



Ein Modell zur Schätzung der jährlichen Zuwächse nach Durchforstungen am Beispiel von fichtendominierten Waldbeständen

Masterarbeit

Erstellt von:

Florian Irauschek, Bakk. techn.

Betreuer:

O. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. nat. techn. Hubert Sterba

Ass. Prof. Dipl.-Ing. Dr. nat. techn. Otto Eckmüller

Universität für Bodenkultur Wien

Department für Wald- und Bodenwissenschaften

Institut für Waldwachstumsforschung

Wien, Juni 2010

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Problemstellung.....	1
1.2	Zielsetzung.....	2
2	Methodik.....	3
2.1	Datenaufnahme.....	3
2.1.1	Untersuchungsgebiet	3
2.1.2	Stichprobeninventur	4
2.1.3	Auswahl der Durchforstungspunkte	5
2.1.4	Aufnahmen bei Durchforstungspunkten	6
2.1.5	Erhebung der Durchforstungszeitpunkte.....	7
2.2	Der Waldwachstumssimulator PROGNAUS.....	7
2.2.1	Datengrundlage.....	7
2.2.2	Modellcharakteristika	8
2.2.3	Spezielles Aufnahmedesign bei Durchforstungspunkten	8
2.3	Datenherleitung.....	10
2.3.1	Rekonstruktion der repräsentierten Grundfläche/ha.....	10
2.3.2	Aussagen aus den Stockaufnahmen.....	10
2.3.3	Rindenzuwachs.....	11
2.3.4	Generierung der fehlenden Durchmesser	11
2.3.5	Rekonstruktion der Prohebäume vor der Durchforstung.....	13
2.3.6	Höhenmodelle	13
2.3.7	Kronenmodelle	14
2.3.8	Probepunkte ohne Durchforstung	14
2.4	Zuwachsschätzung aus den Ertragstafeln	14

2.5	Begriffsdefinition: Bohrungsdaten – Rekonstruierte Werte – PROGNAUS	15
3	Ergebnisse	16
3.1	Charakterisierung der Bestände	16
3.2	Zuwachsreaktion errechnet aus den Bohrungsdaten	17
3.3	Einzelbaumvergleich mit PROGNAUS.....	23
3.4	Vergleich der Kreisflächenzuwächse pro Hektar	24
3.5	Modellierung der jährlichen Zuwächse	28
4	Diskussion.....	31
4.1	Zuwachsreaktion der Einzelstämme:.....	31
4.1.1	Kurzfristige Zuwachsreaktion	31
4.1.2	Entwicklung der Zuwachsreaktion:	33
4.2	Einzelbaum-Zuwachsvergleich mit PROGNAUS	34
4.3	Zuwachsentwicklung pro Hektar	35
4.3.1	Vergleich mit PROGNAUS.....	36
4.3.2	Vergleich mit den Ertragstafelberechnungen	36
5	Schlussfolgerungen	37
6	Literatur	38

Abstract

The aim of this thesis was to analyse the annual growth response after thinning in pure spruce stands and spruce stands with intermingled larch. Therefore 46 stands, which were thinned during the past 20 years, and 12 unthinned stands were measured by one angle count each. Thinning intensity was estimated by measuring the stumps. Increment cores were drilled from three spruce trees and one larch tree and the year rings were used to reconstruct the basal area growth after thinning. To estimate the diameter of the remaining trees a Weibull function was adopted for each sample. On average, a measurable increment in growth of the single trees occurred starting from the third year after thinning and had a maximum response in the 7th year with an increment of 50 percent compared to pre-thinned growth. Larch reacted sooner but less pronounced. When the results of the growth response per stand were compared to the growth model PROGNAUS (Sterba et al, 1995), the model overestimated the growth in the first 5-year period. Using the tree ring data, a model was calculated to illustrate the annual dynamics of the basal area increment after thinning. Growth in the first year after thinning was significantly lower, while in the 4th year it was significantly higher compared to unthinned stands.

Keywords: thinning, tree-ring analysis, PROGNAUS, annual growth response, inventory, *Picea abies*, *Larix decidua*

Kurzfassung

Um die Auswirkungen von Durchforstungen auf den Kreisflächenzuwachs zu analysieren, wurden für diese Arbeit bei 46 Winkelzählproben in durchforsteten Beständen und bei 12 Proben in undurchforsteten Beständen Daten erhoben, wobei an jeweils drei Fichten-Weiserstämmen und einem Lärchen-Weiserstamm zusätzlich Zuwachsbohrungen durchgeführt wurden. Eine Quantifizierung der Durchforstungsstärke erfolgte durch Aufnahme der Stöcke mit dem Relaskop. Mithilfe der Bohrkerns konnten zunächst die Entwicklung der Brusthöhendurchmesser rekonstruiert und, durch Anpassung einer Weibull-Funktion, die Durchmesser der anderen Probestämme geschätzt werden. Im Mittel reagierten die Fichten erst ab dem dritten Jahr nach dem Eingriff mit einer messbaren Zuwachssteigerung, die maximale Reaktion wurde im 7. Jahr mit 50% Steigerung im Vergleich zum Kreisflächenzuwachs vor der Durchforstung festgestellt. Beim Vergleich der Zuwächse je Hektar mit dem Waldwachstumssimulator PROGNAUS zeigte sich, dass dieser die Zuwächse in der 5-Jahres-Periode nach der Durchforstung im Mittel überschätzte. Aus den Bohrungsdaten wurde ein Modell erstellt, welches die Zuwachsdynamik während der 5-Jahres-Perioden darstellt. Dabei ergaben sich, verglichen mit undurchforsteten Beständen, für das erste Jahr nach der Durchforstung signifikant niedrigere, sowie für das 4. Jahr signifikant höhere Zuwächse.

Schlagwörter: Durchforstung, Jahrringanalyse, PROGNAUS, jährliche Zuwachsreaktion, Inventur, *Picea abies*, *Larix decidua*

Vorwort

Zu Beginn möchte ich mich bei jenen bedanken, die diese Arbeit ermöglicht haben: bei Professor Dr. Otto Eckmüllner, der die Idee zu dieser Arbeit geboren und mir bei den Berechnungen am Computer mit Rat und Hilfe beiseite gestanden hat, sowie bei Professor Dr. Hubert Sterba, der bei auftauchenden Problemen immer ein offenes Ohr hatte und mich besonders am Ende bei der Feinabstimmung der Arbeit unterstützt hat.

Mein besonderer Dank gilt darüber hinaus dem Geschäftsführer der Umweltdata GmbH, Dipl. Ing. Günther Bronner, der bei der Entwicklung der Konzeption der Arbeit beteiligt war und mir die unkomplizierte Aufnahme des zugrunde liegenden Datenmaterials ermöglichte.

Außerdem möchte ich mich beim Forstbetrieb Mayr-Melnhof-Saurau bedanken, der mir die Erhebung der Jahrringdaten gestattete und mich bei der Erhebung der Archivdaten unterstützte.

Zum Abschluss danke ich meiner Familie, die mir das Studium ermöglicht und mich immer unterstützt hat.

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Um die Nachhaltigkeit in einem Forstbetrieb gewährleisten zu können, ist es wichtig, die jährliche Nutzungsplanung möglichst exakten Berechnungen der Veränderungen des nutzbaren Holzvorrates gegenüberzustellen.

Klassischerweise wird hierfür als Grundlage die Ertragstafel verwendet. Dieses Prognoseinstrument hat eine über zweihundertjährige Geschichte und liefert abhängig von Baumart, Alter, Höhe und Bestockungsgrad für den geographischen Gültigkeitsbereich eine in der Praxis immer noch weit verbreitete Richtmarke für den Holzertrag (Pretzsch, 2000).

Jedoch liefert eine Ertragstafel nur dann Schätzungen mit akzeptabler Genauigkeit, wenn die über die gesamte Umtriebszeit unterstellte Bestandesbehandlung durchgeführt wird und die Umwelteinflüsse konstant bleiben. Die Strategie der in den Ertragstafeltabellen fixierten Durchforstungseingriffe ist darauf ausgelegt, schwache bis mäßige Durchforstungseingriffe in Abständen von 10 Jahren durchzuführen. Dadurch kommt es nur zu geringfügiger Absenkung des Bestockungsgrades und zu konstanter Zuwachsleistung.

In der heutigen Zeit sind Durchforstungsregime mit wenigen und zugleich starken Eingriffen verbreitet, wodurch auch die Lichtverhältnisse am Waldboden stärkeren Schwankungen unterworfen sind. Durch diese Strategie versucht man den in den letzten Jahrzehnten steigenden Holzerntekosten bei zugleich sinkenden Holzerträgen entgegenzuwirken, da bei dieser Art der Durchforstungsplanung pro Eingriff mehr Holz pro Fläche anfällt und durch die stärkeren Dimensionen eher positive Deckungsbeiträge zu erzielen sind (Neumann, 2003).

Mit zunehmender Verfügbarkeit von Bestandesdaten durch Rasterstichprobenerhebungen, Standortkartierungen und der Verfügbarkeit von technischen Hilfsmitteln wie GPS, digitalen Geländemodellen und flächendeckender EDV-Ausstattung mit GIS stehen heutzutage viel umfangreichere Bestandes- und Standortinformationen zur Verfügung, welche Eingang in komplexe rechnerische Modelle zur Beschreibung der Bestandesentwicklung finden (Pretzsch, 2000).

In Europa wurden ab etwa 1990 verschiedene Einzelbaumwachstumsmodelle entwickelt, die es ermöglichen, das Wachstum von beliebigen Beständen in Abhängigkeit von unterschiedlichen Durchforstungsstrategien, Baumartenanteilen und Altersstrukturen zu prognostizieren (Hasenauer, 2006).

Ein Beispiel für einen Einzelbaumsimulator ist das Modell PROGNAUS (Sterba et al., 1995), welches auf den Daten der Österreichischen Waldinventur (ÖWI) 1986-1990 basiert. Diese haben zwar den Vorteil, dass sie in einem regelmäßigen Raster über ganz Österreich aufgenommen wurden, jedoch wird jeder Punkt nur alle 5 Jahre erhoben. Die Reaktion auf Durchforstungseingriffe kann daher nur über eine 5-Jahres-Periode gemittelt aufgenommen werden. Im Modell wird ein Durchforstungseingriff nicht direkt durch den Anteil der entnommenen Grundfläche oder der Zeit seit der Durchforstung berücksichtigt, sondern der Zuwachs wird durch Maßzahlen der Bestandesdichte und Konkurrenzindizes modifiziert, welche das potentielle Wachstum eines Baumes einer bestimmten Größe je nach Standort vermindern (Sterba et al, 1995).

1.2 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist es, mithilfe von Daten aus Zuwachsbohrungen, die im Rahmen einer Stichprobeninventur aufgenommen wurden, die Reaktion von fichtendominierten Beständen nach einer Durchforstung zu rekonstruieren. Es soll dabei untersucht werden, wie sich die Reaktion des Zuwachses nach der Durchforstung entwickelt. Dabei ist von Interesse, ab welchem Zeitpunkt und in welchem Ausmaß ein Anstieg des Kreisflächenzuwachses am einzelnen Baum eintritt. Anhand von Vergleichsflächen in undurchforsteten Beständen soll abgeschätzt werden, wie lange es dauert, bis der Bestand wieder an die flächenbezogene Wuchsleistung des undurchforsteten Bestandes herankommt und wie lange die Durchforstung Einfluss auf die Zuwachsentwicklung hat.

Die durch die Daten aus den Zuwachsbohrungen rekonstruierten Bestände sollen mit den Ergebnissen einer Simulation durch das Kreisflächenzuwachsstadium von PROGNAUS und mit Ertragstafelsberechnungen verglichen werden und dabei auftretende systematische Abweichungen analysiert werden.

Am Ende soll, ausgehend vom bestehenden Kreisflächenzuwachsmodell von PROGNAUS für 5-Jahres-Perioden, ein Kreisflächenzuwachsmodell für 1-Jahres-Perioden abgeleitet werden.

2 Methodik

2.1 Datenaufnahme

2.1.1 Untersuchungsgebiet:

Das Untersuchungsgebiet umfasst die Reviere Mautern und Trofaiach des Forstbetriebes Mayr-Melnhof-Saurau (Steiermark, Österreich). Die beiden Reviere liegen am und um den Gebirgsstock Reiting am südlichen Rand der Eisenerzer Alpen. Die Hauptaufnahmegebiete waren in den beiden in Nord-Süd-Richtung verlaufenden Tälern Reitingau und Magdwiesen, welche in Mautern in das Liesingtal einmünden, sowie im Gößgraben, welcher in Ost-West-Richtung verläuft und nach Trofaiach führt. Die Seehöhe des Aufnahmegebietes liegt zwischen 800 und 1500m. Abbildung 1 zeigt für die Klimaperiode 1971-2000 die mittleren Temperaturen und Niederschlagssummen je Monat aufgenommen in Bruck/Mur, das etwa 30 Kilometer östlich vom Aufnahmegebiet entfernt auf einer Seehöhe von 428m liegt.

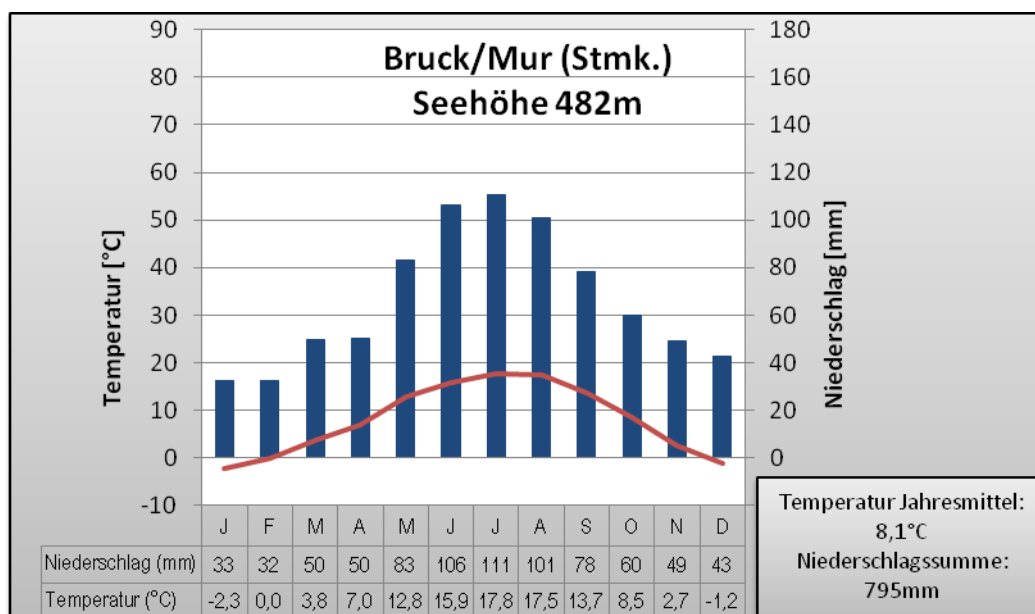


Abbildung 1: Klimadiagramm von Bruck/Mur, Steiermark; Klimanormalwerte der Periode 1971-2000 (www.zamg.ac.at)

Im östlichen Teil des untersuchten Gebietes überwiegt als Grundgestein Karbonat (Devon-Kalke), während im westlichen Teil Grauwackenschiefer dominieren. (www.wikipedia.de)

In den tieferen Lagen, sowie über karbonat-beeinflussten Grundgestein, treten meist Braunerdeböden auf. Mit zunehmender Seehöhe sind häufiger Semipodsol-Böden sowie, auf entsprechenden Standorten, Rendsina- bzw. Rankerböden anzutreffen.

Im Betrieb herrscht als Bewirtschaftungsform, mit Ausnahme von wenigen Sonderstandorten, die schlagweise Nutzung mit nachfolgender Pflanzung vor. Es ist ein gut ausgebautes Forststraßennetz vorhanden, und die Nutzung erfolgt größtenteils durch Seilkräne. Die weitaus häufigste Baumart ist die Fichte, teilweise sind Lärchengruppen beigemischt. Nur vereinzelt treten Tanne und Waldkiefer auf, in den Tallagen auch Bergahorn und Buche.

