

Die Fichten-Buchen-Mischbestände des Sonderforschungsbereiches „Wachstum oder Parasitenabwehr?“ im Kranzberger Forst

The mixed spruce-beech forest stands of the “Sonderforschungsbereich”
“Growth or Parasite Defence?” in the forest district Kranzberger Forst

H. PRETZSCH, M. KAHN und R. GROTE

Zusammenfassung

Der DFG-Sonderforschungsbereich „Wachstum oder Parasitenabwehr?“ soll klären, nach welchen Gesetzmäßigkeiten Pflanzen ihre Ressourcen einsetzen und wie die Regulation zwischen Expansion und Vorsorge durch Umwelteinflüsse modifiziert wird. Im Mittelpunkt der Betrachtung steht die forst- und landwirtschaftliche Einzelpflanze. Ein Verständnis ihres Systemverhaltens wird aber erst möglich, wenn auch über- und untergeordnete Organisationsebenen, die von der Zelle bis zum Bestand reichen, in die Betrachtung einbezogen werden. Da dies letztendlich nur im Freiland möglich ist, nimmt die Untersuchung verschieden alter Fichten/Buchen-Mischbestände im Kranzberger Forst innerhalb des Sonderforschungsbereiches eine zentrale Stellung ein. Die Mischung aus Fichte und Buche ist aufgrund ihrer wirtschaftlichen Bedeutung und ihrer Gefährdung durch biotische und abiotische Stressoren als forstliches System gewählt worden. Auf der zentralen Versuchsfläche soll die Reaktion dieses Systems auf künstlich veränderte Umweltbedingungen betrachtet werden, was u. a. eine gründliche Dokumentation des Ausgangszustandes voraussetzt. Der Versuchsbestand und Überlegungen zur Modellierung seiner Entwicklung werden in dem vorliegenden Artikel vorgestellt. Die ausgeführte Strukturanalyse identifiziert den Versuchsbestand als Prototypen eines gruppen- bis horstweise gemischten Bestandes, in dem die Fichte in den gut mit Strahlung versorgten Bestandesschichten zahlenmäßig dominiert, die um etwa zehn Jahre ältere Buche aber etwa gleichwüchsig mit der Fichte ist. Die Zuwachsanalysen belegen die sehr gute Wüchsigkeit des Bestandes und für die Fichte einen langfristigen Zuwachsanstieg seit Beginn des Jahrhunderts. Abschließend werden der Untersuchungsansatz aus systemanalytischer Sicht diskutiert und die forstwirtschaftliche Relevanz der zentralen Frage des Sonderforschungsbereiches durch retrospektive Zuwachsanalysen und prospektive Modellkalkulationen belegt.

Schlüsselwörter: Fichten/Buchen-Mischbestand, Systemanalyse, Raumbesetzung, Bestandesmodellierung, Mehr-Ebenen-Ansatz

Summary

The objective of the DFG-research program “Growth or Parasite Defence?” is to analyse how plants systematically allocate their resources and how the regulating mechanism in favour of expansion or precaution is modified by environmental impacts. Here expansion stands for spatial occupation strategies of plants, precaution stands for the plants’ capability to defend themselves against parasite attacks. While the research focuses on forest and agricultural plants, a global understanding of the system will only be possible if organizational levels from cells up to stand level are considered. Because this can only be analysed in open air experiments, the research in mixed spruce-beech stands of different ages in the forest district Kranzberger Forst has a key position within the DFG-research program. The spruce-beech mixture was chosen because of its economic importance in practical forestry, but also because these forest systems are endangered by the impact of biotic and abiotic stress factors.

On one key experimental plot the reaction of the forest system will be analysed under the impact of artificially modified environmental conditions. Before beginning these experiments it is necessary to comprehensively document the starting conditions. In this paper these starting conditions are presented, with special focus on aspects of growth and yield and together with some basic considerations on system modeling. The conducted structural analysis identifies the experimental plot as a prototype of a spruce-beech stand with group mixture, where the competitive beech is about ten years older than the 44 year old spruce. Trend analysis of growth dynamics reveals a long term increase in diameter increment since the beginning of this century. Finally the research approach is discussed from a system theoretical point of view, and the practical relevance of the main scientific questions of the DFG-re-



Abb. 1. Foto des Kranzberger Forstes Parzelle 1 mit Gerüst, Foto von Ch. Hendrich
 Figure 1. Picture of the forest at plot 1 in the Kranzberger Forst with installation, picture by Ch. Hendrich

chen (KAUPPI et al. 1992; KENK et al., 1991; MYNENI et al., 1997; PRETZSCH 1996a). Als Ursachen dafür sind sowohl lokale Einflußgrößen, wie Stickstoffdeposition, Luftschadstoffe oder Management als auch globale Veränderungen von Temperatur oder CO₂-Konzentration der Luft in der Diskussion, die je nach Intensität und dem Zusammenspiel mit anderen Standortfaktoren positive oder negative Auswirkungen auf die Kohlenstoffbilanz und das Wachstum von Einzelpflanzen und Pflanzengemeinschaften haben können. Aufgrund der Komplexität der zugrundeliegenden Ursache-Wirkungs-Ketten konzentrierten sich die wissenschaftlichen Untersuchungen bislang auf den Zusammenhang zwischen den genannten Einflußfaktoren und der Nettoprimärproduktion. Die Frage, ob und wie die Veränderung der Standorts- und Produktionsbedingungen auch die pflanzeninterne Verteilung des assimilierten Kohlenstoffs beeinflusst und inwiefern veränderte Verteilungsstrategien das Konkurrenzverhältnis zwischen verschiedenen Pflanzenarten verschieben können, wurde dagegen relativ wenig untersucht.

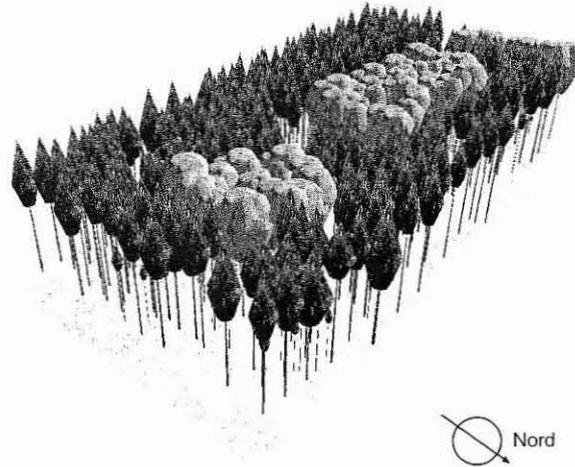


Abb. 2. Dreidimensionale Ansicht der Fichten/Buchen-Versuchsfläche 813/1 mit Hilfe des Simulationsmodells SILVA 2.2, Darstellung von St. SEIFERT
 Figure 2. Three-dimensional view of the mixed forest at plot 1 with the simulation model SILVA 2.2, by St. SEIFERT

search program is demonstrated by retrospective increment analyses and prospective model calculations.

Keywords: spruce-beech-stand, system analysis, occupation of space, stand modeling, multilevel-approach

1 Ziele des Sonderforschungsbereiches – Beitrag der Versuchsflächen im Kranzberger Forst

Viele Wachstumsuntersuchungen der jüngeren Vergangenheit liefern Indizien für grundlegende Veränderungen des Wachstums von Bäumen und Wäldern gegenüber den Beobachtungen zurückliegender Epochen

Der Sonderforschungsbereich 607 zum Thema „Wachstum oder Parasitenabwehr?“ soll die Gesetzmäßigkeiten der Ressourcenverteilung in forst- und landwirtschaftlichen Nutzpflanzen aufdecken und dabei insbesondere klären, wie die Regulation der Ressourcenverteilung zwischen Expansion und Vorsorge durch anthropogen bedingte Umweltveränderungen modifiziert wird (MATYSSEK und ELSTNER 1997). Im Mittelpunkt der Betrachtung steht die forstliche und landwirtschaftliche Einzelpflanze. Es müssen aber Organisations Ebenen von der Zelle bis zum Bestand einbezogen werden, um ein möglichst skalen-

übergreifendes Verständnis vom Systemverhalten zu gewinnen. Die Reaktion des Individuums wird durch ein Wechselspiel schnell ablaufender physiologischer und physikalischer Prozesse bestimmt, ist andererseits aber durch die sich nur langsam verändernden Randbedingungen in ihren Reaktionsmöglichkeiten begrenzt (ULRICH 1993). Daher wird versucht, die Reaktion der Einzelpflanze aus den Veränderungen, die sich in den Prozessen auf Organebene abspielen, zu erklären. Der Übergang von der Individuenebene zur Pflanzengemeinschaft wird durch die Veränderungen von Höhe, Durchmesser, Kronen- und Wurzel dimension sowie der Mortalitätswahrscheinlichkeit von Individuen einer Gemeinschaft beschrieben. Umgekehrt muß sichergestellt sein, daß sich die veränderten Dimensionen auf das Mikroklima der Organebene auswirken. Sowohl die Prozesse innerhalb der verschiedenen Skalenbereiche als auch die Übergänge zwischen ihnen sollen durch ein Modell beschrieben werden, auf dessen Grundlage später szenarienbasierte Abschätzungen zukünftiger Entwicklungen möglich sind.

