1960 mit der Schätzfunktion bei der durchschnittlichen mittleren Grundflächenhaltung bis und nach 1960; Datenquelle: Langfristige Versuchsflächen.

Die durchschnittlich höhere mittlere Grundflächenhaltung bis 1960 drückt 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 8.2.3 zeigen jedoch, dass die Zuwachswerte nach 1960 höher liegen.

8.2.6 Prozentuales Verhältnis des Volumenzuwachses nach 1960 zum Zeitraum bis 1960

Um eine Veränderung im Zuwachsgeschehen der beiden Zeiträume quantifizieren zu können, werden auf Basis der Gleichung 5.1-6 die erwarteten Zuwachswerte im Zeitraum bis 1960 berechnet (siehe auch Abschnitt 8.2.5) und den Zuwachswerten nach 1960 bei entsprechenden Alter zugeordnet. Durch die modifizierte Formel ist es möglich, den zu erwartenden Zuwachs bei entsprechender mittlerer Grundflächenhaltung zu berechnen. Diese Werte spiegeln demnach den Zuwachs wider, der bei unverändertem Wachstum zu erwarten gewesen wäre. Im nächsten Schritt wird dann das prozentuale Verhältnis der tatsächlichen Zuwachswerte im Zeitraum nach 1960 zu den erwarteten Werten berechnet.

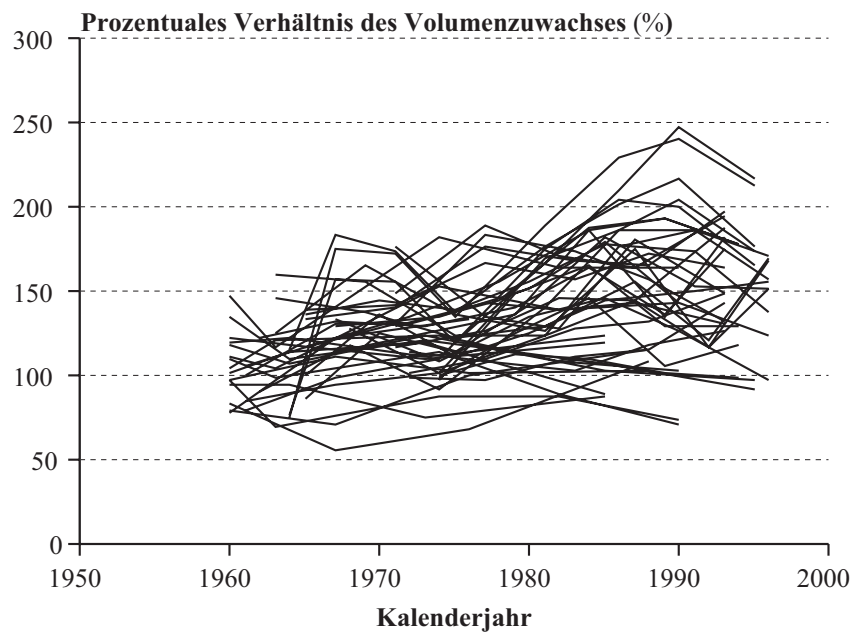


Abb. 8.2-6: Entwicklung des prozentualen Verhältnisses der Volumenzuwachswerte im Zeitraum nach 1960 zu den erwarteten Zuwachswerten aus dem Zeitraum bis 1960 für die einzelnen Versuchspartellen.

Abb. 8.2-6 zeigt die Entwicklung des prozentualen Verhältnisses für die einzelnen Versuchspartellen über dem Kalenderjahr. Zu erkennen sind sowohl positive als auch negative Entwicklungstrends, unterbrochen von kurzfristigen, klimatischen oder behandlungsbedingten Schwankungen.

Um diese Verläufe miteinander vergleichen zu können, werden die prozentualen Verhältnisse einer jeden Parzelle mit Hilfe einer linearen Regression (Gleichung 8.2-1) ausgeglichen.

$$\%_Ver = a + b \cdot \text{Kalenderjahr}$$

Gleichung 8.2-1

wobei:

%_Ver:	Prozentuales Verhältnis (%)
a	Konstante
b	Steigungsparameter

In Abb. 8.2-7 sind beispielhaft die Ergebnisse aus zwei Versuchspartellen dargestellt. Anhand der Steigungsparameter b kann der Trend der einzelnen Partellen gut interpretiert werden. Die Versuchspartelle Bayreuth 52/3 entwickelt über der Zeit einen negativen Trend, ausgedrückt durch einen negativen Steigungsparameter. Zu Beginn liegt das prozentuale Verhältnis noch über 100 %, das heißt, der Volumenzuwachs liegt nach 1960 über den erwarteten Werten. Mit zunehmendem Kalenderjahr nimmt er jedoch ab, bis er schließlich unter den erwarteten Werten liegt. Ganz anders entwickelt sich die Versuchspartelle 11 der Versuchsfläche Waldsassen 234. Zu Beginn liegen die Volumenzuwachswerte nach 1960 noch unter dem Zuwachs bis 1960. Im

Laufe der Zeit steigt der Zuwachs jedoch vehement an, bis er ca. 1995 nahezu 250 % des zu erwartenden Zuwachswertes erreicht. Der Steigungsparameter drückt dies durch einen positiven und hohen ($b > 4.0$) Wert aus.

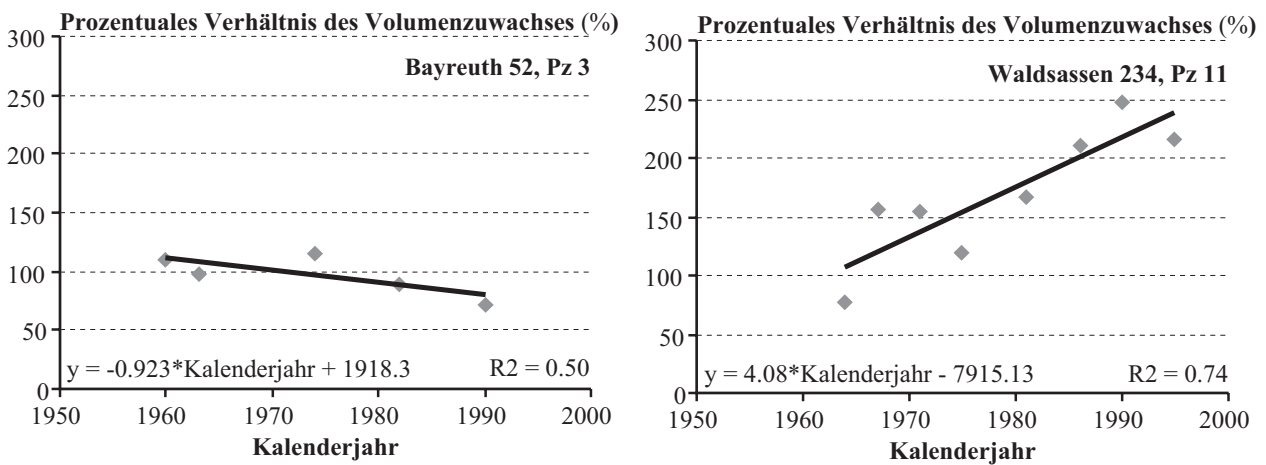


Abb. 8.2-7: Linearer Ausgleich des prozentualen Verhältnisses der Volumenzuwachswerte im Zeitraum nach 1960 zu den erwarteten Zuwachswerten aus dem Zeitraum bis 1960 für die zwei Versuchspartellen

In Abb. 8.2-8 sind schließlich die Häufigkeiten der auftretenden Steigungsparameter in Prozent eingezeichnet.

Für diese Darstellung werden die Werte zu 5 Klassen zusammengefasst, wobei die Klasse

- 0.5 = Steigungsparameter zwischen -1.0 und -0.1 ,
- 0.5 = Steigungsparameter zwischen 0.0 und 0.9 ,
- 1.5 = Steigungsparameter zwischen 1.0 und 1.9 ,
- 2.5 = Steigungsparameter zwischen 2.0 und 2.9 ,
- 3.5 = Steigungsparameter ≥ 3.0

beinhaltet.

Nur ca. 24 % der Versuchspartellen haben einen negativen Steigungsparameter, also einen negativen Wachstumstrend. Alle anderen Parameter sind positiv, zeigen also nach 1960 einen höheren Volumenzuwachs als im Zeitraum bis 1960. Werte über 1.0 sind auf ca. 50 % der Flächen zu finden.

Im weiteren interessiert nun die Frage welche Faktoren die unterschiedlichen Vorzeichen und die unterschiedliche Höhe der Steigungsparameter verursachen. Im nächsten Abschnitt wird der Einfluss des Standortes auf die hier festgestellten Wachstumsänderungen näher untersucht.

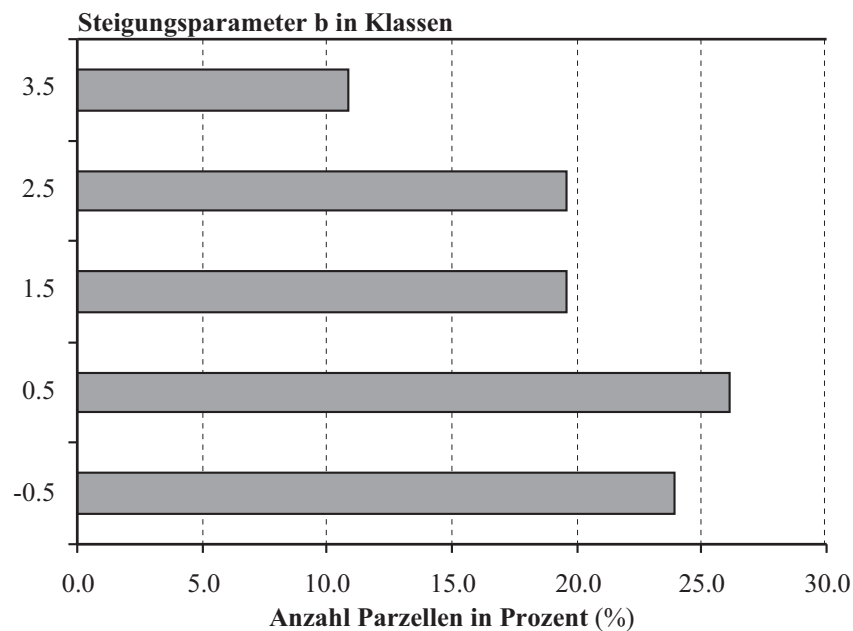


Abb.8.2-8: Häufigkeiten der Steigungsparameter b in % für fünf Klassen (-0.5 = -1.0 - -0.1; 0.5 = 0.0 – 0.9; 1.5 = 1.0 – 1.9; 2.5 = 2.0 – 2.9; 3.5 \geq 3.0).

8.2.7 Einfluss des Standortes auf die festgestellten Wachstumsänderungen

Verwendete Parameter

Für die folgende Untersuchung wird der oben hergeleitete Steigungsparameter b als sogenannte „Trendvariable“ dazu verwendet, einen möglichen Standortseinfluss auf Höhe und Vorzeichen des Steigungsparameters herauszufiltern. Dazu wird jeder Aufnahme einer Versuchsparzelle der entsprechende b-Wert zugeordnet und für die Analyse verwendet. Da die Aufnahmen auf jeder Versuchsfläche in regelmäßigen Abständen erfolgen und für jede Versuchsparzelle erst Aufnahmen ab 1960 verwendet werden, tritt der Steigungsparameter für jede Versuchsparzelle ungefähr gleichhäufig auf, sodass keine Verzerrungen aufgrund unterschiedlich häufig auftretender Werte entstehen.

Als Standortvariablen werden alle in Abschnitt 7.2.2 vorgestellten Parameter verwendet:

- Durchschnittliche Jahrestemperatur (°C) in drei Klassen
- Durchschnittliche Temperatur während der Vegetationszeit (°C) in drei Klassen
- Durchschnittlicher Jahresniederschlag (mm) in drei Klassen
- Durchschnittlicher Niederschlag während der Vegetationszeit (mm) in drei Klassen
- Temperaturamplitude (°C) in zwei Klassen

- Dauer der Vegetationszeit (°C) in drei Klassen
- Höhenlage (m ü. NN) in zwei Klassen
- Wasserhaushalt des Bodens in drei Klassen
- Nährstoffversorgung des Bodens in zwei Klassen

Prüfung des Standorteinflusses anhand einer Korrelationsanalyse

Wie in Abschnitt 7.2 werden die Beziehungen der Standortvariablen zur Trendvariablen zunächst mittels der Korrelationskoeffizienten nach Spearman berechnet. Die Beziehungen der Standortvariablen untereinander wird hier nicht erneut dargestellt, da sie in Abschnitt 7.2 erläutert wurden und sich in dieser Untersuchung nicht verändern. Die Ergebnisse der Korrelationen der Standortvariablen untereinander finden sich in Tab. 7.2-5 und werden bei der Interpretation mit berücksichtigt.

Tab. 8.2-5: Korrelationskoeffizienten nach Spearman (s) für die untersuchte „Trendvariable“ (Steigungsparameter b) und die ausgewählten Standortvariablen.

Variable		Steigungsparameter b
Steigungsparameter b	Korrelationskoeffizient	1.000
	Sig. (2-seitig)	
	N	246
Temperatur/Jahr	Korrelationskoeffizient	-.597**
	Sig. (2-seitig)	.000
	N	246
Temperatur/Vegetationszeit	Korrelationskoeffizient	-.688**
	Sig. (2-seitig)	.000
	N	246
Niederschlag/Jahr	Korrelationskoeffizient	.279**
	Sig. (2-seitig)	.000
	N	246
Niederschlag/Vegetationszeit	Korrelationskoeffizient	-.233**
	Sig. (2-seitig)	.000
	N	246
Temperaturamplitude	Korrelationskoeffizient	-.282**
	Sig. (2-seitig)	.000
	N	242
Dauer Vegetationszeit	Korrelationskoeffizient	-.436**
	Sig. (2-seitig)	.000
	N	239
Höhenlage	Korrelationskoeffizient	.546**
	Sig. (2-seitig)	.000
	N	242
Wasserhaushalt Boden	Korrelationskoeffizient	-.023
	Sig. (2-seitig)	.715
	N	246
Nährstoffhaushalt Boden	Korrelationskoeffizient	-.304**
	Sig. (2-seitig)	.000
	N	246

** Korrelation ist auf dem Niveau von 0.01 signifikant (2-seitig).

Im Gegensatz zu den in Abschnitt 7.2 betrachteten Wachstumsgrößen Oberhöhe, Gesamtwuchsleistung und mittlere Grundflächenhaltung (siehe Tab. 7.2-4) finden sich hier zunächst zwischen den klimatischen Variablen und dem Steigungsparameter b enge Zusammenhänge. Insbesondere die Jahrestemperatur und die Temperatur während der Vegetationszeit zeigen einen hohen Korrelationskoeffizienten ($s > 0.5$), aber auch die Höhenlage und die Dauer der Vegetationszeit weisen eine straffe Beziehung auf.

Während bei den Wachstumsgrößen in Abschnitt 7.2 die Differenzen zu den erwarteten Werten mit steigender Temperatur größer werden, sie also höhere Gesamtwuchsleistungen, Oberhöhen und Grundflächen aufweisen, sinkt der Steigungsparameter b mit zunehmender Temperatur. Anders ausgedrückt bedeutet dies, dass Bestände, die hohe Wachstumsleistungen aufgrund günstiger Standortbedingungen erreicht haben, nach 1960 einen geringeren Trend zu einem verbesserten Wachstum aufweisen. Dieses Ergebnis zeigt sich bei allen klimatischen Variablen mit einem höheren Korrelationskoeffizienten ($s > 0.4$). Eine Ausnahme davon bildet die Höhenlage. Hier ist auf die Wechselbeziehungen zwischen Höhenlage und Temperatur hinzuweisen (Tab. 7.2-5), da mit zunehmender Höhenlage die Temperatur absinkt und dementsprechend der Steigungsparameter b auch ansteigt.

Ein weiterer signifikanter Zusammenhang besteht zwischen dem Steigungsparameter b und der Nährstoffversorgung des Bodens, wobei sich analog zu den Ergebnissen der Klimavariablen divergierende Entwicklungen zwischen Wachstumsgröße und Trendvariable ergeben. Während die Wachstumsgrößen (Abschnitt 7.2, Tab. 7.2-4) mit besserer Nährstoffversorgung höhere Werte erreichen, sinkt die Trendvariable mit zunehmend besser werdender Nährstoffversorgung ab. Wie oben erläutert, bedeutet dies, dass Bestände die aufgrund eines höheren Nährstoffangebotes bisher ein besseres Wachstum erreicht haben, nach 1960 einen geringeren positiven Wachstumstrend aufweisen als schlechter mit Nährstoff versorgte Böden.

Ein weiteres interessantes Ergebnis ist, dass der Wasserhaushalt des Bodens keinerlei Einfluss auf die Trendvariable zu haben scheint, während er bei Betrachtung der Wachstumsgrößen eine entscheidende Bedeutung aufwies. Aber auch hier besteht eine engere und vor allem signifikante Wechselbeziehung zum Nährstoffhaushalt.

Generell ist hier darauf hinzuweisen, dass auch eine Trennung der Klimavariablen von den Variablen zur Beurteilung der Bodengüte (Wasserhaushalt, Nährstoffhaushalt) nur schwer möglich ist, da zwischen den Variablen enge Interaktionen bestehen. So steigt mit zunehmender Temperatur und Niederschlag auch der Nährstoffhaushalt des Bodens an (Tab.7.2-5).

Untersuchung ausgewählter Variablen mit Hilfe einer Varianzanalyse

Um herauszufinden, welche der untersuchten Standortvariablen nun den Wert der Trendvariablen am besten erklärt, wird wie in Abschnitt 7.2, auf die Varianzanalyse zurückgegriffen. Auch hier werden die Wechselbeziehungen zwischen den Klimavariablen genutzt, um diese zu einer Variablen zusammenzufassen. Im Gegensatz zur Standortuntersuchung in Abschnitt 7.2 wird hier die Temperatur während der Vegetationszeit als die Einflussvariable mit dem höchsten Korrelationskoeffizienten stellvertretend für die anderen Klimavariablen ausgewählt und zusammen mit dem Nährstoffhaushalt und dem Wasserhaushalt des Bodens in die Analyse mit einbezogen. Bei dieser Analyse werden auch die Wechselbeziehungen der Standortvariablen untereinander betrachtet.

Tab. 8.2-6: Ergebnisse der Varianzanalyse zur Prüfung des Einflusses der Temperatur während der Vegetationszeit (TV_KL), des Wasserhaushaltes des Bodens (WASSER) und des Nährstoffhaushaltes des Bodens (NAEHR) auf die Trendvariable „Steigungsparameter b“ mit den Quadratsummen, den Freiheitsgraden (df), dem Mittel der Quadrate, dem F-Wert (F) und dem Signifikanzniveau.

Tests der Zwischensubjekteffekte					
Abhängige Variable: Steigungsparameter b					
Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Korrigiertes Modell	305.795 ^a	8	38.224	58.164	.000
Konstanter Term	168.224	1	168.224	255.977	.000
TV_KL	209.094	2	104.547	159.083	.000
WASSER	9.866	2	4.933	7.506	.001
NAEHR	7.525	1	7.525	11.451	.001
TV_KL * WASSER	12.337	1	12.337	18.772	.000
TV_KL * NAEHR	68.223	1	68.223	103.811	.000
WASSER * NAEHR	25.756	1	25.756	39.192	.000
Fehler	155.753	237	.657		
Gesamt	917.490	246			
Korrigierte Gesamtvariation	461.548	245			
a	R-Quadrat = .663 (korrigiertes R-Quadrat = .651)				

Zunächst zeigen die Ergebnisse (Tab. 8.2-6) mit 0.65 ein recht hohes Bestimmtheitsmaß. Die Streuung der Steigungsparameter um den Mittelwert kann mit diesen Standortvariablen also zu 65 % erklärt werden. Alle Ergebnisse sind zudem höchst signifikant.

Bei Betrachtung der Quadratsummen der Haupteffekte (Temperatur während der Vegetationszeit (TV_KL), Wasserhaushalt des Bodens (WASSER) und Nährstoffhaushalt des Bodens (NAEHR)) zeigt sich jedoch, dass nur die Temperatur einen hohen Anteil an den erklärten Quadratsummen aufweist. Die nächste bestimmende Variable ist die Wechselbeziehung zwischen Temperatur und

Nährstoffhaushalt bzw. der Interaktion Wasser- und Nährstoffhaushalt des Bodens. Diese Ergebnisse verdeutlichen, dass zwar alle untersuchten Variablen zu einem hohen Erklärungsgrad beitragen, sie untereinander jedoch in dieser Untersuchung nicht zu trennen sind. So hat der Nährstoffhaushalt des Bodens als Haupteffekt nur einen geringen Erklärungsanteil, fließt jedoch über die signifikante Beziehung zur Temperatur bzw. zum Wasserhaushalt des Bodens indirekt stärker mit ein.

Darstellung des Steigungsparameters b für die untersuchten Standortvariablen

Für eine Darstellung der durchschnittlichen Steigungsparameter kann aufgrund der engen Beziehungen der Standortvariablen untereinander keine getrennte Auflistung erfolgen. Vielmehr werden analog zur Darstellung in Abschnitt 7.2.4 alle drei Variablen miteinander kombiniert. Um einen Vergleich mit den Wachstumsgrößen aus Abschnitt 7.2 zu ermöglichen, wird statt der in diesem Abschnitt verwendeten Einflussvariable „Temperatur während der Vegetationszeit“ die in Abschnitt 7.2 untersuchte Klimavariablen „Niederschlag während der Vegetationszeit“ gewählt, mit dem Hinweis, dass beide Variablen miteinander zusammenhängen und mit steigendem Niederschlag in diesem Fall auch die Temperatur während der Vegetationszeit ansteigt (Tab. 7.2-5). Tab. 8.2-7 zeigt den Mittelwert für den Steigungsparameter b innerhalb der in Abschnitt 7.2.4 gebildeten Standortgruppen.

Tab. 8.2-7: Anzahl Werte und Mittelwert des Steigungsparameters b für die in Abschnitt 7.2.4 gebildeten Standortgruppen.

Nied./Veg.	Wasserhaushalt	Nährstoffhaushalt	Code	Anzahl Werte	Mittelwert
gering	ungünstig	schlecht	111	66	1.13
gering	mittel	schlecht	121	71	2.24
mittel	ungünstig	schlecht	211	21	1.44
mittel	ungünstig	besser	212	5	0.93
mittel	mittel	schlecht	221	15	0.37
mittel	mittel	besser	222	42	0.94
mittel	gut	besser	232	12	-0.47
hoch	mittel	schlecht	321	14	1.92

Die höchsten Steigungsparameter haben die Bestände sowohl in den Standortgruppen mit geringen Niederschlägen, schlechter Nährstoffversorgung und mittlerer bis ungünstiger Wasserversorgung (Standortgruppen 111 und 121) als auch in der Standortgruppe mit hohen Niederschlägen, mittlerer Wasserversorgung und schlechter Nährstoffversorgung (321). Auffällig ist hier, dass sich die hohen Steigungsparameter vor allem in den Standortgruppen mit schlechter Nährstoffversorgung finden lassen. Ein durchschnittlich negativer Steigungsparameter, also ein abnehmender Wachstumstrend, zeigt sich nur in Standortgruppe

232 bei mittleren Niederschlägen, gutem Wasserhaushalt und besserer Nährstoffversorgung.

Zusammenfassende Betrachtung

Die Analyse des Standortseinflusses auf den Steigungsparameter b erbrachte vor allem einen eindeutigen signifikanten Einfluss der Standortvariablen Temperatur während der Vegetationszeit und Nährstoffhaushalt des Bodens. Bei der Varianzanalyse erbringt auch der Wasserhaushalt des Bodens ein signifikantes Ergebnis. Im Vergleich zur Untersuchung der Wachstumsgrößen Oberhöhen, Gesamtwuchsleistung und mittlerer Grundflächenhaltung ergibt sich jedoch ein divergierendes Bild. Führen steigende Temperaturen und ein besserer Nährstoffhaushalt des Bodens dazu, dass die Bestände größere Höhen und eine höhere Gesamtwuchsleistung erreicht haben, so zeigen die Untersuchungen der Trendvariablen, dass gerade in diesen Standortgruppen durchschnittlich geringere Steigungsparameter auftreten, ein positiver Wachstumstrend also nur in geringerem Maße vorhanden ist. In den Standortgruppen mit geringen Höhen und niedriger Gesamtwuchsleistung, wie beispielsweise in Standortgruppe 111 (geringe Niederschläge, ungünstiger Wasserhaushalt und schlechte Nährstoffversorgung) gibt es den deutlichsten positiven Wachstumstrend (vgl. Tab. 7.2-12 und 8.2-7). Schon bei Betrachtung der Zuwachswerte in Abschnitt 7.2.4 wird deutlich, dass hier die Wachstumsänderungen im stärksten Maße auftreten. Wie die varianzanalytische Überprüfung des Standortseinflusses ergeben hat, ist eine Trennung der Standortvariablen aufgrund der engen Interaktionen nur schwer möglich. Aber die Tatsache, dass in einer Standortgruppe mit guten Standortbedingungen hinsichtlich der Niederschläge und des Wasserhaushaltes und nur schlechter Nährstoffversorgung einen ähnlich hohen durchschnittlichen Steigungsparameter erbringt wie ungünstigere Standortgruppen (z.B. 111 und 121), weist darauf hin, dass der Nährstoffhaushalt eine bedeutende Rolle einnimmt. Insbesondere auf diesen Standorten, bei denen der Stickstoff einen Minimumfaktor darstellt, kann das erhöhte Nährstoffangebot, entstanden durch Erholung der Böden nach Auflassung der Streunutzung oder durch erhöhten Stickstoffeintrag aus der Luft, genutzt werden (REHFUESS et al., 2001).

8.2.8 Funktionaler Ausgleich des Volumenzuwachses unter Berücksichtigung der Bestandesdichte und des Standortes

Um einen Eindruck über die Veränderung der absoluten Volumenzuwachsentwicklung auf unterschiedlichen Standorten vermitteln zu können, wird im Folgenden der Volumenzuwachs unter Berücksichtigung von Bestandesdichte und Standort funktional für die zwei Zeiträume bis 1960 und nach 1960 ausgeglichen.

Tab. 8.2-8: Zusammenfassung der in Abschnitt 7.2.4 gebildeten Standortgruppen zu den zwei Standortklassen „besser“ und „schlecht“.

Nied./Veg.	Wasserhaushalt	Nährstoffversorgung	Codierung	Anzahl Werte	Standortsklasse
gering	mittel	schlecht	121	81	schlecht
gering	ungünstig	schlecht	111	77	schlecht
mittel	gut	besser	232	39	besser
mittel	mittel	besser	222	116	besser
mittel	mittel	schlecht	221	18	schlecht
mittel	ungünstig	besser	212	25	besser
mittel	ungünstig	schlecht	211	44	schlecht
hoch	mittel	schlecht	321	16	besser

Hierzu werden zunächst die in Abschnitt 7.2.4 gebildeten Standortgruppen in Anhalt an die in Abschnitt 7.2.3 gefunden Standortseinflüsse zu zwei Standortklassen zusammengefasst (Tab. 8.2-8). Aufbauend auf der in Abschnitt 5.1 hergeleiteten Gleichung 5.1-7 und der in Abschnitt 8.2.7 gefundenen Ergebnisse wird die Gleichung entsprechend der Gleichung 5.1-7 (Abschnitt 5.1) mit dem Standort erweitert. Mit dieser Funktion werden sowohl die Funktionswerte des Zeitraumes bis 1960 als auch nach 1960 mit einer durchschnittlichen mittleren Grundflächenhaltung des Zeitraumes bis 1960 berechnet. Tab. 8.2-9 zeigt die geschätzten Parameter, die Anzahl der verwendeten und gewichteten Zuwachsdaten und das Bestimmtheitsmaß.

Tab. 8.2-9: Schätzparameter, Anzahl der verwendeten Zuwachsdaten (N) und Bestimmtheitsmaß (R^2) für die Zeiträume bis 1960 und nach 1960.

Parameter	Schätzwert	
	bis 1960	nach 1960
a_1	61.69	863.27
a_2	84.76	891.60
B	25.93	41.52
C	0.59	0.71
d_1	1.08	0.40
	$R^2=0.40$	$R^2=0.22$
	N= 883	N= 1524

Die Ergebnisse zeigen deutliche Unterschiede sowohl zwischen den beiden Zeiträumen als auch zwischen den unterschiedlichen Standorten (Abb. 8.2-9). Bei Betrachtung des Zeitraumes vor 1960 ist deutlich das unterschiedliche Zuwachsniveau zu erkennen. Mit zunehmender Standortsgüte liegen die Zuwachswerte höher. Bei ungünstigeren Standorten verlaufen sie unter 6 VfmD/ha/a, während sie auf besseren Standorten in jedem Alter über 6 VfmD/ha/a liegen.

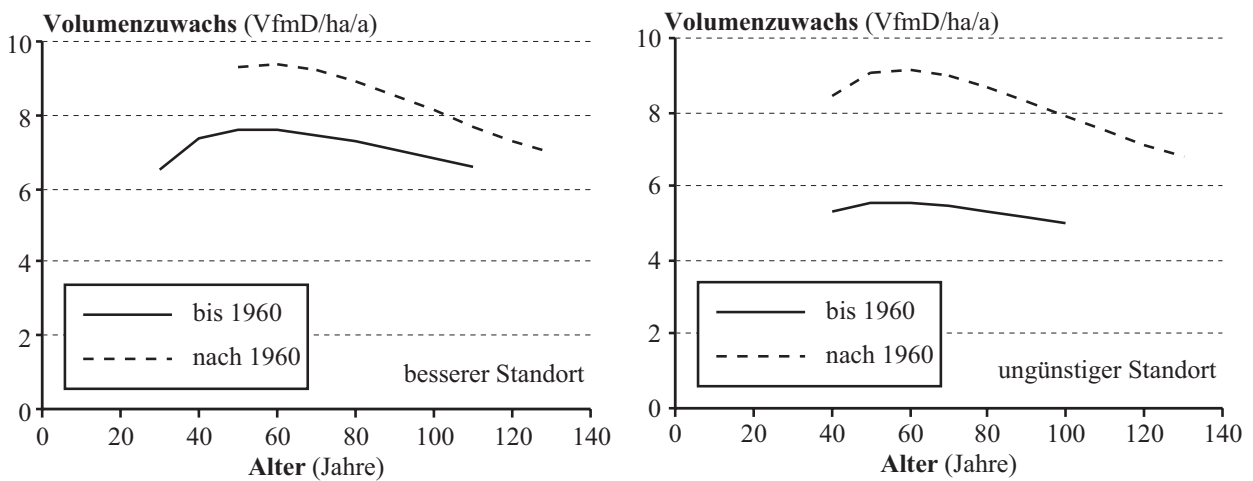


Abb. 8.2-9: Darstellung der berechneten Volumenzuwächse aus der modifizierten Zuwachsfunktion für die zwei Standortklassen bei einer durchschnittlichen mittleren Grundflächenhaltung aus dem Zeitabschnitt bis 1960 für die Zeiträume vor 1960 und nach 1960.

Nach 1960 ist in beiden Standortklassen ein deutlich höheres Zuwachsniveau festzustellen. Interessanterweise ist die Differenz je nach Standort jedoch unterschiedlich. Ungünstigere Standorte zeigen einen Differenz von über 2.0 VfmD/ha/a, während bessere Standorte Differenzen von nur etwas über 1.0 VfmD/ha/a aufweisen (Tab. 8.2-10). Durch die unterschiedlich hohen Differenzen nähert sich das Zuwachsniveau der zwei Standortklassen im Zeitraum nach 1960 aneinander an, zeigt also nicht mehr so deutlich die den unterschiedlichen Standorten entsprechenden höheren und niedrigeren Zuwächse.

Tab. 8.2-10: Berechnete Zuwachswerte der beiden Zeiträume bis 1960 und nach 1960 für zwei Standortgruppen.

Alter	Volumenzuwachs (VfmD/ha/a)			
	ungünstiger Standort		besserer Standort	
	bis 1960	nach 1960	bis 1960	nach 1960
30			6.5	
40	5.3	8.4	7.3	
50	5.5	9.0	7.6	9.3
60	5.5	9.1	7.6	9.4
70	5.4	9.0	7.5	9.2
80	5.3	8.7	7.3	8.9
90	5.1	8.3	7.1	8.5
100	5.0	7.9	6.8	8.1
110		7.5	6.6	7.7
120		7.1		7.3
130		6.8		6.9

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 des konstanten Alters 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.

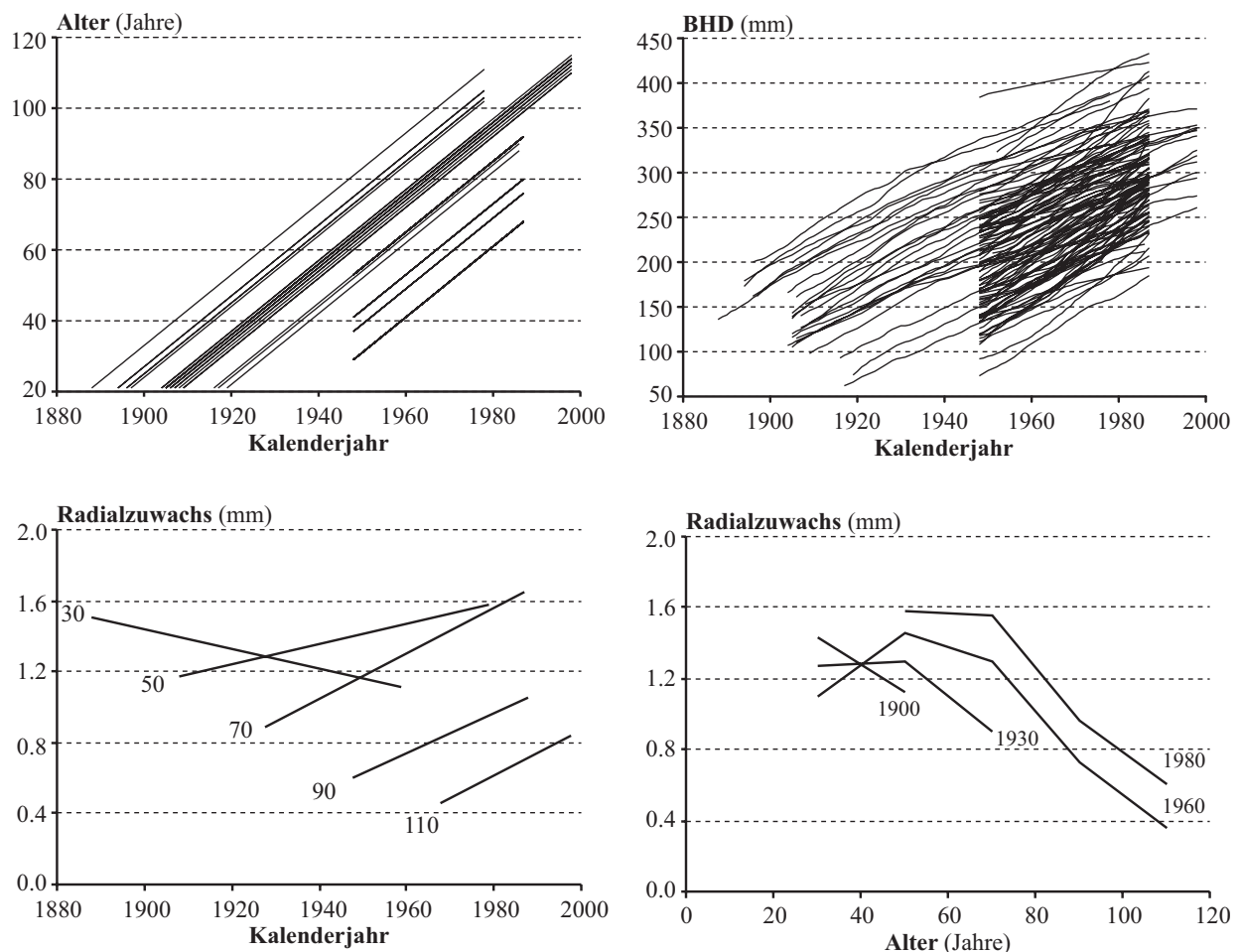


Abb. 8.3-1: Analyse der Entwicklung des jährlichen Radialzuwachses von Bäumen gleichen Alters in unterschiedlichen Kalenderzeiträumen im Wuchsgebiet Fränkischer Keuper und Albvorland (WG 5). Dargestellt sind das untersuchte Altersspektrum (oben links), die BHD-Entwicklung (oben rechts), die mittleren 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 Untersuchungen zu den Waldschäden in Bayern (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. Ausgehend 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.

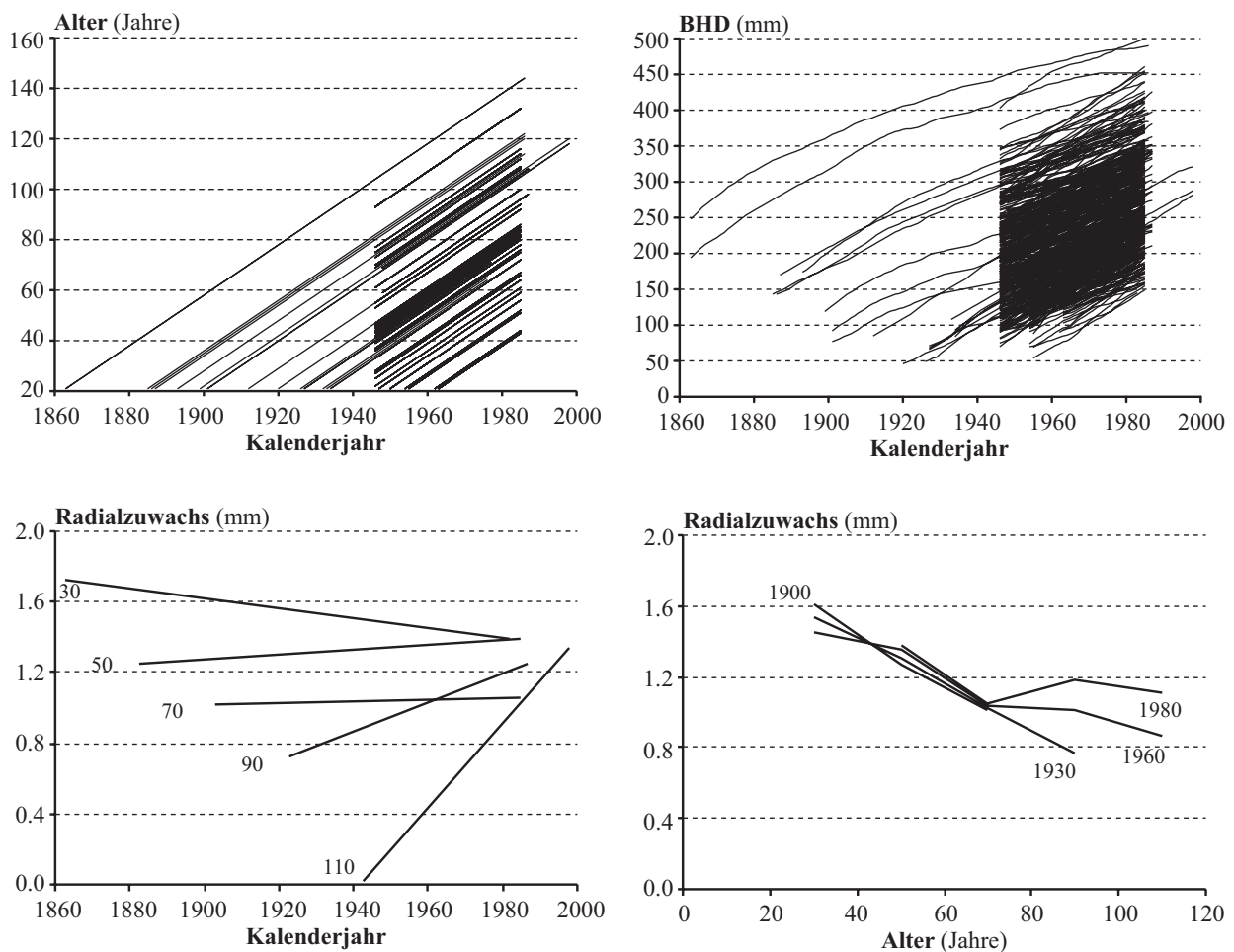


Abb. 8.3-2: Analyse der Entwicklung des Radialzuwachses von Bäumen gleichen Alters in unterschiedlichen Kalenderzeiträumen im Wuchsgebiet Frankenalb und Oberpfälzer Jura (WG 6). Dargestellt sind das untersuchte Altersspektrum (oben links), die BHD-Entwicklung (oben rechts), die mittleren Radialzuwächse 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 Wuchsgebiet Fränkischer Keuper und Albvorland 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 aufweisen 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 unterhalb von 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 mehr als 100 Jahre abgedeckt. Die Probenahmen 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).

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.

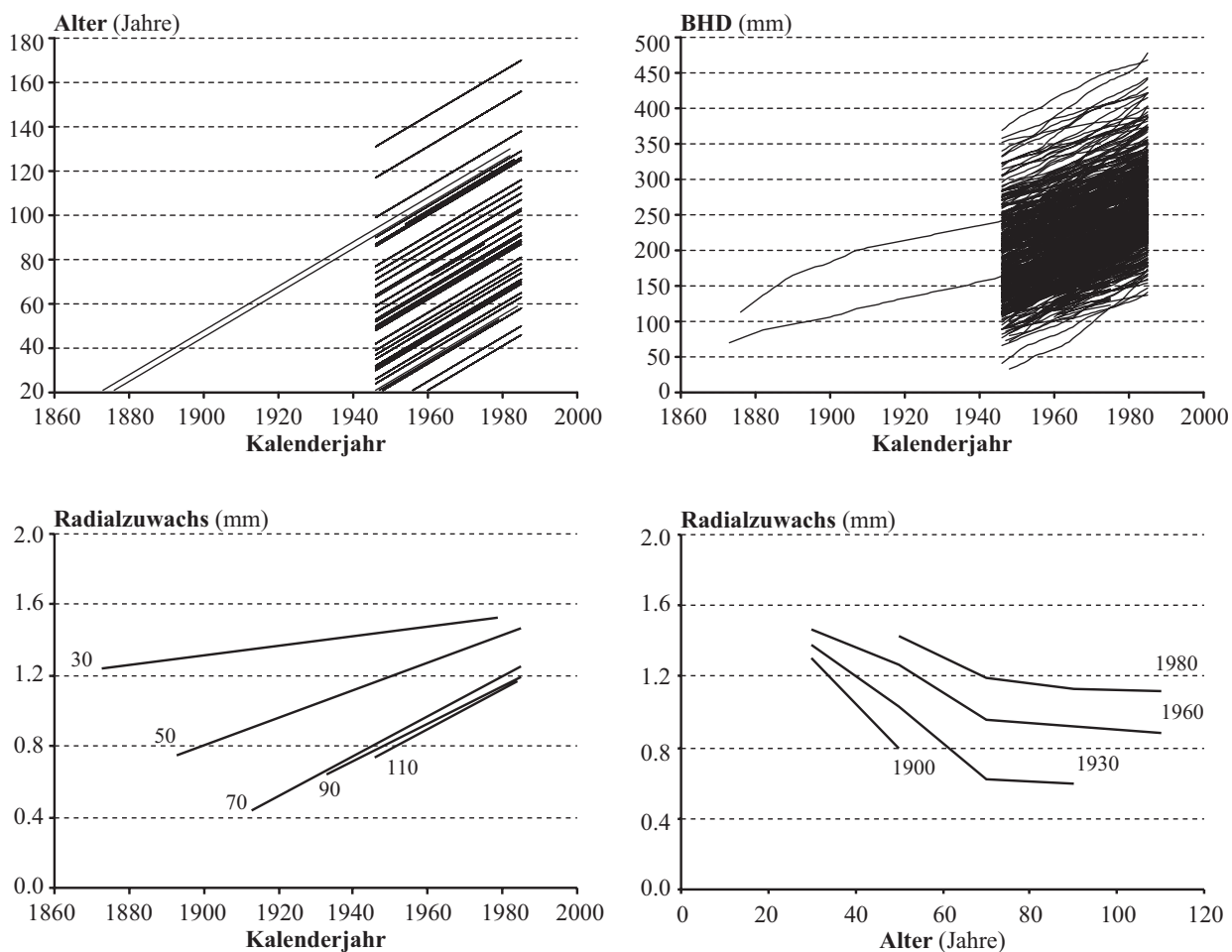


Abb. 8.3-3: Analyse der Entwicklung des jährlichen Radialzuwachses von Bäumen gleichen Alters in unterschiedlichen Kalenderzeiträumen im Wuchsgebiet Oberpfälzer Becken- und Hügelland (WG 9). Dargestellt sind das untersuchte Altersspektrum (oben links), die BHD-Entwicklung (oben rechts), die mittleren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

Die 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.

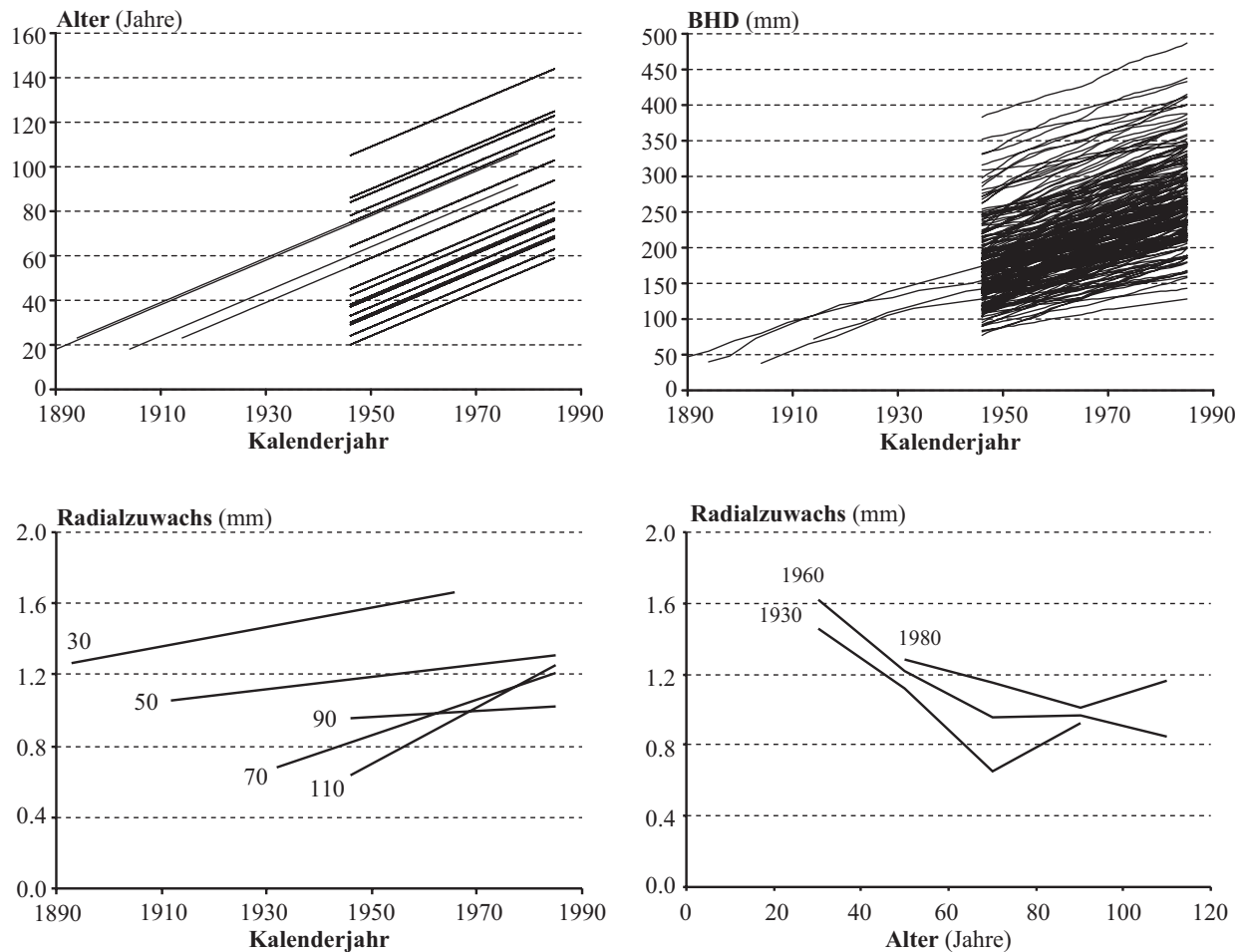


Abb. 8.3-4: Analyse der Entwicklung des jährlichen Radialzuwachses von Bäumen gleichen Alters in unterschiedlichen Kalenderzeiträumen im Wuchsgebiet Oberpfälzer Wald (WG 10). Dargestellt sind das untersuchte Altersspektrum (oben links), die BHD-Entwicklung (oben rechts), die mittleren Radialzuwächse 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 positive 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 eine 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'sche Baumklasse 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 CO₂-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 CO₂-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 Gesamtwuchs 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 37.0 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 Standortsfaktor dabei ausschlaggebend ist, wird in Abschnitt 9.3 näher erläutert.

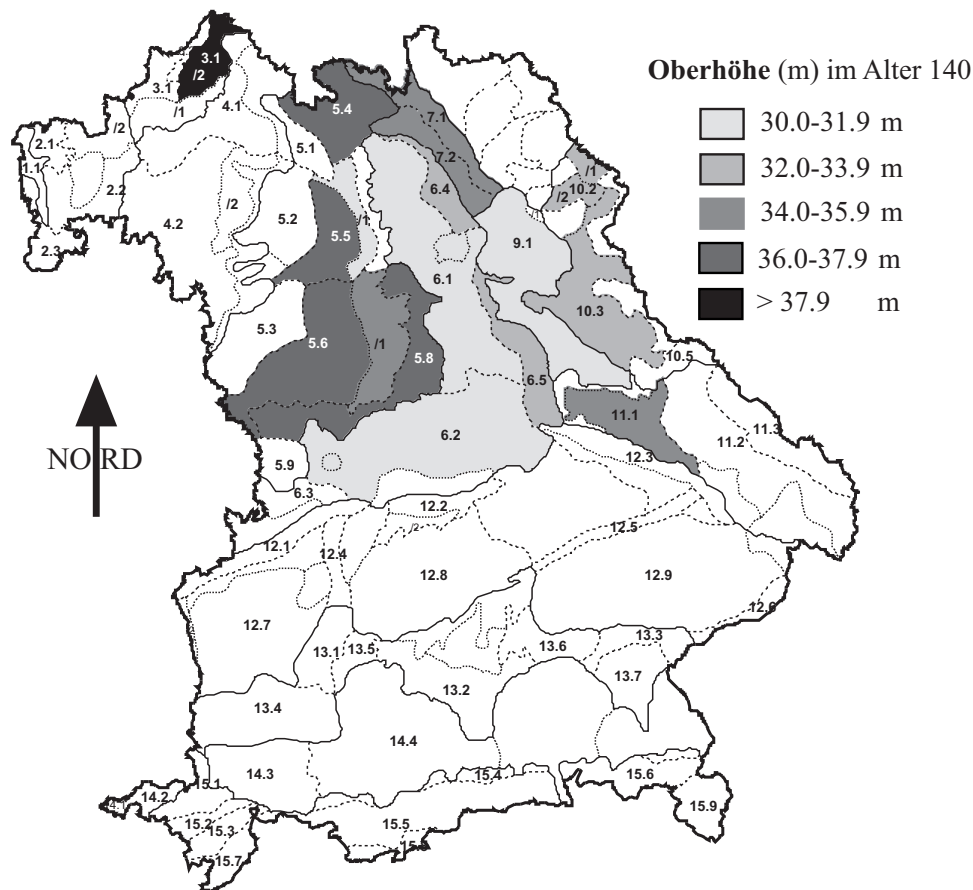


Abb. 9.1-1: Darstellung der vom Waldwachstumssimulator SILVA 2.2 prognostizierten Oberhöhen im Alter 140 in den untersuchten Wuchsgebieten.

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 für die Kiefer maximal erreichbare Höhen von 40-48 m (MAYER, 1984; SCHÜTT et al., 1992; ERLBECK et al., 1998; KINDEL, 1995) angegeben. Damit

repräsentieren die hier betrachteten Bestände ein mittleres Leistungsspektrum für die Kiefer.

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 in Mischbeständen aus 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 Standortpotential 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 Gesamtwuchsleistungen 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.

(Teil-) Wuchsbezirk		Durch. Gesamtwuchs im Alter 140 (VfmD/ha/a)
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

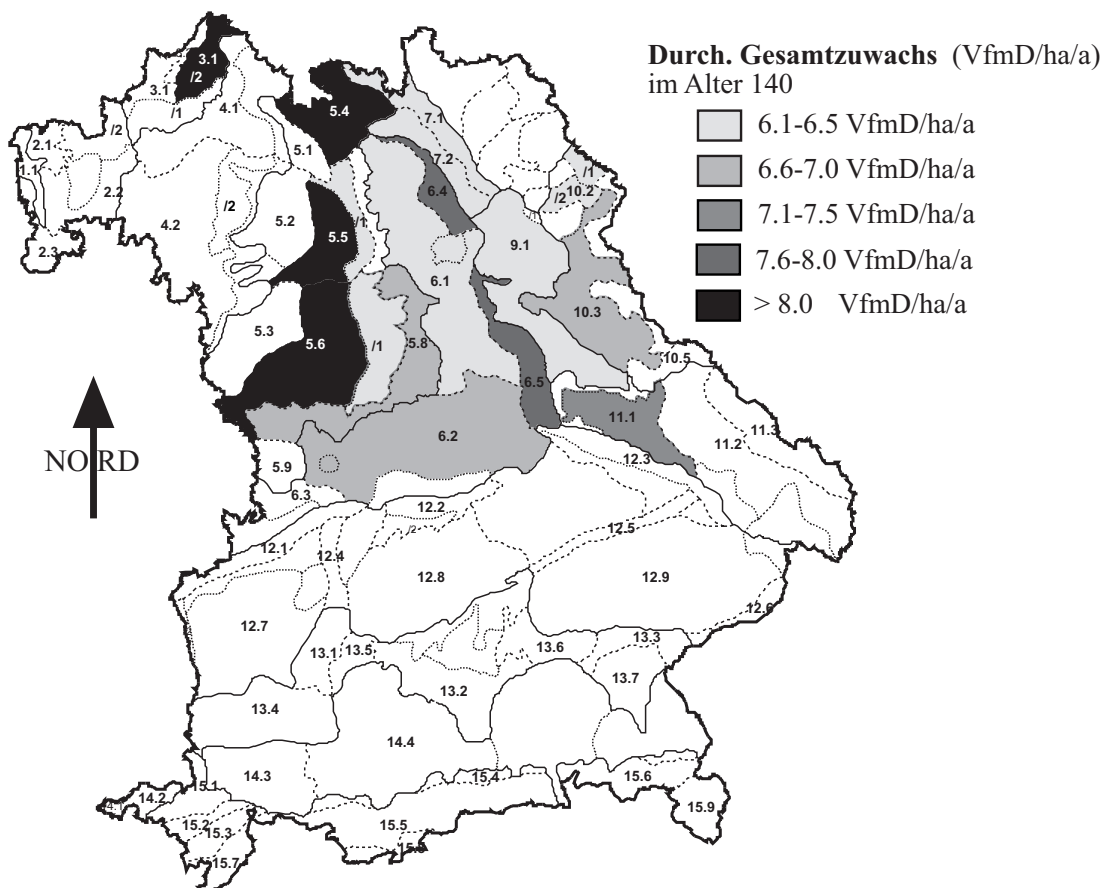


Abb. 9.2-1: Darstellung des vom Waldwachstumssimulator SILVA 2.2 prognostizierten durchschnittlichen Gesamtwuchses im Alter 140 in den untersuchten Wuchsgebieten.

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 für die Wuchsbezirke Südliches Albvorland (5.8) und Oberpfälzer Becken- und Hügelland (9.1) dargestellt.

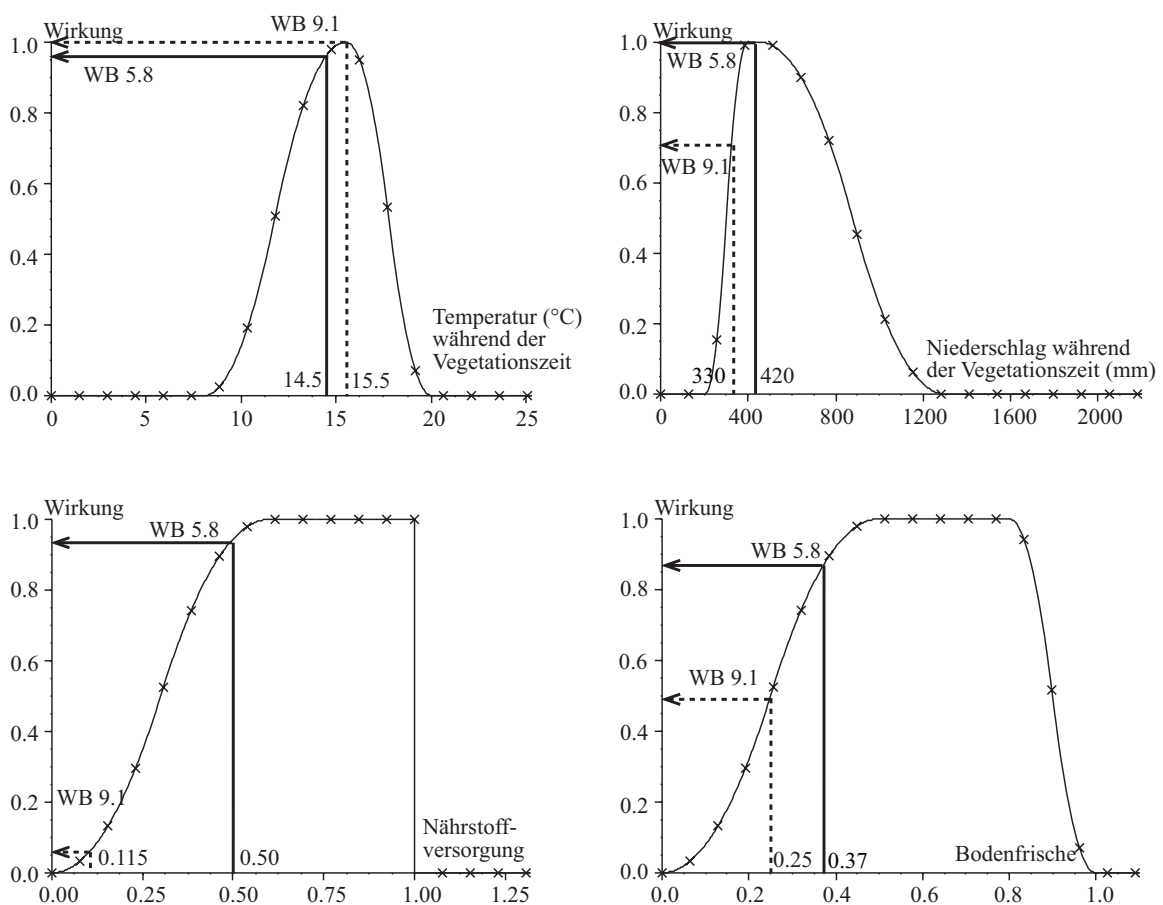


Abb. 9.3-1: Wirkungsfunktionen der Standortparameter mittlere Lufttemperatur während der Vegetationszeit (oben links), Niederschlag während der Vegetationszeit (oben rechts), Nährstoffversorgung (unten links) und Bodenfrische (unten rechts) für die Baumart Kiefer mit Einordnung der Wuchsbezirke Südliches 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 Wachstum 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 CH_4 und N_2O als Folge von Massentierhaltung, Nassfeldkulturen und Stickstoffdüngung, der Ausstoß von 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 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 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 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 (THOMASIU, 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 Niederschlagsmengen in Europa werden sich nach BROUWER und FALKENBERG (1989) bis zu ± 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 CO₂-Gehalt der Atmosphäre bis zur Mitte dieses Jahrhunderts gegenüber dem vorindustriellen Zeitalter um 280 ppm auf 560 ppm verdoppeln wird. Der NO_x- 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.

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).

Tab. 10.3-1: Mit dem Wuchsmodell SILVA 2.2 berechnete Oberhöhen und durchschnittliche Gesamtzuwächse (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 Albvorland	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

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).

Tab. 10.3-2: Mit dem Wuchsmodell SILVA 2.2 berechnete Oberhöhen und durchschnittliche Gesamtzuwächse (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

Das gleiche Bild mit tendenziell etwas höheren Abweichungen bietet der durchschnittliche Gesamtwuchs.

Bei beiden Szenarien sind die Wachstumsveränderungen jedoch nicht so hoch, dass ein Kiefernabau 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.

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 reduzieren 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.

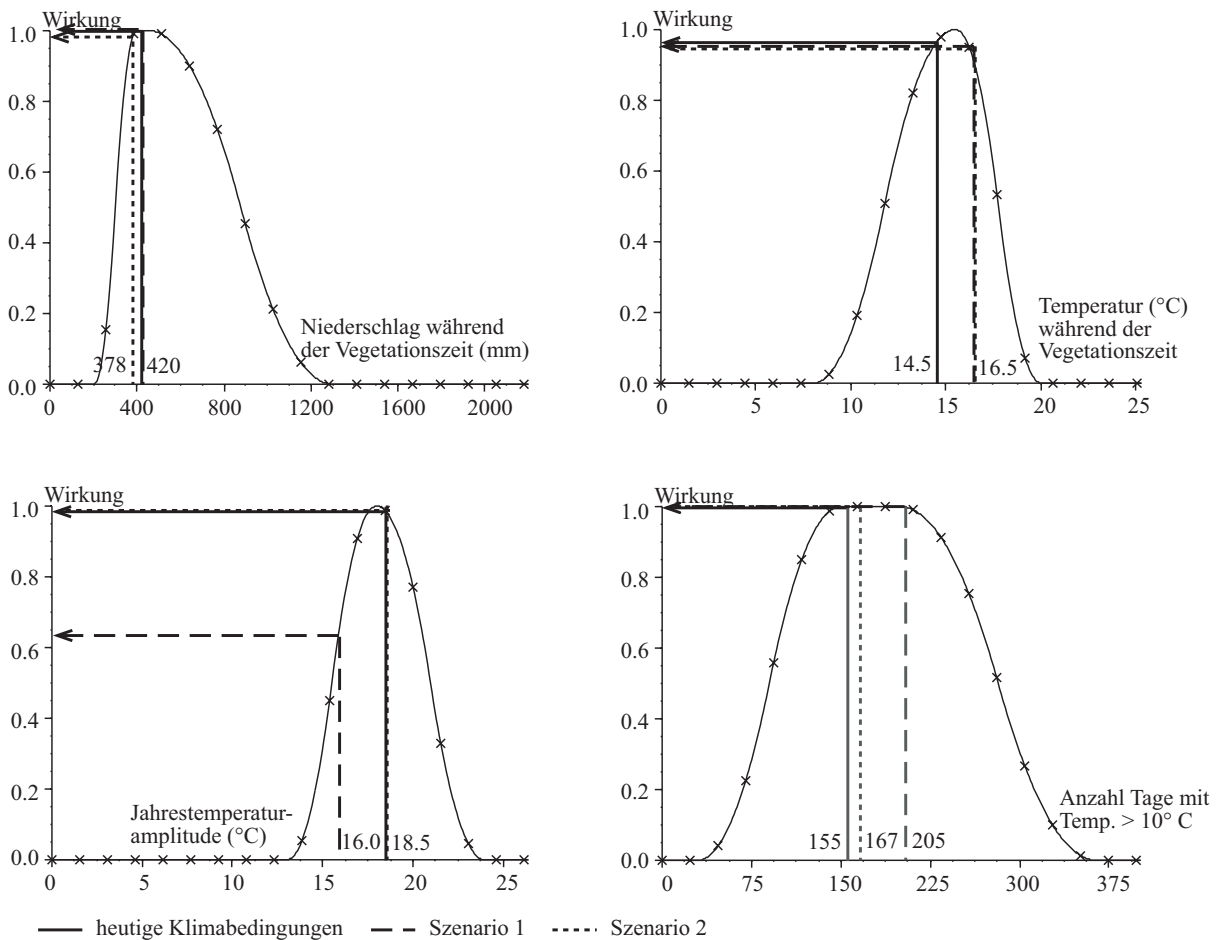


Abb. 10.4-1: Darstellung einiger Wirkungsfunktionen der Baumart Kiefer (Niederschlag während der Vegetationszeit, Temperatur während der Vegetationszeit, Jahrestemperaturamplitude und Anzahl Tage mit einer Temperatur > 10 °C) aus dem Waldwachstumssimulator SILVA 2.2 für den Wuchsbezirk Südliches Alvorland (5.8) mit den klimatischen Werten unter gegenwärtigen Bedingungen und für die Szenariorechnungen 1 und 2.

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.