2.1.2 Stichprobeninventur:

Die Aufnahmen wurden im Juni und Juli 2009 an ausgewählten Erhebungspunkten einer Stichprobeninventur für die Reviere Mautern und Trofaiach gewonnen. Bei der Inventur wurde ein quadratisches Raster mit 280m Seitenlänge zur Auswahl der Stichprobenpunkte verwendet. Die Punkte wurden mittels eines GPS-Geräts im Gelände aufgesucht und eine Einmann-Winkelzählprobe nach Eckmüllner (2001) mit Zählfaktor 4 und einer Kluppschwelle von 7cm Brusthöhendurchmesser (BHD) durchgeführt. Die Identifizierung der Weiserstämme, an denen BHD- und Höhenmessungen durchgeführt wurden, erfolgte dabei durch gutachtliche Schätzung der Aufnahmeperson.

Folgende Weiserstämme wurden jeweils für die Baumartengruppen Fichte/Tanne, Lärche/Kiefer sowie Laubholz ermittelt:

- Kreisflächenzentralstamm

Ab 5 Bäumen pro Baumartengruppe zusätzlich:

- Oberstamm: Anstatt der 12 stärksten m^2/ha (siehe Oberhöhendefinition nach Pollanschütz (1970)) wurde der zweitstärkste Stamm der Winkelzählprobe gemessen, der, wie Eckmüllner (2001) zeigen konnte, nicht systematisch vom Oberhöhenstamm abweicht. Dieser wird im Weiteren als Oberstamm bezeichnet.

- Unterstamm: Als Unterstamm wurde in Analogie zum Oberhöhenstamm der zweitschwächste Baum der Winkelzählprobe definiert.

An den Weiserstämmen wurden die Bruthöhendurchmesser mit einem π -Band gemessen (in cm, ganzzahlig abgerundet). Die Höhe und der Kronenansatz des Zentralstammes und des Oberhöhenstammes wurden auf ganze Meter genau gemessen. Am Unterstamm wurde das Kronenprozent auf Zehntel genau geschätzt.

2.1.3 Auswahl der Durchforstungspunkte:

Von den Aufnahmepunkten der Stichprobeninventur sollten jene genauer vermessen werden, die in der Vergangenheit einer Durchforstung unterzogen wurden. Seit diesem einmaligen Eingriff sollte eine möglichst ungestörte Zuwachsentwicklung stattgefunden haben. Punkte, in deren Einflussbereich Kalamitäten durch Windwurf, Schneebruch oder Borkenkäferbefall stattgefunden hatten, wurden deshalb nicht berücksichtigt. Auch Probepunkte in geschälten Beständen wurden nicht herangezogen.

Weiters wurden nur Stichprobenpunkte berücksichtigt, die schwerpunktmäßig mit Fichten und Lärchen bestockt waren. Daher wurden nur Punkte mit maximal einem Laubholzstamm bzw. einer Weißtanne (*Abies alba Mill.*) aufgenommen, wobei von den 68 für diese Arbeit relevanten „Durchforstungspunkten“ nur drei einen Laubholzstamm bzw. einer eine Tanne aufwiesen. Die Tanne wurde nicht als Weiserstamm herangezogen. Tanne und Laubholz wurden für alle weiteren Berechnungen als Fichte angenommen.

Um mögliche Einflüsse durch längerfristige Veränderungen des lokalen Klimas auf die Zuwachsreaktion zu vermindern, sollten die Bestände nur in einem festgelegten Zeitfenster durchforstet worden sein: Der BHD des Zentralstammes sollte deshalb zum Aufnahmezeitpunkt maximal 45cm betragen und es sollten nur Flächen der Wuchsklassen Stangen- und Baumholz aufgenommen werden.

Am Probepunkt sollten nur Stöcke zu finden sein, die aus ein und derselben Vornutzung stammen und dieser Eingriff sollte bis zum Jahr 2003 erfolgt sein, damit eine etwaige Zuwachsreaktion zumindest über 5 Vegetationsperioden beobachtet werden kann.

Zu Vergleichszwecken sollten auch Probepunkte nicht durchforsteter Bestände aufgenommen werden. Diese sollten eine geschlossene Bestandesstruktur aufweisen, und es

sollten keine Stöcke von Nutzungen vorhanden sein. Die oben genannten Kriterien hinsichtlich Kalamitäten und Vergleichszeitraum hatten auch hierbei Gültigkeit.

2.1.4 Aufnahmen bei Durchforstungspunkten:

Durch die Auswahlkriterien wurden von den 509 Stichprobenpunkten der Inventur 68 als relevant für das Durchforstungsmodell ausgeschieden.

Um den Durchforstungseingriff hinsichtlich der Stärke grob zu quantifizieren, wurden die Stöcke aufgenommen. Dazu wurden sie mit dem Relaskop (Zählbreite 4) an der Oberkante anvisiert und die Anzahl pro Punkt erhoben.

Anhand der räumlichen Verteilung sowie der Uniformität der Stockdurchmesser wurde die Durchforstungsart charakterisiert. Bestände, bei denen die Durchmesser der Stöcke geringer als die Durchmesser des verbleibenden Bestandes waren, wurden als „niederdurchforstet“ charakterisiert, solche mit Stöcken, die in etwa dem verbleibenden Bestand entsprachen bzw. auch größere Stöcke enthielten, wurden als „auslesedurchforstet“ bezeichnet.

Aufgrund des Stichprobendesigns mit nur einer aufnehmenden Person wäre eine detailliertere Aufnahme (Koordinaten, Stockhöhe, Stockdurchmesser) der entnommenen Bäume mit einem beträchtlichen zeitlichen Mehraufwand verbunden gewesen. Dem Verfasser dieser Arbeit ist deshalb bewusst, dass die erfolgte Charakterisierung mit einer hohen Streuung und eventuell auch systematischen Fehlern im Zusammenhang mit der Visur bzw. bedingt durch den fortschreitenden Zerfallsprozess der Stöcke verbunden war. Daraus gewonnene Daten sind deshalb eher als qualitative Variablen zu interpretieren und für einen Vergleich zwischen den Probepunkten geeignet.

An den Weiserstämmen je Baumart (Oberhöhenstamm/Unterstamm/Zentralstamm) wurden Zuwachsbohrungen durchgeführt. Die Bäume wurden jeweils in Brusthöhe, in Richtung Probenmittelpunkt von hangoberseits, bis zum Kern mit einem Zuwachsbohrer angebohrt. Die Bohrkerne wurden mit einem optischen Jahringmessgerät (Digitalpositiometer nach Johann (1977)) am Institut für Waldwachstumsforschung detailvermessen. Dabei wurden die Jahringbreiten des Holzes mit einer Genauigkeit von 1/100mm vom letzten vollständigen Jahring bis zum Kern vermessen. Der unvollständige Jahring von 2009, sowie Kambium und Rinde wurden nicht erfasst.

2.1.5 Erhebung der Durchforstungszeitpunkte:

Um die Bohrkerne korrekt interpretieren zu können, mussten die jeweiligen Zeitpunkte der Durchforstungen bestimmt werden. Dazu wurden die im Forstbetrieb schriftlich vorliegenden Nutzungsnachweisungen herangezogen. Diese lieferten für die Probepunkte jeweils das Kalenderjahr der Durchforstungseingriffe. Somit muss hierbei eine Genauigkeit von $\pm$ einem Jahr eingeräumt werden.

2.2 Der Waldwachstumssimulator PROGNAUS

2.2.1 Datengrundlage:

Die Daten für das Kreisflächenzuwachsmodell von PROGNAUS stammen aus der Österreichischen Waldinventur der Aufnahmen 1981 bis 1993 (Sterba et al, 1995).

Dabei wurden systematisch, über ganz Österreich verteilt, fixe Probepunkte eingerichtet und im Abstand von 5 Jahren detaillierte Erhebungen durchgeführt. Die Probeflächenmittelpunkte sind, durch im Boden versenkte Eisenstäbe, versteckt markiert und somit bei etwaigen Nutzungseingriffen unsichtbar, um systematische Verfälschungen zu vermeiden. Das Stichprobennetz hat eine Rasterweite von 3,89 Kilometer und erstreckt sich über das gesamte Bundesgebiet. An den Rasterpunkten wurde, an den Eckpunkten eines 200x200m Quadrates, ein Cluster mit 4 Winkelzählproben vermessen. Daraus ergaben sich 5416 Cluster, die Daten für das Modell von PROGNAUS lieferten. Die Winkelzählproben wurden mit Zählbreite 4 und einer Kluppschwelle von 10,4cm Brusthöhendurchmesser durchgeführt. Zusätzlich wurden auf einem kleinen Probekreis mit 2,5m Radius Bäume im Durchmesserbereich von 5-10,4cm aufgenommen. Bei den Probebäumen wurden jeweils Brusthöhendurchmesser, Höhe und Kronenansatzhöhe gemessen, und auf einem fixen Probekreis mit 300m² wurden diverse Standortmerkmale erhoben (Schieler & Hauk, 2001).

Durch die große Anzahl an Erhebungsvariablen und die systematische Verteilung der Probepunkte über ganz Österreich liefert die Waldinventur Datenmaterial über forstliche Nutzungen in einem weiten Spektrum von Eingriffsstärken und Ausgangszuständen.

2.2.2 Modellcharakteristika:

Aus den Daten der Waldinventur wurden für die Baumarten Fichte, Tanne, Lärche, Weißkiefer, Schwarzkiefer, Zirbe, Buche, Eiche und für „sonstiges Laubholz“ Koeffizienten für ein logarithmisches Kreisflächenzuwachsmodell abgeleitet, das wie folgt aufgebaut ist:

$$\ln(BAI) = a + b \times SIZE + c \times COMP + s \times SITE$$

BAI Grundflächenzuwachs

a, b, c und s ... baumartenspezifische Konstante

SIZE Dimensions-Term mit Brusthöhendurchmesser und Kronenprozent als Variable

COMP Konkurrenz-Term mit der „Basal Area in Larger Trees“ nach Wykoff (1990) und dem “Crown Competition Factor” nach Krajicek et al (1961) als Variable

SITE.... Term mit diversen Standortmerkmalen

2.2.3 Spezielles Aufnahmedesign bei Durchforstungspunkten:

Die Aufnahme von Standortmerkmalen wurde nach den Kriterien der Österreichischen Waldinventur (2000/2002) durchgeführt, um die nötigen Eingangsdaten für einen Vergleich mit PROGNAUS zu erhalten.

Folgende Standortmerkmale nach Schieler & Hauk (2001) wurden aufgenommen:
[vereinfacht für die relevanten Baumarten und Standorte im Aufnahmegebiet]

- Forstliches Wuchsgebiet: Nach der Gliederung der forstlichen Wuchsgebiete Österreichs nach Kilian et al (1994) liegt das gesamte Aufnahmegebiet im Bereich 3.1 östliche Zwischenalpen-Nordteil.
Für PROGNAUS ist hierbei die „Standortskartierung der forstlichen Bundesversuchsanstalt“ relevant (Autorenkollektiv Waldkartierung, 1960-1981 zitiert nach www.bfw.ac.at (a)). Das Aufnahmegebiet liegt nach dieser Gliederung im Gebiet 11 (nördliche Zentralalpen, östlicher Teil) (www.bfw.ac.at (b)).
- Seehöhe: [in 100m-Stufen]
- Neigung: Messung in Prozent [10%-Stufen] im Gelände mit dem Relaskop
- Exposition: 8 Richtungen (N, NO, O, SO, S, SW, W, NW)

- Makrorelief: Ober-, Mittel- und Unterhang
- Wasserhaushalt: Bei den Aufnahmen wurde nur zwischen „trockenen“, „mittelfeuchten“ und „feuchten“ Standorten unterschieden. Diese Vereinfachung war möglich, weil in PROGNAUS für die Baumarten Fichte und Lärche nur diese Abstufung relevant ist und deshalb die Unterscheidung der Stufen „mäßig frisch“, „frisch“ und „sehr frisch“ nicht erforderlich war. Der Wasserhaushalt sollte die durchschnittliche Wasserversorgung darstellen und wurde im Feld durch die Kombination der Merkmale Relief, Bodentyp, Neigungsrichtung und durch das Vorkommen von Zeigerpflanzen ermittelt.
- Humusmächtigkeit: Vom Auflagehumus wurde die F-Schicht (=Vermoderungsschicht, Fermentationshorizont) und die H-Schicht (=Humifizierungsschicht, Humusstoffhorizont) aufgenommen. Die L-Schicht (=unzersetzte Streu) wurde nicht gemessen. Die Mächtigkeit wurde durch Grabung mit einem Spaten an einer repräsentativen Stelle in der Nähe des Probenpunktes festgestellt. Die Messung erfolgte auf ganze Zentimeter genau.
- Gründigkeit des Bodens: „Als Gründigkeit gilt die Tiefe, die beim Aufgraben mit dem Spaten erreichbar ist.“ Humusaufgaben wurden dabei nicht berücksichtigt. Die Aufnahme der Kategorie erfolgte in Gründigkeit kleiner oder größer 30cm.
- Bodengruppe: (für das Aufnahmegebiet relevante Typen)
 - Rohböden und Ranker
 - Magere Braunerde auf nährstoffarmem Kristallin
 - Kalkbraunerde
 - Semipodsol auf nährstoffarmem Kristallin
 - Leichte Braunerde und podsolige Braunerde auf Lockersedimenten
- Vegetationstyp : (für das Aufnahmegebiet relevante Typen)
 - Mäßig frische Kräutertypen
 - Sauerkleetypen
 - Üppiger Astmoos-Heidelbeere-Drahtschmiele-Typ
 - Niedriger Astmoos-Heidelbeere-Drahtschmiele-Typ
 - Moostyp
 - Drahtschmieletyp
 - Hochstaudentyp

2.3 Datenherleitung

2.3.1 Rekonstruktion der repräsentierten Grundfläche/ha:

Da nur Bestände aufgenommen werden sollten, die sich ohne größere Störungen entwickeln konnten, wurde die Annahme getroffen, dass sich die Stammzahl am Stichprobenpunkt vom Zeitpunkt der Durchforstung bis zur Aufnahme nicht verändert hat und der Kreisflächenzentralstamm derselbe Probestamm geblieben ist.

Für die Winkelzählprobe nach Bitterlich (1948) gilt, dass die repräsentierte Stammzahl eines Probestammes gleich dem Quotienten aus dem Zählfaktor (k) und der Grundfläche des Probestammes ist.

Die Grundfläche des Probestammes zum Zeitpunkt der Durchforstung lässt sich durch die Bohrungen rekonstruieren. Mit der Annahme, dass die repräsentierte Stammzahl gleich bleibt und der Weiserstamm derselbe bleibt, ergibt sich eine neue repräsentierte Kreisfläche pro Hektar zum Zeitpunkt der Durchforstung. Das Produkt der repräsentierten Stammzahl 2009 und der Kreisfläche zum Zeitpunkt der Durchforstung ergibt die Grundfläche je Hektar zum Zeitpunkt der Durchforstung.

$$g_{rep} = n_{rep}(2009) * g(DF)$$

g_{rep} repräsentierte Grundfläche je Hektar

$n_{rep}(2009)$ Repräsentierte Stammzahl zum Zeitpunkt der Aufnahme 2009

$g(DF)$ Kreisfläche je Hektar zum Zeitpunkt der Durchforstung

2.3.2 Aussagen aus den Stockaufnahmen:

Bei der Auswertung des ausgeschiedenen Bestandes durch Anvisieren der Stöcke mit dem Relaskop tritt dieses Problem nicht auf, da die Stöcke seit der Durchforstung nicht weiterwachsen konnten. Allerdings konnte bei den Aufnahmen nicht auf die vorgesehene Höhe von 1,3m visiert werden. Um eine systematische Überschätzung der daraus ermittelten ausgeschiedenen Grundfläche auszugleichen, wurde die Zählbreite für die durch die Stöcke repräsentierten Bäume um 10% vermindert, was einer Reduktion des

Durchmessers von Brusthöhe bis Stockhöhe um den Faktor $\sqrt{0,9}$ entspricht. Diese relativ geringe Abholzigkeit von ca. 5,1% ist damit zu argumentieren, dass das Gebiet aufgrund der Steilheit des Geländes größtenteils mit Seilkränen genutzt wurde und deshalb die Stockhöhe relativ hoch anzunehmen war.