Ausschlaggebend für die Wahl der Baumartenkombination war die praktische Relevanz von Fichte und Buche in Rein- und Mischbeständen. Nach den Ergebnissen der ersten Bundeswaldinventur (Stichtag 1. 10. 1987) haben Fichte und Buche einen Anteil von 37,5 bzw. 16,6% an der Waldfläche in Deutschland. Fichte und Buche machen damit zusammen über 50% der Waldfläche aus und kommen dabei zu 31,4 bzw. 59,5% in Mischung (Beimischung <10%) vor. Mit einem Flächenanteil von mehr als 10% bildet die Vergesellschaftung von Fichte und Buche schon heute die wichtigste Mischungsform, der Trend zu naturnäheren und ökologisch stabileren Waldaufbauformen dürfte diesen Anteil künftig weiter erhöhen. Die mit dem Vorhaben angestrebten Basisinformationen über das Konkurrenzverhältnis zwischen Fichte und Buche und dessen Veränderung bei einem Wandel der Umweltbedingungen sind bestimmend für die Begründung und Pflege solcher Mischbestände. Alle Parzellen der Versuchsanlage umfassen neben Partien mit reiner Fichte und reiner Buche auch Zonen mit gruppen- und einzelbaumweiser Mischung, so daß sowohl die Reinkulturen als auch die für die Praxis wichtigsten Mischungsstrukturen abgedeckt sind. Auf der Versuchsparzelle Freising 813/1 sollen Waldwachstum und Parasitenabwehrverhalten bei veränderter Ozon- und CO₂-Konzentration und bei unterschiedlichen Freistellungsgraden betrachtet werden, was u. a. eine gründliche Dokumentation des Ausgangszustandes voraussetzt. Diese wird, zusammen mit Überlegungen zur Modellierung der betrachteten Waldökosysteme, in dem vorliegenden Artikel vorgestellt.

2 Lage, Standort, Störfaktoren

Lage

Der Versuchsbestand Kranzberger Forst ist Teil einer Wuchsreihe aus Fichten/Buchen-Mischbeständen im Bayerischen Forstamt Freising, deren sechs Parzellen einen Altersrahmen von 35 bis 120 Jahren abdecken. Sämtliche Parzellen befinden sich im Wuchsbezirk „Oberbayerisches Tertiärhügelland 12.8“. Die Parzelle 1 „Kranzberger Forst“ liegt auf 490 m über NN, sie ist bei einer Hangneigung von 1,8° nur schwach nach Norden exponiert. Die Flächengröße beträgt bei einer Ausdehnung von ca. 50 m × 100 m in der Horizontalprojektion 5017 m². Der heutige Fichtenbestand ist mit Stichtag vom 1. Januar 1998 47 Jahre alt, die beiden Buchengruppen (Abb. 1 und 2) sind zwischen 7 und 15 Jahre älter. Bei dem Vorbestand handelte es sich um einen Fichtenbestand, der in der ersten Hälfte des letzten Jahrhunderts begründet worden war. Ein Kriterium für die Lokalisation des Versuchsbestandes Kranzberger Forst (Freising 813/1) war auch die Nähe zur Forstwissenschaftlichen Fakultät in Freising (ca. 6 km Fahrweg) und die Erreichbarkeit einer Stromquelle in der ca. 250 m entfernten Ortschaft Oberthalhausen.

Standort

Der Standortauswahl lag die Überlegung zugrunde, eine flächenmäßig bedeutsame Standorteinheit zu finden, auf der Fichten/Buchen-Mischbestände vorherrschen und beide Baum-

arten etwa gleichwüchsig sind. Denn gerade unter solchen Wuchsbedingungen sind bei Einwirkung von Störfaktoren folgenreiche Konkurrenzverschiebungen zwischen den vergesellschafteten Baumarten zu erwarten. Im Rahmen einer Standortkartierung des Versuchsareals wurden vom Lehrstuhl für Bodenkunde und Standortslehre 4 Bodenprofile angelegt sowie in einem Raster von 10 m × 10 m Bohrstockproben genommen. Dabei konnten 2 Standorteinheiten identifiziert werden, die einerseits im mäßig wechselfeuchten Lehm bodensystematisch als Pseudogley-Parabraunerden aus Löß über Molasse (Standorteinheit 51), andererseits im wechselfeuchten Lehm als podsolierte Pseudogleye aus Löß (Standorteinheit 52) zu klassifizieren sind (SCHAD und HIRSCH 1998). Auf den Pseudogleyen der Standorteinheit 52 liegt die wasserstauende Schicht in einer Bodentiefe größer 30 cm. Die Ausprägung der Hydromorphiemerkmale variiert sehr kleinräumig.

Die Lößauflage ist kleinräumig wechselnd und beträgt 70–80 cm, z. T. deutlich mehr als 1 m. Unter Fichte findet sich mullartiger Moder bis Moder, unter Buche Mull bis mullartiger Moder. Bodenanalysen ergaben pH-Werte (CaCl_2) zwischen 3 und 4, im Unterboden über 4,0. In der organischen Auflage sinkt der pH-Wert auch unter 3,0. Als potentielle natürliche Waldgesellschaft gilt der Waldmeister-(Tannen)-Buchenwald (*Galio-odorati-Fagetum*) bzw. der Stieleichen-Buchenwald mit Tannenbeimischung. Die klimatischen Daten im Wuchsbezirk 12.8 sind durch Jahresmitteltemperaturen zwischen 7 und 7,5 °C geprägt, die Jahresniederschläge summieren sich auf 730 bis 890 mm (ARBEITSKREIS STANDORTSKARTIERUNG 1985). In der Vegetationszeit liegen die entsprechenden Werte bei einem Temperaturmittel von 14,5–15 °C und einer Niederschlagssumme von 410–520 mm. Die Länge der Vegetationszeit (Anzahl der Tage mit Mitteltemperaturen ≥ 10 °C) beträgt 150–155 Tage, die Jahrestemperaturamplitude 19–19,5 °C. Die auf der etwa 1000 m entfernt und höhengleich gelegenen Bayerischen Waldklimastation Freising erhobene Mitteltemperatur in der Vegetationszeit lag 1996 mit 13,8 °C um ca. 1 °C unter dem langjährigen Mittelwert des Wuchsbezirkes, die Niederschläge zeigten diesbezüglich keine Abweichung.

Störfaktoren

Nach Messungen auf der Bayerischen Waldklimastation Freising waren im Jahr 1996 Stoffeinträge von 767 mm H_2O (Niederschlagssumme), aber auch 5,4 kg $\text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ $\text{NH}_4\text{-N}$, 4,4 kg $\text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ $\text{NO}_3\text{-N}$ (insgesamt also 9,8 kg $\text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ Stickstoff) und 6,3 kg $\text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ $\text{SO}_4\text{-S}$ zu verzeichnen (BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR WALD UND FORSTWIRTSCHAFT 1996). Die Eintragsituation am Standort Kranzberg kann im Vergleich mit anderen Waldklimastationen in Buchenbeständen Bayerns als durchschnittlich angesehen werden, was nicht nur für den Stickstoff, sondern auch für $\text{SO}_4\text{-S}$ gilt (RODENKIRCHEN und GÖTTLEIN 1998).

Seit Beginn der 1990er Jahre ist an den Fichten der Versuchsfläche Kranzberger Forst sowie in der Umgebung Befall durch die Kleine Fichtenblattwespe zu verzeichnen, der das Höhenwachstum durch teilweises Zurücksterben der Kronen z. T. sichtbar beeinträchtigt.

Zusammenfassende Beurteilung

Eine zusammenfassende Beurteilung der standörtlichen Bedingungen und Störfaktoren auf der Versuchspartizelle im Kranzberger Forst für das Wachstum von Fichte und Buche führt nach RODENKIRCHEN und GÖTTLEIN (1998) zu folgendem Ergebnis: Die Standorteinheiten 51 und 52 sind mit 20% bzw. 8% der Gesamtwaldfläche insgesamt von großer flächenmäßiger Bedeutung im Bereich des Forstamtes Freising. Sie gehören aufgrund ihres Bodenwasserhaushaltes und der damit verbundenen eingeschränkten Tiefen-Durchwurzelbarkeit zu den Problemstandorten. Schon auf kleineren Verebnungen und auf Hangrücken besteht hier deutliche Sturmwurfgefahr. Auf den nicht podsolierten Bestandepartien empfehlen sich Hainbuche und Linde als natürliche Mischbaumarten zum Stieleichen-Buchenwald mit Tanne.

Tab. 1. Waldwachstumskundliche Befunddaten aus dem Jahr 1994 der Parzellen 1 bis 6 der Wuchsreihe Freising 813.

N = Stammzahl in Stück/ha; ho = Oberhöhe in m, Grundflächenmittelhöhe der 100 dicksten Bäume je ha; do = Durchmesser in cm, des Grundflächenmittelstammes der 100 dicksten Bäume je ha; hg = Höhe des Grundflächenmittelstammes in m; dg = Durchmesser des Grundflächenmittelstammes in cm; G = Grundfläche in m²/ha; V = Vorrat in VfmD/ha; iV = Derbholzvolumenzuwachs in VfmD/ha/Jahr; AP = Indikator für das vertikale Artenprofil; C&E = Clark & Evans-Index; Pielou = Pielou-Index; Pz = Parzelle

Table 1. Forest growth and yield data from the year 1994 of the plots 1 to 6 belonging to the growth-series Freising 813.