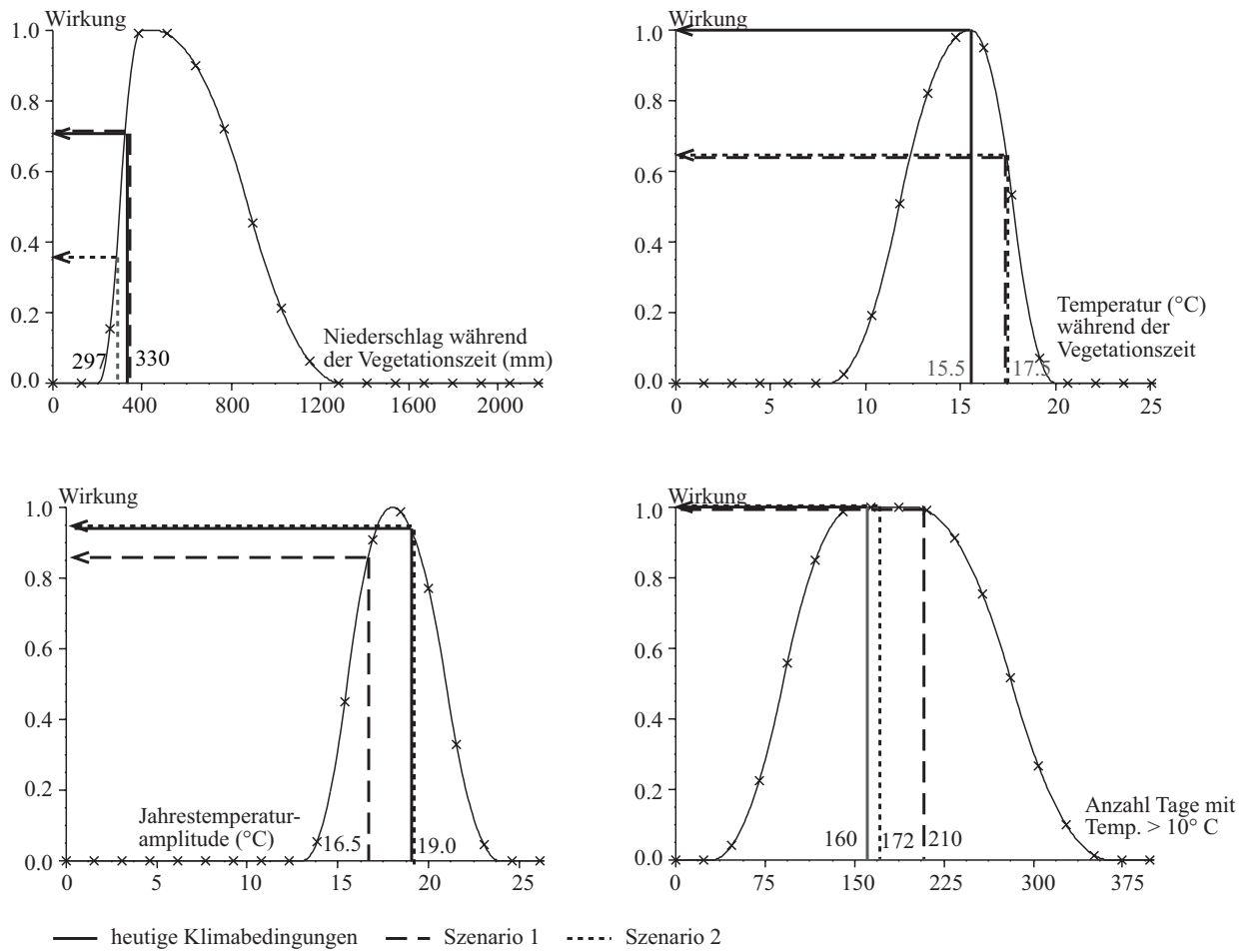


Abb. 10.4-2: Darstellung einiger Wirkungsfunktionen der Baumart Kiefer (Niederschlag während der Vegetationszeit, Temperatur während der Vegetationszeit, Jahrestemperaturamplitude und Anzahl Tage mit einer Temperatur > 10 °C) aus dem Waldwachstumssimulator SILVA 2.2 für den Wuchsbezirk Oberpfälzer Becken- 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 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.

Höhenentwicklung

Die Höhe von Bäumen bzw. Waldbeständen gilt als Ausdruck des vorhandenen Standortspotentials (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.

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 Ertragstafel von WIEDEMANN 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 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 bei der Inventur verwendeten relativ 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.

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 Ertragstafel von WIEDEMANN (1943, mäßige Durchforstung) als Planungsgrundlage für die Forstbetriebsplanung aufgrund zu großer Differenzen im Zuwachs- und Ertragsniveau und der Anwendung anderer Durchforstungskonzepte an ihre Grenzen stößt. Die permanente

Stichprobeninventur ermöglicht nach der ersten Wiederholungsaufnahme eine objektive Beurteilung des aktuellen Zuwachsgeschehens in einem Forstbetrieb. Eine Alternative hierzu bieten dynamische Wachstumsmodelle, 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 Besondere 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 Besondere Merkmale erscheint schwierig, da beispielsweise ein tongründiger 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 wider. 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).

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 kann (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).

Das Wachstum der Kiefernbestände auf den langfristigen Versuchsflächen zeigt im Vergleich zur Ertragstafel von WIEDEMANN (1943, mäßige Durchforstung) eine deutliche Verbesserung der Höhenwuchsleistung. 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 Kiefernvorkommen 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.

Vergleich mit der Ertragstafel von WIEDEMANN

Der Vergleich des Bestandeszuwachses mit den Werten der Ertragstafel von WIEDEMANN (1943, mäßige Durchforstung) ergibt eine positive Abweichung von den Ertragstafelwerten, die um so stärker auftritt, je älter der Bestand ist. Das prozentuale Verhältnis des Volumenzuwachses zu der Ertragstafelwerten kann hierbei 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 Ertragstafel von WIEDEMANN (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 Ertragstafel von WIEDEMANN und der Standorts-Ertragstafel von SCHMIDT (1971) zeigt, dass bei besseren Standorten der Volumenzuwachs ab dem Alter 50 bei Verwendung der Ertragstafel von WIEDEMANN 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 an 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. 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 einwirkenden Faktoren führen häufig 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 herrschenden Bedingungen nicht mehr verändert werden kann. Um einen Einblick in das heute mögliche Wuchspotential zu bekommen, werden deswegen 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 Ertragstafel von WIEDEMANN 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 als auf besseren Standorten.

Zur Beschreibung der Standorte wurden zwei verschiedene Verfahren angewendet. Beim Vergleich mit der Ertragstafel von WIEDEMANN 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 Ertragstafel von WIEDEMANN (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 Probestämmen 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 Probestämme 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 Abnahme der Stabilität 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 den 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 übereinstimmend zu dem Befund, dass die Zuwachsveränderungen unserer Waldbestände Auswirkungen großregionaler Standorts-

veränderung 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 CO₂-Gehaltes in der Atmosphäre, veränderte Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse und erhöhte Stickstoffeinträge aus der Luft erschweren die Erfassung eines ausschlaggebenden Faktors. Der erhöhte atmosphärische 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 bestätigt 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 REHFUESS et al. (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 vom Lehrstuhl für Bodenkunde und Standortlehre (REHFUESS et al., 2001) auf Wasserstress zurückgeführt werden. 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 wider. 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 Gesamtwuchs ab. Sie sind jedoch nur gering, sodass 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 Gesamtwuchs. 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 und 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 abgesenkt werden (von gegenwärtig 18 % im bayerischen Staatswald auf 9 %). Unter dem Aspekt einer fortschreitenden Klimaveränderung, wie es hier unterstellt wird, sollte der Anbau der Kiefer auf mäßig nährstoff- und wasserversorgten Standorten jedoch nicht aus den Augen verloren werden.

11.5 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.

Dass 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 Zuwachsveränderungen, die in erster Linie positiv sind. Das prozentuale Verhältnis zu den Erwartungswerten der Ertragstafel von WIEDEMANN kann 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 aus 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 in der Vergangenheit möglich war. Die prognostizierten Höhen und durchschnittlichen Gesamtzuwächse im Alter 140 mit 31-38 m bzw. 6-9 VfmD/ha/a liegen deutlich über den heute in den älteren Beständen messbaren Werten.

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

Je nach Ausgangsbedingung unterscheiden sich die festgestellten Wachstumstrends jedoch voneinander. Es findet sich zwar in den Regionen in den meisten Fällen ein 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 Albvorland 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, der auf Wasserstress zurückgeführt wird (REHFUESS et al., 2001). 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 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, 1982: Richtlinien für die mittel- und langfristige Forstbetriebsplanung in der Bayerischen Staatsforstverwaltung (Forsteinrichtungsrichtlinien)

BAYSTMELF, 1994: Der Wald in Bayern –Ergebnisse der Bundeswaldinventur 1986-1990, Berichte aus der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF), Band 1; 91 S.

BAYSTMELF, 1995: Pflegegrundsätze für die Kiefer. LMS v. 06.02.1995, F 4- W 100-92, 11 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 Sandrohrs (*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, zitiert nach: 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, zitiert nach: 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., 168. Jg. (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.
- 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.
- KORF, V., 1939: Príspevek k matematicke definici vzrustoveho zakona lesnich porostu. Lesnicka prace, S. 339-356

- 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 Jahringbreitenentwicklung 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 Wuchseistung der Kiefer (*Pinus sylvestris* L.) auf der Grundlage neuer Standortsertragstafeln für die mittlere Oberpfalz. Forstw. Cbl., 94, S. 301-310
- KÜSTERS (2001): Wachstumstrends der Kiefer in Bayern. Vollständiger Abdruck der zur Erlangung des akademischen Grades eines Dr. rer. silv. genehmigten Dissertation. Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt der Technischen Universität München. 190 S.
- 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
- 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 Durchmesservertelungen. Allg. Forst- u. Jagdzeitung., 166. Jg., (H. 910), 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 Wachstumsmodellen 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., SKOVSGAARD 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. 341 S.
- PRETZSCH, H. und KAHN, M., 1998: Konzeption und Konstruktion des Wachstumsmodells 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 Standortsveränderungen. 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
- PREUHSLER, 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 streugennutzter 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
- REHFUESS, K.-E., PRETZSCH, H., HEITZ, R. und KÜSTERS, E., 2001.: Zuwachstrends von Kiefer und Fichte in Abhängigkeit von Ernährungszustand, Standort und Depositionsbelastung. Unveröffentlichter Abschlussbericht des Projektes W31.
- REIMEIER, S., 2000: Erklärung und Prognose des Holzwachses 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 HRADETZKY, J., 1986: Zuwachsrückgang in erkrankten Fichten- und Tannenbeständen – Auswertungsmethoden und Ergebnisse. Forstw. Cbl., 105. Jg., S. 446-470
- SCHÖPFER, W., HRADETZKY, 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. Jahrestagung der Sektion Ertragskunde im Deutschen Verband Forstlicher Forschungsanstalten in Unterreichenbach-Kapfenhardt, S. 96-104
- 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 Lehrstuhls 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: Ertragstabellen 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: Ertragstabellen 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.

TEIL II: Provenienz und Wachstum

Die Bayerischen Kiefernherkunftsversuche von 1950/51

Martin Bachmann

1 Zusammenfassung

Mit 41 bayerischen Kiefernprovenienzen an fünf Anbauorten wird mit dem Bayerischen Kiefern-Herkunftsversuch von 1950/51 einer der umfangreichsten Provenienzversuche in Bayern vorgestellt. Die Herkünfte lassen sich anhand von quantitativen und qualitativen Merkmalen charakterisieren und auf der Ebene von Herkunftsgebieten statistisch signifikant voneinander abgrenzen. Während sich einmal mehr Herkünfte aus „Bamberg“ und „Selb“ - begleitet von der Provenienz „Falkenberg“ - bewähren, überzeugen Kiefern aus dem Alpenraum und –vorland wie „Altötting“ oder „Berchtesgaden“ weit weniger. Mit Hilfe sogenannter „Standardstreifen“, die alle Herkünfte umgürten, können standörtliche Inhomogenitäten auf den großflächigen Arealen aufgedeckt und Korrekturen ertragskundlicher Befunde durchgeführt werden. Anhand von Beispielen wird aufgezeigt, dass traditionelle Versuche, wie der vorgestellte Bayerische Kiefern-Herkunftsversuch von 1950/51, trotz konzeptioneller Mängel Relevanz für aktuelle Forschungsfragen besitzen.

2 Einleitung

Die Gemeine Kiefer (*Pinus sylvestris* L.) ist von allen einheimischen Baumarten die Baumart mit dem größten Verbreitungsgebiet. Dieses große, heterogene Areal mit erheblichen Klimaunterschieden und den unterschiedlichsten Standorten förderte eine starke Differenzierung in Rassen, die genetisch fixiert sind. Sie weisen je nach Herkunftsgebiet (Gebiet mit annähernd gleichen ökologischen Bedingungen) deutliche Unterschiede in Bezug auf Wuchsleistung, Wachstumsgang, Qualität und Resistenz auf. Für den Erfolg der Kiefernwirtschaft von entscheidender Bedeutung ist neben der Massenleistung die Frage der Wertleistung, d.h. der Qualität. Damit ist der Anbau der richtigen Provenienz waldbaulich von großer Wichtigkeit und praktischer Bedeutung.

In Bayern ist der derzeitige Bedarf an einheimischem Kiefern-Saat- und Pflanzgut infolge der veränderten Bestockungsziele und der Präferenz von Naturverjüngung jedoch gering. Aktuell besitzt die Kiefer im bayerischen Staatswald einen Anteil von etwa 18 % (127.440 ha), dieser soll jedoch auf 9 % mit einem verbleibenden Schwerpunkt auf „nährstoffarmen, trockenen und wechsellackenen Sand- und Schluffböden“ abgesenkt werden (BAYSTMELF, 1995, S. 3). Die künstliche Ausbringung geeigneter Provenienzen beschränkt sich auf definierte Standorte, denen angepasste Altkiefern fehlen oder deren Verjüngung beispielsweise infolge von Bodenverwilderung, hohem Grundwasserstand etc. unmöglich oder unzureichend ist.

Es ist aber auch bekannt, dass laufende und zukünftige Umweltveränderungen den Ausfall bisher angepasster Populationen verursachen und den Bedarf an geeigneten Kiefern- Provenienzen wieder erhöhen können (VON LÜPKE, 1993). Dies zeigen auch zahlreiche Herkunftsversuche, indem sie nachweisen, dass eine autochthone Provenienz nicht per se über die beste Angepasstheit (statisch) bzw. Anpassungsfähigkeit (dynamisch) an einen lokalen Standort verfügt (GREGORIUS, 1997). Außerdem kommt hinzu, dass sich aktuell die klimatischen und standörtlichen Bedingungen innerhalb eines Baumlebens und u. U. sogar außerhalb der sexuellen Reproduktionsphase drastisch verändern und damit die Anpassungsanforderungen laufend revidiert werden (ROTACH, 1994).

Bereits Ende des 19. und Anfang des 20. Jahrhunderts kam es infolge nicht angepassten, aber dafür preiswerten Herkunftsmaterials bei der Kiefer allorts zu massiven Ausfällen, unbefriedigenden Wuchsformen und -leistungen. Das forstliche Versuchswesen reagierte mit der Anlage von Kiefern-Herkunftsversuchen, die aus heutiger Sicht aufgrund der regelmäßigen

Beteiligung ostpreußischer und schlesischer Provenienzen als international zu bezeichnen sind. Hierzu gehören die Versuche Bühler's von 1904, Schwappach's von 1907, Engler's von 1908/09, Klein's von 1928/29, Zimmerle's von 1934/36 und Schmidt's von 1936/37 (SCHOBER, 1988; TROEGER, 1960a, 1960b, 1960c; ROHMEDER und SCHÖNBACH, 1959). Innerhalb einiger Landesforstverwaltungen bestand zudem die Intention, das Wuchsverhalten landestypischer Kiefernprovenienzen zu vergleichen, so in Baden-Württemberg mit dem Versuch Dietrich's von 1927 und in Bayern mit dem Versuch Rohmeder's von 1927 und 1950/51 (BAYSTMELF, 1948; TROEGER, 1960b). Das erneute Interesse an der Kiefer in den 50iger Jahren geht vermutlich auch auf den devastierten Zustand vieler Nachkriegsbestände und den damit verbundenen Bedarf an einer klima- und standorttoleranten Baumart besonders für die rasche künstliche Bestockung großer Kahlflächen zurück.

3 Die Bayerischen Kiefernherkunftsversuche von 1950/51

3.1 Zielsetzung

Anhand des von Wissenschaft und Praxis gemeinsam in Form einer Versuchsreihe konzipierten Bayerischen Kiefern-Herkunftsversuches soll geprüft werden, wie sich 41 Nachkommenschaften frei abgeblühter, autochthoner und gut beschaffener bayerischer Kiefernbestände (*Pinus sylvestris* L.) hinsichtlich Wuchsleistung und Werteigenschaften unter dauerhafter Beobachtung verhalten (KOLLER, 1981; BAYSTMINELF, 1948).

Die Grundsteinlegung erfolgte am 10.12.1948 in Kooperation zwischen der Bayerischen Ministerialforstabteilung und dem Institut für Forstsamenkunde und Pflanzenzüchtung (Prof. Rohmeder). Das umfangreiche Versuchskonzept beinhaltet Samengewinnung, Pflanzenanzucht, Ausbringung sowie wiederholte morphologische und wachstumskundliche Beobachtung bayerischer Kiefernprovenienzen auf fünf Anbaustandorten - namentlich an den Forstämtern Bodenwöhr, Geisenfeld, Heigenbrücken, Heilsbronn und Nürnberg (Abb. 3-1).

Provenienzversuche wie dieser quantifizieren Wachstum, Qualität und Widerstandsfähigkeit verschiedener Provenienzen unter verschiedenen Standortbedingungen. Sie zielen auf Detailwissen über die Anbauwürdigkeit verschiedener Provenienzen forstwirtschaftlich bedeutsamer Arten. Insbesondere interessiert, welche Provenienzen über das ganze Standortspektrum hinweg einen stabilen quantitativen und qualitativen Ertrag erwarten lassen (PRETZSCH, 2002). Da Herkünfte, die aus Gebieten mit annähernd gleichen ökologischen Bedingungen stammen, zu Herkunftsgebieten zusammengefasst werden, lässt sich diese Zielsetzung auch auf Herkunftsgebiete im Sinne der FORSTSAAT-HERKUNFTSGEBIETSVERORDNUNG (1994) übertragen.

3.2 Material

3.2.1 Versuchsanlage

Im Zuge der reichlichen Zapfenernte von 1948 wurden ein bis zwei Zentner von mindestens 20 Elternbäumen je gut beschaffenem Bestand der jeweils einheimischen Standorttrasse beerntet. Abbildung 3-1 zeigt die räumliche Lage der aus sechs Herkunftsgebieten, neun Wuchsgebieten und 17 Wuchsbezirken stammenden Provenienzen, deren Höhengradient sich von 250 bis 1050 m über NN erstreckt.

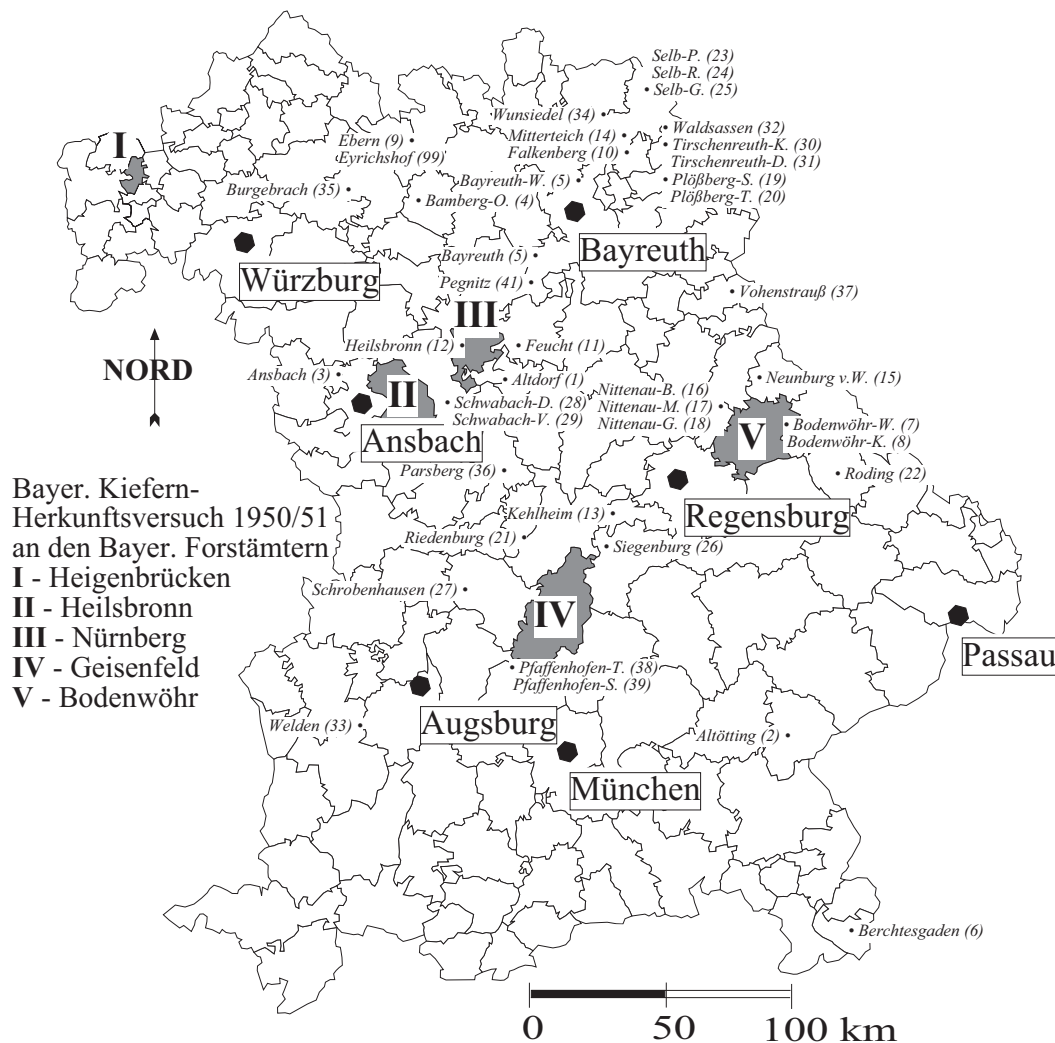


Abb. 3-1: Insgesamt 41 bayerische Kiefernherkünfte wurden 1950/1951 an fünf Standorten in Bayern angebaut. Im Gegensatz zu den Versuchsfeldern an den Forstämtern Heigenbrücken (I) und Heilsbronn (II) sind die Anlagen in Bodenwöhr (V), Geisenfeld (IV) und Nürnberg (III) auch heute noch unter Dauerbeobachtung und decken auf 111 Parzellen 38 Herkünfte ab. Ungefähre Lage und Name der Elternbestände sind zusammen mit ihrer fortlaufenden Nummer – (1) bis (99) – dargestellt.

Im Anhalt an die Forstsaat-Herkunftsgebietsverordnung von 1994 lassen sich die Provenienzen den sechs bayerischen Herkunftsgebieten (Abkürzung, HK-Nummer) Nordostbayerische Mittelgebirge (NOBayMG, 851 12), Mittelfränkisches Hügelland (MFrHL, 851 15), Alb (851 16), Ostbayerische Mittelgebirge (OBayMG, 851 17/18), Alpenvorland (AlpVL, 851 21) und Alpen (851 22/23) zuordnen.

Nach der Klengung der Samen in Bindlach und Laufen wurden die Pflanzen in den Pflanzgärten Neustadt/Aisch und Teisendorf angezogen und im Frühjahr 1950 im Verband 1.0 m * 0.25 m auf vorhandene Kahlflächen nach vorhergehender Bodenbearbeitung, Kalkung und Zäunung ausgebracht. Da die Klengung in Bindlach nicht das gesamte Material bewältigen konnte, wurden fünf Provenienzen (Nr. 36 ff.) im Frühjahr 1951 nachangebaut und sind demzufolge ein Jahr jünger. Die mit einer Provenienz bestückten Parzellen weisen i.d.R. eine rechteckige Abmessung

von 30 m * 40 m auf und sind von einem Laubholzstreifen umgeben. Diesem schließt sich ein weiterer Gürtel an, der zwei Reihen einer definierten Kiefernprovenienz beinhaltet, als Standard bezeichnet wird und der Indikation der Standortverhältnisse im großflächigen Versuchsareal dient. Lediglich auf den Versuchspartellen des Forstamtes Bodenwöhr wurde aus Rücksicht auf die dort übliche Technik der Bifangpflüfung ein Dreiecksverband gewählt. Somit stellten sich Ausgangsdichten von 38.500 bis 40.000 Pflanzen je Hektar ein.

Während sich auf der Versuchsfläche Bodenwöhr 31 Provenienzen ohne Wiederholung befinden, lassen sich in Geisenfeld 37 Provenienzen (davon 7 einfach wiederholt) und in Nürnberg 35 Provenienzen (davon 8 einfach wiederholt) beobachten (Tab. 3-1). Die Versuche in Heilsbronn und Heigenbrücken mit 15 bzw. 28 Provenienzen mussten 1996 aus versuchstechnischen Gründen aufgegeben werden. Von den ursprünglich 166 sind damit noch 111 Parzellen mit einer Messfläche von 11 ha unter Beobachtung, die nach dem Ausfall der Provenienzen „Burgebrach“, „Eyrichshof“ und „Siegenburg“ noch 38 bayerische Herkünfte abdecken.

Die drei verbliebenen Versuche unterscheiden sich mit Höhenlagen von 300 bis 380 m über NN gering. Der trockene, nährstoffarme Boden in Bodenwöhr deckt das untere Standortsspektrum, der frische, deutlich besser mit Nährstoffen versorgte Boden in Geisenfeld das obere Spektrum für das Wachstum der Kiefer in Bayern ab (Tab. 3-1).

Tab. 3-1: Standortliche Faktoren der Versuchsflächen Bodenwöhr, Geisenfeld und Nürnberg. Die jeweils drei bis fünf Hektar umfassenden Versuche erstrecken sich z.T. über mehrere Abteilungsgrenzen.

Versuchs- flächen- Merkmale	Bodenwöhr 31 Herkünfte, keine Wdh.	Geisenfeld 37 Herkünfte, 7 Wdh.	Nürnberg 35 Herkünfte, 8 Wdh.
Abteilungsname(n)	„Haidschlag“	„Kühanger“ / „Ödholz“	„Birkenlach“ / „Kirchenwald“
Höhe über NN [m]	380	375	350
Geländeform	± eben	eben	± eben
Geologie	überprägte Kreideablagerung	Tertiär mit quartären Überlagerungen	dilluvialer Sand bzw. Dünen- sand, daneben auch Schotter
Bodenfrische / -art	trockener, nährstoff- armer Sand	frischer, humoser, tw. anmooriger Sand	mäßig frischer bis frischer, tw. trockener bis mäßig trockener Sand bzw. Schotter

3.2.2 Versuchsbehandlung

Die waldbauliche Behandlung der Versuchspartellen beschränkte sich in den ersten 20 Versuchsjahren auf Nachbesserungen, den Aushieb verdämmender Weichlaubhölzer und angeflogener Kiefern sowie auf vereinzelte niederdurchforstungsartig geführte Eingriffe. Zu Beginn der 70iger Jahre wurden Z-Stämme in unterschiedlicher Anzahl (bis zu 500 Stück)

ausgewählt, geastet und durch die Entnahme von Konkurrenten gefördert. Auf den drei zur Weiterbeobachtung vorgesehenen Versuchsflächen (Bodenwöhr, Geisenfeld und Nürnberg) wurden im Zeitraum 1997 bis 1999 nur mehr 225 Z-Bäume durch die Entnahme von einem bis zwei Bedrängern begünstigt. Um provenienzspezifische Unterschiede nicht durch die waldbauliche Behandlung zu überprägen, wurde die Eingriffsstärke durch Entnahme von 20 % der aufstockenden Grundfläche an die vorhandene Bestandesdichte gekoppelt.

3.3 Methoden

3.3.1 Aufnahmekonzept

Die Aufnahmekonzepte der Jahre 1952, 1955, 1960, 1974/75 und 1997/98/99 korrespondieren mit SCHOBER's (1988) allgemeinen Zielen der Provenienzforschung, die angebauten Provenienzen hinsichtlich quantitativer Zuwachsleistung, Schaftform und Resistenz zu charakterisieren. Mit den Worten MÜNCH's (1937, S. 144) soll damit festgestellt werden, welche Provenienz in der Lage ist, die „Standortfaktoren Klima und Boden bestmöglich auszunutzen und gleichzeitig örtlichen Gefahren standzuhalten“. Dabei lässt sich die jüngste Erhebung auch hinsichtlich der gewählten Auflösungsebene gliedern (Tab. 3-2). Ebene eins beinhaltet für jede Parzelle eine Vollaufnahme aller Brusthöhendurchmesser, Ebene zwei eine stichprobenweise Erfassung von Höhen-, Kronen- und Schaftqualitätsmerkmalen an 25 bis 40 Individuen pro Parzelle und Ebene drei detaillierte Stammanalysen an je drei gefällten, dominanten, qualitativ gut veranlagten Probestämmen inkl. deren Wuchskonstellationen. Bei der Erfassung der äußeren Holzqualitätsmerkmale „Säbelwuchs“ und „Abholzigkeit“ wurden die von KNOKE (1996) beschriebenen Verfahren eingesetzt und zusätzlich allgemeine Schaftgüte, Aststärke und –winkel klassifiziert.

Tab. 3-2: Anzahlen (n), Mittelwerte (avg) und Standardabweichungen (s) der jüngsten Aufnahmen (1997 bis 1999) auf den Flächen Bodenwöhr, Geisenfeld und Nürnberg nach Auflösungsebenen und Herkunftsgebieten.

Herkunfts- gebiet-	1. Ebene: Vollaufnahme Beispiel: Durchmesser			2. Ebene: Stichprob. Erfassung Beispiel: Baumhöhe			3. Ebene: Probestämme Beispiel: Radialzuwachs		
	n [Bäume]	avg [mm]	s [mm]	n [Bäume]	avg [dm]	s [dm]	n [Bäume]	avg [mm/a]	s [mm/a]
NOBayMG	3644	175	54	865	189	31	64	2.28	0.32
MFrHL	4212	185	55	1009	194	28	76	2.29	0.30
Alb	3176	181	54	733	188	28	54	2.22	0.25
OBayMG	5060	184	57	1162	192	27	87	2.36	0.31
AlpVL	2199	186	57	589	190	28	45	2.24	0.30
Alpen	437	194	55	119	187	21	9	2.36	0.19
Standards	2549	210	59	2546	193	25			
Summe	21277			7023			335		

Hinzu kommt die genetische Beprobung von vier Provenienzen mit jeweils 100 zufällig ausgewählten Individuen auf der Versuchsfläche Bodenwöhr (BLUMENRÖTHER, 1999; BLUMENRÖTHER et al., 2001). Das Herkunftsgebiet Ostbayerische Mittelgebirge (851 17/18) stellt mit 10 Provenienzen die größte und das Herkunftsgebiet Alpen (851 22/23) mit nur einer Provenienz die kleinste Datengrundlage für die weitere Auswertung. Hinzu kommen 2546 Höhenbefunde der Standardstreifen (Tab. 3-2), deren Eignung als Standortindikator und Korrekturgröße nachfolgend veranschaulicht wird.

3.3.2 Ausgleich standörtlicher Inhomogenitäten mit Hilfe der „Standardstreifen“

Die großflächigen Versuchsflächen – jeweilige Flächengröße ca. 4 ha - bergen die Gefahr standörtlicher Inhomogenität in sich. Mit Hilfe der umgürtenden Standardprovenienz lassen sich kleinräumige Standortunterschiede aufzeigen. Außerdem kann das Höhenwachstum des Standardstreifens für die Adjustierung der provenienzspezifischen Befunde auf jeder Versuchsfläche herangezogen werden. Als Korrekturgröße wird die arithmetische Mittelhöhe der 10 % höchsten Individuen je Standardstreifen und Aufnahme verwendet. Dabei handelt es sich, wie auch bei der Höhe der 100 stärksten Bäume je Hektar, um einen bewährten Standortindikator, der anstelle dieser als Oberhöhe bezeichneten Größe in Ermangelung eines Flächenbezuges gewählt wurde. In die Mittelwertbildung werden die Standards der zwei bis vier unmittelbar angrenzenden Parzellen und somit jeweils 6 bis 20 vorherrschende Einzelbäumen einbezogen. Auf diese Weise entsteht ein gleitendes Höhenmittel, das unter Einbeziehung der Lage der einzelnen Parzellen einen plausiblen „Standortgradienten“ liefert. Besonders eindrücklich ist dies anhand des Versuches Bodenwöhr zu erkennen, dessen 31 Parzellen in einer Linie jeweils paarweise über eine Entfernung von etwa 800 m angeordnet sind und dabei eine gerichtete standörtliche Veränderung durchlaufen (Abb. 3-2, links). Wird dieser standortspezifische Mittelwert in Relation zum Mittelwert aller 10 %-höchsten Individuen des Standards der jeweiligen Versuchsfläche gesetzt, entsteht ein Faktor, mit dessen Reziprok sich zunächst die hektarbezogenen Oberhöhen der Provenienzen korrigieren lassen.

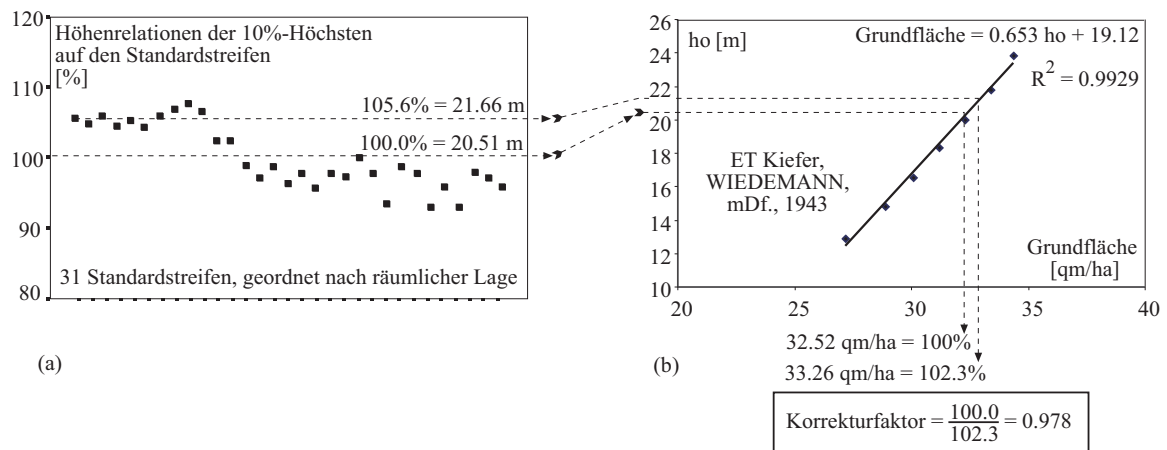


Abb. 3-2: Schematische Darstellung des Vorgehens bei der Korrektur ertragskundlicher Befunde mit Hilfe von Standardstreifen und Ertragstafel infolge kleinflächiger Standortunterschiede (Beispiel Versuchsanlage Bodenwöhr, Alter 50 Jahre): a) Verhältnis der Höhenwerte der jeweils 10 %-höchsten Bäume der 31 räumlich getrennten Standardstreifen, die jeweils eine Herkunftsparzelle umgürten, zum versuchsspezifischen Mittelwert aus allen Standardstreifen (100 %-Wert). b) Mit Hilfe der altersspezifischen Ertragstafel-Beziehung zwischen Oberhöhe und Grundfläche (linearer Ausgleich, WIEDEMANN, mäßige Durchforstung, 1943/48) lässt sich quantifizieren, zu welchen Grundflächenunterschieden eine Oberhöhendifferenz im beobachteten Rahmen führt. Anhand des Grundflächen-Korrekturfaktors (Mittelwert aller Standardstreifen in Relation zum lokalen Streifen) wird ersichtlich, dass eine günstigere Oberhöhe von 105,6 % eine Grundflächenkorrektur mit dem Faktor 0,987 erforderlich macht.

Um auch andere quantitative Bestandesmerkmale wie Stammzahlen, Grundflächen, Volumina, Durchmesser- und Höhen der Grundflächenmittelstämme anzupassen, werden deren Beziehungen zur Oberhöhe im Anhalt an die Kiefern-Ertragstafel von WIEDEMANN (1943/48, mäßige Durchforstung; Beziehung zur Oberhöhe gemäß LFV BD.-WTTBG., 1993) für die erforderlichen Bestandesalter - 30 und 50 Jahre - funktional beschrieben (Abb. 3-2, rechts mit einem Berechnungsbeispiel für das Alter 50 Jahre). Beispielhaft ergibt sich für den Mittelwert der 10 %-höchsten Bäume aller Standardstreifen im Alter 50 Jahre ein Wert von 20.51 m und eine aus der Ertragstafel abgeleitete Grundfläche für den verbleibenden Bestand von 32.52 m². Eine kleinräumig anzutreffende höhere Wuchsleistung von 105.6 % führt zu einer höheren Grundfläche von 33.26 m². Demzufolge wird die beobachtete Grundfläche der hier anzutreffenden Provenienz mit einem Korrekturfaktor von 0.978 reduziert. Alle Merkmale, deren Standortabhängigkeit nicht über die Standards erfasst und über die Ertragstafel referenziert werden konnten – hier zählen insbesondere Befunde zu Qualität und Resistenz – wurden unverändert in die weitere Auswertung übernommen.

3.3.3 Auswertungskonzept

Nach Prüfung auf Normalverteilung (K-S-Test nach LILLIEFORS) und Varianzhomogenität (LEVENE-Test) wurden die auf Parzellenebene verdichteten Merkmale der Provenienzen nach den sechs eingangs genannten Herkunftsgebieten gruppiert und einer einfaktoriellen

Varianzanalyse inkl. multiplen Vergleichstest (BONFERRONI bzw. DUNETT T3) unterzogen (BROSIUS und BROSIUS, 1995). Da beim Vergleich der provenienzspezifischen Anteile gerader Schäfte nicht alle relativen Häufigkeiten zwischen 0.30 und 0.70 lagen, wurden deren Anteilsprozente vorab einer inversen Sinustransformation unterzogen (SACHS, 1997). Infolge der deutlichen Standortunterschiede zwischen den Versuchsflächen und dem häufigen Fehlen von Wiederholungen auf den jeweiligen Flächen sind statistisch gesicherte Aussagen auf Provenienzebene nicht möglich. Das Herkunftsgebiet Alpen (851 22/23) wurde überhaupt nicht in die Varianzanalyse einbezogen, da es auf jeder Versuchsfläche nur mit einer Parzelle - der Provenienz „Berchtesgaden“ - vertreten ist.

3.4 Ergebnisse

3.4.1 Natürliche Mortalität

Die Ergebnisse der Vollaufnahme in der Vegetationsruhe 1974/75 ermöglichen eine Abschätzung, zu welchen überwiegend durch natürliche Mortalität bedingten Verlusten es in den ersten 25/26 Lebensjahren gekommen ist (Tab. 3-3). Dabei wird die Resistenz - „erblich bedingte Widerstandsfähigkeit gegen biotische und abiotische Schädigungen“ (SCHÜTT et. al, 1992) - wie auch die Selbstdifferenzierung als Bestandteile natürlicher Mortalität betrachtet.

Bezogen auf die Ausgangsdichte von 40 000 Pflanzen*ha⁻¹ (Bodenwöhr mit 38 500 Stück*ha⁻¹) beinhaltet der gesamte Bestand 1974/75 noch etwa 10 % dieser Stammzahlen. Als gesamter Bestand wird dabei die merkmalspezifische Summe aus verbleibendem und ausscheidendem Bestand zum jeweiligen Betrachtungszeitpunkt bezeichnet. Bei der Herleitung der Prozentwerte wurde keine versuchsparzellenspezifische Standortkorrektur durchgeführt, da über diesen Zeitraum keine Oberhöhenreferenzierung möglich war. Auf dem besseren Standort in Geisenfeld ist die natürliche Stammzahlreduktion auf im Mittel 4300 Stück*ha⁻¹ oder 9 % erwartungsgemäß am forciertesten abgelaufen und unterschreitet deutlich das Niveau der I.0 Bonität nach WIEDEMANN (1943/48, mäßige Durchforstung) mit 4860 Bäumen*ha⁻¹. Allgemein betragen die Unterschiede zwischen den Provenienzen nur wenige Prozentpunkte. Die höchsten Überlebensraten zeigen die Provenienzen „Bamberg-Ost“ in Bodenwöhr und „Paffenhofen-D.“ in Nürnberg mit 19 bzw. 20 %.

Tab. 3-3 Mortalitätsanteil (%) im Alter 25 Jahre (Mort%), aktueller Vorrat des gesamten Bestandes (Vg in VfmD * ha⁻¹ und jährlicher Volumenzuwachs (IV in VfmD * ha⁻¹a⁻¹ als Mittelwert der letzten 22- bis 24jährigen Periode; Alter 50 Jahre) der 41 bayerischen Kiefernprovenienzen geordnet nach Herkunftsgebieten (HK) und Anbaustandorten. Die Werte für Vg und IV wurden mit einem standortsensitiven Verfahren adjustiert.

HK	Provenienzname (Nr.)	Bodenwöhr			Geisenfeld			Nürnberg		
		Mort.%	Vg	IV	Mort.%	Vg	IV	Mort.%	Vg	IV
NOBayMG 851 12	Falkenberg (10)	88 %	355	13.2	92 %	390	9.5	89 %	489	15.0
	Mitterteich (14)	83 %	358	13.8				83 %	368	8.9
	Selb-P. (23)				90 %	405	10.3	85 %	540	17.8
	Selb-R. (24)				90 %	436	12.8	85 %	440	13.5
	Selb-G. (25)	88 %	352	14.5						
	Tirschenreuth-K. (30)	90 %	327	12.7	93 %	427	12.0	85 %	433	12.5
	Tirschenreuth-D. (31)	90 %	332	12.7	91 %	415	10.0			
	Waldsassen (32)	91 %	295	10.9	92 %	395	9.4	85 %	338	9.5
	Wunsiedel (34)	88 %	321	12.9	90 %	269	5.3	87 %	390	11.6
MFrHL 851 15	Ansbach (3)	88 %	316	11.4	89 %	463	13.0	88 %	498	14.8
	Bamberg-Ost (4)	81 %	345	13.3	93 %	518	14.9	84 %	439	11.9
	Ebern (9)	89 %	378	14.1	91 %	476	12.4	89 %	552	17.4
	Feucht (11)	88 %	356	12.6	91 %	408	9.5	87 %	450	12.1
	Heilsbronn (12)				91 %	426	10.1	85 %	450	13.2
	Schwabach-D. (28)	89 %	326	13.0	91 %	387	9.2	88 %	366	7.9
	Schwabach-V. (29)	89 %	298	11.3	94 %	500	13.9	85 %	461	12.5
	Burgebrach (35)									
	Eyrichshof (99)									
Alb 851 16	Aldorf (1)	85 %	290	11.8	91 %	358	7.6	88 %	359	8.8
	Bayreuth-West (5)	86 %	348	12.8	91 %	500	15.0	85 %	425	10.7
	Kehlheim-Nord (13)	86 %	329	12.1	92 %	485	13.4	86 %	387	10.7
	Riedenburg (21)	91 %	352	14.5	91 %	458	13.0	86 %	437	13.9
	Parsberg (36)	87 %	361	14.6				91 %	527	16.2
	Pegnitz (41)	92 %	352	12.0				84 %	482	14.0
OBayMG 851 17/18	Bodenwöhr-W. (7)	90 %	344	12.7	91 %	461	11.6	88 %	406	10.8
	Bodenwöhr-K. (8)	86 %	365	13.7	91 %	454	12.0	89 %	456	13.7
	Neunburg v. W (15)	87 %	345	12.5				86 %	356	8.3
	Nittenau-B. (16)	86 %	333	12.0	92 %	487	12.2			
	Nittenau-M. (17)	83 %	334	12.9	92 %	456	12.4	86 %	455	11.8
	Nittenau-G. (18)	85 %	318	12.6	93 %	389	10.2	85 %	473	13.0
	Plößberg-S. (19)				92 %	408	9.2	85 %	397	11.5
	Plößberg-T. (20)	90 %	314	11.9	91 %	502	14.2	84 %	455	12.5
	Roding (22)	90 %	298	11.4	93 %	489	13.6	88 %	530	16.9
	Vohenstrauß (37)							86 %	483	14.7
AlpVL 851 21	Altötting (2)	92 %	279	9.7	90 %	377	8.1	82 %	353	10.6
	Siegenburg (26)									
	Schrobenhausen (27)				91 %	436	11.5	88 %	337	9.8
	Welden (33)	90 %	302	11.2	92 %	384	8.8	86 %	382	10.2
	Pfaffenhofen-S. (38)							91 %	482	14.8
Pfaffenhofen-D. (39)	93 %	315	12.3				80 %	444	14.3	
Alpen“22/23	Berchtesgaden (6)	90 %	312	11.2	92 %	437	11.4	87 %	367	9.6

Die ungünstigen klimatischen Bedingungen auf der Kahlfläche, starke Verheidung und Anflug von versuchsfremden Kiefern und Weichlaubhölzern führten zu ersten

Stammzahlverringeringen, denen in Bodenwöhr und Geisenfeld bis 1952 – leider ohne genaue Dokumentation – mit vereinzelt Nachbesserungen begegnet wurde. Bis etwa 1960 folgten wiederholte Infektionen mit der Kiefern Nadelschütte (Bekämpfung mit Dithane) sowie Befall durch den Großen Braunen Rüsselkäfer und den Kieferntriebwickler. Nach 1960 musste vereinzelt Schneebruch, ab 1974 ebenfalls vereinzelt Kiefern rinden-Blasenrost (Kienzopf) registriert werden. Aktiv entnommen wurden lediglich versuchsfremde Bäume sowie vereinzelt tote und niedergebogene Kiefern im Zuge einer schwachen Niederdurchforstung.

3.4.2 Quantitative Befunde

Den ebenfalls in Tabelle 3-3 aufgeführten Derbholzvorräten und -zuwachsen liegt die geschilderte Adjustierung auf der Basis lokaler Standortunterschiede zugrunde. Mit einem mittleren Wert von 330 VfmD*ha⁻¹ ist der aufstockende Vorrat im Alter von 50 Jahren in Bodenwöhr am geringsten, in Geisenfeld und Nürnberg um 100 VfmD*ha⁻¹ höher und übertrifft allgemein das Niveau der I.0-Bonität mit 308 VfmD*ha⁻¹ deutlich (WIEDEMANN, 1943/48, mäßige Durchforstung). Für die Zuwachsberechnung musste auf den Vorrat des gesamten Bestandes 1974/75 zurückgegriffen werden, so dass die resultierenden jährlichen Zuwachswerte – als Mittelwerte einer Periode - tendenziell eine Unterschätzung beinhalten. Die Zuwächse auf den Versuchsflächen unterscheiden sich mit Mittelwerten von 11.2 bis 12.5 Festmeter je Hektar und Jahr nur wenig – im Vergleich dazu erreicht die I.0-Bonität nach WIEDEMANN (1943/48, mäßige Durchforstung) jährlich 10.2 VfmD*ha⁻¹. Die Provenienz „Selb-P.“ leistet am Versuchsstandort Nürnberg mit jährlich 17.8 VfmD*ha⁻¹ den höchsten, die Provenienz „Wunsiedel“ am Versuchsstandort Geisenfeld mit 5.3 VfmD*ha⁻¹ den geringsten jährlichen Volumenzuwachs.

Tabelle 3-4 zeigt die Ergebnisse einer einfaktoriellen Varianzanalyse für diejenigen Ertragskomponenten, auf deren Basis sich signifikante Gruppenunterschiede ergeben. Dabei steht jede schwarz ausgezogene Verbindungslinie für eine signifikante Trennung zweier Herkunftsgebiete mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von höchstens 5 %.

Die Mattwüchsigkeit der Alpenvorlands-Kiefern hebt sich häufig signifikant von den Wachstumsbefunden der Kiefern aus anderen Herkunftsgebieten ab. Dies gilt in Bodenwöhr für die Grundfläche des gesamten Bestandes im Frühjahr 1997 (36.2 qm*ha⁻¹), in Geisenfeld für den Durchmesser des Grundflächenmittelstammes des gesamten Bestandes im Frühjahr 1998 (21.2 cm) und in Nürnberg für die Höhenwerte der Mittelstämme in den Betrachtungsjahren 1974/75 sowie 1999. Einen signifikant höheren Durchmesser des Grundflächenmittelstammes

des gesamten Bestandes weisen Kiefern aus dem Herkunftsgebiet Ostbayerische Mittelgebirge im Frühjahr 1998 auf, allerdings nur am Versuchsstandort Geisenfeld (22.8 cm).

Tab. 3-4: Statistische Befunde ausgewählter, signifikant unterschiedlicher Betrachtungsgrößen (Btgr.) geordnet nach Anbaustandorten, Beobachtungsjahren und Herkunftsgebieten. Das Herkunftsgebiet „Alpen“ ist auf jeder Versuchsfläche nur mit einer Parzelle der Herkunft „Berchtegaden“ vertreten und nicht in die Varianzanalyse einbezogen worden. Verbindungslinien zwischen Gruppenwerten stehen für eine signifikante Gruppentrennung mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von höchstens 5%

Jahr	Btgr.	Stat. Befundgröße	NOBayMG 851 12	MFrHL 851 15	Alb 851 16	OBayMG 851 17/18	AlpVL 851 21	Alpen 851 22/23
Versuchsfläche Bodenwöhr								
1997	Anzahl Parzellen		7	6	6	8	3	1
Grundfläche [m ² /ha]	Mittelwert		42.3	41.6	42.5	41.8	36.2	38.7
	Standardabw.		1.9	2.4	2.6	1.8	2.5	
	sig. Grup.trennung		=====					
Versuchsfläche Geisenfeld								
1998	Anzahl Parzellen		7	9	5	10	5	1
Durchm. d. Grundf.mst. [cm]	Mittelwert		20.8	21.5	21.6	22.8	21.2	22.6
	Standardabw.		0.6	1.3	0.7	0.7	1.0	
	sig. Grup.trennung		=====					
1950 -97	Anzahl Parzellen		7	9	5	10	5	1
Jährl. Radial -zuwachs [mm]	Mittelwert		2.3	2.3	2.4	2.6	2.3	2.2
	Standardabw.		0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	
	sig. Grup.trennung		=====					
1998	Anzahl Parzellen		7	9	5	10	5	1
Anteil gera- der Schäfte [%]	Mittelwert		36.4	14.9	19.5	17.0	10.6	8.3
	Standardabw.		11.4	6.1	5.1	14.7	5.9	
	sig. Grup.trennung		=====					
Versuchsfläche Nürnberg								
1974	Anzahl Parzellen		7	10	7	11	7	1
Höhe des Grundf.mst. [m]	Mittelwert		10.9	11.1	10.9	10.9	9.9	10.8
	Standardabw.		0.5	0.5	0.7	0.6	0.5	
	sig. Grup.trennung		=====					
1999	Anzahl Parzellen		7	10	7	11	7	1
Höhe des Oberhö.h.st. [m]	Mittelwert		22.6	22.5	22.2	22.2	20.6	21.6
	Standardabw.		1.2	0.8	1.3	1.1	1.1	
	sig. Grup.trennung		=====					
1999	Anzahl Parzellen		7	10	7	11	7	1
Anteil gera- der Schäfte [%]	Mittelwert		69.2	41.5	29.3	40.3	38.3	23.1
	Standardabw.		21.6	11.7	7.7	21.2	4.9	
	sig. Grup.trennung		=====					
1999	Anzahl Parzellen		7	10	7	11	7	1
Abholzigkt. [cm/lfm]	Mittelwert		1.5	1.6	1.7	1.7	1.8	1.6
	Standardabw.		0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	
	sig. Grup.trennung		=====					

Tab. 3-5: Maximaler jährlicher Radial- (max ir) und Höhenzuwachs (max ih) sowie entsprechendes Alter (A) bei Zuwachskulmination geordnet nach Herkunftsgebieten (HK) und Anbaustandorten. Die Zuwächse wurden mit einem exponentiellen Modell in Abhängigkeit vom Alter ausgeglichen, was beim Radialzuwachs in einigen Fällen zu unplausiblen Schätzungen führte (n.a. für not available).

HK	Provenienzname (Nr.)	Bodenwöhr				Geisenfeld				Nürnberg			
		max ir/a mm	A	max ih/a cm	A	max ir/a mm	A	max ih/a cm	A	max ir/a mm	A	max ih/a cm	A
NOBayMG 851 12	Falkenberg (10)	5.8	12	65	22	5.1	8	61	13	4.1	6	66	18
	Mitterteich (14)	5.2	11	60	20					3.7	8	66	16
	Selb-P. (23)					4.3	6	65	14	3.0	10	63	17
	Selb-R. (24)					6.6	5	60	14	n.a.	n.a.	53	18
	Selb-G. (25)	2.7	13	54	23								
	Tirschenreuth-K. (30)	n.a.	n.a.	54	24	6.0	8	65	14	3.7	7	62	18
	Tirschenreuth-D. (31)	n.a.	n.a.	53	23	5.2	7	73	14				
	Waldsassen (32)	4.3	9	47	22	4.6	7	63	13	3.4	6	60	14
	Wunsiedel (34)	n.a.	n.a.	51	23	4.7	7	65	13	n.a.	n.a.	55	13
MFrHL 851 15	Ansbach (3)	3.8	11	59	18	4.2	8	59	16	3.6	7	65	16
	Bamberg-Ost (4)	n.a.	n.a.	52	20	5.3	6	63	13	2.8	8	63	18
	Ebern (9)	4.7	10	58	18	4.0	7	57	14	3.2	7	62	18
	Feucht (11)	4.4	11	66	20	4.6	7	59	13	6.7	3	63	17
	Heilsbronn (12)					4.7	8	58	14	3.1	6	60	17
	Schwabach-D. (28)	2.6	14	49	22	5.2	7	65	13	n.a.	n.a.	59	15
	Schwabach-V. (29)	4.0	11	56	21	5.2	9	61	13	2.5	13	60	19
	Burgebrach (35)												
	Eyrichshof (99)												
Alb 851 16	Altdorf (1)	n.a.	n.a.	46	19	4.4	8	58	14	3.7	6	59	15
	Bayreuth-West (5)	n.a.	n.a.	57	19	5.6	7	58	13	3.2	7	64	18
	Kehlheim-Nord (13)	3.8	9	54	18	4.7	7	58	13	3.7	5	61	17
	Riedenburg (21)	3.0	7	46	22	n.a.	n.a.	54	11	n.a.	n.a.	55	17
	Parsberg (36)	n.a.	n.a.	53	25					4.1	9	65	17
	Pegnitz (41)	4.0	11	55	22					4.5	7	62	16
ObayMG 851 17/18	Bodenwöhr-W. (7)	6.2	12	66	20	4.5	5	64	17	4.2	4	65	15
	Bodenwöhr-K. (8)	n.a.	n.a.	58	20	5.2	7	57	13	n.a.	n.a.	59	16
	Neunburg v. W (15)	3.7	12	59	22					3.8	6	63	19
	Nittenau-B. (16)	5.7	9	52	23	5.4	7	68	13				
	Nittenau-M. (17)	3.5	12	53	23	5.7	9	60	15	n.a.	n.a.	61	19
	Nittenau-G. (18)	3.5	12	50	23	4.9	8	62	15	3.3	8	61	17
	Plößberg-S. (19)					5.4	7	61	14	3.0	5	62	16
	Plößberg-T. (20)	4.2	10	54	23	5.9	8	64	12	3.6	4	57	16
	Roding (22)	n.a.	n.a.	51	27	5.3	7	64	14	2.9	6	58	19
Vohenstrauß (37)									3.8	8	68	19	
AlpVL 851 21	Altötting (2)	8.6	4	56	20	4.4	7	56	14	n.a.	n.a.	50	17
	Siegenburg (26)					4.7	7	62	12	4.9	3	58	16
	Schrobenhausen (27)												
	Welden (33)	3.7	10	51	21	5.7	6	63	13	3.6	5	62	17
	Pfaffenhofen-S. (38)									4.0	9	69	16
Pfaffenhofen-D. (39)	3.8	11	57	23					3.2	8	58	17	
Alpen**22/23	Berchtesgaden (6)	3.8	10	61	17	3.3	6	57	14	3.6	7	65	18

Mittels Triebblängen- und Jahrringbreitenmessungen lässt sich der alterstypische Radial- und Höhenzuwachs dominanter Individuen der jeweiligen Provenienz beschreiben.

Mit Hilfe eines geeigneten statistischen Ausgleichs lassen sich kurzfristige umweltbedingte Einflüsse in ihrer Auswirkung auf den alterstypischen Zuwachsverlauf ausblenden und dabei die Funktionswerte zum Zeitpunkt der Zuwachskulmination aufzeigen (Tab. 3-5).

Beim jährlichen Radialzuwachs ir wird das Modell $ir = \exp(a + b \cdot \ln(A) + c \cdot \ln(A)^2)$ und beim jährlichen Höhenzuwachs ih der Ansatz $ih = (A^2)/(a + b \cdot A + c \cdot A^2)$ verwendet (a , b , c = herkunftsspezifische Parameter, A = Alter). Erwartungsgemäß kulminiert der Radialzuwachs auf den besseren Standorten Geisenfeld und Nürnberg früher (Alter 6 bzw. 7 Jahre) als in Bodenwöhr (Alter 10 Jahre). Die Kulmination des Höhenzuwachses erfolgt demgegenüber mit 14 bis 17 Jahren und damit im Mittel 7 bis 11 Jahre später. Interessanterweise findet sich bei dem am schlechtesten mit Nährstoffen versorgten Standort Bodenwöhr mit der Provenienz „Roding“ sowohl der späteste Kulminationszeitpunkt des Höhenzuwachses (Alter 27 Jahre), als auch mit der Provenienz „Altötting“ die früheste Kulmination des Radialzuwachses (Alter 4 Jahre).

Auf der Basis der Originalmesswerte lassen sich signifikante Unterschiede wiederum nur in Geisenfeld beobachten, wo Kiefern aus den Ostbayerischen Mittelgebirgen bessere und Kiefern aus den Nordostbayerischen Mittelgebirgen schlechtere Radialzuwächse aufweisen (Tab. 3-4).

3.4.3 Qualitative Befunde der Beobachtungsjahre 1997 bis 1999

Das Zusammenspiel von Höhen- und Durchmesserwachstum in Verbindung mit der Schaftform bestimmen das Qualitätsmerkmal „Abholzigkeit“. Dieses Merkmal, wie auch der Befund „Schaftgüte“ - mit den Kategorien „zweischnürig gerade“, „schief“, „säbelwüchsig“ (einschnürig gerade, drei Intensitätsstufen) sowie „unschnürig krumm“ - und der Befund „Astigkeit“ weisen eine deutliche Abhängigkeit von der Standortgüte auf, deren Variation innerhalb derselben Versuchsanlage nicht berücksichtigt wurde (Abb. 3-3). Der mit Nährstoffen besser ausgestattete Standort Geisenfeld gibt mit einer mittleren Abholzigkeit von $2.0 \text{ cm} \cdot \text{m}^{-1}$, einer mittleren Aststärke von 1.7 cm und einem mittleren Anteil zweischnürig gerader Schäfte von 21 % ein qualitativ schlechteres Gesamtbild ab. Demgegenüber stellen sich die Flächen in Bodenwöhr bzw. Nürnberg mit einer mittleren Abholzigkeit von 1.6 bzw. $1.7 \text{ cm} \cdot \text{m}^{-1}$, einer mittleren Aststärke von 1.3 bzw. 1.4 cm und einem mittleren Anteil gerader Schäfte von 40 bzw. 44 % ähnlich und dabei qualitativ besser dar.

Auf der Ebene der Herkunftsgebiete zeigt sich, dass die Kiefern des Alpenvorlandes auf der Versuchsfläche Nürnberg mit $1.8 \text{ cm} \cdot \text{m}^{-1}$ signifikant abholziger als diejenigen aus den

Nordostbayerischen Mittelgebirgen mit $1.5 \text{ cm}^3 \text{ m}^{-1}$ sind (Tab. 3-4). Den höchsten Anteil gerader Schäfte stellt das Herkunftsgebiet Nordostbayerische Mittelgebirge (signifikant in Geisenfeld und Nürnberg mit einem Anteil von 36 % bzw. 69 %), während in Geisenfeld die Provenienzen aus dem Alpenvorland mit 11 % und in Nürnberg mit 29 % die Alb-Herkünfte signifikant die geringsten Anteile aufweisen.

3.4.4 Bewertung durch Verknüpfung von Quantität und Qualität

Auch wenn über die Eigenschaften der einbezogenen Provenienzen im Einzelnen keine statistisch fundierten Aussagen möglich sind, werden abschließend einige hervorgehoben. Damit soll einerseits der damals in Bayern im Rahmen des forstlichen Versuchswesens nahezu einmalige Aufwand bei der Anlage und Aufnahme der Versuche gewürdigt und gleichzeitig herausgestellt werden, dass die wenigen, vorwiegend in anderen Internationalen Versuchen auch vertretenen bayerischen Kiefern aus „Bamberg“, „Selb“ oder „Berchtesgaden“ ähnliche Eigenschaften zeigen (SCHOBER, 1988; TROEGER, 1960a,b,c; MÜNCH, 1937).

Es ist davon auszugehen, dass die höchste Wertschätzung derjenigen Provenienz entgegengebracht wird, die sich durch eine standortunabhängige quantitative und qualitative Überlegenheit gegenüber anderen auszeichnet (PRETZSCH, 2002). Die Realität der Provenienzforschung zeigt jedoch, dass die wüchsigsten Provenienzen i.d.R. nicht die qualitativ besten sind (SPELLMANN, 1995). Eine multikriterielle Bewertung der Eigenschaften stützt sich auf viele Kriterien, wie die Auswahl der herangezogenen Merkmale und die Methode zu deren Verknüpfung. An dieser Stelle erfolgt zunächst eine Kombination der Merkmale „Anteil gerader Schäfte“ und „aktueller Vorrat“ in Abhängigkeit vom Versuchsstandort und auf rein deskriptive Art – eine Darstellungsform, wie sie auch SCHOBER (1988, 1985, 1981a, 1981b, 1981c) wiederholt gewählt hat.

Unter Vorgabe einer gerichteten Veränderung vom ungünstigeren hin zum günstigeren Standort, also von Bodenwöhr hin zu Geisenfeld, läßt sich beispielhaft das Verhalten der Provenienzen „Kehlheim-N.“ und „Altötting“ als Abweichung vom versuchsübergreifenden Mittelwert - $310 \text{ VfmD} \cdot \text{ha}^{-1}$ bzw. Anteil gerader Schäfte von 35 % - beschreiben (Abb.3-3).

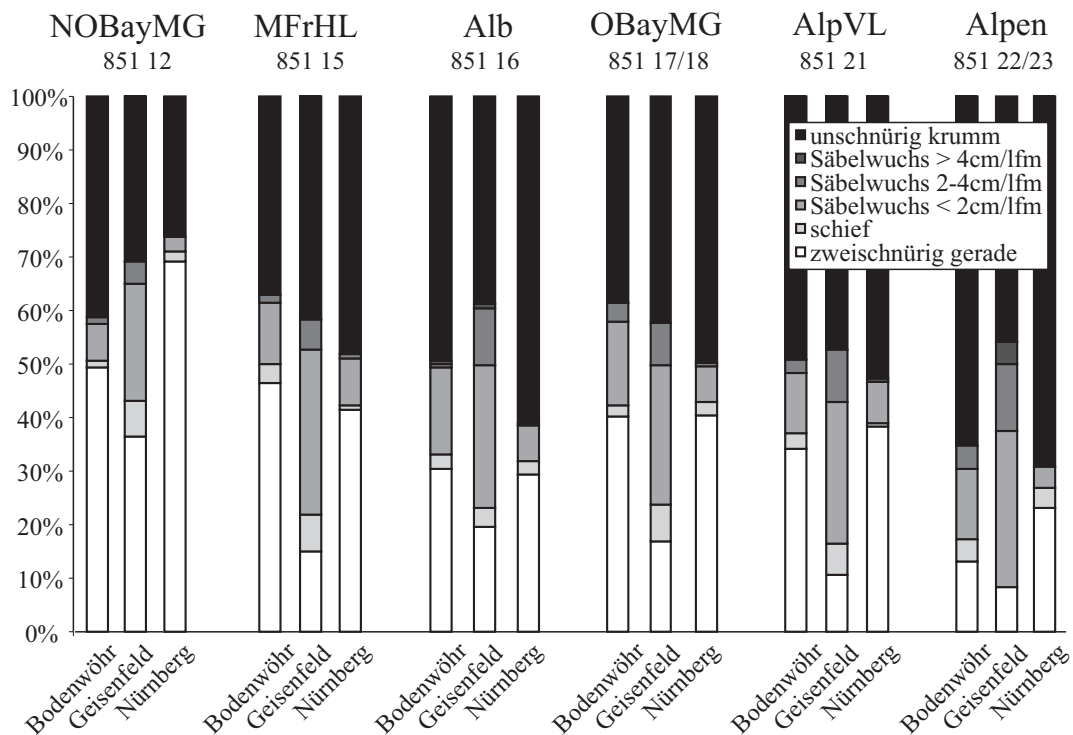


Abb. 3-3: Anteile verschiedener Schaftqualitätsklassen nach Herkunftsgebieten und Anbaustandorten. Von weiß (zweischnürig gerade) über verschiedene Graustufen (schief und drei Grade von Säbelwuchs) bis hin zu schwarz (unschnürig krumm) werden zunehmend schlechtere Schaftqualitäten dargestellt.

Während „Kehlheim-N.“ auf den drei Versuchsanlagen zu den volumenreicheren Provenienzen zählt (Abb. 3-4, links), verbessert sich die Vorratsleistung von „Altötting“ ebenfalls mit zunehmender Standortkraft, bleibt aber beständig auf einem deutlich geringeren Niveau. Beim Qualitätsmerkmal (Abb. 3-4, rechts) zeigt „Kehlheim-N.“ ein beständig geringen Anteil gerader Schäfte, während dieser Anteil bei „Altötting“ mit zunehmender Standortgüte deutlich zurückgeht.