Durch die unsichere Datengrundlage bei der Aufnahme des ausgeschiedenen Bestandes und mögliche systematische Aufnahmefehler durch die Annahmen bei der Stockvisur ist das Entnahmeprozent lediglich für qualitative Aussagen über die Durchforstungsstärke und Vergleiche zwischen den Probepunkten herangezogen worden.

2.3.3 Rindenzuwachs:

Die Dicke der Rinde wurde anhand der BHD-Messungen der Probestämme bei der Winkelzählprobe geschätzt. Die Differenz der BHD-Messungen mit dem π -Band im Feld und der Summe der doppelten Jahrringbreiten wurde relativ zum geleisteten Zuwachs des Jahres als Rindenzuwachs angenommen.

$$\frac{Rindenstärke(R)BHDmR - 2 * \sum JB}{2} =$$

$$iR = R * \frac{JB}{\sum JB}$$

BHDmR..... Brusthöhendurchmesser mit Rinde

JB.....Jahrringbreite (aus Bohrung)

R...Rindenstärke

iR...Rindenzuwachs

Zum Aufnahmezeitpunkt ergab sich, relativ zum Brusthöhendurchmesser, ein mittleres Rindenprozent von 8,0 für Fichte (158 Messungen) und 16,3 für Lärche (24 Messungen).

2.3.4 Generierung der fehlenden Durchmesser:

Um einen Vergleich mit Zuwachsmodellen durchzuführen zu können, mussten, ausgehend von den rekonstruierten Brusthöhendurchmessern der Weiserstämme, die Durchmesser

aller in der jeweiligen Stichprobe vertretenen Bäume hergeleitet werden. Dazu wurde jeweils eine Weibull-Funktion angepasst und damit die Häufigkeit der Kreisflächen errechnet.

Aufgrund ihrer Flexibilität lassen sich mit dieser Funktion unterschiedliche Durchmesserverteilungen sehr gut darstellen. Deshalb wird sie häufig verwendet, um Verteilungen zu ergänzen und in Simulatoren einzusetzen (Merganič & Sterba, 2006).

Die Dichte-Funktion der Weibull-Verteilung ist definiert als:

$$f(x) = \frac{c}{b} * \left(\frac{x - \alpha}{b}\right)^{c-1} * e^{-\left(\frac{x - \alpha}{b}\right)^c}$$

$f(x)$...Dichtefunktion der Bäume mit BHD = x ($\alpha \leq x$)

α ...Lageparameter

b ...Skalierungsparameter

c ...Formparameter

Unter der Annahme, dass der Brusthöhdurchmesser nicht kleiner als 0 wird, gilt $\alpha = 0$.

$$f(x) = \frac{c}{b} * \left(\frac{x}{b}\right)^{c-1} * e^{-\left(\frac{x}{b}\right)^c}$$

Folglich lautet die Wahrscheinlichkeitsfunktion (Integral der Dichtefunktion):

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{b}\right)^c}$$

Umgeformt nach $\ln(x)$ ergibt sich:

$$\ln(x) = \ln b - \frac{1}{c} * \ln [-\ln(1 - F(x))]$$

Für diese Funktion wurde für jeden Punkt ausgehend von den rekonstruierten Werten der Weiserstämme eine lineare Regression durch die Methode der kleinsten Quadrate berechnet.

F(x) für den Unterstamm:

$$F(x) = \frac{1,5}{z}$$

F(x) für den Oberhöhenstamm lautet:

$$F(x) = 1 - \frac{1,5}{z}$$

F(x) für den Zentralstamm lautet:

$$F(x) = \left(\text{round} \left(\frac{z+1}{2} \right) + 0,5 \right) * \frac{1}{z}$$

z... Anzahl der Probestämme in der Winkelzählprobe

round (x)... Runden auf ganze Zahlen

Die Formeln für die Berechnung von F(x) ergeben sich durch die Auswahl der Weiserstämme und durch die Annahme, dass jeweils 50 Prozent der durch den Weiserstamm repräsentierten Stämme einen kleineren und 50 Prozent einen größeren Durchmesser als dieser aufweisen.

2.3.5 Rekonstruktion der Probebäume vor der Durchforstung:

Um die Bruthöhendurchmesser der Einzelstämme als Ausgangslage für die Simulation des Wachstums vor der Durchforstung zu erhalten, wurde zunächst die Summe der Kreisflächen je Hektar errechnet. Diese ergab sich als Summe der repräsentierten Kreisflächen/ha der einzelnen Probebäume zum Zeitpunkt der Durchforstung und der durch die Stöcke repräsentierten Grundfläche (je 3,6 m²/ha pro Stock). Die Kreisfläche/ha vor der Durchforstung wurde durch die repräsentierte Kreisfläche des Zentralstammes dividiert, um die Anzahl der Probestämme für die Kalkulation der Einzeldurchmesser mithilfe der Weibull-Funktion 5 Jahre vor der Durchforstung zu erhalten.

In Beständen mit Lärchen wurde die durch die Stöcke repräsentierte Grundfläche gemäß der prozentuellen Grundflächenanteile zum Zeitpunkt der Aufnahme 2009 auf die Baumarten aufgeteilt.

2.3.6 Höhenmodelle:

Um die derzeitigen Oberhöhen auf den jeweiligen Zeitpunkt der Durchforstung rückzurechnen, konnte für die Fichten ein lokales Oberhöhenmodell des Forstbetriebes Mayr-Melnhof herangezogen werden (Eckmüllner, 2002, unveröffentlicht). Für die Lärchen wurde die Oberhöhenfunktion der Ertragstafel für Südtirol verwendet (Tumler, 1992).

Ausgehend von den Oberhöhen und der Durchmesservertelung wurden mit Hilfe von Einheitshöhenkurven (Eckmüllner, 1985) die Höhen der einzelnen Bäume der Stichprobe berechnet.

2.3.7 Kronenmodelle:

Zur Berechnung des Crown-Competition-Factors nach Krajicek et al (1961) als Eingangsgröße für das Kreisflächenzuwachsmmodell von PROGNAUS wurden die Durchmesser von Solitärbäumen mit den Variablen Baumart und Bruthöhendurchmesser durch das Modell von Hasenauer (1994) geschätzt.

Zur Errechnung der Kronenprozente wurde das statische Kronenmodell von Hasenauer & Monserud (1996) herangezogen. Aus den Messungen der Zentral- und Oberhöhenstämme bei der Aufnahme 2009 ergab sich ein mittleres Kronenprozent von 51 für Fichte, bzw. 40 für Lärche. Das Kronenmodell lieferte für die gleichen Stämme systematisch höhere Werte (66% für Fichte bzw. 49% für Lärche). Deshalb wurde dem Modell ein baumartenspezifischer Korrekturfaktor hinzugefügt, welcher die errechneten Kronenprozente jeweils um die durchschnittliche relative Abweichung reduzierte (Fichte: 78,2%, Lärche: 83,2%).

2.3.8 Probepunkte ohne Durchforstung:

Um die undurchforsteten Punkte hinsichtlich des Bestandesalters vergleichbar zu machen, wurde ein „fiktives Durchforstungsalter“ unterstellt, welches durch die mittleren Alter der Durchforstungspunkte zum Zeitpunkt des Eingriffes in der jeweiligen Wuchsklasse und linearer Interpolation dazwischen zugewiesen wurde.

2.4 Zuwachsschätzung aus den Ertragstafeln

Als Grundlage für die Zuwachsermittlung wurden die Ertragstafel Fichte Mayr-Melnhof (Eckmüllner, 2002, unveröffentlicht) sowie die Ertragstafel Lärche Südtirol von Tumler (1992) herangezogen. Die Bonitierung wurde mit dem gebohrten Alter in Bruthöhe und der gemessenen Oberhöhe im Jahr 2009 durchgeführt. Davon ausgehend wurde mit den rekonstruierten Bestandeswerten zum Zeitpunkt der Durchforstung der laufende Zuwachs (LFZ) in Vorratsfestmeter/ha interpoliert. Dieser wurde mit den Werten der Zuwachsreduktionstabellen nach Kramer und Akca (1982) korrigiert, wodurch die Verminderung des Hektarzuwachses bei stärkerer Absenkung des Bestockungsgrades

berücksichtigt wird. Für Fichte wird dadurch eine Reduktion des Zuwachses um mehr als 5 Prozent erst ab einem Bestockungsgrad kleiner als 70 Prozent unterstellt, während die Lärche bereits bei einem Bestockungsgrad unter 90 Prozent 5 Prozent des Zuwachses verliert. Der resultierende jährliche Volumszuwachs wurde mit Hilfe der jeweiligen Lorey'schen Mittelhöhe und der Formzahl aus der Ertragstafel auf einen Kreisflächenzuwachs/ha umgerechnet. Das Fünffache dieses jährlichen Zuwachses wurde nun für die Vergleiche mit den aus den Bohrungsdaten rekonstruierten und mithilfe von PROGNAUS errechneten Werten herangezogen.

2.5 Begriffsdefinition:

Bohrungsdaten – Rekonstruierte Werte – PROGNAUS

Werte, die im Folgenden als **Bohrungsdaten** bezeichnet werden, stammen aus der Vermessung der Bohrkerne der verschiedenen Weiserstämme. Mithilfe des eruierten Durchforstungszeitpunktes wurde für den jeweiligen Aufnahmepunkt die Summe der Jahrringbreiten errechnet und mithilfe des in Kapitel 2.3.3 beschriebenen Rindenprozentes auf den Brusthöhendurchmesser für das gesuchte Jahr vor/nach der Durchforstung geschlossen.

Rekonstruierte Werte: Ausgehend von den Bohrungsdaten wurden durch die Weibull-Funktion die fehlenden Durchmesser der Stämme in den einzelnen Winkelzählproben ermittelt und damit, wie in Kapitel 2 beschrieben, die Grundfläche je Hektar für die jeweiligen Zeitpunkte rekonstruiert.

PROGNAUS: Für die PROGNAUS-Simulation wurden die Bohrungsdaten am Ende des Jahres vor der Durchforstung durch die Weibull-Funktion ergänzt. Danach wurden mithilfe der beschriebenen Modelle die Höhen und die Kronenvariablen der einzelnen Bäume der Winkelzählprobe berechnet. Für diese Ausgangsdaten wurden mit dem Kreisflächenzuwachsmoell von PROGNAUS die Zuwächse für die 5-Jahres-Perioden ermittelt. Die Simulation wurde für drei Perioden durchgeführt, wobei für die neu errechneten Kreisflächen am Anfang der Perioden jeweils neue Höhen und Kronenvariablen eingesetzt wurden.

3 Ergebnisse

3.1 Charakterisierung der Bestände

Von den 58 für die Auswertung relevanten Probepunkten lagen 38 in Fichten-Reinbeständen, 20 in Beständen mit einzelnen Lärchen, sowie 12 in undurchforsteten Beständen. Am häufigsten wurde die Durchforstung in der Wuchsklasse Baumholz-1 (BHD des Zentralstammes zwischen 20,5 und 35,5cm) durchgeführt (siehe Tabelle 1). In den Fichten-Reinbeständen hatte der Zentralstamm dabei ein mittleres Alter in Brusthöhe von 56 Jahren und es wurden etwa 50% der Grundfläche entnommen. Die Durchforstungen wurden im Mittel bei einer rekonstruierten Oberhöhe von 22,5m durchgeführt. Die undurchforsteten Bestände hatten zum Referenzzeitpunkt eine Oberhöhe von 16,7m. Insgesamt wurden nur 5 von 46 Durchforstungen mit „Niederdurchforstung“ kategorisiert. Es wurden 12 Punkte ohne Durchforstung erhoben. Die Punkte in auslesedurchforsteten Fichtenbeständen wiesen dabei in allen Wuchsklassen ein höheres mittleres Brusthöhenalter auf (Stangenholz +12 Jahre bzw. Baumholz-1 +10 Jahre) und jeweils höhere Maxima und Minima als die undurchforsteten Bestände.

Tabelle 1 Aufnahmepunkte in Fichten-Reinbeständen: (s...Standardabweichung, Min... Minimum, Max... Maximum)

Wuchsklasse (BHD)	keine Durchforstung		Niederdurchforstung			Auslesedurchforstung		
	Anzahl	Alter in BH	Anzahl	Alter in BH	Entnahme	Anzahl	Alter in BH	Entnahme
Jugend I (bis 10,4cm)	2	29				1	12	~60%
Stangenholz (bis 20,4cm)	4	Min 32	1	22	~60%	4	Min 15	~40%
		Mittel 35					Mittel 23	~60%
		Max 37					Max 26	~70%
		s 3%					s 5%	~20%
Baumholz I (bis 35,5cm)	4	Min 38	1	15	~70%	19	Min 35	~10%
		Mittel 66					Mittel 56	~50%
		Max 92					Max 97	~70%
		s 23%					s 15%	~20%
Baumholz II (bis 50,4cm)			1	57	~20%	1	99	~40%

Der Anteil der Lärche an der repräsentierten Gesamtstammzahl betrug 7%, wobei auf 34% der Probepunkte Lärchen vorhanden waren und auf diesen Punkten im Mittel 2,1 Lärchenstämme gemessen wurden. Auch die Bestände mit Lärchen wurden am häufigsten in der Wuchsklasse Baumholz-1 durchforstet. Sie hatten dabei im Mittel ein etwas jüngeres BHD-Alter (siehe Tab.2), wobei auffällig ist, dass hier die Vornutzungen über alle Wuchsklassen betrachtet in einem relativ einheitlichen BHD-Alter getätigt wurden.

Tabelle 2 Aufnahmepunkte in Fichtenbeständen mit Lärchenbeimischung
(s...Standardabweichung, Min... Minimum, Max... Maximum)

Wuchsklasse (BHD)	keine Durchforstung		Niederdurchforstung			Auslesedurchforstung		
	Anzahl	Alter in BH	Anzahl	Alter in BH	Entnahme	Anzahl	Alter in BH	Entnahme
Jugend I (bis 10,4cm)	1	7						
Stangenholz (bis 20,4cm)	1	27	1	30	~20%	3	Min 25 ~30% Mittel 42 ~30% Max 51 ~50% s 15% ~10%	
Baumholz I (bis 35,5cm)			1	46	~60%	12	Min 36 ~20% Mittel 47 ~50% Max 70 ~70% s 9% ~20%	
Baumholz II (bis 50,4cm)						1	66	~30%

3.2 Zuwachsreaktion errechnet aus den Bohrungsdaten

Um die Zuwächse der verschiedenen Standorte und Altersklassen vergleichen zu können wurde der jährliche Kreisflächenzuwachs des jeweiligen Probestammes in Relation zum mittleren Kreisflächenzuwachs der 5-Jahres-Periode vor dem Durchforstungseingriff gesetzt. In den Darstellungen sind nur Werte eingefügt, die durch den Mittelwert von mindestens 4 Stichprobenpunkten errechnet wurden. Es konnten 168 Bohrkerne datiert und vermessen werden. Davon waren 46 Fichten-Zentralstämme, je 44 Fichten-Ober- und Unterstämme und 17 Lärchen-Zentralstämme aus durchforsteten Beständen und 12 Fichten-Zentralstämme in undurchforsteten Beständen. Die restlichen Stämme (je 2 Lärchen-Ober- und Unterstämme aus Durchforstungen sowie 1 Lärchen-Zentralstamm aus einem undurchforsteten Bestand) werden in den Darstellungen auf Einzelbaumebene nicht berücksichtigt.