N = stem number in trees/ha; ho = top height in m, mean height of the 100 thickest trees per ha; do = top diameter at breast height in m, mean diameter of the 100 thickest trees per ha, weighted by tree basal area; hg = mean height in m; dg = mean diameter at breast height in cm; G = basal area in m²/ha; V = merchantable timber volume in m³/ha; iV = increment of V per year; AP = vertical species diversity index; C&E = Clark & Evans index; Pielou = Pielou index; Pz = plot number

Pz	Alter	Baumart	N	ho	do	ho/do	hg	dg	hg/dg	G	V	iV	AP	C&E	Pielou
6	37	Fichte	847	18,5	26,8	69	15,7	16,6	94	18,4	141	11,8	0,78	0,81	0,36
6	45	Buche	920	16,9	22,2	76	13,8	12,2	113	10,7	69	6,2	0,76	0,71	0,39
6	37	Erle	112	16,7	21,2	78	13,9	12,4	112	1,4	8		0,18	0,36	0,23
6		Gesamt	1879							30,5	218	18,0	1,77	0,90	0,36
5	42	Fichte	1211	20,1	30,0	67	17,9	17,5	102	29,0	254	17,0	0,91	0,99	0,29
5	42	Lärche	3				21,3	45,6	46	0,4	4				
5	54	Buche	218	19,6	30,4	64	18,6	18,9	98	6,1	55	2,3	0,35	0,40	0,93
5	54	Eiche	5				19,3	25,9	74	0,3	3				
5	42	Erle	233	19,3	25,8	74	18,3	16,6	110	5,1	39	2,0	0,36	0,82	-0,07
5		Gesamt	1670							40,8	354	21,2	1,65	1,08	0,35
1	44	Fichte	540	27,2	37,8	71	24,1	25,0	96	26,6	319	17,5	0,16	0,98	0,85
1	44	Kiefer	16	26,7	35,0	76	24,8	27,2	91	0,9	10				
1	44	Lärche	2				23,4	22,9	102	0,1	1				
1	51	Buche	336	24,1	34,2	70	22,9	20,9	109	11,6	133	4,5	0,19	0,51	0,93
1	51	Eiche	12	23,4	25,3	92	22,9	21,1	108	0,4	5				
1	51	Ahorn	2				21,7	14,8	146						
1	51	Aspe	2				23,6	27,7	85	0,1	1				
1		Gesamt	910							39,7	469	22,0	0,43	1,08	0,83
2	77	Fichte	558	31,5	44,2	71	29,8	33,1	90	48,0	685	16,1	0,10	1,02	0,95
2	77	Tanne	4				30,7	38,4	79	0,5	7				
2	97	Buche	60	32,8	67,5	48	31,5	46,0	68	10,0	167	3,3	0,23	0,50	0,95
2	97	Eiche	3				31,0	40,1	77	0,4	6				
2		Gesamt	625							58,9	866	19,4	0,39	1,12	0,94
4	88	Fichte	389	34,8	50,6	68	31,8	35,8	88	39,2	591	12,1	0,35	0,93	0,52
4	103	Tanne	22	34,8	50,9	68	32,8	39,9	82	2,8	45		0,13	0,45	0,25
4	103	Lärche	4				32,1	37,0	86	0,5	7		0,04	0,11	-0,01
4	103	Buche	149	32,7	49,5	66	26,7	29,8	89	10,4	156	3,2	0,57	0,72	0,35
4		Gesamt	564							52,8	798	15,4	1,11	1,08	0,41
3	95	Fichte	159	35,9	49,5	72	34,7	38,8	89	18,9	304	3,6	0,37	0,63	0,74
3	120	Lärche	9	35,5	45,9	77	35,2	42,6	82	1,3	19		0,10	0,19	-0,02
3	120	Buche	130	40,3	61,8	65	36,8	48,0	76	23,4	471	6,8	0,45	0,86	0,82
3		Gesamt	298							43,5	794	10,4	0,92	1,02	0,75

Die ökologisch ungünstige flache Bodenerschließung durch Fichte auf den beiden Standorteinheiten spiegelt sich auch in den bodenchemischen Daten wider. Der Anteil der Alkali- und Erdalkalitionen an den austauschbar gebundenen Kationen beträgt bei Buche im Ah-Horizont 24–36%, bei Fichte nur 5–10%. Die Buche schafft durch ihr auch auf diesen Standorten im Vergleich zu Fichte tiefergehendes Wurzelwerk und ihre günstige Streu gute Oberbodenverhältnisse. Die Fichte hingegen beschränkt ihr Wurzelwerk auf die obersten Bodenhorizonte und verschärft die dadurch bedingte Nährstoffknappheit noch durch ihre ökologisch ungünstigere Streu. Dieser Unterschied zwischen den beiden Baumarten wird auch durch die Blatt- und Nadelspiegelwerte auf der Versuchsfläche bestätigt.

3 Methoden der ertragskundlichen Aufnahmen

Der Versuchsbestand „Kranzberger Forst“ gehört zum Netz ertragskundlicher Versuchsflächen, das der Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Ludwig-Maximilians-Universität München langfristig unter Beobachtung hält. Die waldwachstumskundliche Erstaufnahme des Versuchsbestandes „Kranzberger Forst“ erfolgte im Herbst 1994, so daß bei Laufzeitbeginn des Sonderforschungsbereiches im Herbst 1998 bereits auf eine vierjährige Meßperiode aufgebaut werden kann. Die folgende Methodenbeschreibung beschränkt sich auf das bei der Erstaufnahme ausgeführte Meßprogramm der Waldwachstumskunde. Die Methoden der Feinmessungen des Ast- und Durchmesserwachstums, der Biomasseerhebungen und der Strahlungsmessung, die seit 1994 von einem den Bestand durchziehenden Gerüst aus in verschiedenen Kronenschichten angewandt wurden und mit dem Meßprogramm der am Sonderforschungsbereich beteiligten Partnergruppen korrespondieren, werden hier nicht näher erläutert.

Sämtliche Bäume der Versuchsparzelle wurden mit Farbe dauerhaft nummeriert und an der Meßstelle in 1,3 m Baumhöhe mit einem Farbstrich markiert. An allen Bäumen wurde eine Umfangmessung in 1,3 m Baumhöhe ebenso durchgeführt wie eine Baumklassenansprache nach KRAFT, die sich auf die soziale Stellung eines Baumes sowie seine Kronenausprägung bezieht. An 40 Buchen und 40 Fichten wurden Baumhöhen und Kronenansatzhöhen gemessen. Zur präzisen Erfassung der räumlichen Bestandesstruktur wurden zu sämtlichen Bäumen mit einem Theodoliten xyz-Koordinaten erfaßt. In einem etwa 10 m breiten Randstreifen innerhalb der Parzelle erfolgte an allen Bäumen eine Zuwachsbohrung mit Entnahme von Bohrkernen. Für alle nicht gebohrten Bäume wurden die Kronen nach einer tangentialen Hochblickmethode in 8 Himmelsrichtungen abgelotet. Die Rekonstruktion der Höhenentwicklung für die retrospektive Zuwachsbestimmung stützt sich auf die Wachstumsdynamik der anderen beobachteten Bestände im Kranzberger Forst (vgl. Tab. 1), und der in den letzten 20 Jahren ausgeschiedene Bestandesteil wurde über Stockzählungen geschätzt. Auf allen Parzellen wurde die Verjüngung (Bäume mit Brusthöhendurchmesser unter 4 cm) über ein 5 m × 5 m Gitternetz nach Anzahl, Höhenstufe, Triebhlängen und Baumart erfaßt. Im Umfeld der Parzellen erfolgten Probebaumfällungen für Stamm-, Verzweigungs- und Biomasseanalysen. An den Knotenpunkten des Gitternetzes für die Verjüngung erfolgten zusätzlich PAR-Strahlungsmessungen während der Vegetationsperiode, die zweimal wiederholt wurden.

4 Ergebnisse

Der Versuchsbestand Kranzberger Forst ist Teil der aus 6 Parzellen bestehenden Wuchsreihe Freising 813, die zusammen mit weiteren Versuchsanlagen in anderen Landesteilen Struktur und Leistung von Mischbeständen aus Fichte und Buche widerspiegelt. Parzelle 1 der Wuchsreihe wurde nach der Erstaufnahme im Jahre 1994 mit einem System von Meßtürmen und Verbindungsstegen ausgestattet, die den gesamten Kronenraum für Messungen er-

schließen. Abbildung 1 zeigt den Blick auf Bestand und Meßgerüste aus Nordosten. Das Gerüst hat in der gegenwärtigen Ausbaustufe eine Höhe von 30 Metern und überragt damit den Bestand nur geringfügig. In den Höhen 16,5 m, 18,5 m, 20,5 m und 22,5 m durchziehen den Bestand Verbindungsstege zwischen den Türmen, so daß Partien mit reiner Fichte, reiner Buche und gemischte Zonen erreichbar sind. Die Gerüstkonstruktion ermöglicht es, auf das noch beträchtliche Höhenwachstum des gegenwärtig 24,1 bis 27,2 Meter hohen Bestandes (Oberhöhen von Buche bzw. Fichte) mit einer Aufstockung des Gerüsts zu reagieren.

Abbildung 2 stützt sich auf die dreidimensionale Erfassung der Bestandesstruktur und bewährte Kronenformmodelle für Fichte und Buche (PRETZSCH 1992) und vermittelt einen Eindruck vom räumlichen Aufbau des Versuchsbestandes im Jahr 1994. Der Blick aus nordöstlicher Richtung zeigt die zwei im Bestand enthaltenen Buchengruppen, die Partien aus reiner Fichte und die für die Untersuchung besonders interessanten gemischten Zonen im Zentrum der Versuchsfläche und an der Peripherie der Buchengruppen.