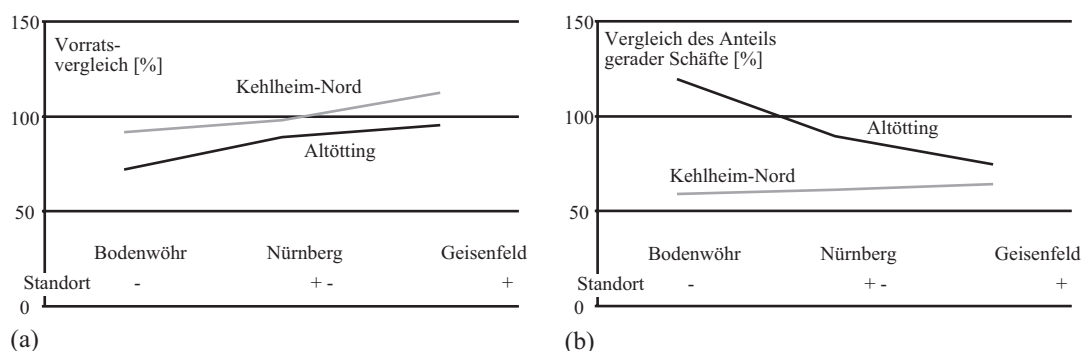


Abb.3-4: Vergleich herkunftsspezifischer quantitativer und qualitativer Charakteristika mit versuchsübergreifenden Mittelwerten am Beispiel der Herkünfte „Altötting“ und Kehlheim-N.“. Die Versuchsflächen Bodenwöhr (-) und Nürnberg (+) und Geisenfeld (+) sind jeweils von links nach rechts nach zunehmender Standortgüte geordnet. (a) Relation (%) von herkunftsspezifischem Vorrat (1996/1998) zu versuchsübergreifendem Mittelwert (310 VfmD/ha). (b)Relation (%) von herkunftsspezifischem Anteil gerader Schäfte (1996/1998) zu versuchsübergreifendem Mittelwert (35%).

Um eine weitere, wenn auch nur bedingt aussagekräftige Bewertung aller 38 noch verbliebenen bayerischen Kiefern-Herkünfte zu ermöglichen, wurden insgesamt sieben Merkmale der jüngsten Aufnahme verknüpft. Auf Grund des mit 50 Jahren fortgeschrittenen Bestandesalters handelt es sich nur um Merkmale aus den Kategorien Quantität und Qualität, deren maximaler Beitrag zu einer 0...1-skalierten Gesamtnote mit jeweils 0.5 als gleichwertig unterstellt wurde. Als aktuelle Bestandesgrößen wurden der Durchmesser und die Höhe des Grundflächenmittelstammes der 100 stärksten Bäume je Hektar und der Vorrat mit jeweils 0.1 sowie der Zuwachs mit 0.2 gewichtet. Von den Qualitätsbefunden wurde der Anteil gerader Schäfte mit 0.2, die Aststärke und die Abholzigkeit mit jeweils 0.15 multipliziert. Vor der additiven Verknüpfung der sieben Merkmale wurde ein provenienz- und merkmaltypischer Verhältniswert berechnet, dessen Herleitung am Beispiel der Provenienz „Altdorf“ und dem Merkmal „Anteil gerader Schäfte“ verdeutlicht wird. In Bodenwöhr besitzt diese Provenienz mit einem Anteil von 48 % gerader Schäfte gegenüber 40 % eine Relation von 120 % zum Mittelwert der Versuchsfläche. Über alle drei Versuchsflächen hinweg liegt dieser Prozentwert im Mittel bei 97 %. Gegenüber dem maximalen versuchsflächenübergreifenden Mittelwert, der von der Provenienz „Wunsiedel“ mit 184 % gestellt wird, weist die Provenienz „Altdorf“ jedoch nur einen Verhältniswert von 0.52 auf. Gewichtet mit dem merkmalspezifischen Faktor 0.2 resultiert ein Verhältniswert von 0.10, der sich mit den gewichteten Verhältniswerten der übrigen sechs Merkmale auf 0.70 summiert. Gegenüber Werten von 0.66 bis 0.92 weicht „Altdorf“ zusammen mit „Altötting“ (0.71), „Berchtesgaden“ (0.66), „Schrobenhausen“ (0.68) und „Welden“ (0.70) deutlich negativ vom Durchschnittswert 0.79 ab, während die Provenienzen „Falkenberg“ (0.88), „Bamberg-O.“ (0.85), „Selb-P.“ (0.92) und „Selb-R.“ (0.89) eine erheblich bessere Gesamtbilanz aufweisen.

3.4.5 Diskussion und Ausblick

Der bereits zum Anlagezeitpunkt auf 50 Jahre zurückblickenden forstlichen Provenienzforschung lagen umfangreiche Ergebnisse vor, aus welchen sich bereits der heute unstrittige Schluss abzeichnete, dass sich mit den örtlich bestgeeigneten Herkünften forstliche Anbauerfolge erzielen lassen, die sowohl über die Wirkungen waldbaulicher Maßnahmen als auch über die Baumartenwahl hinausgehen können (EBERT, 1997; SCHOBER, 1988). Aus dem Bayerischen Kiefern-Herkunftsversuch läßt sich dieser Schluss aber nur eingeschränkt ziehen, da bei seiner Konzeption und Umsetzung Mängel vorliegen, die auch mit modernen Auswertungsmethoden nur begrenzt behoben werden können.

Versuchskonzeption

Bereits zu Beginn der sechziger Jahre machen ROHMEDER und SCHÖNBACH (1959) sowie SCHOBER (1961) für die Anlage von Provenienzversuchen detaillierte Vorschläge. Anstelle des vorgestellten Streuversuches, der klimatisch und standörtlich getrennte Versuche mit nicht wiederholten Versuchsgliedern beinhaltet und für die Bewertung von Herkünften als ungeeignet eingestuft wird, werden Blockanlagen favorisiert. Dabei werden die in 3- bis 4facher Wiederholung vertretenen Provenienzen auf standortgleiche Blöcke verteilt. Während die Anzahl der Wiederholungen aus den statistischen Anforderungen resultiert, ist das Problem der Standorthomogenität unmittelbar an den Flächenbedarf der Versuchsanlage gekoppelt. Obwohl einige Autoren es im Flachland für möglich halten, 2 bis 4 Hektar große Einheiten abzugrenzen, die standörtlich homogen sind, erachten andere es für notwendig, jede Versuchseinheit mit einem Raster von bis zu 5 m * 5 m zu überziehen und die Ergebnisse der Standortinventur bei der Auswertung zu berücksichtigen (RIEK und STROHBACH, 2001; ARBEITSKREIS STANDORTSKARTIERUNG, 1996; KELLER, 1995). Neben der Anzahl von Wiederholungen wird der Flächenbedarf von der Anzahl der einbezogenen Herkünfte und der jeweiligen Parzellengröße beeinflusst. Mit dem Ziel, auch die Ertragsleistung bei Erreichen des Erntealters zu erfassen, wird ein Betrachtungszeitraum von zwei Dritteln der Umtriebszeit empfohlen, was bei der Kiefer etwa 100 Jahren entspricht. Die statistisch notwendige Anzahl von 40 Individuen je Parzelle korrespondiert gut mit der gewählten Parzellengröße von 1200 m², da diese bei einer Bonität von I.0 (WIEDEMANN, 1943/48, mäßige Durchforstung) im Alter 100 noch 42 Individuen trägt. Der Anbau sämtlicher hier verwendeter Herkünfte in dreifacher Wiederholung auf einem Standort würde somit eine reine Messfläche von 15 ha und zum Schutz vor Randwirkungen weitere 5 ha erfordern.

Korrekturverfahren bei Standortvariabilität

Auch wenn die Areale mit 3 bis 5 ha deutlich kleiner sind, liegen sie in einem kritischen Bereich, der sich jedoch mit Hilfe der Standards auf standörtliche Homogenität prüfen läßt. Im Gegensatz zu der damals ebenfalls üblichen Einbringung vereinzelter Standardparzellen wurden alle Parzellen und damit das gesamte Areal mit „Standardstreifen“ umgürtet. Das vorgestellte, auf den höchsten Bäumen des Standards beruhende Korrekturverfahren beinhaltet die Annahme, dass die Herkünfte, deren Merkmale adjustiert werden, auf Standortveränderungen absolut identisch wie der Standardstreifen reagieren, was z.B. von SCHOBER (1961) und ROHMEDER und SCHÖNBACH (1959) bezweifelt wird. Hinzu kommt, dass gut korrespondierendes Höhenwachstum von Provenienz und Standard keine Übereinstimmung bei den Merkmalen Durchmesser- und/oder Volumenwachstum etc. beinhalten muss. Andererseits ist der

Sachverhalt, dass bei der Aufstellung der verwendeten Kiefern-Ertragstafel (WIEDEMANN, 1943/48) Unterschiede zwischen Provenienzen nicht berücksichtigt wurden und damit die Wahrscheinlichkeit für eine Beteiligung verschiedener Provenienzen hoch ist, für die Unabhängigkeit des gewählten Referenzverfahrens eher günstig.

Darüber hinaus bedürfen auch beim Vorliegen standörtlicher Detailkenntnisse einige Fragen der Klärung: Welche Befundgrößen sind in welchen zeitlichen und räumlichen Auflösungen für eine standörtliche Charakterisierung von Herkunftsversuchen am besten geeignet? Sind verschiedene Provenienzen nicht auch in der Lage z.B. mit kleinräumig variierenden nutzbaren Feldkapazitäten unterschiedlich hauszuhalten? Mit welchen anderen Verfahren kann ohne direkte Verwendung einer standortindikativen Wachstumsgröße auf wesentliche Ertragsgrößen des Baumes geschlossen werden? Es handelt sich also bei der vorgestellten Korrekturmethode um den konsequenten, aus Sicht der forstlichen Provenienzforschung und Standortkunde kritisierbaren Versuch, bei einem zu großflächigen Streuversuch den Mangel an standörtlicher Homogenität abzuschwächen. Vollständigweise muss auch erwähnt werden, dass sich durch den Standardstreifen der gesamte Flächenbedarf um über 30 % erhöht. Zudem kann der Schutz jeder Parzelle vor Randwirkungen durch die andere Wuchsdynamik des Standardstreifens – ggf. noch verstärkt durch den begleitenden Laubholzstreifen - eingeschränkt sein.

Bedeutung der provenienztypischen Entwicklungsphase

In den letzten 50 Jahren sind die drei Versuchsflächen fünf Mal in den Merkmalskategorien Quantität, Qualität und Widerstandsfähigkeit charakterisiert worden. Obwohl die vorliegende Arbeit nur auf die jüngsten Befunde und einige ausgewählte Zuwachsgrößen Bezug nimmt, soll hervorgehoben werden, dass diese Merkmalskategorien in einer engen Beziehung zu der jeweiligen provenienztypischen Entwicklungsphase stehen und demzufolge unterschiedliche Wertigkeiten besitzen. Während bei der Aufnahme 1952 noch Auswirkungen der beiden Pflanzgärten (Ernährung, Pflanzensortierung etc.) und/oder der Technik der Kulturbegründung (Bodenbearbeitung, Kalkung, Nachbesserung etc.) den allgemeinen Anwuchserfolg der Kiefern überprägen, nimmt in den folgenden Lebensjahren die Brauchbarkeit der nun an den lokalen Standort gebundenen Qualitäts- und Resistenzbefunde zu. Allerdings sinkt die Schüttdisposition auch mit fortschreitendem Alter der Kulturen (SCHÜTT et. al, 1992) und der messtechnisch erfassbare Anteil qualitativ unbefriedigender Bäume verringert sich zudem sukzessive infolge von Pflege- und Durchforstungsmaßnahmen (SPELLMANN, 1995). Demgegenüber kulminieren ertragskundliche Zielgrößen wie der durchschnittliche Gesamtwuchs an Volumen erst ab Erreichen der halben Umtriebszeit und auch der Verlauf der Abschwungphase bleibt unter

Aspekten wie dem Zeitraum der Endnutzung interessant (HATTEMER et al., 1993; ROHMEDER und SCHÖNBACH, 1959).

Ausblick

Die Versuchsserie wurde 1997 in das Versuchsflächennetz des Lehrstuhls für Waldwachstumskunde überführt und damit ihre langfristige Dauerbeobachtung gesichert. Über den Verbleib bzw. den Zustand der Nachfolgebestockungen der 1948 im Alter von durchschnittlich 130 Jahren beernteten Kiefernbestände liegen keine aktuellen Informationen vor.

Der Bayerische Kiefern-Herkunftsversuch von 1950/51 ist ein hervorragendes Anschauungsobjekt, um allen Interessierten zu verdeutlichen, welche phänotypischen Unterschiede bei unterschiedlichen Provenienzen unter annähernd vergleichbaren Umweltbedingungen auftreten können. Zudem soll sich in Zukunft anhand von diesen drei Beispielen zeigen, wie aktuelle Fragestellungen und langfristige Konzeptionen - losgelöst von der eigentlichen Versuchszielsetzung - ineinander greifen können.

Erstens kann die Klima- und Standortamplitude der Herkunftsgebiete unter annähernd homogenen Anbaubedingungen in ihren Auswirkungen auf phänologische Eigenschaften von Beständen und Einzelbäumen untersucht werden. Damit ließe sich eine Brücke zur Klimafolgenforschung schlagen.

Für den Bereich genetischer Vielfalt, als einen Aspekt biologischer Vielfalt, liefern Herkunftsversuche zweitens eine solide Datenbasis, die eine Gegenüberstellung geno- und phänotypischer Merkmale - ggf. unter zusätzlicher Berücksichtigung waldbaulicher Steuerungsmöglichkeiten - erlaubt (HUSSENDÖRFER und KONNERT, 1997, 2000; LIESEBACH, 1994; LIESEBACH et al., 2001; KOHLSTOCK et al., 1993). Erste Ergebnisse für vier wachstumskundlich stark differenzierte Provenienzen der Versuchsanlage Bodenwöhr liegen vor (BLUMENRÖTHER, 1999; BLUMENRÖTHER et al., 2001).

Drittens bieten die detaillierten, wiederholt erhobenen provenienzspezifischen Qualitäts- und Vitalitätsparameter eine fundierte Datenbasis für eine Erweiterung der Einsatzbereiche einzelbaumbezogener Wachstumssimulatoren unter Berücksichtigung genetisch bedingter Variation (z.B. Modellierung von Qualität, Mortalität, Zuwachs).

4 Literatur

- ARBEITSKREIS STANDORTSKARTIERUNG, 1996: Forstliche Standortsaufnahme. IHW-Verlag, Eching bei München, 352 S.
- BAYSTMELF, 1948: Anbauversuch mit bayerischen Kiefernherkünften. Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, München, internes Schreiben Nr. F 12646, 3 S.
- BAYSTMELF, 1995: Pflegegrundsätze für die Kiefer. Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, München, internes Schreiben Nr. F 4-W 100-92, 17 S.
- BLUMENRÖTHER, M. C., 1999: Genetische und ertragskundliche Charakterisierung bayerischer Kiefernherkünfte im Provenienzversuch „Haidschlag“ (*Pinus sylvestris* L.). Diplomarbeit der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz und der Ludwig-Maximilians-Universität München, 140 S.
- BLUMENRÖTHER, M. C., BACHMANN, M. UND MÜLLER-STARCK, G., 2001: Genetic characters and diameter growth of provenances of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Silvae Genetica*, 50. Jg., S. 212-222
- BROSIUS, G. UND BROSIUS, F., 1995: SPSS – Base System und Professional Statistics. International Thomson Publishing, Bonn, 1002 S.
- EBERT, H.-P., 1997: Die Bedeutung von Baumart und Baumherkunft für die praktische Waldwirtschaft. *Forst und Holz*, 52. Jg., S. 91-93
- ERTELD, W., 1986: Grundriss der Kiefernwirtschaft; Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Universität München (Hrsg.), 259 S.
- FORSTSAAT-HERKUNFTSGEBIETSVERORDNUNG, 1994: Karte über forstliche Herkunftsgebiete – Kiefer – Maßstab 1:1 000 000. Anlage 4 zu § 1 Abs. 2 der Forstsaat-Herkunftsgebietsverordnung.
- GREGORIUS, H.-R., 1997: Genetische Grundlagen der Ökosystemstabilität. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 116. Jg., S. 29-38
- HATTEMER, H.-R., BERGMANN, F. und ZIEHE, M., 1993: Einführung in die Genetik für Studierende der Forstwissenschaft. J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a. M., 492 S.
- HUSSENDÖRFER, E. und KONNERT, M., 1997: Untersuchungen zur genetischen Repräsentativität von Prüfgliedern in Provenienzversuchen am Beispiel der Weißtanne. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, 168. Jg., S. 61-70
- HUSSENDÖRFER, E. und KONNERT, M., 2000: Untersuchungen zur genetischen Variation der Weißtanne (*Abies alba* MILL.) in Plenterwäldern im Vergleich zu Altersklassenwäldern. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 119. Jg., S. 208-225
- KELLER, W., 1995: Zur Oberhöhenberechnung in Mischbeständen aus standortkundlicher Sicht. *Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten - Sektion Ertragskunde*, Joachimsthal, S. 52-60

- KNOKE, TH., 1996: Lawsons Scheinzypresse (*Chamaecyparis lawsoniana* (A. Murr) Parl.) - Zustand zweier Versuchsanbauten im Forstlichen Versuchsgarten Grafrath. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, 167. Jg., S. 225-233
- KOHLSTOCK, N., HERTEL, H. und SCHNECK, H., 1993: Zur Genetik von a- und b-Typen bei Kiefer. Beiträge für Forstwirtschaft und Landschaftsökologie, Jg., S. 174-177
- KOLLER, G., 1981: Der „Bayerische Kiefernherkunftsversuch,,- Aufnahme und Auswertung nach vierundzwanzig Jahren. Diplomarbeit am Lehrstuhl für Forstpflanzenzüchtung und Immissionsforschung der LMU München, 55 S.
- KREUTZER, K. und FOERST, K., 1978: Forstliche Wuchsgebietsgliederung Bayerns. Regionale natürliche Waldzusammensetzung Bayerns, BAYSTMELF (Hrsg.).
- LFV BD.-WTTBG., 1993: Hilfstabellen für die Forsteinrichtung. Landesforstverwaltung Baden-Württemberg, Stuttgart, 188 S.
- LIESEBACH, M., 1994: Untersuchungen an ausgewählten Herkünften des internationalen Fichtenprovenienzversuchs 1964/68 über den Zusammenhang zwischen Isoenzym-Merkmalen und morphologischen, phänologischen sowie Wachstumsmerkmalen. Dissertation am Fachbereich Biologie der Universität Hamburg, 210 S.
- LIESEBACH, M., KÖNIG, A. UND UJVÁRI-JÁRMAY, E., 2001: Provenance-environment interactions of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) on German and Hungarian test sites. In: MÜLLER-STARCK, G. (Ed.) Genetic response of forest systems to changing environmental conditions.
- MÜNCH, E., 1937: Standortsrassen der Kiefer. Der Züchter, 49. Jg., S. 143-148
- PETTERSON, H., 1955: Die Massenproduktion des Nadelwaldes. Forstl. Forschungsanstalt, Schweden, 391 S.
- PETRINI, S., 1959: De två äldsta svenska tallproveniensförsöken. Medd. Statens Skogsforskningsinst. 48. Jg., 11 S.
- PRETZSCH, H., 2002: Grundlagen der Waldwachstumsforschung. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin, 414 S.
- RIEK, W. und STROHBACH, B., 2001: Standörtliche Heterogenität und Interpretation von Versuchsflächen. AFZ-Der Wald, 56. Jg., S. 216-218
- ROHMEDER, E. und SCHÖNBACH, H., 1959: Genetik und Züchtung der Waldbäume. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin, 332 S.
- ROTACH, P., 1994: Genetische Vielfalt und praktische forstliche Tätigkeit: Probleme und Handlungsbedarf. Schweizerische Zeitung für das Forstwesen, Jg., S. 999-1020
- SACHS, L., 1997: Angewandte Statistik. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 884 S.
- SCHMIDT, A., 1971: Wachstum und Ertrag der Kiefer auf wirtschaftlich wichtigen Standorteinheiten der Oberpfalz. Forstliche Forschungsberichte, München, Bd. 1, 187 S.

- SCHOBER, R., 1961: Zweckbestimmung, Methodik und Vorbereitung von Provenienzversuchen. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, 132. Jg., S. 29-38
- SCHOBER, R., 1981a; Vom I. Internationalen Lärchen-Provenienzversuch 1944 - Bericht über drei deutsche Teilversuche – Teil I. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, 152. Jg., S. 181-195
- SCHOBER, R., 1981b: Vom I. Internationalen Lärchen-Provenienzversuch 1944 - Bericht über drei deutsche Teilversuche – Teil I. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, 152. Jg., S. 201-211
- SCHOBER, R., 1981c: Vom I. Internationalen Lärchen-Provenienzversuch 1944 - Bericht über drei deutsche Teilversuche – Teil I. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, 152. Jg., S. 221-233
- SCHOBER, R., 1985: Neue Ergebnisse des II. Internationalen Lärchenprovenienzenversuches von 1958/59 nach Aufnahmen von Teilversuchen in 11 Europäischen Ländern und den USA. Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt, H. 83., Forstliche Fakultät der Universität Göttingen, Göttingen, 164 S.
- SCHOBER, R., 1988: Einfluss der Provenienz auf die Ertragsleistung. In: KRAMER, H. (Ed.) Waldwachstumslehre. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin, S. 129-154
- SCHÜTT, P., SCHUCK, H. J. und STIMM, B., 1992: Lexikon der Forstbotanik. Ecomed Verlagsgesellschaft mbH, Landsberg/Lech, 581 S.
- SPELLMANN, H., 1995: Holzqualität als Beurteilungskriterium im langfristigen Versuchswesen. Forst und Holz, 50. Jg., S. 743-747
- TROEGER, R., 1960a: Kiefernprovenienzversuche - I. Teil - Der große Kiefernprovenienzversuch im südwürttembergischen Forstbezirk Schussenried. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, 131. Jg., S. 49-59
- TROEGER, R., 1960b: Kiefernprovenienzversuche - II. Teil - Ergebnisse der in den Jahren 1927 bis 1936 in Württemberg angelegten Kiefernprovenienzversuche. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, 131. Jg., S. 81-89
- TROEGER, R., 1960c: Kiefernprovenienzversuche - III. Teil - Versuche mit Herkünften aus Württemberg. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, 131. Jg., S. 89-93
- VON LÜPKE, B., 1993: In situ-Erhaltung: Möglichkeiten der Integration in den praktischen Forstbetrieb. Forstarchiv, 64. Jg., S. 73-78
- WIEDEMANN, E., 1943/48: Kiefern-Ertragstafel für mäßige Durchforstung, starke Durchforstung und Lichtung. In: WIEDEMANN, E. (Ed.) Die Kiefer. Verlag M. und H. Schaper, Hannover, S. 24-35

Teil III: Die Kiefer im Mischbestand

Analysen zu Diversität, Produktivität und Struktur von Kiefern-Mischbeständen

Hans Pretzsch und Gerhard Schütze

1 Zusammenfassung

1.1 Diversität und Produktivität von Wäldern

Im Mittelpunkt steht die Frage, wie Baumartenvielfalt und Produktivität von Wäldern zusammenhängen. Auf der Basis langfristiger Versuchsflächen wird analysiert, wie sich der Übergang von Monokulturen zu Mischbeständen auf die Produktivität auswirkt. Betrachtet werden wirtschaftlich wichtige Baumarten der temperierten und borealen Klimazone. Je nach Artenmischung und Standort können die Mischungseffekte sehr unterschiedlich ausfallen. Durch Kombination von Pionier- mit Klimaxbaumarten, ontogenetisch früh mit spätkulminierenden Arten, Licht- mit Schattenbaumarten kann die Ressourcenausbeute um bis zu 30 % gegenüber dem Reinbestand gesteigert werden. Bei Ähnlichkeit der ökologischen Nischen und funktionalen Eigenschaften konkurrieren die Arten dagegen gleichzeitig um dieselben Ressourcen im Kronen- und Wurzelraum. Negative Wechselwirkungen und Minderleistungen bis zu 30 % können die Folge sein. Diese für mittlere Bestandesdichten nachgewiesenen Leistungsrelationen zwischen Rein- und Mischbeständen können sich bei Eintritt von Störungen zugunsten von Mischbeständen verschieben. Denn die Kombination mehrerer Arten ist gleichbedeutend mit einer Risikostreuung. Mischbestände sind in der Regel elastischer gegenüber Änderungen der Standortbedingungen und resilienter bei natürlichen Ausfällen oder Störungen durch waldbauliche Eingriffe. Im Mischbestand können Entnahmen und Ausfälle einer Art durch Mehrzuwachs der Verbleibenden abgepuffert werden.

1.2 Wuchsreihen als unechte Zeitreihen

Aufgrund der Langlebigkeit von Bäumen sind gesicherte Aussagen über das Wuchsverhalten von Beständen und deren Entwicklung nur über die Auswertung echter Zeitreihen möglich. Diese Problematik führte zur Entwicklung eines Wuchsreihenkonzeptes als Grundlage für die Anlage von Versuchspartellen in Mischbeständen, die auf standörtlich homogenen Einheiten einen möglichst großen Altersrahmen aufspannen. Über Interpolation zwischen den Bestandeskenngrößen lässt sich somit die Bestandesentwicklung zeitlich in ihrer Gesamtheit nachbilden; das räumliche Nebeneinander approximiert dann das zeitliche Nacheinander. Gleichzeitig wird der Einzelbaum in den Mittelpunkt der Analysen gestellt und mit allen ertragskundlichen und dendrometrischen Parametern sowohl als Individuum als auch in seinen sozio-ökologischen Stellung im Bestandesgefüge messtechnisch erfasst. Auf dieser hohen Auflösungsebene gelingt es, die Konkurrenzverhältnisse zwischen den Bäumen zu beschreiben

und abzuleiten. Da mit der Summe der Einzelbäume auch der Gesamtbestand abgebildet wird, ermöglicht diese Methode gleichzeitig auch die Bestimmung bestandestypischer und ertragskundlich wichtiger Zustands- und Zuwachswerte.

Mit den Ergebnissen der Wiederholungsaufnahmen erreicht eine zunächst nur statische oder über geeignete Auswertungen retrospektiv gerichtete Bestandesanalyse eine zeitliche Komponente.

Mit dieser umfangreichen messtechnischen Erfassung von Einzelbaumkenngrößen entsteht ein Datenfundus, der nur über eine standardisierte Aufnahmeanleitung und eine Verwaltung in einer relationalen Datenbank bewältigt werden kann. Gleichzeitig werden damit die Voraussetzungen geschaffen, über entsprechende Auswertungsroutinen eine umfassende ertragskundliche Beschreibung der Versuchsbestände zu gewährleisten.

1.3 Kiefern/Buchen- und Kiefern/Fichten-Wuchsreihen

Um die Parametrisierung des am Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der TU-München entwickelten Wachstumsmodells SILVA für die Baumart Kiefer auf eine breite Basis zu stellen, wurden drei Wuchsreihen mit insgesamt 17 Parzellen auf zwei unterschiedlichen Standorteinheiten angelegt. Diese Wuchsreihen bilden die Basis für die umfangreichen und vielfältigen Untersuchungen, die Gegenstand vorliegender Arbeit sind.

Es handelt sich dabei zum einen um die Kiefern/Buchen-Wuchsreihen Geisenfeld 832 und die Kiefern/Fichten-Wuchsreihe Neuburg 841 im Wuchsbezirk 12.8 „Oberbayerisches Tertiärhügelland“ und zum anderen um die Kiefern/Buchen-Wuchsreihe Amberg 833 im Wuchsbezirk 6.5 „Oberpfälzer Jurarand“. Als Standortcharakteristika stehen sich mäßig trockene bis mäßig frische, kiesige, mäßig lehmige Sande und ziemlich frische, sandig-schluffige Lehme mit Unterbodenverdichtung gegenüber. Alle drei Wuchsreihen werden ausführlich mit ihren Lage-, Standort- und Bestandesparametern beschrieben.

Die Parzellen der Kiefern/Buchen-Mischbestände mit ihrem zum Teil hohen Fichtenanteil und eine Kiefern/Fichten-Wuchsreihe bestechen durch ihre große strukturelle Vielfalt, die aus unterschiedlichen Begründungsarten und einer differenzierten waldbaulichen Behandlung hervorgegangen sind. Diese Unterschiede verdeutlichen zum einen den Reichtum von Konkurrenzsituationen in den Mischbeständen, erklären aber auch die großen Schwierigkeiten, allgemein gültige wuchstypische Verhaltensmuster für Mischbestände abzuleiten.

1.4 Ertragskundliche Zuwachs- und Zustandsdaten

Eine Charakterisierung von Waldbeständen beinhaltet zunächst eine ausführliche Analyse und Beschreibung der ertragskundlich wichtigsten Zuwachs- und Zustandsgrößen. Eine nach Baumarten und Schichtzugehörigkeit unterscheidende, detaillierte tabellarische Zusammenstellung wird für jede Wuchsreihe vorgestellt. Für eine Charakterisierung der jeweiligen Wuchsreihen unter dem Einfluss einer zeitlichen Komponente wird auf die Entwicklung der Mittelhöhe, des Durchmessers des Grundflächenmittelstammes und der Grundfläche eingegangen.

Eine Gegenüberstellung des verbleibenden Vorrats und des Volumenzuwachses auf den einzelnen Wuchsreihen und Parzellen erlaubt eine Einschätzung der Produktivität der Mischbestände aus Kiefer/Buche und Kiefer/Fichte. Die erwarteten Kenngrößen aus den entsprechenden Tafelwerken für Reinbestände aus Kiefer, Buche und Fichte spannen einen Rahmen auf, innerhalb dessen die Parzellen der Wuchsreihen auch unter Berücksichtigung ihrer standörtlichen Verschiedenheiten liegen. Damit wird deutlich, welche Vielfalt die Mischbeständen im Hinblick auf ihre Leistungsfähigkeit innehaben. Um den baumartenspezifischen Einfluss auf den Vorrat und den Volumenzuwachs zu relativieren, werden die realen Kenngrößen über artenspezifische Dichtekoeffizienten transformiert und die Trockenmassen der Baumarten miteinander verglichen.

1.5 Selbstdifferenzierung im Rein- und Mischbestand

Unter Anwendung der Gesetzmäßigkeiten der räumlichen Allometrie werden die artenspezifischen Allometriekoeffizienten für den Rein- und Mischbestand auf der Basis von langfristigen Versuchsanlagen für die Baumarten Fichte, Buche, Kiefer und Eiche vorgestellt. Der Vergleich zwischen den Baumarten Kiefer und Buche im Rein- und Mischbestand unter besonderer Berücksichtigung der Wuchsreihen aus Kiefer und Buche charakterisiert die Laubbaumart mit einem äußerst intolerantem Konkurrenzverhalten, wenn sie mit sich selbst vergesellschaftet wird. In der Mischung kehrt sich diese geringe Selbsttoleranz um und richtet sich erfolgreich gegen die zugemischte Art. Demgegenüber kann für die Kiefer im Mischbestand kein einheitliches Reaktionsmuster festgelegt werden. Die allgemeine Allometriekonstante nach REINEKE (1933) mit einem Wert von -1.605 beschreibt den Zusammenhang für die Stammzahl/Durchmesser-Allometrie nur unzureichend. Mit der Entwicklung und Anwendung artenspezifischer Allometriekoeffizienten wird der Weg für eine morphologisch-allometrische Erklärung der Konkurrenzmechanismen geebnet.

1.6 Standfläche und Grundflächenzuwachs

Auf der Auflösungsebene der Einzelbäume wird der Frage nachgegangen, inwieweit die Standfläche eines Baumes und sein Grundflächenzuwachs zusammenhängen. Zu diesem Zweck wird jedem Baum mit Hilfe einer geeigneten mathematischen Methode, der Bildung sogenannter Voronoi-Zellen, eine bestimmte Fläche zugewiesen, welche die gesamte Einfachüberschirmung seiner Krone enthält und ihm zusätzlich anteilmäßig die ihn umgebenden Freiflächen zuordnet. Aufgrund der Eigenschaften des Voronoi-Diagrammes wird dabei die gesamte Bestandesfläche gänzlich ohne Überlappungen aufgeteilt.

Eine Gegenüberstellung von Standfläche und Grundflächenzuwachs für die Baumarten Kiefer und Buche bestätigt zunächst den biologisch und dendro-morphologischen Unterschied beider Baumarten. Die Buche mit ihrer plastischen Ausformungsmöglichkeit im Kronenaufbau erreicht bei gleichzeitig höherem Grundflächenzuwachs größere Standflächen als die vergleichsweise unflexible Kiefer.

1.7 Quantifizierung des Mischungseffekts auf Einzelbaumebene

Auf der Basis der Einzelbäume wird eine Methode vorgestellt, die es ermöglicht, den Einfluss des Mischungsanteils auf die Produktivität der Baumart zu quantifizieren. Die Anwendung dieses Modells auf die Mischung aus Kiefer und Buche deckt für die Buche deutliche Gewinne auf, während die Kiefer einem eher indifferenten Verhalten folgt. Diese verschiedenen Reaktionsmuster zeigen sich bei beiden Baumarten, wenn die Kiefer mit der Fichte den Bestandaufbau bildet. Der Stichprobenumfang von nur sechs Parzellen mit unterschiedlichen Bestandesstrukturen ist eventuell zu gering, um eine eindeutige Tendenz zu beschreiben.

Um die Eigenheiten der Mischung aus Kiefer und Buche bzw. Fichte besser einordnen zu können, wird sie kurz in den Kontext der Mischungsarten Fichte/Buche und Eiche/Buche gestellt und vergleichend interpretiert.

1.8 Zuwachsverteilung auf die Bestandesglieder

Eine Analyse der Wertepaare aus Radialzuwachs und Durchmesser zeigt, dass ein linearer Ausgleich diese Zusammenhänge nur unzureichend beschreibt. Der Radialzuwachs in höheren Durchmesserbereichen eines Bestandes scheint vielmehr sowohl positiven als auch negativen Abweichungstendenzen zu folgen. Da eine standörtliche Beeinflussung in diesen Fällen ausgeschlossen werden kann, lässt sich nur ein konkurrenzbedingtes Verhalten für diese Reaktionen annehmen. Unter Anwendung eines entsprechenden Modells werden die

Ausgleichsfunktionen für jede Baumart auf den Parzellen der Kiefern/Buchen- und Kiefern/Fichten-Wuchsreihen bestimmt.

Um die Parameter dieser Funktionen einem Maß für die Konkurrenz gegenüberstellen zu können, wird auf den Bestandesdichte-Index (Stand-Density-Index, nach REINEKE, 1933) zurückgegriffen, der die Bestandesdichten altersunabhängig beschreibt und nach einer Modifikation von PRETZSCH (2003) auch für Mischbestände anwendbar ist. Die Analyse folgt einer Aufspaltung nach den Mischungsarten Fichte/Buche, Kiefer/Buche und Eiche/Buche, und beurteilt abschließend das unterschiedliche Wuchsverhalten von Kiefern/Buchen- bzw. Kiefern/Fichten-Beständen.

Die Ergebnisse bestätigen, dass die Mischung aus Kiefer und Buche einen Mittelweg zwischen Fichten/Buchen und Eichen/Buchen beschreitet. In dieser Mischung steht eine eher reaktionsträgere Kiefer einer ausgreifenden, konkurrenzstarken Buche gegenüber, die mit zunehmendem Dichtstand Vorteile aus der Mischung zieht.

In den mit wesentlich höheren Dichten nach dem Bestandesdichte-Index charakterisierten Mischbeständen aus Kiefer und Fichte zeigt sowohl das Wuchsverhalten der Kiefer als auch das der Fichte, dass beide Baumarten in höheren Durchmesserbereichen eines Bestandes mit zunehmender Dichte eine verstärkte Konkurrenzkraft besitzen.

1.9 Radialzuwachs als Indikator für Umwelt- und Klimaänderungen

Mit der Gewinnung von Bohrkernen und Stammscheiben auf den Parzellen der betrachteten Wuchsreihen steht ein Datenmaterial zur Verfügung, das die Entwicklung der Bestände als Abbild seiner Einzelbäume retrospektiv über einen langen Zeitraum nachvollziehbar macht. Dieses Datenmaterial eröffnet die Möglichkeit einer Beantwortung der Fragen, ob und wieweit sich die baumartenspezifischen gemittelten Radialzuwächse von Kiefer und Buche im Mischbestand im Verlauf des letzten Jahrhunderts unter veränderten Wuchsbedingungen gewandelt haben und wie sich dieser Wandel in der Altersentwicklung niederschlägt. Zur Anwendung kommt die Methode des konstanten Alters, mit der sich eine Veränderung der Radialzuwächse innerhalb ausgewiesener Zeitspannen nachweisen lässt.

Es zeigt sich, dass gleichaltrige Buchen gegen Ende des letzten Jahrhunderts auf den Wuchsreihen Geisenfeld 832 und Amberg 833 einen ungleich größeren Radialzuwachs aufweisen als in seiner ersten Hälfte. Bei der Kiefer kristallisiert sich nur im jüngeren Alter eine Zunahme der Radialzuwächse heraus, während im höheren Alter keine Änderung mehr festzustellen ist. Das Wuchsverhalten der Kiefer im Mischbestand weicht damit deutlich von Analysen der Wachstumstrends der Kiefer im Reinbestand (KÜSTERS, 2001) ab.

2 Diversität und Produktivität von Wäldern

Nach den vorausgegangenen Betrachtungen in Teil I und II zum Wachstum der Kiefer in Reinbeständen soll jetzt in Teil III das Augenmerk auf das Verhalten der Kiefer in Mischung mit der Buche und/oder Fichte gerichtet werden. Nach einer grundsätzlichen Einführung über die Diversität und Produktivität von Wäldern werden ertrags- und waldwachstumskundliche Aspekte wie Struktur und Wuchsdynamik sowohl auf Bestandesebene als auch in Bezug zum Einzelbaum vorgestellt. Die Untersuchungen basieren dabei auf der Beobachtung und Auswertung eines großen Netzes langfristiger Versuchsanlagen des Lehrstuhls für Waldwachstumskunde der Technischen Universität München für die vorgestellten Mischungsarten.

Gerade im Hinblick auf die erwarteten und befürchteten klimatischen Veränderungen mit ihren Auswirkungen auf das Wuchsverhalten der Waldbestände, wie sie KÜSTERS in Teil I dieses Bandes in exemplarischen Szenariorechnungen vorgestellt hat, erwächst dem Verständnis und der Erkenntnis von der Wuchsdynamik und dem Wuchspotential der Bäume eine weit tragende Bedeutung.

2.1 Geschichte der Mischbestandsfrage

Am Anfang der planmäßigen Forstwirtschaft und der systematischen Forstwissenschaft stand das Streben nach nachhaltiger Holzproduktion. Aus dem von HANS CARL VON CARLOWITZ (1645-1715) vorgedachten Prinzip der Nachhaltigkeit entwickelten GEORG LUDWIG HARTIG (1764-1837) und HEINRICH VON COTTA (1763-1844) Methoden zur nachhaltigen Bewirtschaftung von Forstbetrieben. Hauptforderung war die nachhaltige Produktion von Holz. Diversität, Schutz- und Erholungsfunktionen wurden u. a. von OTTO FRIEDERICH VON HAGEN (1817-1880) benannt, im Regelwerk der Nachhaltsplanung aber nicht berücksichtigt. Verbreitet war die Auffassung, dass sonstige Waldfunktionen automatisch – gleichsam im Kielwasser einer nachhaltigen Holzproduktion – mit erfüllt würden. Erst DIETRICH's Funktionenlehre (1957) brachte den Wald als Lebens- und Erholungsraum und als Schutz für Klima, Boden und Wasser in die Debatte. Heute besteht internationaler Konsens darin, dass die Funktionenvielfalt des Waldes Schutz der forstlichen Ressourcen, Gesundheit und Vitalität forstlicher Ökosysteme, Produktion von Holz und anderen Produkten des Waldes, biologische Diversität, Schutzfunktionen und sozio-ökonomische Funktionen des Waldes einschließt (MCPFE, 2000). Die Nachhaltigkeit der Biodiversität wird zum Imperativ erhoben wie früher die Nachhaltigkeit der Holzproduktion. Wie aber hängen Biodiversität und Produktivität zusammen?

Im Folgenden wird die forstpraktisch besonders relevante Frage in den Mittelpunkt gestellt, wie Baumartenvielfalt und Produktivität von Wäldern zusammenhängen.

Zur Mischbestandsfrage bemerkt GEORG LUDWIG HARTIG (1791, S. 134) „...daß die Vermischung der Laub- und Nadelhölzer nicht vortheilhaft sei, weil das Nadelholz gewöhnlich das Laubholz verdränge, und weil eine Art die andere im Wachsthum hindere; daß man also mit Fleiß keine vermischte Laub- und Nadelwälder anziehen...solle“. Gravierende Produktionsverluste von Mischbeständen befürchtend, empfiehlt HARTIG (1804, S. 40) „alle aus Nadelholz und Laubholz vermischten Bestände sollen, sobald es die Umstände erlauben, in reine Bestände von der einen oder andern Holzart umgeformt werden.“. Widerspruch dagegen kommt von v. COTTA (1828, S. 115) „Das Bestreben überall reine Waldungen zu erzielen, gründet sich auf ein altes höchst schädliches Vorurtheil...[...]... Da nicht alle Holzarten sich auf gleiche Weise ernähren, so ist ihr Wuchs bei Vermischungen freudiger, und weder die Insekten noch die Winde können so viel Schaden anrichten; auch erlangt man überall verschiedenerlei Holz zur Befriedigung mehrfacher Bedürfnisse. [...]“. GAYER unterstützt diese Auffassung (1886, S. 31) „der Mischwald erzeugt nicht nur mehr, sondern auch wertvolleres Nutzholz, als der reine Bestandwuchs.“. Noch optimistischer äußert sich MÖLLER (1922, S. 41-42) „... setzen wir den Bestand aus Licht- und Schattenholzarten zusammen, [...] so wird die Möglichkeit der Holzerzeugung weiter erhöht; denn es kann nun mit dem Untereinanderschieben der Altersklassen noch erheblich weiter gegangen werden als im reinen Bestandesaufbau einer Holzart“. WIEDEMANN kommentiert den Optimismus der zitierten Waldbauer (1951, S. 341) „...auch im Waldbau muss neben das Gefühl die Zahl treten.“. Erst die Auswertung langfristiger Versuchsflächen, die seit Gründung der Forstlichen Versuchsanstalten in den Jahren 1870 bis 1880 in vielen europäischen Ländern unter Beobachtung genommen wurden, ermöglicht ein nach Arten und Standorten differenzierteres Bild der Leistungsrelation zwischen Rein- und Mischbestand.

Zunächst einmal dämpften die Auswertungen langfristiger Versuchsflächen die Hoffnung auf Mehrleistung durch Mischung. Denn sie erbrachten für Reinbestände aus Fichte *Picea abies* (L.) Karst. oder Douglasie *Pseudotsuga menziesii* Mirb. auf vielen Standorten in temperierten und borealen Zonen eine weit überlegene Produktivität (ASSMANN, 1970; SCHOBER, 1975; SCHWAPPACH, 1912; WIEDEMANN, 1949). Ähnliche Überlegenheit erbringen Pinus-Arten im mediterranen und Eukalyptus- und Albizia-Arten in subtropischen und tropischen Klimazonen (KELTY, 1992; WECK, 1955). Soll die Trockenstoffleistung maximiert werden, so gibt es auf vielen Standorten keine Alternative zu Reinbeständen dieser Arten.

Im Folgenden werden die aus dem Versuchsflächennetz des Lehrstuhls für Waldwachstumskunde der Technischen Universität München verfügbaren und aus der Literatur bekannten Mischbestandsversuche zusammenfassend ausgewertet, um Möglichkeiten der Mehr- oder Minderleistungen in Mischbeständen einzugrenzen und Ursachen dafür zu identifizieren. Über die Arbeiten von CANNELL et al. (1992), KELTY (1992) oder OLSTHOORN et al. (1999) geht der Beitrag in folgenden Punkten hinaus: Nach Entwicklung geeigneter Ansätze und Maßzahlen für Leistungsvergleiche werden für wirtschaftlich wichtige Baumarten der temperierten und borealen Klimazone gesicherte Rahmenwerte der Mehr- und Minderleistungen abgeleitet. Es wird die Art- und Standortabhängigkeit der Leistungsrelation zwischen Rein- und Mischbestand dargestellt. Entscheidend ist, dass Bestandesbehandlung und Risiko in den Leistungsvergleich einbezogen werden. Die Auswertung kann sich auf ein in Beobachtungsdauer, Stichprobenumfang und waldbaulichem Behandlungsspektrum einmaliges Netz von Rein- und Mischbestandsversuchen stützen.

2.2 Theorie

In Grünland- und Waldökosystemen wird ein logarithmischer Anstieg der Produktivität mit der Artenzahl festgestellt (CASPERESEN und PACALA, 2001; HECTOR et al., 1999; LOREAU et al., 2001). Ein Produktionsgewinn ist demnach am ehesten beim Übergang von Monokulturen zu Zwei-Arten-Mischungen quantitativ nachweisbar. Eine etwaige Produktionssteigerung nimmt mit jeder weiteren Art degressiv ab. Deshalb stehen im Folgenden Reinbestände und Mischbestände aus zwei Arten im Mittelpunkt. Unter den Mischwäldern sind Zwei-Arten-Mischungen flächenmäßig von besonderer Bedeutung (BARTELINK und OLSTHOORN, 1999) und wissenschaftlich am ehesten untersucht (KELTY, 1992).

2.2.1 Ökologische Nische, Standort-Leistungs-Relation

Überlegungen zur Produktivität p_{12} eines Mischbestandes aus zwei Arten beziehen sich meist auf die Leistung p_1 bzw. p_2 entsprechender Reinbestände auf demselben Standort. Bei zuwachsneutralen Wechselwirkungseffekten stellt sich die Leistung des Mischbestandes p_{12} als mit den Mischungsanteilen m_1 und m_2 gewichtete Leistung der Reinbestände dar $p_{12} = m_1 \cdot p_1 + m_2 \cdot p_2$. Ausschlaggebend für das Gesamtwachstum als Resultat der Mischung sind die ökologischen Nischen der Arten und ihre Kompatibilität, denn hierdurch wird ihre Leistung auf gegebenem Standort determiniert. Von besonderem Interesse sind positive Wechselwirkungen, die eine Überlegenheit des Mischbestandes erbringen. Die Aussicht auf eine

solche Überlegenheit der Mischung hängt von der Leistungsrelation zwischen p_1 und p_2 und von eventuellen positiven Mischungseffekten ab.

Die Zusammenhänge werden an zwei Modellbeispielen verdeutlicht, die sich aus Arten mit ähnlicher bzw. unterschiedlicher ökologischer Nische aufbauen (Abb. 2-1). Die unimodalen Dosis-Wirkungskurven repräsentieren die unterschiedlichen Nischen, indem sie die arttypische Abhängigkeit der Produktivität von den Wuchsbedingungen darstellen. Die hier einfachheitshalber eindimensional aufgetragenen Wuchsbedingungen bauen sich aus einem n-dimensionalen Vektor von Umweltfaktoren (z. B. Temperatur, ph-Wert des Bodens, Immissionsbelastung, Sturm- oder Schneebelastung) und Ressourcenangebot (z. B. Strahlung, Wasser, Nährstoffversorgung, Kohlendioxyd-Gehalt der Luft usw.) auf.

Im ersten Fall (Abb. 2-1a) besitzen die Baumarten 1 und 2 eine ähnliche ökologische Nische, unterscheiden sich auf gegebenem Standort aber erheblich in der Wuchsleistung. Beispiele hierfür sind die Überlegenheit der Douglasie gegenüber Kiefer oder die der Roteiche gegenüber Traubeneiche in weiten Bereichen der ökologischen Amplitude dieser Baumarten. Die Leistungen p_1 und p_2 der über- und unterlegenen Baumarten sind in diesen Fällen so unterschiedlich, dass die Beimischung der unterlegenen Baumart meist zur Minderung der Gesamtleistung führt.

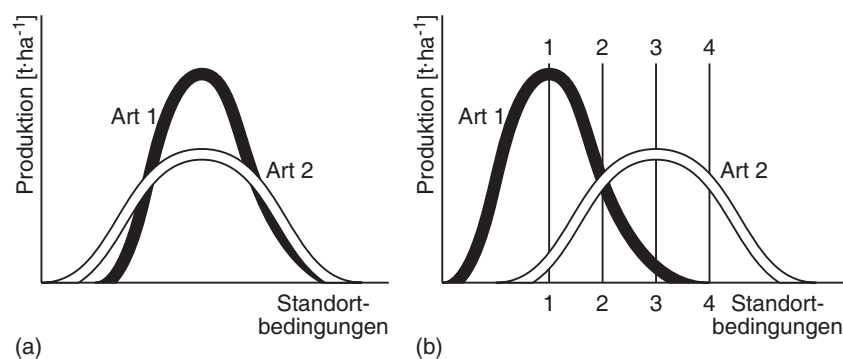


Abb. 2-1: Trockenstoffproduktion verschiedener Baumarten in Abhängigkeit von den Standortbedingungen. (a) Produktivität zweier Baumarten mit ähnlicher ökologischer Amplitude, aber unterschiedlichem Leistungsniveau. (b) Produktivität zweier Baumarten mit unterschiedlicher ökologischer Amplitude.

Verwickelter werden die Verhältnisse, wenn sich die Mischbaumarten in ihrer ökologischen Nische deutlich unterscheiden (Abb. 2-1b). Angenommen die Arten 1 und 2 werden auf insgesamt 4 verschiedenen Standorten gemischt (Standorte 1 bis 4). Dann werden die Leistungsrelationen je nach Standortbedingungen erheblich variieren. Auf dem für Art 1 optimalen Standort 1 wird eine Beimischung der Art 2, die dort im Pessimum ist, zur Bürde. Auf dem für beide Arten gut geeigneten Standort 2 sind die Kräfteverhältnisse balanciert. Auf dem

für Art 2 optimalen Standort 3 wirkt die im Pessimium befindliche Art 1 zuwachsbremsend. Praxisrelevante Beispiele für eine derartige Unterlegenheit einer Art bilden Mischbestände aus Buche und Eiche auf frischen Kalkstandorten oder aus Fichte und Buche auf basenarmen feuchtkühlen Standorten; im ersten Fall ist die Eiche, im zweiten die Buche nur durch waldbauliche Förderung zu halten. Auf Standort 4 wird Art 1 über kurz oder lang verschwinden und Art 2 eine gute Produktivität erreichen. Abbildung 2-2, a – d veranschaulicht die Produktivitäten p_1 und p_2 der Arten 1 und 2 auf den Standorten 1 – 4. Auf der rechten und linken Seitenlinie ist jeweils die Produktivität der Arten 1 bzw. 2 im Reinbestand aufgetragen. Für die Standorte 1 - 4 ergibt sich die Relation $p_1 > p_2$, $p_1 = p_2$, $p_1 < p_2$ und $p_1 < p_2$ mit $p_1 = 0$. Das Modellbeispiel macht die je nach Standort divergierenden Leistungsrelationen zwischen Mischbaumarten verständlich und warnt vor Verallgemeinerung von Versuchsergebnissen. Bestehen zuwachsneutrale Wechselwirkungen zwischen den Arten, so liegt die Produktivität im Mischbestand p_{12} auf der Referenzgeraden zwischen p_1 und p_2 (gestrichelte Linien). Eine zunehmende Beimischung äußert sich dann in einer proportionalen Veränderung von p_{12} .

2.2.2 Quantifizierung von Wechselwirkungseffekten

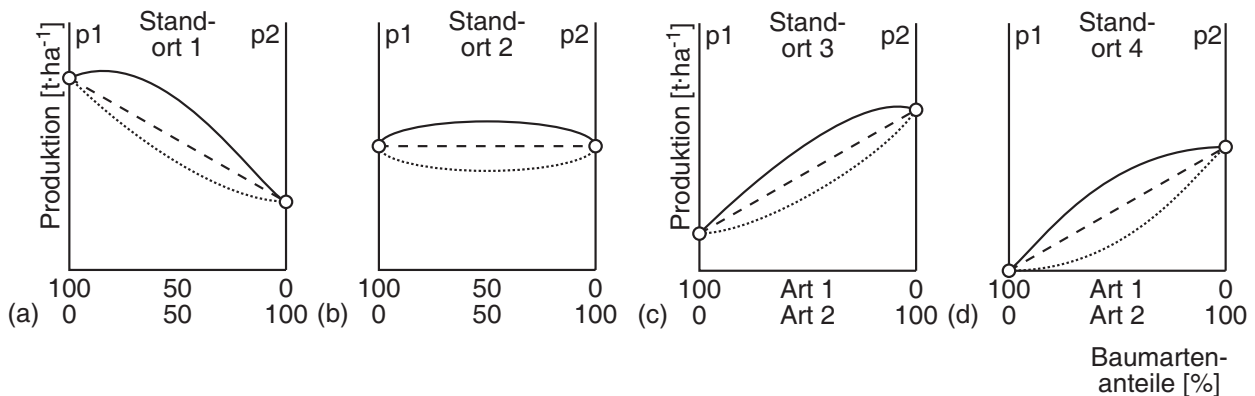


Abb. 2-2: Trockenstoffproduktion zweier Baumarten im Rein- und Mischbestand unter variierenden Standortbedingungen 1 bis 4 (vgl. Abb. 2-1). Schematisch dargestellt ist die Trockenstoffleistung p_1 und p_2 der Arten 1 und 2 im Reinbestand (linke bzw. rechte y-Achse).

Weicht die Leistung p_{12} positiv oder negativ von dieser Referenzgeraden ab (konvexe bzw. konkave Kurven in Abb. 2-2), so zeigt dies eine produktivitätssteigernde bzw. –mindernde Wechselwirkung zwischen den Arten an. Mißverständnisse resultieren häufig aus einer Verwechslung von relativen mit absoluten Leistungsüberlegenheiten.

Eine *relative* Leistungsüberlegenheit des Mischbestandes gegenüber dem Reinbestand liegt vor, wenn die Arten 1 und 2 im Mischbestand zusammen mehr produzieren, als auf gleichgroßen,

vergleichbaren Reinbestandsflächen nebeneinander, sodass $p_{12} > m_1 \cdot p_1 + m_2 \cdot p_2$. Die prozentische relative Leistungsüberlegenheit bzw. -unterlegenheit errechnet sich nach $\Delta p_{\text{rel}} = [p_{12}/(m_1 \cdot p_1 + m_2 \cdot p_2) - 1] \cdot 100$. Dabei bezeichnen p_1 und p_2 die Produktionsleistung der Arten 1 und 2 im Reinbestand, p_{12} die Produktionsleistung beider Arten im Mischbestand, m_1 und m_2 geben die Anteile der Arten 1 und 2 im Mischbestand an, die über die Anteile beider Arten an der Trockenmasse des Mischbestandes berechnet werden $m_1 = w_1/(w_1 + w_2)$ bzw. $m_2 = w_2/(w_1 + w_2)$. Auf Abbildung 2-2 repräsentieren die durchgezogenen konvex verlaufenden Linien positive Wechselwirkungen und die punktierten, konkav verlaufenden Linien negative Wechselwirkungen durch Mischung. Welche der beteiligten Arten durch die Mischung gefördert oder gebremst wird, kann analog ermittelt werden. Die im Reinbestand gemessene Leistung p_1 wird dem Zuwachs dieser Baumart im Mischbestand $p_{1(2)}$ gegenübergestellt.

Von einer *absoluten* Überlegenheit des Mischbestandes gegenüber dem Reinbestand kann gesprochen werden, wenn $p_{12} > \max(p_1, p_2)$ ist. Eine absolute Unterlegenheit liegt dann vor, wenn $p_{12} < \min(p_1, p_2)$ ist. Die Leistung des Mischbestandes liegt dann über bzw. unter jener der Reinbestände aus den Arten 1 und 2. Für die absolute Über- und Unterlegenheit ergibt sich demnach $\Delta p_{\text{abs}} = [p_{12}/\max(p_1, p_2) - 1] \cdot 100$ bzw. $\Delta p_{\text{abs}} = [p_{12}/\min(p_1, p_2) - 1] \cdot 100$. Zur Verdeutlichung dieser Zusammenhänge soll ein letztes Mal auf das Modellbeispiel zurückgekommen werden. Überschreiten die konvex verlaufenden, durchgezogenen Verbindungslinien in Abbildung 2-2 sowohl p_1 als auch p_2 , so liegt absolute Überlegenheit vor. Dies trifft auf Standort 2 für alle Mischungsproportionen und auf den Standorten 1 und 3 bei Annäherung der Mischungsanteile an den leistungstärkeren Reinbestand zu.

Nur selten steht für Leistungsvergleiche Trockensubstanz an Baumholz zur Verfügung; Aussagen beschränken sich meist auf das forstwirtschaftlich relevante Stammvolumen. Die folgenden Leistungsvergleiche basieren überwiegend auf der Gesamtwuchsleistung an Trockenstoff ($t \cdot \text{ha}^{-1}$), denn aufgrund ihrer verschiedenen spezifischen Dichten sind Leistungsvergleiche zwischen den Baumarten nur auf der Basis der Trockensubstanzleistung aussagekräftig (ASSMANN, 1970). Recherchierte Volumenangaben werden mit den Raumdichten von TRENDELENBURG et al. (1955) bzw. KNIGGE und SCHULZ (1966) in Trockenmasse umgerechnet. Die Dichten betragen für Buche 0.554, Fichte 0.377, Kiefer 0.431, Eiche 0.561, Douglasie 0.412, Lärche 0.487, Ahorn 0.522 und Esche $0.564 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

2.2.3 Leistungsgewinne durch Risikostreuung und Diversifikation

Reagiert eine der gemischten Arten empfindlicher auf eine Störung, so kann die Dank ihrer ökologischen Nische robustere andere Art von dieser Schwächung oder dem Ausfall der unterlegenen Art profitieren. Verschieben sich beispielsweise Umweltfaktoren und Ressourcenangebot zu Ungunsten von Art 1 (Abb. 2-3, Pfeil 1 → 3), so würde das in Reinbeständen eine signifikante Produktionsminderung bewirken.

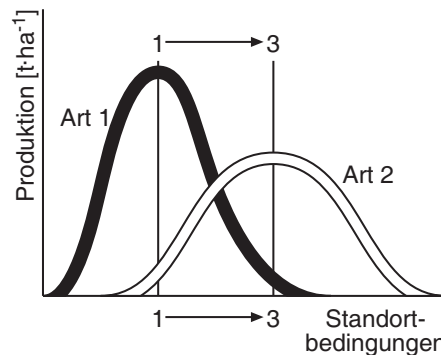


Abb. 2-3: Trockenstoffproduktion der Arten 1 und 2 (fett bzw. mager ausgezogene Linie) in Abhängigkeit von den Standortbedingungen.

Wenn nun aber eine zweite Art beigemischt ist, die besser an die neuen Wuchsbedingungen angepasst ist, so kann sie den Zuwachs stabilisieren. Verfügbare Ressourcen werden dann vermehrt von Art 2 genutzt, verbessern deren Produktivität und deren Raumbesetzung. Bei der Ressourcenverteilung wird also von der einen Baumart auf die andere umgesteuert. Ähnliches gilt beim Totalausfall einer Art infolge von biotischen Kalamitäten oder Alterstod. Die verbleibende Mischbaumart kann Zuwachsverluste durch Mehrzuwachs ausgleichen, und das um so besser, je regelmäßiger sie über die Bestandesfläche verteilt ist. Der Vorteil der Mischung besteht in beiden Fällen in der Risikostreuung als Folge waldbaulicher Diversifikation.

2.3 Empirie

2.3.1 Leistungsrelation zwischen den Mischbaumarten

Unter den Hauptbaumarten einer Wuchsregion überragen meist einige die anderen in ihrer Gesamtwuchsleistung, z. B. *Pinus pinaster* ARR. auf der iberischen Halbinsel, *Picea sitchensis* (BONG.) CARR. im atlantisch getönten Westeuropa. In Zentraleuropa übernehmen diese Favoritenrolle häufig Fichte und Douglasie. An der auf Stammholz bezogenen Überlegenheit ändert sich kaum etwas, wenn Ast-, Blatt- und Wurzelbiomasse sowie Fruktifikation

eingerechnet werden (ASSMANN, 1970). Auf vielen Standorten übernehmen Fichte und Douglasie deshalb die Überlegenheit der Art 1 in der auf Abbildung 2-1a skizzierten Mischungskonstellation.

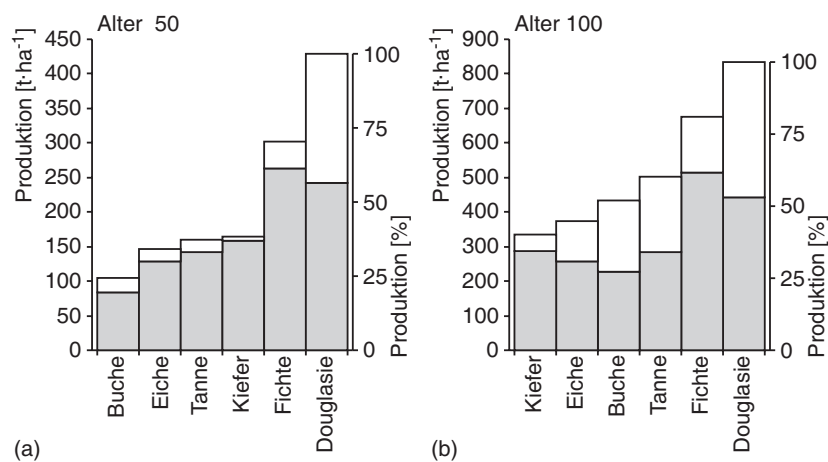


Abb. 2-4: Gesamtwuchsleistung an Stammholz-Trockenstoff für ausgewählte Wirtschaftsbaumarten im Alter 50 und 100 (a bzw. b) bei mäßiger Durchforstung. Dargestellt ist die Produktion für die beste und schlechteste Bonität (obere bzw. untere Säulenhöhe).

Abbildung 2-4 zeigt für das Alter 50 (links) und 100 (rechts) die Reihung wichtiger Baumarten im Reinbestand hinsichtlich der Gesamtwuchsleistung an Trockenstoff. Für den Vergleich wurden die Volumenleistungen ($m^3 \cdot ha^{-1}$), die gängige Ertragstafeln bei mäßiger Durchforstung für die besten bzw. schlechtesten Standorte ausweisen, in Trockenstoffleistung ($t \cdot ha^{-1}$) umgerechnet. Da sich die verwendeten Ertragstafeln auf unterschiedliche Wuchsgebiete beziehen und dort sicher nicht immer die absolut besten und schwächsten Standorte repräsentieren, sind die folgenden Leistungsvergleiche als grober Anhalt zu verstehen.

Douglasie und Fichte leisten bis zum Alter 50 das 2- bis 4-fache sonstiger Wirtschaftsbaumarten. Im Alter 100 stehen Fichte und Douglasie noch immer an der Spitze, das Gefälle zu anderen Baumarten wird lediglich geringer. Buche und Tanne, die im Alter 50 im unteren oder mittleren Drittel lagen, rücken bis zum Alter 100 deutlich auf. Andersherum büßt die früh kulminierende Kiefer ihre Überlegenheit ein. Die Veränderung der Rangfolge hinsichtlich der Produktivität zwischen dem Alter 50 und 100 unterstreicht den Einfluss des Alters auf die Ergebnisse von Leistungsvergleichen.

Angesichts ihrer überlegenen Produktivität laufen Beimischungen zu Fichte und Douglasie regelmäßig auf eine Produktionsminderung hinaus. Die Einbußen durch Beimischung einer unterlegenen Baumart können in der Regel nicht durch positive Wechselwirkungen der Mischbaumarten kompensiert werden. Angenommen auf einem Standort beträgt die Trockenstoffleistung der Fichte im Reinbestand 800 und die der Buche $480 t \cdot ha^{-1}$. Nehmen wir

weiter an, dem Fichtenbestand werden 50 % Buche beigemischt und es herrschen neutrale Wechselwirkungen zwischen den Arten. Dann würde sich die Leistung des Mischbestandes auf $p_{12} = 0.5 \cdot 800t \cdot ha^{-1} + 0.5 \cdot 480t \cdot ha^{-1} = 640t \cdot ha^{-1}$, d. h. 80 % des Fichtenreinbestandes vermindern, was einem Verlust von 20 % entspräche. Um dennoch eine Überlegenheit gegenüber dem Reinbestand zu erzielen, müsste die positive Wechselwirkung der Mischung dieses Defizit kompensieren. Für eine wechselseitige Förderung der Baumarten Fichte und Buche in der Höhe von 20 % gibt es aber keine Beispiele. So gesehen ist gegenüber dem besserwüchsigen Reinbestand aus Fichte fast jede Beimischung eine Bürde. Diese große Überlegenheit erklärt den Siegeszug von Reinbeständen aus Fichte oder Douglasie. Angesichts des eingangs skizzierten Strebens nach multikriterieller Nachhaltigkeit gerät die einseitige und kurzfristige Optimierung der Produktivität allerdings zunehmend in die Kritik.

2.3.2 Leistungsrelation in Abhängigkeit vom Standort

Das zuvor diskutierte Modellbeispiel zeigt, wie stark die Leistungsrelation zwischen zwei Baumarten mit unterschiedlichen ökologischen Nischen von Standort zu Standort variieren kann (Abb. 2-2a - d). Zunächst widersprüchlich erscheinende Resultate von identischen Artenmischungen werden durch Einbeziehung der Standortbedingungen verständlich. Für die in Mitteleuropa wichtigste und am besten untersuchte Mischung Fichte/Buche sei der Einfluss der Standortbedingungen auf die Leistungsrelation zwischen Rein- und Mischbestand verdeutlicht.