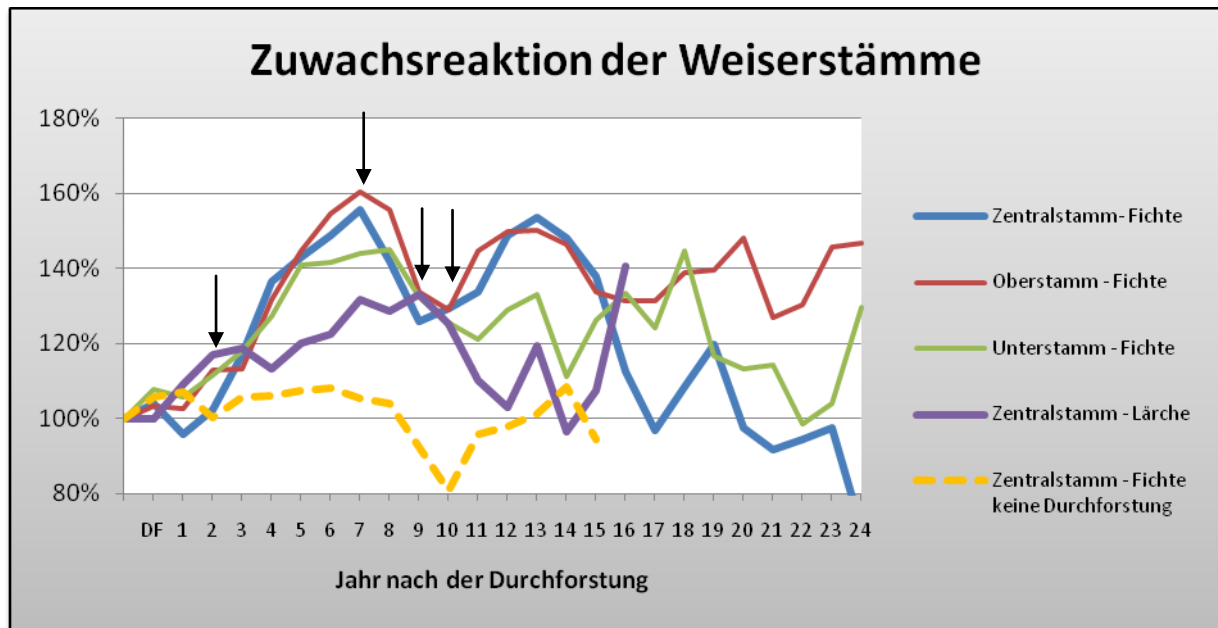


Abbildung 2: Veränderung des Kreisflächenzuwachses der Weiserstämme, nach Baumarten getrennt, relativ zum Mittelwert des Kreisflächenzuwachses in den 5 Wachstumsperioden vor der Durchforstung (DF = Jahr der Durchforstung)

Wie in Abbildung 2 ersichtlich, erfolgte eine deutliche Reaktion im Zuwachs erst ab dem zweiten Jahr nach der Durchforstung. Der Zuwachs des Zentralstammes Fichte lag in den ersten zwei Jahren nach der Durchforstung unter den anderen Weiserstämmen, ab dem dritten Jahr zeigte sich eine relativ einheitliche Zuwachsreaktion. Die Zuwächse stiegen bis zum 7. Jahr nach dem Eingriff an (Mittelwert Fichte 153%). Danach ist im 9. und 10. Jahr eine stärkere Abnahme des Zuwachses bei den Fichten gemessen worden, die sich auch im Zuwachs der nicht durchforsteten Bestände abzeichnete.

Die Lärche reagierte bis zum dritten Jahr nach der Durchforstung etwas stärker als die Fichte, danach stieg die Kurve allerdings schwächer an (erstes Maximum im 9. Jahr mit 132%). Auffällig ist, dass die Lärche keinen ausgeprägten Zuwachsrückgang im 9. und 10. Jahr aufwies.

Die stärker ausgeprägten Schwankungen in der Reaktion ab dem 16. Jahr sind teilweise auf eine Zunahme der Standardabweichungen zurückzuführen. Die Anzahl der Probestämme nahm, bedingt durch die Inhomogenität des Datenmaterials, ab: von 163 im 4. Jahr nach der Durchforstung auf 114 im 9. Jahr, auf 84 im 14. Jahr und auf 26 im 19. Jahr.

Die Streuung der Messwerte war generell hoch (Abb. 3). Die Werte der Lärchen waren ab dem ersten Jahr nach der Durchforstung bei ca. 70%, die Fichtenstämme erreichten 70% Standardabweichung erst ab dem 4. Jahr und lagen vorher etwas darunter. Ab dem 17. Jahr traten, insbesondere bei den Ober- und Unterstämmen, stärkere Abweichungen auf.

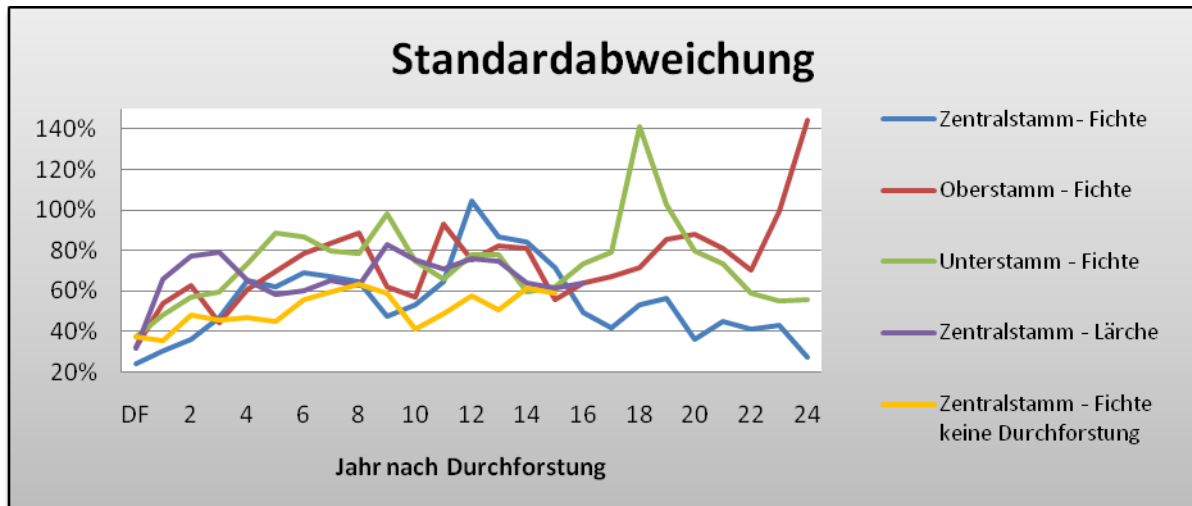


Abbildung 3: Standardabweichungen der relativen Zuwachsreaktionen aus Abbildung 2

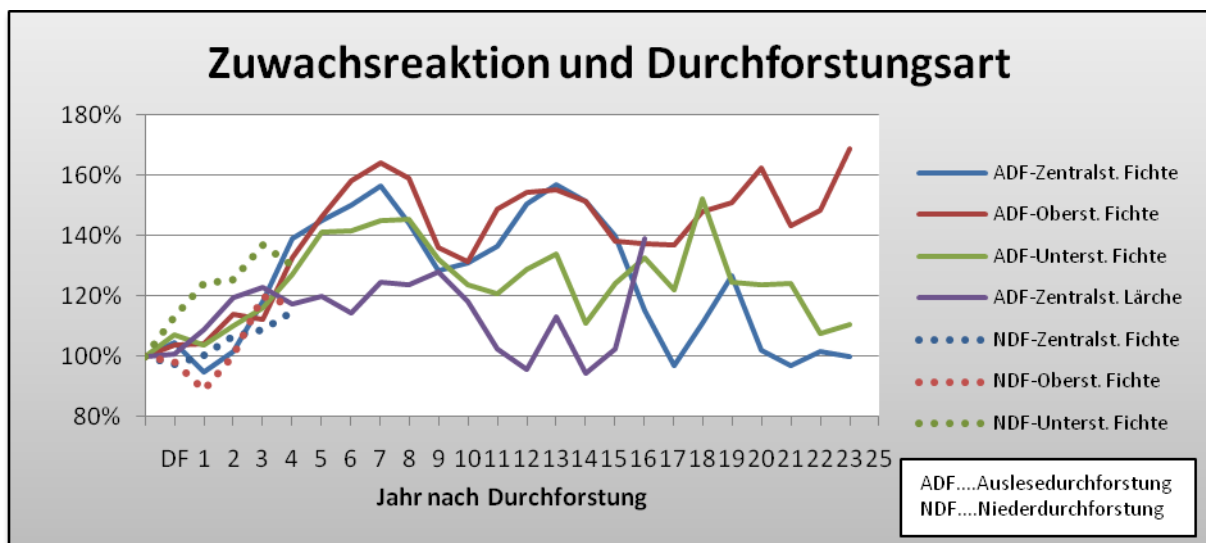


Abbildung 4: Zuwachsreaktion in Abhängigkeit von der Art der Durchforstung

Ein Vergleich zwischen den beiden Durchforstungsvarianten konnte mangels Datengrundlage nur für die ersten 5 Jahre durchgeführt werden (Abb. 4). Dabei zeigte sich, dass bei den niederdurchforsteten Beständen der Unterstamm beim Zuwachs früher und stärker reagierte als der Ober- und Unterstamm. Bei den auslesedurchforsteten Beständen war der Unterschied zwischen den Weiserstämmen weniger stark ausgeprägt (in den ersten

6 Jahren maximal 12%). Die Standardabweichungen der Weiserstämme der 5 niederdurchforsteten Bestände lagen deutlich unter den auslesedurchforsteten Beständen. Die Standardabweichung der nicht durchforsteten Bestände lag zwischen diesen Werten. (Abb. 5)

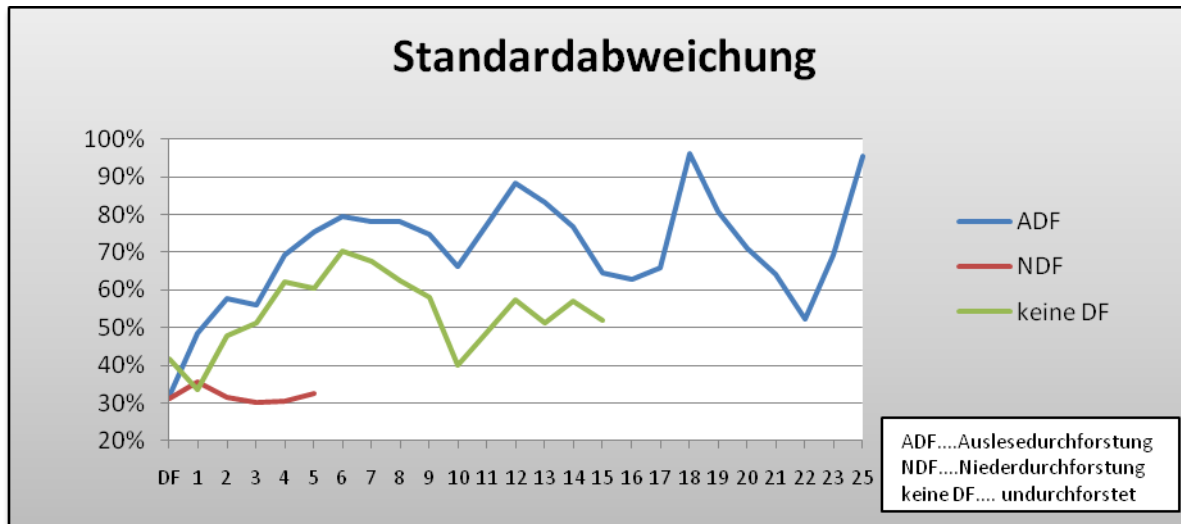


Abbildung 5: Standardabweichungen der prozentuellen Zuwachsveränderungen (Mittelwert aller gemessenen Probestämme) der verschiedenen Durchforstungsarten aus Abbildung 2

Der Anstieg des Zuwachses relativ zu den Werten vor der Durchforstung war in Beständen der Wuchsklasse Baumholz-1 stärker als bei Stangenhölzern, obwohl die mittlere Kreisflächenentnahme in den Wuchsklassen mit jeweils ~50% G/ha gleich stark war (Abbildung 6).

Abbildung 7 zeigt die Zuwachsreaktion in Abhängigkeit von der Exposition der Probestpunkte. Es ist ersichtlich, dass Bestände mit östlicher und südwestlicher Ausrichtung den höchsten Zuwachsgewinn aufwiesen. Die südexponierten Bestände reagierten kaum auf die Durchforstung. Bei den west- und nordwestexponierten Beständen ist auffällig, dass sie später reagierten (Mittelwert aus 4. und 5. Jahr ist geringer), jedoch dann im 8. und 9. Jahr vergleichbare Werte zu östlicher bzw. südwestlicher Exposition zeigten.

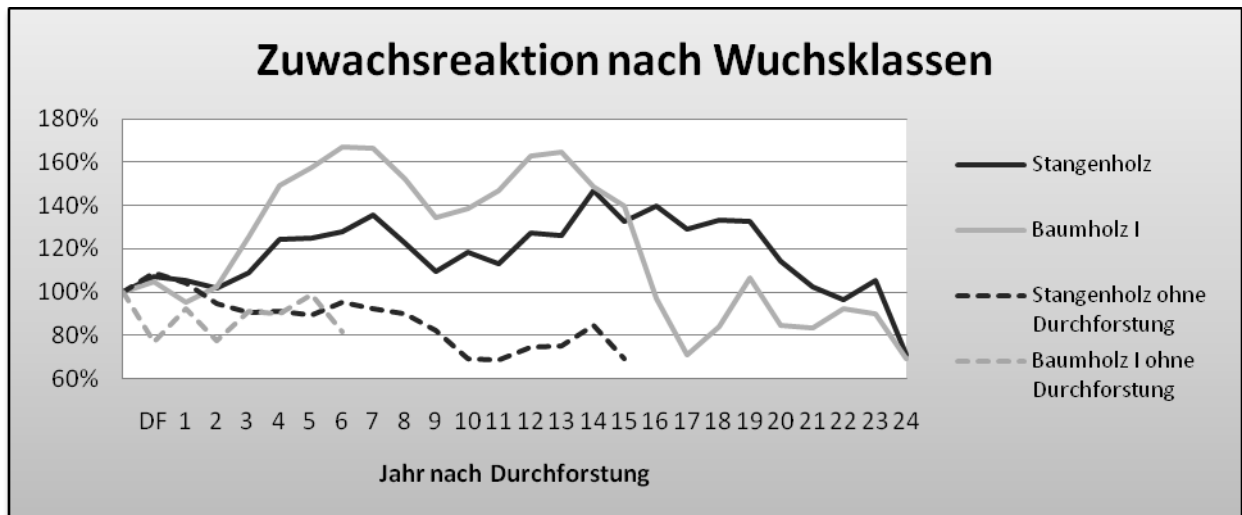


Abbildung 6: Zuwachsreaktion der Fichten-Zentralstämme in Abhängigkeit von der Wuchsklasse

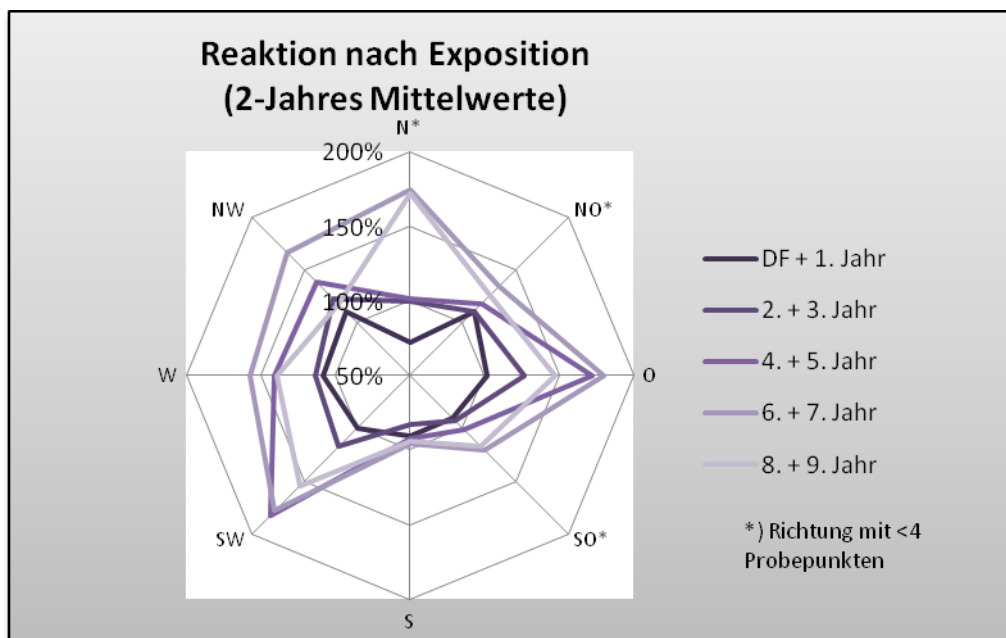


Abbildung 7: 2-Jahres Mittelwerte der Zuwachsreaktion der Fichten Zentralstämme getrennt nach Expositionsrichtungen

Bei der Darstellung der Zuwächse nach Seehöhe der Aufnahmepunkte (Abb. 8) ist ersichtlich, dass die Fichtenbestände in 1300m Seehöhe kaum mehr auf die Durchforstung reagierten, während in 1100m die stärkste Zuwachsreaktion erfolgte.