4.1 Ertragskundliche Befunde

Die waldwachstumskundlichen Befunddaten der im Forstamt Freising auf vergleichbaren Standorten angelegten Parzellen 1–6 (Tab. 1) spiegeln die Bestandesentwicklung von der Dickungsphase bis zur Hiebsruhe wider und ermöglichen eine Einordnung der Parzelle 1 im Kranzberger Forst. Die Angaben beziehen sich auf die Aufnahme im Herbst 1994. Die bei der Erstaufnahme 44- bzw. 51jährige Fichten-Buchen-Mischbestandsparzelle 813/1 befindet sich im Stadium der Auslesedurchforstung. Durch lockere Kronenspannung und eine nur kurzfristige Unterbrechung des Kronenschlusses soll in dieser Phase das Höhenwachstum von Fichte und Buche forciert, die Astreinigung gewährleistet und die Auswahl der bestwüchsigsten Fichten und Buchen getroffen werden. Demgegenüber befindet sich die um 10 Jahre jüngere Parzelle 6 der Wuchsreihe noch im Stadium der Jungbestandspflege, in der die negative Auslese vorherrscht. Die um 35 Jahre ältere Parzelle 2 hat die Phase der Auslesedurchforstung bereits abgeschlossen. Hier zielt die Bestandesbehandlung auf eine Verstärkung des Durchmesserwachstums an den besten Zuwachsträgern durch wiederholte Unterbrechung des Kronenschlusses. Parzelle 1 im Kranzberger Forst deckt somit eine Entwicklungsphase ab, in der elementare Differenzierungsprozesse, wie die Ausformung der Mischungsanteile, Stammzahlreduktion und Negativauslese schon abgelaufen sind, in der die für den Endbestand ausgesuchten Anwärter nun aber mit maximaler Wuchsleistung – der Bestand befindet sich in der Kulminationsphase der Volumenzuwachsleistung pro Hektar – um die Besetzung des Kronenraumes konkurrieren. Die Parzellen 5 und 6 weisen deutlich höhere Stammzahlen auf als Parzelle 1 und befinden sich noch in oder am Ende der Phase negativer Auslese mit nur extensiven Eingriffen in die geschlossene Dickung. Die älteren Parzellen 2 und 3 spiegeln die zu erwartende künftige Entwicklung der Parzelle 1 wider mit Stammzahlabnahmen, die zu Endstammzahlen von ca. 300 Fichten und Buchen je ha führen. Die Stammzahlen des Versuchsbestandes sind mit 540 Fichten und 336 Buchen je ha zugunsten der Fichte verteilt, hinzu kommen noch vereinzelt andere Baumarten.

Ein Blick auf die Ober- und Mittelhöhen von Fichte und Buche zeigt, daß die Buche aufgrund ihres Altersvorsprunges bis ins hohe Bestandesalter etwa gleichwüchsig zur Fichte bleibt. Auf der 95- bzw. 120jährigen Parzelle 3 werden Oberhöhen von 35,9 bzw. 40,3 Metern erreicht, die zum einen die hohe Konkurrenzkraft der Buche auf der ausgewählten Standorteinheit dokumentieren, zum anderen erkennen lassen, daß auf Parzelle 1 erst etwa 60% der Endhöhe erreicht sind. Mit 0,96 für die Fichte und 1,09 für die Buche ist der Schlankheitsgrad des jeweiligen Grundflächenmittelstammes (hg/dg) relativ hoch, die Bestandesstabilität ist somit als eher mäßig anzusprechen. Die aus Bohrkernanalysen gewonnenen Volumenzuwächse auf der Parzelle 1 dokumentieren $22 \text{ VfmD ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, die zu 79% von der Fichte geleistet werden. Bei einem solch hohen Zuwachsniveau und Konkurrenzdruck wird erwartet, daß die absoluten Zuwachsausschläge und die Konsequenzen der

Tab. 2. Geschätzte Biomasse, Kohlenstoffmenge und Stickstoffvorräte auf den Parzellen 1 bis 6 der Wuchsreihe Freising 813.

TM = Trockenmasse in kg/ha; Stickstoff und Kohlenstoff in kg/ha; CN = Kohlenstoff/Stickstoff-Verhältnis

Table 2. Estimated biomass, carbon- and nitrogen content of the plots 1 to 6 belonging to the growth-series Freising 813.

TM = Dry-weight in kg/ha; carbon and nitrogen content in kg/ha, CN = carbon/nitrogen ratio

	Substanz	Stamm	Rinde	Ast	Blatt	Grobwurzel	Gesamt
Fichte	Trockenmasse	119290	8294	13684	7472	18953	167693
	TM%	71	5	8	4	11	100
	Stickstoff	100	83	116	90	21	410
	Kohlenstoff	59645	4147	6842	3736	9476	83846
	CN	595	50	59	42	455	
Buche	Trockenmasse	82036	5488	9904	770	13566	111765
	TM%	73	5	9	1	12	100
	Stickstoff	90	43	28	19	35	215
	Kohlenstoff	41018	2744	4952	385	6783	55882
	CN	455	64	179	20	192	

experimentell ausgelösten Wachstumsreaktionen empfindlich sein werden; das gilt besonders für die Bestandeszonen mit intensiver Durchmischung von Fichte und Buche.

Mit einer Grundfläche von $26,6 \text{ m}^{-2} \text{ ha}^{-1}$ bei der Fichte und $11,6 \text{ m}^{-2} \text{ ha}^{-1}$ bei der Buche erreicht der Gesamtbestand auf Parzelle 1 ein Volumen von 469 VfmD ha^{-1} . Die Fichte weist nach der Ertragstafel von ASSMANN/FRANZ (1963) eine Oberhöhenbonität von 45,4 auf, der Bestockungsgrad liegt bei 0,56, bezogen auf einen vollbestockten Fichtenbestand. Die Buche zeigt eine Ertragsklasse von -0,4 (SCHÖBER 1967, mäßige Durchforstung) und einen Bestockungsgrad von 0,5, so daß der Gesamtbestand mit 1,06 bestockt ist. Dieser Wert indiziert im Ertragstafelkontext einen normal bestockten Bestand, der damit in bezug auf die Bestandesgrundfläche eine zuwachsoptimale Dichte aufweist.

Da der Gesamtbestand zu etwa 100 Prozent bestockt ist, sind für einen Zuwachsvergleich mit den Ertragstafeln keine Zuwachsreduktionsfaktoren erforderlich. Bei der Fichte wäre im Alter 45 bei einer Oberhöhenbonität von 45,4 ein laufender jährlicher Schaftholz zuwachs von $30,5 \text{ Vfm}$ auf vollbestockter Fläche zu erwarten. Multipliziert mit dem Bestockungsgrad von 0,56 ergibt sich ein rechnerischer Zuwachs von $17,1 \text{ VfmS ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, was trotz der geringfügigen Differenz zwischen Schaft- und Derbholz ziemlich exakt dem tatsächlichen Volumenzuwachs auf der Parzelle entspricht. Bei der Buche wären nach der Ertragstafel von SCHÖBER (1967) $7,3 \text{ VfmD ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ zu erwarten, was den realen Wert um fast $3 \text{ VfmD ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ übersteigt. Möglicherweise ist diese Differenz neben standortspezifischen Wachstumsverläufen oder Mischungseffekten auch auf ungenaue Altersangaben oder die erhebliche Ertragstafel extrapolation zurückzuführen. Zudem weist der Aggregationsindex nach CLARK und EVANS mit einem Wert von 0,51 für die Buche darauf hin (Tab. 1), daß diese extrem stark geklumpt steht, woraus mit großer Wahrscheinlichkeit auf einen gegenüber einer gleichmäßigen Verteilung verminderten Zuwachs geschlossen werden kann.

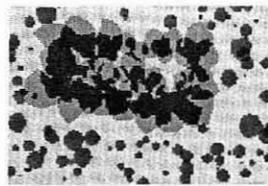
Basierend auf einfachen Schätzfunktionen, die sich u. a. auf die Probebaumuntersuchungen im Umfeld der Parzellen stützen, ist eine erste Abschätzung von Trockenmassen, Stickstoff- und Kohlenstoffgehalten sowie des C/N-Verhältnisses für die Baumkompartimente Stamm, Rinde, Äste, Blätter und Grobwurzeln möglich (MESCHEDERU, 1997). Nicht berücksichtigt wurden die Feinwurzelmenen, die je nach Standort und Jahreszeit Werte von einigen hundert bis mehreren tausend Kilogramm Trockensubstanz pro Hektar annehmen können. So ergeben sich bei der Fichte etwa 168 Tonnen Trockensubstanz pro ha, wobei 120 Tonnen auf die Baumstämme, 8 Tonnen auf die Rinde, 7,5 Tonnen auf die Blätter und 19 Tonnen je ha auf die Grobwurzeln

entfallen (Tab. 2). Im Vergleich mit der Buche, die eine Gesamttrockenmasse von 112 Tonnen je ha erbringt, ist insbesondere die Relation Blattmasse zu Gesamtmasse mit 1% deutlich niedriger als bei der Fichte mit 4%.

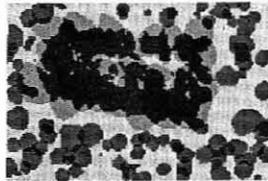
4.2 Raumbesetzungsmuster

Aufschlüsse über das Raumbesetzungsmuster von Fichte und Buche liefert die dreidimensionale Rasteranalyse. Hierfür wird eine dreidimensionale Matrix aufgebaut, in welche für jeden dm^3 Bestandesraum der Versuchsfläche ein Informationsgehalt eingespeichert werden kann. Auf der Basis der Stammfußkoordinaten, der Kronenradien, der Dimensionsgrößen Baumhöhe und Kronenansatzhöhe und unter Zugrundelegung von Kronenformmodellen wird die Kronenausdehnung aller Bäume in dieser Matrix lokalisiert. Nach dem Trefferprinzip läßt sich dann für alle Zellenmittelpunkte der Raummatrix bestimmen, von welchen Bäumen, welchen Baumarten und mit welcher Häufigkeit sie getroffen werden. Die Matrix enthält dann ein modellhaftes, gerastertes Abbild der tatsächlichen Bestandesstruktur und ermöglicht Horizontalschnitte durch den Kronenraum, wie sie in Abbildung 3 dargestellt sind. Während in der Höhe 11 m die Kronen von Fichte (dunkelgrau) und Buche (hellgrau) zumeist umlichtet sind und Mehrfachbesetzungen (schwarz) nur in geringem Maße auftreten, läßt der Schnitt in 18 m Höhe eine massive inter- und intraspezifische Konkurrenz