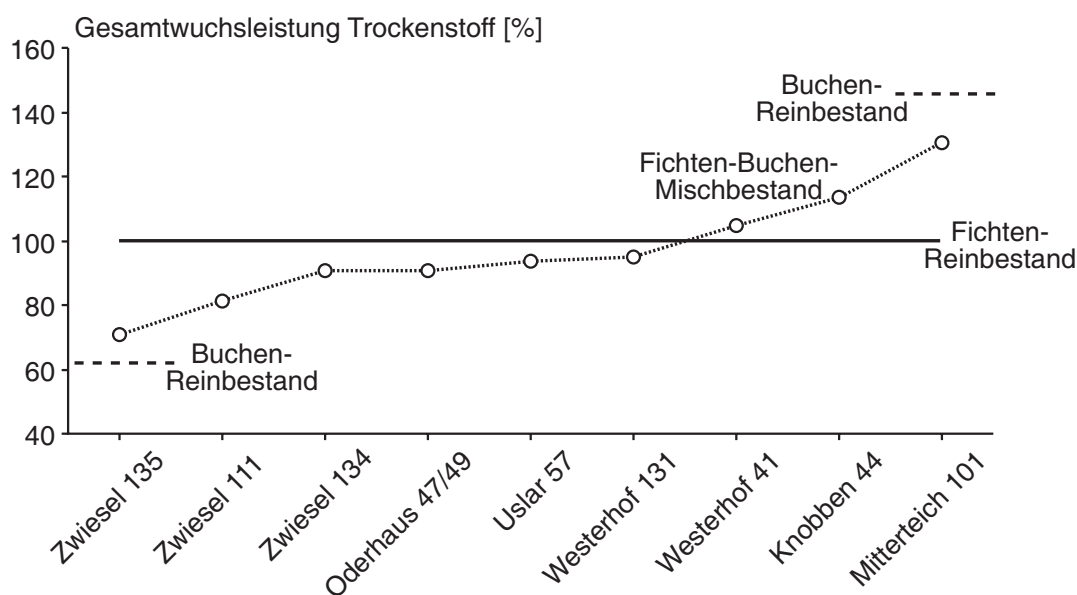


Abb. 2-5: Leistungsrelation zwischen Fichtenreinbeständen (100 %-Linie) und Fichten-Buchen-Mischbeständen in Abhängigkeit von den Standortbedingungen. Dargestellt ist die relative Gesamtwuchsleistung an Trockenstoff auf langfristigen Versuchsflächen im Alter 100.

Hierfür steht eine einzigartige Datenbasis von neun langfristig beobachteten Versuchsflächen mit 33 Parzellen zur Verfügung (Abb. 2-5). Sie datieren bis in das Jahr 1928 zurück. Das Standortspektrum reicht von basenreichen, warm-trockenen Buchenstandorten in Mittel- und Norddeutschland bis zu basenarmen, kühlen, niederschlagsreichen typischen Fichten-Standorten in Südostbayern. Die Versuchsanlagen umfassen Parzellen in Rein- und Mischbeständen mit unterschiedlichen Mischungsanteilen. Seit Versuchsbeginn wurden die Rein- und Mischbestandsparzellen mäßig hochdurchforstet, also im Kronendach geschlossen gehalten. Der Mischungsanteil der Buche liegt zwischen 30 und 50 Prozent. Die folgenden Ergebnisse beziehen sich auf das Alter 100.

Die Vorräte an Trockensubstanz liegen in diesem Alter zwischen 500 und 1300 t · ha⁻¹ bei der Fichte und 400 bis 1100 t · ha⁻¹ im Buchenreinbestand. Die Vorräte der Mischbestände liegen jeweils zwischen den zugehörigen Reinbestands-Parzellen. Je nach Gunst oder Ungunst des Standortes für Fichte und Buche nähern sie sich dem Fichten- bzw. Buchen-Reinbestand. Dasselbe gilt für die Gesamtwuchsleistung an Trockenstoff, die aufgrund der langen Beobachtungsdauer bekannt ist. In Abbildung 2-5 ist die Gesamtwuchsleistung der Mischbestände jeweils in Relation zur Gesamtwuchsleistung der benachbarten standortgleichen Fichten-Reinbestände (100 %-Linie) dargestellt. Dabei sind die Versuchsflächen so gereiht, dass im linken Bereich der Grafik die Versuche auf optimalen Fichtenstandorten eingetragen sind. Von links nach rechts verschlechtern sich die Wuchsbedingungen für die Fichte, während sie sich für die Buche verbessern. Ganz rechts sind die Mischungsergebnisse auf optimalen Buchenstandorten aufgetragen. Für die Versuche Zwiesel 135 und Mitterteich 101, die das untere bzw. obere Leistungsspektrum der Buche markieren, ist das Leistungsniveau der Buche, ebenfalls bezogen auf den Fichten-Reinbestand, eingetragen (gebrochene Linie). Demnach führt eine 30-50 %-ige Beimischung der Buche auf Fichten-Standorten zu einem Produktivitätsrückgang auf 70 % des Fichten-Reinbestandes. Auf Buchenstandorten bewirkt die Beimischung der Buche eine Produktivitätssteigerung auf 130 % der Fichte. Im ersten Fall ist jede beigemischte Buche eine Bürde, im zweiten Fall jede beigemischte Buche ein Gewinn gegenüber der Produktivität im Fichten-Reinbestand. Die Wechselwirkungseffekte Δp_{rel} zwischen Fichte und Buche liegen zwischen +10 und -20 %. In allen Fällen liegt der Mischbestand in der Produktivität aber zwischen den jeweiligen Reinbeständen.

Auch in der Untersuchung von JENSEN (1983) spannen die Reinbestände gewissermaßen den Korridor auf, in welchem die Mischbestände liegen. Mit einem West-Ost-Transekt durch Jütland/Dänemark liefert er ein Musterbeispiel für den Effekt des Standortes auf die Wuchsrelation zwischen Fichte und Tanne. In dem küstennahen Dünengürtel ist die Tanne der

Fichte überlegen, die daran anschließende risseiszeitliche Landschaft erbringt eine Gleichwüchsigkeit von Tanne und Fichte, auf den Würm-Altmoränen des Inlandes unterliegt die Tanne der Fichte in der Trockenstoffleistung. Ausschlaggebend für die Überlegenheit der Fichte im Inland ist ihre Anpassung an geringe Wasserversorgung und basenarme Standorte. Demgegenüber profitiert die Tanne von der besseren Wasserversorgung und dem günstigeren Nährstoffangebot in Küstennähe. Die nachgewiesenen positiven Wechselwirkungen der Mischung reichen auch hier nicht für eine absolute Überlegenheit gegenüber den Reinbeständen aus.

Diese für die Mischung von Schattenbaumarten Fichte/Buche und Fichte/Tanne gefundene Eingrenzung lässt sich nicht auf Mischungen aus Licht- und Schattenbaumarten übertragen. FRIVOLD und KOLSTRÖM (1999) untersuchen das Wachstum von Birke, Kiefer und Fichte in Finnland, Schweden und Norwegen. Sie unterstreichen die Standortabhängigkeit etwaiger Über- und Unterlegenheiten dieser Baumarten in Mischung. Die Wechselwirkungen können je nach Standortbedingungen negativ, neutral oder positiv ausfallen und im letzteren Fall auch zu einer absoluten Überlegenheit der Mischbestände gegenüber dem leistungsstärkeren Reinbestand führen. In Süd- und Zentral-Finnland sind Kiefern-Birken-Mischbestände dem Kiefernreinbestand um 10 % und dem Birkenreinbestand um 14 % überlegen (MIELIKÄINEN, 1980). Für Fichten-Birken-Bestände ergibt sich je nach Standort eine Überlegenheit von 10 bis 15 % gegenüber den entsprechenden Reinbeständen (MIELIKÄINEN, 1985). In ozeanisch geprägten Gebieten von Norwegen und Schweden verliert die Birke gegenüber den Koniferen an Wüchsigkeit. Dort erbringen die Kiefer-Birken-Bestände keine Mehrleistungen gegenüber Reinbeständen und Fichten-Birken-Bestände nur in der Jugendphase einen positiven Mischungseffekt (FRIVOLD und FRANK, 2002).

2.3.3 Archetypische Mischungsreaktionen

Die in Abbildung 2-6 gegebenen Beispiele für negative, neutrale und positive Wechselwirkungen (a-c) spannen den Rahmen der in temperierten und borealen Zwei-Arten-Mischbeständen zu erwartenden Mischungseffekte auf. Auf den linksseitigen Ordinaten ist die Trockenstoffleistung in den Buchen- bzw. Lärchen-Reinbeständen aufgetragen, auf der rechtsseitigen Ordinate diejenige der Fichten-Reinbestände. Die dazwischen liegenden, miteinander verbundenen Rauten (obere Verbindungslinie) repräsentieren die Produktivität der Mischbestände p_{12} insgesamt. Außerdem ist die Produktivität der Mischbaumarten $p_{1(2)}$ bzw. $p_{(1)2}$ eingetragen (Dreiecke bzw. Kreise). Bei zuwachsneutralem Mischungseffekt läge die Produktivität der Mischbestände auf den geraden Verbindungslinien zwischen den Reinbeständen. Abweichungen von den

Referenzgeraden lassen erkennen, ob der Bestand insgesamt Vor- oder Nachteil aus der Mischung zieht und welche Arten dafür verantwortlich sind. Die Darstellungsweise wurde in Abschnitt 2.2.2 eingeführt.

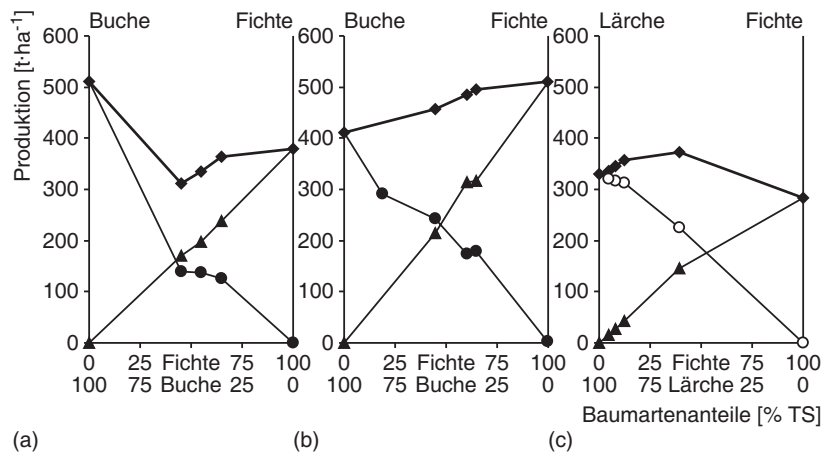


Abb. 2-6: Archetypische Reaktionsmuster der Trockenstoffleistung bei Mischung zweier Baumarten. Mischungen aus Fichte und Buche im Flachland mit negativem Mischungseffekt, Fichte und Buche im submontanen Bereich mit neutralem Effekt und Lärche und Fichte im subalpinen Bereich mit positiven Mischungsreaktionen (von a nach c).

Der Fichten-Buchen-Versuch Freising 813 (Abb. 2-6a) repräsentiert negative Wechselwirkungen durch die Mischung, erkennbar durch die U-Form der durch Rauten gekennzeichneten Verbindungslinie. Bei einer Beimischung von 40 bis 50 % Buche geht die Produktivität gegenüber den Erwartungswerten bei neutralem Mischungseffekt um circa 30 % zurück. Der Blick auf die Reaktionsmuster von $p_{1(2)}$ bzw. $p_{(1)2}$ zeigt, dass die Produktivität der Fichte proportional, die der Buche dagegen nur unterproportional zu ihrem Mischungsanteil ansteigt. Die Buche ist damit als leidtragende und zuwachsmindernde Art der Mischung identifiziert.

Der Fichten-Buchen-Mischversuch Zwiesel 111 (Abb. 2-6b) repräsentiert einen neutralen Mischungseffekt. Auf allen Parzellen dieser Versuchsflächen nimmt die Gesamtwuchsleistung an Trockenstoff proportional zum Mischungsanteil zu. Die Punkte liegen auf der Verbindungslinie zwischen den Reinbestands-Parzellen. Demnach geht die Produktionssteigerung allein auf den Ersatz der Buche durch die auf diesem Standort besser wüchsige Fichte zurück, nicht aber auf positive Wechselwirkungen zwischen beiden Arten.

In beiden Fichten-Buchen-Mischbeständen (Abb. 2-6a und b) steigt die Leistung der Fichte (Dreiecke) proportional zum Mischungsanteil an. Die Reaktion der Mischbaumarten (Kreise) fällt dagegen negativ bzw. neutral aus. Im ersten Fall leidet die Buche unter der im Höhenwachstum überlegenen Fichte. Im zweiten Fall sind die Kräfteverhältnisse ausbalanciert. Diese zwei Reaktionstypen unterscheidet schon WIEDEMANN (1942, 1943, 1951). In Norddeutschland erbringen Fichten-Buchen-Mischbestände bei gleichwüchsiger Buche etwa

dieselbe Trockenstoffleistung wie die entsprechenden Reinbestände. Bei mattwüchsiger Buche liegt der Mischbestand um etwa 19 % unter der Trockenstoffleistung des Buchenreinbestandes auf gleichem Standort. KENNEL (1965) untersucht die Mischung aus Fichte und Buche im bayerischen Voralpengebiet, im Bayerischen Wald und im niedersächsischen Harz und BURGER (1941) in der Schweiz mit ähnlichem Ergebnis. Es läßt sich zusammenfassen, dass bei Mischung dieser Schattenbaumarten die Trockenstoffleistung der Mischbestände in keinem Fall gesichert über jener gleichgroßer vergleichbarer Reinbestandsflächen liegt, häufig aber deutlich darunter.

Positive Wechselwirkungen und absolute Überlegenheit ergeben sich dagegen häufig bei Mischung von Licht- und Schattenbaumarten. ZÖHRER (1969) weist für Lärchen-Fichten-Mischbestände im Salzburger Land eine Überlegenheit in der Trockenstoffproduktion gegenüber standortgleichen Reinbeständen nach (Abb. 2-6c). Bei Zunahme des Fichten-Anteils steigt die Gesamtwuchsleistung überproportional an, kulminiert bei Anteilen von 30 bis 40 % und geht bei Annäherung an den Fichten-Reinbestand zurück. Die Lage der Befunddaten über der Verbindungslinie zwischen den Trockenstoffleistungen beider Reinbestände belegt positive Wechselwirkungseffekte zwischen den gemischten Baumarten. Der Lärchen-Fichten-Mischbestand übertrifft den Fichtenreinbestand damit um 22 - 28 % und den Lärchenreinbestand um 2 - 13 %. Auch für andere Mischbestände aus Licht- und Schattenbaumarten wie Eiche/Buche, Kiefer/Fichte und Kiefer/Buche weisen BONNEMANN (1939) bzw. WIEDEMANN (1943, 1951) nach 50 Jahre langer Beobachtung positive Wechselwirkungseffekte nach. Die Mischbestände weisen Mischungsanteile zwischen 30 und 70 auf, sind 120 bis 140 Jahre alt und der jeweils leistungsfähigeren Baumart in der Trockenstoffleistung um bis zu 6 % überlegen. DITTMAR et al. (1986) beschreibt für langfristige Kiefern-Buchen-Versuchsflächen in der Dübener Heide positive Wechselwirkungseffekte gegenüber dem Reinbestand, die je nach Alters- und Mischungsstruktur 7 - 25 % betragen. Ähnlich hohe Überlegenheit erbringen nach BURGER (1941) und WIMMENAUER (1941) Lärchen-Buchen-Mischbestände.

Wesentlich höhere Überlegenheit von 50 % weisen DeBELL et al. (1989) für die Mischung von *Eucalyptus saligna* SM. und der Leguminose *Albizi falcataria* (L.) FOSBERG in Hawaii nach. Gemessen an solchen Leistungsrelationen im subtropischen Raum, fallen die Mischungseffekte bei Wirtschaftsbaumarten im temperierten und borealen Bereich mit circa ± 30 % eher gering aus.

2.3.4 Störungen, waldbauliche Behandlung

Je größer die Nischenvariation seiner Mischbaumarten, umso elastischer ist ein Bestand gegenüber Störungseinflüssen (Abschn. 2.2).

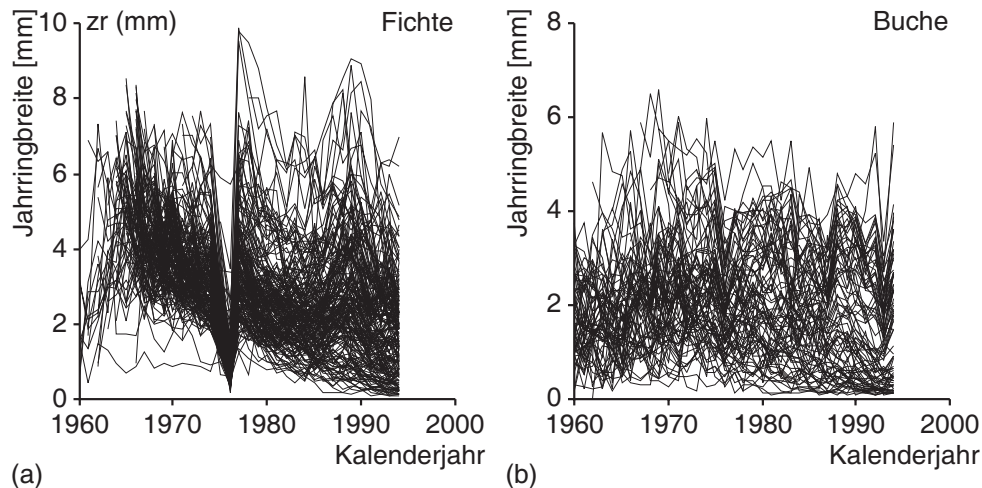


Abb. 2-7: Jahringbreitenentwicklung von Fichten (a) und Buchen (b) auf der Mischbestands-Versuchsfläche Schongau 814.

Beispielhaft zeigen das die Jahreszuwachsgänge auf der Fichten-Buchen-Versuchsfläche Schongau 814 von 1960-1995 (Abb. 2-7). Auf das Trockenjahr 1976 reagiert die Fichte dort, im Unterschied zur Buche, mit einem drastischen Zuwachsrückgang. In Fichten-Reinbeständen würde das zu empfindlichen Produktionsverlusten führen. In Fichten-Buchen-Mischbeständen können solche Störungen abgepuffert werden, indem die Produktion auf die Buche umgesteuert wird (vgl. Abb. 2-3).

Leistungsvergleiche zwischen Rein- und Mischbeständen stützen sich meist nur auf mehr oder weniger ungestörte Versuchsbestände. Nach Kalamitäten oder ungeplanten Nutzungen werden betroffene Parzellen aufgegeben und nur geschlossene Parzellen weiter geführt. Die aus solchen Versuchsflächen abgeleiteten Aussagen zur Unter- oder Überlegenheit von Mischbeständen sind damit auch nur für solche „normalen,, Verhältnisse gültig. Durch Einbeziehung der Reaktionsmuster nach Störungen gewinnt ein Leistungsvergleich an Realitätsnähe. Am Beispiel von Fichte und Buche wird im Folgenden nachgewiesen, dass Reinbestände dieser Arten auf Störungen in Form von Durchforstungen grundlegend anders reagieren als Mischbestände.

Die Analyse der Durchforstungs-Zuwachs-Beziehung in Reinbeständen baut auf 19 Durchforstungsversuchen mit 26 Fichten- und 30 Buchenparzellen auf, die in Bayern und Niedersachsen liegen. Die ältesten sind seit der Gründerzeit des Ertragskundlichen

Versuchswesens, Mitte des 19. Jahrhunderts, unter regelmäßiger Beobachtung. Sie setzen sich mit wenigen Ausnahmen aus jeweils drei Parzellen zusammen, die im Standort und Alter identisch sind, seit Versuchsbeginn aber konsequent nach den Vorschriften für den A-, B- und C-Grad (schwache, mäßige bzw. starke Niederdurchforstung) behandelt wurden und deshalb ein breites Spektrum von Bestandesdichten abdecken. Die Analyse der Dichte-Zuwachs-Relation im Mischbestand basiert auf insgesamt 23 vorwiegend in Süddeutschland gelegenen Fichten-Buchen- Versuchsflächen mit insgesamt 78 Parzellen, die seit 1954 unter Beobachtung stehen. Mit einem Grundflächenspektrum von $25 - 80 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ im Alter von etwa 100 Jahren variieren die Dichten dort noch stärker als in den Reinbeständen. Aus den bis zu 20 turnusmäßigen Aufnahmen von ausscheidendem, verbleibendem und gesamtem Bestand sind die Durchforstungsentnahmen, die Reaktion des verbleibenden Bestandes und damit auch die Gesamtwuchsleistung quantifizierbar.

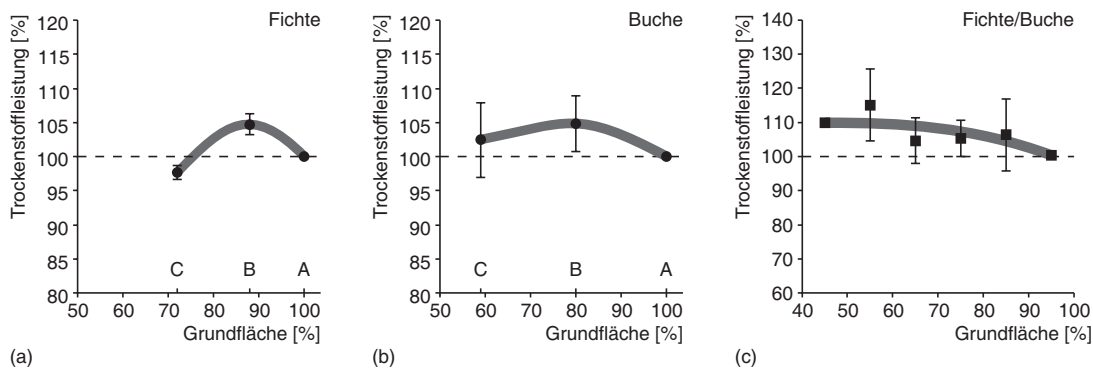


Abb. 2-8: Dichte-Wachstums-Beziehungen in Rein- und Mischbeständen aus Fichte und Buche. Dargestellt ist die relative Trockenstoffleistung bei verschiedener Grundflächenhaltung im Alter 100.

Abbildung 2-8 verdeutlicht für den Fichten-Reinbestand, Buchen-Reinbestand bzw. Fichten-Buchen-Mischbestand die Trockenstoffleistung auf unterschiedlich stark durchforsteten Parzellen im Vergleich zum undurchforsteten A-Grad (=100 Prozent) im Alter 100. Betrachtet man zunächst das Reaktionsmuster der Reinbestände (a und b), so ist bemerkenswert, dass die Trockenstoffleistung beim Übergang vom A- zum B-Grad bei beiden Baumarten um 5 – 10 % ansteigt. Beim Übergang vom B- zum C-Grad läßt sich eine Abnahme der Gesamtwuchsleistung feststellen; auf der Mehrzahl der Buchen-Versuchsflächen liegt die Gesamtwuchsleistung beim C-Grad aber immer noch höher als beim A-Grad. Die eingetragenen Balken für den einfachen Standardfehler weisen für den B-Grad signifikante Unterschiede vom A-Grad nach. Die Wuchsleistung der unbehandelten Parzellen dient den behandelten als Referenz, ist gleich dem 100 %-Wert gesetzt und besitzt deshalb keinen Standardfehler.

Nach über 130-jähriger Versuchsarbeit läßt sich damit eindeutig ein Wachstumsanstieg vom A- zum B-Grad und ein Wachstumsrückgang bei Überschreitung des B-Grades konstatieren. Der Zusammenhang zwischen Dichte und Wachstum stellt sich damit als Optimumkurve dar. Die Annäherung an die maximale Dichte ist mit Wachstumseinschränkungen von 5-10 % verbunden. Dagegen nimmt die Trockenstoffleistung in den Fichten-Buchen-Mischbeständen (Abb. 2-8c) über einen breiten Dichtebereich hinweg recht ähnliche Werte an. Selbst Dichteabsenkungen über 50 % ziehen kaum Produktionsverluste nach sich. Im Vergleich zu entsprechenden Reinbeständen können Fichten-Buchen-Mischbestände Störungen durch Durchforstungseingriffe besser durch Mehrzuwachs des verbleibenden Bestandes kompensieren.

Ursache für dieses Reaktionsmuster ist die Raumbesetzung mit dominanter Fichte und dominanter aber auch subdominanter Buche. Hierdurch nimmt die Summe der Kronenschirmflächen und auch die Häufigkeit von Mehrfachüberschirmung vom Rein- zum Mischbestand zu. In solchen Beständen können Entnahmen oder Ausfälle in einer Schicht durch Zuwachs einer anderen Schicht aufgefangen werden. Diese Abpufferung wird insbesondere mit zunehmendem Alter wirksam. Im Mischbestand können die verbleibenden Bäume die entstehenden Lücken schließen, die altersbedingte Verlichtung bremsen und den Bestandeszuwachs stabil halten.

2.4 Diskussion

Aussagen über die Leistungsrelation zwischen Rein- und Mischbeständen waren in der Gründerzeit der Forstwissenschaften wegen schmalere Datenbasis mehr von Glauben als von Wissen getragen (MÖLLER, 1922; WIEDEMANN, 1951). Dank langfristiger Versuchsanlagen lässt sich heute das Wissen über Zwei-Arten-Mischungen verdichten. Je nach Artenmischung, Standort, waldbaulicher Behandlung und Risiko können die Mischungseffekte sehr unterschiedlich ausfallen. Mit der Kombination von Pionier- mit Klimaxbaumarten, ontogenetisch früh mit spätkulminierenden Arten, Licht- mit Schattenbaumarten wird ein „Job-sharing“ der Arten ermöglicht, das ihre Ressourcenausbeute um bis zu 30 % gegenüber dem Reinbestand steigern kann. Bei Ähnlichkeit der ökologischen Nischen und funktionalen Eigenschaften konkurrieren die Arten dagegen gleichzeitig um dieselben Ressourcen im Kronen- und Wurzelraum. Negative Wechselwirkungen und Minderleistungen von 30 % können die Folge sein.

Besondere Aussichten auf Mehrleistung bestehen bei Arten, die auf einem Standort etwa gleiche Leistung erbringen, und sich in ihrer räumlich-zeitlichen Raumausbeutung ergänzen. Das kann

beispielsweise durch die gemeinsame Raumbesetzung mit Lichtbaumarten (z. B. Lärche, Kiefer), Halbschattenbaumarten (Fichte, Douglasie) und Schattenbaumarten (Buche, Tanne) erreicht werden. Durch eine solche Schichtung von Arten mit unterschiedlicher Schattentoleranz kann durch obere Schichten transmittierte Strahlung von darunter liegenden Schichten genutzt werden. Produktivitätsgewinne erbringen auch Baumartenmischungen, deren Jahres- oder Altersgänge sich zeitlich ergänzen. Angenommen der Zuwachs von Art 1 in einem Zwei-Arten-Mischbestand kulminiert früh und fällt dann rasch ab, dann kann einem Abfall des Gesamtwachses durch Beimischung einer Art 2, die sich antizyklisch entwickelt, entgegengewirkt werden. ASSMANN (1970) zeigt, dass sich die arttypische Periodizität auf verschiedenen Zeitskalen widerspiegelt. Arten, die im Jahresverlauf früh kulminieren, zeigen diese Eigenschaft auch innerhalb des Lebens. Mischbaumarten mit antizyklischem Jahreszuwachs ergänzen sich häufig auch innerhalb des Alterszuwachsganges. Räumliche und zeitliche Differenzierungen in der Ressourcennutzung treten z. B. in Fichten-Buchen-Mischbeständen auch kombiniert auf. Im Frühjahr, vor Laubaustrieb der Buche, kann die Strahlung tiefer und intensiver in den Bestand eindringen, die Winterruhe der Fichte verkürzen und ihre per se überlegene Vegetationszeit gegenüber der Buche weiter nach vorne verlängern (SCHOBER, 1950/51). Die Wechselwirkungseffekte werden umso größer, je intensiver Fichte und Buche miteinander gemischt sind (ELLENBERG et al., 1986). Wie zuvor gezeigt kann aber auch eine Art alleine von der Mischung profitieren, sodass die unterlegene Art nur bei kontinuierlicher Begünstigung im Rahmen der Pflege erhalten bleibt.

In Wäldern lassen sich solche räumlich-zeitlichen Prozesse der Raumbesetzung durch Wachstum oder Raumfreigabe durch Mortalität, auf Grund der räumlichen und zeitlichen Dimensionierung individuell und zerstörungsfrei erfassen. Deshalb können langfristig und räumlich explizit aufgenommene Versuchsbestände in Wäldern einen einzigartigen Beitrag zum Verständnis der Raum-Zeit-Dynamik von Mischungen leisten.

Die für Grasland und natürliche Waldökosysteme gefundenen systematischen Leistungsanstiege um 30 bis 50 Prozent beim Übergang vom Reinbestand zur Zwei-Arten-Mischung (CASPERESEN und PACALA, 2001; HECTOR et al., 1999; LOREAU et al., 2001; PFISTERER und SCHMID, 2002) lassen sich also nur sehr eingeschränkt auf Wirtschaftswälder übertragen. Vermutlich ist in borealen und temperierten Wäldern die Nischendifferenzierung aufgrund der Artenreduktion durch die Eiszeiten und der geringeren Evolutions- und Koevolutiongeschwindigkeit langlebiger Bäume vergleichsweise gering. Deshalb fällt die Effizienzsteigerung in der Ressourcenausbeute und der Produktivitätsanstieg beim Übergang von Rein- zu Mischbeständen mit maximal 30 % geringer aus. Hinzu kommt, dass viele der

untersuchten Wälder nicht die natürliche Artenmischung repräsentieren. Es handelt sich dabei oft um Kunstprodukte aus leistungsstarken Arten wie Fichte und Douglasie, die außerhalb ihres natürlichen Verbreitungsgebietes kultiviert werden. Ihre genetische Variation spiegelt häufig nicht mehr die natürliche Selektion, sondern eine vom Menschen unter wirtschaftlichen Kriterien gesteuerte Auslese wider. Solche Wälder sind also nicht auf eine optimale Nischennutzung durch die Mischbaumarten ausgerichtet. Es können Nischenüberlappungen und Risiken auftreten, die sich in negativen Wechselwirkungseffekten der Mischung äußern.

Die Kombination mehrerer Arten ist gleichbedeutend mit einer Risikostreuung. Mischbestände sind in der Regel elastischer gegenüber Änderungen der Standortbedingungen und resilienter bei natürlichen Ausfällen oder Störungen durch waldbauliche Eingriffe. Angenommen auf einem gut wasserversorgten, basenarmen Standort im bayerischen Alpenvorland, auf dem die Fichte die Buche im Wachstum weit übertrifft, werden einem Fichtenreinbestand zur Erhöhung von Biodiversität und ästhetischem Wert Buchen beigemischt. Dann bedeutet der Ersatz der Fichte durch die langsamer wüchsige Buche unter ungestörter Entwicklung einen beträchtlichen Ertragsentgang, verursacht also Opportunitätskosten. Kalkuliert man aber die größere Stabilität gegenüber Störungen mit ein, so können die Opportunitätskosten u. U. wesentlich geringer ausfallen. Das zeigen Simulationsstudien zum Effekt der Klimaveränderungen auf das Wachstum von Rein- und Mischbeständen aus Fichte und Buche in Deutschland (PRETZSCH und DURSKY, 2002; PRETZSCH et al., 2002). Nimmt man für den genannten Standort einen Temperaturanstieg in der Vegetationsperiode um 2 Grad Celsius, ein Rückgang der Niederschläge in der Vegetationsperiode um 10 % und eine Verlängerung der Vegetationszeit um 10 Tage an, dann sinkt die Produktivität der Fichte dort um mehr als 10 %. Eine 30-prozentige Beimischung von Buche, die den unterstellten Klimaänderungen besser gewachsen ist, könnte die klimabedingten Zuwachsverluste der Fichte überkompensieren.

Ein weiteres Beispiel sind die in für die Kiefer durchgeführten Szenariorechnungen (vgl. Kap. 10, Teil I). Sie zeigen bei gleich bleibenden Niederschlagsverhältnissen und ansteigenden Temperaturen (Szenariorechnung 1) in allen untersuchten Regionen nur eine geringe Veränderung im Wachstum. Reduziert sich jedoch zusätzlich der Niederschlag während der Vegetationszeit (Szenariorechnung 2), reagiert die Kiefer mit Minderleistungen sowohl bei der Höhenentwicklung als auch beim durchschnittlichen Gesamtwuchs. Die negativen Abweichungen sind jedoch wesentlich schwächer ausgeprägt als bei der Fichte. Die Kiefer zeigt sich als Baumart mit einer breiten ökologischen Amplitude (siehe Kap. 2.2.2) die auf eine hohe Toleranz gegenüber Klimaextremen hinweist. Nach BLACEK et al. (1996) deckt die ökologische Amplitude der Kiefer die gesamte Breite der möglichen Klimaszenarien für den

mitteleuropäischen Raum ab. Sie wird damit wie die Buche zu einem wichtigen Element der Stabilität in unseren Waldbeständen. Angesichts zunehmender Störungen unserer Waldökosysteme durch Stoffeinträge und Klimaveränderungen werden die Vorteile einer solchen Risikostreuung künftig vermutlich steigen (LINDNER und CRAMER, 2002).

Abweichungen von der normalen Bestandesdichte mit lockerem Kronenschluss können Mischbestände besser abpuffern. Das gilt sowohl für eine Annäherung an die maximale Dichte durch unterlassener Pflege, als auch für Dichteabsenkungen infolge von waldbaulichen Eingriffen und Kalamitäten. Im Reinbestand besteht zwischen Dichte und Wachstum eine Optimumbeziehung. Im Mischbestand geht die Trockenstoffleistung weder bei Grundflächenabsenkungen auf 40 bis 50 % noch bei Annäherung an die maximale Dichte signifikant zurück. Dieser wichtige Zusammenhang ist in Abbildung 2-9 schematisch dargestellt.

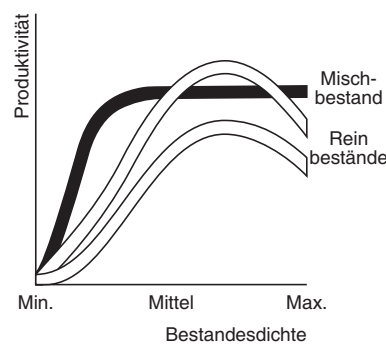


Abb. 2-9: Zusammenhang zwischen Bestandesdichte und Wachstum im Rein- und Mischbestand in schematischer Darstellung.

Dem Mischbestand (schwarz ausgezogene Linie) sind zwei Reinbestände (weiß ausgefüllte Linien) gegenübergestellt. Der erste Fall (obere Linie) unterstellt die für manche Baumarten bei mittlerer Dichte nachgewiesene Leistungsüberlegenheit des Reinbestandes gegenüber dem Mischbestand. Senkt eine Störung die Dichte ab, so reagieren Reinbestände mit empfindlichen Zuwachsverlusten und werden unterlegen. Das Wachstum im Mischbestand bleibt dagegen in einem weiten Dichtebereich stabil. Selbst wenn Mischbestände unter „normalen“ Bedingungen unterlegen sind, können sie bei Störungen oder Nichtbehandlung aufgrund ihrer größeren Resilienz eine Überlegenheit entfalten. Im zweiten Fall (untere Linie) ist der Reinbestand dem Mischbestand schon unter „Normalbedingungen“ unterlegen. In diesem Fall nimmt die Unterlegenheit bei positiven oder negativen Abweichungen von der mittleren Dichte, z. B. bei unterlassener Pflege oder ungeplanter Unterbrechung des Bestandesschlusses weiter zu. Die unter „Normalbedingungen“ gefundene Leistungsrelation zwischen Rein- und Mischbeständen kann sich also durch Einbeziehung des Risikos erheblich verschieben. Ausschlaggebend dafür ist letztlich die Eintrittswahrscheinlichkeit und das räumliche Verteilungsmuster von Schäden und

Störungen. Beispielsweise nimmt die Produktivität eines Mischbestandes nach Reduktion der Bestandesdichte (vgl. Abb. 2-9, schwarz ausgezogene Linie) umso empfindlicher ab, je geklumpter die Störung auftritt. Die temporär blendende Leistungsüberlegenheit künstlicher Reinbestände kehrt sich häufig in Unterlegenheit um, wenn die Risiken einkalkuliert werden. So ist die Fichte unter Normalbedingungen zwar auf vielen Standorten der Buche erdrückend überlegen, ihre Schädigung durch Sturmwurf ist aber vier mal so groß (von LÜPKE und SPELLMANN, 1999). Mischbestände können über solche Störungen, die gleichbedeutend mit einer abrupten Auslenkung der Bestandesdichte vom mittleren in den geringen Bereich sind, mit geringeren Zuwachsverlusten als Reinbestände hinwegkommen. Stärkere Einbrüche der Bestandesdichte, beispielsweise durch flächendeckenden Windwurf vorwüchsiger und großkroniger Fichten in Mischbeständen mit führender Buche (ROTTMANN, 1986), verursachen aber auch in Mischbeständen empfindliche Zuwachsverluste.

Die gefundenen Leistungsrelationen in der Trockenstoffleistung alleine erlauben selbstverständlich noch keine Entscheidung für die Begründung von Rein- oder Mischbeständen oder für eine bestimmte Bestockungsdichte. Eine solche Entscheidung wird je nach Rahmenbedingungen und Zielhierarchie, wenn beispielsweise die Quantität der Produktion (z. B. Papierholz, Energieholz, C-Speicherung), die Qualität (z. B. Bau- oder Furnierholz) oder Sicherheit und Risikovorsorge (Stabilisierung gegen Sturm oder Erosionsschutz) im Vordergrund stehen, sehr unterschiedlich ausfallen. Vergewärtigt man sich aber, dass eine geeignete Mischung die Trockensubstanzproduktion um bis zu 30 Prozent erhöhen kann und darüber hinaus andere Waldfunktionen gewährleistet, so können die aufgezeigten Leistungsrelationen zum ausschlaggebenden Kriterium der Entscheidungsfindung werden. Aufgrund ihrer im Vergleich zu annuellen Systemen um zwei Zehnerpotenzen längeren Lebensdauer haftet Wäldern eine höhere Risikogefährdung an. Hinzu kommen zyklische Störungen durch waldbauliche Eingriffe. Deshalb hat die durch Mischung hergestellte Risikostreuung in Wäldern einen größeren Stellenwert als in kurzlebigeren Ökosystemen. Die Risikostreuung durch Baumartenvielfalt muss aber nicht zwangsläufig auf eine Baumartenmischung hinauslaufen. Denn die gewünschte Diversifikation könnte man auch durch räumlich voneinander getrennte Reinbestände dieser Arten herstellen. Durch eine solche räumliche Trennung der Arten könnten sogar etwaige negative Wechselwirkungen der Artenmischung umgangen und vermehrter Pflegeaufwand bei enger Verzahnung von Mischbaumarten mit unterschiedlichem Leistungsvermögen vermieden werden. Die gefundenen positiven Mischungseffekte bis zu 30 %, die Zuwachsresilienz gegenüber Störungen und Einsparung von Bestandesbegründungskosten bei Totalausfall einer Art können aber nur bei inniger Verzahnung ausgeschöpft werden.

3 Wuchsreihen als unechte Zeitreihen

Am Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Technischen Universität München wurde von 1994 bis 2003 das vom Kuratorium der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft geförderte Projekt „Konzeption und Konstruktion von Wuchs- und Prognosemodellen für Mischbestände in Bayern“ bearbeitet (Projekt W28). Als Grundvoraussetzung für eine statistisch abgesicherte Modellierung des Baumwachstums in Mischbeständen stand dabei die Anlage von Versuchsflächen in Mischbeständen zur Datenbeschaffung und Auswertung im Vordergrund. Die wesentlichen Schritte des Forschungsprojektes bestanden in der Entwicklung, Parametrisierung und Evaluierung des Wachstumsmodells SILVA für Rein- und Mischbestände aus Fichte, Tanne, Kiefer, Buche, Eiche, Edellaubholz, Lärche und Douglasie. Um die Parametrisierung des Wachstums der Kiefer im Mischbestand auf ein breites Fundament zu stellen, wurden drei sogenannte Wuchsreihen neu angelegt, auf denen die Kiefer in Mischung mit der Buche oder Fichte vorkommt.

3.1 Wuchsreihen zur Erfassung der Struktur und Leistung von Mischbeständen

Die Methode, über die Anlage von Wuchsreihen eine langfristige Beobachtung einer echten Zeitreihe zu umgehen, wurde in der Vergangenheit in Reinbeständen mit dem hauptsächlichen Ziel einer Ertragstafelkonstruktion angewendet. Hier bewährt sich das gewählte Verfahren als Aufnahme- und Versuchskonzept zur Erfassung der Wuchsdynamik von Reinbeständen mit ihren Bestandessummen- und Bestandesmittelwerten. Die Verteilung von Beobachtungsflächen über den gesamten, erwünschten oder möglichen Altersrahmen auf homogenen Standorteinheiten ersetzt das zeitliche Nacheinander durch das räumliche Nebeneinander. Über eine Interpolation zwischen den Zustandsaltern der einzelnen Parzellen lässt sich über den gesamten Altersrahmen für die wichtigsten Ertragselemente eine stetige Altersentwicklung ableiten.

Außer flächenbezogenen Struktur- und Leistungsdaten erbringen die Wuchsreihen in Mischbeständen demgegenüber zusätzliche Informationen über das Zuwachsverhalten von Einzelbäumen in Abhängigkeit von Baummerkmalen, Umgebungsparametern, Bestandesmerkmalen und Behandlungseffekten. Für einen möglichst breiten Altersrahmen werden Angaben über die baumartentypische Reaktion des Durchmesser-, Höhen- und Kronenbreitenwachstums, die Verschiebung der Kronenansatzhöhe und die Mortalität von Einzelbäumen bei verschiedenen Konkurrenz- und Nachbarschaftssituationen erfasst. Die gewählten Flächengrößen der Parzellen erlauben dabei die Ausweisung eines möglichst breiten Spektrums von Mischungsformen (Einzel-, Trupp-, Gruppen- bis Horstmischung, Ein- und

Mehrschichtigkeit) mit differenzierten Konkurrenz- und Nachbarschaftsverhältnissen der Einzelbäume. Denn gerade die Extrembereiche im Bestandaufbau sind für die modellhafte Abbildung der Reaktionskinetik von Einzelbäumen in Abhängigkeit von der Wuchskonstellation bzw. Konkurrenzsituation besonders ergiebig.

Anders als bei Wuchsreihen, mit denen Reinbestands-Ertragstabellen datenmäßig untermauert werden sollen, zielt die Anlage und Aufnahme der Wuchsreihen für die Konstruktion einzelbaumorientierter Mischbestandsmodelle also nicht auf die Auswahl möglichst homogener Bestandesteile und auf die Erfassung des Bestandes als eigentliche Informationseinheit, die über ertragskundliche Bestandessummen- und Mittelwerte charakterisiert wird. Die eigentliche Zielgröße bei den neu angelegten Wuchsreihen ist der Einzelbaum mit seinen spezifischen Zustands- und Leistungsparametern.

Unter einer Wuchsreihe wird eine Altersreihe von Beobachtungsflächen mit spezieller Artenmischung auf einer homogenen Standorteinheit verstanden. Für die Kiefer-Mischbestands-Wuchsreihen spannt sich ein beobachteter Altersrahmen zwischen 15 und 200 Jahren auf. Die Parzellengrößen betragen dabei zwischen 0.1 und 0.7 ha. Das differenzierte Aufnahme-Konzept in Mischbeständen zur Erfassung wichtiger dendrometrischer Parameter des Einzelbaums gewährleistet ein einheitlich strukturiertes und formatiertes Datenmaterial über die dreidimensionale Struktur in Mischbeständen.

Messgrößen auf den Wuchsreihen innerhalb einer Erstaufnahme:

- Bestimmung der Baumart
- Ansprache der Baumklasse nach KRAFT
- Umfangmessung des BHD in mm und Kodierung von Besonderheiten wie Zwiesel, Kronenbrüche, Rückeschäden etc.
- Einmessen der Baumpositionen mit xyz-Koordinaten, inkl. der Stöcke und Ecken von Kern- und Außenfläche
- Aufnahme der Stöcke mit Durchmesser, Art, Ausscheidungsgrund und Bestimmung des Alters
- Zuwachsbohrung in 1,1 m Höhe, um durch mögliche Wulstbildungen an der Bohrstelle langfristig eine unverfälschte BHD-Messung in 1,3 m Höhe zu gewährleisten (Bäume ab 12 cm BHD werden einmal von NO gebohrt, ab 20 cm sowohl von NO als auch von SW)
- Messung der Höhe und der Kronenansatzhöhe an einem zusammenhängenden Baumkollektiv (mindestens 200 Bäume)
- Kronenablotung aller Bäume, von denen die Höhe erfasst wurde (8 Kronenradien: N, NO, O, SO, ..., NW) mit tangentialer Hochblickmethode unter Zuhilfenahme des Dachlotes
- Aufnahme der Naturverjüngung.

Alle Versuchsflächen werden umfassend ertragskundlich ausgewertet mit Angaben zu Stammzahlen, Grundflächen und Vorräten, Mittelhöhen, Mitteldurchmessern, Zuwächsen und

Mischungsanteilen. Ergänzt durch detaillierte Strukturanalysen zum Bestandesaufbau entsteht ein zuverlässiger Datenbestand über die Zuwachsdynamik auf Einzelbaum- und Bestandesebene.

3.2 Wiederholungsaufnahmen

Als langfristige Versuchsanlagen konzipiert, unterliegen die Parzellen der Wuchsreihen zukünftig einer ständigen ertragskundlichen Beobachtung und erlauben damit Einblick in das aktuelle, sich über der Zeit verändernde Wuchsverhalten der Versuchsbestände. Gerade diese Permanenz der Beobachtung gewährleistet abgesicherte Aussagen über die Reaktionen und Veränderungen der Bäume auf unterschiedlichste Einflüsse.

Fünf bis sieben Jahre nach der Anlage und Erstaufnahme einer Wuchsreihe wird eine Wiederholungsaufnahme durchgeführt, die sich in der Regel auf die BHD's aller Bäume sowie Höhe und Kronenansatzhöhe eines ausgewählten Kollektivs beschränkt.

Messgrößen auf den Wuchsreihen bei einer Wiederholungsaufnahme:

- Umfangmessung des BHD aller Bäume in mm und Kodierung von Besonderheiten wie Zwiesel, Kronenbrüche, Rückeschäden etc.
- Messung der Höhe und der Kronenansatzhöhe an den Messbäumen der Erstaufnahme.

Mit diesen Baumparametern lassen sich die wesentlichen ertragskundlichen Kenngrößen für den Zustand und den Zuwachs der Bestände rechnerisch ableiten. Der Arbeitsaufwand bei der Wiederholungsaufnahme wird damit bei gleichzeitig sehr großem Output an ertrags- und waldwachstumkundlichen Erkenntnissen stark reduziert. Daneben können im Rahmen einer Folgeaufnahme Ausreißer und fehlerhafte Messungen erkannt und korrigiert werden, was die Ergebnisse früherer Aufnahmen und Messungen verbessert oder festigt.

Indem die bei der Erstaufnahme als künstliche Zeitreihe (Altersreihe) vorliegenden Befunde durch Wiederholungsaufnahmen mehr und mehr zu einer echten Zeitreihe ausgebaut werden, lässt sich in den folgenden Jahren im Zusammenspiel aller Parzellen der Wuchsreihe ein lückenloses Abbild der Entwicklung wichtiger Mischungsarten auf ausgewählten Standorten erzeugen. Das räumliche Nebeneinander als Ersatz für das zeitliche Nacheinander verliert damit mehr und mehr seine Behelfsfunktion.

4 Kiefern/Buchen- und Kiefern/Fichten-Wuchsreihen

Die Ergebnisse über das Wuchsverhalten der Kiefer im Mischbestand und die Ableitung erkennbarer Reaktionsmuster in vorliegender Untersuchung fußen im wesentlichen auf Datenerhebungen von drei Wuchsreihen, auf denen der Kiefer eine zentrale Rolle zukommt. Dabei handelt es sich um die Wuchsreihen Geisenfeld 832, Amberg 833 und Neuburg 841.

Grundlage zur Anlage von Mischbestandswuchsreihen in Bayern bildet das Wuchsreihenkonzept (PRETZSCH, 1994), nach dem die Wuchsreihen verschiedener Mischungskombinationen Standorte guter, mittlerer und schlechter Wuchsleistung abdecken sollen. Über diese Stützstellen des gesamten vorkommenden Standortpektrums werden Standort-Leistungsbeziehungen über alle Wuchsreihen einer Mischungsform hinweg abgeleitet. Die Konzentration der Wuchsreihen auf Gebiete, in denen die ausgewählte Mischungsart flächendeckend vorkommt, gewährleistet eine hohe Praxisrelevanz der Versuchsanlagen.

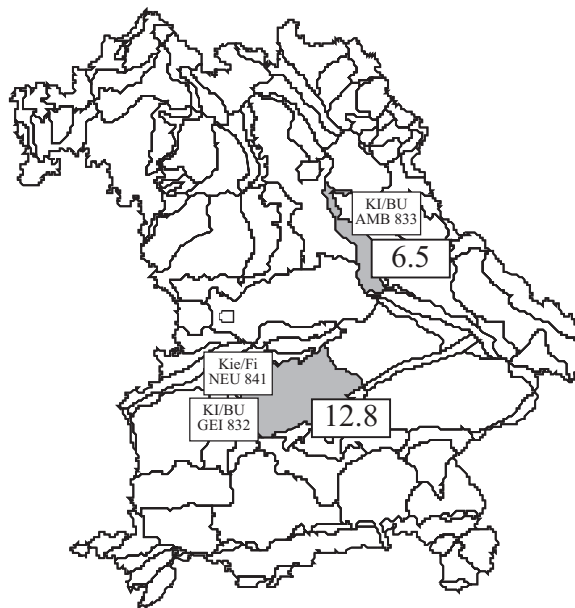


Abb. 4-1: Lage der Kiefern/Buchen- und Kiefern/Fichten-Wuchsreihen Geisenfeld 832, Amberg 833 und Neuburg 841 in den Wuchsgebieten 6.5 und 12.8.

Die Wahl geeigneter Wuchsreihen für Kiefern/Buchen-Mischbestände fiel zum einen auf die Forstämter Geisenfeld und Neuburg a. d. Donau im Wuchsgebiet 12, „Tertiäres Hügelland“, weil hier die Flächenanteile der entsprechenden Standorteinheiten, auf denen die Bestandesform Kiefer/Buche als standortgemäß bezeichnet werden kann, für die Auswahl und Anlage entsprechender Versuchspartellen groß genug waren (Abb. 4-1).

Bei der Anlage der Wuchsreihe konnten die Anforderungen des Wuchsreihenkonzepts nicht immer in vollem Umfang erfüllt werden. Bis zu einem Alter von 55 Jahren wird die Altersspanne auf den Parzellen 832/1 bis 832/4 mit den Altersstufen 18, 28, 50 und 55 sehr gut abgebildet, danach fehlt allerdings ein Bindeglied zu den hohen Altern von 140 bzw. 200 Jahren. Trotz einer intensiven Suche nach einem standörtlich geeigneten Mischbestand in diesem Altersbereich, die sich auf die beiden benachbarten Forstämter Neuburg und Geisenfeld ausdehnte, konnte keine entsprechende Versuchsparzelle ausgewiesen werden. Die Auswertungen zeigen jedoch, dass gerade diesen hohen Altersbereichen, über welche die Ertragstabellen keine Aussage mehr erlauben, eine Bedeutung für die Abschätzung des Wuchsverhaltens der Baumarten im Mischbestand zukommt. Die Ergebnisse der Wiederholungsaufnahmen werden dabei helfen, diese Lücken langsam zu schließen.

Die vom Bestandesaufbau sehr gut strukturierte Parzelle 832/2 mit einem Alter von 28 Jahren (zum Zeitpunkt der Erstaufnahme) umfasst flächenmäßig nur ein relativ kleines Areal von 0.13 ha. Da der direkt benachbarte Kiefern/Buchen-Mischbestand mit einem Alter von 18 Jahren ebenfalls die strukturellen Anforderungen des Wuchsreihenkonzeptes erfüllte, wurden beide Bestandesteile zu einer Parzelle zusammengefasst (832/2), ertragskundlich aber getrennt ausgewertet (832/2a und 832/2b). Um sich auf die wesentlichen Stützpunkte der Altersreihe auf dieser Wuchsreihe zu beschränken, wird in den entsprechenden Darstellungen in der Regel die Parzelle 832/2a angesprochen.

Ausschlaggebend für die Wahl der Kiefern/Buchen-Wuchsreihe Amberg 833 auf Tripelstandorten mit ihrem mittleren Nährstoffangebot im Wuchsgebiet 6, „Frankenalb und Oberpfälzer Jura“ (Abb. 4-1), war die Tatsache, dass auf solchen Standorten eine Beteiligung der Buche am Hauptbestand und eine Wertholzproduktion der Kiefer möglich sind. Innerhalb des Standortspektrums der Oberpfälzer Kiefern-Reinbestände kommen die mit dieser Wuchsreihe repräsentierten Standorte besonders für Mischbestände infrage.

Die Anlage der Wuchsreihe geht auf das Jahr 1991 zurück. Von den ursprünglich fünf vorhandenen Parzellen diente die Parzelle 833/1 mit ihren Abmessungen von 8 m * 8 m lediglich zur Erforschung der Verjüngungsdynamik in Kiefern/Buchen-Mischbeständen und wurde einem gesonderten Aufnahmekonzept unterzogen. Einer Vergrößerung dieser Parzelle stand die uneinheitliche Bestandesstruktur und die enge standörtliche Begrenzung ihrer Umgebung im Wege. Bei der ersten Wiederholungsaufnahme im Herbst 1994 wurde diese Parzelle nicht mehr aufgenommen und aus der Versuchsanlage herausgenommen. Nach intensiver Suche gelang es in der Folge, mit der Neuanlage einer jungen Parzelle den Altersrahmen der Wuchsreihe weiter aufzuspannen. Ähnlich wie auf der Kiefern/Buchen-Wuchsreihe Geisenfeld 832 wird das

Baumartenspektrum in Amberg 833 auf allen Parzellen durch die Fichte erweitert, die anteilmäßig sogar die Kiefer übertreffen kann.

Bei der Suche nach geeigneten Versuchspartellen für die Kiefern/Buchen-Wuchsreihe Geisenfeld 832 innerhalb der Forstämter Geisenfeld und Neuburg fiel der flächenmäßig sehr hohe Anteil an Kiefern/Fichten-Mischbeständen auf. Da die Datenlage über diese Mischbestandsform gering ist, sollten über die Anlage einer Wuchsreihe dieser Mischungsart neue ertragskundliche Zustands- und Zuwachsdaten erarbeitet werden. Mit der räumlich unmittelbaren Nähe einer Kiefern/Buchen-Wuchsreihe besteht zudem die Möglichkeit eines direkten Vergleichs beider Bestandesformen.

Tab. 4-1: Übersicht über die angelegten Wuchsreihen in Kiefer-Mischbeständen im Rahmen des Projektes W28.

Nr.	Name	Mischung	Altersspanne	Erstaufnahme	Wiederholungs- aufnahme	Anzahl Parzellen
1	Geisenfeld 832	Kiefer/Buche	15 - 200	1996	2002	6
2	Amberg 833	Kiefer/Buche	26 - 109	1991, 1995	1995, 2001	5
3	Neuburg 841	Kiefer/Fichte	22 - 101	1997	-	6

Für die umfangreichen Auswertungen über das Wachstum der Kiefer in Mischbeständen kann damit auf das Datenmaterial aus drei Wuchsreihen der Artenkombinationen Kiefer/Buche und Kiefer/Fichte zurückgegriffen werden (Tab. 4-1). Für die Wuchsreihen in Geisenfeld und Amberg liegen Ergebnisse von Wiederholungsaufnahmen vor, so dass deren Bestandesentwicklung nicht mehr allein über Bohrkernanalysen abgeleitet werden muss.

Tab. 4-2: Anzahl der innerhalb der Erstaufnahme dendrometrisch erfassten Kenngrößen auf den Kiefern/Buchen- und Kiefern/Fichten-Wuchsreihen.

Name	Baumarten	Anzahl an Messungen					
		BHD	Höhen	Kronen- ablotungen	Bohrkerne	Jahrringe	maximale Jahrringe
Geisenfeld 832	Kiefer	1263	433	419	362	12246	129
	Fichte	428	201	156	98	3054	71
	Buche	1643	434	438	411	24067	95
Amberg 833	Kiefer	484	420	396	319	8597	110
	Fichte	274	253	216	180	6094	101
	Buche	294	329	289	175	7436	111
Neuburg 841	Kiefer	1978	520	458	721	29501	96
	Fichte	3515	1023	944	804	36589	102
	Summe	9879	3613	3316	3070	127584	-

Tabelle 4-2 vermittelt einen Überblick über einige wichtige, baumartenspezifische Messgrößen der Erstaufnahme auf den Wuchsreihen. Dabei wird allerdings nicht berücksichtigt, dass sich dieser Datenfundus seit dem Einsetzen der Wiederholungsaufnahmen mit Messwerten und Auswertungsergebnissen ständig erweitert.

Die Erhebung dieser Einzelbaumdaten im Rahmen der Aufnahme- und Auswertungsarbeiten bei der Anlage von Kiefern/Buchen und Kiefern/Fichten-Wuchsreihen führte zu einem einheitlich strukturierten und formatierten Datenpool, der weit über 200 000 Datensätze umfasst. Die Daten werden für verschiedene Zwecke genutzt: einerseits zur deskriptiven Beschreibung von Leistung und Struktur von Bäumen und Beständen, wobei das Datenmaterial eine Wissensbasis über das Wachstum der Kiefer in Rein- und Mischbeständen bildet. Zum anderen werden die Daten zur Konstruktion, Parametrisierung und Validierung des Wachstumsmodells SILVA eingesetzt. Dabei ist eine qualitäts- und anwendungsorientierte Datenverwaltung über eine relationale Datenbank ist von besonderer Bedeutung.

4.1 Übersicht über Lage und Standort der Kiefern/Buchen- und Kiefern/Fichten-Wuchsreihen

Tab. 4-3: Standorteinheiten der Parzellen der Kiefern/Buchen- und Kiefern/Fichten-Wuchsreihen Geisenfeld 832 und Neuburg 841.

Wuchsreihe	Parzelle	Wuchsbezirk	Standort-einheit	Beschreibung
GEI 832	1, 3, 4, 6	12.8 Oberbayerisches Tertiärhügelland	101	mäßig trockene bis mäßig frische, kiesige, mäßig lehmige Sande
	2, 5		103	mäßig trockene, kiesige, schwach lehmige Sande
NEU 841	1, 4		101	mäßig trockene bis mäßig frische, kiesige, mäßig lehmige Sande
	2, 3, 5, 6		102	mäßig frische, lehmige Sande

Tab. 4-4: Standorteinheiten der Parzellen der Kiefern/Buchen-Wuchsreihe Amberg 833.

Wuchsreihe	Parzelle	Wuchsbezirk	Standort-einheit	Beschreibung
AMB 833	1, 2, 3, 4, 6	6.5 Oberpfälzer Jurarand	313	ziemlich frischer sandig-schluffiger Lehm mit Unterbodenverdichtung
	5		853	ziemlich frischer Schichtlehm über Kalkverwitterungslehm
	5		442	mäßig frischer Kalkverwitterungslehm

Zur Einordnung der Wuchsleistungen der behandelten Mischbaumarten werden in den Tabellen 4-3 und 4-4 die Standorteinheiten der Parzellen der drei Wuchsreihen zusammenfassend gegenübergestellt.

4.1.1 Wuchsreihe Geisenfeld 832

Bei der Versuchsanlage Geisenfeld 832 handelt es sich um eine Wuchsreihe aus Kiefern/Buchen-Mischbeständen mit unterschiedlichem Fichtenanteil, die auf Sandböden des Oberbayerischen Tertiären Hügellandes gelegen ist. Die Wuchsreihe umfasst sechs Parzellen, die einen Altersrahmen von 18 (832/1) bis 200 Jahren (832/6) abdecken. Die Bestandesvorräte reichen von 154 bis 570 VfmD je ha und sind mit laufenden jährlichen Volumenzuwächsen von 10 bis 17 VfmD je ha und Jahr verbunden.

Im Herbst 1996 wurden sechs Parzellen angelegt (Nr. 1, 2, 3, 4, 5 und 6), wobei die Parzellen 832/1, 832/3 und 832/6 im Bereich des Forstamtes Neuburg a. d. Donau liegen, während die Parzellen 832/2, 832/4 und 832/5 dem Forstamt Geisenfeld zuzuordnen sind. Die Flächengrößen betragen zwischen 0.17 und 0.74 ha in der Horizontalprojektion (Tab. 4-5).

Tab. 4-5: Altersübersicht, Flächengrößen und Waldorte der Wuchsreihe Geisenfeld 832.

Parzelle	Bestandesalter	Flächenmaße	Horizontalprojektion	Waldort
1	18 (Kie) - 40 (Bu)	47 m * 37 m	1753 m ²	XI 20 a ⁵ Jägerbrunnen
2	28 (Kie) - 28 (Bu)	60 m * 40 m	2353 m ²	XII 2 a ² Sandberg
3	56 (Kie) - 56 (Bu)	60 m * 40 m	2389 m ²	XI 20 a ³ Jägerbrunnen
4	50 (Kie) - 50 (Bu)	47 m * 45 m	2107 m ²	VIII 3 c ¹ Wendelgehau
5	140 (Kie) - 60 (Bu)	80 m * 60 m	4767 m ²	XII 1 a ⁰ Forstfeld
6	200 (Kie) - 100 (Bu)	100 m * 70 m	7352 m ²	XI 3 a ⁰ Hintergasselweg

Bei einer durchschnittlichen Höhe von 425 m über NN befinden sich die Parzellen in ebener bis schwach geneigter Lage (Tab. 4-6).

Tab. 4-6: Topographische Lage der Parzellen von Geisenfeld 832. GL = Geographische Länge, GB = Geographische Breite, GKR = Gauss-Krüger Rechtswert, GKH = Gauss-Krüger Hochwert, HNN = Höhe über Normal Null [m], HNg = Hangneigung [Grad], Exp = Exposition [Grad].

Parzelle	GL	GB	GKR	GKH	HNN	HNg	Exp
1	11.2	48.6	4442200	5381100	430	7.2	280
2	11.4	48.6	4453600	5386500	430	0	-
3	11.2	48.6	4442300	5381100	430	5.5	135
4	11.7	48.6	4474000	5390700	420	5.0	90
5	11.4	48.6	4453650	5386300	430	6.7	180
6	11.2	48.6	4442000	5382950	420	0	-

Grundlage für die Bodenbildung sind Fein- und Mittelsande des Tertiärs, die Bodentypen sind Braunerden und Podsol-Braunerden. Als Bodenarten finden sich mäßig trockene bis mäßig frische, kiesige, mäßig lehmige Sande, mäßig trockene, kiesige, schwach lehmige Sande und mäßig frische, lehmige Sande. Bei geringem Skelettanteil ist die Durchlüftung ausgezeichnet, der Wasserhaushalt und die Nährstoffversorgung aufgrund der hohen Sandkomponente dagegen schlecht (Trockenklemmen). Als Humusform kommt Moder oder Rohhumus vor, eine Podsolierung ist mehr oder weniger stark ausgeprägt. Die potentielle Waldgesellschaft ist ein Eichen/Kiefern-Wald. Aufgrund der Siedlungsnähe wurden sicherlich Streunutzungen vorgenommen.

Tab. 4-7: Die wichtigsten Klimaangaben zur Wuchsreihe Geisenfeld 832.

Niederschlag im Jahr	725 mm
Niederschlag in der Vegetationszeit	410 mm
Jahresmitteltemperatur	7.6 °C
Mitteltemperatur in der Vegetationszeit	14.7 °C
Jahrestemperaturamplitude	19.5 °C
Anzahl der Tage mit Temperaturen ≥ 10 °C	156 Tage

Das Klima auf der Wuchsreihe wird durch Niederschläge von 410 mm in der Vegetationszeit und einer Mitteltemperatur in der Vegetationszeit von 14.7 °C charakterisiert. Dieser Wert ist recht hoch, ebenso ist die Dauer der Vegetationszeit bei 156 Tagen mit Temperaturen ≥ 10 °C verhältnismäßig lang (Tab. 4-7).

4.1.2 Wuchsreihe Neuburg 841

Die Kiefern/Fichten-Wuchsreihe Neuburg 841 liegt auf Sandböden des Oberbayerischen Tertiären Hügellandes im Bereich des staatlichen Forstamts Neuburg. Die sechs Parzellen umspannen einen Altersrahmen von 22 (841/1) bis 101 Jahren (841/4), wobei die Bestandesvorräte 253 bis 876 VfmD je ha erreichen. Die mittleren periodischen Volumenzuwächse betragen 15 bis 21 VfmD je ha und Jahr.

Tab. 4-8: Altersübersicht, Flächengrößen und Waldorte der Wuchsreihe Neuburg 841.