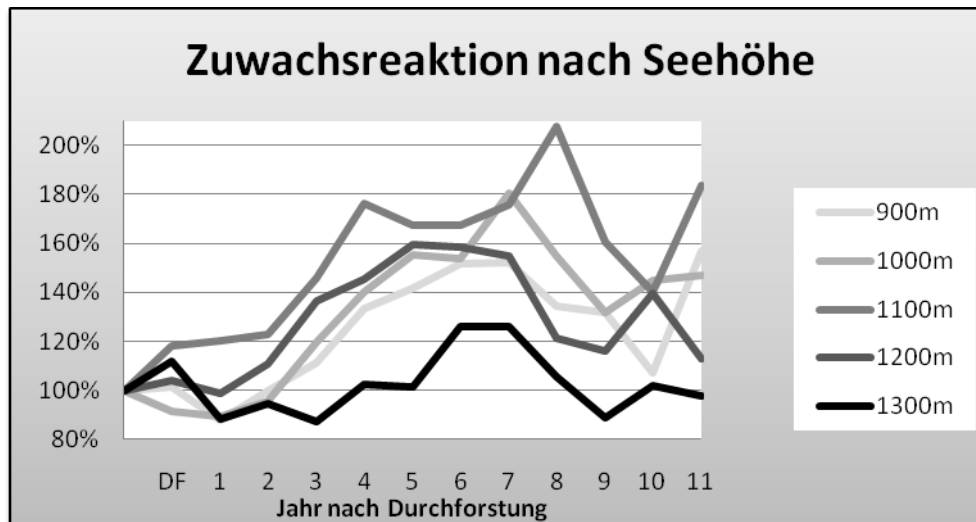


Abbildung 8: Zuwachsreaktion der Fichten-Zentralstämme nach Seehöhe der Aufnahmepunkte

Abbildung 9 zeigt, dass die Zuwächse sich in den mittel und stark durchforsteten Beständen erst im 4. Jahr nach dem Eingriff unterschieden, dann aber einen viel deutlicheren Mehrzuwachs lieferten (Maximum um 40% höher). Die schwachen Durchforstungen zeigten keinen messbaren Einfluss auf die Durchforstung.

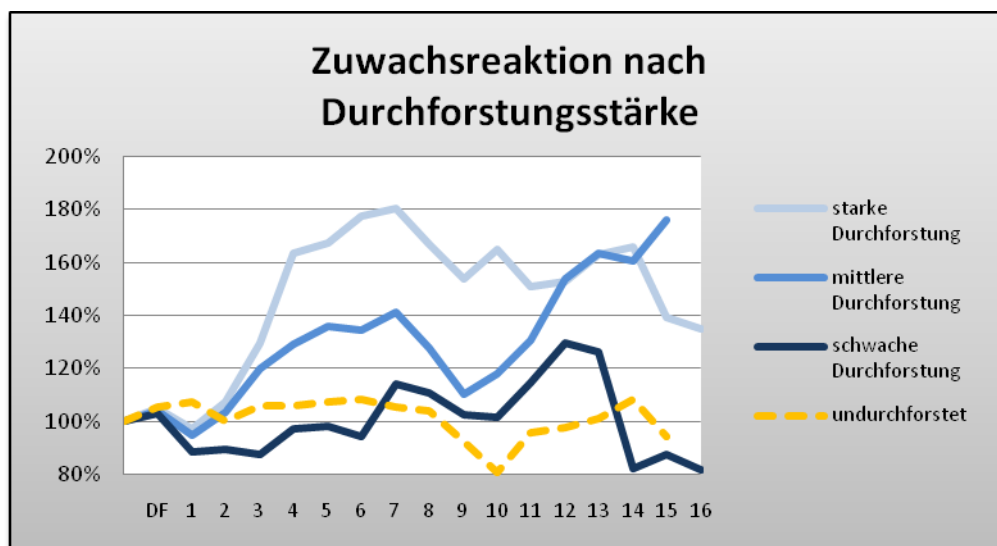


Abbildung 9: Zuwachsreaktion der Fichten-Zentralstämme nach Durchforstungsstärke. Einteilung nach Entnahmeprozent: schwache Durchforstung <40% G/ha, mittlere Durchforstung 40-55% G/ha, starke Durchforstung >55% G/ha

3.3 Einzelbaumvergleich mit PROGNAUS

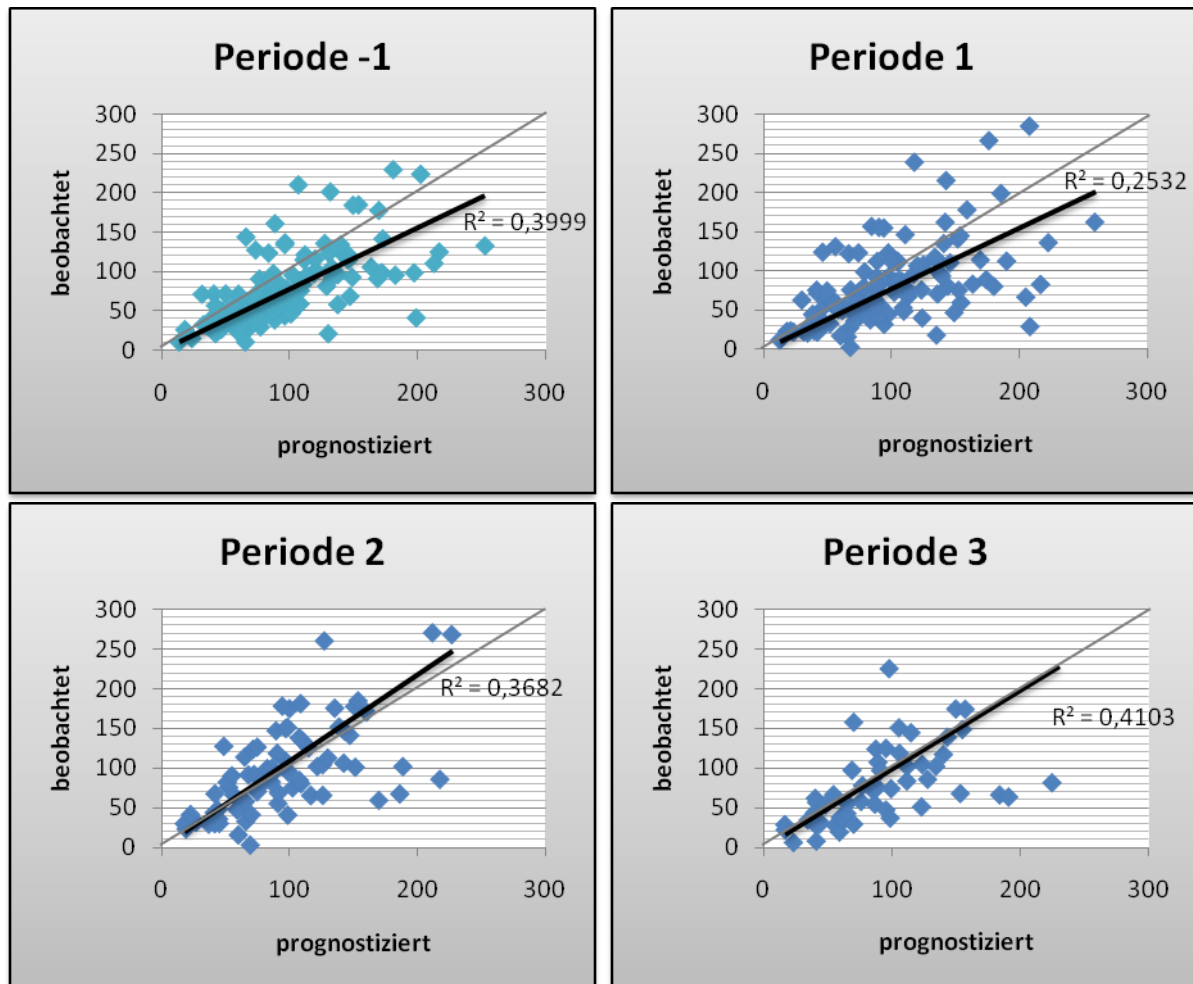


Abbildung 10-14: Vergleich der Einzelbaumkreisflächenzuwächse für die Fichten-Weiserstämme in durchforsteten Beständen. prognostiziert = Simulation mit PROGNAUS, beobachtet = aus Bohrdaten rekonstruierte Werte, Zuwachs je 5-Jahres-Periode vor/nach der Durchforstung

Beim Vergleich des Fichten-Kreisflächenzuwachses von PROGNAUS und den rekonstruierten Werten zeigte sich nach dem Durchforstungseingriff eine Abnahme des Bestimmtheitsmaßes von 40% auf 25%. Bis zur 3. Periode steigt das Bestimmtheitsmaß wieder auf 41% an. (Abb. 10-14)

Für Lärchen ergab sich ein ähnlicher Verlauf. Das Bestimmtheitsmaß sank von 16% vor der Durchforstung auf 12% in der 1. Periode und stieg auf 33% in der 2. Periode an. In der 3. Periode sank der Wert auf 11%, allerdings waren hier nur mehr 9 Vergleichsstämme von ursprünglich 19 vor der Durchforstung vorhanden.

3.4 Vergleich der Kreisflächenzuwächse pro Hektar

Der Vergleich der Hektarzuwächse in Abbildung 15 zeigt, dass PROGNAUS in der Periode nach der Durchforstung den Zuwachs überschätzte (+28%), in der zweiten und dritten Kalkulationsperiode jedoch nahe an die rekonstruierten Werte herankam. In den undurchforsteten Beständen lag der Zuwachs zunächst deutlich unter den rekonstruierten Werten, stieg aber stetig an und wurde dann in der dritten Periode nach der Durchforstung überschätzt. Die Standardabweichungen (Tab. 3) für die relativen Vergleichswerte stiegen nach der Durchforstung von 35 auf 62 Prozent an und sanken bis zur dritten Periode wieder auf 40 Prozent. Bei den undurchforsteten Beständen stieg die Standardabweichung von 22 auf 40 Prozent an.

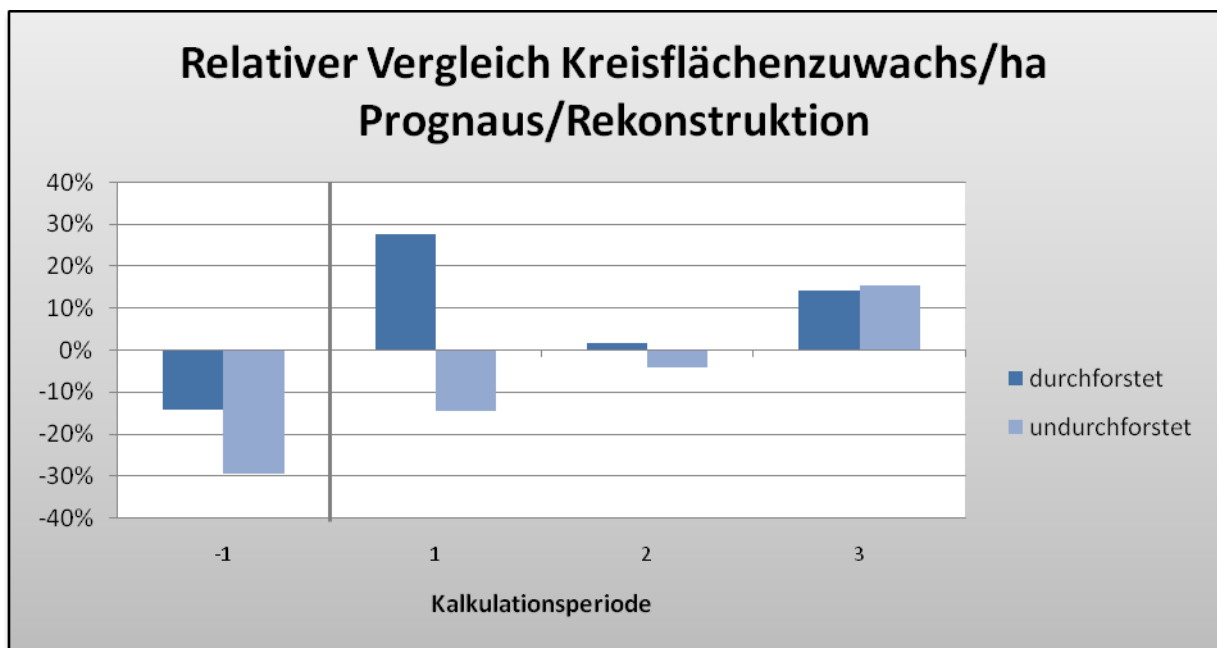


Abbildung 15: Relative Abweichung des Kreisflächenzuwachses pro Hektar und 5-Jahres-Periode von PROGNAUS im Vergleich mit den Mittelwerten der rekonstruierten Zuwächse

Tabelle 3: Standardabweichung und Anzahl der Probepunkte für die Vergleichsperioden

<i>Jahr nach Durchforstung</i>	-5 - 0	0 - 5	5 - 10	10 - 15
Standardabweichung "durchforstet"	35%	62%	45%	40%
Standardabweichung "undurchforstet"	22%	24%	31%	52%
Anzahl "durchforstet"	43	43	30	21
Anzahl "undurchforstet"	10	10	9	8

Abbildung 16 stellt die Unterschiede im Zuwachs zwischen Fichten-Reinbeständen und Mischbeständen dar. Die Reinbestände wurden durch PROGNAUS nach der Durchforstung weniger stark überschätzt als die Bestände mit Lärchen. In der zweiten 5-Jahres-Periode war kein Unterschied zwischen den beiden Typen feststellbar, hingegen wurde der Fichtenbestand in der dritten Periode deutlich mehr überschätzt.