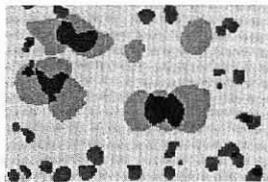
Kronenquerschnitte



Bestandes-
höhe
21 m



Bestandes-
höhe
18 m



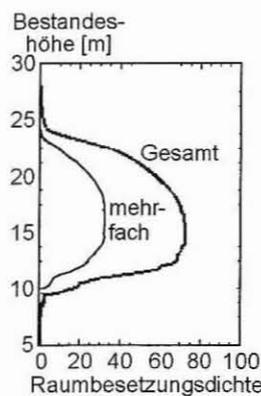
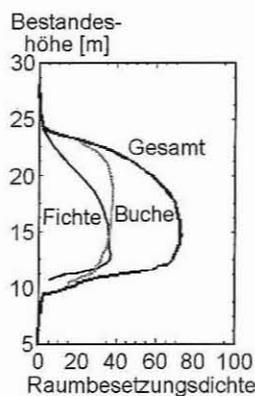
Bestandes-
höhe
11 m

Abb. 3. Horizontalschnitte durch den Kronenraum des Fichten/Buchen-Mischbestandes Kranzberger Forst nach den Ergebnissen der Erstaufnahme im Herbst 1994. Für die Höhen 11, 18 und 21 m ist die Raumbesetzung durch Fichtenkronen (dunkelgrau), Buchenkronen (hellgrau) und der Bereich der Mehrfachbesetzungen (schwarz) dargestellt

Figure 3. Horizontal cuts through the canopy of the mixed spruce-beech forest Kranzberger Forst drawn from measurement results obtained in autumn 1994. The cuts are placed at 11, 18 and 21 m height above ground. (Dark grey = spruce crowns, light grey = beech crowns, black = overlappings)

Abb. 4. Besetzungsdichte des Kronenraumes durch Fichten, Buchen und Gesamtbestand (links) und Häufigkeit der Mehrfachbesetzungen (rechts)

Figure 4. Canopy profiles of spruce, beech and the mixed forest (left side) and occurrence of multiple crown coverage (right side)



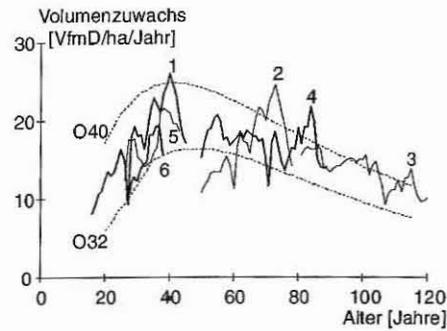


Abb. 5. Bestandeszuwachs von Fichte und Buche über dem Bestandesalter auf allen Parzellen der Wuchsreihe Freising 813
 Figure 5. Growth development of spruce and beech over age at all plots of the growth series 813

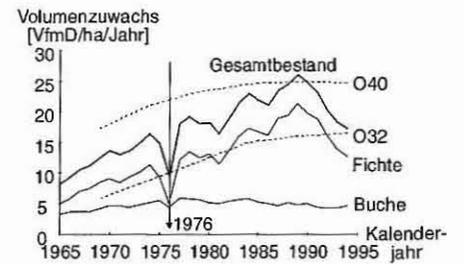


Abb. 6. Bestandeszuwachs von Fichte und Buche insgesamt über dem Kalenderjahr auf Parzelle 813/1 im Vergleich mit der Ertragstafel
 Figure 6. Growth development of spruce and beech on plot 813/1 in comparison with yield table data

von Fichte und Buche um den Bestandesraum erkennen. In 21 m Höhe kommt es nur noch bei der Buche aber nicht mehr bei der Fichte zu hohen Raumbesetzungsdichten und Mehrfachbesetzungen (schwarz ausgefüllte Zellen).

Aufbauend auf den Ergebnissen der Trefferabfrage läßt sich eine Statistik über die Vertikalverteilung der Kronen im Bestandesraum anfertigen, wie sie in Abbildung 4 dargestellt ist. Im linken Teil der Abbildung wird erkennbar, welche Prozentanteile des verfügbaren Bestandesraumes Fichte, Buche und Gesamtbestand in unterschiedlichen Bestandeshöhen besetzen. Die maximalen Besetzungsdichten liegen bei der Fichte in 12 m Höhe und bei der Buche in 20 m Höhe. Wenngleich diese also beträchtlich gegeneinander verschoben sind, überlappen und addieren sich die Dichtekurven, so daß insgesamt in der Höhenzone von 12 bis 18 m ein Maximum an Raumbesetzung und Konkurrenz gegeben ist. In dieser Zone sind 70 bis 80% der Raummatrix mit Kronen besetzt, wobei mehr als ein Drittel der Zellen mehrfach besetzt sind. Aufgrund ihrer unterschiedlichen Baumhöhen und Kronenformen wird der Kronenraum von Fichte und Buche in unterschiedlichen Höhen also mit unterschiedlicher Intensität genutzt.

Einen tieferen Einblick in die räumliche Bestandesstruktur bieten Strukturindizes zur Beschreibung der vertikalen Differenzierung sowie der horizontalen Aggregation und Durchmischung (PRETZSCH 1996b). Das normierte vertikale Artenprofil (vertikales Artenprofil-Index in Relation zum maximal möglichen Artenprofilindex) erreicht einen Wert von nur 56%, zu dem die Fichte mit 30% und die Buche mit 20% beitragen. Einerseits ist also die vertikale Differenzierung eher gering, zum anderen trägt die Fichte hier mehr zur Differenzierung bei als die Buche. Bezüglich der Verteilung der Baumarten auf der Fläche ergibt sich ein CLARK- und EVANS-Index von 1,08, was einer weitgehend zufälligen Verteilung entspricht. Separat gesehen erreicht die Fichte einen CLARK- und EVANS-Indexwert von 0,98, die Buche dagegen nur 0,51. Dies kennzeichnet die starke Klumpung der Buche innerhalb des Bestandes, was auch aus dem Aufrißbild hervorgeht (vgl. Abb. 2). Die starke Klumpung der Buche geht einher mit einer deutlichen Trennung der Baumarten, obwohl es sich um einen Mischbestand handelt. Der PIELOU-Index liegt bei 0,83, erreicht also fast seinen Maximalwert von 1, der für eine vollständige Trennung oder Segregation der Baumarten stehen würde.

4.3 Zuwachs von Beständen und Einzelbäumen

Bestandes-Zuwachsgang

Der Bestandeszuwachs auf der Versuchsparzelle 813/1 Kranzberger Forst bewegt sich mit einem Derbholzvolumenzuwachs von durchschnittlich $22 \text{ VfmD ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ in den letzten 10

Jahren auf einem relativ hohen Niveau (Tab. 1). Auffallend ist der Zuwachsanstieg der Fichte im Verlauf des Analysezeitraumes, der bis etwa 1990 anhielt und eine deutliche Alterszuwachsdynamik erkennen läßt (Abb. 5). Eine Ausnahme bildet das Trockenjahr 1976, in dem die Fichte sehr stark, die Buche dagegen nur wenig mit verringertem Zuwachs reagierte. Seit 1990 ist ein rasanter Zuwachsabfall bei der Fichte zu beobachten, der allerdings auch auf allen anderen Parzellen der Wuchsreihe Freising 813 auftritt und die alterstypische Rhythmik überlagert (Abb. 6).

Für den Bestandeszuwachs zeigt sich sowohl auf der gesamten Fichten/Buchen-Wuchsreihe Freising 813 (vgl. Abb. 5) als auch konkret für die Parzelle 813/1 (vgl. Abb. 6) ein im Vergleich zu den Ertragstafelkurven relativ hohes Zuwachsniveau. In den Abbildungen sind die Volumenzuwachskurven nach der Fichtenertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963) für die Oberhöhenbonitäten 32 und 40 eingezeichnet. Die aus Bohrspananalysen stammenden Zuwachsverläufe der Wuchsreihe reichen vom Jahr 1994 ausgehend etwa 30 bis 40 Jahre zurück. Die realen Zuwächse bewegen sich über dem gesamten Beobachtungszeitraum und über alle Parzellen hinweg zwischen den Ertragstafelkurven, im Mittel entspricht das Zuwachsniveau also ungefähr einer Fichtenbonität 36, und das trotz der reichhaltigen Buchendurchmischung der Fichtenbestände. Der Fichten/Buchen-Mischbestand beweist also hier eine beachtliche Leistungskraft.

Zuwachstrend-Analyse nach der Methode des konstanten Alters

Zur Analyse der Wachstumsgeschichte der Versuchsflächen im Kranzberger Forst wird nach der „Methode des konstanten Alters“ (MIELIKÄINEN und TIMONEN 1996; MIELIKÄINEN und NÖJD 1996) geprüft, ob der Radialzuwachs 25-, 35-, 45- und 55jähriger Fichten zu Beginn und Mitte des Jahrhunderts auf ähnlichem Niveau lag wie in der Gegenwart. Die Auswertung stützt sich auf Bohrkerne und Stammanalysen von 617 bzw. 11 Bäumen der Parzellen 813/1 bis 813/6, deren Zuwachsverläufe bis zu Beginn des Jahrhunderts zurückreichen und die im Jahr 1995 ein Durchmesserspektrum von 19–670 mm abdecken (Abb. 7, oben). Die Zuwachswerte in dem dargestellten Zeit/Durchmesser-Fenster (Zeitraum 1914–1995, Durchmesserspektrum im Jahre 1995 18,57–547,80 mm) werden nach Altersklassen und Kalenderjahren geordnet, so daß für jedes Kalenderjahr die mittleren Zuwächse in den vertretenen Altersklassen berechnet werden können. Werden die mittleren Zuwächse in den Altersklassen durch Geraden ausgeglichen, so treten für die betrachteten Altersklassen positiv gerichtete Wachstumstrends in Erscheinung (Abb. 7,

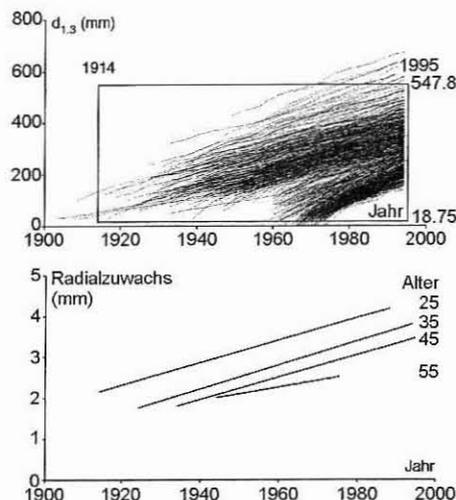


Abb. 7. Diagnose des langfristigen Zuwachstrends der Fichte auf den Parzellen 1–6 der Wuchsreihe Freising 813.

oben: Durchmesserzuwachsangang aus Zuwachsanalysen an insg. 628 Bäumen, dargestellt über dem Kalenderjahr. Die Zuwächse in dem dargestellten Zeit/Durchmesser-Fenster werden in die Analyse des Zuwachstrends einbezogen.

unten: Veränderung des jährlichen Radialzuwachses 25-, 35-, 45- und 55jähriger Fichten innerhalb dieses Jahrhunderts. (Die Altersklassen 25, 35, 45 und 55 stehen für Altersrahmen von 21–30, 31–40 usw.)

