Anwendbarkeit von PROGNAUS auf die permanente Stichprobeninventur der MA 49

Masterarbeit

am Institut für Waldwachstum

eingereicht von **CHRISTIAN STEINMETZ, BSc**

Matrikelnummer:
1240066

Studium:
Masterstudium Forstwissenschaften

Betreuer:
PD DI Dr. Thomas Ledermann

Mitbetreuerin:
Assoc. Prof. DI Dr. Sonja Vospernik

Wien, im April 2017

Inhaltsverzeichnis

Danksagung IV
Abkürzungen V
1. Einleitung 1
2. Zielsetzungen und Fragestellungen 3
3. Beschreibung von PROGNAUS 4
3.1. Allgemeines 4
3.2. Kreisflächenzuwachsmodell 5
3.3. Höhenzuwachsmodell 6
3.4. Kronenmodell 6
3.5. Mortalitätsmodell 7
3.6. Einwuchsmodell 7
3.7. Waldwachstumssimulator PROGNAUS for Windows 9
4. Material und Methoden 11
4.1. Daten 11
4.1.1. Untersuchungsgebiet Forstrevier Gahns (MA 49, 2010) 11
4.1.2. Datengrundlage (MA 49, 2011) 12
4.1.3. Datenaufbereitung 15
4.1.4. Beschreibung des Auswerteverfahrens der MA 49 16
4.1.5. Berechnung von Grundfläche, Vorrat, Stammzahl 16
4.2. Methodik 17
4.2.1. Aufbereitung der Flächenparameter 17
4.2.1.1. Wuchsraum 18
4.2.1.2. Seehöhe 18
4.2.1.3. Neigung und Exposition 18
4.2.1.4. F- und H-Humus 18
4.2.1.5. Gründigkeit 18
4.2.1.6. Feuchteklasse 19
4.2.1.7. Relief 20
4.2.1.8. Bodengruppe 20
4.2.1.9. Vegetationstyp 21
4.2.1.10. Jugend 1 und Jugend 2 23
4.2.1.11. Betriebsart 24
4.2.1.12. Repräsentierte Fläche je Stichprobenpunkt 24
4.2.2. Aufbereitung der Baummerkmale 24

4.2.3. Simulationen und Berechnungen 24
4.2.3.1. Einzelbaumweise Simulation 24
4.2.3.2. Flächenweise Simulation 26
4.2.3.3. Berechnungen einzelbaumweiser Vergleich 27
4.2.3.4. Berechnungen flächenweiser Vergleich 27
4.2.3.5. Vorratsverlauf 27
4.2.4. Statistische Analysen 28
4.2.4.1. Verzerrung, Bias, systematischer Fehler 28
4.2.4.2. Vorhersage- Intervall 29
4.2.4.3. Präzision 30
4.2.4.4. Treffergenauigkeit 30
4.2.4.5. Regressionsanalyse und simultaner F- Test 31
4.2.4.6. Modelleffizienz 31
4.2.5. Lokale Kalibrierung/ multiple Regression 32
5. Ergebnisse 34
5.1. Einzelbaumvergleich 34
5.1.1. Brusthöhendurchmesser (BHD) und Kreisflächenzuwachs 34
5.1.2. Höhe und Höhenzuwachs 41
5.1.3. Volumen und Volumszuwachs 47
5.2. Probeflächenweiser Vergleich 53
5.2.1. Volumen/ha 53
5.2.2. Grundfläche/ha 54
5.2.3. Tabellen und Plots von Volumen/ha und Grundfläche/ha 56
5.2.4. Vorratsverlauf 61
5.3. Lokale Kalibrierung/ multiple Regression 65
6. Diskussion 68
6.1. Brusthöhendurchmesser und Kreisflächenzuwachs 68
6.2. Höhe und Höhenzuwachs 71
6.3. Volumen und Volumszuwachs 74
6.4. Volumen/ha und Grundfläche/ha 77
6.5. Vorratsverlauf 78
6.6. Lokale Kalibrierung 79
7. Schlussfolgerungen 81
8. Zusammenfassung 83
9. Summary 86

10. Literaturverzeichnis 88
11. Abbildungsverzeichnis 92
12. Tabellenverzeichnis 95
13. Anhang 98
13.1. Regressionskoeffizienten der lokalen Kalibrierung 98
13.2. Flächenmerkmale nach ÖWI 99

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all jenen bedanken, die zur Entstehung dieser Arbeit beigetragen haben. Mein aufrichtiger Dank gilt dem Betreuer der Masterarbeit, Herrn PD DI Dr. Thomas Ledermann, für die stets aufmerksame, gewissenhafte und geduldige Betreuung sowie die fachliche Unterstützung bei der Masterarbeit. Auch bei der Mitbetreuerin der Masterarbeit, Frau Assoc. Prof. DI Dr. Sonja Vospernik, möchte ich mich aufrichtig für die zahlreichen Ratschläge, sowie die Einschulung und Unterstützung im Statistikprogramm R bedanken.

Besonderer Dank gebührt Herrn OFR DI Werner Fleck für seine zahlreichen Ratschläge und seine stets hilfsbereite Unterstützung bei der Aufbereitung der Daten der Stichprobeninventur der MA 49. Großer Dank gilt auch Herrn OSR DI Andreas Januskovecz, dem Forstdirektor der MA 49, für die Genehmigung der Durchführung der Masterarbeit.

Weiters gilt mein Dank Herrn DI Dr. Klemens Schadauer, sowie Herrn DI Richard Büchsenmeister vom Bundesforschungszentrum für Wald (BFW) für die Freigabe der Daten der Österreichischen Waldinventur (ÖWI), welche für die Erstellung des Übersetzungsschlüssels verwendet wurden.

Mein allergrößter Dank gilt meinen Eltern Michaela und Werner Steinmetz, die mein Studium ermöglicht haben.

Abkürzungen

BFW	Bundesforschungszentrum für Wald
BHD	Brusthöhendurchmesser
GPS	Globales Positions System
MA 49	Magistratsabteilung 49 der Stadt Wien - Forst- und Landwirtschaftsbetrieb der Stadt Wien
ÖWI	Österreichische Waldinventur
PROGNAUS	Prognosis for Austria
VBA	Visual Basic for Applications

1. Einleitung

Die MA 49 - Forst- und Landwirtschaftsbetrieb der Stadt Wien bewirtschaftet im Bereich des Rax- und Schneeberggebietes sowie im Hochschwabgebiet rund 33.000 ha Quellenschutzwald. Primäres Ziel in diesen Quellenschutzwäldern ist nicht die Holzproduktion, sondern der Schutz der Quellen. Dabei werden nach Arbeitskreis Aktiver Quellenschutz (2015) folgende waldbauliche Grundsätze der Quellenschutzbewirtschaftung angestrebt:

- Schaffung von reich strukturierten, natürlich gemischten Wäldern
- keine Kahlschläge
- Bevorzugung von Naturverjüngung
- Chemieverbot
- kleinflächige Bewirtschaftung

Um die Erfüllung dieser Forderungen kontrollieren zu können, wurde bereits im Jahre 1991 eine permanente Stichprobeninventur flächendeckend über die gesamten Quellenschutzwälder eingerichtet. Die Schaffung von Mischwäldern stellt die Anwendung von klassischen Ertragstafeln (Marschall, 1975; Weger, 1990) vor eine Herausforderung, da sie aus Reinbeständen entwickelt wurden. Eine Möglichkeit, das Wachstum von Mischbeständen aus Ertragstafeln abzuleiten, ist die Berechnung von Flächenanteilen. So hat Kindermann (1998) in seiner Diplomarbeit verschiedenste Flächenanteilsberechnungsmöglichkeiten analysiert und kommt zum Schluss, dass die Berechnung der Flächenanteile nach der CD-Regel (Competition-Density-Regel) das zufriedenstellendste Ergebnis liefert. Hasenauer (1994) stellt jedoch fest, dass bei Mischbeständen das Wachstum nur sehr ungenau vorhergesagt werden kann, da diese wie mehrere nebeneinanderstehende Reinbestände betrachtet werden müssen. Des Weiteren gibt es aus Ertragstafeln kaum Möglichkeiten, Informationen über die zu erwartende Brusthöhendurchmesserverteilung und Sortimentsverteilung zu finden.

Eine sehr praktikable Möglichkeit, diese Problematik zu umgehen, ist die Entwicklung von Einzelbaumwachstumsmodellen. Bei den Einzelbaumwachstumsmodellen unterscheidet man zwischen abstandsabhängigen und abstandsunabhängigen Modellen (Munro, 1974), wobei bei Verwendung von ersteren immer die Stammfußkoordinaten bekannt sein müssen. Zu den Waldwachstumsmodellen zählen

neben den Einzelbaumwachstumsmodellen auch die Bestandeswachstumsmodelle. Beide werden nach Hasenauer et al. (2000) zu den Managementmodellen gezählt. Zu den Bestandeswachstumsmodellen werden beispielsweise die Ertragstafeln gezählt.

Einzelbaumwachstumsmodelle wurden bereits früh entwickelt. Beispiele dafür sind WASIM (Eckmüllner, 1990), SILVA (Pretzsch et al., 1992) sowie MOSES von Hasenauer et al. (1994). Der in Österreich wohl bekannteste Waldwachstumssimulator, der abstandsunabhängige Waldwachstumssimulator PROGNAUS, wurde von Monserud und Sterba (1996) entwickelt und bereits mehrfach an unabhängigen Daten validiert (Sterba et al., 2001; Vospernik und Eckmüllner, 2012; Ledermann, 2010). Bei diesen Validierungen erreichte PROGNAUS immer sehr praktikable Ergebnisse. Da die MA 49 ungleichaltrige, gemischte Bestände anstrebt (Arbeitskreis Aktiver Quellenschutz, 2015), soll dieser Waldwachstumssimulator auch an den Daten der permanenten Stichprobeninventur der MA 49 validiert werden und anschließend die Brauchbarkeit für die MA 49 festgestellt werden.