Parzelle	Bestandesalter	Flächenmaße	Horizontalprojektion	Waldort
1	22 (Kie) - 22 (Fi)	50 m * 50 m	2471 m ²	XI 20 a ⁵ Jägerbrunnen
2	45 (Kie) - 43 (Fi)	60 m * 50 m	3006 m ²	XI 11 2 Vogelherd
3	45 (Kie) - 43 (Fi)	80 m * 50 m	4014 m ²	XI 11 2 Vogelherd
4	101 (Kie) - 98 (Fi)	60 m * 80 m	4804 m ²	XI 4 b ⁰ Jägertafel
5	85 (Kie) - 85 (Fi)	80 m * 70 m	5577 m ²	XI 4 b ¹ Jägertafel
6	100 (Kie) - 97 (Fi)	60 m * 80 m	4777 m ²	XI 4 a ¹ Jägertafel

Die Anlage der sechs Parzellen der Wuchsreihe mit Flächengrößen zwischen 0.25 und 0.56 ha erfolgte im Herbst 1997 (Tab. 4-8). Die Parzellen dieser Wuchsreihe liegen zum Teil weniger als 100 m von den Parzellen der Kiefern/Buchen-Wuchsreihe Geisenfeld 832 entfernt.

Das Alter von Fichte und Kiefer liegt im Hauptbestand stets relativ eng zusammen, bei der Fichte ist die Altersstreuung aber zum Teil beträchtlich, weil sie auch im Unter- und Zwischenstand über Naturverjüngung vorkommt.

Tab. 4-9: Topographische Lage der Parzellen von Neuburg 841 (Legende vgl. Tabelle 4-6).

Parzelle	GL	GB	GKR	GKH	HNN	HNg	Exp
1	11.2	48.6	4442400	5380920	430	8.7	180
2	11.2	48.6	4442120	5382250	430	2.0	10
3	11.2	48.6	4442150	5382200	430	2.0	180
4	11.2	48.6	4441950	5382450	430	0	-
5	11.2	48.6	4441650	5382700	430	0	-
6	11.2	48.6	4442250	5382650	430	0	-

Die räumliche Nähe zur Wuchsreihe Geisenfeld 832 spiegelt sich in ähnlichen Standortbedingungen mit jener Wuchsreihe wider (vgl. Abschnitt 4.1.1).

4.1.3 Wuchsreihe Amberg 833

Die Wuchsreihe Amberg 833 aus Kiefern/Buchen-Mischbeständen mit hohem Fichtenanteil wurde auf Tripelstandorten der Oberpfalz im staatlichen Forstamt Amberg etabliert. Die sechs Parzellen der Wuchsreihe umfassen einen Altersrahmen von 26 (833/6) bis 109 Jahren (833/5). Den Bestandesvorräten von 132 bis 832 VfmD m. R. je ha stehen laufende jährliche Volumenzuwächse von 11 bis 21 VfmD m. R. je ha und Jahr gegenüber.

Tab. 4-10: Altersübersicht, Flächengrößen und Waldorte der Wuchsreihe Amberg 833.

Parzelle	Bestandesalter	Flächenmaße	Horizontalprojektion	Waldort
1	< 10	8 m * 8 m	64 m ²	III. 1a ³ Weberloch
2	44 (Kie) - 58 (Bu)	30 m * 40 m	1200 m ²	IV. 16a ³ Lehenbühl
3	56 (Kie) - 56 (Bu)	30 m * 30 m	900 m ²	III. 14b ¹ Kuchenschlag
4	90 (Kie) - 91 (Bu)	30 m * 40 m	1200 m ²	V. 5a ¹ Sallerödertal
5	111 (Kie) - 112 (Bu)	70 m * 55 m	1200 m ²	IV. 17a ² Hohenfelsen
6	26 (Kie) - 36 (Bu)	35 m * 70 m	2387 m ²	III. 7 c ⁰ Schallerleite

In einer ersten Phase des Projektes W28 wurden im Herbst 1991 fünf Parzellen angelegt (Nr. 1, 2, 3, 4 und 5). Um das Altersspektrum der Wuchsreihe zu ergänzen, wurde sie im Frühjahr 1995 im Rahmen einer Wiederholungsaufnahme um eine zusätzliche Parzelle erweitert (833/6).

Abgesehen von der jüngsten Parzelle 833/1 betragen die Flächengrößen 0.09 bis 0.24 ha (Tabelle 4-10).

Die Parzellen der Wuchsreihe sind relativ klein. Da sie zudem aus einer Vorphase des Projektes W28 stammen, ist das Aufnahme-konzept etwas unterschiedlich, liefert aber ähnliche Kennwerte wie die übrigen Wuchsreihen. Die 1995 neu angelegte Parzelle 833/6 folgt dagegen dem standardisierten Aufnahme-konzept.

Tab. 4-11: Topographische Lage der Parzellen von Amberg 833 (Legende vgl. Tabelle 3-6).

Parzelle	GL	GB	GKR	GKH	HNN	HNg	Exp
1	11.5	49.2	4492500	5467300	480	2	135
2	11.5	49.2	4488000	5468500	515	0	-
3	11.5	49.2	4493900	5462200	485	6	135
4	11.5	49.2	4489900	5468800	480	5	225
5	11.5	49.2	4489600	5467600	485	5	225
6	11.5	49.2	4493200	5465200	485	2.7	0

Die Wuchsreihe Amberg 833 liegt auf Meereshöhen zwischen 480 m und 515 m in ebenem bis schwach geneigtem Gelände (Tab. 4-11). Die Nährstoffversorgung ist zumeist gering, der Boden gilt als mäßig frisch.

Die klimatischen Verhältnisse sind geprägt durch nur 350 mm Niederschlag in der Vegetationszeit, die Temperaturen liegen dann bei durchschnittlich 14.7 °C. Die Vegetationszeit ist bei ca. 150 Tagen mit Temperaturen ≥ 10 °C relativ lang (Tab. 4-12). Bei ähnlich durchschnittlichen Temperaturverhältnissen wie in Geisenfeld 832 und Neuburg 841 bleibt die Niederschlagsmenge hier im Vergleich deutlich zurück.

Tab. 4-12: Die wichtigsten Klimaangaben zur Wuchsreihe Amberg 833.

Niederschlag im Jahr	650 mm
Niederschlag in der Vegetationszeit	350 mm
Jahresmitteltemperatur	7.5 °C
Mitteltemperatur in der Vegetationszeit	14.7 °C
Jahrestemperaturamplitude	19.3 °C
Anzahl der Tage mit Temperaturen ≥ 10 °C	150 Tage

Bei dem Ausgangsgestein handelt es sich um Kreide der Reinhausener Schichten, die Bodentypen sind Braunerden. Als Bodenart wird frischer sandig-schluffiger Lehm mit Unterbodenverdichtung angetroffen. Der Boden ist bei einer Durchwurzelungstiefe von ca. 70 - 90 cm mittel- bis tiefgründig mit geringem Skelettanteil. Die Durchlüftung ist im Oberboden gut, ab 50 cm jedoch eingeschränkt oder schlecht. Als Humusform kommt fein- bis rohhumusartiger

Moder vor. Kalkanschluss ist nicht vorhanden, eine Podsolierung nur schwach ausgeprägt. Die potentielle Waldgesellschaft auf diesen Tripelböden ist ein Hainsimsen-Buchenwald (Luzulo-Fagetum). Auf Grund der Siedlungsnähe wurden Streunutzungen vorgenommen, für die einzelnen Parzellen liegen darüber aber keine genaueren Angaben über deren Ausmaß vor.

Die Parzelle 833/5 liegt standörtlich abweichend auf Kreide über Malmverwitterung (dolomitischer Massenkalk). Der ziemlich frische Schichtlehm über Kalkverwitterungslehm wird der Standorteinheit 853 zugeordnet (im südöstlichen Teil der Parzelle mäßig frischer Kalkverwitterungslehm, Standorteinheit 442).

4.2 Bestandesbegründung und Bestandesstruktur

Aus den Revierbüchern ist in aller Regel die Form der Bestandesbegründungen nicht mehr nachvollziehbar. Eine Bestandesanalyse auf den jüngsten Parzellen der Wuchsreihen legt die Vermutung nahe, dass die Kiefer überwiegend in Reihen gepflanzt oder gesät und die Buche gruppen- oder truppweise dazwischen eingebracht wurde. Das oft unterschiedliche Alter beider Baumarten rechtfertigt dabei die Annahme eines Voranbaus der Laubbaumart, lässt aber auf einigen Parzellen auch die Möglichkeit des Aufkommens durch Naturverjüngung, einer Einzelpflanzung oder eines späteren flächigen Nachanbaus zu. Der oft beträchtliche Anteil der Fichte auf den Kiefern/Buchen-Wuchsreihen Geisenfeld 832 und Amberg 833 dürfte mit Sicherheit auf das Aufkommen von Naturverjüngung zurückzuführen sein.

Demgegenüber beweist die Bestandesstruktur der jüngsten Parzelle der Kiefern/Fichten-Wuchsreihe Neuburg 841, dass hier Kiefer und Fichte gleichzeitig und in Reihen ausgebracht wurden, eine Tatsache, die sich allerdings schon auf den nächstälteren Parzellen der Wuchsreihe nicht mehr rekonstruieren lässt. Einer teilweisen künstlichen Einbringung der Fichte mag hier im überwiegenden Teil die Herkunft aus Naturverjüngung gegenüberstehen und die große Bandbreite von Durchmesser, Höhen und Altersstufen dieser Baumart auf den einzelnen Parzellen erklären. Diese strukturelle Eigenheit der Kiefern/Fichten-Wuchsreihe Neuburg 841 entzieht einige Parzellen teilweise einer einheitlichen Auswertung und erlaubt es damit nur in Ausnahmefällen, die unterschiedlichen Reaktionsmuster der Kiefer in Mischung mit der Buche denen mit der Fichte gegenüberzustellen.

Um die Vielfalt der vorstellbaren Bestandesstrukturen zu präzisieren, seien einige dreidimensionale Bestandesbilder angeführt (Abb. 4-2 bis 4-4).

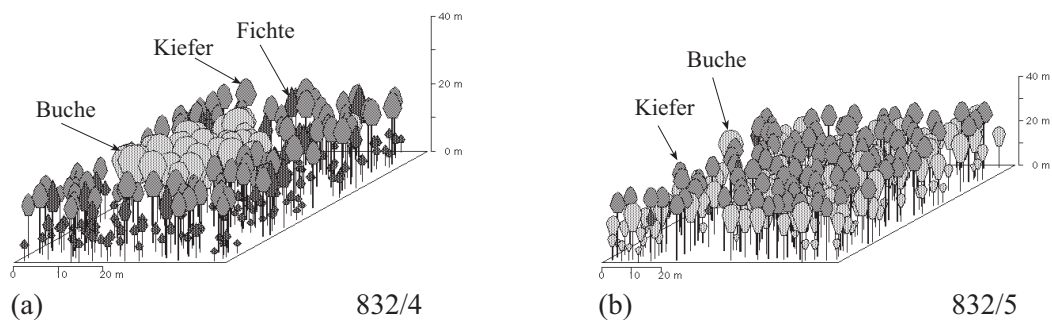


Abb. 4-2: Bestandesstrukturen der Parzellen 832/4 (a) und 832/5 (b) auf der Kiefern/Buchen-Wuchsreihe Geisenfeld 832.

Abbildung 4-2 mit zwei Beispielen aus Geisenfeld 832 aus dem Jahr der Erstaufnahme von 1996 stellt die Parzelle 832/4 mit einer Buchengruppe und einer lockeren Fichten/Kiefern-Einzelmischung und ausgeprägtem Fichten-Unterstand die Parzelle 832/5 gegenüber. Hier bildet die Kiefer mit 140 Jahren ausschließlich den Hauptbestand und die deutlich jüngere Buche kommt flächig im Zwischen- und Unterstand vor. Die Entwicklung der letzten sieben Jahre beweist allerdings die hohe Vitalität der Buche, die vermehrt in das Kronendach der Kiefer einwächst. Ohne intensive Pflegeeingriffe wird der Kiefer hier langsam eine übermächtige Konkurrenz aus Buche erwachsen.

Die Beispiele aus der Kiefern/Buchen-Wuchsreihe Amberg 833 (Abb. 4-3) zeigen auf Parzelle 833/6 die Buche wieder in ausgeprägten Gruppen, die von Fichten und Kiefern umgeben sind (Abb. 4-3a). Der Kiefer wird hier aufgrund der Bestandesbegründung zunächst wenig Möglichkeit gegeben, sich mit den vergesellschafteten Baumarten zu durchmischen. Im Gegensatz dazu findet sich auf Parzelle 833/3 ein Beispiel strukturierter Trupp- und Einzelmischung aller drei Baumarten (Abb. 4-3b).

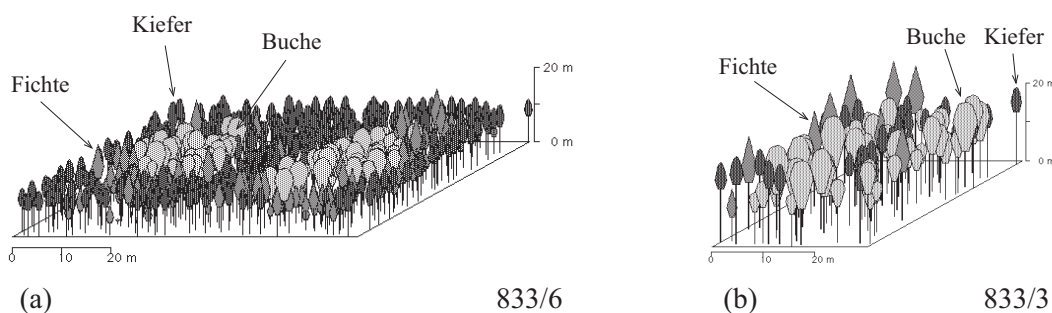


Abb. 4-3: Bestandesstrukturen der Parzellen 833/6 (a) und 833/3 (b) auf der Kiefern/Buchen-Wuchsreihe Amberg 833.

Die Mischung Kiefer und Fichte der Wuchsreihe Neuburg 841 bringt mit der jüngsten Parzelle 841/1 ein Beispiel intensiver Einzelbaummischung in einer Phase, in welcher der Kiefer mit ihrer früheren Kulmination im Höhenzuwachs im Gegensatz zur Fichte noch klare Vorteile erwachsen (Abb. 4-4a). Nur 20 Jahre später holt die Schattenbaumart Fichte auf Parzelle 841/3 den

Vorsprung auf und nimmt größere Bestandespartien für sich in Anspruch (Abb. 4-4b). Die strukturelle Vielfalt, die im Zusammenspiel der drei Baumarten Kiefer, Fichte und Buche beispielhaft vorgestellt wird, erschwert eine Verallgemeinerung der erkennbaren Wachstumsmuster auf andere Bestände und Standorte.

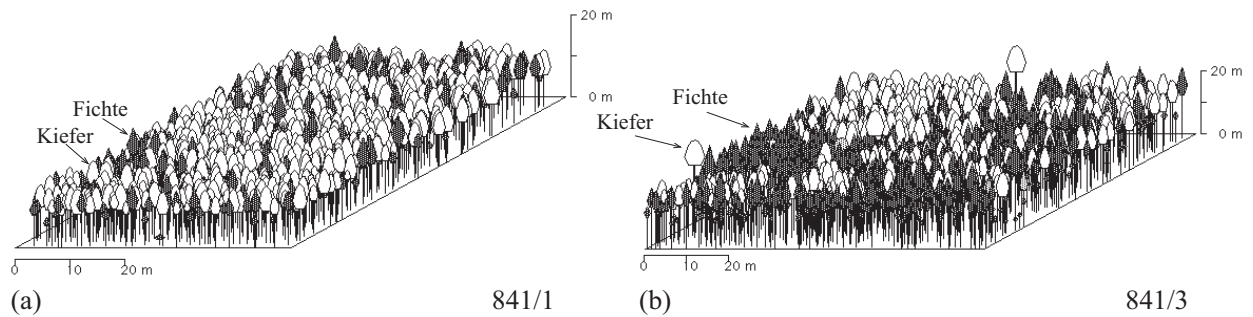


Abb. 4-4: Bestandesstrukturen der Parzellen 841/1 (a) und 841/3 (b) auf der Kiefern/Fichten-Wuchsreihe Neuburg 841.

5 Ertragskundliche Zustands- und Zuwachsdaten

Die Darstellung von Struktur und Leistung von Waldbeständen der Wuchsreihen gründet sich auf ertragskundliche Zustands- und Zuwachsdaten. Bei dem wuchsreihenübergreifenden Vergleich wichtiger, bestandesbeschreibender Parameter wie Mittelhöhe oder Mitteldurchmesser müssen immer die Unterschiede in den Bestandesstrukturen und standörtlicher Ausprägungen im Blick bleiben. Mit der Betrachtung des stehenden, verbleibenden Vorrats und des mittleren periodischen Volumenzuwachses gelangen wir zu aussagekräftigen Maßzahlen für die Leistungsfähigkeit der Mischbestände, die allerdings im strukturellen Zusammenhang auf unterschiedlichen Standorten interpretiert werden müssen. Die Struktur und Leistungsdaten dieses Kapitels spannen den Rahmen auf, innerhalb dessen die Produktivität der einzelnen Mischbestände anzusiedeln ist.

5.1 Ertragskundliche Basisdaten

Mit den Ergebnissen der Wiederholungsaufnahmen auf den Wuchsreihen Geisenfeld 832 und Amberg 833 gewinnt ihre ertragskundliche Auswertung deutlich an Aussagekraft. Demgegenüber bildet die Auswertung auf der Kiefern/Fichten-Wuchsreihe Neuburg 841 nur die Situation der Erstaufnahme ab, Entwicklungstendenzen lassen sich hier weniger gut ableiten. Gleichwohl wird damit eine vergleichende Einordnung mit den Größenverhältnissen wichtiger ertragskundlicher Kenngrößen aller betrachteten Wuchsreihen ermöglicht.

Tab. 5-1: Legende für die Leistungstafeln über Zustands- und Zuwachsdaten auf den Wuchsreihen.

Abkürzung	Beschreibung	Dimension
Pz	= Parzelle	
Auf	= Aufnahmejahr, H: Herbst, F: Frühjahr	
N	= Stammzahl des verbleibenden Bestandes je Hektar	[Stück je ha]
ho	= Oberhöhe (Grundflächenmittelhöhe der 100 dicksten Bäume je ha	[m]
do	= Durchmesser des Grundflächenmittelstammes der 100 dicksten Bäume je ha	[cm]
ho/do	= Relation ho zu do	[%]
hg	= Mittelhöhe des Grundflächenmittelstammes	[m]
dg	= Durchmesser des Grundflächenmittelstammes	[cm]
hg/dg	= Relation hg zu dg	[%]
G	= Grundfläche	[qm/ha]
V	= Vorrat	[Vfm.m.R./ha]
NA	= Stammzahl des ausscheidenden Bestandes je Hektar	[Stück je ha]
hgA	= Mittelhöhe des Grundflächenmittelstammes des ausscheidenden Bestandes	[m]
dgA	= Durchmesser des Grundflächenmittelstammes des ausscheidenden Bestandes	[cm]
GA	= Grundfläche des ausscheidenden Bestandes	[qm/ha]
VA	= Vorrat des ausscheidenden Bestandes	[Vfm.m.R./ha]
iG	= Grundflächenzuwachs	[qm/ha]
iV	= Volumenzuwachs	[Vfm.m.R./ha]

Für jede Wuchsreihe werden die wichtigsten ertragskundlichen Zustands- und Zuwachsgrößen (vgl. Tab. 5-1) unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Wiederholungsaufnahmen zusammengefasst. Für eine Charakterisierung und Einstufung besonders im Hinblick auf eine ertragskundliche Bonitierung der Bestände werden daran anschließend für die Wuchsreihen einige wichtige Parameter beschrieben.

5.1.1 Wuchsreihe Geisenfeld 832

Tab. 5-2: Leistungstafel der Parzellen 832/1 und 832/2 auf der Wuchsreihe Geisenfeld 832.

Pz	AUF	Alter	Baumart	N	ho	do	ho/do	hg	dg	hg/dg	G	V	NA	hgA	dgA	GA	VA	iG	iV
1	1996H	18	Fichte	351	13.6	14.5	93	9.4	8.2	114	1.8	7	-	-	-	-	-	-	-
1	1996H	18	Kiefer	3364	13.0	18.8	69	11.9	10.4	114	28.4	140	282	10.3	5.5	0.7	0	-	-
1	1996H	18	Bu-jung	736	14.7	17.4	84	10.8	7.5	144	3.2	12	-	-	-	-	-	-	-
1	1996H	40	Bu-alt	173	16.2	29.0	55	14.6	17.2	84	4.0	29	-	-	-	-	-	-	-
1	1996H		Gesamt	4624							37.5	187	282			0.7	0	-	-
1	2002H	24	Fichte	299	17.8	18.5	96	12.0	9.6	125	2.2	12	52	7.5	5.7	0.1	0	0.1	0.9
1	2002H	24	Kiefer	2191	17.1	22.9	74	15.5	13.6	113	32.0	218	1173	12.6	7.1	4.6	16	1.4	15.6
1	2002H	24	Bu-jung	644	17.3	19.1	90	12.7	8.9	142	4.0	21	104	9.6	5.7	0.3	1	0.2	1.6
1	2002H	46	Bu-alt	161	19.8	34.5	57	17.7	20.5	86	5.3	48	-	-	-	-	-	0.2	3.1
1	2002H		Gesamt	3295							43.5	298	1329			5.0	17	1.8	21.3
2a	1996H	15	Kiefer	1109	10.5	15.1	69	9.3	10.1	92	8.9	35	257	9.3	10.1	2.1	8	-	-
2a	1996H	28	Lärche	99				14.7	20.4	72	3.2	22	-	-	-	-	-	-	-
2a	1996H	28	Buche	624	12.4	16.6	74	9.6	7.5	128	2.8	9	-	-	-	-	-	-	-
2a	1996H	28	Eiche	218	11.9	14.1	84	10.2	8.7	117	1.3	5	-	-	-	-	-	-	-
2a	1996H	140	Überhälter	20	-	-	-	26.8	50.1	53	3.9	49	-	-	-	-	-	-	-
2a	1996H		Gesamt	2070							20.0	120	257			2.1	8	-	-
2a	2002H	21	Kiefer	960	16.9	37.9	44	14.5	15.9	91	19.1	129	169	10.7	6.9	0.6	2	1.8	16.0
2a	2002H	34	Lärche	99	19.8	37.5	52	18.5	26.5	69	5.5	46	-	-	-	-	-	0.4	4.0
2a	2002H	34	Buche	614	16.1	21.0	76	13.4	9.3	144	4.1	23	-	-	-	-	-	0.2	2.3
2a	2002H	34	Eiche	178	15.5	16.6	93	14.1	10.8	130	1.6	10	40	11.4	5.9	0.1	0	0.1	0.9
2a	2002H	146	Überhälter	20	-	-	-	27.0	54.1	49	4.6	57	-	-	-	-	-	0.1	1.4
2a	2002H		Gesamt	1871							34.9	266	209			0.7	2	2.6	24.7
2b	1996H	15	Fichte	134	10.7	15.8	67	8.7	8.5	102	0.8	2	-	-	-	-	-	-	-
2b	1996H	28	Kiefer	1148	14.9	21.6	68	13.5	15.3	88	21.2	130	-	-	-	-	-	-	-
2b	1996H	28	Buche	1013	12.1	15.2	79	10.2	8.6	118	5.9	23	-	-	-	-	-	-	-
2b	1996H	28	Eiche	179	12.2	15.8	77	10.2	8.7	117	1.1	4	7	9.7	7.7	0.0	0	-	-
2b	1996H	28	Douglasie	22	-	-	-	14.3	18.4	77	0.6	4	-	-	-	-	-	-	-
2b	1996H	140	Überhälter	7	-	-	-	26.8	49.0	54	1.4	18	-	-	-	-	-	-	-
2b	1996H		Gesamt	2503							30.8	181	7			0.0	0	-	-
2b	2002H	34	Fichte	134	17.6	20.1	87	14.6	9.8	148	1.0	7	-	-	-	-	-	0.0	0.2
2b	2002H	34	Kiefer	1058	18.4	25.9	71	17.3	18.6	93	28.8	225	90	13.2	7.6	0.4	2	1.3	16.0
2b	2002H	34	Buche	1013	15.7	18.0	87	13.7	9.8	139	7.7	44	-	-	-	-	-	0.3	3.5
2b	2002H	34	Eiche	89	15.7	17.9	87	14.3	11.5	124	0.9	6	90	11.6	6.2	0.3	1	0.0	0.4
2b	2002H	34	Douglasie	15	-	-	-	18.3	25.5	71	0.8	6	7	15.0	10.8	0.1	0	0.0	0.5
2b	2002H	146	Überhälter	7	-	-	-	26.9	52.0	51	1.6	20	-	-	-	-	-	0.0	0.4
2b	2002H		Gesamt	2316							40.7	307	187			0.8	3	0.6	6.8

Tab. 5-3: Leistungstafel der Parzellen 832/3 bis 832/6 auf der Wuchsreihe Geisenfeld 832.

Pz	AUF	Alter	Baumart	N	ho	do	ho/do	hg	dg	hg/dg	G	V	NA	hgA	dgA	GA	VA	iG	iV
3	1996H	55	Fichte	645	26.2	32.4	80	19.4	17.1	113	14.9	153	21	10.9	8.2	0.1	1	-	-
3	1996H	55	Kiefer	414	22.9	31.8	72	21.8	21.7	100	15.4	150	9	19.4	12.6	0.1	1	-	-
3	1996H	55	Buche	490	22.2	33.4	66	21.2	17.8	119	12.1	126	12	20.0	10.7	0.1	1	-	-
3	1996H	140	Überhälter	4	-	-	-	26.6	45.6	58	0.7	8	-	-	-	-	-	-	-
3	1996H		Gesamt	1553							43.0	437	42			0.3	2	-	-
3	2002H	61	Fichte	573	29.1	36.6	79	22.0	19.9	110	17.9	209	72	12.7	9.6	0.5	3	0.6	9.9
3	2002H	61	Kiefer	356	26.2	35.1	74	25.0	24.9	100	17.4	194	58	22.1	14.3	0.9	9	0.5	8.9
3	2002H	61	Buche	440	25.9	36.3	71	24.4	19.8	123	13.6	167	50	20.7	8.7	0.3	3	0.3	7.2
3	2002H	146	Überhälter	4	-	-	-	26.7	47.2	56	0.7	9	-	-	-	-	-	0.0	0.1
3	2002H		Gesamt	1373							49.6	579	180			1.8	14	1.4	26.0
4	1996H	50	Fichte	812	23.9	25.2	94	11.9	11.1	107	7.8	58	23	9.7	9.3	0.2	1	-	-
4	1996H	50	Kiefer	408	22.3	35.6	62	20.5	25.6	80	20.9	198	5	16.8	14.8	0.1	1	-	-
4	1996H	50	Buche	218	24.1	35.3	68	21.4	22.5	95	8.7	96	-	-	-	-	-	-	-
4	1996H		Gesamt	1438							37.4	352	28			0.2	1	-	-
4	2002H	56	Fichte	755	27.0	28.6	94	13.6	12.4	109	9.1	79	57	10.8	10.0	0.5	3	0.3	4.0
4	2002H	56	Kiefer	394	25.0	38.7	64	23.0	28.0	82	24.3	257	14	17.3	13.6	0.2	2	0.6	10.0
4	2002H	56	Buche	214	26.4	39.4	67	23.3	24.9	93	10.4	128	4	19.3	15.6	0.1	1	0.3	5.5
4	2002H		Gesamt	1363							43.8	464	75			0.8	5	1.2	19.6
5	1996H	140	Kiefer	212	30.6	53.6	57	30.1	44.7	67	33.3	460	-	-	-	-	-	-	-
5	1996H	60	Buche	426	25.0	28.1	88	20.4	17.5	116	10.3	112	-	-	-	-	-	-	-
5	1996H		Gesamt	638							43.6	572	-	-	-	-	-	-	-
5	2002H	146	Kiefer	212	32.8	55.8	58	31.6	46.6	67	36.1	525	-	-	-	-	-	0.5	10.7
5	2002H	66	Buche	422	27.3	31.2	87	23.1	19.4	119	12.4	153	4	9.8	5.6	0.0	0	0.4	6.8
5	2002H		Gesamt	634							48.5	678	4			0.0	0	0.8	17.6
6	1996H	106	Fichte	11	30.1	37.5	80	27.7	25.9	106	0.6	8	-	-	-	-	-	-	-
6	1996H	200	Kiefer	35	33.1	73.9	44	32.3	59.1	54	9.7	144	-	-	-	-	-	-	-
6	1996H	100	Buche	438	29.4	34.4	85	26.1	23.0	113	18.3	250	1	27.5	26.9	0.1	1	-	-
6	1996H		Gesamt	484							28.5	401	1			0.1	1	-	-
6	2002H	106	Fichte	10	29.5	43.3	68	26.7	30.7	86	0.7	9	1	8.8	5.7	0.0	0	0.0	0.2
6	2002H	206	Kiefer	34	32.8	76.2	43	31.7	61.1	51	10.0	145	1	30.5	50.5	0.3	4	0.1	0.9
6	2002H	106	Buche	433	30.2	38.3	78	27.0	25.6	105	22.3	318	6	22.5	16.4	0.1	2	0.7	11.6
6	2002H		Gesamt	477							33.0	472	8			0.4	6	0.8	12.7

Die Tabellen 5-2 und 5-3 spiegeln die wichtigsten ertragskundlichen Parameter der einzelnen Parzellen der Wuchsreihe Geisenfeld 832 unter Berücksichtigung der Wiederholungsaufnahmen wider. Zunächst fällt auf, dass in der grundsätzlich als Zwei-Arten-Mischung angelegten Wuchsreihe aus Kiefer und Buche der Fichte anteilmäßig eine unterschiedlich starke Rolle am Bestandaufbau zukommt. Die Bandbreite reicht vom völligen Fehlen der Baumart auf den älteren Parzellen 832/5 und 832/6 bis hin zu einem Bestandesanteil auf den jüngeren Parzellen, der die Bezeichnung einer Drei-Arten-Mischung Kiefer/Fichte/Buche voll rechtfertigt. In dieser Besonderheit liegt ein wesentliches Problem einer einheitlich-vergleichbaren, wuchsreihenübergreifenden Auswertung und Interpretation begründet. In den Darstellungen zur Entwicklung der Mittelhöhe und des Mitteldurchmessers findet die Fichte auf der Wuchsreihe Geisenfeld 832 somit keine Berücksichtigung. Bei der Darstellung der Grundfläche wird der

Fichtenanteil wiederholt der Kiefer zugeschlagen, um die Aufteilung einer Zwei-Arten-Mischung zu wahren.

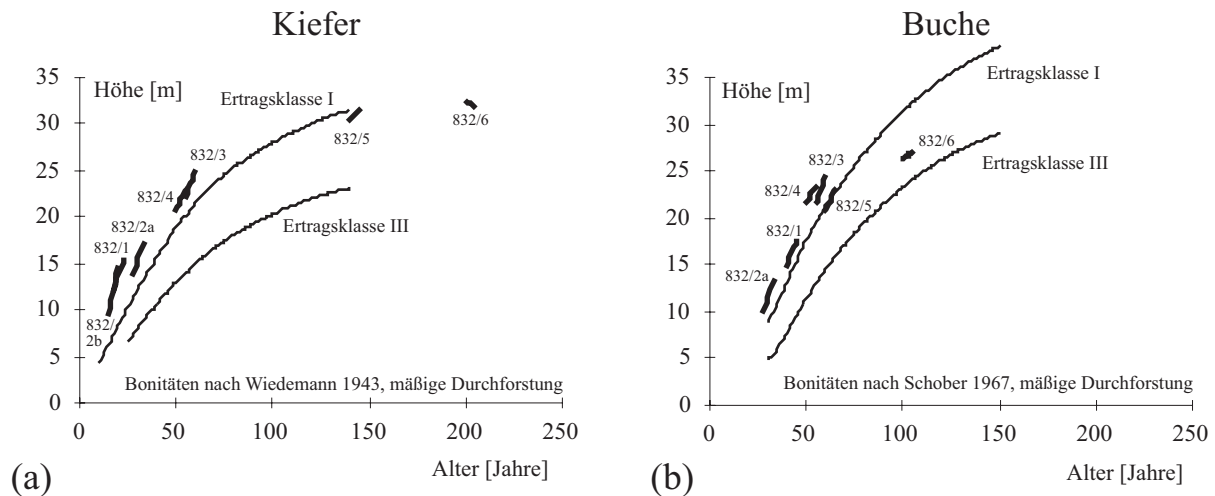


Abb. 5-1: Entwicklung der Mittelhöhe des Grundflächenmittelstammes der Baumarten Kiefer (a) und Buche (b) zwischen den Aufnahmen 1996 und 2002 auf den Parzellen 832/1 bis 832/6 der Kiefern/Buchen-Wuchsreihe GEI 832.

Abbildung 5-1a zeigt, dass die Mittelhöhe der Kiefer auf den Parzellen 832/1 bis 832/4 sehr deutlich über einer I. Ertragsklasse (WIEDEMANN, 1943, mäßige Durchforstung) liegt, wobei eine Tendenz zur Verbesserung der Bonität erkennbar ist. Selbst Parzelle 832/5 weist im hohen Alter noch eine ansteigende Tendenz auf. Die Mittelhöhe der Kiefer auf Parzelle 832/6 fällt dagegen leicht ab. Auch die Buche (Abb. 5-1b) bleibt auf den vier jüngsten Parzellen über einer I. Ertragsklasse (SCHOBBER, 1967, mäßige Durchforstung), wenngleich hier die Höhenentwicklung eher parallel zu den Erwartungswerten verläuft. Auf den Parzellen 832/5 und 832/6 wurde die Buche erst nachträglich eingebracht, ist also wesentlich jünger. Auf beiden Versuchsbeständen wächst die Buche trotzdem schon vereinzelt in den Kronenbereich der Kiefer ein. Ein Blick auf die Oberhöhen bestätigt, dass die Buche im Mittel nur drei bis vier Meter hinter der Kiefer zurückbleibt.

Sowohl die Mittelhöhe als auch der Durchmesser des Grundflächenmittelstammes werden stark von der Bestandesstruktur geprägt. Stammzahlreicher Mittel- und Unterstand ist für eine rechnerische Verschiebung des Durchmesseres verantwortlich, sodass die Alters-Höhen-Beziehung eher die Konkurrenzsituation als die standörtliche Leistungsfähigkeit beschreibt. Dieser Sachverhalt macht sich in erster Linie bei Fichte und Buche und hier besonders auf den älteren Parzellen bemerkbar.

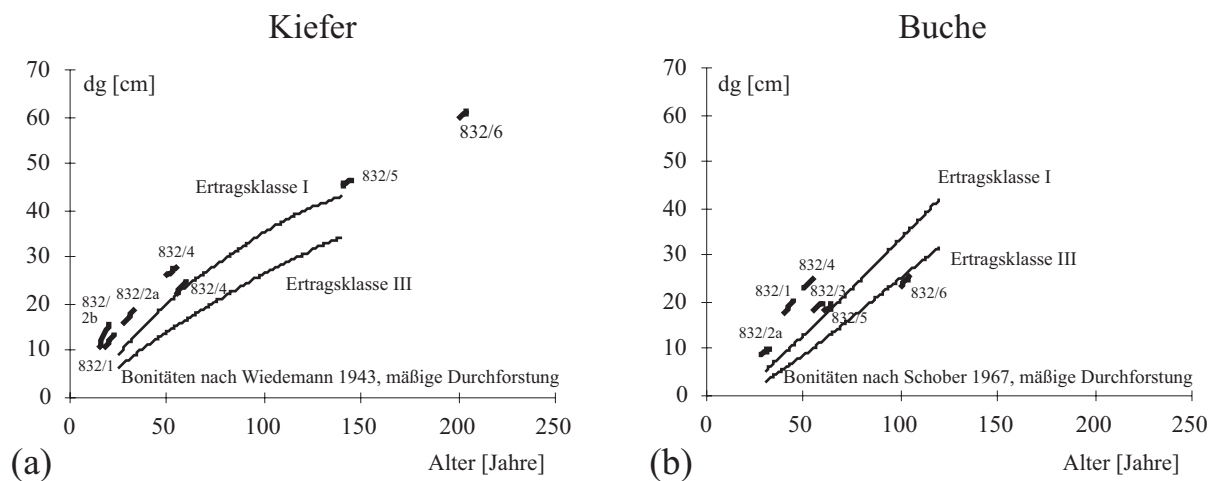


Abb. 5-2: Entwicklung der Durchmesser des Grundflächenmittelstammes (dg) der Baumarten Kiefer (a) und Buche (b) zwischen den Aufnahmen 1996 und 2002 auf den Parzellen 832/1 bis 832/6 der Kiefern/Buchen-Wuchsreihe GEI 832.

Bis auf wenige Ausnahmen entwickelt sich der Durchmesser bei Kiefer und Buche parallel zu den Erwartungswerten der entsprechenden Ertragstafeln, allerdings auf höherem Niveau (Abb. 5-2a und b). Die Durchmesser der Kiefer liegen fast über der gesamten Altersspanne über den Erwartungswerten für eine I. Ertragsklasse nach WIEDEMANN (1943), mäßige Durchforstung. Der große Altersrahmen dieser Wuchsreihe bis ins Alter von 206 Jahren liefert Aussagen über die Durchmesserentwicklung der Kiefer, die weit über die der Ertragstafel hinausgehen. Ein weitgehend linearer Verlauf der Alters-Durchmesser-Entwicklung setzt sich bis ins hohe Alter fort. Auch die Buche zeigt ein Wuchsverhalten, das zumeist über den Erwartungswerten einer I. Ertragsklasse (SCHOBBER, 1967, mäßige Durchforstung) liegt. Aufgrund ihrer dominanten Stellung in den jüngeren Mischbeständen und ihrem Fehlen im Altbestand lassen sich hier keine gesicherten Aussagen über deren Durchmesserentwicklung über eine größere Altersspanne treffen. Es ist aber zu erwarten, dass die Werte über den Vergleichswerten für die I. Ertragsklasse liegen werden.

Die Grundflächenwerte kulminieren in Kiefernreinbeständen gemäß der Ertragstafel wesentlich früher als in reinen Buchenbeständen. Der Kulminationspunkt der Kiefer liegt bei der I. Bonität (WIEDEMANN, 1943, mäßige Durchforstung) schon im Alter von etwa 70 Jahren bei ca. 36 qm/ha, um danach bis zum Alter von 140 Jahren nur unwesentlich abzufallen (Abb. 5-3, graue Linie). In einem reinen Buchenbestand akkumuliert sich die Grundfläche über der Zeit wesentlich langsamer, gleichwohl stetig, um im Alter von 140 Jahren ca. 35 qm/ha zu erreichen. Die Gesamtgrundflächen der Wuchsreihe Geisenfeld 832 folgen eher den Tafelwerten des Kiefernreinbestandes, weil die Buche auf den jüngeren Parzellen nur wenig zum Bestandaufbau beiträgt. Die Ausnahmesituationen der konträren Bestandestypen auf den

Parzellen fünf und sechs spiegeln sich auch in diesem Zusammenhang wider. Die Zunahme der Grundfläche des Gesamtbestandes innerhalb der Aufnahmeperioden erreicht für alle Parzellen fast ähnlich große Dimensionen, die im hohen Alter der Kiefer zwar überwiegend von der jüngeren Buche getragen werden, aber immer noch überraschend hoch sind. Die Beimischung der Buche zur Kiefer äußert sich im höheren Alter in einem vergleichsweise hohem Grundflächenniveau.

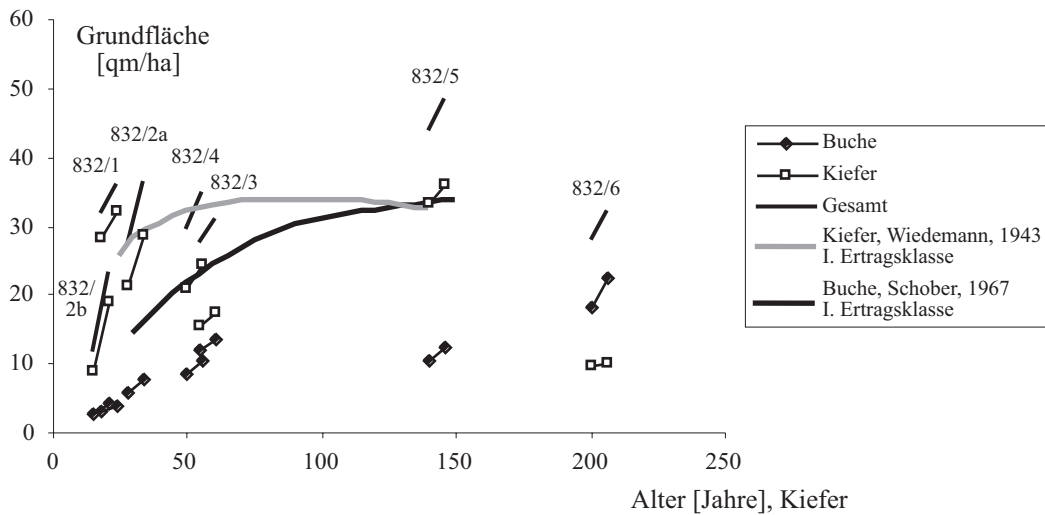


Abb. 5-3: Entwicklung der Grundfläche der Baumarten Kiefer, Buche und des Gesamtbestandes zwischen den Aufnahmen 1996 und 2002 auf den Parzellen 832/1 bis 832/6 der Kiefern/Buchen-Wuchsreihe GEI 832.

5.1.2 Wuchsreihe Amberg 833

In den Tabellen 5-4 und 5-5 werden wesentliche ertragskundliche Parameter und ihre zeitliche Entwicklung innerhalb der Aufnahmeperioden gegenübergestellt.

Tab. 5-4: Leistungstafel der Parzellen 833/6, 833/2 und 833/3 auf der Wuchsreihe Amberg 833.

Pz	AUF	Alter	Baumart	N	ho	do	ho/do	hg	dg	hg/dg	G	V	NA	hgA	dgA	GA	VA	iG	iV
6	1994H	26	FICHTE	645	17.0	20.3	83	11.0	10.4	105	5.5	30	0	0.0	0.0	0.0	0	-	-
6	1994H	26	KIEFER	1211	13.3	18.5	71	12.1	12.2	99	14.2	75	0	0.0	0.0	0.0	0	-	-
6	1994H	36	BUCHE	381	14.4	20.1	71	13.2	12.4	106	4.6	27	0	0.0	0.0	0.0	0	-	-
6	1994H		GESAMT	2237							24.4	132	0			0.0	0	-	-
6	2001H	33	FICHTE	641	20.3	26.2	77	14.0	12.8	109	8.3	60	4	11.7	10.0	0.0	0	0.4	4.3
6	2001H	33	KIEFER	1198	16.8	21.5	78	15.4	14.4	106	19.6	133	17	12.6	8.0	0.1	0	0.8	8.3
6	2001H	43	BUCHE	377	17.9	23.9	74	16.5	14.6	113	6.4	50	0	0.0	0.0	0.0	0	0.3	3.2
6	2001H		GESAMT	2216							34.3	242	21			0.1	1	1.4	15.8
2	1991H	39	FICHTE	417	22.8	27.4	83	15.4	14.4	106	6.8	56	0	0.0	0.0	0.0	0	-	-
2	1991H	44	KIEFER	900	19.2	26.9	71	16.4	15.5	105	16.9	126	0	0.0	0.0	0.0	0	-	-
2	1991H	58	BUCHE	683	17.9	20.2	88	15.8	12.1	130	7.9	57	0	0.0	0.0	0.0	0	-	-
2	1991H		GESAMT	2000							31.6	238	0			0.0	0	-	-
2	1994H	42	FICHTE	417	23.9	30.3	78	16.3	15.6	104	8.0	70	0	0.0	0.0	0.0	0	0.4	4.6
2	1994H	47	KIEFER	883	19.4	28.3	68	16.7	16.3	102	18.4	140	17	12.7	8.8	0.1	1	0.5	4.9
2	1994H	61	BUCHE	683	18.1	21.6	83	16.1	12.9	124	8.9	67	0	0.0	0.0	0.0	0	0.4	3.3
2	1994H		GESAMT	1983							35.3	276	17			0.1	1	1.3	12.8
2	2001H	49	FICHTE	408	25.3	33.9	74	19.1	18.0	106	10.3	103	9	10.0	7.7	0.0	0	0.3	4.7
2	2001H	54	KIEFER	633	23.8	32.0	74	20.7	19.7	105	19.3	182	250	15.8	10.8	2.3	15	0.5	8.2
2	2001H	68	BUCHE	675	23.5	24.7	95	20.4	14.5	140	11.1	110	8	17.0	9.2	0.1	0	0.3	6.3
2	2001H		GESAMT	1716							40.7	395	267			2.4	16	1.1	19.2
3	1991H	51	FICHTE	122	28.9	50.0	57	23.8	29.9	79	8.6	102	0	0.0	0.0	0.0	0	-	-
3	1991H	56	KIEFER	433	21.8	25.5	85	19.5	18.4	105	11.5	100	0	0.0	0.0	0.0	0	-	-
3	1991H	56	BUCHE	633	21.4	23.2	92	17.6	13.6	129	9.2	80	0	0.0	0.0	0.0	0	-	-
3	1991H		GESAMT	1188							29.3	281	0			0.0	0	-	-
3	1994H	54	FICHTE	111	29.2	51.7	56	24.8	32.6	76	9.3	111	11	10.3	9.3	0.1	0	0.3	3.4
3	1994H	59	KIEFER	400	22.0	26.3	83	20.0	19.5	102	11.9	106	33	16.3	12.4	0.4	3	0.3	3.0
3	1994H	59	BUCHE	633	21.9	25.4	86	18.2	14.7	123	10.8	98	0	0.0	0.0	0.0	0	0.5	6.0
3	1994H		GESAMT	1144							32.0	316	44			0.5	3	1.0	12.5
3	2001H	61	FICHTE	111	27.0	56.5	47	25.5	35.6	71	11.0	132	0	0.0	0.0	0.0	0	0.3	2.9
3	2001H	66	KIEFER	344	24.5	28.0	87	23.1	21.5	107	12.5	128	56	20.6	14.4	0.9	8	0.2	4.1
3	2001H	66	BUCHE	622	26.8	29.2	91	22.6	16.8	134	13.8	159	11	14.1	7.2	0.1	0	0.4	8.9
3	2001H		GESAMT	1077							37.3	419	67			1.0	8	0.9	15.9

Der Versuch Amberg 833 steht jetzt seit zehn Jahren unter Beobachtung und eignet sich mehr als andere Wuchsreihen für die Diagnose langfristiger Dynamik der Mischung aus Kiefer, Fichte und Buche. Die Veränderung der Mittelhöhe zwischen den Aufnahmeperioden (Abb. 5-4a bis c) gibt Aufschluss über Leistungsniveau und Konkurrenzverhalten zwischen den bestandesbildenden Mischbaumarten.

Tab. 5-5: Leistungstafel der Parzellen 833/4 und 833/5 auf der Wuchsreihe Amberg 833.

Pz	AUF	Alter	Baumart	N	ho	do	ho/do	hg	dg	hg/dg	G	V	NA	hgA	dgA	GA	VA	iG	iV
4	1991H	88	FICHTE	358	35.8	48.6	73	31.6	35.4	89	35.3	533	0	0.0	0.0	0.0	0	-	-
4	1991H	90	KIEFER	50	31.8	43.4	73	30.2	35.6	84	5.0	68	0	0.0	0.0	0.0	0	-	-
4	1991H	91	BUCHE	467	36.0	34.7	103	27.8	20.5	135	15.3	230	8	23.6	15.9	0.2	2	-	-
4	1991H		GESAMT	875							55.6	832	8		0.2	2	-	-	
4	1994H	91	FICHTE	358	36.1	50.0	72	31.8	36.0	88	36.4	553	0	0.0	0.0	0.0	0	0.4	6.6
4	1994H	93	KIEFER	50	32.0	44.5	71	30.3	36.1	83	5.1	71	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.8
4	1994H	94	BUCHE	458	36.1	34.8	103	28.1	20.8	135	15.6	236	9	23.4	15.7	0.2	2	0.1	2.5
4	1994H		GESAMT	866							57.1	860	9		0.2	2	0.5	9.9	
4	2001H	98	FICHTE	358	37.6	53.8	69	34.2	39.0	87	42.9	688	0	0.0	0.0	0.0	0	0.9	19.3
4	2001H	100	KIEFER	42	36.2	47.0	77	32.5	38.8	83	4.9	74	8	26.5	28.7	0.5	6	0.1	1.3
4	2001H	101	BUCHE	408	37.4	37.5	99	29.8	23.1	129	17.0	274	50	16.2	10.4	0.4	3	0.3	5.9
4	2001H		GESAMT	808							64.8	1036	58		1.0	10	1.2	26.5	
5	1991H	103	FICHTE	383	29.7	38.9	76	20.3	20.9	97	13.2	146	0	0.0	0.0	0.0	0	-	-
5	1991H	111	KIEFER	350	29.6	41.5	71	27.6	32.8	84	29.6	373	0	0.0	0.0	0.0	0	-	-
5	1991H	112	BUCHE	200	31.0	43.8	70	25.6	27.5	93	11.9	166	0	0.0	0.0	0.0	0	-	-
5	1991H		GESAMT	933							54.6	684	0		0.0	0	-	-	
5	1994H	106	FICHTE	375	30.3	40.7	74	21.2	22.1	95	14.4	165	0	0.0	0.0	0.0	0	0.4	6.4
5	1994H	114	KIEFER	350	29.7	42.2	70	27.6	33.0	83	29.9	379	0	0.0	0.0	0.0	0	0.1	2.0
5	1994H	115	BUCHE	192	31.4	45.5	69	26.3	29.1	90	12.8	183	0	0.0	0.0	0.0	0	0.3	5.7
5	1994H		GESAMT	917							57.1	726	0		0.0	0	0.8	14.1	
5	2001H	113	FICHTE	358	32.1	42.9	74	23.2	23.5	98	15.5	191	17	13.9	12.7	0.2	1	0.2	3.9
5	2001H	121	KIEFER	342	32.8	44.2	74	31.4	35.0	89	32.9	467	8	29.0	25.7	0.4	6	0.5	13.4
5	2001H	122	BUCHE	192	33.5	49.3	67	28.5	31.5	90	14.9	233	0	0.0	0.0	0.0	0	0.3	7.1
5	2001H		GESAMT	892							63.3	890	25		0.6	7	1.0	24.4	

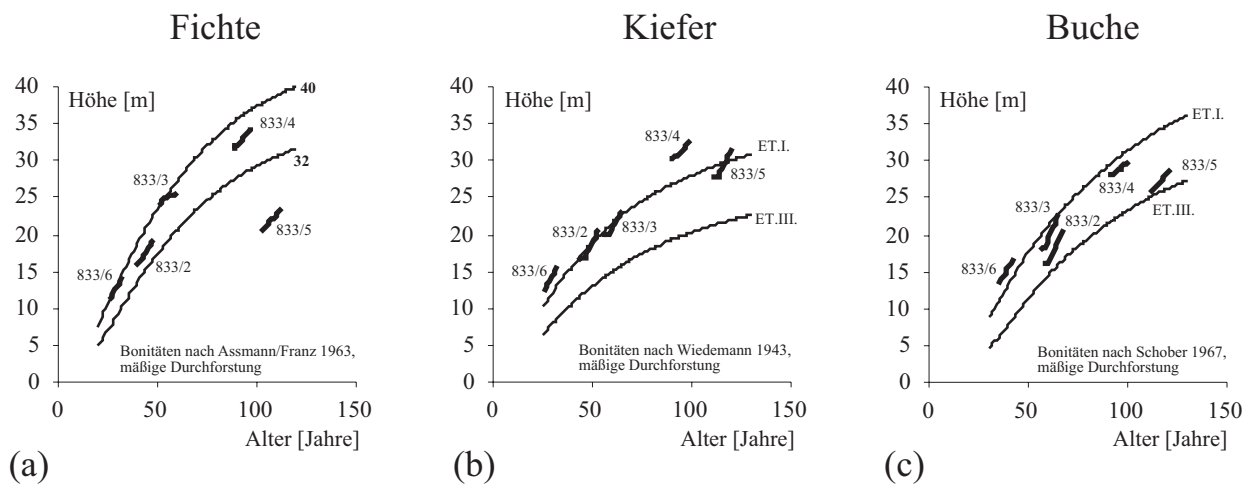


Abb. 5-4: Entwicklung der Höhe des Grundflächenmittelstammes der Baumarten Fichte (a), Kiefer (b) und Buche (c) zwischen den Aufnahmen 1991 und 2000 auf den Parzellen 833/2 bis 833/6 der Kiefern/Buchen-Wuchsreihe AMB 833.

Die Höhenentwicklung der Fichte (Abb. 5-4a) approximiert auf allen Flächen der Wuchsreihe mit Oberhöhen im Bereich von 36 m (ASSMANN/FRANZ, 1963, mäßige Durchforstung). Lediglich Parzelle 833/5 fällt stark ab. Auch die Kiefer (Abb. 5-4b) erreicht durchwegs I. Bonität, wobei ihre Tendenz zur Bonitätsverbesserung erkennbar ist. Der sich leicht abhebende

Wert auf Parzelle 833/4 ist Ergebnis der Konkurrenz, nicht der Standortbedingungen. Die wenigen vorhandenen Kiefern reichen auf dieser Parzelle nicht dazu aus, eine verlässliche Höhenentwicklung abzuleiten.

Die Höhenbefunde der Buche (Abb. 5-4c) sind heterogener als die der anderen Baumarten. Mit zunehmendem Alter sinkt die Bonität von einer I. Ertragsklasse auf die III. Ertragsklasse (SCHOBBER, 1967, mäßige Durchforstung) ab. Betrachten wir allerdings den Gradienten der Höhenentwicklung auf den einzelnen Parzellen (echte Zeitreihe), so deutet sich überall eine Bonitätszunahme an.

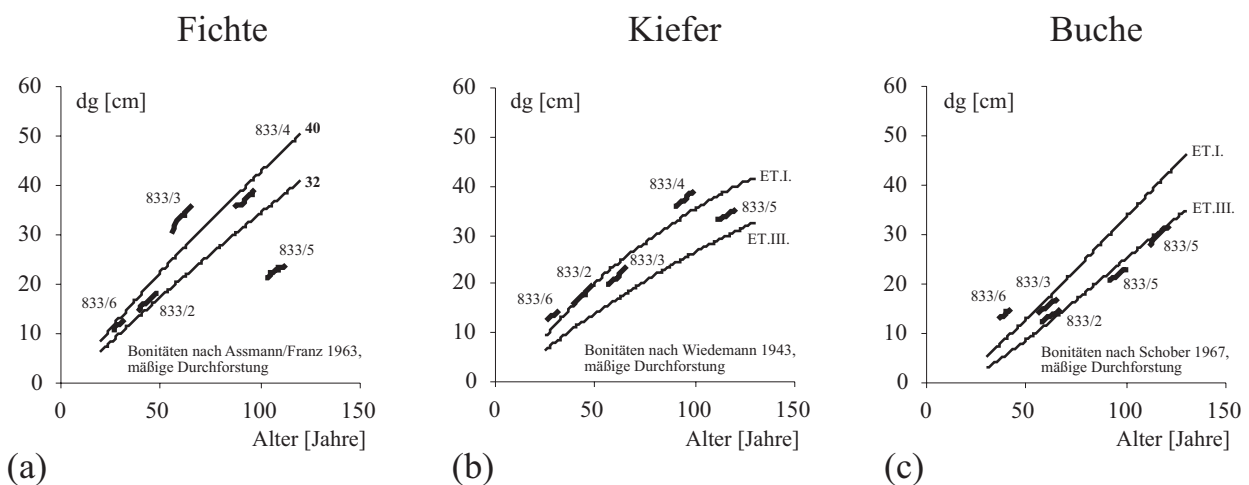


Abb. 5-5: Entwicklung der Durchmesser des Grundflächenmittelstammes der Baumarten Fichte (a), Kiefer (b) und Buche (c) zwischen den Aufnahmen 1991 und 2000 auf den Parzellen 833/2 bis 833/6 der Kiefern/Buchen-Wuchsreihe AMB 833.

Die Veränderung des Durchmessers des Grundflächenmittelstammes unterstreicht bei der Buche die Tatsache, dass die älteren Flächen der Wuchsreihe ungünstigere Zuwachseleistungen repräsentieren (Abb. 5-5c). Diese Tendenz gilt auch für die Kiefer (Abb. 5-5b). Dabei verläuft die Durchmesserentwicklung parallel zu den Erwartungswerten der Ertragstafel. Der vergleichsweise heterogenere Verlauf bei der Fichte (Abb. 5-5a) resultiert aus der Bestandesstruktur. Auf Parzelle 833/3 stehen einige herrschende Fichten mit entsprechend hohem Durchmesserwachstum.

Neben den Bestandeskenngrößen Stammzahl und Derbholzvorrat des verbleibenden Bestandes (vgl. Tab. 5-4 und 5-5) lässt auch die Entwicklung der Grundfläche in den letzten zehn Jahren besonders bei den Parzellen 833/4 und 833/5 eine Tendenz erkennen, die selbst im Alter von über 100 Jahren die jeweiligen Erwartungswerte der Ertragstafeln weit übertrifft (Abb. 5-6).

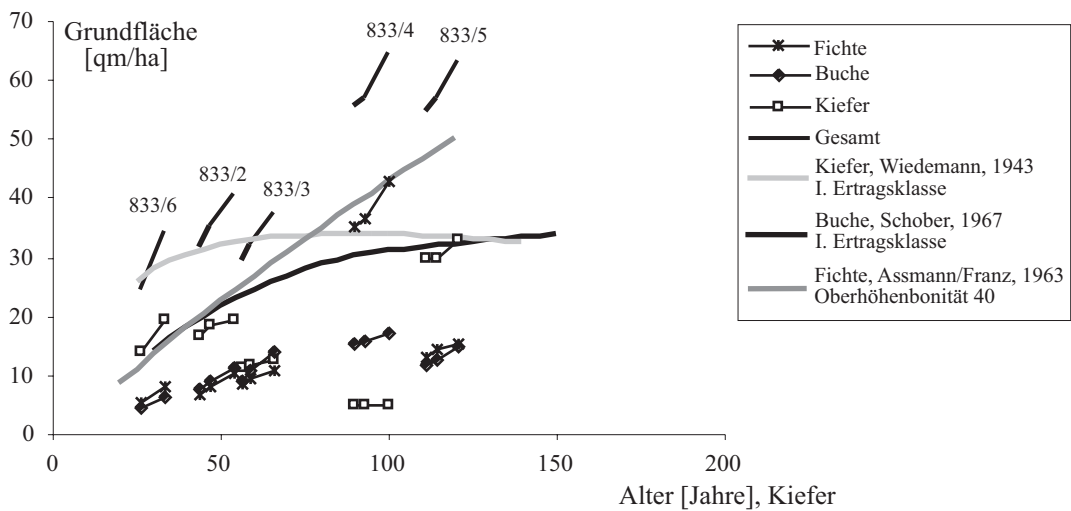


Abb. 5-6: Entwicklung der Grundfläche der Baumarten Fichte, Kiefer, Buche und des Gesamtbestandes zwischen den Aufnahmen 1991 und 2000 auf den Parzellen 833/2 bis 833/6 der Kiefern/Buchen-Wuchsreihe AMB 833.

Während die Kiefer auf den jüngeren Parzellen 833/6 und 833/2 die führende Rolle beim Bestandaufbau übernimmt, teilen sich im höheren Alter die einzelnen Baumarten diese Aufgabe. Im Vergleich zur Wuchsreihe Geisenfeld 832 werden in Amberg 833 auf den jüngeren Parzellen bis zu einem Alter von ca. 60 Jahren ähnliche Bestandesgrundflächen gebildet.

5.1.3 Wuchsreihe Neuburg 841

Die Leistungstafel fasst die ertragskundlichen Ergebnisse für die Wuchsreihe Neuburg 841 zusammen (Tab. 5-6). Der Vergleich der gleichaltrigen Parzellen 841/2 und 841/3 dieser Wuchsreihe bringt das große Spektrum von Bestandesstrukturen zum Ausdruck, die sich bei Zumischung von Fichte zur Kiefer einstellen können. Auf beiden, direkt nebeneinander liegenden Parzellen lässt sich die Bedeutung einer waldbaulichen Behandlung für die Bestandesentwicklung vorbildlich studieren. Ein ausgeprägter Fichtenunterstand auf Parzelle 841/2 ist auf Parzelle 841/3 nicht vorhanden. Weiter bildet die Kiefer auf Parzelle 841/2 die herrschende Bestandesschicht mit nur geringer Einzelmischung der Fichte, während auf der benachbarten Parzelle eine flächige Trennung der Baumarten vorherrscht. Bei ähnlichen Mittelhöhen und Mitteldurchmessern werden bei der Kiefer auf Parzelle 841/2 über die höhere Stammzahl wesentlich höhere Grundflächen und Vorräte als auf Parzelle 841/3 gebildet. Demgegenüber übernimmt die Fichte auf Parzelle 841/3 die führende Rolle bei Grundfläche und Vorrat. Zusammen erbringen beide Baumarten fast identische Bestandessummen- und Bestandesmittelwerte. Die anschließenden Detailanalysen decken die charakteristischen Unterschiede zwischen den Parzellen auf.

Tab. 5-6: Leistungstafel der Parzellen 841/1 bis 841/6 auf der Wuchsreihe Neuburg 841.

Pz	AUF	Alter	Baumart	N	ho	do	ho/do	hg	dg	hg/dg	G	V	iV	Ertrags- klasse	Bestock- grad	Mischungs- Anteil
1	1997H	22	FICHTE	1566	16.1	18.0	89	11.1	9.0	123	9.9	48	3.3	52.4	0.26	18
1	1997H	22	KIEFER	2744	15.1	21.6	69	13.8	12.6	109	34.1	204	18.1	-1.6	1.21	82
1	1997H	22	EICHE	4				7.9	5.8	136						
1	1997H		GESAMT	4314							43.9	253	21.4		1.47	
2	1997H	43	FICHTE	2009	22.0	24.8	88	10.8	10.1	106	16.1	99	4.5	38.6	0.45	33
2	1997H	120	KIE-UEBER	7				30.7	55.3	55	1.6	23	0.4			
2	1997H	45	KIEFER	978	22.4	31.9	70	19.8	20.0	99	30.9	277	13.6	-0.2	0.92	67
2	1997H	43	BUCHE	3				4.9	5.1	96						
2	1997H	43	EICHE	10				6.0	6.0	100						
2	1997H		GESAMT	3007							48.6	398	18.5		1.37	
3	1997H	43	FICHTE	2713	23.1	24.0	96	15.8	11.4	138	27.5	217	10.9	40.2	0.66	50
3	1997H	120	KIE-UEBER	7				28.8	46.2	62	1.3	17	0.3			
3	1997H	45	KIEFER	840	20.4	28.7	71	18.8	17.8	105	20.9	176	9.4	0.5	0.65	50
3	1997H	45	LAERCHE	5				18.2	14.4	126	0.1	1				
3	1997H	45	BUCHE	20				8.2	5.3	154						
3	1997H		GESAMT	3585							49.8	410	20.6		1.31	
4	1997H	98	FI-UNTER	620	24.1	23.0	104	19.0	16.2	117	12.8	123	1.9	34.7	0.26	18
4	1997H	98	FI-OBER	206	34.5	48.1	71	30.6	34.0	90	18.7	275	7.3	34.7	0.38	26
4	1997H	101	KIEFER	235	30.6	49.2	62	29.7	38.7	76	27.7	377	6.3	0.6	0.81	56
4	1997H		GESAMT	1061							59.2	775	15.5		1.45	
5	1997H	75	FI-UNTER	785	22.7	25.7	88	17.7	17.0	104	17.9	161	5.0	33.6	0.37	23
5	1997H	85	FI-OBER	16	31.2	40.9	76	30.2	34.1	88	1.5	21	1.3	33.6	0.03	2
5	1997H	85	KIEFER	446	30.0	46.4	64	28.9	34.8	83	42.5	560	12.9	0.3	1.22	75
5	1997H		GESAMT	1247							61.9	742	19.2		1.62	
6	1997H	97	FICHTE	603	33.2	41.2	80	25.1	24.9	100	29.3	380	7.5	33.6	0.58	36
6	1997H	100	KIEFER	295	31.5	51.6	61	30.0	39.4	76	36.1	496	7.8	0.4	1.04	64
6	1997H		GESAMT	898							65.4	876	15.3		1.62	

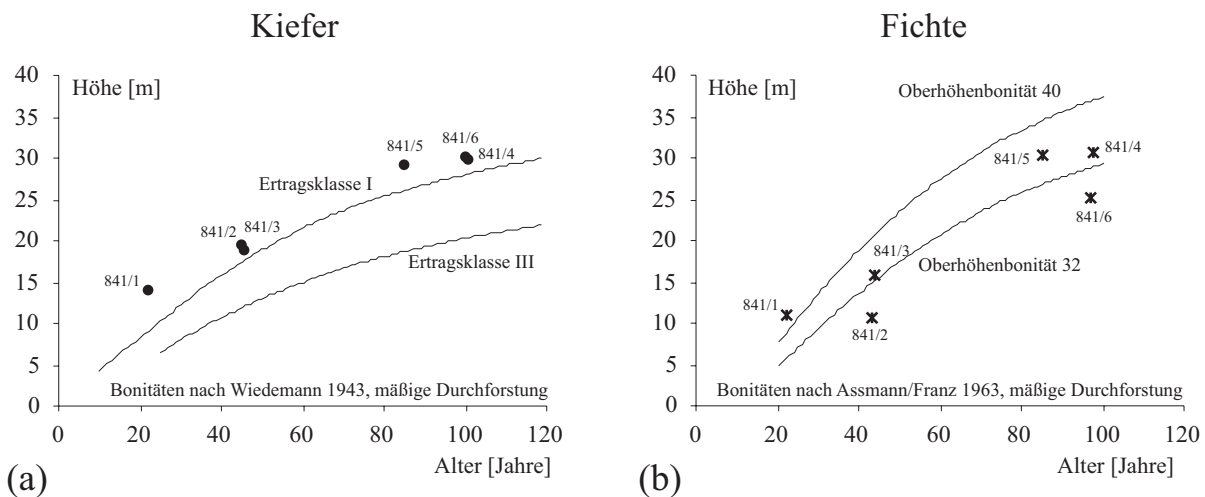


Abb. 5-7: Darstellung der Höhe des Grundflächenmittelstammes der Baumarten Kiefer (a) und Fichte (b) bei der Erstaufnahme 1998 auf den Parzellen 841/1 bis 841/6 der Kiefern/Fichten-Wuchsreihe NEU 841.