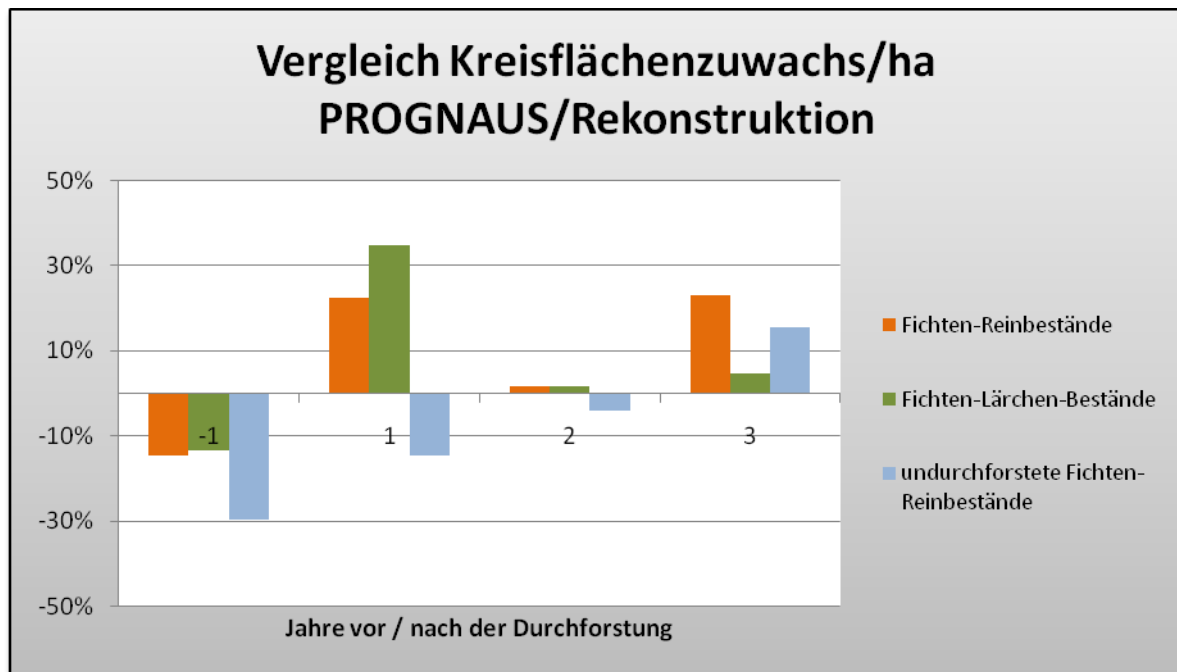


Abbildung 16: Relative Abweichung des Kreisflächenzuwachses pro Hektar und 5-Jahres-Periode von PROGNAUS im Vergleich mit den Mittelwerten der rekonstruierten Werte bezogen auf Flächen in Fichten-Reinbeständen und Fichten/Lärchen-Mischbeständen

Aus Abbildung 17 wird ersichtlich, dass PROGNAUS für die Wuchsklasse Stangenholz die Zuwächse unterschätzte jedoch für Baumholz-1 nach der Durchforstung zu hohe Kreisflächenzuwächse ergab.

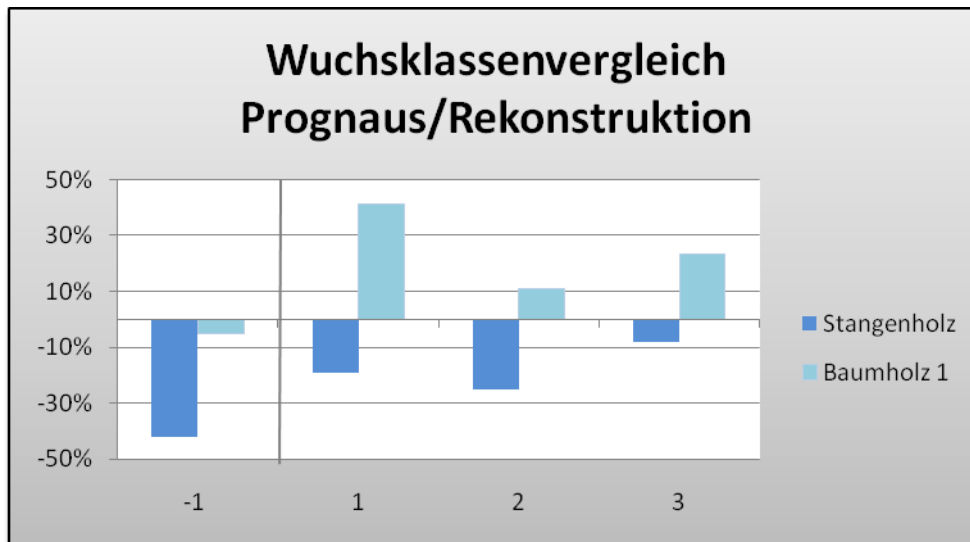


Abbildung 17: Relative Abweichung des Kreisflächenzuwachses pro Hektar und 5-Jahres-Periode von PROGNAUS im Vergleich mit den Mittelwerten der rekonstruierten Werte. Vergleich zwischen Beständen der Wuchsklasse Stangenholz und Baumholz-1

Bei den Ertragstafelberechnungen wurde eine durchschnittlich Bonität von 14 für Fichte und 9 für Lärche ermittelt. Im Vergleich zu PROGNAUS wurden bei den Kalkulationen mit den Ertragstafeln wesentlich größere Abweichungen zu den rekonstruierten Zuwächsen ermittelt (Abb. 18). Die Zuwächse wurden im gesamten Kalkulationszeitraum überschätzt und zeigten einen steigenden Trend in den Abweichungen. Auch im Vergleich mit den Ertragstafelwerten war die stärkste Abweichung in der Periode nach der Durchforstung festzustellen.

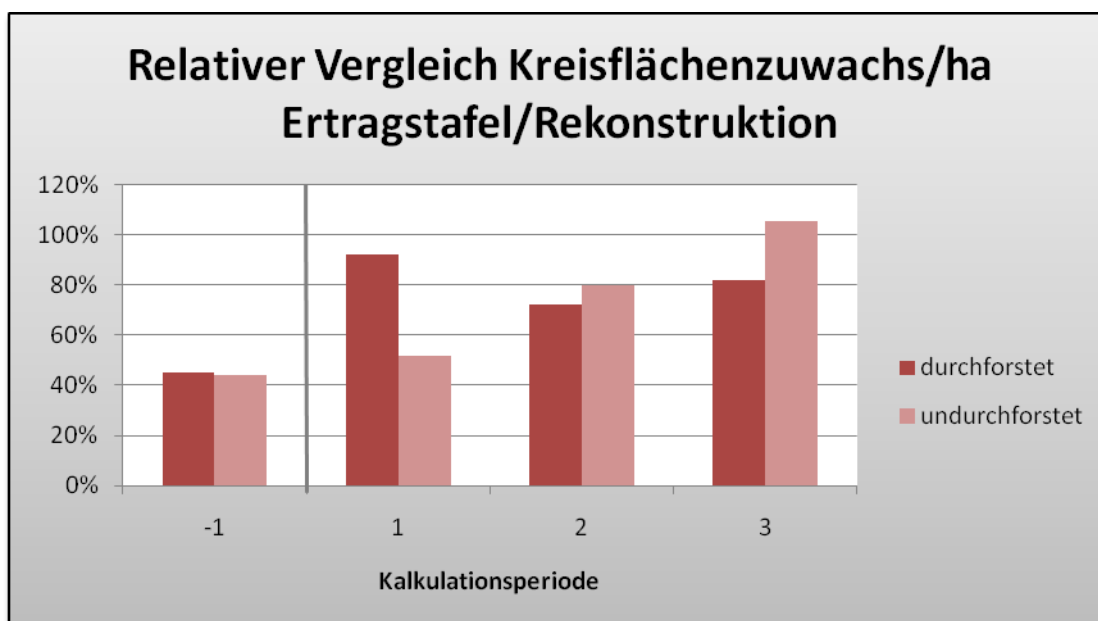


Abbildung 18: Relative Abweichung des Kreisflächenzuwachses pro Hektar und 5-Jahres-Periode von Ertragstafelberechnungen im Vergleich zu den Mittelwerten der rekonstruierten Werte

Die Entwicklung des Kreisflächenzuwachses/ha ist in Abbildung 19 dargestellt: Die rekonstruierten Werte zeigen, dass die Wuchsleistung/ha nach der Durchforstung stärker abfällt als die Kalkulation durch PROGNAUS und die Ertragstafeln ergaben. Die undurchforsteten Bestände hatten lt. PROGNAUS einen steigenden Trend in der Entwicklung des Zuwachses (+32%), während die Ertragstafeln relativ konstante Werte prognostizierten und die rekonstruierten Werte einen fallenden Trend lieferten (-16%). Der Unterschied im Hektarzuwachs zwischen den durchforsteten und undurchforsteten Beständen war bei PROGNAUS nach 15 Jahren immer noch deutlich (48%), während sich bei den Ertragstafelwerten (24%) und den Rekonstruktionen (18%) eine „Erholung“ des Zuwachses andeutet.

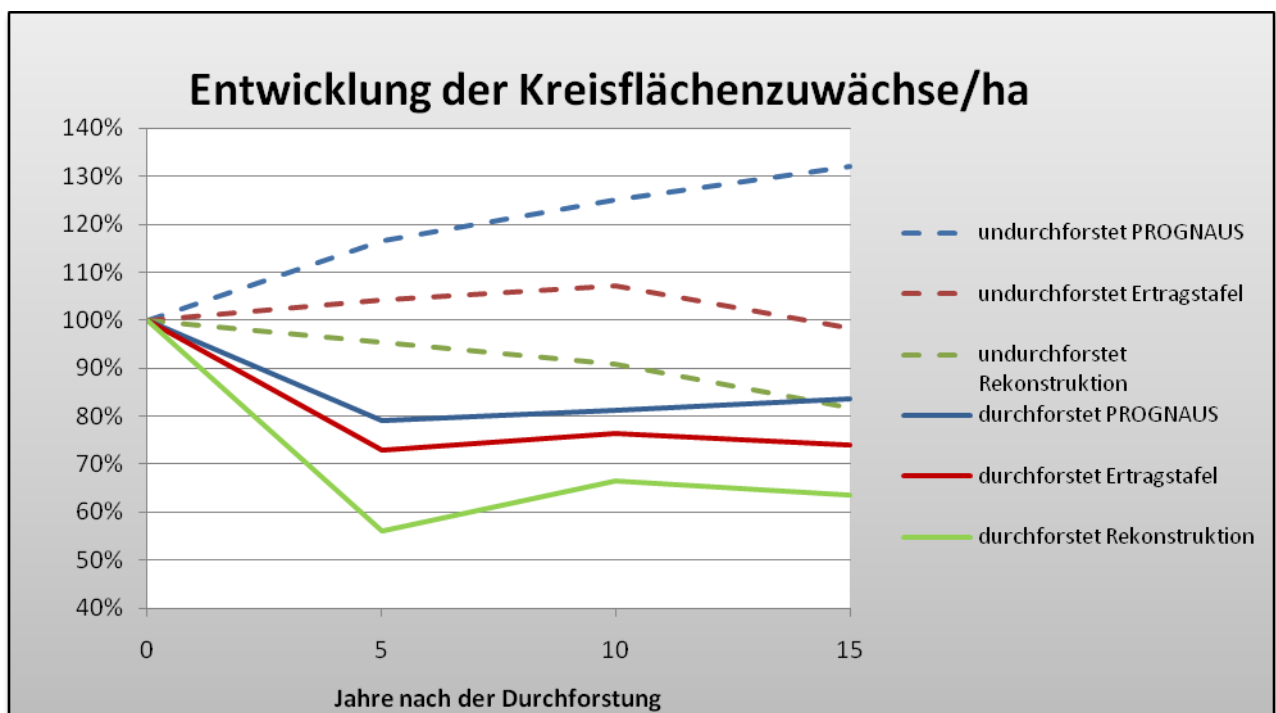


Abbildung 19: Kreisflächenzuwachs pro Hektar relativ zur 5-Jahres-Periode vor der Durchforstung

Um die Standorte der undurchforsteten Punkte mit den durchforsteten Punkten zu vergleichen, wurden die Kreisflächenzuwächse der durchforsteten Punkte durch PROGNAUS ohne die Entnahmen simuliert (Abb. 20). Die so errechneten Zuwächse liegen unter den Zuwächsen der als undurchforstet erhobenen Bestände und verändern sich während der drei 5-Jahres-Perioden kaum.

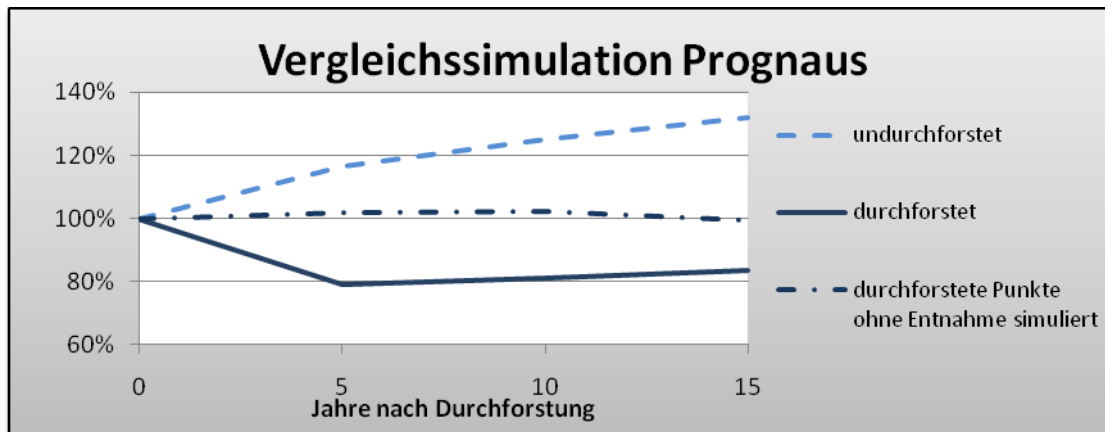


Abbildung 20: Kreisflächenzuwachs pro Hektar relativ zur 5-Jahres-Periode vor der Durchforstung

3.5 Modellierung der jährlichen Zuwächse

Um die Kreisflächenzuwächse von PROGNAUS auf die einzelnen Jahre nach der Durchforstung aufteilen zu können, wurde der jährliche Anteil am fünfjährigen Zuwachs als Mittelwert aller rekonstruierten durchforsteten Stichprobenpunkte ermittelt. In Abbildung 21 ist die Differenz zwischen den durchforsteten und den undurchforsteten Jahren dargestellt. Hier zeigte sich besonders in der ersten 5-Jahres-Periode eine stärkere Dynamik. Im ersten Jahr nach der Durchforstung lag der Zuwachs höchst signifikant unter dem Zuwachs der undurchforsteten Bestände. Die Zuwächse im 4. Jahr nach der Durchforstung lagen hingegen signifikant über den Zuwächsen der undurchforsteten Bestände. Die zweite 5-Jahres-Periode zeigte einen leicht steigenden Zuwachstrend nach der Durchforstung an, während in der dritten Periode wieder ein abfallender Trend zu erkennen ist.

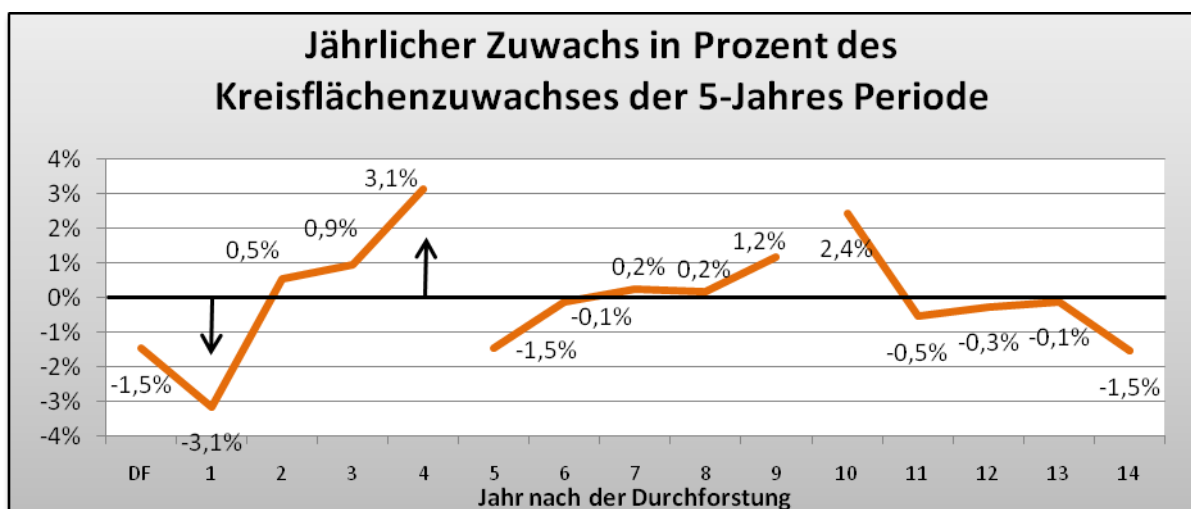


Abbildung 21: Kreisflächenzuwachs pro ha der 5-Jahres-Periode verteilt auf die einzelnen Jahre: Differenz zwischen durchschnittlichem Zuwachs durchforsteter und undurchforsteter Bestände

Abbildung 22 zeigt die Unterschiede zwischen Fichten-Reinbeständen und Fichten-Lärchen-Mischbeständen auf. Die Reinbestände zeigen dabei eine weniger stark ausgeprägte Dynamik, obwohl die Stärke der Durchforstungseingriffe gemäß der Stockaufnahmen nicht geringer ist als in den Mischbeständen (siehe Tabelle 1 und 2). In der zweiten und dritten Periode sind keine größeren Unterschiede beim Zuwachs ersichtlich.