2. Zielsetzungen und Fragestellungen

Die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit ist, die Frage zu klären, inwieweit der Einzelbaumwaldwachstumssimulator PROGNAUS (Monserud und Sterba, 1996) in den Quellenschutzwäldern der MA 49 anwendbar ist. PROGNAUS wurde aus den Daten der Österreichischen Waldinventur parametrisiert. Anhand der Daten der permanenten Stichprobeninventur des Forstrevieres Gahns in Niederösterreich soll eine Validierung von PROGNAUS durchgeführt werden. Dabei erfolgt eine Simulation über einen Zeitraum von 20 bis 24 Jahren („rollende Inventur“) sowie Simulationen mit einer Laufzeit von 10 und 5 Jahren. Insbesondere werden mit einem Einzelbaumvergleich das Kreisflächenzuwachsmodell (Monserud und Sterba, 1996) und das Höhenzuwachsmodell (Nachtmann, 2005) validiert. Weiters wird ein probeflächenweiser Vergleich der Grundfläche und des Vorrates je Hektar durchgeführt und der durchschnittliche Vorratsverlauf graphisch dargestellt. Um diese Validierung durchführen zu können, muss davor ein Übersetzungsschlüssel für fehlende beziehungsweise anders erhobene Standortsparameter erstellt, das Datenmaterial überprüft sowie das Auswerteschema der MA 49 evaluiert werden. Um zu überprüfen ob der Übersetzungsschlüssel hinreichend genau ist, beziehungsweise ob mit den MA 49 Standortsparametern weitere Streuung erklärt werden kann, wird zum Abschluss der Arbeit eine multiple Regression für eine lokale Kalibrierung gerechnet.

Folgende Fragestellungen sollen in der vorliegenden Arbeit überprüft werden:

- Unterscheiden sich die simulierten (predicted) Werte statistisch signifikant von den gemessenen (observed) Werten?
- Mit welcher Genauigkeit können Brusthöhendurchmesser, Höhe, Volumen sowie deren Zuwachsparameter über die verschiedenen Untersuchungszeiträume mit PROGNAUS simuliert werden?
- Wie genau können Vorrat und Grundfläche je Hektar über verschiedene Zeiträume auf den einzelnen Probeflächen simuliert werden?

Diese Fragestellungen werden anhand statistischer Validierungskennzahlen beurteilt und deren Ergebnisse mit anderen Untersuchungen verglichen. In den Ergebnissen soll die Frage, mit welcher Genauigkeit PROGNAUS über die Zeiträume 20 bis 24, 10 und 5 Jahre in den Quellenschutzwäldern anwendbar ist, beantwortet werden.

3. Beschreibung von PROGNAUS

3.1. Allgemeines

PROGNAUS (PROGNOSIS for AUSTRIA) ist ein Einzelbaumwachstumsmodell und wurde aus den Daten der Österreichischen Waldinventur (ÖWI) 1981/1985 und 1986/1990 nach dem STAND PROGNOSIS MODEL von Stage (1973) entwickelt. Die Entwicklung erfolgte am Institut für Waldwachstum durch Monserud und Sterba (1996) und das Programm wurde kontinuierlich mit verschiedenen Modellen weiterentwickelt (Hasenauer und Monserud, 1996; Hasenauer,1997; Monserud und Sterba, 1999; Ledermann, 2002; Nachtmann, 2005). PROGNAUS ist distanzunabhängig und für Rein- und Mischbestände geeignet. Es führt direkte Schätzungen ohne Potenzial aus (unified equation approach) und ist für gleich- und ungleichaltrige Bestände geeignet. Nach Ledermann (2004) zeichnet PROGNAUS besonders aus, dass es unabhängig von Ertragstafeln anwendbar ist und das tatsächliche Wachstum der einzelnen Bäume beschreibt. Da die MA 49 in den Quellenschutzwäldern ungleichaltrige, reich strukturierte Wälder anstrebt, wäre PROGNAUS ein Schritt, von den Ertragstafeln (Marschall, 1975; Weger, 1990) wegzukommen. PROGNAUS wurde bereits bei den Österreichischen Bundesforsten zur Prognose der Vorrats- und Zuwachsentwicklung sowie zur Hiebsatzermittlung eines in der Übergangsphase zwischen Altersklassenwald und Plenterbetrieb befindlichen Forstbetriebes verwendet (Ledermann, 2004).

PROGNAUS besteht aus den folgenden Teilmodellen:

- Kreisflächenzuwachsmodell (Monserud und Sterba, 1996)
- Höhenzuwachsmodell (Nachtmann, 2005)
- Kronenmodell (Hasenauer und Monserud, 1996)
- Mortalitätsmodell (Monserud und Sterba ,1999)
- Einwuchsmodell (Ledermann, 2002)

3.2. Kreisflächenzuwachsmodell

Das von Monserud und Sterba (1996) entwickelte Kreisflächenzuwachsmodell schätzt den Kreisflächenzuwachs [cm²] einer Fünfjahresperiode.

Das Kreisflächenzuwachsmodell ist ein logarithmisches Modell. Es wurde in Anhalt an Wykoff (1990) von Monserud und Sterba (1996) wie folgt definiert und ist eine Funktion von Baumgröße, Konkurrenz und Standort:

$$\ln(BAI) = a + b\ x\ SIZE + c\ x\ COMP + s\ x\ SITE \qquad (1)$$

wobei BAI dem fünfjährigen Kreisflächenzuwachs [cm²], a dem Absolutglied, b dem Regressionskoeffizienten der Baumgröße, c dem Regressionskoeffizienten der Konkurrenz und s dem Regressionskoeffizienten des Standorts entspricht.

Die Funktion der Baumgröße setzt sich nach Monserud und Sterba (1996) wie folgt zusammen:

$$b\ xSIZE = b_1 \mathrm{x}\ \ln(\mathrm{BHD}) + b_2\ \mathrm{x}\ \mathrm{BHD}^2 + b_3\ \mathrm{x}\ \ln(\mathrm{CR}) \qquad (2)$$

wobei b_i den einzelnen Regressionskoeffizienten, BHD dem Brusthöhendurchmesser und CR dem Kronendurchmesser entsprechen. Um die Konkurrenz zu berücksichtigen, wird der folgende Term verwendet:

$$c\ x\ COMP = c_1\ x\ BAL + c_2\ * CCF \qquad (3)$$

Bei dieser Formel entspricht c_i den Regressionskoeffizienten der Konkurrenz und BAL steht für die basal area of larger trees beziehungsweise die Grundfläche größerer Bäume als der ausgewählte (Wykoff, 1990). Der CCF beschreibt den Crown Competition Factor nach Krajicek et al. (1961), wobei zur Berechnung die Solitärkronendurchmesser von Hasenauer (1997) verwendet werden.

Die Standortskomponenten berücksichtigen Monserud und Sterba (1996) mit der folgenden Formel:

$$s\ x\ SITE = d\ x\ SITE_1 + e\ x\ SITE_2 + f\ x\ SITE_3 \qquad (4)$$

Der erste Teil ($SITE_1$) beschreibt den Einfluss der Parameter Seehöhe, Neigung, Azimut und Exposition. Mit dem zweiten Teil der Formel ($SITE_2$) werden die Mächtigkeiten der F- und H-Humusschicht berücksichtigt. Mit $SITE_3$ werden die Parameter Gründigkeit, Bodenfeuchte, Hangposition, Bodengruppe, Vegetationsgruppe und Wuchsraum beschrieben. Diese Standortsparameter sind sehr wesentlich für die Simulation mit den Daten der MA 49, da einige erst über einen

Übersetzungsschlüssel hergeleitet werden mussten. Die Koeffizienten s, d, e und f entsprechen den jeweiligen Regressionkoeffizienten.

3.3. Höhenzuwachsmodell

Das aktuell in PROGNAUS verwendete Höhenzuwachsmodell wurde von Nachtmann (2005) entwickelt. Bei den zuvor entwickelten Höhenzuwachsmodellen (z.B. in Knieling, 1994; Schieler, 1997) wurde der Höhenzuwachs aus dem Durchmesserzuwachs abgeleitet. In der Diplomarbeit von Nachtmann (2005) wurde versucht, die Parameter des Evolon-Modells aus den Daten der Österreichischen Waldinventur abzuleiten. Das Evolon-Modell ist eine theoretisch gut formulierte Höhenzuwachsgleichung nach Mende und Albrecht (2001):

$$ih = \frac{\partial h}{\partial t} = c * h^{\varkappa} * (B - h)^{\lambda} \qquad (5)$$

In Formel (5) nach Mende und Albrecht (2001) entspricht ih dem jährlichen Höhenzuwachs, t der Zeit, c einem Geschwindigkeitsparameter, h der Ausgangsbaumhöhe, $\varkappa$ einem Exponenten für das anfängliche Wachstum, B dem Sättigungswert und λ dem Exponenten für die Sättigungsphase.

Als Beispiel seien hier die Einflussparameter auf die Gleichungsparameter der Hauptbaumart Fichte nach Nachtmann (2005) beschrieben. Der Exponent für das anfängliche Wachstum $\varkappa$ wird vom CCF nach Krajicek et al. (1961), der aktuellen Baumhöhe, der Oberhöhe sowie dem Relief (Hangposition) bestimmt. Der Sättigungswert ergibt sich aus den Standortsparameter Seehöhe, Neigung und Exposition sowie Gründigkeit und Wasserhaushaltsklasse. Der Exponent für die Sättigungsphase λ errechnet sich aus den Bodengruppen und den Wuchsräumen. Das Fichtenmodell wurde von Nachtmann (2005) aus 21.279 Beobachtungen berechnet.

3.4. Kronenmodell

Das Kronenmodell für PROGNAUS wurde von Hasenauer und Monserud (1996) entwickelt. Als Datengrundlage dienten die ÖWI-Daten 1981/1985. Das Modell berechnet das Verhältnis von Kronenlänge zu Baumhöhe.

$$CR = \frac{1}{1 + e^{a+b*SIZE+c*COMP+d*SITE}} \qquad (6)$$

Bei der obigen Formel (6) entspricht CR dem crown ratio, das ist das Verhältnis zwischen Kronenlänge und Baumhöhe. Der CR wird durch eine LOGIT-Funktion

beschrieben und kann Werte zwischen 1 (volle Bekronung) und 0 (keine Krone) annehmen. Der Wachstumsgrößenparameter (SIZE) wird von den Eingangsparametern Höhe und Brusthöhendurchmesser sowie deren Verhältnis (H/D-Wert) abgeleitet. Die Konkurrenz (COMP) berechnet sich wiederum aus der basal area of larger trees (BAL) nach Wykoff (1990) sowie dem Crown Competition Factor (CCF) nach Krajicek et al. (1961). Der Standortsparameter (SITE) wird aus der Seehöhe, der Neigung und aus der Exposition abgeleitet. Die Buchstaben a, b, c und d stehen für die Regressionskoeffizenten der LOGIT- Funktion.