Die Kiefer (Abb. 5-7a) liegt auf der Kiefern/Fichten-Wuchsreihe Neuburg 841 im gesamten Altersspektrum weit über der I. Ertragsklasse nach WIEDEMANN (1943), mäßige Durchforstung. Selbst bei einer Beschränkung auf den Oberstand werden von der Fichte (Abb. 5-7b) nur Mittelhöhen erreicht, die auf dem Niveau der Oberhöhenbonität von 32 nach ASSMANN/Franz (1963), mäßige Durchforstung, liegen.

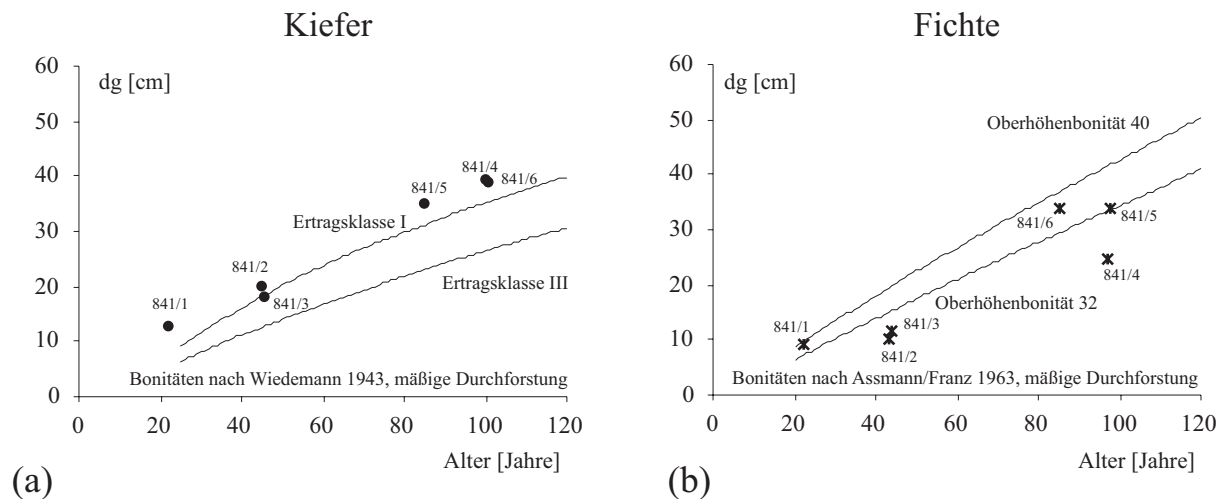


Abb. 5-8: Darstellung der Durchmesser des Grundflächenmittelstammes (dg) der Baumarten Kiefer (a) und Fichte (b) bei der Erstaufnahme 1998 auf den Parzellen 841/1 bis 841/6 der Kiefern/Fichten-Wuchsreihe NEU 841.

Eine Analyse der Durchmesser des Grundflächenmittelstammes bekräftigt die Stellung der Kiefer innerhalb der Wuchsreihe NEU 841. Lediglich Parzelle 841/3 hat eine etwas geringere Durchmesserleistung, die aber noch immer auf dem Niveau einer I. Ertragsklasse nach WIEDEMANN (1943), mäßige Durchforstung, liegt.

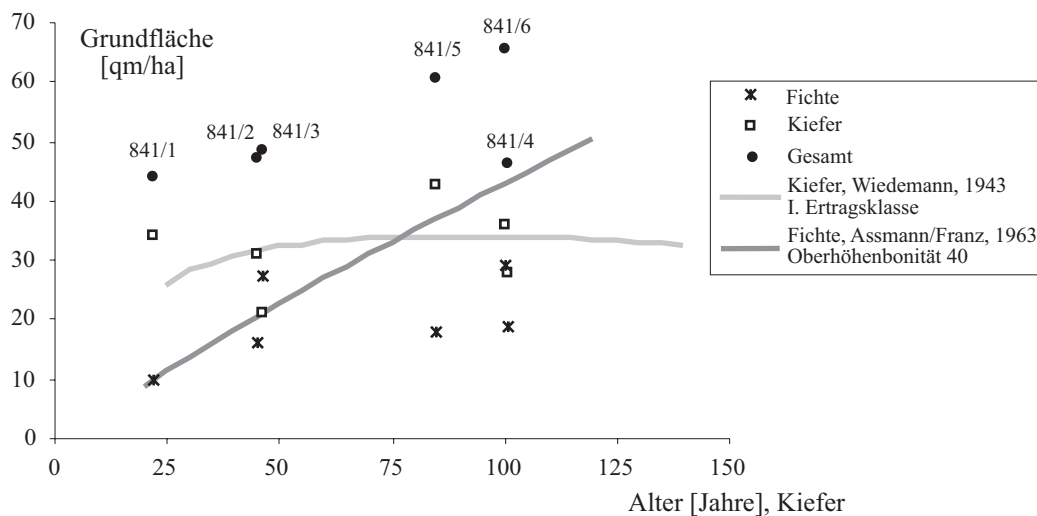


Abb. 5-9: Darstellung der Grundfläche der Baumarten Kiefer, Fichte und des Gesamtbestandes über dem Alter bei der Erstaufnahme im Jahr 1998 auf den Parzellen 841/1 bis 841/6 der Kiefern/Fichten-Wuchsreihe NEU 841.

Die Grundflächen reichen von 44 m²/ha auf der 22-jährigen Parzelle 841/1 bis zu 66 m²/ha auf der 100-jährigen Parzelle 841/6. Diese Werte sind im Oberbayerischen Tertiärhügelland auch in Mischungen von Fichte und Buche anzutreffen.

5.2 Altersverläufe von Vorrat und Volumenzuwachs

Die Betrachtung des Vorrats des verbleibenden Bestandes und Volumenzuwachses in Mischbestands-Wuchsreihen muss berücksichtigen, dass die Parzellen der einzelnen Wuchsreihen keine echte Altersreihe repräsentieren, sondern nur Momentaufnahmen darstellen. Soweit wie möglich sollte sich das Einzelglied einer Wuchsreihe während seiner Altersentwicklung strukturell dem nächsten Glied der Wuchsreihe angleichen. Bei der Anlage der einzelnen Wuchsreihen konnten aber nicht immer über alle Parzellen hinweg gleiche Mischungsanteile der Baumarten realisiert werden. Variationen von Vorrat oder Zuwachs werden außer auf unterschiedliche Mischungsanteile auch auf Strukturunterschiede zurückzuführen sein. Diese Eigenheiten von Wuchsreihen müssen in den folgenden Darstellungen der Vorräte und Volumenzuwächse immer mit berücksichtigt werden.

5.2.1 Absoluter Vorrat und Zuwachs

Um die Leistung der einzelnen Mischungsformen beurteilen zu können, wird ihnen die Vorratsentwicklung eines Fichten-Reinbestandes (ASSMANN/FRANZ, 1963, mittleres Ertragsniveau), eines Buchen-Reinbestandes (SCHOBBER, 1967, mäßige Durchforstung) und eines Kiefern-Reinbestandes (WIEDEMANN, 1943, mäßige Durchforstung) vergleichend gegenübergestellt. Dabei kann davon ausgegangen werden, dass die Parzellen der Wuchsreihen voll bestockt sind, der Bestandaufbau der einzelnen Versuchspartzellen also nicht durch starke Durchforstungsmaßnahmen gekennzeichnet wird.

Bei Betrachtung der Abbildung 5-10 fällt auf, dass der Vorrat der Mischbestände zwischen den Kurven für die Reinbestände aus Fichte und Buche bzw. Kiefer liegt. Die Mischungsformen Kiefer/Buche und Kiefer/Fichte gewinnen also an Vorrat gegenüber einem reinen Buchen- oder Kiefernbestand. Gleichwohl wird die Vorratsakkumulation eines Fichtenreinbestandes kaum überschritten.

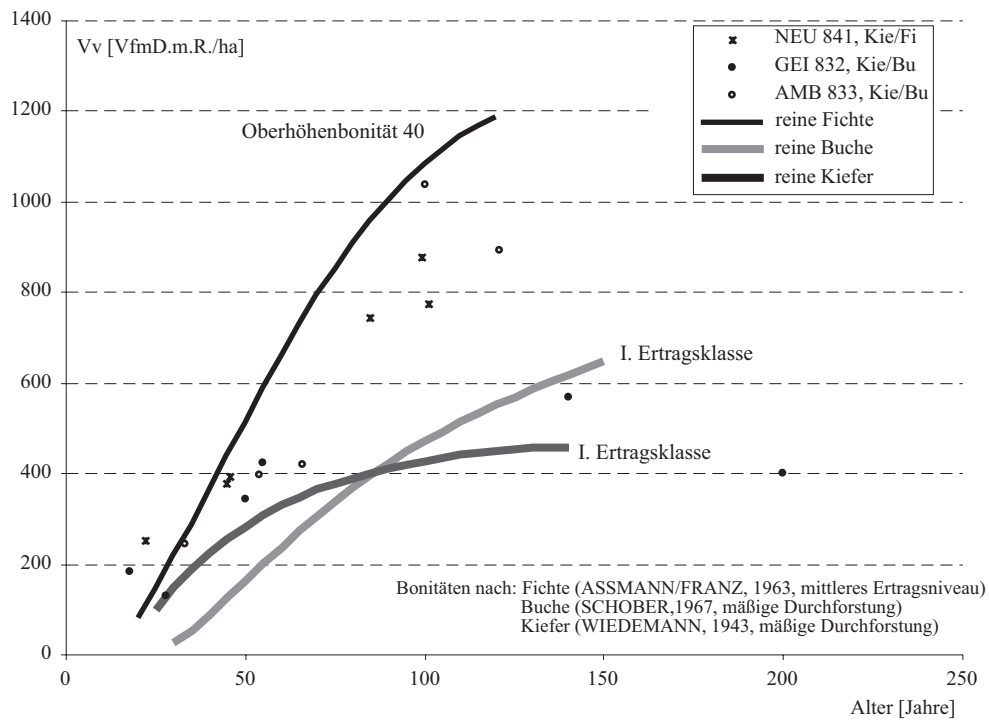


Abb. 5-10: Vergleich der Entwicklung des realen Vorrats des Gesamtbestandes aller Parzellen der Kiefern/Buchen- und Kiefern/Fichten-Wuchsreihen mit einem Fichtenreinbestand (ASSMANN/FRANZ, 1963, Oberhöhenbonität 40, mittleres Ertragsniveau), einem Buchenreinbestand (SCHÖBER, 1967, I. Ertragsklasse, mäßige Durchforstung) und einem Kiefernreinbestand (WIEDEMANN, 1943, mäßige Durchforstung).

Die Mischung aus Kiefer und Fichte liegt in der gesamten betrachteten Altersspanne im Vorrat meist über den Kiefern/Buchen-Mischbeständen. Die zwei sehr hohen Werte auf den Parzellen 833/4 und 833/5 der Wuchsreihe Amberg 833 müssen sicher darauf zurückgeführt werden, dass in einem Fall (833/4) die Kiefer fast völlig fehlt, hier also von einem Fichten/Buchen-Bestand mit einem ausgesprochen hohen Anteil an Fichte ausgegangen werden muss. Auf Parzelle 833/5 trägt die anteilmäßig überlegene Kiefer in Verbindung mit einem hohen Buchen- und Fichtenanteil diesen hohen Vorratswert. Die älteren Parzellen 832/5 und 832/6 der Wuchsreihe Geisenfeld unterstreichen mit ihren Vorräten die große Bandbreite der Vorräte im hohen Alter. Es bleibt damit festzuhalten, dass alle Mischungsformen bis zu einem Alter von ca. 120 Jahren gegenüber einem Buchen- oder Kiefernreinbestand eine Überlegenheit an Vorrat aufweisen und sich den Erwartungswerten für die Fichte annähern.

Der mittlere periodische Volumenzuwachs bietet ein vergleichsweise heterogenes Bild, in dem sich aber eine altersbedingte Entwicklung erkennen lässt (Abb. 5-11). Wird von der Ausnahmesituation der beiden älteren Parzellen in Amberg 833 abgesehen, dann nimmt der Volumenzuwachs tendenziell einen Verlauf, der in der Jugend mit einer frühen Kulmination jenem der reinen Fichte und mit zunehmendem Alter jenem von Buche und Kiefer gleicht. Der Volumenzuwachs unterliegt einem Alterstrend, dem sich auch die Altbestände einzufügen

scheinen. Neben der jüngsten Entwicklungsphase liegt der Zuwachs aller betrachteten Mischbestände ab dem Alter von 80 Jahren über dem Fichtenreinbestand und unterstreicht den Vorteil der Baumartenmischung im höheren Alter.

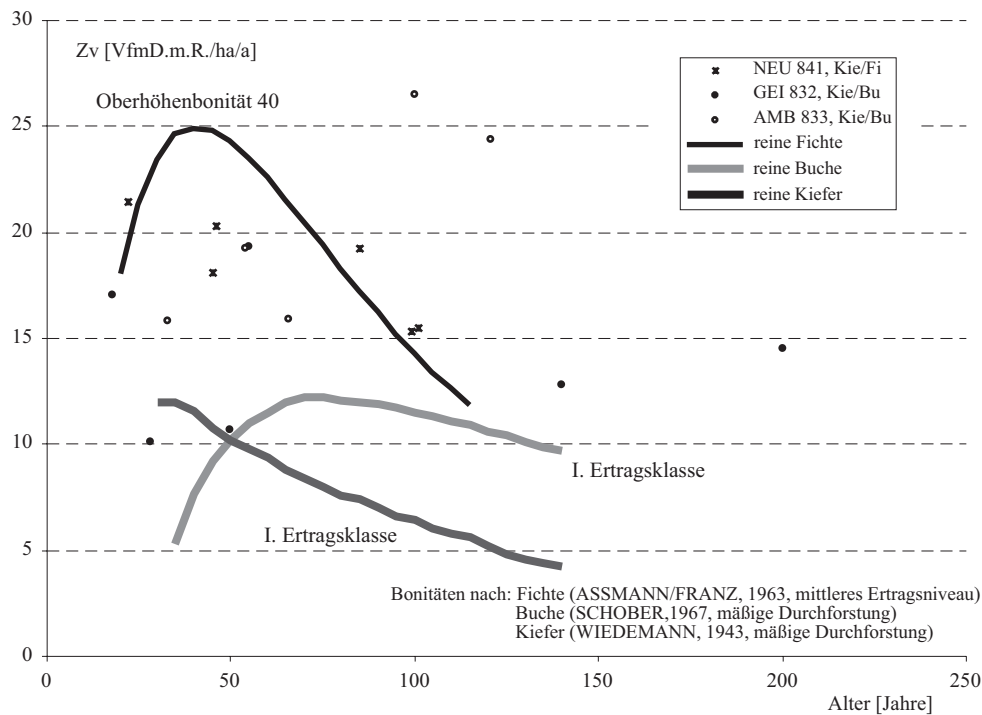


Abb. 5-11: Vergleich der Entwicklung des Volumenzuwachses des Gesamtbestandes aller Parzellen der Kiefern/Buchen- und Kiefern/Fichten-Wuchsreihen mit einem Fichtenreinbestand (ASSMANN/FRANZ, 1963, Oberhöhenbonität 40, mittleres Ertragsniveau), einem Buchenreinbestand (SCHOBER, 1967, I. Ertragsklasse, mäßige Durchforstung) und einem Kiefernreinbestand (WIEDEMANN, 1943, mäßige Durchforstung).

5.2.2 Relativierung von Vorrat und Zuwachs über die Trockenmasse

Das Problem der Vergleichbarkeit der Festmeterleistung der unterschiedlichen Baumarten und des Gesamtbestandes entsteht bei der Gegenüberstellung von Nadel- und Laubbaumholz sowie den verschiedenen Arten dieser Gruppen. Der Schlüssel zur Lösung dazu ist die Umrechnung vom Festmeter in dessen Trockensubstanz und erfolgt über folgende Werte für die Raumdichten (KNIGGE und SCHULZ, 1966):

Baumart:	Umrechnungsfaktor
Buche	0.554 [g*cm ⁻³]
Fichte	0.377 [g*cm ⁻³]
Kiefer	0.431 [g*cm ⁻³]

Bei der Besprechung der Trockenstoffleistung steht zunächst die Bevorratung in den Mischbeständen im Vordergrund (Abb. 5-12).

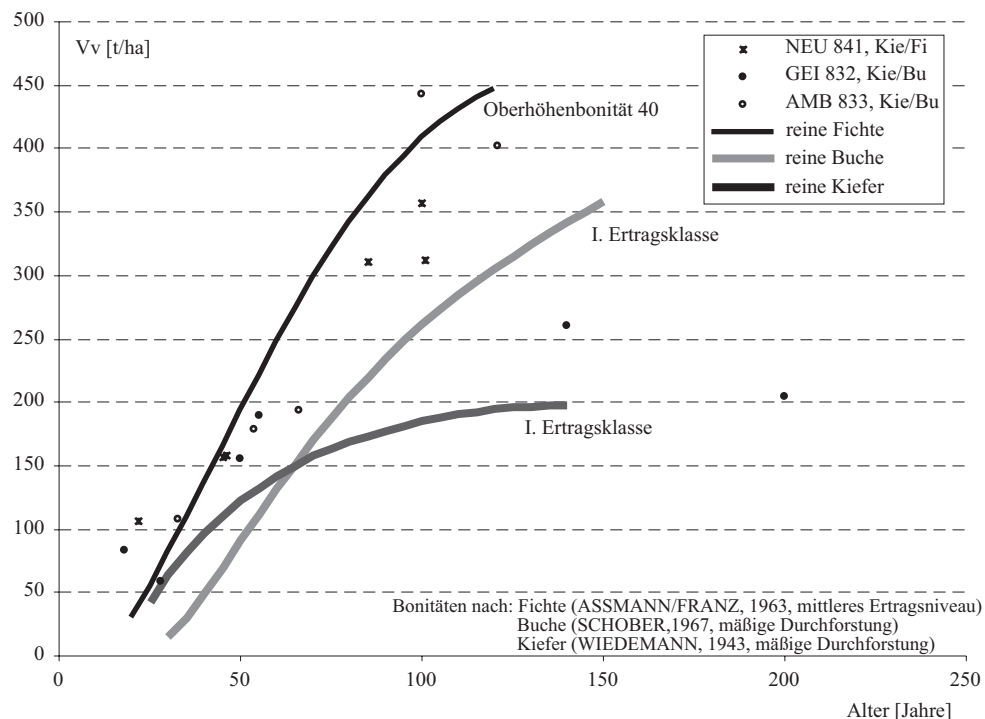


Abb. 5-12: Vergleich der Entwicklung des Trockenmasse des Vorrats des verbleibenden Bestandes für den Gesamtbestand aller Parzellen der Kiefern/Buchen- und Kiefern/Fichten-Wuchsreihen mit einem Fichtenreinbestand (ASSMANN/FRANZ, 1963, Oberhöhenbonität 40, mittleres Ertragsniveau), einem Buchenreinbestand (SCHOBBER, 1967, I. Ertragsklasse, mäßige Durchforstung) und einem Kiefernreinbestand (WIEDEMANN, 1943, mäßige Durchforstung).

Naturgemäß verengt sich der Fächer, den Fichte und Buche ausformen, durch die höhere Dichte der Buche erheblich, bildet aber gleichzeitig wieder die Eingrenzung für die ausgewählten Mischbestände. Hinter dem höheren Vorrat der jüngsten Parzellen der Kiefern/Buchen- bzw. Kiefern/Fichten-Bestände könnte eine Veränderung der Wuchsbedingungen während der letzten Jahrzehnte des vergangenen Jahrhunderts stecken (PRETZSCH, 1999). Die relativierten Zuwachswerte der drei Mischungsarten rücken dabei insbesondere in der jüngeren Entwicklungsphase bis zu einem beobachteten Alter von ca. 70 Jahren näher zusammen. Erst mit zunehmendem Alter fächern sich die Wertepaare wieder auf und nehmen mehr und mehr Abstand von den Erwartungswerten für den Fichtenreinbestand. Die Zumischung von Buche und/oder Fichte zur Kiefer hebt den Vorrat des Mischbestandes aus diesen Baumarten im Gegensatz zum Kiefernreinbestand wesentlich an. Unter der Voraussetzung einer weiteren Zunahme der Wuchsleistung der Buche auf den zwei älteren Parzellen 832/5 und 832/6 werden sich die Massenwerte auch dieser Bestände in absehbarer Zeit von jener des Kiefernreinbestandes entfernen.

Die Reduzierung des realen Volumenzuwachses auf seine Trockenmasse enthüllt bei der Gegenüberstellung von Rein- und Mischbestand große Unterschiede (Abb. 5-13).

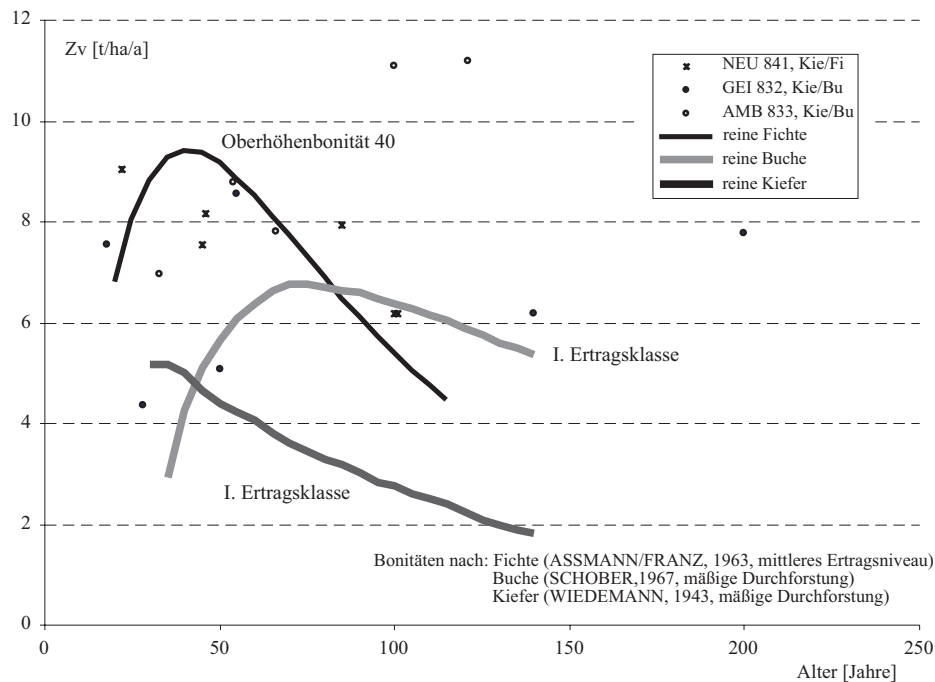


Abb. 5-13: Vergleich der Entwicklung des Zuwachses an Trockenmasse des Gesamtbestandes aller Parzellen der Kie/Bu- und Kie/Fi-Wuchsreihen mit einem Fichtenreinbestand (ASSMANN/FRANZ, 1963, mittleres Ertragsniveau), einem Buchenreinbestand (SCHOBER, 1967, mäßige Durchforstung) und einem Kiefernreinbestand (WIEDEMANN, 1943, mäßige Durchforstung).

Schon die auf Trockenmasse umgerechneten Ertragstafelwerte rücken näher zusammen. Erfolgt dort bei den Volumenzuwächsen eine Annäherung oder gar Überschneidung der Baumarten zu einem wesentlich späteren Zeitpunkt, so wendet sich die Trockenmassenleistung schon bei einem Alter von etwa 80 Jahren einseitig zu Gunsten der Buche. Der Buchenreinbestand wird im höheren Alter vorratsreicher und lässt die Baumarten Kiefer und Fichte im Vorrat deutlich zurück. Der abschließende Blick auf den jährlichen Stammbiomassezuwachs des Gesamtbestandes verfestigt den Eindruck, der sich bei einer Analyse der Vorräte und Massenleistungen herauskristallisierte. Im Gegensatz zum Volumenzuwachs rückt die Punktwolke der Wertepaare aus mittlerer periodischer Biomasseproduktion und Alter weiter zusammen und nähert sich zunächst dem Fichtenreinbestand, um ab dem Alter von 100 Jahren mehr der Buche zu folgen (Abb. 5-13).

Sowohl Vorrat als auch Volumenzuwachs der untersuchten Mischbestände reichen unter den gegebenen standörtlichen Verhältnissen in Dimensionen, die dem Kiefern- bzw. Buchenreinbestand verschlossen bleiben. Dabei unterstreicht die Relation zwischen den Biomassenleistungen den ertragskundlichen Nutzen der ausgewiesenen Mischungsarten, der in gesonderten Fällen den eines Fichtenreinbestandes übertreffen kann.

6 Selbstdifferenzierung im Rein- und Mischbestand

Das Wachstum der Lebewesen und ihrer Teilorgane unterliegt räumlich und zeitlich verschiedenen Geschwindigkeiten, der Allometrie, in deren Gefolge eine Verschiebung der Proportionen stattfindet. Augenscheinlich wird dies am Beispiel eines Baumes, der sich morphologisch während seines Lebens hinsichtlich Höhe, Kronendurchmesser oder Durchmesser artenspezifisch stark verändert. Diese allometrischen Formwandlungen sind für die Entwicklung, das Konkurrenzverhalten und damit der Überlebensfähigkeit eines Baumes von entscheidender Bedeutung. Die allometrischen, d. h. unproportionalen Veränderungen von morphologischen Strukturen lassen sich dabei in vielen Fällen durch das allometrische Wachstumsgesetz beschreiben (BERTALANFFY, 1951), nach dem die Wachstumsgeschwindigkeit eines Organs zu der eines anderen Organs oder des Gesamtkörpers in einem konstanten Verhältnis steht.

Es erscheint offensichtlich, dass das Wuchsverhalten der Baumarten im Mischbestand sich vom Reinbestand unterscheidet, weil hier aufgrund biologischer und dendrologischer Verschiedenheit die Raumbesetzung differenzierteren Gesetzmäßigkeiten unterliegt. Unter Anwendung der allometrischen Beziehungen soll zum einen die Frage beantwortet werden, inwieweit sich die Selbstdifferenzierung der Kiefer im Mischbestand vom Reinbestand unterscheidet, und ob ein baumartenspezifischer Einfluss auf die Allometriekonstante als Maß für den Zusammenhang zwischen Durchmesser und Stammzahl nachweisbar ist.

Zur Beantwortung dieser Frage wurden zunächst auf der Basis von langfristig beobachteten, undurchforsteten Versuchsflächen aus Reinbeständen mit Fichte, Kiefer, Eiche und Buche die baumartenspezifischen Allometriekoeffizienten als Referenzwerte abgeleitet. Die Untersuchungen zum Wuchsverhalten in Kiefern-Mischbeständen konzentrieren sich auf die Kiefern/Buchen-Wuchsreihen Geisenfeld 832 und Amberg 833, weil hier über die Ergebnisse der Wiederholungsaufnahmen mit ihrer zeitlichen Komponente eine Entwicklungstendenz sichtbar wird. Gelegentlich wird die Rolle der Kiefer in den Kontext mit den Hauptbaumarten Buche, Fichte und Eiche gebracht.

6.1 Stammzahl-Durchmesser-Allometrie

Das allgemeine Allometrieprinzip liegt auch der Stammzahl-Durchmesser-Allometrie zugrunde, nach der REINEKE (1933) seine Bestandes-Dichte Regel ('stand density rule') entwickelte. Danach ist die Stammzahl eines Bestandes proportional dem mit dem Allometriekoeffizienten potenzierten Mitteldurchmesser. REINEKE unterstellt für ein breites Spektrum von Arten gleiche allometrische Relationen zwischen Größe und Dichte. Auf der Basis umfangreicher

Untersuchungen in undurchforsteten Beobachtungsflächen in den USA, bei denen sich zeigte, dass der Allometrikoeffizient nur geringen Schwankungen bei verschiedenen Baumarten, Bestandesstrukturen und Standorten unterworfen ist, gelangt REINEKE zu der Erkenntnis, den Allometrikoeffizienten als Konstante mit dem Wert $r = -1.605$ festlegen zu können. Seine Bestandes-Dichte-Regel folgt der Beziehung

$$N = a \cdot d^{-1,605} \quad (1)$$

mit:

N : Stammzahl

d : Mitteldurchmesser

a : isometrische Konstante zur Bestimmung der Höhenlage

Unter der Verwendung von Stammzahl-Durchmesser-Wertepaare zweier aufeinanderfolgender Aufnahmen lässt sich der räumliche Allometrikoeffizient bestimmen:

$$r = \frac{\ln(N_2/N_1)}{\ln(d_2/d_1)} \quad (2)$$

mit:

N_1, N_2 : Stammzahlen zu den Aufnahmezeitpunkten 1 bzw. 2

d_1, d_2 : Mitteldurchmesser zu den Aufnahmezeitpunkten 1 bzw. 2

r : Allometrikoeffizient

Dabei kann artspezifische Allometrie bestmöglich in unbehandelten, vollbestockten Reinbeständen untersucht werden. Denn bei maximaler Konkurrenz stellt sich ein Gleichgewichtszustand ein: Bäume, die ein mittleres Größen-Standflächenverhältnis unterschreiten, sterben ab; ein Überschreiten dagegen wird durch konkurrierende Nachbarn verhindert. Im Allometrikoeffizienten r , der sich unter Selbstdurchforstungs-Bedingungen einstellt, sollte damit eine artspezifische Effizienz der Raumbesetzung zum Ausdruck kommen, die zunächst auf der Basis der Reinbestände als Referenz bestimmt wird.

Reinbestände aus Kiefer und Buche

Der Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Technischen Universität München mit seinem langfristigen, bis weit in das 19. Jahrhundert hineinreichende Versuchswesen, verfügt über entsprechende Versuche, auf denen das Wachstum der Kiefer und der Buche unter A-Grad-

Bedingungen beobachtet werden kann. Tabelle 6-1 gibt eine Zusammenstellung der Versuchsflächen wieder, die für diese Untersuchung ausgewählt wurden.

Die 0.25-0.3 ha großen Kiefern-Versuche konzentrieren sich auf ärmere Jura- und Kreide-Standorte in Nordostbayern. Die insgesamt sechs Versuche decken mit Bonitäten von I bis III nach WIEDEMANN (1943/48), mäßige Durchforstung, ein relativ weites Standortspektrum ab. Die Mehrzahl der Kiefernversuche geht auf Saat nach Kahlschlag zurück. Den 3 bis 5 kg*ha⁻¹ Kiefern Samen wurden z. T. 0.5-3.0 kg*ha⁻¹ Samen von Lärche, Strobe oder Robinie beigemischt. Schon bei der Erstaufnahme waren diese Mischbaumarten aber kaum noch vorhanden. Die Fläche Schnaittenbach 57 geht auf Pflanzung von 10.000 N/ha im Verband 1,0 m * 1,0 m nach Kahlschlag zurück.

Tab. 6-1: Datenbasis für die Untersuchung der Selbstdifferenzierung in Buchen- und Kiefer-Reinbeständen: A-Grad Parzellen klassischer Durchforstungsversuche.

Baumart	Versuchsfläche/Parz.	N	Aufnahmen	Alter (Jahre)	Stammzahl (Stück/m ²)	Mittelhöhe (m)	Durchmesser (cm)	Vorrat (Vfm.m.R.ha)	IV (Vfm.m.R./ha/a)	GWL (Vfm.m.R.ha)
Kiefer	SLU 50/1	13	1899-1991	26-118	4900- 550	8.9-29.3	8.3-32.1	96- 594	4.1- 7.9	97- 870
	SNA 57	13	1901-1995	44-138	5104- 456	9.1-23.8	7.8-28.3	80- 313	1.9- 6.3	84- 573
	BOD 229/9	8	1961-1999	36- 74	4650- 850	8.0-19.0	6.7-19.5	39- 222	7.4-10.6	68- 433
	WAS 234/1	9	1962-1999	86-122	1117- 358	14.0-23.6	15.3-28.2	129- 243	5.0- 7.6	243- 539
	BUL 240/1	7	1965-1999	59- 93	1080- 620	12.5-19.4	15.5-25.4	117- 283	6.9- 6.3	196- 426
	HED 243/6	6	1971-1996	72- 97	2067-1056	16.9-22.4	14.6-21.8	253- 392	11.4- 9.6	340- 623
Buche	ELM 20/1	13	1871-1967	49-145	5844- 400	13.2-35.0	7.7-36.0	117- 735	8.9-11.9	117- 991
	FAB 15/1	12	1870-1958	48-136	6220- 477	12.5-32.2	7.6-34.1	126 -715	9.3-10.3	126- 918
	HG 333/3	11	1951-1999	56-104	2368- 840	12.7-26.3	13.6-26.9	216- 632	18.2-11.0	216- 765
	HAI 27/1	16	1870-1994	38-162	6533- 269	12.2-36.5	6.9-43.6	98- 758	6.3- 9.9	98-1197
	KIR 11/1	10	1871-1936	49-114	5146- 755	11.1-26.5	8.6-27.8	128- 609	11.6-11.2	128- 798
	LOH 24	13	1871-1967	66-162	7081- 292	13.5-32.3	8.2-39.6	212- 569	5.7-11.4	212-1038
	MIS 25/1	15	1870-1981	42-153	11242- 439	8.7-29.1	5.7-35.8	54- 654	5.8- 8.2	54- 920
	ROT 26/1	14	1871-1967	48-144	5458- 425	13.2-34.0	8.2-37.0	147- 796	9.2-10.8	147-1046
	WAB 14/1	15	1870-1967	48-145	6206- 650	10.4-28.8	7.8-29.3	102- 638	7.6-11.6	102- 947

Die einbezogenen Buchen-Versuchsflächen repräsentieren mittlere bis sehr gute Standorte im Bereich von Keuper und Buntsandstein in Mitteleuropa. Die Höhenbonitäten reichen von I bis III nach SCHÖBER (1967), mäßige Durchforstung. Unter optimalen Wuchsbedingungen werden dort ca. 1.000 Vfm·ha⁻¹ Gesamtwuchsleistung im Alter 150 und damit die Hälfte der Vergleichswerte in Fichtenbeständen erreicht. Die Bestände sind aus natürlicher Verjüngung als Ergebnis des Großschirmschlags nach HARTIG hervorgegangen, wodurch die Bestände trotz natürlicher Verjüngung durchweg gleichaltrig sind. Die Flächengrößen variierten zwischen 0.25 und 0.4 ha, waren vor der Versuchsanlage unbehandelt und wurden seitdem nur von abgestorbenen oder absterbenden Bäumen befreit.

Kiefern/Buchen-Mischbestände

Demgegenüber werden die Mischbestände aus Kiefer und Buche durch die Wuchsreihen Geisenfeld 832 und Amberg 833 repräsentiert. Ihre ausführliche ertragskundliche und strukturelle Beschreibung war bereits Gegenstand von Kapitel 5, deshalb seien hier nur einige Eckdaten angeführt (Tab. 6-2).

Tab. 6-2: Datenbasis für die Untersuchung der Selbstdifferenzierung in Mischbeständen: Wuchsreihen zu der Mischung aus Kiefer und Buche.

Mischung	Wuchsreihe	N	Aufnahmen	Baumart	Alter (Jahre)	Stammzahl (Stück/m ²)	Mittelhöhe (m)	Durchmesser (cm)	Vorrat (Vfm.m.R./ha)	IV (Vfm.m.R./ha/a)
Kiefer/Buche	AMB 833	5	1994, 2001	Kiefer	26-121	1211- 42	12.1-32.5	12.2-38.8	71- 467	1.3-13.4
				Buche	36-122	683-192	13.2-29.8	12.4-31.5	27- 274	3.2- 8.6
				Gesamt		1592-450			102- 700	7.2-20.5
Kiefer/Buche	GEI 832	6	1996, 2002	Kiefer	15-206	3364- 34	9.3-32.3	10.1-61.1	35- 525	0.9-16.0
				Buche	28-106	1013-161	9.6-27.0	7.5-25.6	9- 318	2.3-11.6
				Gesamt		3537-467			44- 678	12.5-19.5

6.2 Allometrikoeffizient und Selbstdifferenzierung

Zunächst bestätigen umfangreiche Analysen mit dem Datenmaterial der Reinbestände, dass die Größen-Dichte-Allometrie tatsächlich artenspezifisch ist und eine Ursache für die unterschiedliche Konkurrenzkraft der Baumarten im Rein- und Mischbestand darstellt (PRETZSCH, 2003). Für Reinbestände ergeben sich mittlere Werte des Allometrikoeffizienten von -1.69 für Buche, -1.47 für Fichte, -1.38 für Kiefer und -1.23 für Eiche und damit die Rangfolge Bu < Fi < Ki < Ei. Damit ergeben sich zum Teil beträchtliche Abweichungen von der Allometriekonstanten mit dem Wert von -1.605 nach der Bestandes-Dichte-Regel nach REINEKE (vgl. Formel 1, Abschnitt 6.1) und bestätigen die Notwendigkeit einer baumartenspezifischen Betrachtungsweise.

Der Zusammenhang zwischen relativer Dimensionszunahme und Änderung der Anzahl pro Flächeneinheit (vgl. Gleichung 2) bringt die Effizienz der Standraumbesetzung zum Ausdruck. Umso mehr Raum mit zunehmender Größe besetzt wird, desto rascher vollzieht sich die Selbstausdünnung und desto geringer ist der Allometrikoeffizient. Damit wird die Buche im Reinbestand als diejenige Baumart mit der geringsten Selbsttoleranz charakterisiert, während die Lichtbaumarten Kiefer und Eiche im Vergleich zu Fichte und Buche eine höhere Fähigkeit besitzen, mit Bäumen der selben Art zu konkurrieren oder diese zu tolerieren.

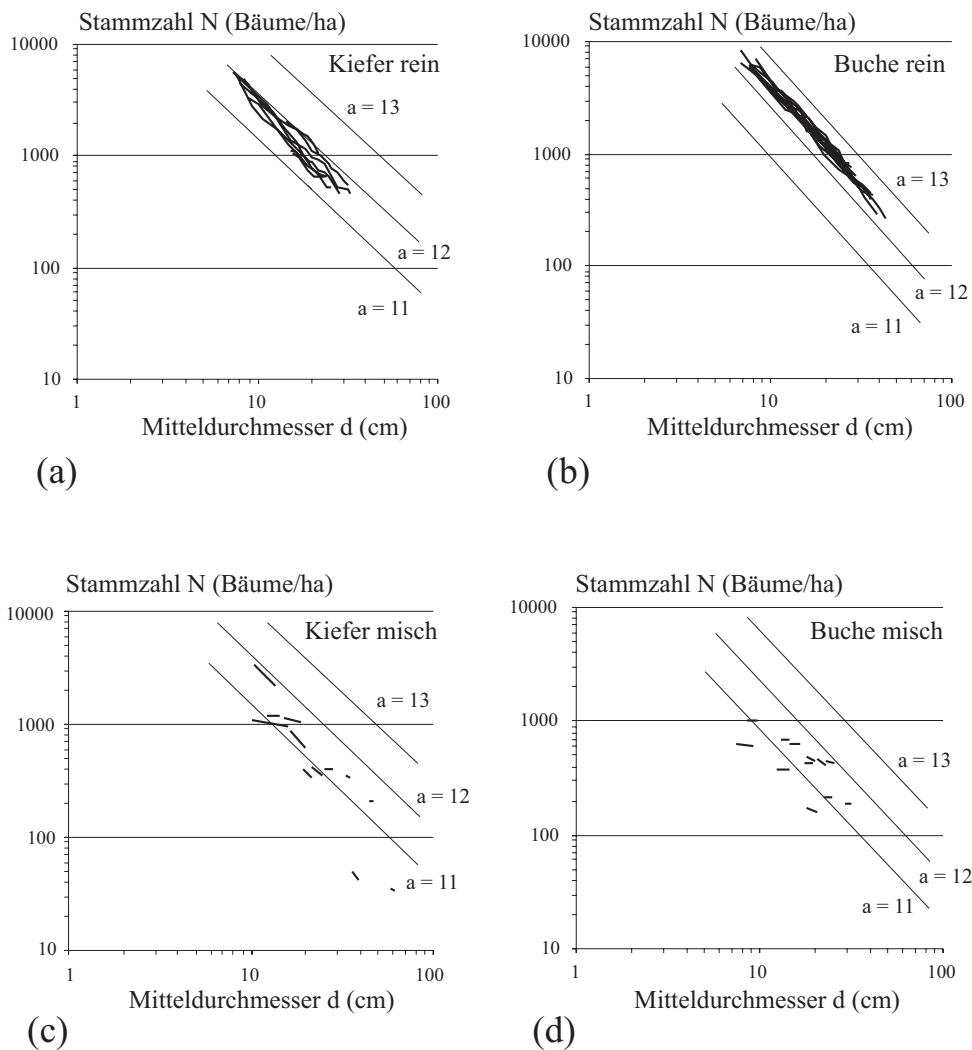


Abb. 6-1: N-d-Verläufe im doppelt logarithmischen Koordinatensystem für Kiefer und Buche im Reinbestand (a und b) und im Mischbestand (c und d). Als Referenzlinien sind Geraden mit den artspezifischen Steigungskoeffizienten von $r = -1,789$ für Buche und $r = -1,567$ für Kiefer eingetragen; die Höhenlage der Geraden wurde durch Einsetzung der Lageparameter $a = 11$ bis 13 variiert (vgl. Gleichung 1).

Abbildung 6-1 stellt die N-d-Beziehung im doppelt logarithmischen Koordinatensystem in Reinbeständen aus Kiefer bzw. Buche (oben) den entsprechenden N-d-Steigungen dieser Baumarten im Mischbestand (unten) gegenüber. Während der Stammzahlrückgang im Reinbestand bei beiden Baumarten recht rasant verläuft, bietet sich im Mischbestand ein differenziertes Bild. Schon die baumartenspezifischen Allometrikoeffizienten in Mischbeständen mit Werten von $-0,40$ für Buche, $-1,02$ für Fichte, $-1,06$ für Kiefer und $-2,01$ für Eiche signalisieren eine Umkehr der Rangfolge des Reinbestandes. Aus dieser Veränderung kann abgelesen werden, ob die Ausdünnung einer Art durch die Beimischung beschleunigt oder gebremst werden kann.

Die Ergebnisse aus den Kiefern/Buchen-Mischbeständen (vgl. Abb. 6-1) bestätigen zum einen das unterschiedliche Wuchsverhalten beider Baumarten gegenüber dem Reinbestand, bringen zum anderen aber sehr schön artenspezifische Eigenheiten zum Ausdruck. Die geringe

Selbsttoleranz der Buche im Reinbestand kehrt sich um und richtet sich im Mischbestand erfolgreich gegen die vergesellschaftete Art. Auf einem Großteil der untersuchten Parzellen verläuft die Stammzahlabnahme bei der Buche über alle Altersstufen hinweg mit zunehmendem Mitteldurchmesser wesentlich flacher als im Reinbestand (Abb. 6-1d), während die Kiefer eher indifferent reagiert (Abb. 6-1c).

7 Standfläche und Grundflächenzuwachs von Kiefer und Buche

Bei sehr stark auf den Einzelbaum bezogenen Behandlungsprogrammen stellt sich die wichtige Frage nach einem Zusammenhang zwischen der Produktivität von Einzelbaum und Bestand. In seiner Analyse der Standraumökonomie von Einzelbäumen auf langfristig beobachteten Versuchsflächen hat UTSCHIG (2002) für die Baumarten Eiche, Fichte und Buche ein Verfahren zur Untersuchung der Zusammenhänge zwischen Standraum des Einzelbaums und seiner Zuwachsleistung vorgestellt.

In Bezug auf dieses Verfahren werden im folgendem Kapitel die Standflächen von Kiefern und Buchen analysiert. Dabei soll aufgezeigt werden, inwieweit ein Zusammenhang zwischen Standfläche und Grundflächenzuwachs der Einzelbäume besteht und welche Unterschiede sich zwischen Kiefer und Buche ausbilden. Eine standflächenbezogene Relativierung des Grundflächenzuwachses wird dabei helfen, die gewonnenen Ergebnisse weiter zu präzisieren.

7.1 Bestimmung der Standflächen über Voronoi-Diagramme

Um unterschiedliche Wuchsleistungen klein- oder großkroniger Bäume quantifizieren zu können, müssen zunächst geeignete Maßzahlen für eine vergleichende Beurteilung gewählt werden. Als leistungsbezogene dendrometrische Variable wird dabei auf den Grundflächenzuwachs des Einzelbaumes zurückgegriffen. Da das Konzept zur Anlage und ertragskundlichen Aufnahme auf den Parzellen der Wuchsreihen eine Kronenablotung gleichzeitig zuwachsgebohrter Bäume nicht vorsieht, muss über entsprechende Durchmesserenausgleichsfunktionen der Grundflächenzuwachs dieser ungebohrten Bäume der Kernfläche geschätzt werden. Sicherlich besteht über diese Methode eine gewisse Unschärfe, weil den ungebohrten Bäumen damit ein Zuwachs nur über deren BHD zugeordnet wird. Die Analysen der Ausgleichsfunktionen zeigen allerdings, dass die geschätzten Zuwachswerte die beobachteten Situationen adäquat wiedergeben. Zudem wird über eine Beschränkung der standflächenmäßig untersuchten Bäume auf die Baumklassen I, II und III nach KRAFT eine übermäßig konkurrenzbedingte Streuung oder Fehleinschätzung in Bezug auf ihren Zuwachs abgefangen.

Eine Zuteilung einer definierten zweidimensionalen Standfläche in einem mehrschichtigen Mischbestand an einen Einzelbaum ist sicher mit großen Schwierigkeiten verbunden. Gleichzeitig kommt dieser genauen Bestimmung der Standfläche eine große Bedeutung zu (PRODAN, 1968), wenn der Zusammenhang zwischen Produktivität und Standfläche analysiert werden soll.

Mit der Berechnung von Voronoi-Diagrammen wurde ein Verfahren entwickelt, dass sowohl die Kronenschirmfläche als auch den Freiraum zwischen den Kronen eindeutig zuordnet. Über eine Interpolation der gemessenen Radien aus den Kronenablotungen mit Hilfe eines parametrischen zyklischen Splines wird zunächst die Kronenperipherie beschrieben und anschließend durch einen Polygonzug approximiert. Durch Verschneidung dieser Kronenflächen werden gemeinsame Schnittflächen herausgefiltert und anteilmäßig zugeordnet. Eine Drei- und Mehrfachüberschirmung wird mit diesem Verfahren nicht berücksichtigt. Durch die Beschränkung auf die Bäume der herrschenden Schicht (Baumklassen nach KRAFT (1884) kleiner als 3) ist diese Vereinfachung gerechtfertigt.

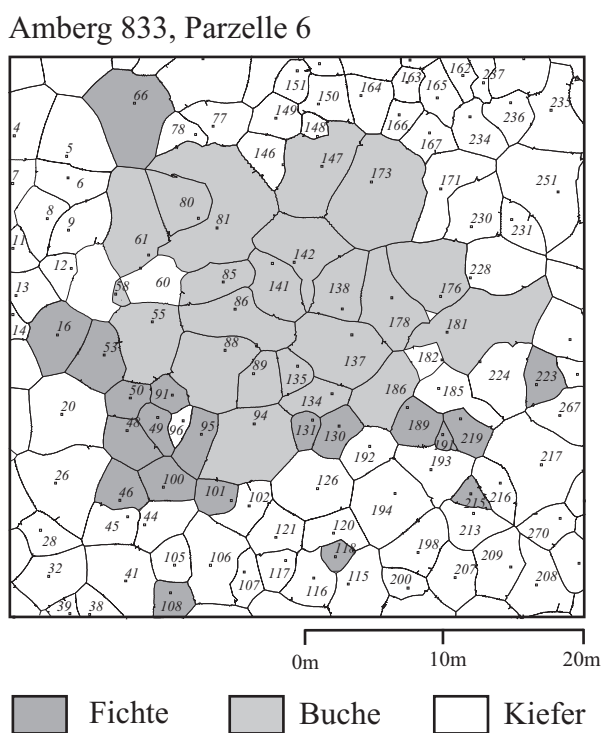


Abb. 7-1: Zuteilung des Standraumes von Kiefer, Fichte und Buche über die Berechnung von Voronoi-Diagrammen auf dem abgeloteten Bereich der Parzelle 6 der Kiefern/Buchen-Wuchsreihe Amberg 833 (Ausschnitt).

Die entstandenen Kronensegmente werden so durch Linien getrennt, dass die Punkte der beteiligten Kronenteilflächen jeweils den gleichen Abstand zu dieser Linie einnehmen. Verbinden sich diese Linien zu einer Zelle, der sogenannten Voronoi-Zelle, wird eine Fläche beschrieben, die der Standfläche desjenigen Baumes entspricht, dessen Krone dieser Zelle zuzuordnen ist.

Damit wird jedem Baum eine bestimmte Fläche zugewiesen, welche die gesamte Einfachüberschirmung seiner Krone enthält und ihm zusätzlich anteilmäßig die ihn umgebenden Mehrfachüberschirmungen und Freiflächen zuordnet (Abb. 7-1). Die Zuordnung basiert dabei auf

der Anzahl der beteiligten Bäume. Aufgrund der Eigenschaften des Voronoi-Diagrammes wird dabei die gesamte Bestandesfläche gänzlich ohne Überlappungen aufgeteilt.

7.2 Standfläche und Grundflächenzuwachs

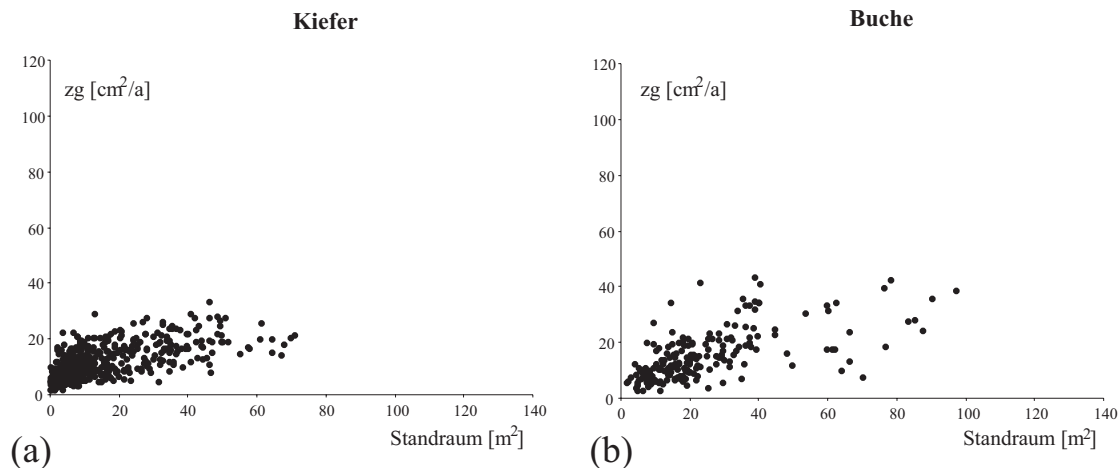


Abb. 7-2: Zusammenhang zwischen Standfläche und Grundflächenzuwachs von Kiefer (a) und Buche (b) auf den Kiefern/Buchen-Wuchsreihen Geisenfeld 832 und Amberg 833.

Der Zusammenhang zwischen dem Grundflächenzuwachs der Einzelbäume und ihrer Standfläche wird für die Kiefern/Buchen-Wuchsreihen Geisenfeld 832 und Amberg 833 in Abbildung 7-2 dargestellt.

Der Unterschied im Zusammenhang zwischen Standfläche und Grundflächenzuwachs von Kiefer und Buche ist offensichtlich. Der Ausbau der Krone bei der Buche bei vorherrschenden, sehr wüchsigen Bäumen äußert sich in einer sehr großen Standfläche. Der überwiegende Teil der beobachteten Bäume liegt in einer Größenordnung, die etwa bis 40 m² Standfläche pro Baum reicht. Im Gegensatz zur Kiefer, wo selbst über 200-jährigen Bäumen kaum mehr als 60 m² Standfläche beanspruchen, nimmt der Grundflächenzuwachs über der Standfläche bei der Buche deutlich stärker zu. Demgegenüber überschreitet der Grundflächenzuwachs der Kiefer einen Wert von 30 cm² über dem gesamten Altersspektrum nur sehr selten. Damit kommt die überlegene Grundflächenzuwachsleistung der Buche gegenüber der Kiefer bei gleicher Standfläche zum Ausdruck.

7.3 Standfläche und standflächenbezogene Produktivität

Ein Vergleich der Baumarten Buche und Kiefer legt zunächst offen, dass dem standflächenbezogenen Grundflächenzuwachs über eine sehr große Spannweite (ca. 25 bis zu

100 m² Standfläche) ähnliche, gleichbleibende Zuwachswerte zuzuschreiben sind (Abb. 7-3). Zunehmende Standfläche übernimmt damit im Hinblick auf den Grundflächenzuwachs der Bäume nicht die Funktion eines fördernden Faktors. Je kleiner die Standfläche ab etwa 25 m² wird, desto größer wird der auf eine Standflächeneinheit (1 m²) bezogene Grundflächenzuwachs und er erreicht bei der Kiefer über 8 cm² pro Jahr und Quadratmeter. Dieser Anstieg ist bei der Buche weniger ausgeprägt.

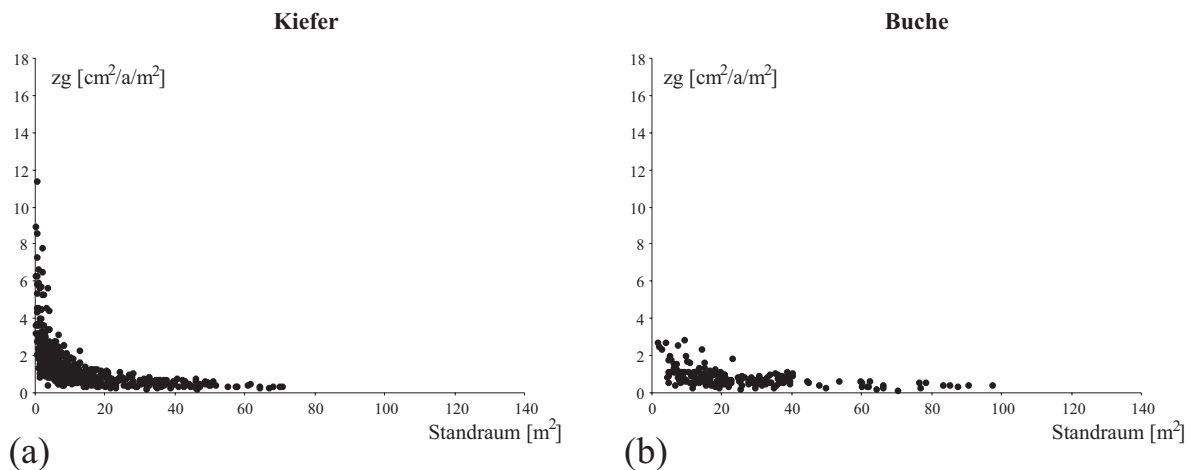


Abb. 7-3: Zusammenhang zwischen Standfläche und standflächenbezogenem Grundflächenzuwachs von Kiefer (a) und Buche (b) auf den Kiefern/Buchen-Wuchsreihen Geisenfeld 832 und Amberg 833.

Die Verschneidung der berechneten Einzelbaumstandflächen aus dem umfangreichen Datenmaterial der Kronenablotungen mit dem Grundflächenzuwachs als Maßzahl für die Produktivität eines Baumes zeigt, dass großkronige Bäume mit einem damit verbundenem hohen Standraum offenbar mehr Assimilate in die Ausformung der Krone stecken müssen, als dies bei Bäumen mit kleinen Kronen der Fall ist. Die standflächenbezogene Leistung geht ab einer Standfläche von ca. 20 bis 30 m² bis hin zu 100 m² auf recht geringe Werte zurück.

8 Quantifizierung des Mischungseffekts auf Einzelbaumebene

Bei einem Vergleich der Leistungsfähigkeit zwischen Rein- und Mischbestand müssen standörtliche Differenzen berücksichtigt werden, wenn ein klares Reaktionsmuster abgeleitet werden soll. Die Möglichkeit einer getrennten Ausweisung von Reinbestandspartien und Arealen mit hoher Durchmischung der Baumarten, wie sie auf den Parzellen von Wuchsreihen anderer Mischungsarten bei homogenen Standortverhältnissen realisiert werden können, ist in Kiefern/Buchen-Mischbeständen nicht gegeben, denn die Einzelmischung lässt eine solche Trennung nicht zu. Desweiteren bedingen strukturelle Eigentümlichkeiten der Bestände eine erschwerte Zuordnung und Festlegung, worin und in welchem Umfang die Mischung Einfluss auf den Zuwachs nimmt. Diese Problematik wird umgangen, wenn das Einzelbaumwachstum analysiert wird. Auf dieser Ebene soll im Folgenden auf den Kiefern/Buchen- und Kiefern/Fichten-Wuchsreihen eine Antwort auf folgende Fragen gegeben werden:

- (1) Welchen Effekt üben Ausgangsdimension (Ausgangsgrundfläche), Konkurrenz (Konkurrenzindex) und Mischungsanteil (Prozentanteile der beigemischten Art innerhalb eines definierten Einflussbereiches) auf den Grundflächenzuwachs des Zentralbaumes aus?
- (2) Welcher Grundflächenzuwachs ist für den Mittelstamm (mittlere Ausgangsgrundfläche und Konkurrenz) im Reinbestand zu erwarten?
- (3) Wie verändert die Beimischung den erwarteten Grundflächenzuwachs?
- (4) Bei welcher Art und in welchem Umfang zeichnen sich Gewinne bzw. Verluste durch die Mischung ab?

8.1 Analyse des Mischungseffektes

Um die Wirkungen der Zumischung einer zweiten Baumart auf das Leistungsvermögen einer gegebenen Baumart auf Einzelbaumebene zu präzisieren, muss zunächst eine geeignete Maßzahl zur Bestimmung des Mischungsanteils gefunden werden. Es liegt nahe, zu diesem Zweck einen Bereich festzulegen, innerhalb dessen eine Einflussnahme benachbarter Bäume auf den Zentralbaum über deren Krone feststellbar wird. Im Zuge der Untersuchungen zur Frage des Wachstums von Fichtensolitären am Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Technischen Universität München wurde eine Beziehung entwickelt, die den Einflussbereich des jeweiligen Zentralbaumes als Einflusszone definiert, die nur über seine Höhe bestimmt wird (SEIFERT et al., 2002).

In Abbildung 8-1 wird dieses Verfahren beispielhaft illustriert. Einem Zentralbaum mit seiner definierten Kronengrundfläche und seinem Einflussbereich E (ein Kreis mit dem Radius r um

seinen Stammmittelpunkt) stehen Nachbarbäume (B1 bis B5) gegenüber, deren Krone in direktem Kontakt mit dieser Kreisfläche stehen.

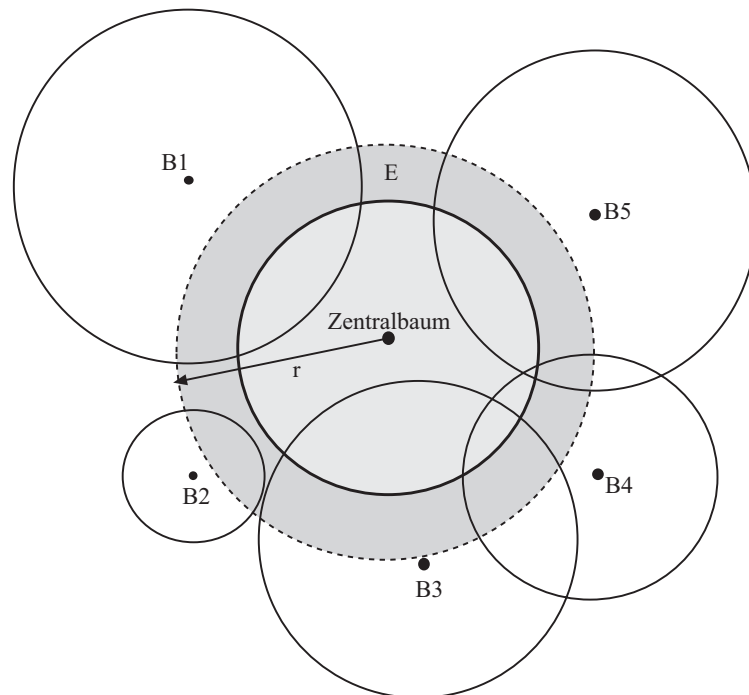


Abb. 8-1: Methode zur Berechnung des Mischungsanteils der einzelnen Baumarten im Einflussbereich E des Zentralbaumes.

Über den Quotienten aus der Summe der artfremden Kreissektorenflächen und der Gesamtheit der Kreissektorenflächen lässt sich damit der Mischungsanteil derjenigen Baumarten bestimmen, die nicht der Art des Zentralbaumes zuzurechnen sind.

Da für die gewählte Betrachtungsweise nur von einer Zwei-Arten-Mischung ausgegangen wird, ergibt sich für die Mischungsart Kiefer/Buche eine Vereinfachung, weil der zum Teil erhebliche Fichtenanteil auf den Parzellen dieser Wuchsreihen jeweils der zugemischten Art, hier also der Kiefer oder der Buche, zugeschlagen wird. Die Unterscheidung erfolgte damit nur zwischen Kiefer bzw. Buche und zweiter Baumart. Gleichwohl wird der Einfluss des Mischungsanteils auf das Wuchsverhalten beider Baumarten in Bezug auf eine zweite Mischbaumart richtig wiedergegeben.

Für die Quantifizierung des Mischungseffektes auf Einzelbaumebene über den Konkurrenzindex erscheint es zwingend, dass diese Kenngröße von vorneherein keinerlei baumartenspezifischen Einflüssen unterliegt. Eine entsprechende Transformation zur Berechnung des Konkurrenzindex CI mit dem Wuchssimulator SILVA, bei der die Gewichtung nach der Baumart ausgeschaltet wird, gewährleistet seine Verwendbarkeit im gewählten Verfahren.

Zur Diagnose von Mischungseffekten wird das Modell

$$zg = a + b \cdot g + c \cdot CI + d \cdot M + \varepsilon \quad (1)$$

mit

zg : mittlerer periodischer Grundflächenzuwachs des Einzelbaumes (cm²/Jahr)
g : Ausgangsgrundfläche des Baumes (cm²)
CI : Konkurrenzindex
M : Mischungsanteil (%)
a,b,c,d : Funktionsparameter
ε : Fehler

aufgestellt. Für die hier behandelten Zwei-Arten-Mischbestände wird das Modell für Baumart 1 und 2 parametrisiert. Im ersten Fall bezeichnet M den Mischungsanteil von Baumart 2, im zweiten jenen von Baumart 1. Damit lassen sich die Funktionsparameter a, b, c und d ableiten.

Für die weiteren Berechnungen steht zunächst die Bestimmung des mittleren Konkurrenzindex CI_m im Mittelpunkt. Dazu wird als Ausgleichsfunktion für den Zusammenhang zwischen Konkurrenzindex und Grundflächen eine Hyperbel gewählt. Mit Hilfe dieser Ausgleichsfunktion lässt sich der mittlere Konkurrenzindex CI_m des Grundflächenmittelstammes schätzen.

Mit der Wahl der Grundfläche des Mittelstammes als Maß für den erwarteten Zuwachs der jeweiligen Baumart ohne den Einfluss einer Zumischung wird dem funktionalen Verhalten der gewählten Regressionen Rechnung getragen. In den Randbereichen der Ausgleichsfunktionen kann eine weitgehende statistische Absicherung der Zusammenhänge aufgrund des geringeren Datenmaterials nicht oder nicht mehr in gefordertem Umfang gewährleistet werden. Damit lässt sich für den Grundflächenmittelstamm mit g_m und CI_m der zu erwartende Grundflächenzuwachs zg_m ohne den Einfluss eines Mischungseffektes berechnen:

$$zg_m = a + b \cdot g_m + c \cdot CI_m \quad (2)$$

mit

zg_m : erwarteter Grundflächenzuwachs des Mittelstammes im Reinbestand
 g_m : Grundfläche des Mittelstammes (cm²)
 CI_m : Konkurrenzindex des Mittelstammes
a, b, c : Funktionsparameter

Durch Modifikation von (2) wird die Quantifizierung des Mischungseffektes möglich:

$$zg = zg_m + d \cdot M \quad (3)$$

mit
 z_g : erwarteter Grundflächenzuwachs unter dem Einfluss der Mischung
 z_{g_m} : erwarteter Grundflächenzuwachs
 M : Mischungsanteil
 d : Funktionsparameter

Durch weitere Umformung gelangen wir zu (4). Diese Beziehung zeigt, dass bei einer Beimischung von 1 % z_{g_m} absolut um $\Delta z_{g_{abs}} = d \cdot M$ und relativ um

$$\Delta z_{g_{rel}} = \frac{d \cdot M}{z_{g_m}} \cdot 100 \quad (4)$$

mit
 $z_{g_{rel}}$: relativer Grundflächenzuwachs des Mittelstammes
 z_{g_m} : erwarteter Grundflächenzuwachs
 M : Mischungsanteil
 d : Funktionsparameter

zunimmt.