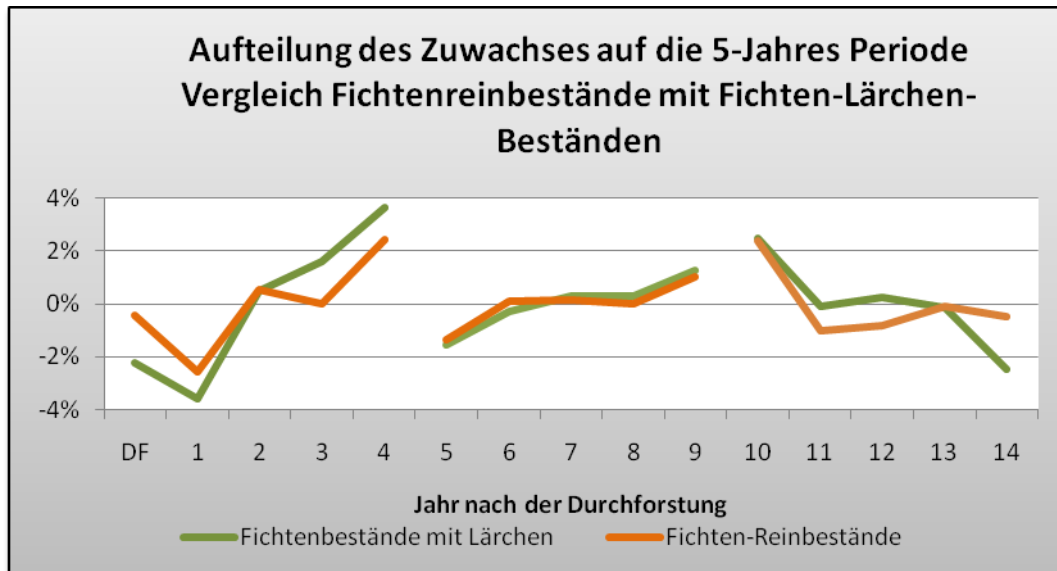


Abbildung 22: Kreisflächenzuwachs pro Hektar der 5-Jahres-Perioden verteilt auf die einzelnen Jahre: Vergleich zwischen Beständen mit Lärchenbeimischung und Fichten-Reinbeständen

Abbildung 23 zeigt die unterschiedliche Dynamik in Abhängigkeit von der Stärke der Kreisflächenentnahme. Bestände mit starker Durchforstung fallen im Zuwachs in dem Jahr der Durchforstung und im Folgejahr stärker ab, zeigten jedoch im 4. Jahr danach einen stärkeren Anstieg. In der zweiten 5-Jahres-Periode war keine unterschiedliche Dynamik ersichtlich, während in der dritten Periode ein deutliches Abfallen im Zuwachs der schwach durchforsteten Bestände gemessen wurde.

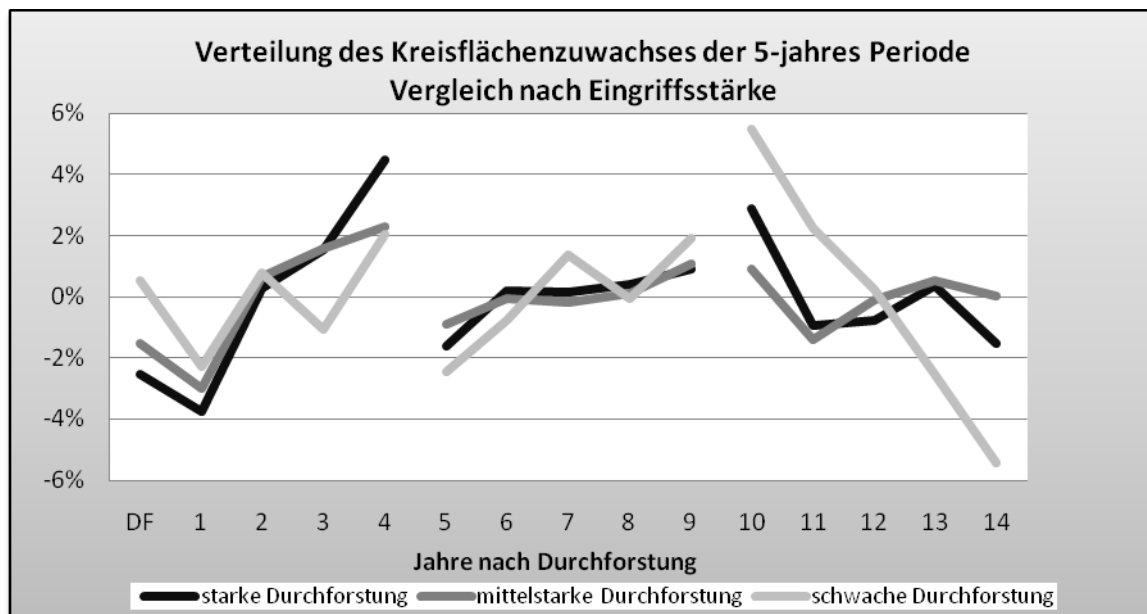


Abbildung 23: Kreisflächenzuwachs pro Hektar der 5-Jahres-Perioden verteilt auf die einzelnen Jahre: Vergleich zwischen verschieden stark durchforsteten Beständen: Einteilung nach Entnahmeprozent: schwache Durchforstung <40% G/ha, mittlere Durchforstung 40-55% G/ha, starke Durchforstung >55% G/ha

In Abbildung 24 ist ein einzelner Punkt der Aufnahmen dargestellt, an dessen Beispiel die Modellierung der jährlichen Zuwachsentwicklung demonstriert werden soll. Die 5-Jahres-Zuwächse aus PROGNAUS wurden dabei mit den Prozentsätzen aus Abbildung 16 modelliert.

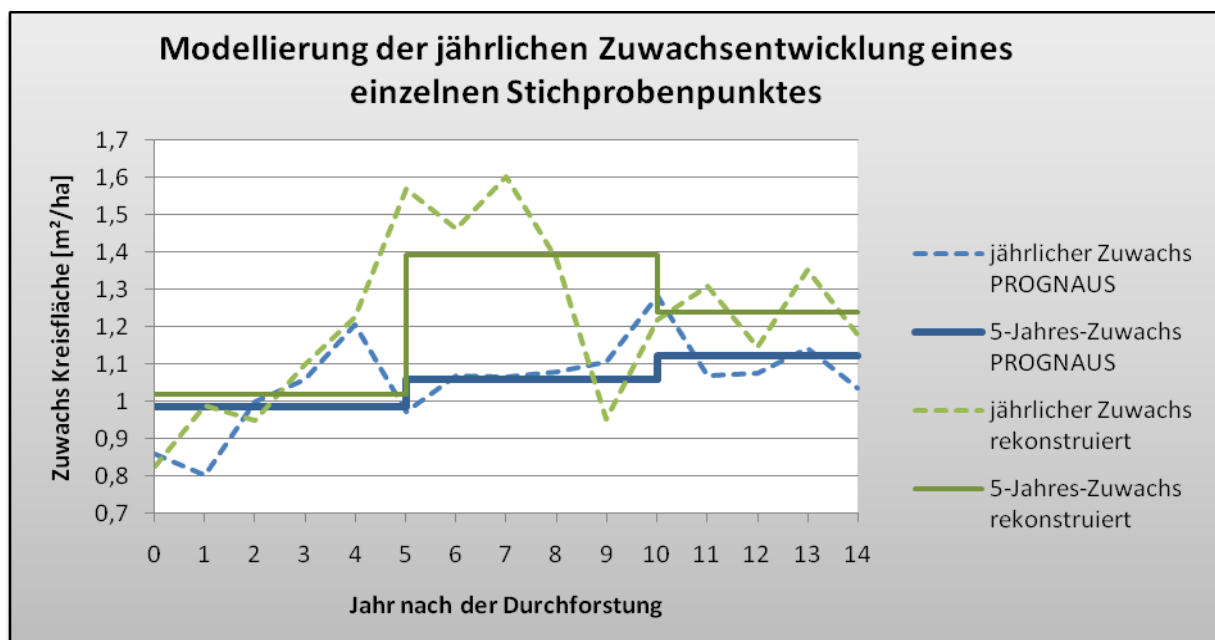


Abbildung 24: Kreisflächenzuwachs pro Hektar eines einzelnen Probepunktes: Fichten-Reinbestand, ~60% Entnahme (=„starke Durchforstung“), Reduktion der Kreisfläche von 43m²/ha auf 18m²/ha, Bestandesalter bei Durchforstung 30 Jahre, BHD Zentralstamm 19cm, 1100m Seehöhe, Neigung 60%, Boden: Braunerde auf ärmeren Kristallin, Vegetation: Sauerkleetyp

4 Diskussion

4.1 Zuwachsreaktion der Einzelstämme:

Da die Zuwachsreaktion über relativ viele, in verschiedenen Jahren durchgeführte Durchforstungen gemittelt wurde, war eine Korrektur der Auswirkungen von klimatischen Extremereignissen durch mathematische Verfahren nicht notwendig. Jedoch wurde im 9. und 10. Jahr ein stärkerer Rückgang beim Zuwachs der Fichten beobachtet, welcher eventuell auf einen negativen externen Einfluss in einem einzelnen Jahr zurückzuführen ist, da er durch physiologische Prozesse nicht erklärbar ist und auch bei den undurchforsteten Beständen auftrat. Eine mögliche Ursache dafür ist, dass die Anzahl der Probestandpunkte ab dem 5. Jahr nach der Durchforstung stetig abnahm. Generell muss man anmerken, dass die Durchforstungsjahre nicht gleichmäßig verteilt sind, sondern bedingt durch Jahre mit mehr Vornutzung im Forstrevier einzelne stärker vertreten sind. Deshalb treten klimatische Effekte ab dem 10. Jahr stärker zu Tage und bewirkt eine stärkere Schwankung im Zuwachstrend.

Die stärkeren Auswirkungen auf den Zuwachs durch klimatische Effekte sind auch allgemein mit dem länger werdenden Abstand zur Durchforstung zu erklären, da, durch die Verminderung der Bestandesdichte und der damit einhergehenden Reduktion der Konkurrenz, klimatische Extremereignisse weniger Auswirkungen auf den Zuwachs haben (Misson, 2003).

4.1.1 Kurzfristige Zuwachsreaktion

Die kurzfristige Reaktion des Einzelbaumes ist geprägt durch zahlreiche physiologische Umwandlungsprozesse. Durch die Durchforstung kann mehr Licht bis zum Boden durchdringen, und die Kronen der verbleibenden Bäume erhalten mehr direkte Sonneneinstrahlung. Der Wasserhaushalt verändert sich, da mehr Niederschlag bis zum Boden gelangt und weniger Wasser durch Transpiration verbraucht wird. Außerdem ändert sich die Verfügbarkeit von Nährstoffen durch einen beschleunigten Abbau der Streu sowie durch die Zersetzung des Durchforstungsrücklasses. Ein Teil der geänderten Ressourcenverhältnisse wirkt sofort nach der Durchforstung auf den Einzelbaum (Wasser, Licht), während die gesteigerte Nährstoffverfügbarkeit nur graduell einsetzt. Kurzfristig kann dadurch nach starken Eingriffen sogar eine negative Reaktion im Zuwachs erfolgen

(„Durchforstungsschock“), da z.B. Schattennadeln im unteren Kronenbereich durch die starke Sonneneinstrahlung beschädigt werden oder Schäden an der Borke durch Sonnenbrand entstehen (Kozłowski, 1997).

Die Krone ist außerdem geänderten Windverhältnissen ausgesetzt und kann deshalb beschädigt werden. Durch die stärkere Windexposition benötigt der Baum außerdem eine bessere statische Absicherung und investiert daher in ein verstärktes Wachstum der Wurzeln. Eine verbesserte Nährstoff- und Wasseraufnahme durch die Wurzeln ist überdies auch eine Voraussetzung zur Vergrößerung der Krone (Bräker & Rigling, 2004).

Um das vermehrte Lichtangebot effektiv nutzen zu können, benötigt der Einzelbaum mehr photosynthetisch aktive Fläche. Ein Anstieg der Nadelmasse kann bei der Fichte jedoch erst ab dem zweiten Jahr erfolgen, da die Anzahl der gebildeten Nadeln schon während der Wachstumsperiode des Vorjahres festgelegt wird. Ab dem zweiten Jahr erhöht sich die Masse der Nadeln nach und nach durch vermehrten Austrieb und durch Verminderung des Nadelabwurfs, da die älteren Jahrgänge durch die besseren Lichtverhältnisse länger zur Nettoprimärproduktion beitragen können und deshalb länger am Baum verbleiben (Wallentin, 2007).

Für die Fichten war ein deutlicher Zuwachsanstieg erst im dritten Jahr nach der Durchforstung messbar. Ein Durchforstungsschock konnte nur für die Zentralstämme beobachtet werden (-11% im ersten Jahr im Vergleich zu den undurchforsteten Zentralstämmen). Für die Unterstämme zeigte sich keine Verminderung des Zuwachses, obwohl bei diesen Stämmen eigentlich die größten Veränderungen in der Bestrahlungsintensität aufgetreten sein müssten.

Bei den Lärchen sind, bedingt durch die andere Wachstumsstrategie als Lichtbaumart und den jährlichen Abwurf der Nadeln, im Vergleich zur Fichte als Halbschattbaumart, abweichende Durchforstungsreaktionen zu erwarten. Dazu kommt, dass die Lärchen bei den Eingriffen vermutlich speziell berücksichtigt und selektiv freigestellt wurden. Die Lärchen zeigten deshalb eine frühere Reaktion im ersten und zweiten Jahr mit einer Zunahme von 7% bzw. 17% im Kreisflächenzuwachs (Abbildung 4).

Abbildung 7 lässt darauf schließen, dass die nach Westen und Nordwesten exponierten Standorte mehr Zeit benötigten, um auf die Durchforstung zu reagieren. Bedingt durch die

Datenaufnahme in nur einem Forstrevier lassen sich aber daraus keine generellen Schlüsse auf die einzelnen Expositionsrichtungen ziehen, sondern diese sind in Zusammenhang mit den geologischen und mikroklimatischen Gegebenheiten des Aufnahmegebietes zu betrachten. Jedenfalls lässt Abbildung 7 eine Abhängigkeit der Reaktionszeit nach Exposition und Standortverhältnissen vermuten.

4.1.2 Entwicklung der Zuwachsreaktion:

Der Kreisflächenzuwachs hatte den maximalen Wert für die Fichten-Oberstämme im 7. Jahr mit etwa 60%. Danach ging der Zuwachs wieder etwas zurück, verblieb aber im Vergleich zu den undurchforsteten Beständen auf einem höheren Niveau. Bis zum Ende der vorliegenden Daten nach 25 Jahren ist im langfristigen Trend ein leichter Rückgang im Zuwachs ersichtlich, welcher jedoch auch bei einer normalen Wachstumsentwicklung auftritt, da der laufende Zuwachs der Fichte je nach Bonität etwa ab dem Alter 50 abnimmt.

Bei einem Vergleich der Zuwachsentwicklungen mit anderen Forschungsergebnissen ist zu berücksichtigen, dass die Datengrundlage einen Mittelwert über ein weites Spektrum von Durchforstungen darstellt. Der jüngste Bestand hatte dabei ein Alter von 12 Jahren in Bruthöhe, während der älteste bereits 99 Jahre in Bruthöhe aufwies. Auch die Eingriffsstärke schwankte zwischen 20 und 70 Prozent entnommener Grundfläche pro Hektar.