3.5. Mortalitätsmodell

Das Mortalitätsmodell (Monserud und Sterba, 1999) beschreibt die Wahrscheinlichkeit, dass ein einzelner Baum in einer Fünfjahresperiode durch Mortalität ausscheidet. Als Datenbasis wurden wiederum die Daten der ÖWI (Österreichische Waldinventur) 1981/1985 sowie 1986/1990 verwendet.

$$P_{Mort} = \frac{1}{1 + e^{a + \frac{b1}{BHD} + b2 * BHD + b3 * BHD^2 + b4 * CR + b5 * BAL}} \qquad (7)$$

P_{Mort} entspricht dabei der Wahrscheinlichkeit, dass ein Baum in einer Fünfjahresperiode ausscheidet, e der Exponentialfunktion, a dem Absolutglied, b_i den von Sterba und Monserud (1999) berechneten Regressionskoeffizienten, BHD dem Brusthöhendurchmesser, CR dem Verhältnis von Kronenlänge zu Baumhöhe und BAL der basal area of larger trees nach Wykoff (1990).

3.6. Einwuchsmodell

Das Einwuchsmodell wurde von Ledermann (2002) auf Basis der Inventurdaten der Österreichischen Waldinventur 1981-1996 (zwei Beobachtungsperioden) erstellt. Für diese Arbeit wurde ein mehrstufiger Modellansatz gewählt. Die erste Modellgleichung nach Ledermann (2002) berechnet die Wahrscheinlichkeit, dass auf einer Probefläche Einwuchspotenzial vorhanden ist. Diese lautet:

$$P_{(Einw)} = \frac{1}{1 + e^{b * X}} \qquad (8)$$

wobei e die Basis des natürlichen Logarithmus, b ein Set von Koeffizienten und X ein Set erklärender Variablen darstellt.

Mit selbiger Gleichung (jedoch anderen Koeffizienten und anderen erklärenden Variablen) berechnet Ledermann (2002) die Wahrscheinlichkeit für den Einwuchs einer bestimmten Spezies. Weiters beinhaltet das mehrstufige Einwuchsmodell Funktionen, die die Anzahl der Einwüchse auf einer Fläche, den Brusthöhendurchmesser des eingewachsenen Baumes sowie die Höhe des eingewachsenen Baumes schätzen.

3.7. Waldwachstumssimulator PROGNAUS for Windows

Basierend auf den oben angeführten Modellen wurde am Institut für Waldwachstum von Ledermann (2007) der Waldwachstumssimulator PROGNAUS for Windows erstellt, welcher für die Simulationen der Masterarbeit verwendet wurde. Dieser Waldwachstumssimulator ist auf die Simulation von Inventurdaten ausgerichtet. Um simulieren zu können, müssen neben den Baumdaten (z.B. BHD, Höhe, repräsentierte Stammzahl sowie Baumnummer) eine Reihe von Standortsparametern nach der Österreichischen Waldinventur eingegeben werden. Diese umfassen Seehöhe, Neigung, Exposition, F-Humusmächtigkeit, H-Humusmächtigkeit, Gründigkeit, Feuchteklasse, Relief, Bodengruppe, Wuchsraum sowie Betriebsart. PROGNAUS for Windows ermöglicht die Durchführung distanzunabhängiger Simulationen über beliebige Zeiträume. Es ist auch möglich, bestimmte Eingriffsszenarien wie Hoch- oder Niederdurchforstungen zu simulieren. Im Falle der Masterarbeit wurden die zu nutzenden Bäume mittels File eingespielt (aus der Natur nachgestellt). Die Simulation kann nach verschiedenen vorher definierten Straten ausgewertet werden. Aus der Simulation können dann verschiedene Flächenparameter angezeigt (Vorrat, Grundfläche, Stammzahl) und in Diagrammen dargestellt werden. Auch die Erstellung einer Leistungstabelle, die den Ertragstafeln ähnelt und die Entwicklung von Vorrat, Grundfläche oder Stammzahl über die Zeit zeigt, ist möglich. In einer graphischen Darstellung können aus dieser Leistungstabelle der Vorrats-, Grundflächen- und Stammzahlverlauf inklusive Nutzungen und Mortalität visualisiert werden. Die Einzelbaumdaten können anschließend in eine ASCII-Datei oder in Microsoft Access gespeichert werden

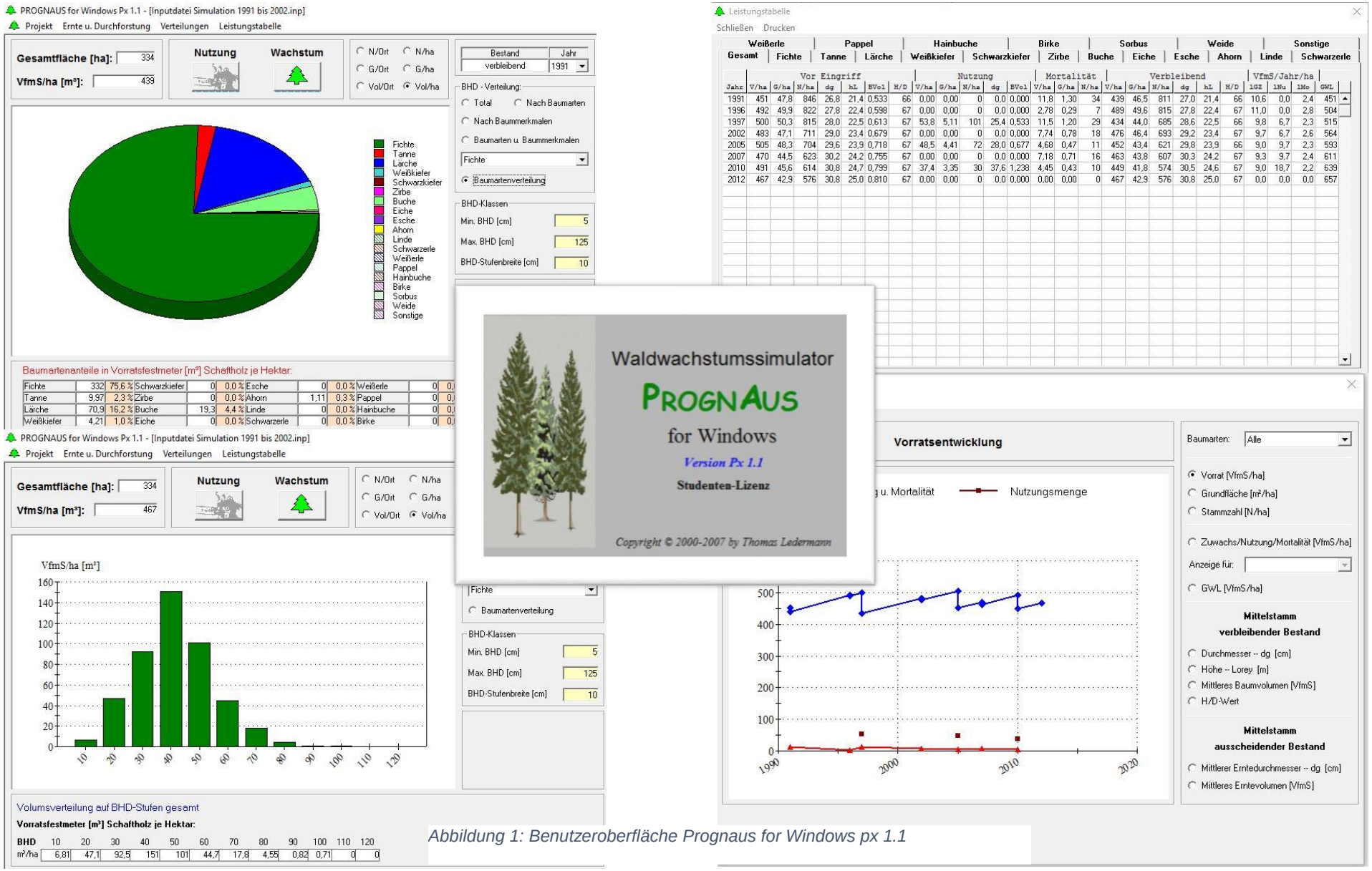


Abbildung 1: Benutzeroberfläche Prognaus for Windows px 1.1

4. Material und Methoden

4.1. Daten

4.1.1. Untersuchungsgebiet Forstrevier Gahns (MA 49, 2010)

Die für die Validierung verwendeten Daten stammen aus dem Forstrevier Gahns der MA 49 - Forst- und Landwirtschaftsbetrieb der Stadt Wien. Es befindet sich im politischen Bezirk Neunkirchen im südlichen Niederösterreich und weist eine Gesamtgröße von 2.259 ha auf, welche sich auf 1.803 ha Wirtschaftswald, 149 ha Schutzwald im Ertrag, 78 ha Schutzwald außer Ertrag und 229 ha sonstige Flächen verteilt. Die Stichprobeninventur wird ausschließlich im Wirtschaftswald sowie im Schutzwald im Ertrag durchgeführt. Das Revier liegt in den Katastralgemeinden Vöstenhof, Puchberg am Schneeberg, Rohrbachgraben, Prigglitz sowie zu einem kleinen Teil in Payerbach. Nach Kilian et al. (1994) befindet sich das Revier im Wuchsgebiet 5.1 „Niederösterreichischer Alpenostrand - Thermenalpen“. Die Niederschlagsjahressumme in den angrenzenden Wetterstationen liegen nach einer Langzeitbeobachtung des hydrografischen Dienstes im Zeitraum 1961 bis 1990 zwischen 817 mm (Reichenau an der Rax) und 1363 mm (Baumgartnerhaus). Die meisten Niederschläge entfallen auf die Monate Juni und Juli. Die Gewitterhäufigkeit ist mit 20 bis 25 Tagen pro Jahr vergleichsweise hoch (Mrkvicka, 1992). Die Jahresmitteltemperatur liegt im Beobachtungszeitraum 1961 bis 1990 zwischen 3,6 °C (Baumgartnerhaus auf 1389m, an Reviergrenze) und 7,9 °C in Reichenau an der Rax. Die kleinsten Monatsmitteltemperaturen weisen die Monate Dezember, Jänner und Februar auf, die höchsten August und September (MA 49, 2010).

Geologisch gesehen gehört das Revier Gahns den Nördlichen Kalkalpen an, wobei das häufigste Gestein der Wettersteinkalk bildet (MA 49, 2010). Aufgrund des sehr bewegten Reliefs kommt es zu einer mosaikartigen Verzahnung von Bodentypen. Die häufigsten Böden im Revier Gahns sind Rendzinen, Kalksteinbraunlehme sowie Mischböden (Koeck, 2008; MA 49, 2010). Mischböden sind sehr häufig und stellen meist eine Mischung aus Rendzinen und Kalksteinbraunlehmen dar. Im Revier Gahns ist mit 50,1 % die Kalklehm-Rendzina der häufigste Bodentyp (Koeck, o.J.). Braunerden kommen im Untersuchungsgebiet nur auf Werfener Schichten und

Grauwacke vor (Koeck, 2008). Die Kalksteinbraunlehme am Gahns zeigen einen hohen Skelettanteil (MA 49, 2010).