Figure 7. Growth trends of spruce at the plots 1 to 6 of the growth series Freising 813.

above: Diameter increase per year as averaged from 628 trees.

below: Development of the annual radial growth of 25-, 35-, 45-, and 55 year old spruces during this century. (Age classes of 25, 35, 45 and 55 represent a range of 21–30, 31–40 etc. years.)

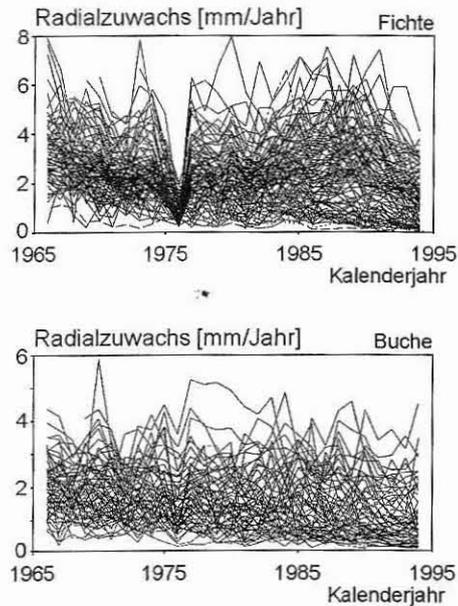


Abb. 8. Zuwachsgang von Einzelbäumen im Zeitraum 1966 bis 1994. Erkennbar ist die Abhängigkeit des Zuwachsganges vom Klima im Trockenjahr 1976.

Figure 8. Growth development of single trees from 1966 to 1994. Note the decrease in growth in the drought year 1976.

Fichte und Buche dargestellt ist, zeigt ähnlich wie der Volumenzuwachsverlauf auf Bestandesebene einen deutlichen Einbruch im Trockenjahr 1976. In der Abbildung ist allerdings klar erkennbar, daß sich einige Baumindividuen stets am unteren Rand, andere stets am oberen Rand des gesamten Radialzuwachsspektrums befinden. Nicht alle nach oben oder unten gerichteten Ausschläge des Zuwachses verlaufen indessen synchron, so daß also die äußeren klimatischen Bedingungen nicht als alleinige Erklärung ausreichen. Es zeigt sich damit, daß die oft kleinräumig und kurzfristig wechselnden Konkurrenzverhältnisse zwischen einzelnen Bäumen eine große Rolle für ihr Zuwachsverhalten spielen können.

4.4 Einzelbaumdimensionen und Standraumökonomie

Kronendimensionen und Standraumbedarf

Im Rahmen der Erstaufnahme des Versuchsbestandes im Herbst 1994 wurde von allen Bäumen die soziale Baumklasse nach KRAFT bestimmt. Mit dieser Klassifikation ist eine aggregierte Ansprache der Wuchskonstellation des Einzelbaumes möglich, und sie kann verwendet werden, um die Raumnutzungs-Effizienz von Fichten und Buchen differenziert zu betrachten. Bei einer solchen Analyse ergibt sich für Buchen der KRAFT-Klasse 1 ein durchschnittliches Kronenraumvolumen von 312 m³ (Tab. 3). Demgegenüber weist eine Fichte der KRAFT-Klasse 1 nur ein Kronenvolumen von 99 m³ auf. Bei Fichten niedrigerer KRAFT-Klasse (4 und 5) sinkt das Kronenvolumen auf etwa die Hälfte des baumartenspezifischen Maximalwertes ab, bei der Buche hingegen vermindert sich das Kronenvolumen mit jeder schlechter werdender KRAFT-Klasse jeweils um mehr als die Hälfte. Bezieht man den jährlichen Derbholzvolumenzuwachs auf das Kronenvolumen, so erreichen Fichten der

unten). So ist der Abbildung z. B. zu entnehmen, daß 25jährige Fichten im Jahre 1920 im Mittel 2,2 mm Radialzuwachs anlegten, während gleichalte Bäume heute mit über 4 mm das Doppelte an Radialzuwachs pro Jahr erbringen. Dieser langfristige Zuwachsanstieg ist in allen Altersklassen zu verzeichnen, bei jungen Bäumen aber stärker ausgeprägt als bei älteren. Angesichts der Stärke und zeitlichen Dauer dieses Anstiegs scheiden Veränderungen der Waldpflege als alleinige Ursache aus, zumal die betrachteten Bestände bis heute eher konservativ behandelt werden. Wir interpretieren den diagnostizierten positiven Trend vielmehr als Reaktion auf wachstumssteigernde Einflußfaktoren wie z. B. Stickstoffeintrag, Temperaturanstieg oder Anstieg der CO₂-Konzentration der Luft. Der seit Beginn der 90er Jahre auf allen Parzellen der Wuchreihe vor allem bei der Fichte zu verzeichnende Zuwachsrückgang (Abb. 5) könnte dagegen auf eine Häufung von Jahren mit trockenen und warmen Vegetationsperioden zurückzuführen sein.

Zuwachsgang von Einzelbäumen

Der Zuwachsgang von Einzelbäumen, der in Abbildung 8 getrennt für die Baumarten

Tab. 3. Einzelbaumdimensionen und Standraumökonomie.

Kraft = KRAFT-Klasse; N = Stichprobenumfang; BHD = Baumdurchmesser in cm bei 1,3 m Höhe, h = Baumhöhe in m; Kra = Kronenansatzhöhe in m; Kd = Kronendurchmesser in m; DV = Derbholzvolumen in VfmD; KV = Kronenvolumen in m³; zv = Volumenzuwachs VfmD in 5 Jahren; zv/KV% = Volumenzuwachs in % zum Fichtenwachstum in der KRAFT-Klasse 1; zvr = zv Rohdichte (Fi: zv 0,45 g/cm³; Bu: zv 0,74 g/cm³); zvr/KV% = 100% bei zvr Fichte KRAFT-1

Table 3. Single-stem dimensions and canopy occupation.

Kraft = social tree class (after KRAFT); N = sample size; BHD = diameter in cm at 1.3 m height; h = tree height in m; Kra = height of base of the crown in m; Kd = crown diameter in m; DV = wood volume of axes greater than 7 cm in smallest diameter in m³; KV = crown volum in m³; zv = increment of DV within 5 years; zv/KV% = zv in % of spruce growth in the first KRAFT class; zvr = wood biomass increment (density of spruce: 0.45 g/cm³, beech: 0.74 g/cm³); zvr/KV% = zvr in % of spruce growth in the first KRAFT class

Art	Kraft	N	BHD	h	Kra	Kd	DV	KV	zv	zv/KV	zv/Kv%	zvr	zvr/Kv%
Fichte	1	34	32,6	26,1	11,9	4,6	1,07	99	0,066	6,67	100	0,030	100
	2	66	26,3	24,5	11,5	4,1	0,67	71	0,045	6,27	94	0,020	94
	3	28	19,6	21,8	10,9	3,7	0,34	49	0,021	4,34	65	0,010	65
	4	16	11,9	16,3	8,9	4,2	0,09	43	0,003	0,76	11	0,001	11
	5	10	8,8	12,9	7,2	6,2	0,03	71	0,002	0,25	4	0,001	4
Buche	1	9	31,9	23,9	10,7	7,6	1,00	312	0,045	1,45	22	0,034	36
	2	30	22,4	22,9	13,5	5,6	0,48	124	0,021	1,69	25	0,015	42
	3	15	15,8	21,7	16,4	4,2	0,21	39	0,007	1,83	27	0,005	45
	4	12	14,6	21,4	16,8	4,0	0,17	31	0,005	1,63	24	0,004	40
	5	4	11,6	20,3	17,7	3,3	0,09	12	0,005	3,87	58	0,003	95

KRAFT-Klassen 1 mit jährlich 6,7 dm³ Derbholzzuwachs pro m³ Kronenvolumen den höchsten Wert, und diese Raumnutzungseffizienz sinkt deutlich mit abnehmender sozialer Stellung. Die Buche zeigt zwar im Vergleich mit der Fichte eine geringere Effizienz, die relativen Zuwachswerte verändern sich aber über den KRAFT-Klassen kaum. Die Effizienz der Buche erhöht sich jedoch beträchtlich, wenn die Volumenzuwächse mit den baumartenspezifischen Rohdichten gewichtet werden, die für die Fichte 0,45 g/cm⁻³ und bei der Buche 0,74 g/cm⁻³ betragen.