Dieser letzte Wert verdichtet den Mischungseffekt in einer einzigen aussagekräftigen Zahl. Er bringt zum Ausdruck, um wieviel Prozent sich der Grundflächenzuwachs des Grundflächenmittelstammes erhöht, wenn der Mischungsanteil um 1 % ansteigt. Der Wert $\Delta z_{g_{rel}}$ wird im Folgenden für die Charakterisierung der Mischungseffekte zwischen den Baumarten Kiefer, Fichte und Buche herangezogen.

8.2 Auswirkung der Mischung auf den Zuwachs von Einzelbäumen

Für jede Wuchsreihe und jede Baumart erbringt eine Parametrisierung der Modelle (1) – (4) zur Berechnung des mittleren periodischen Grundflächenzuwachses des Einzelbaumes die im Folgenden aufgeführten Werte für die Funktionsparameter a, b, c und d. Neben den Werten wird der Standardfehler angegeben (Tab. 8-1 bis 8-3).

Die große Streuung der Bestimmtheitsmaße auf den Kiefern/Buchen-Wuchsreihen zwischen 0.11 und 0.95 liegt sicher in den unterschiedlichen Bestandesstrukturen der Parzellen begründet, bestätigt aber auch mit einem hohen Anteil guter bis sehr guter Bestimmtheitsmaße die generelle Verwendbarkeit des gewählten Modellansatzes. Bemerkenswert sind die Bestimmtheitsmaße auf den Parzellen der Kiefern/Fichten-Wuchsreihe Neuburg 841, mit durchwegs hohen Werten um 0.95 sind sie Ausdruck eines recht homogenen Bestandesaufbaus.

Besonderes Interesse an der parametrisierten Modellfunktion muss dem Verhalten des Parameters d als Einflussgröße für den Mischungseffekt zufließen, weil hier mit seiner

Vorzeichensetzung die Art der Reaktion auf die Zumischung einer zweiten Art bestimmt wird (Tab. 8-1 bis 8-3).

Tab. 8-1: Koeffizienten und Standardfehler für die Parameter a, b, c und d zur Berechnung des mittleren periodischen Grundflächenzuwachses des Einzelbaums für Kiefer und Buche auf der Wuchsreihe Geisenfeld 832. Der Funktionsparameter d als Einflussgröße für Gewinn oder Verlust des Zuwachses aus der Zumischung ist fett unterlegt.

Versuch	Parzelle	Parameter	Kiefer		Buche	
			Koeffizienten	Standardfehler	Koeffizienten	Standardfehler
GEI 832	1	a	-2.674	0.356	-2.3081	1.5882
		b	0.080	0.003	0.0561	0.0047
		c	0.001	0.012	0.0045	0.1934
		d	-0.011	0.010	0.0340	0.0174
	2	a	10.4963	1.1918	-1.9213	0.7311
		b	0.0203	0.0022	0.0930	0.0054
		c	-0.5373	0.0609	0.1969	0.1842
		d	0.0155	0.0184	-0.0001	0.0078
	3	a	7.8949	2.7601	3.6159	3.0744
		b	0.0204	0.0039	0.0137	0.0070
		c	-0.4769	0.1141	-0.3392	0.3117
		d	-0.0031	0.0377	-0.0050	0.0575
	4	a	-0.0887	3.8313	-4.8848	2.0894
		b	0.0292	0.0041	0.0449	0.0035
		c	-0.2516	0.1737	0.1102	0.1685
		d	0.0077	0.0510	0.0946	0.0523
	5	a	20.0692	8.3025	-4.0837	1.2197
		b	0.0082	0.0025	0.0462	0.0026
		c	-3.1743	0.8146	0.1075	0.1073
		d	-0.0603	0.1039	0.0345	0.0220
	6	a	-51.1645	107.4965	-0.0071	1.7102
		b	0.0064	0.0079	0.0411	0.0027
		c	-9.5596	11.0063	-0.7665	0.3273
		d	0.6751	1.2395	0.0968	0.0510

Tab. 8-2: Koeffizienten und Standardfehler für die Parameter a, b, c und d zur Berechnung des mittleren periodischen Grundflächenzuwachses des Einzelbaums für Kiefer und Buche auf der Wuchsreihe Amberg 833. Der Funktionsparameter d als Einflussgröße für Gewinn oder Verlust des Zuwachses aus der Zumischung ist fett unterlegt.

Versuch	Parzelle	Parameter	Kiefer		Buche	
			Koeffizienten	Standardfehler	Koeffizienten	Standardfehler
AMB 833	2	a	-2.2037	1.1617	-1.5825	0.6104
		b	0.0331	0.0033	0.0564	0.0031
		c	-0.0235	0.0357	-0.3641	0.1460
		d	0.0138	0.0121	0.0383	0.0130
	3	a	-2.2553	3.4426	-4.7771	1.6124
		b	0.0239	0.0058	0.0607	0.0040
		c	-0.0251	0.0278	-0.0660	0.2644
		d	0.0328	0.0395	0.0715	0.0232
	4	a	10.4970	22.8797	-7.6998	2.1051
		b	0.0228	0.0045	0.0420	0.0048
		c	-0.7979	0.3702	0.3550	0.1700
		d	-0.1762	0.2476	0.0281	0.0211
	5	a	51.2076	117.4032	-4.0422	7.5863
		b	-0.0173	0.0536	0.0307	0.0062
		c	1.1234	1.8923	-0.1863	1.0078
		d	-0.7254	1.8626	0.0946	0.0896
	6	a	-0.7834	0.8001	-1.4406	0.9344
		b	0.0662	0.0047	0.0604	0.0040
		c	-0.0380	0.0203	-0.0996	0.1098
		d	0.0126	0.0091	0.0508	0.0189

Tab. 8-3: Koeffizienten und Standardfehler für die Parameter a, b, c und d zur Berechnung des mittleren periodischen Grundflächenzuwachses des Einzelbaums für Kiefer und Fichte auf der Wuchsreihe Neuburg 841. Der Funktionsparameter d als Einflussgröße für Gewinn oder Verlust des Zuwachses aus der Zumischung ist fett unterlegt.

Versuch	Parzelle	Parameter	Kiefer		Fichte	
			Koeffizienten	Standardfehler	Koeffizienten	Standardfehler
NEU 841	1	a	2.4812	2.2069	3.9088	1.7049
		b	0.0480	0.0067	0.0441	0.0064
		c	-0.4541	0.2334	-1.8652	0.6516
		d	-0.0159	0.0192	0.0068	0.0188
	2	a	5.9650	3.9794	-0.5399	0.9856
		b	0.0172	0.0020	0.0505	0.0026
		c	-0.3073	0.0934	0.0737	0.1436
		d	0.0246	0.0526	-0.0157	0.0148
	3	a	8.2430	2.0419	-1.8087	0.8066
		b	0.0147	0.0025	0.0606	0.0024
		c	-0.5214	0.1190	0.0677	0.1527
		d	-0.0040	0.0240	-0.0296	0.0092
	4	a	-3.0140	8.3094	-3.5231	1.5002
		b	0.0151	0.0039	0.0256	0.0014
		c	0.0897	0.3607	0.0903	0.1073
		d	-0.0225	0.1215	0.0085	0.0246
	5	a	-5.0828	5.9100	-3.9394	1.3852
		b	0.0166	0.0030	0.0421	0.0028
		c	-0.0595	0.2784	0.1573	0.1360
		d	0.0375	0.0575	-0.0067	0.0174
	6	a	8.5824	8.9711	-0.6354	2.9332
		b	0.0087	0.0035	0.0218	0.0017
		c	-1.2565	0.7966	-0.1757	0.2875
		d	-0.0314	0.0683	-0.0003	0.0505

Tab. 8-4: Grundflächenzuwachs des Mittelstammes ohne Mischungsanteil auf den Kiefern/Buchen-Wuchsreihen Geisenfeld 832 und Amberg 833. Die mit einem Sternchen (*) gekennzeichneten Parzellenwerte unterliegen Ausnahmesituationen, auf die bei der Interpretation der Ergebnisse eingegangen wird.

Versuch	Baumarten	Parzelle	Alter [Jahre]	Durchmesser des Grundflächenmittelstammes [cm]		Grundflächenzuwachs des Mittelstammes ohne Mischung [qcm]	
				Kiefer	Buche	Kiefer	Buche
GEI 832	Kiefer/Buche	1	18	10.4	17.2	4.1	10.7
		2	24	15.3	8.6	12.3	3.7
		3	55	21.7	17.8	12.9	6.1
		4	50	25.6	22.5	14.5	13.1
		5	140	44.7	17.5	28.3	7.2
		6	200	59.1	23	*	15.9
AMB 833	Kiefer/Buche	2	44	16.3	12.9	4.6	5.3
		3	56	19.5	14.7	4.7	5.4
		4	90	36.1	20.8	*	7.1
		5	109	33	29.1	43.7	16.2
		6	26	12.2	12.4	6.5	5.7

Tab. 8-5: Grundflächenzuwachs des Mittelstammes ohne Mischungsanteil auf der Kiefern/Fichten-Wuchsreihe Neuburg 841.

Versuch	Baumarten	Parzelle	Alter [Jahre]	Durchmesser des Grundflächenmittelstammes [cm]		Grundflächenzuwachs des Mittelstammes ohne Mischung [qcm]	
				Kiefer	Fichte	Kiefer	Fichte
NEU 841	Kiefer/Fichte	1	22	12.6	9.0	6.4	1.1
		2	45	20.0	10.1	9.5	3.9
		3	45	17.8	11.4	9.4	4.7
		4	101	38.7	34.0	15.1	19.8
		5	85	34.8	34.1	10.5	*
		6	100	39.4	24.9	15.3	9.6

Eine Beurteilung des Mischungseffektes auf den Zuwachs bedarf des Referenzzuwachses im Reinbestand. In den Tabellen 8-4 und 8-5 werden die Erwartungswerte für den Reinbestand aufgelistet und den Durchmessern des Grundflächenmittelstammes der jeweiligen Baumart gegenübergestellt. Die Angabe des Alters dient der Einstufung der Kenngrößen und der Bestandescharakterisierung. Zur Berechnung des Mitteldurchmessers fand der zum Teil ausgeprägte Unterstand insbesondere der Fichte keine Berücksichtigung.

Tab. 8-6: Prozentualer Gewinn oder Verlust des Grundflächenzuwachses des Mittelstammes bei einer Zumischung von 1 % Mischungsanteil der jeweils zweiten Baumart auf den Kiefern/Buchen- und Kiefern/Fichten-Wuchsreihen Geisenfeld 832, Amberg 833 und Neuburg 841.

Versuch	Parzelle	Kiefer	Buche	Fichte
Geisenfeld 832	1	-0.27	0.32	-
	2	0.13	0.00	-
	3	-0.02	-0.08	-
	4	0.05	0.72	-
	5	-0.21	0.48	-
	6	-1.80	0.61	-
Amberg 833	2	0.30	0.72	-
	3	0.70	1.31	-
	4	-0.61	0.39	-
	5	-1.66	0.58	-
	6	0.19	0.89	-
Neuburg 841	1	-0.25	-	0.60
	2	0.26	-	-0.40
	3	-0.04	-	-0.64
	4	-0.15	-	0.04
	5	0.36	-	-0.02
	6	-0.21	-	0.00

Da dem Verfahren zur prozentualen Bestimmung der Einflussnahme auf den Zuwachs bei Zumischung einer zweiten Baumart ein linearer Zusammenhang zugrunde liegt, wird in der Tabelle 8-6 der prozentuale Gewinn oder Verlust des Grundflächenzuwachses des Mittelstammes bei einer Zumischung von 1 % Mischungsanteil der jeweils zweiten Baumart dargestellt. Die Zuwachsreaktion auf andere Prozentanteile lässt sich damit leicht bestimmen. Einer grafischen

Betrachtung der Ergebnisse wurde eine 50 prozentige Zumischung der jeweils anderen Baumart zugrunde gelegt (Abb. 8-3 und 8-4).

Abbildung 8-3a veranschaulicht die Zuwachsreaktion von Kiefer und Buche auf Mischung. In den meisten Fällen reagiert die Buche mit Zuwachsgewinnen auf die Mischung, während die Kiefer ein eher indifferentes Verhalten zeigt. Dabei erstaunt der Sachverhalt, dass in nur einem Fall beiden Baumarten Nachteile aus der Zumischung erwachsen (Parzelle 832/3), während wechselseitig positiv gerichtete Reaktionen immerhin auf vier der betrachteten Parzellen festzuhalten sind. Dabei mag es kein Zufall sein, dass diese Zuwachsgewinne nur auf den jüngeren Parzellen bis etwa zu einem Alter von 50 Jahren nachzuweisen sind.

Die Buche kann hier zum einen Nischenplätze besetzen, die der Kiefer versagt sind, und zum anderen begünstigt das lockere Kronendach der Kiefer das Wachstum der Schattenbaumart. Auch wird die Kiefer durch Zumischung der Buche in ihrem frühen Stadium weniger stark konkurrenziert. Im weiteren Verlauf muss der Kiefer aber durch die konkurrenzstarke Buche ein Nachteil erwachsen.

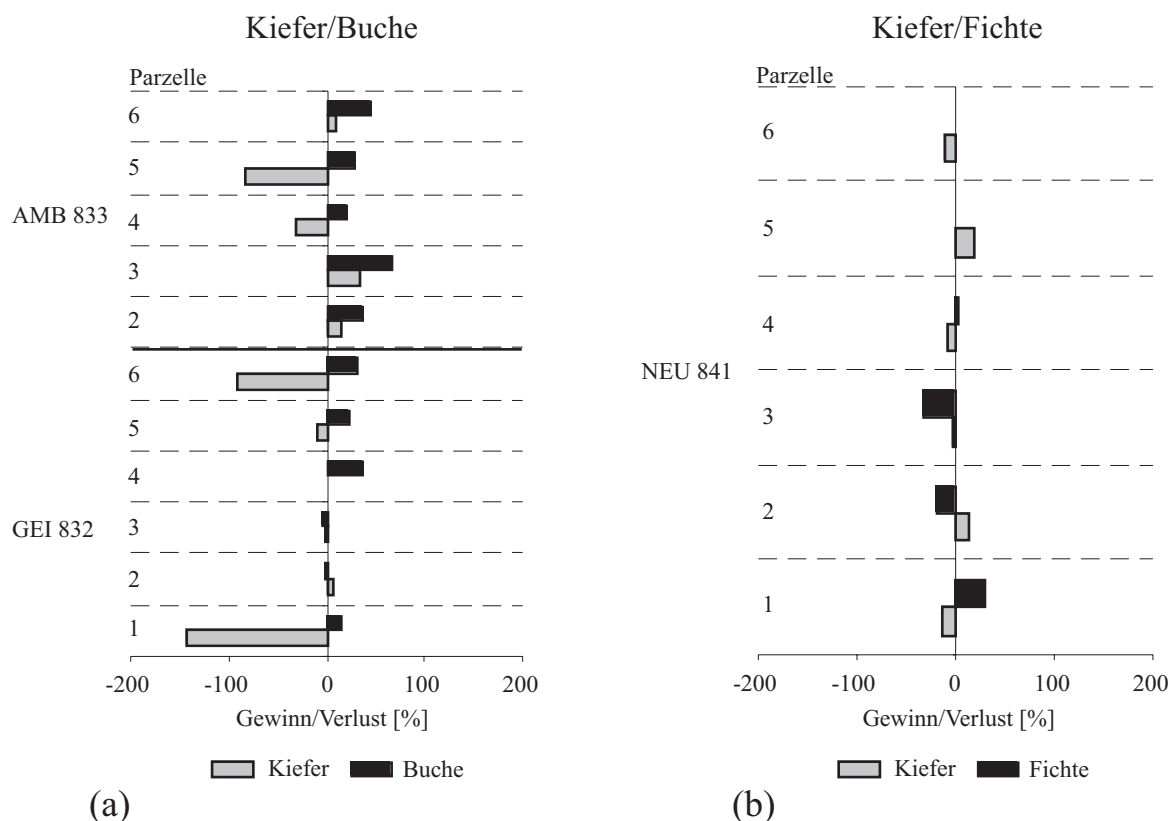


Abb. 8-3: Prozentualer Gewinn und Verlust des Grundflächenzuwachses von Kiefer, Buche und Fichte bei 50-%iger Zumischung der jeweils anderen Baumart auf den Wuchsreihen Geisenfeld 832, Amberg 833 (a) und Neuburg 841 (b).

In der Mischung mit der Fichte auf der Wuchsreihe Neuburg 841 fällt ein sehr undifferenziertes Wuchsverhalten der Kiefer auf (Abb. 8-3b). Die Fichte reagiert in jüngeren Jahren nur mäßig und

lässt ab einem Alter von ca. 80 Jahren keine Tendenzen mehr erkennen. Auf der Grundlage von nur sechs Parzellen lässt sich hier sicher keine allgemein gültige Aussage treffen.

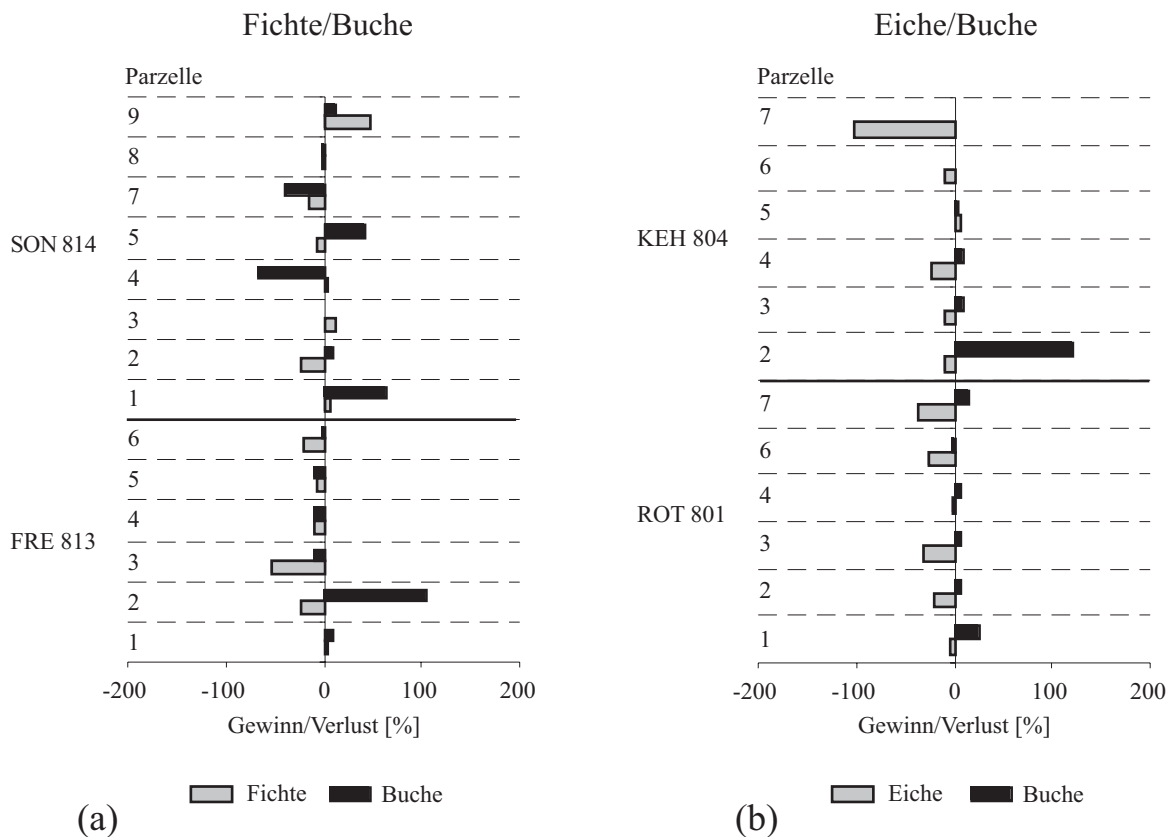


Abb. 8-4: Prozentualer Gewinn und Verlust des Grundflächenzuwachses von Fichte und Buche (a) bzw. Eiche und Buche (b) bei 50-prozentiger Zumischung der jeweils anderen Baumart auf den Wuchsreihen Freising 813, Schongau 814, Rothenbuch 801 und Kelheim 804.

Eine Gegenüberstellung mit Ergebnissen aus den Fichten/Buchen- bzw. Eichen/Buchen-Wuchsreihen (Abb. 8-4a und b) unterstreichen die Sonderstellung der Buche, die durch Beimischung Eiche im Zuwachs leicht profitiert. Lediglich als Mischbaumart in Fichten/Buchen-Mischbeständen scheinen ihr häufiger Nachteile zu erwachsen (Abb. 7-4). Grund dafür ist, dass die Baumarten Fichte und Buche ähnliche ökologische Amplituden haben. Damit wird erklärbar, dass in den meisten Fällen beide Baumarten gleichgerichtet auf Mischung reagieren. In erster Linie werden dafür strukturelle oder standörtliche Faktoren verantwortlich sein. Die große Bandbreite der beobachteten Reaktionen bei einer Mischung von Fichte und Buche bestätigen die Bestandesform als spannungsreiche Mischung.

Die vielfältigen Strukturen auf den Parzellen der Wuchsreihen weisen einige Besonderheiten auf:

1. Die Bestandesform auf Parzelle 832/6 der Wuchsreihe Geisenfeld 832 baut sich aus sehr wenigen, über 200 Jahre alten Kiefern auf, unter denen eine wesentlich jüngere, stammzahlreiche Buche steht. Die Anzahl der Kiefern reicht nicht aus, eine plausible Ausgleichsfunktion für den Grundflächenzuwachs abzuleiten.
2. Bei Parzelle 833/4 der Wuchsreihe Amberg 833 handelt es sich um einen Fichten/Buchen-Mischbestand, dem nur sehr wenige Kiefern beigemischt sind. Der Bildung eines Grundflächenmittelstammes für die Kiefer sind hier Grenzen gesetzt.
3. Dies trifft auch auf Parzelle 841/5 der Kiefern/Fichten-Wuchsreihe Neuburg 841 zu, wo ein Fichtenoberstand nur über sehr wenige Exemplare dieser Baumart definiert werden kann.

Die Diagnose von Mischungseffekten war in diesen Fällen nicht möglich.

Zusammenfassend kommen die Auswertungen auf Bestandesebene (vgl. Kapitel 6) und Einzelbaumniveau hinsichtlich des Mischungseffektes auf das Wuchsverhalten zu ähnlichen Ergebnissen.

Die Buche mit ihrer im Reinbestand rigorosen intraspezifische Konkurrenz ist im Mischbestand der Kiefer und der Eiche überlegen. Lediglich in der Mischung mit der Fichte zeigt sie bei ausgewogenen Kräfteverhältnissen ein eher indifferentes Verhalten. Die Kiefer und besonders die Eiche verlieren in Mischung mit der Buche deutlich an Zuwachs.

9 Zuwachsverteilung auf die Bestandesglieder

Der Einzelbaum reagiert sensibel auf Veränderungen der Wuchsbedingungen; diese sind in der Ausprägung der Jahrringbreiten abzulesen. Damit besteht über eine Analyse der Jahrringbreiten die Möglichkeit, das konkurrenzbedingte Wuchsverhalten der Einzelbäume innerhalb ihrer Verteilung in der Bestandespopulation und ihre Entwicklungen nach möglichen Pflegeeingriffen auch über einen weit zurückliegenden Zeitraum nachzuvollziehen. Stammscheiben oder Bohrkerne legen den Zuwachsverlauf des Einzelbaums offen, der im Zusammenspiel aller beprobten Bäume eines Bestandes letztendlich wieder Aussagen auf Bestandesebene für die jeweilige Baumart zulässt. Im Folgenden wird der Frage nachgegangen, ob und in welcher Weise der Durchmesserzuwachs von der sozialen Stellung des Baumes abhängt und welche Rolle dabei der Bestandesdichte zugeschrieben werden kann. Als Maß für die Dichte eines Bestandes wird dabei auf den Bestandesdichte-Index (Stand-Density-Index, REINEKE, 1933) zurückgegriffen.

9.1 Ausgleichsfunktion zwischen Zuwachs und Baumdimension

Als Ergebnis der Bohrspananalyse liegen die Durchmesserzuwächse der Einzelbäume auf allen Parzellen der Wuchsreihen vor. Um kurzfristige Zuwachsschwankungen auszuschließen wird für die weiteren Betrachtungen zunächst der mittlere periodische Durchmesserzuwachs über die letzten 10 Jahre berechnet. Eine Gegenüberstellung mit dem jeweiligen Durchmesser des Baumes erzeugt eine Punktwolke, die funktional ausgeglichen werden kann. (Abb. 9-1).

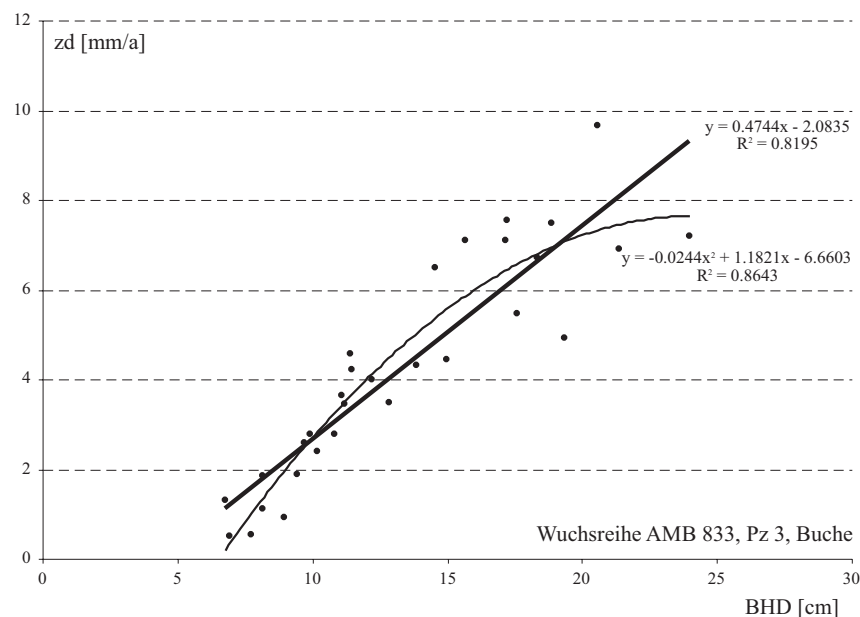


Abb. 9-1: Beispiel für zwei Ausgleichsfunktionen (linear und polynomisch, 2. Grades) des mittleren periodischen Durchmesserzuwachses z_d über dem BHD für die Baumart Buche auf der Parzelle 3 der Kiefern/Buchen-Wuchsreihe Amberg 833.

Bei der Analyse des Datenmaterials stellte sich zunehmend heraus, dass der Durchmesserzuwachs der im jeweiligen Bestand stärkeren Bäume nach oben oder unten vom linearen Zusammenhang abweicht. Über eine polynomische Funktion 2. Grades wird der Zusammenhang zwischen Durchmesser und Durchmesserzuwachs offenbar statistisch besser ausgeglichen als durch eine lineare Regression (Abb. 9-1). Als Funktion kommt die Gleichung

$$zd = a + b \cdot BHD + c \cdot BHD^2 \quad (1)$$

mit:

zd : Durchmesserzuwachs
a, b, c : Funktionsparameter
BHD : Brusthöhendurchmesser

zur Anwendung.

Wenn der Funktionsparameter c den Wert Null annimmt, reduziert sich die polynome Ausgleichsfunktion auf ihre Linearität. Je nach Vorzeichensetzung nimmt die Funktion damit konkaven ($c < 0$), linearen ($c = 0$) oder konvexen ($c > 0$) Verlauf und kann damit sehr gut zum funktionalen Ausgleich dieser wuchsdynamischen Zusammenhänge herangezogen werden (Abb. 9-2).

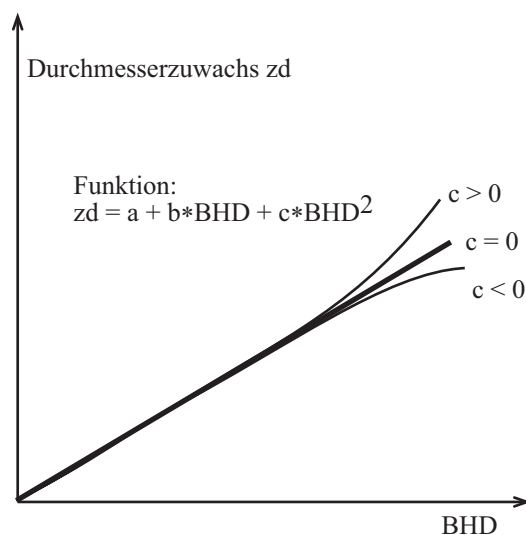


Abb. 9-2: Funktionaler Ausgleich des Durchmesserzuwachses über dem BHD mit den Möglichkeiten eines linearen Ausgleichs ($c = 0$), eines konvexen ($c > 0$) und eines konkaven ($c < 0$) Funktionsverlaufes.

In Tabelle 9-1 werden die Funktionswerte für den Parameter c für Kiefer, Buche und Fichte auf den Wuchsreihen Geisenfeld 832, Amberg 833 und Neuburg 841 gegenübergestellt.

Tab. 9-1: Werte des Parameters c für Kiefer, Buche und Fichte auf den Wuchsreihen Geisenfeld 832, Amberg 833 und Neuburg 841.

Versuch	Parzelle	Funktionsparameter c		
		Kiefer	Buche	Fichte
Geisenfeld 832	1	0.0480	0.0043	-
	2	0.0332	-	-
	3	-0.0147	-0.0003	-
	4	-0.0063	-0.0138	-
	5	0.0017	-0.0063	-
	6	-0.0018	-0.0039	-
Amberg 833	2	-0.0030	-0.0062	-
	3	0.0012	-0.0244	-
	4	-0.0063	0.0111	-
	5	0.0011	0.0037	-
	6	0.0114	-0.0299	-
	Neuburg 841	1	-0.0188	-
2		-0.0071	-	0.0049
3		0.0046	-	-0.0103
4		-0.0006	-	-0.0011
5		-0.0031	-	-0.0022
6		-0.0012	-	-0.0014

Die Form der Beziehung (linear, konkav oder konvex) beschreibt die Zuwachsallokation zwischen den Bestandesgliedern. Diese soll nun auf mögliche Abhängigkeit von der Bestandesdichte geprüft werden. Zu diesem Zweck wird der Bestandesdichte-Index SDI („Stand Density Index“) nach REINEKE (1933) ermittelt. Er gibt die Stammzahl wieder, die einem gegebenen Bestand zuzuschreiben wäre, wenn sein Grundflächenmittelstamm einen Durchmesser von 25 cm hätte und wird über folgenden Zusammenhang bestimmt:

$$SDI = N \cdot \left(\frac{25}{D} \right)^r \quad (2)$$

mit:

- SDI : Stand-Density-Index (Bestandesdichte-Index)
- N : Stammzahl
- D : Durchmesser des Grundflächenmittelstammes
- r : artenspezifischer Allometrikoeffizient

Der zunächst nur für Reinbestände konzipierte Stand-Density-Index lässt sich nach einer Modifikation von PRETZSCH (2003) auch auf Mischbestände anwenden.

9.2 Durchmesserzuwachsfunction und Bestandesdichte

Mit dem Bestandesdichte-Index (SDI) als Maß für die Dichte eines Bestandes lassen sich die Durchmesserzuwachs-Durchmesser-Beziehungen der verschiedenen Parzellen direkt vergleichen.

Abbildung 9-3 zeigt für die Mischungsarten Fichte/Buche, Kiefer/Buche und Eiche/Buche den Zusammenhang zwischen Dichte (SDI) und dem Parameter c , der die Krümmung der $z-d$ -Beziehung repräsentiert.

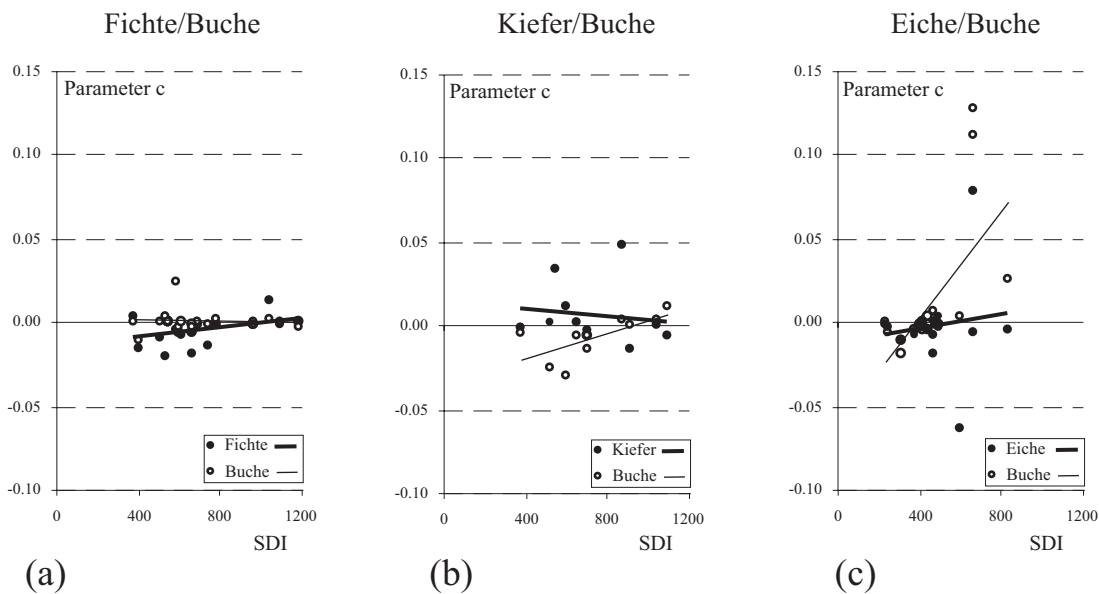


Abb. 9-3: Zusammenhang zwischen dem Krümmungsparameter c und dem Stand-Density-Index (SDI) für Fichte/Buche (a), Kiefer/Buche (b) und Eiche/Buche (c) auf den Mischbestands-Wuchsreihen des Lehrstuhls für Waldwachstumskunde, TU-München.

Auf den ersten Blick fällt auf, dass c für die Baumarten Fichte, Kiefer und Eiche sehr nahe um den Wert Null streut. Das bedeutet, dass bei diesen drei Arten die stärkeren Bäume eines Bestandes aus einer veränderten Konkurrenzsituation im Vergleich zu schwächeren Bäumen keinen überproportionalen Nutzen zu ziehen scheinen, aber auch keine überproportionalen Einbußen im Durchmesserzuwachs hinnehmen müssen. Dabei muss immer berücksichtigt werden, dass Vorzeichen und Größe des Krümmungsparameters c nichts über den absoluten Durchmesserzuwachs aussagen, sondern nur über Richtung und Stärke der Abweichung von der Linearität. Demgegenüber reagiert die Buche deutlich differenzierter. Aus der Mischung mit der Fichte scheinen die starken Buchen selbst im lockeren Bestand keinen Vorteil im Durchmesserzuwachs ziehen zu können.

Die Situation ändert sich, wenn äußerst konkurrenz sensible Lichtbaumarten wie Kiefer und Eiche in Mischung zur Buche treten. Abbildung 8-3 bestätigt, dass stärkere Buchen in der Mischung aus Kiefer und Buche mit zunehmender Dichte des Bestandes ein Mehr an Durchmesserzuwachs aufweisen. Diese Tatsache spiegelt die Konkurrenzsituation stärkerer Buchen im Dichtstand wider. Es handelt sich dabei um Bäume aus dem oberen Durchmesserbereich in den betrachteten Beständen, die in das Kronendach einwachsen konnten und den Vorteil verstärkten Lichtgenusses jetzt voll auszunutzen in der Lage sind (asymmetrische

Konkurrenz). Die Lichtbaumart Kiefer wird hier zurückgedrängt, sofern sie nicht durch Pflegemaßnahmen gefördert wird. Eine konkave Ausgleichsfunktion der Kiefer bringt zum Ausdruck, dass starke Kiefern in Konkurrenz mit wüchsigen Buchen sogar an Durchmesserzuwachs verlieren.

In Eichen/Buchen-Mischbeständen verstärkt sich die Zuwachsbevorteilung starker Buchen, wobei die höchsten Werte für den Krümmungsparameter c der Durchmesserzuwachsausgleichsfunktion auf allen drei beobachteten Eichen/Buchen-Wuchsreihen Rothenbuch 801, Schweinfurt 803 und Kelheim 804 in den Beständen der Altersklasse von etwa 30 bis 40 Jahren anzutreffen sind. Gleichzeitig weisen diese Versuchspartzellen die größte Dichte nach dem Bestandesdichte-Index (SDI) auf. Dies könnte ein Hinweis darauf sein, dass die beobachtete Tendenz verallgemeinbar ist.

Eine Gegenüberstellung der Arten Kiefer/Buche und Kiefer/Fichte zeigt dagegen ein differenziertes Bild (Abb. 9-4). Unter dem Gesichtspunkt, dass für diese Auswertung nur auf die Ergebnisse einer einzigen Wuchsreihe der Mischung aus Kiefer und Fichte mit sechs Parzellen zurückgegriffen werden kann, muss der Interpretation sicher mit der nötigen Vorsicht begegnet werden.

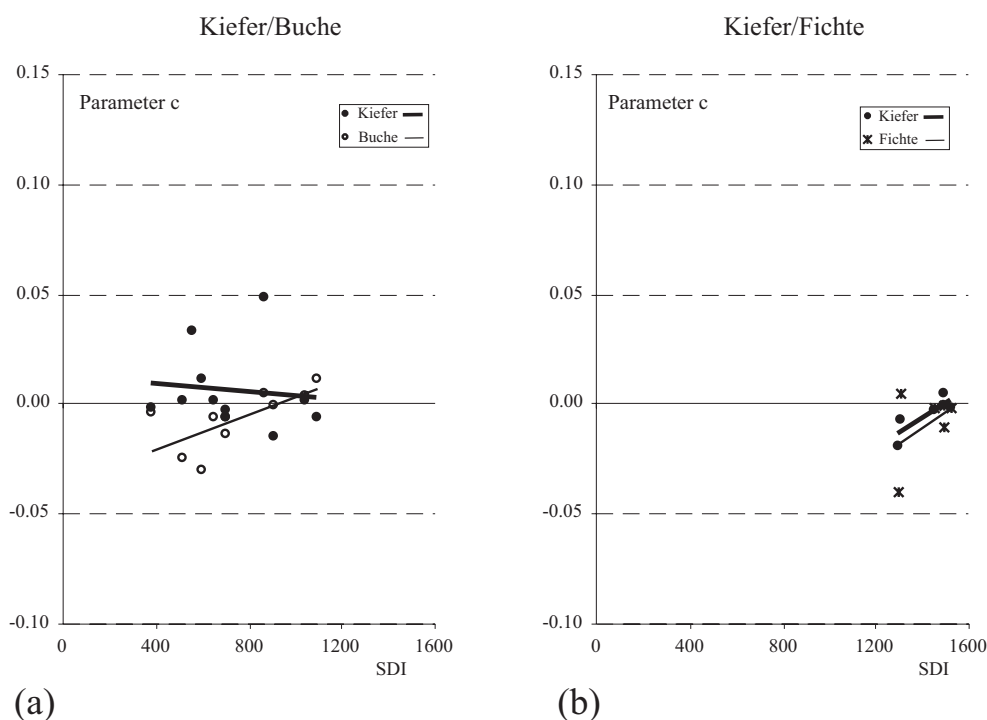


Abb. 9-4: Zusammenhang zwischen dem Krümmungsparameter c und dem Stand-Density-Index (SDI) für Haupt- und Mischbaumart auf den Kiefern/Buchen-Wuchsreihen (a) - und Kiefern/Fichten-Wuchsreihen (b).

In Mischbeständen aus Kiefer/Buche oder Kiefer/Fichte können sehr hohe Dichten erreicht werden (Abb.9-4 b). Auf keiner Parzelle der ausgewerteten Wuchsreihen diverser

Baumartenmischungen werden annähernd ähnlich hohe Werte des Stand-Density-Index erreicht. Die bereits in Abschnitt 5 angesprochene Überlegenheit der Mischung in der Bevorratung findet damit ihre Bestätigung. Die Reaktionsmuster von Kiefer und Fichte entsprechen sich weitgehend und stehen in direktem Gegensatz zu ihrem Wuchsverhalten in Mischung mit der Buche.

Mit zunehmender Bestandesdichte steigt der Wert des Krümmungsparameters c der Baumarten Kiefer und Fichte an und bringt damit zum Ausdruck, dass die stärkeren Bäume im Bestand ihre konkurrenzbedingte führende Position überproportional ausbauen können. Ein Blick auf die Bestandesbilder der Wuchsreihe zeigt beide Baumarten in der Oberschicht deshalb mit zunehmendem Alter immer mehr in räumlicher Trennung (vgl. Abb. 4-13). Eine Einzelbaummischung, wie sie vorwiegend in der Jugend angetroffen wird, weicht mehr und mehr einer truppweisen Anordnung. Die Fichte bildet dabei auf allen Parzellen einen ausgeprägten Zwischen- und Unterstand, wobei ein Einwachsen in das Kronendach der Kiefer nur über den Einfluss von Kalamitäten oder einer Förderung durch den Menschen möglich wird. Anders als in der Mischung mit der Buche schöpfen stärkere Kiefern des jeweiligen Bestandes aus der Vergesellschaftung mit der Fichte bei zunehmender Bestandesdichte offensichtlich einen Vorteil, der sich in einem stärkeren Durchmesserzuwachs niederschlägt.

Zusammenfassend muss davon ausgegangen werden, dass die Beziehung zwischen dem Durchmesser und dem Durchmesserzuwachs in Mischbeständen über eine lineare Ausgleichsfunktion nicht ausreichend beschrieben wird. Die Kiefer als reine Lichtbaumart reagiert unterschiedlich auf eine Mischung mit Buche oder Fichte. Wird dabei in Betracht gezogen, dass eine ineinandergreifende Mischungsform aller drei Baumarten möglich ist und auch waldbaulich umgesetzt wird, dann entsteht damit eine komplexe Bestandesform, die nur über Detailuntersuchungen analysiert werden kann.

10 Radialzuwachs als Indikator für Umwelt- und Klimaänderungen

Mischbestände reagieren auf Störungen oder Veränderungen der gewohnten Wuchsbedingungen anders als Reinbestände. Der Einfluss von Störfaktoren kann sehr deutliche Spuren in der Wuchsleistung hinterlassen. Die Schwankung der Radialzuwächse von Bäumen werden bei einer Analyse von Bohrkernen oder Stammscheiben retrospektiv über einen sehr lang überschaubaren Zeitraum sichtbar und erlauben vom Ansatz her unterschiedliche Interpretationsmöglichkeiten sowohl auf Bestandes- als auch auf Einzelbaumebene (Bioindikatorfunktion von Jahrringsequenzen).

Es stellt sich die Frage, inwieweit eine langfristige Veränderung der durchschnittlichen Jahrringbreiten erkennbar ist und welchen Zeiträumen diese Modifizierung zuzuordnen ist. Dabei muss das Alter der Bestände genauso mitberücksichtigt werden wie eine baumartenspezifische Reaktion auf veränderte Wuchsbedingungen und das Zusammenspiel der am Bestandaufbau beteiligten Baumarten bei Eintritt solcher Störungen.

10.1 Jahrringanalysen

Das Datenmaterial zur Herausarbeitung von Wachstumsreaktionen auf veränderte Wuchsbedingungen nach der Methode des konstanten Alters basiert auf den Jahrringanalysen auf den Kiefern/Buchen- Wuchsreihen Geisenfeld 832 und Amberg 833.

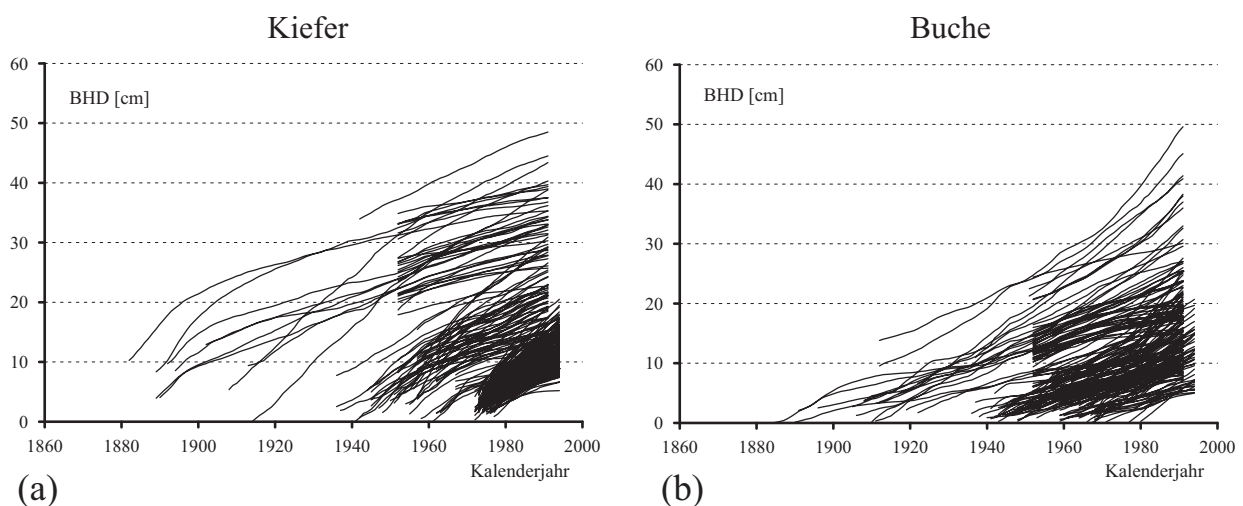


Abb. 10-1: Entwicklung des Durchmessers über dem Kalenderjahr von Kiefer (a) und Buche (b) auf den Parzellen der Kiefern/Buchen-Wuchsreihe Amberg 833.

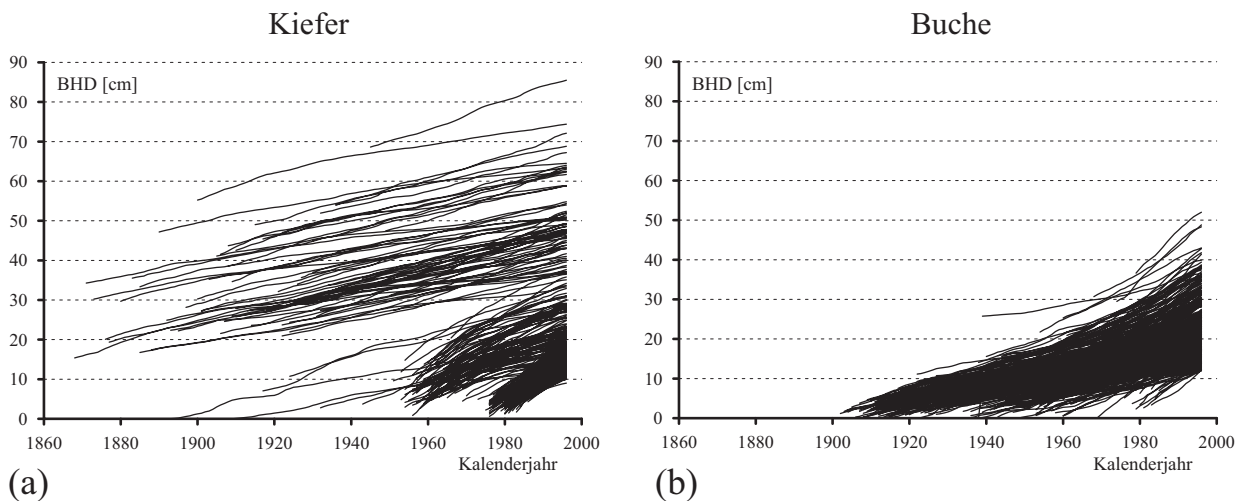


Abb. 10-2: Entwicklung des Durchmessers über dem Kalenderjahr von Kiefer (a) und Buche (b) auf den Parzellen der Kiefern/Buchen-Wuchsreihe Geisenfeld 832.

Auf eine bestandesweise Darstellung wurde dabei in den Abbildungen 10-1 und 10-2 verzichtet, um zum einen die direkte Gegenüberstellung der Durchmesserentwicklung von Jung- und Altbeständen zu erlauben, und zum anderen die Möglichkeit zu eröffnen, wuchsreihenübergreifend die Altersgänge der Einzelbäume der beteiligten Baumarten zu beurteilen.

Während in Amberg 833 keine Kiefern vorkommen, deren Durchmesser 50 cm wesentlich übersteigt, kann in Geisenfeld 832 der Entwicklungsgang von über 80 cm starken Kiefern rückwirkend analysiert werden. Demgegenüber erreicht der Durchmesser der Buche in Geisenfeld nur maximal 50 cm, worin sich auch das Ergebnis der waldbaulichen Behandlung dieser Mischungsform widerspiegelt (Abb. 10-1 und 10-2).

10.2 Veränderungen des Radialzuwachses in verschiedenen Kalenderzeiträumen (Methode des konstanten Alters)

Mit Hilfe der über Bohrkerns gewonnenen Radialzuwächse soll im Folgenden geprüft werden, ob und in welchem Ausmaß sich das alterstypische Wuchsverhalten der unterschiedlichen Arten innerhalb eines gegebenen Kalenderzeitraumes verändert hat. Dabei wird die Veränderung des Radialzuwachses von 30-, 50-, 70jährigen und älterer Bäume im Laufe des vergangenen Jahrhunderts verglichen. Auf diese Weise lässt sich eine Zuwachsveränderung gegenüber dem langfristigen Niveau überprüfen, gegebenenfalls datieren und quantifizieren. In einem zweiten Schritt wird untersucht, wie Bäume unterschiedlichen Alters diese Veränderung abbilden.

Als wesentliche Voraussetzung der vorgestellten Methode muss das Datenmaterial ein breites Altersspektrum abdecken, standörtlich homogen und weitgehend unbeeinflusst durch

waldbauliche Behandlungseffekte sein. Alle drei Prämissen erfüllt die Datenbasis, die auf den Mischbestands-Wuchsreihen erhoben wurde, wobei Behandlungseffekte durch eine Beschränkung auf Bäume der Kraftklasse I und II weitgehend ausgeschlossen wurden. Das Verfahren und seine Ergebnisse werden nur für die Mischung aus Kiefer und Buche auf den Wuchsreihen Geisenfeld 832 und Amberg 833 dargestellt.

Die angewandte Methode des konstanten Alters basiert darauf, dass jedem Jahrringmesswert neben dem entsprechenden Kalenderjahr auch das jeweilige Alter zugeordnet wird. Damit eröffnet sich die Möglichkeit, das Altersspektrum der erfassten Jahrringe über dem Kalenderjahr darzustellen. Nach Einteilung der Jahrringe in Altersstufen (21-40, 41-60 Jahre usw.) kann für jedes Kalenderjahr der mittlere Radialzuwachs in der jeweiligen Alterstufe berechnet werden. Ein mathematisch linearer Ausgleich der mittleren Jahrringbreiten jeder Altersstufe lässt langfristige Veränderungen des Zuwachsverhaltens erkennen. Damit werden mögliche kurzfristige oder kleinklimatische Schwankungen ausgeschlossen.

Die Ergebnisse zeigen die Abbildungen 10-3 und 10-4. Bis auf die Alterstufe zwischen 61 und 80 Jahren nimmt die Jahrringbreite der Buche auf beiden Wuchsreihen beständig zu, wiewohl der Anstieg auf der Versuchsfläche in Amberg 833 weniger stark ausfällt. So belegen die Auswertungen z.B. eine Zunahme der mittleren Jahrringbreite von 1.0 mm eines 50-jährigen Bestandes im Jahre 1940 auf über 3.0 mm im Jahre 1995. Gleichaltrige Buchen bilden demnach gegen Ende des letzten Jahrhunderts einen ungleich größeren Radialzuwachs als in der ersten Hälfte.

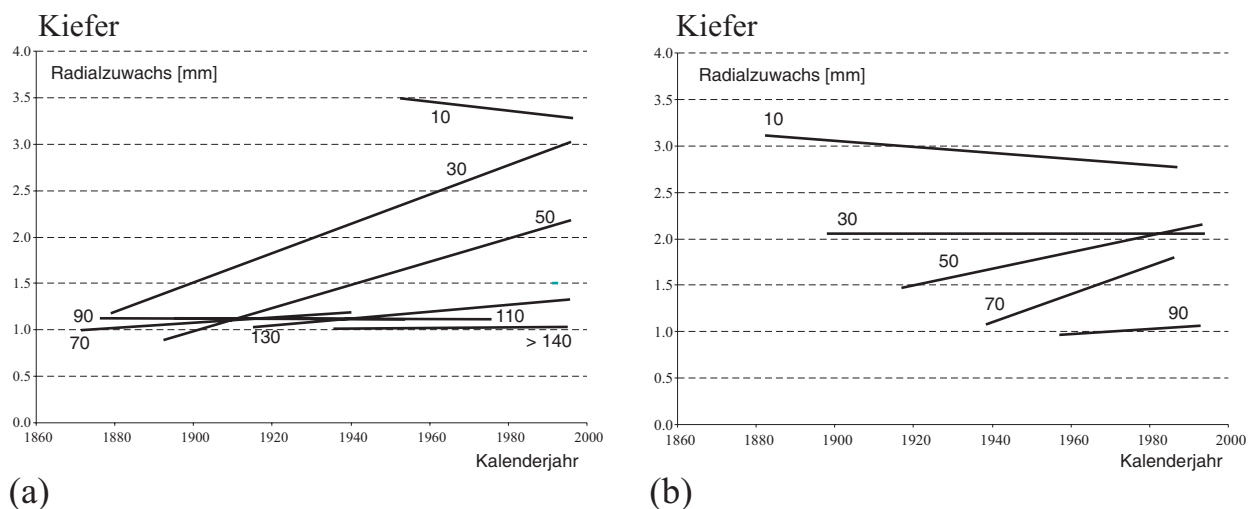


Abb. 10-3: Entwicklung der mittleren Radialzuwächse verschiedener Altersstufen über dem Kalenderjahr der Baumart Kiefer (Kraftklassen I und II) auf den Kiefern/Buchen-Wuchsreihen Geisenfeld 832 (a) und Amberg 833 (b).

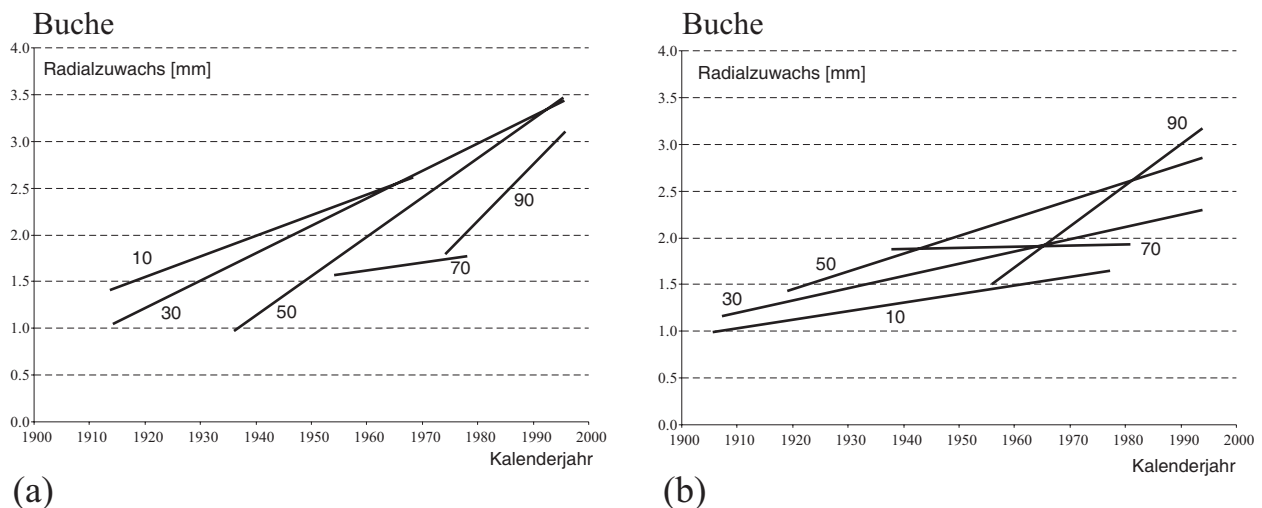


Abb. 10-4: Entwicklung der mittleren Radialzuwächse verschiedener Altersstufen über dem Kalenderjahr der Baumart Buche (Kraftklassen I und II) auf den Kiefern/Buchen-Wuchsreihen Geisenfeld 832 und Amberg 833.

Die Kiefer reagiert auf beiden Wuchsreihen dagegen wesentlich differenzierter. Während in Geisenfeld 832 in den Altersstufen von 30 und 50 Jahren noch eine deutliche Zunahme der mittleren Radialzuwächse zum Ausdruck kommt, ist im höheren Alter kein Anstieg zu erkennen. Auch auf der Versuchsfläche in Amberg 833 treten nur die Altersstufen von 50 und 70 Jahren mit einer Zunahme der Radialzuwächse hervor.

Das Wuchsverhalten der Kiefer im Mischbestand weicht damit deutlich von Analysen der Wachstumstrends der Kiefer im Reinbestand ab. Methoden und Ergebnisse dieser umfangreichen Untersuchungen von KÜSTERS (2001) werden in Teil I dieses Berichtes vorgestellt. Dort kristallisiert sich heraus, dass die Kiefer im Reinbestand die verbesserten Wuchsbedingungen in der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts ausnutzen kann. Wird ihr dagegen eine konkurrenzstärkere Baumart wie die Buche zugemischt, gerät sie offensichtlich so unter Konkurrenz, dass sie weniger Nutzen davon trägt. Nur in 30–50 bzw. 50–70 jährigen Beständen zeigt sich ein positiver Trend. Die Buche profitiert offenbar in weit stärkerem Maß von sich verändernden, das Wachstum steuernden Parametern und wird dadurch in die Lage versetzt, ihre Konkurrenzfähigkeit noch zu verstärken. Als Konsequenz daraus vermindert sich die Konkurrenzkraft der Kiefer weiter.

10.3 Einfluss des Alters auf die Jahrringbreite

Sowohl in Geisenfeld 832 als auch in Amberg 833 zeigt sich bei der retrospektiven Betrachtung der Durchmesserentwicklung bei der Kiefer sehr deutlich, dass auf den jüngeren Parzellen bis zu einem BHD von 30 cm die Durchmesserentwicklung wesentlich steiler als auf älteren Parzellen verläuft. Ab dieser Durchmesser-Grenze reagiert die Kiefer auf den älteren Parzellen nur noch

unwesentlich oder gar nicht mehr auf offensichtlich veränderte Wuchsbedingungen. Demgegenüber scheint sich bei der Buche keine Durchmessergrenze herauszubilden, ab der sich das Muster der Durchmesserentwicklung deutlich verändern würde. Die Buche reagiert auf beiden Wuchsreihen anscheinend unabhängig vom Alter in den letzten 30 Jahren mit zunehmenden Wuchsleistungen auf veränderte Umweltbedingungen. Dieser Sachverhalt sollte auch bei der Untersuchung des Einflusses des Alters auf den mittleren Radialzuwachs erkennbar sein. Die Aufbereitung des Datenmaterials zur Anwendung der Methode des konstanten Alters lieferte hier schon die benötigten Basisinformationen, die nur leicht transformiert die Darstellung des Zusammenhangs zwischen Baumalter und mittlerer Jahrringbreite erlauben (Abb. 10-5 und 10-6).

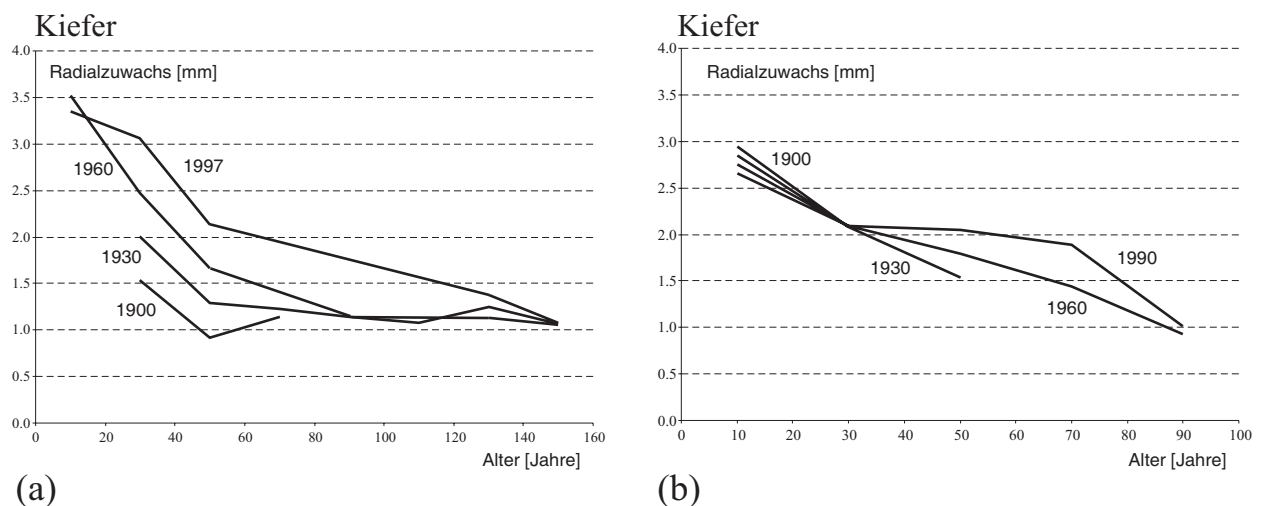


Abb. 10-5: Entwicklung der mittleren Radialzuwächse verschiedener Kalenderzeiträume über dem Alter für die Baumart Kiefer (Kraftklassen I und II) auf den Kiefern/Buchen-Wuchsreihen Geisenfeld 832 (a) und Amberg 833 (b).

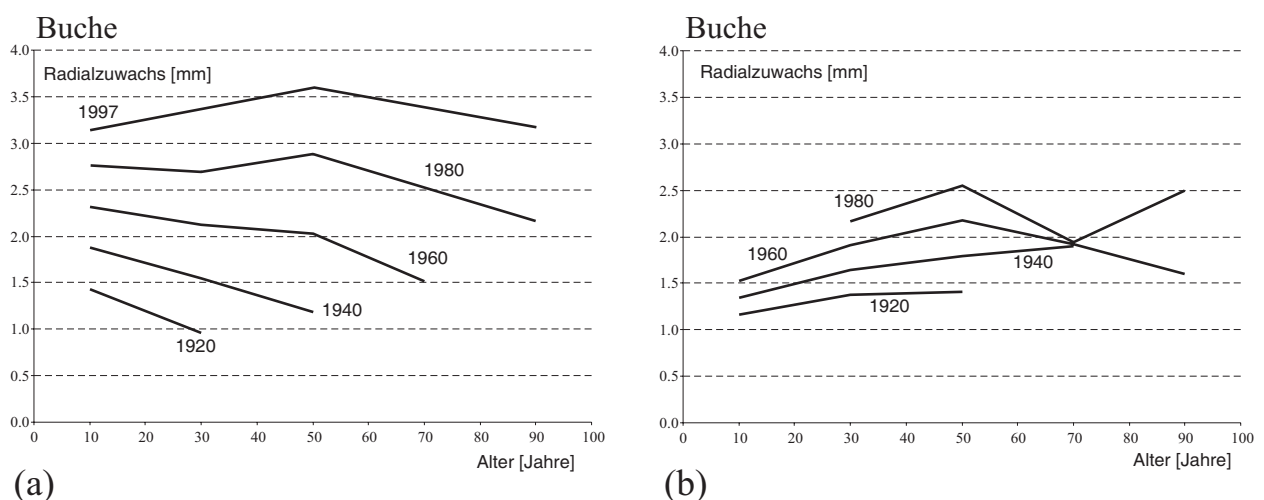


Abb. 10-6: Entwicklung der mittleren Radialzuwächse verschiedener Kalenderzeiträume über dem Alter für die Baumart Buche (Kraftklassen I und II) auf den Kiefern/Buchen-Wuchsreihen Geisenfeld 832 und Amberg 833.

Die Abbildungen 10-5 und 10-6 zeigen auf beiden Wuchsreihen Kiefer und Buche mit ähnlichen Verhaltensmustern. Ein Vergleich der mittleren Jahrringbreiten der Jahre 1997 und 1960 bei der Baumart Kiefer liefert den typischen Alterstrend mit seiner im höheren Alter deutlichen Abnahme der Wuchsleistung, bildet aber auch den klaren Anstieg der Zuwachsleistung in jüngeren Jahren nach. Dabei stehen mittleren Jahrringbreiten von über 3.0 mm im Jahre 1997 in einem 30-jährigen Bestand im gleichen Jahr nur 1.7 mm in einem 100-jährigen Bestand gegenüber. Die Abweichung zwischen den Linien für die Kalenderjahre 1997 und 1960 repräsentiert das veränderte Wuchsverhalten. Ein Vergleich erbringt einen Anstieg von 0.5 mm an Radialzuwachs im Jahre 1997 im Vergleich zum Jahre 1960. Dieser Anstieg ist auch in Amberg 833 erkennbar, wenngleich in geringerem Umfang. Im Gegensatz zu den Ergebnissen von KÜSTERS (2001) verlieren sich diese Wuchsunterschiede bei der Kiefer in höheren Altern wieder und zeigen die mittleren Radialzuwächse auf einem einheitlichen Niveau von ca. 1.0 mm. Das Wuchsverhalten der Buche auf den Versuchsfeldern in Geisenfeld 832 liefert ein davon abweichendes Bild. Ein Alterstrend ist bei der Buche nur schwach ausgeprägt. Im Jahre 1997 scheinen die Buchen unabhängig vom Alter einen gleichmäßigen Radialzuwachs von ca. 3.0 mm auszubilden. Dabei weisen junge Buchenbestände im Jahre 1997 einen mehr als doppelt so hohen Durchmesserzuwachs auf wie im Jahre 1920, wobei die Differenz mit zunehmendem Alter zunimmt.