Als Bewirtschaftungsziel strebt die MA 49 im Revier standortsgerechte, ungleichaltrige, sturm- und schneebruchresistente, stufige, gesunde Mischwälder zum Schutz des Wassers an, wobei die Holzgewinnung dem Wasserschutz untergeordnet ist. Weiters wird eine möglichst dauernde Bodenbedeckung angestrebt. Kahlschläge sowie der Einsatz von chemischen Stoffen sind in den Quellenschutzwäldern der Stadt Wien untersagt. Auch Bodenverdichtungen müssen vermieden werden (Arbeitskreis Aktiver Quellenschutz, 2015).

Abbildung 2: Lageskizze des Forstrevieres Gahns

4.1.2. Datengrundlage (MA 49, 2011)

Als Validierungsmaterial dienen die Daten der permanenten Stichprobeninventur der Quellenschutzwälder. Das ursprüngliche Probeflächennetz wurde im begehbaren Wald eingerichtet, nun aber nur mehr im Wirtschaftswald sowie im Schutzwald im

Ertrag erhoben. Nach MA 49 (2011) gab es in der Periode 2011-2015 1.318 permanente Stichprobenpunkte, welche mit einem Eisenrohr fix vermarkt wurden. Diese Stichprobenpunkte wurden von 1991 bis 2000 fix angelegt und im Zwei-Mann-Verfahren erhoben. Ursprünglich wurde ein 200 x 200 m Raster angelegt, welcher bei der Folgeerhebung 2001-2005 ausgedünnt wurde. Insgesamt wird die Fläche der MA 49 bei der Stichprobeninventur in vier Aussageeinheiten unterteilt, als Validierungsmaterial werden nur die 270 Punkte des Revieres Gahns herangezogen, da eine sehr arbeitsintensive Datenaufbereitung erforderlich war, zumal Standortsparameter nicht nach dem System der ÖWI erhoben wurden. Die Ersteinrichtung im Revier erfolgte 1991. Eine weitere Besonderheit ist die Umstellung auf eine „rollende Inventur“ mit der Erhebungsperiode 2001-2005, was bedeutet, dass über einen Zeitraum von fünf Jahren jährlich 20 % der Probeflächen wiedererhoben werden. Dieser Aspekt musste bei der Simulation berücksichtigt werden. Aktuell werden die Punkte alle fünf Jahre wiedererhoben, 2015 wurde die dritte Wiedererhebung abgeschlossen. Auf jeder Probefläche wird eine Winkelzählprobe nach Bitterlich (1948) durchgeführt. Als Kluppschwelle gelten ab der Vierterhebung 100 mm, vorher betrug die Kluppschwelle 70 mm. Seit der Vierterhebung wird zusätzlich zur Winkelzählprobe ein fester Probekreis mit Radius 2,5 m für Bäume unter 100 mm erhoben. Die 2,5 m entsprechen dem Grenzkreisradius eines Baumes mit einer Kluppschwelle von 10 cm. Die Erhebung der Daten wird von Försterinnen und Förstern der Stadt Wien durchgeführt, wobei von jedem Baum in der Winkelzählprobe die folgenden Parameter erhoben werden (MA 49, 2011):

Tabelle 1: Angesprochene Baummerkmale in der Stichprobeninventur der MA 49

Baummerkmale	
Baumnummer	Azimut vom Probeflächenzentrum
Distanz vom Zentrum zur Stammmitte	Brusthöhendurchmesser (BHD)
Baumart	Korrekturcode bei Wiederaufnahme (z.B. Nutzung)
soziale Stellung nach Kraft oder IUFRO	Qualität des Schaftes
Schälschäden	sonstige Schäden (Fällung, Bringung, Steinschlag etc.)
Höhe des Zentralstammes pro Schicht und Baumart	Kronenprozent (crown ratio)
Brusthöhenalter (nur von Zentralstamm)	

Weiters wird auf jeder Probefläche eine flächenspezifische Ansprache durchgeführt. Diese umfasst neben der allgemeinen Flächenbeschreibung insbesondere Verjüngungskennzahlen. Eine Auswahl an erhobenen Flächenparametern seien in den folgenden Tabellen dargestellt (MA 49, 2011):

Tabelle 2: Angesprochene Flächenmerkmale in der Stichprobeninventur der MA 49

Allgemeine Flächenmerkmale		
Betriebsklasse	Waldfunktion	Bringungsdistanz
Bringungsart	Bringungsklasse	Geländeklasse
Meereshöhe	Exposition	Neigungsklasse
Wüchsigkeit	Schichtigkeit	Besonderheiten

Tabelle 3: Angesprochene Verjüngungsmerkmale in der Stichprobeninventur der MA 49

Verjüngungsmerkmale		
Verjüngungsnotwendigkeit	Baumarten des Verjüngungszieles	Verjüngungshöhenklasse
Verjüngungshöhenklassenausmaß	Verjüngungstyp	Beurteilung der Verjüngungsentwicklung
Verbiss	Verjüngungsziele	Prognose zur Erreichung des Verjüngungszieles

4.1.3. Datenaufbereitung

Um die Stichprobendaten für PROGNAUS verwenden zu können, musste zuerst eine umfassende Datenaufbereitung durchgeführt werden. Dabei wurden die digital zur Verfügung gestellten Inventurdaten des Revieres Gahns mit den Originalformularen auf Plausibilität kontrolliert. In einem nächsten Schritt musste das Auswerteschema der MA 49 überprüft werden, um richtig berechnete Vergleichsdaten gewährleisten zu können. Die Formel der Einheitshöhenkurve wurde umprogrammiert. Der letzte Aufbereitungsschritt war eine Analyse von Ausreißern mit dem Statistikprogramm R. Dabei wurden die Brusthöhendurchmesser sowie die Höhen und Volumina der Einzelbäume in einem Plot dargestellt und immer eine Erhebung mit deren Folgeerhebung verglichen. Weiters erfolgte eine Analyse der Zuwachsgrößen (z.B. Kreisflächenzuwachs) über den Zustandsgrößen (Brusthöhendurchmesser). Offensichtliche Ausreißer wurden mittels R bereinigt. Dies erfolgte einerseits gutachterlich (z.B. bei offensichtlichen Ziffernstürzen) sowie über lineare Regressionsmodelle. Diese Regressionsmodelle stellten jeweils einen linearen Zusammenhang zwischen den Zustandsgrößen einer Aufnahmeperiode und deren

Vor- oder Folgeinventur her. Die unabhängige Variable wurde immer aus jener Inventur berechnet, in der der Ausreißer auftrat. Wenn beispielsweise ein Brusthöhendurchmesser in der Zweiterhebung im Vergleich zur Erst- und Dritterhebung als Ausreißer identifiziert wurde, so wurde er durch Einsetzen des Wertes der Erst- oder Dritterhebung in die Regressionsgleichung berechnet. Die Regressionsgleichung hatte beispielsweise folgende Form:

$$BHD_{Zweiterhebung} = a + b * BHD_{Ersterehbung} \quad (9)$$

4.1.4. Beschreibung des Auswerteverfahrens der MA 49

Die MA 49 verwendet zur Auswertung der Stichprobeninventur das Programm Microsoft Excel sowie zur Datenaufbewahrung das Programm Microsoft Access. Das Auswerteschema in Excel wurde von Prof. DI Dr. Otto Eckmüllner, DI Werner Fleck sowie DI Hannes Lutterschmied erstellt. Es vergleicht die Letztinventur mit der Vorinventur. Dabei gibt es eine Flächen- und eine Baumtabelle. Bei der Auswertung wird jeder in die Winkelzählprobe fallende Baum in einer eigenen Zeile mit seinen erhobenen Parametern geführt und mit demselben Baum der Vorinventur verglichen.

4.1.5. Berechnung von Grundfläche, Vorrat, Stammzahl

Bei Zählbreite k=4 repräsentiert jeder in die Winkelzählprobe fallende Baum 4 m²/ha. Diese werden addiert und anschließend durch die Anzahl der Probeflächen dividiert, um die durchschnittliche Grundfläche/ha des Revieres zu erhalten. Die Grundfläche eines Einzelbaumes g erhält man durch Ausrechnen der Kreisfläche auf Brusthöhe, die mit der Kreisformel anhand der gemessenen Brusthöhendurchmesser berechnet wird.

Die Stammzahl je Hektar einer Probefläche ergibt sich aus der Summe der repräsentierten Stammzahlen. Die repräsentierte Stammzahl ist jene Stammzahl, die bei einer Kreisfläche von g k m² ergibt.

Um den Vorrat je Hektar berechnen zu können, müssen zuerst mit einer Höhenkurve die fehlenden Höhen berechnet werden. Die MA 49 verwendet dabei die Höhenkurve vom Typ $\ln(h - 1{,}3) = a0 + a1 * \frac{1}{BHD}$. Als Regressionskoeffizienten (a1) finden jene von Knieling (1994) Verwendung. Für jede Baumart und jede soziale Stellung wird generell ein Absolutglied (a0) berechnet. Sowohl das Einhängen in die

Einheitshöhenkurve (Berechnung von a0) als auch die Berechnung der fehlenden Höhen erfolgt automatisiert mit einer VBA-Formel. Als Formzahlen werden die Schaftholzformzahlen von Pollanschütz (1974) für Bäume > 10,5 cm und für Bäume < 10,5 cm jene von Schieler (1997) verwendet. Das Volumen je Hektar erhält man, wenn die repräsentierte Grundfläche je Hektar mit Höhe und Formzahl des Einzelbaumes multipliziert und die Probeflächenwerte aufsummiert werden. Das Volumen des Einzelbaumes errechnet sich aus der Grundfläche des Baumes in Brusthöhe multipliziert mit seiner Höhe und Formzahl.

4.2. Methodik

4.2.1. Aufbereitung der Flächenparameter

Um Simulationen mit PROGNAUS durchführen zu können, müssen diverse Standortsparameter in der Codierung der Österreichischen Waldinventur (ÖWI) vorliegen. Dies führte zu einem Problem, da bei der MA 49 zwar eine Standortskartierung mit diversen Standortsparametern flächendeckend vorliegt, diese jedoch nicht mit den Standortsparametern der ÖWI kompatibel war. Es war somit Teil der Masterarbeit, einen Übersetzungsschlüssel für diese Standortsparameter zu erstellen. Von der MA 49 wurde dazu ein qualitativ übersetzter Übersetzungsschlüssel (Übersetzung wurde gutachterlich durchgeführt) erstellt, im Rahmen dieser Arbeit wurde versucht, einen quantitativen Übersetzungsschlüssel zu erstellen und diesen anschließend mit der qualitativen Übersetzung zu kombinieren, um letztendlich aus den MA 49 Standortsausscheidungen ÖWI-Standortseinheiten ableiten zu können.