5 Diskussion

Die Zuwachsuntersuchungen auf der Wuchreihe Freising 813 (Abb. 5–7) haben gezeigt, daß sich die Wüchsigkeit der Fichten im Laufe der letzten hundert Jahre deutlich verändert hat; dasselbe gilt für die Buche. Das Ausmaß dieser Veränderung und die nachgewiesene Bestandesbehandlung auf den Versuchsparzellen erlauben den Schluß, daß die Ursache im wesentlichen in einer Änderung der Umweltbedingungen zu suchen ist. Dabei kann davon ausgegangen werden, daß es sich um das Zusammenspiel mehrerer Faktoren handelt, von denen auch in Zukunft nicht zu erwarten ist, daß sie konstant bleiben (z. B. Stickstoff, CO₂-Konzentration, Temperatur). Es läßt sich nur schwer einschätzen, wie dieses Zusammenspiel aussieht, ob ein oder mehrere Faktoren dominieren, oder ob einzelne Faktoren einander in ihrer Wirkung kompensieren.

Entsprechend unsicher sind Wachstumsprognosen für veränderte Wuchsbedingungen. Um die forstwirtschaftlichen Konsequenzen von Klimaveränderungen abzuschätzen, wird jetzt beispielhaft auf das Wuchsmodell SILVA 2.2 zurückgegriffen, das den Ausgangsbestand auf Parzelle 813/1 im Kranzberger Forst als Startsituation verwendet. Die Bestandesentwicklung wird dann über 100 Jahre fortgeschrieben sowie ertragskundlich und ökonomisch analysiert. Das Wuchsmodell SILVA 2.2 ist standort- und klimasensitiv (KAHN und

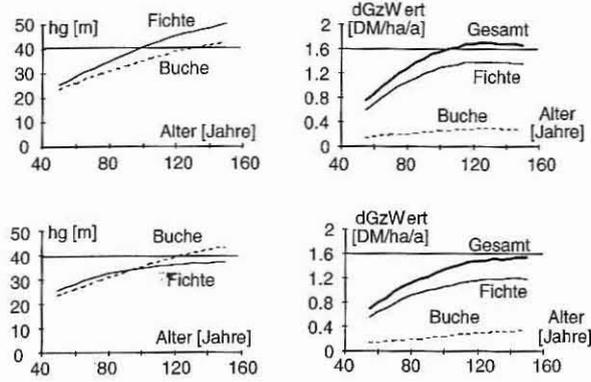


Abb. 9. Entwicklung von Mittelhöhe (hg) und durchschnittlicher Gesamtwertleistung (dGz-Wert) auf Parzelle 813/1 unter normalen (oben) und veränderten (unten) Klimabedingungen nach Prognosen mit dem Wachstumsmodell SILVA 2.2

Figure 9. Development of mean height (hg) and total net value-increment (dGz-Wert) at plot 813/1 under current (top) and changed (bottom) climate conditions, results based on simulation runs with the growth-model SILVA 2.2

Klimadaten der Waldklimastation Freising übereinstimmt. Die wesentlichsten Änderungen gegenüber dieser Ausgangssituation sind im $2 \times \text{CO}_2$ -Szenario eine Mitteltemperatur von $16,9^\circ\text{C}$ und Niederschläge von 584 mm in der Vegetationszeit. Das Wachstumsmodell verwendet den bei der ertragskundlichen Erstaufnahme 1994 erfassten Zustand, d. h. alle Daten zu Baumkoordinaten, Baumarten, Baumdurchmessern, Baumhöhen und Kronenkennwerten, als Startwert. Von diesem Zustand ausgehend wird die Bestandesentwicklung über 100 Jahre prognostiziert, und zwar einmal unter den Umweltbedingungen des Normalszenarios und einmal unter denen des $2 \times \text{CO}_2$ -Szenarios. Es werden keine Durchforstungen angenommen. Die Resultate zur Entwicklung der Mittelhöhe (Abb. 9, links) sowie zur durchschnittlichen Gesamtwertleistung (Abb. 9, rechts) zeigen deutliche Unterschiede zwischen den Simulationen. Im Normalszenario dominiert die Fichte im Höhenwachstum und in der Wertleistung, im $2 \times \text{CO}_2$ -Szenario überwächst die Buche die Fichte, die durchschnittliche Wertleistung sinkt um mehr als $200\text{ DM ha}^{-1}\text{ a}^{-1}$. Modellrechnungen wie diese unterstreichen die weitreichenden Konsequenzen globaler Veränderungen für das Waldwachstum und die Bedeutung von Wachstumsmodellen für die Quantifizierung der praktischen Folgen für die Forstwirtschaft.

Das im Modell SILVA 2.2 enthaltene Standort/Leistungsmodul beruht auf einer unmittelbaren statistischen Verknüpfung von Standortfaktoren und -faktorenkomplexen mit dem Wachstum von u. a. Baumdurchmesser, Baumhöhe, Kronengröße und mit der Überlebenswahrscheinlichkeit. Es gründet auf einer breiten Basis von Standort- und Wachstumsdaten aus langfristigen Versuchsflächen und zielt primär auf die Bestandesentwicklungsprognose für Managementzwecke. Parallel zu diesem Managementmodell wird im Rahmen des Sonderforschungsbereiches ein auf den ökophysiologischen Prozessen aufbauendes Bestandesmodell entwickelt. Es zielt weniger auf eine Prognose als vielmehr auf ein verbessertes Verständnis der Ursachen-Wirkungs-Beziehungen zwischen Standortparametern, Störfaktoren und Bestandesentwicklung (GROTE 1998; GROTE und SUCKOW 1998). Es umfasst erstens eine Darstellung von Kohlenstoff- und Nährstoffassimilation, Atmung, Verteilung der Assimilate auf die Kompartimente und Verlust durch Absterbevorgänge in Abhängigkeit vom Mikroklima- und den Bodenbedingungen. Zweitens leitet es die Dimensionsverände-

PRETZSCH 1998). Der Versuchsbestand wird in einem Szenario 1 mit dem jetzigen Klima fortgeschrieben (Normalszenario: Abb. 9, oben), in einer zweiten Variante wird das Klima unter einem $2 \times \text{CO}_2$ -Szenario verändert und der Normalentwicklung gegenübergestellt ($2 \times \text{CO}_2$ -Szenario Abb. 9, unten). Die Klimadaten des Ausgangszustandes sowie der $2 \times \text{CO}_2$ -Variante stammen vom Potsdam Institut für Klimafolgenforschung (PIK, 1998). Das Ausgangsklima ist durch Temperaturen von $14,8^\circ\text{C}$ und 482 mm Niederschlag in der Vegetationszeit gekennzeichnet, was ziemlich genau mit den

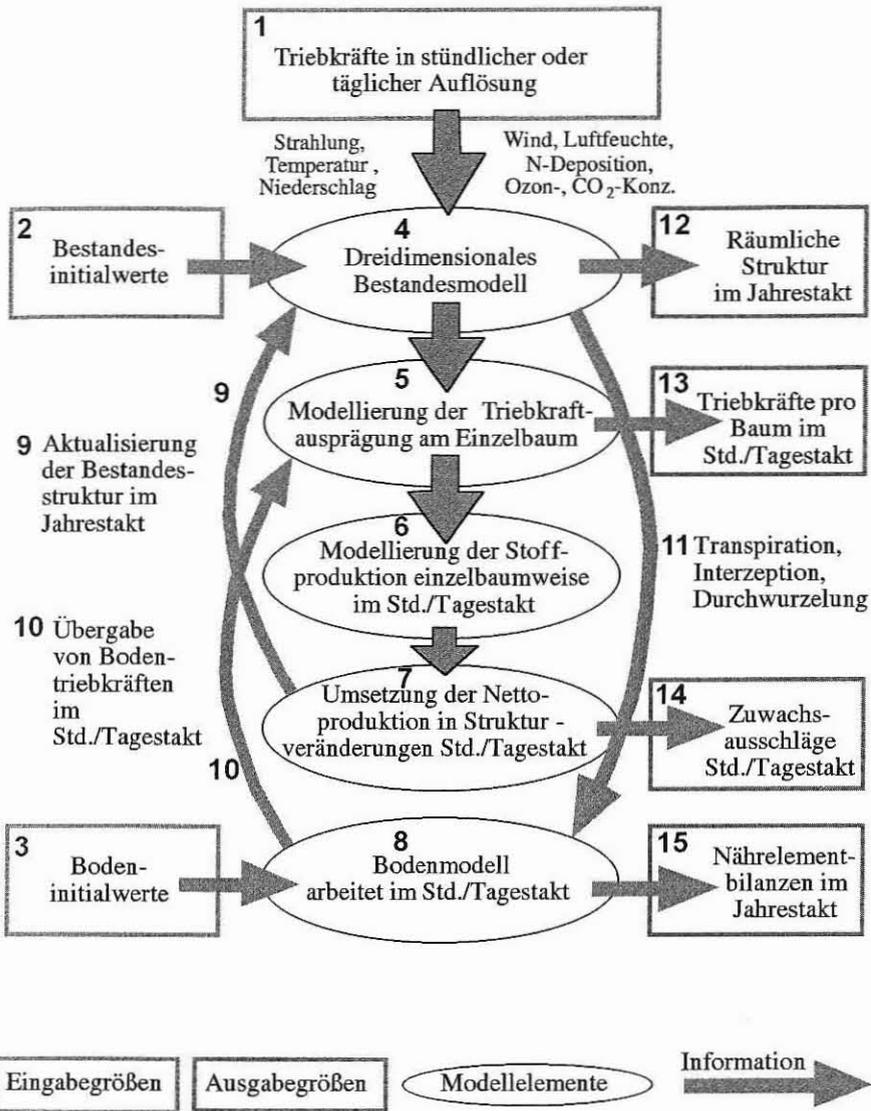


Abb. 10. Systemdiagramm eines Ebenen übergreifenden Modellansatzes, der das Bestandeswachstum unter Berücksichtigung der Wechselwirkungen zwischen den Ebenen Organ, Baum und Bestand nachbildet

Figure 10. Scheme of a hierarchical model approach considering feed back loops between the levels organ, tree and stand

zung bzw. die Mortalitätsneigung des einzelnen Baumes direkt aus der Massenveränderung einzelner Kompartimente ab. Drittens berücksichtigt es eine Modifikation der individuellen Standortfaktoren entsprechend der Veränderung der Bestandesstruktur, die sich aus den individuellen Dimensionsveränderungen ergibt.