11 Literatur

- ASSMANN, E. und FRANZ, F., 1963: Vorläufige Fichten-Ertragstafel für Bayern, Institut für Ertragskunde der Forstlichen Forschungsanstalt, München, 104 S.
- ASSMANN, E., 1970: The principles of forest yield study, Pergamon Press Ltd., Oxford, New York, Toronto, Sydney, Braunschweig, 507 S.
- BARTELINK, H. H. und OLSHOORN, A. F. M., 1999: Mixed forest in western Europe, In [Ed.] OLSHOORN, A. F. M., BARTELINK, H. H., GARDINER, J. J., PRETZSCH, H., HEKHUIS, H. J. und FRANC, A., Management of mixed-species forest: silviculture and economics, IBN Scientific Contributions, Wageningen, Vol. 15, 9-16
- BERGEL, D., 1985: Douglasien-Ertragstafel für Nordwestdeutschland. Niedersächsische Forstliche Versuchsanstalt, Abt. Waldwachstum, 72 S.
- BERTALANFFY, v. L., 1951: Theoretische Biologie II. Band, Stoffwechsel, Wachstum, A. FRANCKE AG, Verlag, 418 S.
- 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
- BONNEMANN, A., 1939: Der gleichaltrige Mischbestand von Kiefer und Buche, Mitteilungen aus Forstwirtschaft und Forstwissenschaft, X. Jg., H. 4, S. 1-45
- BURGER, H., 1941: Beitrag zur Frage der reinen oder gemischten Bestände, Mitteilungen der Schweiz. Anst. f. d. Forstl. Versuchsw., XXII. Band, H. 1, S. 164-203
- CANNELL, M. G. R., MALCOM, D. C. und ROBERTSON, P. A., 1992: The Ecology of Mixed-Species Stands of Trees, Blackwell Scientific Publications, Oxford, 312 S.
- CARLOWITZ, H. C. v., 1713: Syvicultura Oeconomica oder Haußwirthliche Nachricht und Naturmäßige Anweisung zur wilden Baum-Zucht, J. F. Braun, Leipzig.
- CASPERESEN, J. P. und PACALA, St. W., 2001: Successional diversity and forest ecosystem function, Ecological Research, Vol. 16, S. 895-903
- COTTA, H., 1828: Anweisung zum Waldbau, Arnoldische Buchhandlung, Dresden, Leipzig, 413 S.
- DeBELL, D. S., Whitesell, C. D., und SCHUBERT, T. H., 1989: Using N₂-fixing Albizia to increase growth of Eucalyptus plantations in Hawaii, Forest Science, Vol. 35, S. 64-75
- DIETERICH, V., 1957: Langfristige Folgerungen des forstwirtschaftlichen Grundgebots der Nachhaltigkeit, Forstw. Cbl., 76. Jg., S. 193-207
- DITTMAR, O., KNAPP, E. und ZEHLER, H., 1986: Die langfristige Versuchsfläche Tornau im StFB Dübener Heide, ein Beispiel für den Weg vom Kiefernreinbestand zum Buchennaturverjüngungsbetrieb, Sozialistische Forstwirtschaft, 36. Jg., H. 11, S. 344-348
- ELLENBERG, H., MAYER, R. und SCHAUERMANN, J., 1986: Ökoystemforschung - Ergebnisse des Sollingprojektes, Ulmer Verlag, Stuttgart, 507 S.

- FRIVOLD, L. H. und FRANK, J., 2002: Growth of mixed birch-coniferous stands in relation to pure coniferous stands at similar sites in South-eastern Norway, *Scandinavian Journal of Forest Research*, Vol. 17, No. 2, S. 139-149
- FRIVOLD, L. H. und KOLSTRÖM, T., 1999: Yield and treatment of mixed stands of boreal tree species in Fennoscandia, In [Ed.] OLSTHOORN, A. F. M., BARTELINK, H. H., GARDINER, J. J., PRETZSCH, H., HEKHUIS, H. J. und FRANC, A., *Management of mixed-species forest: silviculture and economics*, IBN Scientific Contributions, Wageningen, Vol. 15, 37-45
- GAYER, K., 1886: *Der gemischte Wald, seine Begründung und Pflege, insbesondere durch Horst- und Gruppenwirtschaft*, Paul Parey, Berlin, 168 S.
- HAGEN, O. v., 1867: *Die forstlichen Verhältnisse Preußens, Band 1*, J. Springer, Berlin.
- HARTIG, G. L., 1791: *Anweisung zur Holzzucht für Förster*, Neue Akademische Buchhandlung, Marburg, 144 S.
- HARTIG, G. L., 1804: *Anweisung zur Taxation und Beschreibung der Forste*. Gießen und Darmstadt, bey Georg Friedrich Heyer, 208 S.
- HECTOR, A., SCHMID, B., BEIERKUHNLIN, C., CALDEIRA, M. C., DIEMER, M., DIMITRAKOPOULUS, P. G., FINN, J. A., FREITAS, H., GILLER, P. S., GOOD, J., HARRIS, R., HÖGBERG, P., HUSS-DANELL, K., JOSHI, J., JUMPPONEN, A., KÖRNER, C., LEADLEY, P. W., LOREAU, M., MINNS, A., MULDER, C. P. H., O'DONOVAN, G., OTWAY, S. J., PEREIRA, J. S., PRINZ, A., READ, D. J., SCHERER-LORENZEN, M., SCHULZE, E.-D., SIAMANTZIOURAS, A.-S. D., SPEHN, E. M., TERRY, A. C., TROUMBIS, A. Y., WOODWARD, F. I., YACHI, S. und LAWTON, J. H., 1999: Plant Diversity and Productivity Experiments in European Grasslands, *Science*, Vol. 286, S. 1123-1127
- JENSEN, A. M., 1983: Growth of Silver Fir (*Abies alba* Mill.) compared with the growth of Norway Spruce (*Picea abies* (L) Karst.) in pure and mixed stands on sandy soils in the Western parts of Denmark, *Reports from department of Forestry, Series 2, Studies, No. 14*, Royal Veterinary and Agricultural University, Department of Forestry, Kopenhagen, 498 S.
- JÜTTNER, O., 1955: Eichen-Ertragstafel, In: SCHOBER, R. (Hrsg.), 1975: *Ertragstafeln wichtiger Baumarten*, J. D. Sauerländer's Verlag, 154 S.
- KELTY, M. J., 1992: Comparative productivity of monocultures and mixed stands, In [Ed.] KELTY, M. J., LARSON, B. C. und OLIVER, C. D., *The ecology and silviculture of mixed-species forests*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, S. 125-141
- KENNEL, R., 1965: Untersuchungen über die Leistung von Fichte und Buche im Rein- und Mischbestand. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, 136. Jg. S. 149-161 und S.173-189
- KNIGGE, W. und SCHULZ, H., 1966: *Grundriss der Forstbenutzung*, Paul Parey, Hamburg, Berlin, 584 S.

- KRAFT, G., 1884: Beiträge zur Lehre von den Durchforstungen, Schlagstellungen und Lichtungshieben, Hannover, Klindworth Verlag, 147 S.
- KÜSTERS, E., 2001: Wachstumstrends der Kiefer in Bayern, Diss. Wissenschaftszentrum Weihenstephan, Technische Universität München, 187 S.
- LINDNER, M und CRAMER, W., 2002: German forest sector under global change. An interdisciplinary impact assessment, In: PRETZSCH et al. [Hrsg.]: German Forest Sector under Global Change, 121. Jg., Supplement 1/2002, German Journal of Forest Science, S. 3-17
- LOREAU, M., NAEEM, S., INCHAUSTI, P., BENGTSSON, J., GRIME, J. P., HECTOR, A., HOOPER, D. U., HUSTON, M. A., RAFFAELLI, D., SCHMID, B., TILMAN, D. und WARDLE, D. A., 2001: Biodiversity and Ecosystem Functioning: Current Knowledge and Future Challenges, Science, Volume 294, S. 804-808
- LÜPKE B. von und SPELLMANN, H. 1999: Aspects of stability, growth and natural regeneration in mixed Norway spruce-beech stands as a basis of silvicultural decisions. In [Ed.] OLSTHOORN, A. F. M., BARTELINK, H. H., GARDINER, J. J., PRETZSCH, H., HEKHUIS, H. J. und FRANC, A., Management of mixed-species forest: silviculture and economics, IBN Scientific Contributions, Wageningen, Vol. 15, S. 245 – 267
- MCPFE, 2000: General declarations and resolutions adopted at the Ministerial Conferences on the protection of forests in Europe. Strasbourg 1990-Helsinki 1993-Lisbon 1998. Ministerial Conference on the protection of forests in Europe. Liaison Unit Vienna, 88 pp.
- MIELIKÄINEN, K., 1980: Mänty-koivusekametsiköiden rakenne ja kehitys. Summery: Structure and development of mixed pine and birch stands. Commun. Inst. For. Fenn. Vol. 99, No. 3, S. 1-82
- MIELIKÄINEN, K., 1985: Koivusekoituksen Vaikutus Kuusikon Rakenteeseen ja Kehitykseen, Effect of an admixture of birch on the structure and development of Norway Spruce Stands, Commun. Inst. For. Fenn. 133, 79 S.
- MÖLLER, A., 1922: Der Dauerwaldgedanke. Sein Sinn und seine Bedeutung, Verlag Julius Springer, Berlin, 84 S.
- OLSTHOORN, A. F. M., BARTELINK, H. H., GARDINER, J. J., PRETZSCH, H., HEKHUIS, H. J. und FRANC, A., [Ed.] 1999: Management of mixed-species forest: silviculture and economics, IBN Scientific Contributions, Wageningen, Vol. 15, 389 S.
- PFISTERER, A. B. und SCHMID, B., 2002: Diversity-dependent production can decrease the stability of ecosystem functioning, Nature, Vol. 416, S. 84-86
- PRETZSCH, H. und DURSKY, J., 2002: Growth response of Norway Spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) upon expected climatic changes in Germany, In: PRETZSCH et al. [Hrsg.]: German Forest Sector under Global Change. An Interdisciplinary Impact Assessment, Supplement 1/2002, German Journal of Forest Science, S. 145-154

- PRETZSCH, H., 1994: Konzept zur Erfassung der Wuchsdynamik bayerischer Mischbestände aus Fichte/Buche, Kiefer/Buche, Eiche/Buche und Fichte/Tanne/Buche über ein Netz von Wuchsreihen, Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der TU-München, 6 S.
- PRETZSCH, H., 1999: Waldwachstum im Wandel, Forstw. Cbl. 118, Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin, S. 228-250
- PRETZSCH, H., 2003: Effizienz der Raumbesetzung von Buche (*Fagus sylvatica* L.), Fichte (*Picea abies* (L.) Karst.), Kiefer (*Pinus sylvestris* L.) und Eiche (*Quercus petraea* (Mattuschka) Liebl.) im Rein- und Mischbestand, Tagungsbericht der Jahrestagung der Sektion Ertragskunde im Deutschen Verband Forstlicher Forschungsanstalten am 02.-04.06.2003 in Torgau/Sachsen, 25 S.
- PRETZSCH, H., BIBER, P. und DURSKY, J., 2002: Single tree based stand simulator SILVA. Construction, application and evaluation, Forest Ecology and Management, Vol. 162, S. 3-21
- REINEKE, L. H., 1933: Perfecting A Stand-Density Index For Even-Aged Forests. Journal of Agricultural Research, Vol. 46, No. 7, S. 627-638
- ROTTMANN, M., 1986: Wind- und Sturmschäden im Wald, J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a. Main, 128 S.
- SCHOBER, R., 1950/51: Zum jahreszeitlichen Ablauf des sekundären Dickenwachstums, Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, 122. Jg., S. 81-96
- SCHOBER, R., 1967: Buchen-Ertragstafel für mäßige und starke Durchforstung, In: Die Rotbuche 1971, J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a. Main, 1972, Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt 43/44, 333 S.
- SCHOBER, R., 1975: Ertragstafeln wichtiger Baumarten. J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a. Main, 154 S.
- SCHWAPPACH, A., 1912: Ertragstafeln der wichtigeren Holzarten in tabellarischer und graphischer Form, Verlag J. Neumann, Neudamm, 81 S.
- SEIFERT, T., SCHERMER, R. und PRETZSCH, H., 2002: Das Baumwachstum von kronenspannungsfrei gewachsenen Fichten, unter besonderer Berücksichtigung der Auswirkungen auf die Stammholzeigenschaften und die forstökonomischen Konsequenzen. Abschlussbericht zu einem Forschungsvorhaben am Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der TU München. 86 S. plus Anhang.
- TRENDELENBURG, R. und MAYER-WEGELIN, H., 1955: Das Holz als Rohstoff, Carl Hansa Verlag, München, 541 S.
- WECK, J., 1955: Forstliche Zuwachs- und Ertragskunde, Neumann Verlag, Radebeul und Berlin, 160 S.
- WIEDEMANN, E., 1942: Der gleichaltrige Fichten-Buchen-Mischbestand. Mitteilungen aus Forstwirtschaft und Forstwissenschaft, 13. Jg., 88 S.

- WIEDEMANN, E., 1943/48: Kiefern-Ertragstafel für mäßige Durchforstung, starke Durchforstung und Lichtung. In: WIEDEMANN, E., 1948: Die Kiefer 1948, Verlag M. & H. Schaper, Hannover, 337 S.
- WIEDEMANN, E., 1943: Der Vergleich der Massenleistung des Mischbestandes mit dem Reinbestand, Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, 119. Jg., S. 123-132.
- WIEDEMANN, E., 1948: Die Kiefer 1948, Verlag Schaper, Hannover 1948, 337 S.
- WIEDEMANN, E., 1949: Ertragstabeln der wichtigen Holzarten bei verschiedener Durchforstung, Verlag M. & H. Schaper, Hannover, 100 S.
- WIEDEMANN, E., 1951: Ertragskundliche und waldbauliche Grundlagen der Forstwirtschaft, J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt, 346 S.
- WIMMENAUER, K., 1941: Zur Frage der Mischbestände, Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, 90. Jg., S. 90-93.
- UTSCHIG, H., 2002: Analyse der Standraumökonomie von Einzelbäumen auf langfristig beobachteten Versuchsflächen – Methoden, Programmentwicklung und erste Ergebnisse -, Forstw. Cbl. 121. Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin, S. 335-348
- ZÖHRER, F., 1969: Bestandeszuwachs und Leistungsvergleich montan, subalpiner Lärchen-Fichten-Mischbestände, Forstwissenschaftliches Centralblatt, 88. Jg., H. 1, S. 1-64

TEIL IV: Folgerungen für die forstliche Praxis

Heinz Utschig und Elke Küsters

1 Zusammenfassung

Im Teil IV werden die Folgerungen für die forstliche Praxis dargestellt. Zunächst wird die Bestandesdynamik unter den geänderten Wuchsbedingungen eingehend betrachtet. Es wird deutlich, dass die Kiefer dynamischer wächst, schneller Zielvorgaben erreicht und die Bestandesbehandlung darauf abgestimmt werden muss. Daran anschließend werden die in den Beständen ablaufenden Wachstumseffekte nach den Ursachen Umwelteffekt und Behandlungseffekt getrennt. Dies verdeutlicht die starke Wirkung des Umwelteffektes auf das Wachstum der Waldbestände. Die Durchforstungseffekte sind deutlich geringer als die Umwelteffekte. Es folgt eine Diskussion über Konsequenzen aus den Wachstumstrends der Kiefer in Bayern für die Entwicklungsphasen eines Kiefern-Reinbestandes. Die größere Wuchsdynamik zwingt zu früheren und häufigeren selektiven Eingriffen in der Jugendphase, im Alter lohnt es sich mehr, die Bestände ausreifen zu lassen. Abschließend werden die Konsequenzen für Kiefern-Buchen bzw. Kiefern-Fichten-Mischbeständen aufgezeigt. Mischbestände mit Kiefer sind durch eine im Vergleich zum Kiefern-Reinbestand höhere Produktivität gekennzeichnet. Positive Wechselwirkungen dieser Baumarten in Mischung sind zu beobachten.

2 Folgerungen für die forstliche Praxis

Die Wahrnehmung langsam laufender Prozesse, wie z.B. die Auswirkungen der Klimaveränderung und des Stickstoffeintrags auf unsere Waldökosysteme und das Wachstum der Waldbäume, findet häufig bei den tagtäglich mit dem System Wald befassten Entscheidungsträgern nicht oder nur zeitverzögert statt (PRETZSCH et al., 2002). Darum wird es für besonders wichtig erachtet, die Konsequenzen der in diesem Bericht zusammengetragenen Ergebnisse für den praktischen Forstbetrieb in einem eigenen Kapitel aufzuarbeiten. Bei der Zusammenschau wird deutlich, dass die Steuerung von Waldbeständen von zwei Faktoren abhängig ist, dem veränderten Wachstum durch geänderte Wuchsbedingungen und dem Einfluss der Durchforstung. Wichtig für die Beurteilung von waldbaulichen Maßnahmen ist die getrennte Betrachtung beider Effekte.

2.1 Bestandesdynamik unter geänderten Wuchsbedingungen

Die Kiefer ist grundsätzlich eine ausgesprochene Lichtbaumart mit einer relativ frühen Gipfelung des laufenden Volumenzuwachses. „So dehnbar ihre Natur in allen übrigen Beziehungen ist, so wenig ist sie es in hinsicht des Lichtbedarfs“ (GAYER, 1898, S. 63). Dies ist um so ausgeprägter, je ungünstiger der Standort ist (GAYER, 1898).

Das in dieser Untersuchung aufgezeigte deutlich veränderte Wuchspotential der Kiefer hat tief reichende Auswirkungen für die forstliche Praxis. Die Annahme, dass die Kiefer nicht in der Lage ist, ausreichende Massenleistungen zu erbringen, ist unter den heutigen Bedingungen nicht mehr gerechtfertigt. Das im Vergleich zur Vergangenheit höhere Wuchspotential führt dazu, dass auf gegebenen Standorten die Bestandesentwicklung wesentlich schneller durchlaufen wird (PRETZSCH, 2004a) und damit eine wesentlich höhere Ausbeute an Volumenerträgen zu erwarten ist. In vergleichbaren Zeiträumen wird der festgelegte Zieldurchmesser von mindestens L2a/L2b (BAYSTMELF, 1995) erheblich übertroffen oder zu einem früheren Zeitpunkt erreicht. Als realistische Zieldurchmesser können für die Zukunft auf vielen Standorten L3b/L4a angesetzt werden.

Der Wachstumsgang der Kiefernbestände hängt sehr wesentlich von den bereits erreichten Dimensionen zum Zeitpunkt des Eintrittes der Wachstumsänderung ab. Je jünger die Bestände

sind, um so schneller können sie auf die veränderten Wachstumsbedingungen durch Zuwachsanstiege reagieren. Das grundsätzliche biologisch festgelegte Wachstumsmuster der ausgeprägten Lichtbaumart Kiefer wird beibehalten, nur das Leistungsniveau ist erheblich gesteigert. Aktuell finden wir in vielen bisher schlecht wüchsigen Beständen einen relativ hohen laufenden Höhen- und Durchmesserzuwachs, die Bestände durchwachsen den Bonitätsfächer und weisen jetzt eine deutlich bessere Bonität als noch vor 20 oder 30 Jahren auf (vgl. Teil I). Die im Bestand feststellbare Bonität sagt zunächst nichts über das aktuelle Leistungsniveau der Kiefernbestände, den zu erwartenden laufenden Volumenzuwachs, aus. In Beständen unterschiedlichster Bonität werden vergleichbare laufende Volumenzuwächse erreicht. Die bisherige Differenzierung der Wuchsleistung nach Standorten kann derzeit nicht bestätigt werden (vgl. Teil I).

Nach Abschluss des Höhenwachstums wird eine abgeflachte Krone ausgebildet und die Bestände neigen zur Lichtstellung (GAYER, 1898). Diese eintretende Verlichtung tritt umso früher auf, je ungünstiger der Standort ist. Aktuell haben Kiefernbestände trotz der im Allgemeinen frühen Gipfelung des Höhenzuwachses wieder ansteigende Höhenzuwächse. Dieser Effekt ist relativ unabhängig vom Ausgangsalter, je ungünstiger die Ausgangsbonität, um so stärker ist er ausgeprägt. Durch die Wachstumsänderungen steigt der laufende Zuwachs unabhängig vom Bestandesalter in den Beständen an. Insbesondere im Bereich der Frankenalb und des Waldsassener Schiefergebietes zeigt der Zuwachsanstieg einen stark positiven Trend. Mit Endhöhen im Bereich von 30 bis 36 m ist die Kiefer den anderen Baumarten in der Höhenwuchsleistung aber in vielen Fällen unterlegen.

Wird der zur Ernte anstehende Altbestand als Indikator für die zukünftige Entwicklung der Verjüngung angesehen, so wird es auf bisher als ungünstig eingestuften Standorten zu Fehleinschätzungen kommen. Wie das Beispiel der Versuchsfläche Weiden 611 zeigt, lag die Bonität des Vorbestandes im Alter von über 90 Jahren bei einer Bonität von IV.0, nach 32 Jahren liegt der Folgebestand im Bereich der Bonität I-II.0 nach WIEDEMANN (1943), die Endhöhe des Vorbestandes wurde auf einigen Parzellen bereits erreicht.

Für den Aufbau stabiler Wälder spielt die Abschätzung der Klimaveränderung und ihre Auswirkung auf die Baumartenwahl eine wichtige Rolle. Dabei ist vor allem die hohe Anpassungsfähigkeit der Kiefer an sich verändernde Umweltbedingungen von Bedeutung. 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 ist damit ein Beitrag zur Sicherung der Produktivität und Stabilität (PRETZSCH, 2003, vgl. auch Teil III). Dies gilt insbesondere für Gebiete, die durch Wassermangel oder ein geringes Nährstoffangebot geprägt sind und die jetzt durchaus wüchsige Kiefern-Fichten-Mischbestände aufweisen. 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.

2.2 Trennung der Effekte Wachstumstrend und Dimensionssteigerung durch Durchforstung

Die in vielen Kiefernbeständen feststellbaren Wachstumssteigerungen sind, wie Untersuchungen von PRETZSCH (1999, 2004a) zeigen, unabhängig von der Durchforstungsstärke. Aus dem Vergleich der langfristigen Entwicklung von unbehandelten Vergleichsparzellen und stark behandelten Parzellen unter gleichem Einfluss der Standortsänderung kann dieser Effekt gut quantifiziert werden. Die Unterschiede der Behandlungsgrade werden zu diesem Zweck auf insgesamt acht Kiefern-Durchforstungsversuchsflächen analysiert. Dabei wird das Volumen des Grundflächen-Mittelstammes der 100 stärksten Bäume mäßig durchforsteter Bestände im Alter von 100 Jahren = 100 % gesetzt. Diese Werte werden dann mit der Entwicklung stark durchforsteter, aufgelichteter oder solitärartig behandelter Versuchspartellen verglichen. Damit kann abgeschätzt werden, um wie viel Prozent Durchforstungsmaßnahmen das Volumen dieses Mittelstammes im Alter 100 zu steigern vermögen (Tabelle 1, Zeile Durchforstungseffekt). Durch Ausführung der Berechnung auf der Grundlage des Grundflächen-Mittelstammes der 100 stärksten Bäume wird der Effekt der rechnerischen Verschiebung des Mitteldurchmessers weitgehend eliminiert; die resultierenden Prozentwerte spiegeln den reinen Zuwachsbeschleunigungseffekt der Durchforstung wider (ASSMANN, 1961).

Der Umwelteffekt lässt sich quantifizieren, indem das Volumen des Mittelstammes 100jähriger Bestände mit jenem Volumen verglichen wird, das die Ertragstafeln für solche Bestände ausweisen (jeweils mäßig durchforstete Bestände). Für diesen Vergleich wird also davon ausgegangen, dass die Ertragstafeln „Steadystate-Bedingungen“ abbilden und das gegenwärtig beobachtete Wachstum ertragstafelgemäß behandelte Bestände daran gemessen werden kann (Tabelle 1, Zeile Umwelteffekt).

Damit kann eine Trennung der beiden Effekte vorgenommen werden. Die durch den Wachstumstrend hervorgerufene Wachstumsänderung übertrifft auf vielen Standorten bei weitem den Durchforstungseffekt. Die Ergebnisse von PRETZSCH (2004a) für die Baumart Kiefer sind in Tabelle 2-1 niedergelegt. Dabei schlägt bei den untersuchten acht Versuchsflächen für die Kiefer der Durchforstungseffekt mit 20 % und der Umwelteffekt mit 33 % zu Buche. Demnach ist insbesondere bei Fichte und Kiefer der Umwelteffekt auf den Zuwachs wesentlich stärker ausgeprägt als der Durchforstungseffekt. Die Eiche weist mit + 25 % den schwächsten Gesamteffekt in der Zuwachssteigerung auf, der Durchforstungseffekt wird mit + 11 % und der Umwelteffekt mit +13% quantifiziert. Wie zu erwarten weist die Buche auch einen großen Durchforstungseffekt (+18 %) auf, während für die Fichte mit +27 % ein beträchtlicher Umwelteffekt festgestellt werden kann. Der Gesamteffekt beträgt bei Fichte, Buche, Kiefer und Eiche 38 %, 32 %, 60 % bzw. 25 % (100 % = Volumen des Mittelstammes mäßig behandelte Bestände im Alter von 100 Jahren nach den Erwartungswerten der Ertragstabellen). Damit zeigt insgesamt die Kiefer die deutlichsten Wachstumsreaktionen. Durch die unterschiedlichen Bezugsgrößen bei der Prozentuierung ist der Gesamteffekt stärker als die Summe der einzelnen Effekte. Für Fichte, Buche, Kiefer und Eiche stützt sich die Auswertung auf die Ertragstabellen von WIEDEMANN (1936/42), SCHÖBER (1967), WIEDEMANN (1943) bzw. JÜTTNER (1955) für die mäßige Durchforstung.

Tab. 2-1: Prozentische Steigerung des Stammvolumens im Alter von 100 Jahren über Durchforstung bzw. Umweltveränderungen. Der Auswertung liegen die im unteren Teil der Tabelle aufgelisteten 15 Fichtenversuche, 16 Buchenversuche, 8 Kiefernversuche und 15 Eichenversuche zugrunde. (Zeile 1) Prozentische Steigerung des Stammvolumens im Alter 100 von beim Übergang von mäßiger zu starker Durchforstung oder Lichtung (Durchforstungseffekt in %). (Zeile 2) Beobachtetes Stammvolumen mäßig durchforsteter Parzellen im Vergleich zu den Erwartungswerten der Ertragstabelle (Umwelteffekt in %). Der Gesamteffekt fasst zuwachsstärkende Umwelt- und Durchforstungseffekte zusammen (100 % = Erwartungswert gängiger Ertragstabellen bei m. Df.) (aus PRETZSCH, 2004a).

	Fichte n = 15	Buche n = 16	Kiefer n = 8	Eiche n = 15
Durchforstungseffekt in %	+ 9 (±4)	+18 (±9)	+20 (±19)	+11 (±6)
Umwelteffekt in %	+27 (±5)	+12 (±10)	+33 (±7)	+13 (±4)
Gesamteffekt in %	+38	+32	+60	+25
Versuchsflächen	SAC 2, SAC 3, DEN 5, SAC 67, SAC 68, EGL 72, EGL 73, DEN84, WES 87, ADE 96, WOL 97, EGL 98, MIT 101, ZWI 111, WBU 613	WAB 14, FAB 15, ELM 20, LOH 24, HAI 25, ROT 26, HAI 27, WAB 41, STA 91, MIT 101, WAB 105, WAB 106, ZWI 111, HEG 232, BIS 312	SLU 49, SLU 50, BAY 52, KUL 53, SNA 56, SNA 57, SNA 58, FLA 79	ILL 38, ILL 39, LOH 60, ELM 62, ELM 63, WAL 88, ROH 90, RIM 102, WAB 105, WAB 106, BIS 311, ROH 620

Bei waldbaulichen Maßnahmen unterstellen wir allgemein eine unimodale Dosis-Wirkungs-Funktion zwischen Bestandesdichte und Volumenzuwachs (Abb. 2-1a). Der Zusammenhang zwischen Durchforstungsstärke und Zuwachs wie ihn ASSMANN (1961) durch das Gesetz der mittleren Grundflächenhaltung beschrieben hat wird deutlich. Angesichts der überragenden Bedeutung der Dichte-Zuwachs-Beziehung erstaunt nach Auffassung von ZEIDE und PRETZSCH (2004) die bis dato kontroverse Einschätzung und fehlende theoretische Untermauerung dieser Beziehung. PRETZSCH (2004a, 2004b) macht in einer Querschnittsauswertung deutlich, dass die durch Dichteabsenkung ausgelöste Zuwachsbeschleunigung die behandelten Bestände zwar schneller in größere Dimensionsbereiche bringt, aber damit gleichzeitig ihre Reaktionsfähigkeit auf weitere Durchforstungen schneller abnimmt. Der von ASSMANN (1961) definierte Wuchsbeschleunigungseffekt wird von PRETZSCH (2004a) aus Überlegungen zur Allometrie von Waldbeständen heraus erklärt und bestätigt.

Mit zunehmender Eingriffsstärke bewirkt die Reduktion der Grundfläche stärkere Zuwachsverluste im Bestand. Dieser Zusammenhang ist in Abhängigkeit von der Baumart und dem Bestandesalter unterschiedlich ausgeprägt. Die Lichtbaumart Kiefer ist nur in den ersten Jahrzehnten ihrer Entwicklung in der Lage starke Eingriffe durch Kronenexpansion und Lichtungszuwachs zu kompensieren. Späte starke Eingriffe führen bei der Kiefer nach wie vor zu deutlichen Zuwachsverlusten im Bestand, allerdings sind diese in Altdurchforstungsbeständen dann vertretbar, wenn durch die Konzentration des Zuwachses auf wertvolle Stämme eine gesteigerte Wertschöpfung zu erwarten ist (RÖHRIG und GUSSONE, 1992).

Gegenwärtig leisten aber offensichtlich viele Bestände unerwartet hohe Zuwächse. Beispielsweise liegt der Volumen-Mehrzuwachs von Kiefernbeständen im Vergleich zu den Erwartungswerten unter „Steadystate-Bedingungen“ (ohne Berücksichtigung der Standortveränderung) bei insgesamt circa +60 % (Abb. 2-1b). Das birgt die Gefahr, dass Umwelteffekte für Durchforstungseffekte gehalten werden. Das heißt, die nach Durchforstungsmaßnahmen beobachteten Volumenzuwächse werden häufig für starke Durchforstungseffekte gehalten, sind dagegen eine Mischung aus Umwelteffekten (ca. 33 %) und Durchforstungseffekten (ca. 18 %) (Abb. 2-1c). Der Effekt ist in Abbildung 2-1c beispielhaft für eine Reduktion der Bestandesdichte um 20% dargestellt. Dieser Zusammenhang wäre ohne das Informationspotenzial langfristiger Versuchsflächen, die neben unterschiedlich stark behandelten auch A-Grad Flächen umfassen, nicht bekannt.

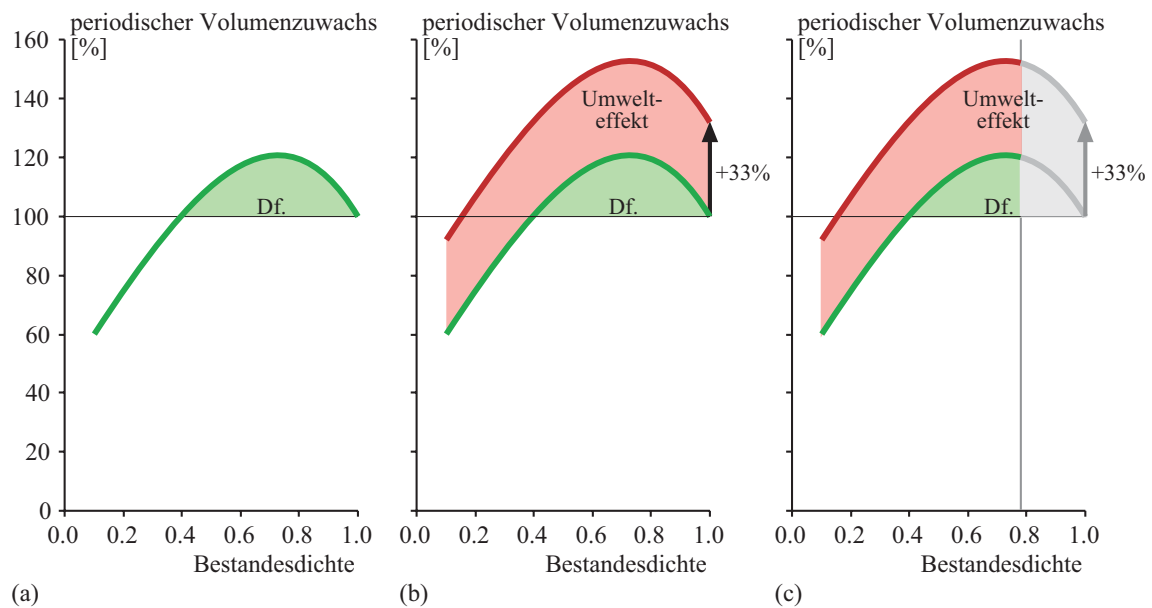


Abb. 2-1: Wachstumssteigerung der Kiefer durch Durchforstung (Df.) und zuwachs-förderliche Umweltveränderung (Umwelteffekt) in schematischer Darstellung (verändert nach PRETZSCH, 2004). (a) Der Zusammenhang zwischen Bestandesdichte (z.B. Bestandesgrundfläche) und periodischem Volumenzuwachs folgt einer unimodalen Optimumkurve. (b) Aufgrund der veränderten Umweltbedingungen zeichnet sich eine ca. 60%ige Steigerung des periodischen Volumenzuwachses ab. (c) Zuwachssteigerungen nach Durchforstungen, etwa durch Absenkung der Bestandesdichte auf 0,8 (vertikale Linie) resultiert in periodischen Volumenzuwächsen von 150 bis 160 % der Erwartungswerte, wovon allerdings nur ca. 20 % auf durchforstungsbedingte Anstiege und dazu noch ca. 33 % auf Umwelteffekte zurückgehen (verändert nach PRETZSCH, 2004).

Durchforstungen wirken durch positive Veränderung des Licht-, Wärme- oder Feuchtigkeitsangebotes auf den verbleibenden Bestand (RÖHRIG und GUSSONE, 1992). Durch Umwelteffekte, wie z.B. den Stickstoffeintrag und die ablaufende Klimaänderung, werden weitere Wachstumsfaktoren wie Temperatur, Nährstoffe (vor allem der Stickstoffgehalt) oder der CO₂-Gehalt verändert. Der Bestand kann dieses zusätzliche Angebot jedoch nur umsetzen, wenn diese Faktoren bisher im Minimum waren (ASSMANN, 1961, PRETZSCH, 2002). Bleibt jedoch z.B. die Wasserversorgung im Minimum, so wird verhindert, dass die Pflanze die anderen reichlich vorhanden Wachstumsfaktoren nutzen kann (PRETZSCH, 2002). Dies ist ein Erklärungsansatz zum „Gesetz des Örtlichen“, wie er in neuerer Zeit von OTTO (2002a) intensiv diskutiert wurde. Damit wird erklärbar, warum es regional sehr differenziert nur eine begrenzte Wirkung von Umwelt- und Behandlungseffekten gibt.

2.3 Konsequenzen für die Bestandesbehandlung in gleichaltrigen Kiefern-Reinbeständen

Auswirkung auf die Erziehungskonzepte

Traditionell wurden Kiefernbestände häufig niederdurchforstet (BURSCHEL und HUSS, 1987). Die Qualitätsförderung (Astreinigung, Feinastigkeit) hatte einen sehr hohen Stellenwert (WIEDEMANN, 1948; DITTMAR et al., 1991). Dadurch ist die Durchmesserentwicklung bei der früh im laufenden Zuwachs kulminierenden Kiefer eher gebremst. Modernere Programme wollen gleichzeitig Stabilität und Qualität von Kiefernbeständen fördern, sie stellen praktisch einen Kompromiss zwischen den Forderungen nach minimaler Aststärke und maximaler Durchmesserentwicklung dar. In der Jungbestandspflege werden dann mit mehr oder weniger starken Eingriffen Auslese- oder Z-Bäume gefördert, spätestens zu Beginn der 2. Hälfte der Umtriebszeit setzt Hiebruhe oder nur eine extensive Niederdurchforstung ein. In den letzten Jahrzehnten wurde eine deutliche Erhöhung der Eingriffsstärke für Kiefernbestände propagiert (ABETZ, 1972; BURSCHEL und HUSS, 1987; RÖHRIG und GUSSONE, 1992, HUSS, 1983, HUSS, 1998; WALDHERR, 1994). Wie die hier vorgelegte Untersuchung zeigt, sind die Wachstumsreaktion in den Beständen aber nur zum Teil auf die Eingriffsart und –stärke bei der Durchforstung zurückzuführen.

Die verstärkt ablaufenden Wachstumsprozesse führen zu einer größeren Kronendynamik als sie normalerweise von der Kiefer zu erwarten wäre. Dies macht sich zum Beispiel in den erhöhten Standraumbedürfnissen auf bisher schlechten Standorten bemerkbar. Gleichzeitig müssen die Durchforstungen früher und häufiger oder insgesamt stärker erfolgen, da der frei werdende Platz schneller wieder ausgefüllt wird. Diese gesteigerte Wuchsdynamik verstärkt den Zwang, die Maßnahmen zum richtigen Zeitpunkt durchzuführen. Ist das Höhenwachstum weitgehend abgeschlossen, was bei der Kiefer bis zum Alter von 40 bis 50 Jahren der Fall ist, haben Durchforstungsmaßnahmen nur noch eine beschränkte Auswirkung (ASSMANN, 1961).

Die Kiefer ist eine stark qualitätsdifferenzierte Baumart, von der insbesondere Astreinheit und Geradschaftigkeit verlangt wird. Das festgestellte verstärkte Wachstum kann jedoch bei ausreichendem Standraum des Einzelbaumes zu höheren Aststärken führen (RÖHRIG und GUSSONE, 1992). Durch die Möglichkeit höhere Zieldurchmesser zu erreichen, können auch Kiefern bis zu einem BHD von maximal 20 cm geastet werden.

Junge Bestände wachsen durch niedrigere Ausgangsstammzahlen und bessere Standortbedingungen in einem kürzeren Zeitraum in stärkere, besser bezahlte Dimensionen (KROTH, 1983), was gerade bei einer wirtschaftlich schwierigen Baumart wie der Kiefer von großer Bedeutung ist. Vor allem der oft defizitäre Industrieholzanfall bei den ersten Durchforstungen wird dadurch zugunsten schwacher Stammholzsortimente bzw. Standardlängen reduziert. Gleichzeitig erhöht das Hinauszögern der ersten Durchforstung den Deckungsbeitrag erheblich. Zur Sicherung der Stabilität sollte dann aber in der Jungwuchspflege eine kostengünstige Stammzahlreduktion vorgeschaltet werden (WALDHERR, 1994).

Die Steigerung des Höhenwachstums und die Verlagerung des Zuwachses in höhere Stammbereiche führt zur größerer Vollholzigkeit (vgl. Teil I). 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.

Jungbestandspflege

In der Phase der Jungbestandspflege ist wegen der günstigeren Wuchsbedingungen auf ausreichende Bestandesdichte oder eine Überschildung durch den Altbestand zur Vermeidung von Grobastigkeit zu achten. Lückiger Jugendwuchs führt zu verstärkter Astbildung, umso mehr, als die besseren Standortverhältnisse von den Jungbeständen stärker umgesetzt werden. Insgesamt verläuft die Entwicklung in den Jungbeständen wesentlich schneller als früher. Bei geringen Ausgangsdichten (5000 – 2500 Bäume/ha) ist die Durchmesserentwicklung deutlich beschleunigt. Dafür nimmt aber auch die Aststärke erheblich zu. Erfahrungen aus dem Durchforstungsversuch Weiden 611 zeigen, dass nur bei Ausgangsdichten von mindestens 5000 Bäumen/ha qualitativ hochwertige Kiefernbestände im Bezug auf die Qualität herangezogen werden können (BUES, 1994; HUSS, 1983; UTSCHIG und PAUSCH, 1992).

Liegen sehr hohe Ausgangsdichten z.B. aus Naturverjüngung vor, so können schematische oder selektive Eingriffe zur Stabilisierung der Bestände durchgeführt werden. Ist absehbar, dass ein früher Eingriff zur Sicherung der Stabilität notwendig ist –eine Auswirkung des gesteigerten Höhenwachstums-, so zeigen z.B. die untersuchten Varianten auf dem Durchforstungsversuch Bodenwöhr 610 bei schematischen Eingriffen, Entnahme jeder 3. oder 4. Reihe, in kurzer Zeit eine Steigerung des Durchmesserzuwachses und damit einen wichtigen Beitrag zur Stabilisierung (KÜSTERS und UTSCHIG, 1998). Selektive Eingriffe zugunsten von ca. 200-250

Z-Bäumen erbringen auf dem Durchforstungsversuch Weiden 611 ebenfalls sehr gute Ergebnisse, dies deckt sich auch mit den Ergebnissen von BURSCHEL et al. (1989).

Jungdurchforstung

Die Jungdurchforstung ist die wichtigste Phase in der Bestandespflege der Kiefer. Hier entscheidet sich die künftige Struktur, Stabilität und Qualität des Bestandes und damit seine künftige Wertleistung (WALDHERR, 1994; RÖHRIG und GUSSONE, 1992; BURSCHEL und HUSS, 1987). Die Förderung der besten Bäume im Bestand steht im Vordergrund. Negativauslese ist nur notwendig, wenn diese Bäume schlechter Qualität langfristig förderungswürdige Bäume in ihrer Entwicklung hemmen. Die Intensität der Durchforstung ist in Zukunft höher als in der Vergangenheit, da durch den stärkeren Zuwachs die Eingriffe besser kompensiert werden können. Gleichzeitig verringert sich der Durchforstungsturnus, die Entwicklungsphase wird schneller durchlaufen. Je kürzer der Turnus ist, umso weniger stark müssen andererseits die Eingriffe sein.

„Die Kronenverbreitung ist in allen Altersstufen eine Beschränkte“ (GAYER, 1898, S. 61). Diese Aussage unterstreicht, dass die Kiefer eine ausgeprägte Lichtbaumart ist. Gleichzeitig wird unter den gegenwärtigen Wuchsbedingungen der durch die Durchforstung geschaffene Wuchsraum auch auf ungünstigen Standorten rascher besetzt als in der Vergangenheit. Auf den Kiefern-Durchforstungsversuchen ist zu beobachten, dass nicht alle Bäume die in sie gesetzten Erwartung erfüllen. Zunächst sehr vorwüchsige Kiefern können rasch im Zuwachs nachlassen (SCHOBBER, 1988; LOCKOW, 1992; DITTMAR et al., 1991). Diese Aussage steht im Widerspruch zu den Erwartungen, die an eine Z-Baum Durchforstung gestellt wird (ABETZ, 1972; HUSS, 1983). Deswegen ist auf eine in Relation zum Zieldurchmesser bzw. der Umtriebszeit ausreichende Anzahl von Z-Bäumen zu achten. Die erhöhte Wuchsleistung führt bei gleichen Zieldurchmessern zu einer Erhöhung der Z-Baumanzahl, eine gleichzeitige Erhöhung des Zieldurchmessers bewirkt wiederum eine Verminderung der Z-Baumzahlen. Wird die Standortkraft ausgenutzt, so müssen 150 bis 200 Bäume einen Mindestdurchmesser (BHD) von 45 cm erreichen. Wie viele Reservebäume ausgewählt werden sollen wird in der Literatur heftig diskutiert (ABETZ, 1988; DITTMAR et al., 1991; FLÖHR et al., 1991; FRANZ, 1983; KLÄDTKE, 1990; SCHOBBER, 1988.). Es werden Rahmenwerte für die Zahl der auszuwählenden Z-Bäume zwischen 150 und 400 Bäumen vorgeschlagen, ein Schwerpunkt liegt zwischen 200 und 300 Z-Bäumen. Zu beachten ist, dass die Kiefer einer Vielzahl von biotischen

Schadfaktoren ausgesetzt ist und mit dem Absterben vorherrschender Kiefern im Laufe der Bestandesentwicklung zu rechnen ist (DITTMAR et al., 1991).

Die Entnahme eines echten Konkurrenten ist sehr wirksam, bei der Entnahme mehrerer Konkurrenten nimmt die Durchforstungswirkung ab. Eine Untersuchung von DEGENHARDT (2000) in Beständen, die zwischen 29 und 120 Jahre alt waren, zeigt, dass der Durchmesserzuwachs der Ausleseebäume bei der Entnahme von einem Bedränger erheblich gesteigert wurde, die Entnahme eines weiteren Bedrängers führte jedoch nur zu einer geringen weiteren Durchmesserzunahme, der abnehmende Grenznutzen der Durchforstung mit Zunahme der Eingriffsstärke (PRETZSCH, 2002, 2004a, PRETZSCH et al., 2002) wird deutlich. Viel wichtiger erscheint in diesem Zusammenhang die Stetigkeit der Durchforstung, zumindest in der Aufschwung- und Vollkraftphase des laufenden Volumenzuwachses, also bis zu einem Bestandesalter von ca. 50 Jahren.

Der Qualitätsaspekt ist im Bezug auf die potentielle Wertleistung von Kiefernbeständen von besonderer Bedeutung (DITTMAR et al., 1991). Je stärker die Wuchskraft, umso mehr müssen neben der Durchforstung auch die Aspekte der Astung berücksichtigt werden. Wie z.B. Untersuchungen von BURSCHEL et al. (1994b) zeigen, kann die Astung durchaus rentabel sein, wenn damit erreicht wird, dass Anteile von 30-40 % A-Holz im Endbestand erreicht werden können. Durch die Möglichkeit höhere Zieldurchmesser zu erreichen, können auch stärkere Kiefern noch geastet werden. Durch Schirmstellungen kann die Ausbildung stärkerer Äste effektiv reduziert werden. Gleichzeitig sind Naturverjüngungen unter Schirm jedoch häufig recht stammzahlreich und instabil (BURSCHEL und HUSS, 1987).

Altdurchforstung

Eine frühzeitige Verjüngung der älteren Bestände nutzt das derzeitige Leistungspotential des Standortes nicht aus. Vielmehr sollte unter den momentan herrschenden Bedingungen insbesondere auf den ärmeren Standorten bei Ausreichender Qualität ein Vorratsaufbau betrieben werden (WALDHERR, 1994). Dieser Mehrzuwachs kann an qualitativ guten Stämmen verstärkt genutzt werden. Dies gilt auch für den Überhalt von Kiefern. Ist die Anzahl der hochwertigen Bäume groß genug, dann kann es durchhaus sinnvoll sein, auf Grund des positiven Wachstumstrends die Umtriebszeit dieser Bestände deutlich zu verlängern, der Klassensprung wird stattfinden. Ist die Anzahl an guten Bäumen relativ niedrig, so kann der Unterbau der

Bestände z.B. mit Buche, Douglasie oder Fichte eingeleitet werden (GAYER, 1898, RÖHRIG und GUSSONE, 1992, BURSCHEL und HUSS, 1987).

Verjüngungsbetrieb

Nach GAYER (1898) ist die Kiefern-Naturverjüngung um so erfolgreicher, je günstiger der Standort ist. Durch die Standortverbesserungen müssten sich eigentlich auf großer Fläche die Bedingungen für eine erfolgreiche Kiefern-Naturverjüngung erheblich verbessert haben. Nach RÖHRIG und GUSSONE (1992) wird über kein waldbauliches Verfahren mehr geforscht und geschrieben als die Kiefern-Naturverjüngung, gleichzeitig wird sie so gut wie überhaupt nicht angewendet. WALDHERR (1994) berichtet über positive Erfahrungen mit der Kiefern-Naturverjüngung in der Oberpfalz in den letzten Jahrzehnten. Diese bezieht sich jedoch auf ein recht enges Standortspektrum. Auf großer Fläche ist derzeit das Einwandern der Fichte zu beobachten. Wie OTTO (2002a, 2002b) treffend beschreibt, sind auf gut nährstoffversorgten Standorten Kiefernbestände nur Teil eines Sukzessionsstadiums hin zu Kiefern-Mischbeständen oder sogar zu buchendominierten Wäldern. Die Sicherung eines Kiefernanteils ist auf solchen Standorten aufgrund der Wachstumsrhythmen der Baumarten ein echtes Problem..

Hat der Bestand seine Zielstärke erreicht oder sind nur relativ wenige gute Kiefern vorhanden, kann die Verjüngung unter Schirm eingeleitet oder der Bestand durch Unterbau mit Buche aufgewertet werden. Wichtiges Entscheidungskriterium ob eine Naturverjüngung möglich ist, ist die Herkunft und die Qualität des vorhandenen Altbestandes (WALDHERR, 1994). Nicht angepasste Herkünfte (Teil II) sollten nicht durch Naturverjüngung weiter vermehrt werden. Hier empfiehlt sich die Pflanzung oder ein Baumartenwechsel. Nach PRETZSCH (2002) kann über die Auswahl der geeigneten Herkunft die Wertleistung eines Bestandes entscheidender beeinflusst werden als durch die Bestandespflege.

Bei der Pflanzung können die früher gültigen Dichtewerte von 10-20000 Bäumen/ha deutlich unterschritten werden. Bei günstigen Ausgangsbedingungen können sogar aus Beständen, die mit 2500-5000 Bäumen/ha begründet wurden, qualitativ hochwertige Kiefern erwachsen. Eine Astung ist hierbei jedoch bereits unerlässlich (PAUSCH, 1991; UTSCHIG, 2000).

2.4 Konsequenzen für die Behandlung von Kiefern-Mischbeständen

Erfreulich hoch ist das Leistungsvermögen der hier untersuchten Kiefern-Mischbestände. Es liegt am oberen Ende der Produktivität, wie sie in Mischbeständen erwartet werden kann (PRETZSCH, 2003, vgl. auch Teil III). Gelingt es auch die Mischbaumart in Zieldimensionen zu bringen, dann kann die hier beobachtete Massenleistung auch in eine hohe Wertleistung umgesetzt werden.

Die Auswahl an Baumarten zur Beimischung in Kiefernbestände ist groß. Besonders geeignet haben sich Mischungen mit Buche und Fichte gezeigt (RÖHRIG und GUSSONE, 1992). Wegen der meist eingeschränkten Wasserversorgung kann eine Fichtenbeimischung sich auch negativ auswirken, indem sie die durch Erhöhung der Interzeptionsverluste und eine flache Durchwurzelung die Wasserknappheit für die Kiefer verschärft (RÖHRIG und GUSSONE, 1992). Wird das Klima in Zukunft wärmer und trockener, so leidet zuerst die Mischbaumart Fichte darunter und wird mit hoher Wahrscheinlichkeit wieder aus den Beständen herausfallen (PRETZSCH und UTSCHIG, 2000; vgl. Teil I).

Auf zahlreichen Versuchsflächen zur Kiefer bestätigt sich, dass nach der Dickungsphase die Kiefer einen so lichten Bestandesschluss aufweist, dass in diesen Beständen eine Fichten-Naturverjüngung aufkommen kann (GAYER, 1898; BURSCHEL et al., 1994a). Diese ist aus den oben genannten Gründen durchaus als problematisch zu betrachten. Waldbauverfahren, die gewährleisten, dass die Kiefer als Mischungselement erhalten wird und die eine Einbringung von weiteren Mischbaumarten (wie z.B. der Buche) ermöglichen, sind aus Gründen der Resilienz gegenüber Störungen (vgl. Teil III) wichtige Elemente zur Risikominimierung. Im Zuge der Behandlung von Kiefern-Mischbeständen ist es von großer Bedeutung, eine auf den Standort abgestimmte Mischbaumartenpflege durchzuführen.

Die Beimischung von Buche verbessert häufig das Bestandesklima und den Bodenzustand. Je nach Wuchskraft des Bodens wird die Buche früher oder später die Kiefer einholen und sie bedrängen (GAYER, 1898). Durch geeigneten Wuchsvorsprung der Kiefer kann dies bis zur Zielstärkennutzung der ersten Kiefern hinausgezögert werden (GUERICKE, 1999). Die Wuchreihe Geisenfeld 832 (vgl. Teil III) zeigt, dass die Buche auf einigen Parzellen eine mit Buchen-Reinbeständen vergleichbare Durchmesserentwicklung haben kann. Gleichzeitig steigt

dadurch die Konkurrenzkraft der Buche gegenüber der Kiefer. Dies unterstreicht die Bedeutung eines ausreichenden Wuchsvorsprungs der Kiefer (vgl. Teil III).

Beim zeitlichen Ablauf der Verjüngung ist der Wuchsrhythmus der Baumarten zu berücksichtigen. Sonst überwächst die in der Regel konkurrenzstärkere Mischbaumart sehr rasch die Kiefer (GUERICKE, 1999). Eine räumliche Trennung der Baumarten ist zu empfehlen, wenn gleichzeitig beide Baumarten in der herrschenden Schicht beteiligt sein sollen. Je inniger die Mischung, umso mehr wird bei den untersuchten Kiefern-Mischbeständen die Produktivität gesteigert (PRETZSCH, 2003). Gleichzeitig erhöhen sich aber auch die Schwierigkeiten bei der Bestandespflege.

Im Vergleich zum Kiefernreinbestand steigen die Zuwachsleistungen im Mischbestand durch die Beimischung der produktiveren Buche deutlich an (PRETZSCH, 2003), auf einem gegebenen Standort wird im Mischbestand mehr produziert und die Gefahr durch Schädlingsbefall wird verringert. Besonders hervorzuheben ist, dass beim Ausfall einzelner Kiefern sofort die Buche den frei werdenden Platz einnehmen kann. Mehrleistung durch Mischung (PRETZSCH, 2003) deutet sich in den Mischbestandsuntersuchungen (vgl. Teil III) an, positive Wechselwirkungen sind in Kiefern-Buchen-Mischbeständen messbar (DITTMAR et al., 1986). Für Aussagen über die Produktivitätsverhältnisse innerhalb einer Umtriebszeit sind jedoch noch weitere Untersuchungen notwendig.

Bei Nachanbau der Buche unter Kiefer zur Begründung eines ungleichaltrigen Kiefern-Buchen-Mischbestandes vermindern stärkere Eingriffe in den Kiefern-Oberstand dessen flächenbezogene Volumenleistung, ohne voll entsprechende Mehrleistungen des Buchen-Unterstandes auszulösen. Dafür wird die Durchmesserentwicklung durch Lichtungszuwachs deutlich gefördert (GUERICKE, 1999). Eingemischte Fichte erhöht langfristig den stehenden Vorrat in den Beständen und führt zu einer Wertanreicherung, solange nicht wertvolle Kiefernstämme durch die Konkurrenz mit der Fichte in Mitleidenschaft gezogen werden (GAYER, 1898; vgl. Teil III).

Der Kiefernüberhaltbetrieb hat bei der Kiefer eine lange Tradition (GAYER, 1898). Er zeichnet sich durch eine hohe Wertschöpfung (KNOKE und PETER, 2002) und biologische Automation in der Verjüngung aus (HEINSDORF, 1994). Die Untersuchungen in Teil I und III haben gezeigt, dass auch Kiefernaltbestände derzeit hohe Zuwächse leisten. Versuchsflächen zum Wachstum der Kiefer im Nürnberger Reichswald bestätigen diese Aussage (PREUHSLENER et al., 1994).

3 Literatur

- ABETZ, P., 1972: Zur waldbaulichen Behandlung der Kiefer in der nordbadischen Rheinebene. AFJZ Jg. 29, S. 591-594
- ABETZ, P., 1988: Erwiderung zu SCHOBER: Durchforstung nach Zahlen? AFJZ, Jg. 159, S. 1-3
- ASSMANN, E., 1961: Waldertragskunde. Organische Produktion, Struktur, Zuwachs und Ertrag von Waldbeständen. BLV Verlagsgesellschaft München, Bonn, Wien, 490 S.
- BAYSTMELF, 1995: Pflegegrundsätze für die Kiefer. LMS v. 06.02.1995, F 4- W 100-92, 17 S.
- BUES, C.T., 1994: Untersuchung der Holzqualität von Kiefern aus waldbaulich unterschiedlich behandelten Beständen Bayerns. LWF-aktuell, H. 1, 4 S.
- BURSCHEL, P., HUSS, J., 1987: Grundriß des Waldbaus. Parey Verlag Berlin, 352 S.
- BURSCHEL, P. B., J. KLUMPERS, F. BINDER (1989). Durchforstung und Ästung in einem Kiefernbestand. Allgemeine Forstzeitung, Jg. 44, S. 415-419
- BURSCHEL, P., BOEDICKER, C. und AMMER, C., 1994a: Kiefernbewirtschaftung, Teil I: Methodik, Standort und waldbaulich-ertragskundliche Ergebnisse. Der Wald, Jg. 44, S. 82-85
- BURSCHEL, P., BOEDICKER, C. und AMMER, C., 1994b: Kiefernbewirtschaftung, Teil II: Betriebswirtschaftliche Betrachtungen und Diskussion. Der Wald, Jg. 44, S. 116-119
- DEGENHARDT, A., 2000: Der Einfluß der Durchforstung auf die Struktur von Kieferbeständen. AFZ/Der Wald, 55. Jg, S. 734-736
- DITTMAR, O., FLÖHR, W., LOCKOW, K.-W., 1991: Kiefernwirtschaft in Ost und West. Forst und Holz, Jg. 46, S. 323-326
- DITTMAR, O., KNAPP, E. und ZEHLER, H., 1986: Die langfristige Versuchsfläche Tornau im StFB Dübener Heide, ein Beispiel für den Weg vom Kiefernreinbestand zum Buchennaturverjüngungsbetrieb, Sozialistische Forstwirtschaft, Jg. 36, S. 344-348
- FLÖR, W., LOCKOW, K.-W. und DITTMAR, O., 1991: Kiefernwirtschaft im nordostdeutschen Tiefland. Der Wald, Jg. 41, S. 112-115
- FRANZ, F., 1983: Zur Behandlung und Wuchsleistung der Kiefer. Forstwissenschaftliches Centralblatt, 102. Jg., S. 18-36
- GAYER, K., 1898: Waldbau. Verlag Parey, Berlin, IV. Auflage, 626 S.
- GUERICKE, M., 1999: Untersuchungen zur Wuchsdynamik in ungleichaltrigen Kiefern-Buchen-Mischbeständen. Forst und Holz, Jg. 54, S. 341-347
- HEINSDORF, M., 1994: Hinweise zur Kiefernverjüngung. Der Wald, Jg. 44, S. 336-339

- HUSS, J., 1983: Durchforstung in Kiefernjugbeständen. Forstwissenschaftliches Centralblatt, 102, S. 1-17
- HUSS, J., 1998: Auswirkung unterschiedlicher Ausgangspflanzdichten und frühzeitiger Pflegeeingriffe bei jungen Kiefern. Forst und Holz, Jg. 54, S. 335-341
- HUSS, J., 1998: Auswirkung unterschiedlicher Ausgangspflanzdichten und frühzeitiger Pflegeeingriffe bei jungen Kiefern. Forst und Holz, Jg. 54, S. 335-341
- JÜTTNER, O., 1955: Eichenertragstabeln. In: SCHOBER, R., (Hrsg.) 1971: Ertragstabeln der wichtigsten Baumarten. J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a. Main, S. 12-25 und S. 134-138
- KLÄDTKE, J., 1990: Umsetzungsprozesse unter besonderer Berücksichtigung Z-Baumbezogener Auslesedurchfrostung. AFJZ, Jg. 161, S. 29-26
- KNOKE, TH. und PETER, R., 2002: Zum optimalen Zieldurchmesser bei fluktuierendem Holzpreis – eine Studie am Beispiel von Kiefern-Überhältern. AFJZ, Jg. 173, S. 21-28
- KROTH, W., 1983: Ökonomische Aspekte der Kiefernwirtschaft. Forstwissenschaftliches Centralblatt, 102. Jg., S. 36-50
- KÜSTERS, E. und UTSCHIG, H., 1998: Kiefern-Standraumversuch Bodenwöhr 610. Exkursionsführer 85/2, 26 S.
- LOCKOW, K.-W., 1992: Kieferntypen und Bestandesbehandlung. Der Wald, Jg. 42, S. 170-173
- OTTO, H.J., 2002a: Wachstum und Strukturbildung in europäischen Kiefernwäldern, Teil I: Ökologische Rahmenbedingungen und natürliche Dynamik junger Kiefernwälder. Forst und Holz, Jg. 57, S. 507-511
- OTTO, H.J., 2002b: Wachstum und Strukturbildung in europäischen Kiefernwäldern, Teil II: Natürliche Walddynamik alter Kiefernbestände und waldbauliche Folgerungen. Forst und Holz, Jg. 57, S. 550-555
- PAUSCH, R., 1991: Wachstumsgang und Ertragsleistung der Kiefer bei unterschiedlichem Verband auf der Versuchsfläche Weiden 611. Diplomarbeit MWW-DA 75, 111 S.
- PRETZSCH, H. und UTSCHIG, H., 2000: Wachstumstrends der Fichte in Bayern. Mitteilungen aus der Bayerischen Staatsforstverwaltung, Heft 49, 170 S.
- PRETZSCH, H., 1999: Waldwachstum im Wandel. Forstw. Cbl., 118. Jg., S. 228-250
- PRETZSCH, H., 2002: Grundlagen der Waldwachstumsforschung, Blackwell, Berlin, Wien, Oxford, 414 S.
- PRETZSCH, H., 2003: Diversität und Produktivität von Wäldern. AFJZ Jg. 174, S. 88-98
- PRETZSCH, H., 2004a: Der Zeitfaktor in der Waldwachstumsforschung. LWF-Wissen, in Druck

- PRETZSCH, H., 2004b: Gesetzmäßigkeit zwischen Bestandesdichte und Zuwachs. Lösungsansatz am Beispiel von Reinbeständen aus Fichte (*Picea abies* [L.] Karst.) und Buche (*Fagus sylvatica* L.), Allg. Forst- u. J.-Ztg., 174, in Druck
- PRETZSCH, H., UTSCHIG, H., BACHMANN, M., 2002: Innovation durch Kontinuität -das ertragskundliche Versuchswesen in Bayern. In: BLEYMÜLLER, H., GUNDERMANN, E., BECK, R., 2002: 250 Jahre Bayerische Staatsforstverwaltung. –Rückblicke, Einblicke, Ausblicke-. Mitteilungen aus der Bayerischen Staatsforstverwaltung, H. 51, Band 2, S. 425-443
- PREUHLER, T., KÜHNEL, S., BOCK, K., 1994: Zum Wachstum von Eichensaat unter Kieferschirm im Forstamt Nürnberg. Forst und Holz, Jg. 49, S. 123-128
- RÖHRIG, E. und GUSSONE, H.A., 1992: Dengler Waldbau Band 2, 6. Auflage: Baumartenwahl, Bestandesbegründung und Bestandespflege. Parey Verlag Hamburg und Berlin, 350 S.
- SCHOBER, R., 1967: Buchen-Ertragstafel für mäßige und starke Durchforstung, In : Die Rotbuche 1971, J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a. Main, 1972, Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt, 43/44, 333 S.
- SCHOBER, R., 1987: Durchforstung nach Zahlen? AFJZ, Jg. 158, S. 174-183
- SCHOBER, R., 1988: Von Zukunfts- und Elitebäumen. AFJZ, Jg. 159, S. 239-249
- UTSCHIG, H. und PAUSCH, R., 1992: Der Kiefernverbandsversuch Weiden 611. Abschätzung der Aststärkenentwicklung in Abhängigkeit von BHD und Standraum. Jahrestagung der Sektion Ertragskunde in Grillenburg, S. 162-181
- UTSCHIG, H., 2000: Kiefern-Verbandsversuch Weiden 611. Exkursionsführer MWW-EF 81/2, 25 S.
- WALDHERR, M., 1994: die Pflege der Kiefernbestände in der Oberpfalz. Forst und Holz, 51. Jg., S. 462-466
- WIEDEMANN, E., 1943: Kiefern-Ertragstafel für mäßige Durchforstung, starke Durchforstung und Lichtung. In: WIEDEMANN, E., 1948: Die Kiefer 1948, Verlag M. & H. Schaper, Hannover, 337 S.
- WIEDEMANN, E., 1948: Die Kiefer. Verlag M. und H. Schaper, Hannover, 337 S.
- WIEDEMANN, E., 1936/42: Die Fichte 1936. Verlag M. & H. Schaper, Hannover, 248 S.; Untersuchungen der Preußischen Versuchsanstalt über Ertragstafelfragen. Sonderdruck aus Mitteilungen aus Forstwirtschaft und Forstwissenschaft, 10 Jg., 40 S.
- ZEIDE, B. und PRETZSCH, H., 2004: The optimum of current stand density: Evidence from the Bavarian permanent plots, Forest Science, sub.