Für den quantitativen Übersetzungsschlüssel wurden vom Institut für Waldinventur des BFW (Bundesforschungszentrum für Wald) alle Standortsparameter der Punkte der Österreichischen Waldinventur (ÖWI), die in den Quellenschutzforsten der MA 49 liegen, freigegeben. Dies entspricht 64 ÖWI Punkten. Die Punkte wurden aus Datenschutzgründen vom BFW mit der Hydrotopenkartierung (MA 49, 1992) der MA 49 verschnitten. Es wurde ermittelt, von welchem ÖWI Standortsparameter die MA 49 Standortsparameter (z.B. Bodentyp Rendzina) am häufigsten getroffen wurden und der den jeweiligen MA 49 Standortsparameter am häufigsten treffende ÖWI-Typ zur Übersetzung herangezogen. Die Beschreibung der genauen Ableitung der jeweiligen ÖWI Standortsparameter erfolgt auf den nächsten Seiten.

4.2.1.1. Wuchsraum

Das Forstrevier Gahns befindet sich im Wuchsraum 6 - Alpenostrand gemäß der Kartierung der ÖWI (vgl. Ledermann, 2007). Nach Kilian et al. (1994) entspricht dies dem Wuchsgebiet 5.1 Niederösterreichischer Alpenostrand - Thermenalpen.

4.2.1.2. Seehöhe

Die Seehöhe wurde im Rahmen der Stichprobeninventur mittels GPS-Geräten ermittelt.

4.2.1.3. Neigung und Exposition

Die Stichprobeninventur der MA 49 erhebt die Neigung in 10 % Stufen. Daher wurde immer die Klassenmitte verwendet, für 1-9 % beispielsweise 5 %. Einzige Ausnahme stellte eine ebene Exposition dar, bei welcher die Neigung mit 0 % angenommen wurde. Dadurch kann dann jede beliebige Exposition für Ebenen angenommen werden, da sich durch eine Neigung von Null jeglicher Einfluss der Exposition auf den Kreisflächenzuwachs aufhebt (vgl. Monserud und Sterba, 1996). Die Exposition wird mit einer neunteiligen Windrose erhoben, wobei 9 einer ebenen Fläche entspricht.

4.2.1.4. F- und H-Humus

Aufgrund der geringen Stichprobenzahl der ÖWI-Probepunkte auf den jeweiligen Bodentypen der MA 49 wurde als Mächtigkeit des F- und H-Humus das arithmetische Mittel aller 63 ÖWI-Probepunkte angenommen. Dieses entspricht für den F-Humus 1,27 cm mit einer Standardabweichung von ± 1,29 cm und für den H-Humus 2,89 cm mit einer Standardabweichung von ± 6,19 cm.

4.2.1.5. Gründigkeit

Die Gründigkeit wurde sowohl mittels Verschneidung der ÖWI Punkte sowie aus einer wissenschaftlichen Studie nach Koeck (o.J.) abgeleitet. Dabei ergab sich für die einzelnen Bodentypen bei der Verschneidung folgendes Ergebnis:

Tabelle 4: quantitativer Übersetzungsschlüssel Gründigkeit

Bodentyp MA 49	Code Bodentyp nach MA 49	einzusetz. Wert Gründigkeit [cm]
Rendzina	A	25
Insellehm- Komplexe	B	35
Kalklehm- Rendsina	C	35
Kalkbraunlehm- Inseln	D	35
Kalkbraunlehm	E	35
Pseudogley	H	35
Kalkbraunlehm mit Pseudogley Dyn.	L	35
Fels	N	25

Da nicht angenommen wurde, dass Rendzinen im betroffenen Gebiet großteils seichtgründig sind, wurden noch Gründigkeitsuntersuchungen in den Forstverwaltungen Hirschwang und Wildalpen nach Koeck (o.J.) herangezogen, welche dann für die Simulation in PROGNAUS verwendet wurden. Anzumerken ist, dass sehr viele Mosaikstandorte dokumentiert wurden, welche in die einzelnen Gründigkeiten hypothetisch nach Tabelle 5 aufgeteilt wurden. Seichtgründig nach Koeck (o.J.) bedeutet eine Bodenmächtigkeit von < 30 cm, mittelgründig zwischen 30 cm und 60 cm und tiefgründig > 60 cm.

Tabelle 5: Aufteilungsschlüssel der Bodenmosaike

Mosaiktyp	Anteil seichtgründig	Anteil tiefgründig
seicht- mittelgründig	50,00%	50,00%
seicht- tiefgründig	33,33%	66,67%
mittel- tiefgründig	0,00%	100,00%

Tabelle 6: Übersetzungsschlüssel Gründigkeit

Bodentyp nach MA 49	Code Bodentyp nach MA 49	einzusetzender Wert für Gründigkeit [cm]
Rendzina	A	35
Insellehm- Komplexe	B	35
Kalklehm- Rendzina	C	35
Kalkbraunlehm- Inseln	D	35
Kalkbraunlehm	E	35
Braunerde	F	35
Pseudogley	H	35
Schutt- Rendzina auf Schuttstandorten	O	35
Gley	K	35
Ranker	Z	35
Kalkbraunlehm mit Pseudogley- Dynamik	L	35
Grauer Auboden	J	35

4.2.1.6. Feuchteklasse

Die Feuchteklasseneinteilungen der MA 49 und der Österreichischen Waldinventur unterscheiden sich dadurch, dass die MA 49 neun Feuchteklassen unterscheidet.

Diese wurden, wie Tabelle 7 zeigt, von der MA 49 qualitativ den Feuchteklassen der ÖWI zugeordnet.

Tabelle 7: Übersetzungsschlüssel Feuchteklasse

Wasserhaushaltsklasse MA 49	Feuchteklasse ÖWI
Felsen	1
Schutt	1
trocken	1
mäßig trocken	1
wechseltrocken	1
mäßig frisch	2
frisch	3
betont frisch	4
sehr frisch	4
wechselfeucht	4
feucht	5
nass	5

4.2.1.7. Relief

Da bei den Außenaufnahmen keine Ansprache des Reliefs erfolgt ist, wurde dieses aus der Revierkarte im Programm ArcGIS unter Zuhilfenahme von 20 m-Höhenschichtlinien interpretiert. Dabei sind Talböden und Mulden nur sehr schwer aus der Karte abzuleiten.

4.2.1.8. Bodengruppe

Für die Bodengruppen nach ÖWI wurde ein Übersetzungsschlüssel erstellt, welcher sich aus dem quantitativen sowie dem qualitativen Übersetzungsschlüssel zusammensetzt. Prinzipiell wurde bei der Übersetzung der Wert des quantitativen Übersetzungsschlüssels bevorzugt. Rendzina (A) nach der Standortskartierung der MA 49 (MA 49, 1992) wurde beispielsweise zu 78 % von der Bodengruppe 17 der ÖWI (Rendzina und Rohböden auf Kalk) getroffen. Dies entspricht auch der qualitativen Übersetzungstabelle. Somit wurde der Rendzina (A) im Übersetzungsschlüssel die Bodengruppe 17 zugewiesen. Bei Insellehm (B) und Kalklehm-Rendzina (C) wurde der qualitative Übersetzungsschlüssel bevorzugt, da Untersuchungen von zum Beispiel Monserud und Sterba (1996) zeigen, dass diese Mischböden bei Fichte ein signifikant besseres Wachstum aufweisen, als reine Rendzinen. Die untenstehende Tabelle zeigt den erstellten Übersetzungsschlüssel für die Bodengruppen:

Tabelle 8: Übersetzungsschlüssel Bodengruppe

Bodentyp MA 49	Code Bodentyp MA 49	Bodengruppe nach ÖWI
Rendzina (A)	A	17
Insellehm (B)	B	18
Kalklehm-Rendzina (C)	C	18
Kalkbraunlehm-Inseln (D)	D	18
Kalk-Braunlehm (E)	E	19
Braunerde (F)	F	3
Parabraunerde (G)	G	9
Pseudogley (H)	H	11
Grauer Auboden (I)	I	21
Gley (K)	K	14
Pseudogley-Kalkbraunlehm (L)	L	14
Semi-Podsol (W)	W	6
Ranker (Z)	Z	1

4.2.1.9. Vegetationstyp

Die Vegetationstypen wurden aufgrund der geringen Stichprobenzahl des jeweiligen Vegetationstyps mit dem qualitativen Übersetzungsschlüssel übersetzt. Die quantitative Übersetzung wurde zwar durchgeführt, jedoch als nicht repräsentativ angesehen. Die folgenden Tabellen zeigen, wie die einzelnen Vegetationstypen der MA 49 in die Vegetationstypen der ÖWI übersetzt wurden:

Tabelle 9: Übersetzungsschlüssel Vegetationstyp 1. Teil

Vegetationstyp nach MA 49	**Code MA 49**	**Vegetationstyp nach ÖWI**
Mondviolentyp	Mo	19
Alpendosttyp	Aa	19
Almwiesen- und Almweidetyp	AW	16
Blaugrastyp	B	3
Bärlauchtyp	Ba	4
Blaugrastyp	Bl	17
Weiß- Seggentyp	Ca	3
Rost- Seggentyp	Cf	12
Kälberkopf- Typ	Ch	19
Kleeblatt- Schaumkraut- Sauerkleetyp	CO	1
Kleeblatt- Schaumkraut- Sauerkleetyp auf Werfener Schichten	COW	1
Horst- Seggentyp	Cs	1
Knäuelgrastyp	D	1
Rasenschmielentyp	De	8
Drahtschmielentyp	Dr	8
Erika- Heidelbeertyp	EH	15
Erika- Preiselbeertyp	EP	15
Schneeheidetyp	Er	15
Greiskrauttyp	Gr	19
Greiskraut- Waldmeistertyp	GW	19
Himbeertyp	Hi	19
Hochstaudentyp	Ho	19
Hochstaudentyp der hochmontanen und subalpinen Stufe	Ho'	19
Hirschweidetyp	Hw	16
Flatter- Simsentyp	Ju	18
Schneerosen- Schattenkräutertyp	K	1
hochmontanter Schattenkräutertyp	K'	1
Kräuter- Heidelbeertyp	KH	2
Kräuter- Sauerkleetyp	KS	2
Kräuter- Sauerkleetyp auf Werfener Schichten	KSW	1
Schattkräutertyp auf Werfener Schichten	KW	1
Kalk- Lichtkräutertyp	L	3
frischer Lichtkräutertyp der subalpinen Höhenstufe	L`	3
Laserkrauttyp	La	3
Weißhainsimsentyp	Ll	8
Landreitgrastyp	LR	19
Großhainsimsentyp	Lu	12
Wald- Hainssimsen- Heidelbeere- Typ	LuH	12