Über die Durchforstungsreaktion von Beständen im Alter von etwa 20 bis 40 Jahren ist, meist durch die Auswertung von Versuchsflächen, viel an Literatur vorhanden, allerdings ist ein Großteil dieser Arbeiten nicht für einen direkten Vergleich geeignet, da in den Versuchsanordnungen meist Durchforstungspläne mit etwa 8-10-jährigem Eingriffsintervall angewandt wurden, und die Zuwachsentwicklung dadurch bei jedem Eingriff verfälscht wird.

Forschungsergebnisse von Misson (2001) an Fichtenbeständen, welche mit 20 Jahren durchforstet wurden, zeigen einen Anstieg innerhalb von 5 Jahren nach dem Eingriff an. Pape (1999) hingegen liefert Ergebnisse, dass bei Entnahme von 70% der Grundfläche nur in den ersten drei Jahren ein Anstieg des Zuwachses erfolgt (Alter ca. 30 Jahre bei Durchforstung).

Nur wenige vergleichbare Arbeiten sind zu spät durchgeführten Erstdurchforstungen über einem Bestandesalter von 40 Jahren vorhanden. Aus einer Arbeit von Preuhsler & Schmidt (1989), in welcher die Auswirkungen einer Erstdurchforstung in einem 48- bzw. 58-jährigen Bestand mit sehr hoher Ausgangsdichte und Stammzahl beschrieben wurden, geht hervor, dass bei zunehmendem Alter vor allem die Zeit bis zu einer Zuwachsreaktion länger andauert und dadurch die Gesamtwuchsleistung des Bestandes vermindert wird.

In einer Arbeit von Bräker & Baumann (2006) konnte gezeigt werden, dass selbst 100-jährige Fichtenbestände in subalpinen Lagen bei einer einseitigen Freistellung noch mit messbaren Zuwachsgewinnen und Unterschieden zu Referenzbäumen reagierten.

Es ist auffällig, dass die Plastizität im Wachstum lt. Abbildung 6 in der Wuchsklasse Baumholz-1 deutlich größer ist als bei Stangenhölzern. Dies ist eventuell darauf zurückzuführen, dass der Zuwachs in den Stangenhölzern noch durch eine frühere Stammzahlreduktion beeinflusst wurde und deshalb die relative Reaktion geringer ausfällt. Diese Vermutung wird auch durch Darstellung 17 gestützt, welche eine Unterschätzung der Stangenhölzer durch PROGNAUS in allen Wachstumsperioden zeigt.

Die Lärchen-Zentralstämme wiesen, nach einem Anstieg in den ersten beiden Jahren nach der Durchforstung (+20%), eine deutliche Abflachung der Kurve, bei einem Anstieg um nur mehr 10% bis zum Maximum im 9. Jahr, nach der Durchforstung auf. Es konnten leider keine Vergleichswerte für Lärchen gefunden werden. Allerdings sind Daten über Waldkiefern (*Pinus sylvestris* L.) dokumentiert, welche aufgrund der ähnlichen Wachstumsstrategie als Lichtbaumart vergleichbar sind. Mörling (2002) zeigte, dass nach einer Durchforstung in einem 56-jährigen Kiefernbestand (40% der Grundfläche entnommen) nach drei Jahren kein Anstieg im Zuwachs mehr erfolgt. Laut Hynynen (1995) stellt sich die maximale Reaktion erst in der zweiten 5-Jahres-Periode nach der Durchforstung ein.

4.2 Einzelbaum-Zuwachsvergleich mit PROGNAUS

In der Beschreibung des Kreisflächenmodells von PROGNAUS von Sterba & Monserud (1996) wird ein Bestimmtheitsmaß (R^2) von 58,2% für Fichte und 43,2% für Lärche angegeben. Aus den rekonstruierten Durchmesserwerten ergab sich ein durchschnittliches Bestimmtheitsmaß von 36,8% für Fichte (Abbildung 10-14) und 20,4% für Lärche. Für die

Fichten war die Bestimmtheit nach der Durchforstung am niedrigsten, stieg aber dann wieder an. Geht man davon aus, dass die für PROGNAUS hergeleiteten Eingangsvariablen, insbesondere die Kronenprozente und der BAL, den wahren Werten entsprechen, so lässt dies den Schluss zu, dass die verwendeten Eingangsparameter für die Zuwachsschätzung nach einer Durchforstung weniger gut geeignet sind bzw. hier zusätzliche Variablen zu überlegen wären.

4.3 Zuwachsentwicklung pro Hektar

In der Entwicklung der Weiserstämme sind keine ausgeprägten Umsetzungsraten zu erwarten, da sich die Zeit zwischen der Durchforstung und der einsetzenden Zuwachsreaktion der Stämme nicht wesentlich unterscheidet und die Stärke der Reaktion bei Individuen mit höherer sozialer Stellung im Bestand zunimmt. Somit wird die Annahme, dass die Ober-, Zentral- und Unterstämme seit der Durchforstung unverändert geblieben sind, im Durchschnitt über alle Probepunkte bestätigt.

Die Darstellung der Zuwachsentwicklung in Abbildung 19 lässt darauf schließen, dass in keiner der Modellvarianten nach 15 Jahren der Zuwachs der undurchforsteten Bestände wieder erreicht worden ist. Allerdings weisen die undurchforsteten Bestände lt. Abbildung 20 eine systematisch bessere Zuwachsentwicklung auf als die durchforsteten. Ursachen dafür könnten die niedrigere Oberhöhe mit 16,7m im Vergleich zu 22,5m bei den durchforsteten Beständen oder bessere Standortverhältnisse gewesen sein. Zieht man dies bei der Interpretation von Darstellung 19 in Betracht, so könnte man abschätzen, dass im Mittel etwa 20 Jahre nach der Durchforstung wieder der Zuwachs des undurchforsteten Bestandes erreicht worden ist.

Misson (2001) beschreibt in einem Versuch in 20-jährigen Beständen, dass nach 15 Jahren der Zuwachs von undurchforsteten Flächen wieder erreicht wird.

Bradley (1963, zitiert nach Wallentin 2007) beschreibt, dass bei einer Entnahme von 60% der Grundfläche nach 10 Jahren der Zuwachs des undurchforsteten Bestandes erreicht wird.

Laut einem Modell an Kiefern von Hynynen (1995), welches die zusätzliche Zuwachsleistung der Einzelbäume nach einem Eingriff durch einen Multiplikator explizit addiert, ist ein Einfluss durch die Durchforstung von mehr als 2% für 20 Jahre messbar.

4.3.1 Vergleich mit PROGNAUS

Beim Vergleich der Kreisflächenentwicklung pro Hektar mit PROGNAUS ist die Überschätzung in der ersten Periode nach der Durchforstung auffällig. Die Gründe dafür sind nicht leicht auszumachen und könnten vielfältige Ursachen haben. Einerseits könnte der relativ späte Zeitpunkt der Durchforstungen für die Überschätzung der Zuwächse verantwortlich sein. Dies könnte dadurch entstehen, dass die Durchforstungsreaktion bedingt durch die starken aber späten Eingriffe erst mit Verzögerung eintritt und dies von PROGNAUS nicht korrekt berücksichtigt wird. Ein Indiz dafür ist, dass der Zuwachs in der zweiten 5-Jahres-Periode wieder recht genau prognostiziert wurde.

Preuhsler & Schmidt (1989) untersuchten anhand von Dauerversuchsflächen die Auswirkungen von späten ersten Durchforstungseingriffen im Bestandesalter von 48 bzw. 58 Jahren. Dabei wurde in den jüngeren Beständen nach 12 Jahren eine „annähernd doppelt so große Zunahme der über die Überschirmung ermittelten Kronenausdehnung“ gemessen als in den älteren Beständen.

Die Überschirmungsfläche geht nicht als Variable in die Kreisflächenzuwachsermittlung durch PROGNAUS mit ein, könnte aber, gerade bei späteren Durchforstungen, einen Einfluss auf die Zuwachsreaktion haben, da der Höhenzuwachs in älteren Beständen abnimmt und somit weniger Zunahme beim Kronenprozent bedingt durch die Höhenentwicklung zu erwarten ist als in jüngeren Beständen.

4.3.2 Vergleich mit den Ertragstafelberechnungen

Die Berechnungen mithilfe der Ertragstafeln liefern ebenfalls deutlich höhere Zuwächse der Kreisflächen. Für einen Teil der Abweichungen sind sicherlich die zehnjährigen Nutzungsintervalle verantwortlich, da der für die Herleitung verwendete laufende Zuwachs durch diese regelmäßigen Entnahmen erhöht wird. Bei den Ertragstafelberechnungen wurde des Weiteren auch keine graduelle Steigerung des Zuwachses nach der Durchforstung angenommen, sondern der Mehrzuwachs wurde sofort wirksam. Dies erklärt, warum die relative Abweichung in der Periode nach der Durchforstung am größten ist.

5 Schlussfolgerungen

Das für diese Arbeit entwickelte Verfahren zur Abbildung von Zuwachsverläufen durchforsteter Bestände mithilfe von Daten aus Winkelzählproben und Zuwachsbohrungen hat sich gut bewährt. Es liefert plausible Werte für die Entwicklung der Kreisflächenzuwächse von Beständen mit Fichten und Lärchen und basiert dabei auf Durchforstungen mit verschiedenartigen Eingriffsstärken und Eingriffszeiten, wobei die meisten Daten aus relativ späten und starken Durchforstungen stammen, wie sie heute in der Praxis vielfach üblich sind. Die Ergebnisse dieser Arbeit basieren auf den Mittelwerten von während der letzten 30 Jahre durchgeführten Entnahmen und haben Gültigkeit für Gebiete mit vergleichbaren klimatischen und geologischen Verhältnissen.

Im Vergleich zu klassischen Versuchsflächen waren die Datenaufnahmen im Zuge einer planmäßigen Stichprobeninventur mit einem sehr geringen zeitlichen und finanziellen Aufwand verbunden und basieren auf Nutzungsstrategien, die nicht theoretischen Ursprungs sind, sondern in der Praxis angewandt wurden.

Allerdings stellte sich bei der Auswertung der Daten heraus, dass die als undurchforstet aufgenommenen Referenzbestände bessere Bonitäten aufwiesen als die durchforsteten. Des Weiteren muss bei der Quantifizierung und Qualifizierung der Durchforstungseingriffe mit Ungenauigkeiten gerechnet werden, da die Nutzungen im Extremfall bereits 30 Jahre zurück lagen und als Grundlage für die Schätzung lediglich die Anzahl der Stöcke je Winkelzählprobe herangezogen werden konnten.

Bei dem Vergleich der rekonstruierten Daten mit den PROGNAUS-Berechnungen zeigte sich, dass es besonders bei Durchforstungen in der Wuchsklasse Baumholz-1 zu Überschätzungen des geleisteten Zuwachses kam. Bei einer Anwendung des Modells zur Zuwachsberechnung in ebensolchen Beständen sollte dies bedacht werden. Empfehlenswert ist die Verwendung der jährlichen Korrekturfaktoren für die Zuwächse vor allem für die erste Periode nach einer Durchforstung, da sich hier die größte Dynamik im Bestandszuwachs zeigte.

6 Literatur

Bitterlich, W. 1948: Die Winkelzählprobe, Allgemeine forst- und holzwirtschaftliche Zeitung, 58, 94-96

Bräker, O. und Baumann, E. 2006: Growth Reactions of Sub-alpine Norway Spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) Following One-sided Light Exposure (Case Study at Davos „Lusiwald), Tree-Ring Research, Vol 62 (2), 67-73

Bräker, O. und Rigling, A. 2004: Waldnutzung und Jahrringe, Schweizerische Zeitung für Forstwesen, Jahrgang 155, Nummer 6, 169-177

Eckmüllner, O. 1985: Einheitshöhenkurven und Alters-Höhen-Durchmesser-Funktionen für Fichte und Buche im Lehrforst, Diplomarbeit, Institut für forstliche Ertragslehre, Universität für Bodenkultur Wien

Eckmüllner, O. 2001: Benefit and disadvantages of different methods to estimate forest attributes, Vantagens e desvantagens de diferentes procedimentos da taxaço empregados no manejo florestal, 2º Simpósio Latino-Americano sobre manejo florestal, Santa Maria – RS – Brasil 13.-14. 9. 2001, Schneider/Finger (Hrsg.) – CRB-10/7728 UFSM: 55-68.

Hasenauer, H. und Monserud, R.A. 1996: A crown ratio model for Austrian forests, Forest Ecology and Management, Nummer 84, 49-60

Hasenauer, H. 1997: Dimensional relationship of open-grown trees in Austria, Forest Ecology and Management, Nummer 96, 197-206

Hasenauer, H. 2006: Sustainable Forest Management - Growth Models for Europe, Springer, Berlin

Hynynen, J. 1995: Predicting the growth response to thinning for Scots pine stands using individual-tree growth models, Silva Fennica, Nummer 29(3): 225-246

Johann, K. 1977: Eine neue Jahrringmeßanlage fuer Bohrkern und Stammscheiben, Forstarchiv 48, 24-26

Kilian, W., Müller, F. und Starlinger, F. 1994: Die forstlichen Wuchsgebiete Österreichs, FBVA-Berichte 82/1994, Wien

Kozlowski, T.T. 1997: Growth Control in Woody Plants, Academic Press, San Diego, 371pp

Krajicek, J.E., Brinkmann, K.E. und Gingrich, S.F. 1961: Crown Competiton – A Measure of Density, Forest Science, Jahrgang 7, Nummer 1, 35-42

Kramer, H. und Akca, A. 1982: Leitfaden für Dendrometrie und Bestandesinventur, J.D. Sauerländer, Frankfurt/Main, 251pp

Merganič, J. und Sterba, H. 2006: Characterisation of diameter distribution using the Weibull function: method of moments, European Journal of Forest Research, Nummer 125, 427-439

Misson, L., Vincke, C. und Devillez, F., 2003: Frequency of radial growth series after different thinning intensities in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) stands, Forest Ecology Management, Nummer 177, 51-63

Mörling, T. 2002: Evaluation of annual ring width and ring density development following fertilisation and thinning of Scots pine, Ann. For. Sci. 59, 29-40

Neumann, M. 2003: Durchforstung: gestern, heute und morgen?, BFW Praxisinformation Nr. 2 - 2003, Bundesamt- und Forschungszentrum Wien

Pape, R., 1999: Influence of Thinning and Tree Diameter Class on the Development of Basic Density and Annual Ring Width in *Picea abies*, Scandinavian Journal of Forest Research, 14 : 27-37

Pretzsch, H. 2000: Empfehlungen zur Einführung und Weiterentwicklung von Waldwachstumssimulatoren, Empfehlungspapier der Sektion Ertragskunde im Deutschen Verband Forstlicher Forschungsanstalten (Arbeitsgruppe Modellevaluierung), Allgemeine Forst und Jagdzeitung, Nummer 171, 52-57

Preuhsler, T. und Schmidt, R. 1989: Beobachtungen auf einem spät durchforsteten Fichten-Versuch, Forstwissenschaftliches Centralblatt, Jahrgang 108, 271-288

Schieler, K. und Hauk, E. 2001: Instruktion für die Feldarbeit - Österreichische Waldinventur 2000/2002, Dienstanweisung FBVA, Wien

Sterba, H., Moser, M. und Monserud, R. 1995: PROGNAUS - Ein Waldwachstumssimulator für Rein- und Mischbestände, Österreichische Forstzeitung, Jg. 5, S. 19–20

Tumler, H. 1992: Das Wachstum der Lärche in Südtirol, Diplomarbeit, Institut für forstliche Ertragslehre, Universität für Bodenkultur Wien

Wallentin, C. 2007: Thinning of Norway spruce, Doctoral thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Faculty of Forest Science, Alnarp

Wykoff, W. 1990: A basal area increment model for individual conifers in the Northern Rocky Mountains, Forest Science 36, 1077-1104

6.1 Internetquellen:

www.bfw.ac.at (a): [http:// bfw.ac.at/300/1187.html](http://bfw.ac.at/300/1187.html) (Abgerufen am 3.6.2010)

www.bfw.ac.at (b): <http://bfw.ac.at/300/1203.html> (Abgerufen am 3.6.2010)

<http://de.wikipedia.org/wiki/Reiting> (Abgerufen am 6.5.2010)

http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten_oesterreich_1971_frame1.htm
(Abgerufen am 6.5.2010)