Durch Einbeziehung der Organisationsebenen vom Organ bis zum Bestand wird ein skalenübergreifendes Verständnis des Systemverhaltens ermöglicht. Die Überlegungen resultieren in dem auf Abbildung 10 skizzierten Modellkonzept. Die übergeordnete Ebene

bildet hierin der Bestand (4). Auf der Basis der Bestandesinitialwerte (2), z. B. Durchmesser, Höhe, Kronendimension und Standpunkt aller Einzelbäume, wird die Bestandesstruktur dreidimensional nachgebildet, so daß für jeden Baum die Wuchskonstellation im Bestand identifizierbar ist. Auf der Basis dieses Raumbesetzungsmusters werden im Tagesakt Triebkraftausprägungen, wie z. B. Strahlung, Temperatur, Niederschlag, Deposition für jeden einzelnen Baum und seine Organe bestimmt (5). Auf der nächst niedrigeren Ebene greift die Photosynthese auf die Triebkraftzeitreihen und Nährstoff/Wasserzustände des Bodens (8) zurück, so daß die Nettoproduktion im Tagesakt resultiert (6). Diese Nettoproduktion wird in Zuwachs und somit in Strukturveränderung aller Bestandesglieder umgesetzt (7). Indem der Bestand durch seine Struktur physikalische und chemische Faktoren reguliert (z. B. Strahlung und Temperatur), gibt er Randbedingungen und Ordnungsparameter für die untergeordneten Ebenen vor. Aus dem in einem Jahr akkumulierten Zuwachs wird im Jahrestakt ein verändertes Raumbesetzungsmuster aufgebaut. So entsteht eine Rückkopplung von der niedrigsten auf die höchste Ebene (9). Die Schrittfolge (4, 5, 6, 7, 9, 4) repräsentiert einen ebenenübergreifenden Regelkreis, der den Weg dafür ebnet, Standortänderungen und Störungen auf verschiedenen Ebenen zu berücksichtigen. So können beispielsweise Baumentnahmen bei Durchforstungen, Blattfraß durch Insekten, Veränderungen von Sproß/Wurzel-Verhältnis durch Stickstoffeintrag oder Anstieg der CO₂-Konzentration der Luft in ihren Konsequenzen für das System insgesamt abgebildet werden. Die Ausgabegrößen (12–15) ermöglichen eine skalenübergreifende Modellvalidierung und decken zugleich die forstwirtschaftlich primär relevanten Zustandsgrößen von Einzelbäumen und Beständen ab. Ein solcher skalenübergreifender Modellansatz gewährleistet eine bestmögliche Erschließung der von Partnergruppen auf unterschiedlichen Zeit- und Raumskalen gesammelten Daten zu Triebkraftausprägungen und Wachstumsreaktionen. Dabei stehen zunächst die Erfassung und modellhaften Abbildungen von Wachstumsreaktionen auf veränderte Konzentration von Ozon und CO₂ sowie Auflichtung im Vordergrund.

6 Danksagung

Mit der Förderung von Anlage und Erstaufnahme der Fichten/Buchen-Mischbestandsversuchsflächen im Rahmen der Projekte W 28 und F 43 hat das Bayerische Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten die Vorbereitung des DFG-Sonderforschungsbereiches „Wachstum oder Parasitenabwehr“ wirkungsvoll unterstützt. Dem Staatlichen Forstamt Freising gilt Dank für die Mitwirkung bei der Auswahl und Etablierung der Parzellen 1–6. Das Bayerische Staatsministerium für Unterricht, Kultur, Wissenschaft und Kunst finanzierte die Erstaussattung der Parzelle 1 mit einem System von Meßtürmen und Verbindungsstegen. Mit Mitteln der Deutschen Forschungsgemeinschaft konnten schon vor Etablierung des Sonderforschungsbereiches auf den Parzellen 1–6 umfangreiche Zuwachs- und Strahlungsmessungen durchgeführt werden. Dadurch konnte bei der Beantragung des Sonderforschungsbereiches bereits auf eine erste empirische Basis und meßtechnische Infrastruktur aufgebaut werden. Unser Dank gilt schließlich Herrn Professor GÖTTLEIN für seine zusammenfassende Beurteilung des Standortes sowie den Gutachtern für ihre konstruktive Kritik.

7 Literatur

- ARBEITSKREIS STANDORTSKARTIERUNG, 1985: Forstliche Wuchsgebiete und Wuchsbezirke in der Bundesrepublik Deutschland, vom Arbeitskreis Standortkartierung in der Arbeitsgemeinschaft Forsteinrichtung, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup.
- ASSMANN, E.; FRANZ, F., 1963: Vorläufige Fichten-Ertragstafel für Bayern, Institut für Ertragskunde der Forstlichen Forschungsanstalt, München, 104 S.
- BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR WALD UND FORSTWIRTSCHAFT, 1996: Bayerische Waldklimastationen, Jahrbuch 1996.

- GROTE, R., 1998: Integrating dynamic morphological properties into forest growth modeling. II. Allocation and mortality. For. Ecol. Manage., in press.
- GROTE, R.; SUCKOW, F., 1998: Integrating dynamic morphological properties into forest growth modeling. I. Effects on water balance and gas exchange. For. Ecol. Manage., in press.
- KAHN, M.; PRETZSCH, H., 1998: Parametrisierung und Validierung des Wuchsmodells SILVA 2.2 für Rein- und Mischbestände aus Fichte, Tanne, Kiefer, Buche, Eiche und Erle, in KENK, G. (Hrsg.): Beiträge zur Jahrestagung der Sektion Ertragskunde 1998 in Kevelaer.
- KAUPPI, P. E.; MIELIKÄINEN, K.; KUUSELA, K., 1992: Biomass and carbon budget of European forests, 1971 to 1990, Science, Bd. 256, S. 70–74.
- KENK, G.; SPIECKER, H.; DIENER, G., 1991: Referenzdaten zum Waldwachstum, Kernforschungszentrum Karlsruhe, KfK-PEF 82, 59 S.
- MATYSSEK, R.; ELSTNER, E. F., 1997: Wachstum oder Parasitenabwehr? Wettbewerb um Nutzpflanzen aus Land- und Forstwirtschaft. Beantragung eines im Forschungsraum München geplanten Sonderforschungsbereiches (SFB 1642–98), 586 S.
- MESCHEDERU, M., 1997: Bilanzierung von Biomassen, Kohlenstoff- und Stickstoffgehalten mit dem Wuchsmodell SILVA 2.1, Bericht von der Jahrestagung 1997 der Sektion Ertragskunde im Deutschen Verband Forstlicher Forschungsanstalten in Grünberg, S. 35–44
- MIELIKÄINEN, K.; NÖJD, P., 1996: Growth trends in the Finnish forest – results and methodological considerations, Conference of Effects of Environmental Factors on Tree and Stand Growth, Techn. Univ. Dresden, Tagungsbericht, S. 164–174.
- MIELIKÄINEN, K.; 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.; KOHL, M.; SKOVGAARD, J. P. (Hrsg.): Growth Trends in European Forests, Springer-Verlag, S. 107–131.
- MYNENI, R. B.; KEELING, C. D.; TUCKER, C. J.; ASRAR, G.; NEMANI, R. R., 1997: Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1991, Nature, Vol. 386, S. 698–702.
- PRETZSCH, H., 1992: Konzeption und Konstruktion von Wuchsmodellen für Rein- und Mischbestände, Forstl. Forschungsberichte München, Nr. 115, 358 S.
- PRETZSCH, H., 1996a: Growth trends in Forests in southern Germany, S. 107–131, In: SPIECKER, H.; MIELIKÄINEN, K.; KOHL, M.; SKOVGAARD, J. P. (Hrsg.): Growth trends in european forests, Springer-Verlag, S. 107–131.
- PRETZSCH, H., 1996b: Zum Einfluß waldbaulicher Maßnahmen auf die räumliche Bestandesstruktur. Simulationsstudie über Fichten-Buchen-Mischbestände in Bayern, in G. MÜLLER-STARCK (Hrsg.): Biodiversität und nachhaltige Forstwirtschaft, S. 177–199.
- PIK, 1998: Klimaszenarien für den Versuchsbestand Freising 813/1 Kranzberger Forst, unveröffentlichte Datengrundlage.
- RODENKIRCHEN, H.; GÖTTLEIN, A., 1998: Kurzstellungnahme zu den standörtlichen Verhältnissen der Versuchsfläche im Kranzberger Forst, 2 S., unveröffentlicht.
- SCHAD, P.; HIRSCH, C., 1998: Wirkung von Ozon auf Wüchsigkeit und Schädlingsdisposition von Buche und Fichte in Mischbeständen. Interdisziplinäre Freilandstudie im Kranzberger Forst. Boden- und standortkundliche Voruntersuchungen von 1997, 10 S., unveröffentlichter Arbeitsbericht.
- SCHÖBER, R., 1967: Buchen-Ertragstafel, in SCHÖBER, R., 1975: Ertragstafeln wichtiger Baumarten. J. D. Sauerländer's Verlag.
- ULRICH, B., 1993: Prozeßhierarchie in Waldökosystemen. Ein integrierender ökosystemtheoretischer Ansatz, Biologie in unserer Zeit, 23. Jg., Nr. 5, S. 322–329.

Anschrift der Verfasser: Prof. Dr. HANS PRETZSCH, Dr. MARKUS KAHN, Dr. RÜDIGER GROTE, Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Ludwig-Maximilians-Universität München, Am Hochanger 13, D-85354 Freising, Deutschland, Tel.: ++49-8161-714710, Fax: ++49-8161-714721, E-Mail: H.Pretzsch@lrz.uni-muenchen.de, WWW: <http://www.wwk.forst.uni-muenchen.de/wwk/>