Tabelle 10: Übersetzungsschlüssel Vegetationstyp 2. Teil

Vegetationstyp nach MA 49	Code MA 49	Vegetationstyp nach ÖWI
Mondviolentyp (Wildalpen)	M	19
Nudum	N	1
Sauerkleetyp	O	4
Pestwurztyp	Pe	19
Pfeifengrastyp	Pf	12
Rohr- Glanzgrastyp	Ph	20
Bunt- Reitgrastyp	R	12
Landreitgrastyp	Re	12
Almrauschtyp	Rh	14
Schlagtyp	S	19
Schlagkräutertyp, Schlagtyp ohne typische Schlagvegetation	S'	19
Kalk- Blaugras- Typ	Se	12
Schachtelhalmtyp	SH	12
mäßig frischer Kräutertyp	T	2
hochmontane Ausprägung des mäßig frischen Kräutertyps	T'	2
Trollblumentyp	Teu	17
Überschüttungstyp	U	17
Heidelbeertyp	V	8
Weidetyp	W	16
Waldmeistertyp	Wa	1
Waldgestentyp	Wg	12
Waldhainsimsen- Moos- Typ	Wm	2

4.2.1.10. Jugend 1 und Jugend 2

Nach ÖWI (vgl. Ledermann, 2007) bedeutet Jugend 1, dass auf einer Probefläche Verjüngung mit einer mittleren Höhe bis 1,3 m vorkommt. Jugend 2 bedeutet, dass auf der Probefläche Verjüngung vorkommt, deren mittlere Höhe 1,3 m überschreitet, jedoch einen BHD von weniger als 10,5 cm aufweist.

Diese wurde im Rahmen der Inventur nicht explizit erhoben und musste abgeleitet werden. Dazu wurden die als Flächenmerkmale erhobenen Verjüngungsparameter, Verjüngungsprozent und Verjüngungshöhenklasse verwendet. Es wurde definiert, dass Jugend 1 allen Verjüngungshöhenklassen unter 1,3 m und einem Verjüngungsprozent von mindestens 34 % einer gesicherten Naturverjüngung entspricht. 100 % Verjüngung liegt nach MA 49 (1991) vor, wenn sich auf jedem Quadratmeter der Beurteilungsfläche (Kreis mit 300 m² um das Probeflächenzentrum) eine verholzte Pflanze befindet. Die 34 % wurden gewählt, da die Klasse darunter mit 6 % beginnt, was für Jugend 1 als zu wenig angesehen wurde.

Jugend 2 wurde angenommen, wenn eine Verjüngungshöhenklasse mit einer durchschnittlichen Höhe >1,3 m sowie ein Verjüngungsprozent von mindestens 34 % angesprochen wurde.

4.2.1.11. Betriebsart

Die Betriebsart im Revier Gahns ist ausschließlich Hochwald.

4.2.1.12. Repräsentierte Fläche je Stichprobenpunkt

Diese wurde aus dem Excel-File der MA 49 entnommen. Sie errechnet sich bei regelmäßigem Raster aus der Fläche von Wirtschaftswald und Schutzwald im Ertrag geteilt durch die Stichprobenzahl. Im Revier Gahns gibt es zwei unterschiedliche Repräsentationsfaktoren, da bei einem Neuzukauf eine geringere Stichprobendichte angelegt wurde.

4.2.2. Aufbereitung der Baummerkmale

Diese wurden aus der Stichprobeninventur entnommen. Abgesehen von einer Einheitenumrechnung beim Brusthöhendurchmesser mussten keine weiteren Aufbereitungen durchgeführt werden.

4.2.3. Simulationen und Berechnungen

4.2.3.1. Einzelbaumweise Simulation

Um das Kreisflächenzuwachsmodell (Monserud und Sterba, 1996) und das Höhenzuwachsmodell (Nachtmann, 2005) evaluieren zu können, wurde eine einzelbaumweise Simulation über die Zeiträume 20 bis 24 Jahre, 10 sowie 5 Jahre durchgeführt. Die 20- bis 24-jährigen Simulationslaufzeiten waren aufgrund der „rollenden Inventur“ notwendig. Bei den 20 bis 24 Jahren Laufzeit wurde auf den Daten der Ersterhebung, bei 10 Jahren Laufzeit auf den Daten der Zweiterhebung sowie bei 5 Jahren Laufzeit auf den Daten der Dritterhebung aufgesetzt. Die Einspielung der Daten erfolgte über ein trennzeichengetrenntes .csv-File, welches eine standardisierte Struktur aufweisen muss. Im Anschluss darauf muss ein PROGNAUS-Inputfile erstellt werden, welches dann für die Simulation benutzt werden kann. Nach Definition der Baumartencodes, Auswertestraten und Einzelbaummerkmale wurden für den Einzelbaumvergleich noch das Mortalitätsmodell (Monserud und Sterba, 1999), das Einwuchsmodell (Ledermann, 2002) sowie das Baumsplitting (Ledermann und

Eckmüllner, 2004) ausgeschaltet, um das Wachstum auf den Probeflächen detailgetreu und ohne zusätzliche Konkurrenzeffekte darstellen zu können. Bei der Nutzung erfolgte die Entnahme originalgetreu, sodass jene Bäume entnommen wurden, die entweder genutzt oder durch Mortalität aus der Stichprobe ausschieden. Diese Nutzung wurde immer in der Periodenmitte angesetzt, wobei natürlich nicht genau festgestellt werden kann, wann der betreffende Baum tatsächlich entnommen wurde. Ab der Umstellung auf ein Erhebungsintervall von 5 Jahren (ab Zweiterhebung) wurde die Nutzung nach 3 Jahren angesetzt.

Die Simulation erfolgte vom Ausgangszeitpunkt bis zur ersten Nutzung und dann weiter zum nächsten Erhebungszeitpunkt. Um Konkurrenzeffekte naturgemäß nachstellen zu können, wurden mit dem nächsten Erhebungszeitpunkt die eingewachsenen Bäume in die Simulation aufgenommen und gemeinsam mit den simulierten Werten der Vorerhebung zur nächsten Nutzung und Erhebungsperiode simuliert. Da PROGNAUS bei Ausschaltung des Mortalitätsmodells beim Wachstum nur die repräsentierte Hektargrundfläche sowie die Grundfläche des Einzelbaumes ändert und die Stammzahl konstant hält, musste die Stammzahl wieder an die Zählbreite 4 angepasst werden, bei welcher jeder Einzelbaum 4 m²/ha repräsentiert. Dies erfolgte durch Division der repräsentierten Grundfläche des Einzelbaumes durch die simulierte Grundfläche des Einzelbaumes zum Zeitpunkt der Wiedererhebung.

Diese Vorgänge wurden wiederholt, bis der letzte Erhebungszeitpunkt der jeweiligen Stichprobe erreicht war.

Die Einzelbaumtabelle wurde nach Beendigung der Simulation von PROGNAUS in ein Microsoft Access-File gespeichert und von diesem in ein Microsoft Excel-File exportiert, wo die weitere Analyse erfolgte. In Microsoft Excel wurde dann eine einzelbaumweise Gegenüberstellung der gemessenen mit den simulierten Werten durchgeführt. Da PROGNAUS (Ledermann, 2007) sowie auch die MA 49 die Formzahlfunktionen nach Pollanschütz (1974) verwenden, können die aus der Inventur berechneten Werte den aus PROGNAUS ermittelten gegenübergestellt werden. Verglichen wurden die Parameter Brusthöhendurchmesser, Kreisflächenzuwachs, Höhe, Höhenzuwachs und Einzelbaumvolumen sowie Einzelbaumvolumszuwachs. Die zugrundeliegenden Berechnungsverfahren nach MA 49 sind im Kapitel 4.1.5 beschrieben.

4.2.3.2. Flächenweise Simulation

Um die Parameter Vorrat je Hektar, Volumszuwachs je Hektar und Grundfläche je Hektar vergleichen zu können, wurde eine flächenweise Simulation durchgeführt. Auch die flächenweise Simulation erfolgte einzelbaumweise, die Bezeichnung wurde jedoch gewählt, da bei den statistischen Analysen die Probeflächenwerte verglichen werden. Dabei erfolgten Simulationen ab der Ersterhebung (Simulationslaufzeit 20 bis 24 Jahre), der Zweiterhebung (Simulationslaufzeit 10 Jahre) sowie der Dritterhebung (Simulationslaufzeit 5 Jahre). Es wurden nur jene Flächen verwendet, die sowohl bei der Vierterhebung als auch bei der Erhebung bei Simulationbeginn bestockt waren.

Nach Erstellung des PROGNAUS-Inputfiles und der Definition der Eingangsparameter (Baumartencode, Auswertestraten, Einzelbaummerkmale) wurden bei dieser Simulation sowohl das Mortalitätsmodell (Monserud und Sterba, 1999) als auch das Einwuchsmodell (Ledermann, 2002) sowie das Baumsplitting (Ledermann und Eckmüllner, 2004) eingeschaltet. Das Baumsplitting nach Ledermann und Eckmüller (2004) generiert, sobald die Grundfläche je Hektar eines Einzelbaumes einen bestimmten Wert überschreitet, einen identen Baum, wobei die repräsentierte Stammzahl auf beide Bäume aufgeteilt wird. Dadurch wird gewährleistet, dass zusätzlich zu den Einwüchsen über die Kluppschwelle, die vom Einwuchsmodell (Ledermann, 2002) geschätzt werden, auch Einwüchse über den Grenzkreis hinzukommen. Dies entspricht einer Vergrößerung der Probefläche.

Das Einwuchsmodell nach Ledermann (2002) ist ein mehrstufiges Modell, das Anzahl, Baumart sowie Dimensionen jener Bäume abschätzt, die im Simulationszeitraum über die Kluppschwelle von 5 cm wachsen. Bei PROGNAUS for Windows (Ledermann, 2007) besteht die Möglichkeit, sich zwischen einer deterministischen und stochastischen Option zu entscheiden. Da die deterministische Option den Vorteil hat, dass bei wiederholten Simulationen gleiche Ergebnisse zu erwarten sind, wurde diese Option gewählt. Als mögliche Einwuchsbaumarten wurden jene ausgewählt, die tatsächlich im Revier vorkommen. Als Übergangsdauer von Jugend I zu Jugend II wurden gutachterlich 15 Jahre gewählt, da dies aus den Aufnahmen der Stichprobeninventur nicht abgeleitet werden konnte.

Anders als beim Einzelbaumvergleich wurden beim flächenweisen Vergleich nur Bäume gemäß Stichprobeninventur entnommen, die auch tatsächlich genutzt wurden.

Die Mortalität wurde durch das Mortalitätsmodell (Monserud und Sterba, 1999) geschätzt.

4.2.3.3. Berechnungen einzelbaumweiser Vergleich

Der einzelbaumweise Vergleich wurde für die 5- , 10- sowie 20- bis 24-jährige Simulationsperiode durchgeführt. Dabei wurde jeder simulierte Baum zum Zeitpunkt der letzten Erhebung (Vierterhebung) mit dem beobachteten Wert verglichen und graphisch dargestellt. Die Zuwachsgrößen (Kreisflächen-, Höhen-, sowie Volumszuwachs) wurden aus den Differenzen der Werte bei der Vierterhebung (simuliert und beobachtet) und den Werten der Einwuchsperiode (beobachtet) errechnet. Genutzte Bäume wurden für den Vergleich nicht berücksichtigt.

4.2.3.4. Berechnungen flächenweiser Vergleich

Beim flächenweisen Vergleich wurden die Ist-Werte der Grundfläche/ha sowie des Volumens/ha zum Zeitpunkt der Letzterhebung für alle Simulationsperioden verglichen. Um die simulierten Grundflächen je Hektar errechnen zu können, wurde die Kreisfläche in Brusthöhe mit der von PROGNAUS errechneten repräsentierten Stammzahl multipliziert, die Errechnung des Hektarvorrates erfolgte durch Multiplikation der Einzelbaumvolumina mit der repräsentierten Stammzahl. Alle Bäume, die im Vergleichszeitraum eine Kluppschwelle von weniger als 10 cm (Kluppschwelle MA 49) aufwiesen, wurden entfernt.

4.2.3.5. Vorratsverlauf

Um den beobachteten und simulierten Vorrat über die Zeit vergleichen zu können, wurde ein Diagramm des Vorratsverlaufes dargestellt. Die gemessenen und simulierten Vorräte der Probeflächen wurden an jedem Wiedererhebungszeitpunkt der Stichprobeninventur gemittelt. Die einzelnen Probeflächen mussten aufgrund der „rollenden Inventur“ einem der fünf Wiedererhebungszyklen zugeordnet werden. Es wurden nur Flächen herangezogen, die bei der Erstinventur bestockt waren. Um die beobachteten und simulierten Vorräte graphisch vergleichen zu können, musste ein Vertrauensintervall der gemessenen Werte berechnet und anschließend dessen untere und obere Grenze eingezeichnet werden. Es errechnet sich nach Formel (10):

$$VI = \pm t_{FG=n-1,\alpha=0{,}05,zweiseitig} * \frac{Sx}{\sqrt{n}} \qquad (10)$$

wobei VI dem Vertrauensintervall, t der zugehörigen Perzentile der t- Verteilung bei 5%iger Irrtumswahrscheinlichkeit, Sx der Standardabweichung und n der Anzahl der Probeflächen entspricht.

4.2.4. Statistische Analysen

Um PROGNAUS an den Daten der MA 49 validieren zu können, wurden zahlreiche statistische Tests durchgeführt und Regressionsanalysen gerechnet. Diese wurden für jeden Simulationszeitraum, alle zu untersuchenden Zustands- und Zuwachsgrößen sowie bei ausreichender Stichprobenzahl auch für die im Revier vorkommenden Hauptbaumarten Fichte, Lärche und Buche durchgeführt. Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Statistikprogramm R.

Da bei den langen Laufzeiten die „rollende Inventur“ zu tragen kommt, wurden die Zuwachsgrößen (z.B. Kreisflächenzuwachs, Höhenzuwachs) auf 20 Jahre umgerechnet. „Rollende Inventur“ bedeutet, dass die Erstaufnahme für alle Flächen 1991 erfolgte und von 2001 bis 2005 jährlich ein Fünftel der Stichprobenpunkte wiedererhoben wurde. Im Anschluss daran erfolgte die Wiedererhebung der einzelnen Fünftel in 5-jährigen Abständen. Dadurch ergeben sich verschiedene Laufzeiten von der Ersterhebung bis zu den Letzterhebungen. Da bei den Zustandsgrößen nicht umgerechnet werden konnte, wurden beim einzelbaumweisen Vergleich die statistischen Kennzahlen für alle Probeflächen zusammen (20 bis 24 Jahre Laufzeit), als auch getrennt für jede einzelne Laufzeit berechnet. Beim flächenweisen Vergleich wurden die Zustandsgrößen Hektarvolumen und Hektargrundfläche der 5 Laufzeiten (20 bis 24 Jahre) zusammengefasst, da aufgrund der Tatsache, dass jährlich nur circa 50 Stichprobenpunkte wiedererhoben werden, nur eine sehr geringe Stichprobenzahl vorgelegen wäre.

4.2.4.1. Verzerrung, Bias, systematischer Fehler

Diese wird definiert als das arithmetische Mittel der Abweichungen der simulierten von den gemessenen Werten. Um zu testen, ob diese Verzerrung signifikant ist, wurde ein paarweiser t-Test durchgeführt. Dieser prüft die Hypothese, dass die mittlere systematische Abweichung 0 ist. Als Signifikanzniveau wurde 0,05 gewählt. Ist der p-Wert kleiner als das Signifikanzniveau, so ist der t-Test und somit auch das Bias signifikant von 0 verschieden.

$$\bar{e} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(B_i - M_{i)}}{n} \qquad (11)$$

$\bar{e}$……. Verzerrung, Bias

B_i…… gemessener Wert

M_i……simulierter Wert

n……Anzahl

4.2.4.2. Vorhersage- Intervall

Um die Vorhersagegenauigkeit des Modells zu beschreiben, wurde das „predicition interval“ im Sinne von Reynolds (1984) berechnet. Dieses leitet sich aus Formel (12) ab und berechnet den Fehlerrahmen zukünftiger Schätzungen bei einer angenommenen Irrtumswahrscheinlichkeit. In anderen Worten kann darunter die Variationsbreite der Differenzen e_i von simulierten und gemessenen Werten verstanden werden. Für die statistische Validierung wurden 5 % als Irrtumswahrscheinlichkeit angenommen.

$$PI = \bar{e} \pm \sqrt{1 + \frac{1}{n}} * Se * t_{1-\frac{\alpha}{2},\ n-1} \qquad (12)$$

PI…….Vorhersage-Intervall (prediction interval)

$\bar{e}$……...Verzerrung, Bias

n……Anzahl

Se…….Standardabweichung der Verzerrung, Präzision

t…….entsprechende Perzentile der t-Verteilung

α……Irrtumswahrscheinlichkeit

4.2.4.3. Präzision

Unter Präzision versteht man die Standardabweichung der um die Verzerrung bereinigten Differenzen der gemessenen und simulierten Werte (13). Die Präzision kann somit als Standardabweichung der Residuen (gemessen – simuliert) definiert werden. Um einen Bezug zum Mittelwert herstellen zu können, wird bei den Berechnungen auch die Präzision im Vergleich zum Mittelwert (14) dargestellt.

$$Se = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(e_i - \bar{e})^2}{n-1}} \qquad (13)$$

$$Se_{\%} = \frac{Se}{\bar{X}} \qquad (14)$$

Se……. Standardabweichung der Verzerrung

e_i.....i-te Abweichung des simulierten Wertes eines Einzelbaumes vom gemessenen Wert

$\bar{e}$…….mittlere Verzerrung (Bias)

n…….Anzahl

$\bar{X}$……mittlerer Beobachtungswert (gemessene Werte)

4.2.4.4. Treffergenauigkeit

Die Treffergenauigkeit wird nach Formel (15). berechnet. Sie stellt den Grad der Annäherung des Modells an die Wirklichkeit dar. Eine gute Treffergenauigkeit (niedriger Wert) setzt eine gute Präzision (geringer Wert) sowie eine geringe mittlere Verzerrung voraus. Die Treffergenauigkeit wird in den Berechnungen auch in Relation zum Mittelwert dargestellt (16).

$$Mx = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(B_i - M_{i)})^2}{n-1}} \qquad (15)$$

$$Mx_{\%} = \frac{Mx}{\bar{X}} \qquad (16)$$

Mx……. Treffergenauigkeit

Mx%.....Treffergenauigkeit in % des beobachteten Mittelwertes

B_i……gemessener Wert

M_i……..simulierter Wert

n……..Anzahl

4.2.4.5. Regressionsanalyse und simultaner F- Test

Für jedes Auswertestratum wurde ein lineares Regressionsmodell (Einfachregression) berechnet. Bei diesen Einfachregressionen war der gemessene Wert immer die abhängige und der simulierte Wert die unabhängige Variable. Die Regression wurde nach folgendem Schema (17) berechnet:

$$gemessener\ Wert = a + b * simulierter\ Wert \qquad (17)$$

Aus dieser Regressionsanalyse wurden das Absolutglied a, der Regressionskoeffizient b sowie das Bestimmtheitsmaß r² und das adjustierte Bestimmtheitsmaß adj. r² bestimmt. Unter dem adjustiertem Bestimmtheitsmaß versteht man das um die Freiheitsgrade berichtigte Bestimmtheitsmaß, dieses ist jedoch erst bei multiplen Regressionen mit mehreren unabhängigen Variablen aussagekräftig.

Entspricht der simulierte Wert dem gemessenen, so müssten das Absolutglied a=0 und der Regressionskoeffizient b=1 sein. Um diese Hypothese zu prüfen, wurde ein simultaner F-Test nach Dent und Blackie (1979) durchgeführt. Ist dieser signifikant, so ist das Validierungsmaterial nicht mit der oben angeführten Hypothese verträglich.

4.2.4.6. Modelleffizienz

Ein weiteres Maß für die Güte eines Modells ist die Modelleffizienz nach Mayer und Butler (1993). Diese nimmt Werte zwischen -∞ und 1 an. Der Wert 1 würde ein nahezu perfektes, sehr effizientes Modell darstellen. Bei Werten, die größer als Null sind, ist das Modell besser als der Mittelwert, eine Modelleffizienz von Null signalisiert ein Modell, das gleich gut wie der Mittelwert ist. Werte kleiner Null weisen auf einen erheblichen systematischen Fehler hin, das Modell ist schlechter, als wenn anstatt des Modells der beobachtete Mittelwert verwendet werden würde.

$$EF = 1 - \frac{\sum(B_i - M_i)^2}{\sum(B_i - \bar{X})^2} \quad (18)$$

EF……Modelleffizienz

B_i……. i-ter beobachteter Wert

M_i…….i-ter gemessener Wert

$\bar{X}$……..mittlerer beobachteter Wert

4.2.5. Lokale Kalibrierung/ multiple Regression

Da die Standortsparameter der MA 49 nicht nach den Vorgaben der ÖWI angesprochen wurden und übersetzt werden mussten, wurde eine multiple Regression durchgeführt um zu testen, ob durch Hinzunahme von den von der MA 49 erhobenen Standortsparametern zusätzliche Streuung abgeleitet werden kann. Getestet wurden die Wasserhaushaltsklassen, Vegetationsgruppen, Bodengruppen sowie die Parameter Seehöhe, Exposition und Neigung, welche jedoch kompatibel zur ÖWI erhoben wurden. Da die Wasserhaushaltsklassen, Vegetationstypen und Bodengruppen nominal skaliert sind, mussten sie dummykodiert werden. Eine Übersetzungstabelle der verwendeten Abkürzungen befindet sich im Anhang. Als Referenzvariante wurde immer die häufigste Ausprägung gewählt. Bei den Wasserhaushaltsklassen war dies die Klasse „frisch“, bei den Bodentypen der Bodentyp „Kalklehm-Rendzina“ sowie bei den Vegetationstypen der Vegetationstyp „Nudum“. Da die gemessenen Höhen, wie an den Ergebnissen ersichtlich, eine sehr hohe Streuung aufweisen, wird diese multiple Regressionsanalyse nur für den 20-jährigen sowie den 5-jährigen Kreisflächenzuwachs durchgeführt. Die multiple Regression weist folgende Struktur auf:

$$ig_{beobachtet[\boldsymbol{cm}^2]} = a + b * ig_{simuliert[\boldsymbol{cm}^2]} + \sum W_i * Dummy + \sum B_i * Dummy + \sum v_i * Dummy + c1 * Seehöhe[hm] + c2 * Seehöhe[hm]^2 + \mathrm{d1} * \mathrm{Neigung}\,[\%/100] + \mathrm{d2} * \mathrm{Neigung}[\%/100]^2 + d3 * Neigung[\%/100] * \sin(Expostion[°]) + d4 * Neigung[\%/100] * \cos(Expostion[°]) \quad (19)$$

wobei ig dem Kreisflächenzuwachs, a dem Absolutglied der multiplen Regression, b dem Regressionskoeffizienten des simulierten Kreisflächenzuwachses, c_i den Regressionskoeffizienten der Seehöhe sowie der quadrierten Seehöhe, d_i den

Regressionskoeffizienten der Neigung und Exposition, Wi den Regressionskoeffizienten der Wasserhaushaltsklassen, B_i den Regressionskoeffizienten der Bodengruppen und v_i den Regressionskoeffizienten der Vegetationstypen entspricht. Die Annahmen, dass die Seehöhe einfach und quadratisch sowie dass die Neigung und Exposition wie oben angeführt in die Gleichung eingehen, wurde Hasenauer (2000) entnommen.

Die multiple Regression wurde in R durchgeführt. Zuerst erfolgte eine auf dem akaike‘schen Informationskriterium (AIC) basierte, automatisierte backward selection, welche das beste Modell ermitteln sollte. Aus dem Ergebnis dieser backward selection wurde im Anschluss wieder ein multiples Regressionsmodell berechnet. Aus diesem Regressionsmodell wurden dann alle Variablen entfernt, die eine Probeflächenzahl von weniger als 10 aufwiesen. Dies kann vorkommen, da auf die Verwendung von gemischten Modellen, wie auch bei der Erstellung des Kreisflächenzuwachsmodells von Monserud und Sterba (1996), verzichtet wurde und die Regression auf Einzelbaumebene erfolgt. Weiters kommt es vor, dass einige Regressionskoeffizienten nach dieser backward selction nicht signifikant von Null verschieden sind (t-Test). Beginnend beim größten p-Wert wurden diese einzeln entfernt und die Regression so oft neu berechnet, bis alle Regressionskoeffizienten signifikant waren.

5. Ergebnisse

Auf den folgenden Seiten werden die Ergebnisse des Einzelbaumvergleiches, des flächenweisen Vergleiches sowie der lokalen Kalibrierung dargestellt. Sie werden in Form von Tabellen und Plots aufgelistet und davor verbal beschrieben. Jeder Plot kann mit seiner Nummer einer Berechnung in der Tabelle zugeordnet werden. Zu den Tabellen des Einzelbaumvergleiches ist anzumerken, dass bei der 20 bis 24-jährigen Simulationsdauer jeweils eine zusammenfassende Berechnung sowie Einzelberechnungen durchgeführt wurden. Diese zusammenfassende Berechnung wurde durchgeführt, da nur jeweils der Gesamtplot mit einer Simulationsdauer von 20 bis 24 Jahren dargestellt wird. Bei den flächenweisen Vergleichen wurde aufgrund der geringen Stichprobenzahl auf Einzelberechnungen der 20 bis 24 Jahre verzichtet. Die Zuwachsgrößen (Kreisflächenzuwachs etc.) wurden über den jährlichen Zuwachs auf einen Bezugszeitpunkt von 20 Jahren umgerechnet.

5.1. Einzelbaumvergleich

5.1.1. Brusthöhendurchmesser (BHD) und Kreisflächenzuwachs

Tabelle 11 sowie Abbildung 3 bis Abbildung 18 zeigen die Ergebnisse der statistischen Validierung von Brusthöhendurchmesser und Kreisflächenzuwachs. Der mittlere Brusthöhendurchmesser liegt nach einer Zuwachsperiode von 20 bis 24 Jahren zwischen 41,1 und 42,0 cm, nach einer Zuwachsperiode von 5 Jahren liegt er baumartenabhängig zwischen 39,7 und 40,6 cm. Der mittlere beobachtete Kreisflächenzuwachs reicht bei der 20-jährigen Zuwachsperiode von rund 255 bis 308 cm², bei der 5-jährigen Zuwachsperiode von rund 50 bis 84 cm².

Beim Brusthöhendurchmesser zeigt sich nach einem Simulationszeitraum von 20 bis 24 Jahren ein positiver, nicht signifikanter, systematischer Fehler (Bias). Geringe Abweichungen und einzelne signifikante Werte gibt es bei den Einzelberechnungen der fünf Simulationsperioden. Bei der 5-jährigen Zuwachsperiode zeigt sich gesamt ein nicht signifikantes, positives Bias, wobei einzelne Baumarten davon abweichen und die Lärche ein negatives Bias aufweist. Ein positiver systematischer Fehler bedeutet eine Unterschätzung der gemessenen Werte. Es ist festzuhalten, dass der systematische Fehler in Relation zum beobachteten Mittelwert (Bias%) beim Brusthöhendurchmesser in den meisten Fällen (ausgenommen einzelne Baumarten)

unter ± 1 % liegt. Beim Kreisflächenzuwachs zeigt sich ein ähnliches Bild, es konnte über alle Gesamtergebnisse der Zuwachsperioden kein signifikant von 0 verschiedener systematischer Fehler festgestellt werden. Bei der 20-jährigen Zuwachsperiode wird der beobachtete Kreisflächenzuwachs über alle Baumarten gering überschätzt, bei der 5-jährigen unterschätzt.

Das Vorhersageintervall zeigt, dass bei 5%iger Irrtumswahrscheinlichkeit der prognostizierte Durchmesser nach der 20- bis 24-jährigen Zuwachsperiode um maximal 5,29 cm überschätzt und um maximal 5,46 cm unterschätzt wird. Nach der 5-jährigen Zuwachsperiode wird er um maximal 2,27 cm überschätzt sowie um 2,33 cm unterschätzt. Der Kreisflächenzuwachs wird nach 20 Jahren um maximal 348 cm² überschätzt sowie um 346 cm² unterschätzt, nach 5- jähriger Zuwachsperiode beträgt die Überschätzung 156 cm², die Unterschätzung 157 cm².

An der Präzision (Se) kann man erkennen, dass sie beim Brusthöhendurchmesser mit zunehmender Simulationsdauer abnimmt. Beim Kreisflächenzuwachs nimmt die Präzision (Se) mit zunehmender Simulationsdauer ab, die relative Präzision (Se%) hingegen zu. Da der systematische Fehler (Bias) sowohl beim Brusthöhendurchmesser als auch beim Kreisflächenzuwachs sehr klein ist, ist die Treffergenauigkeit (Mx) ähnlich der Präzision.

Die Modelleffizienzen (EF) sowie die Bestimmtheitsmaße (r^2) sind beim Brusthöhendurchmesser weitaus größer als beim Kreisflächenzuwachs und nehmen mit zunehmender Simulationsdauer ab. Es kann jedoch festgehalten werden, dass auch beim Kreisflächenzuwachs das Modell eine bessere Vorhersage als der beobachtete Mittelwert liefert. Die Werte beim Brusthöhendurchmesser stellen ein nahezu perfektes Modell dar, was anhand der zugehörigen Plots erkennbar ist.

Die Hypothese, dass die lineare Beziehung zwischen beobachten und simulierten Werten ein Absolutglied von 0 sowie einen Regressionskoeffizienten von 1 aufweist muss aufgrund der höchstsignifikanten F-Werte (Fsim) bei den Gesamtergebnissen aller Simulationslaufzeiten verworfen werden. Die Plots zeigen jedoch speziell beim Brusthöhendurchmesser, dass nur eine sehr geringe Abweichung von der Solllinie (45°-Linie) besteht. Beim Kreisflächenzuwachs ist diese Abweichung, wie auch die Kennzahlen Modelleffizienz und Bestimmtheitsmaß bestätigen, etwas größer.

*Tabelle 11: Kennzahlen der statistischen Validierung des Einzelbaumvergleiches des beobachteten und simulierten Brusthöhendurchmessers [cm] sowie des Kreisflächenzuwachses [cm²] mit (Nr.) der Berechnungsnummer; (Simz.) dem Simulationszeitraum; (Simd.) der Simulationsdauer; ($\bar{X}$) dem mittleren beobachteten Wert; (n) der Anzahl; (Bias) dem systematischen Fehler; (Bias%) dem systematischen Fehler in % des beobachteten Mittelwertes; (t) dem t-Wert für die Hypothese, dass das mittlere Bias Null ist, (Sig) dem Signifkanzniveau des Wertes in der davorstehenden Spalte, wobei (*) signifikant mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 %, (**) hochsignifikant mit einer Wahrscheinlichkeit von 99 % und (***) höchstsignifikant mit einer Wahrscheinlichkeit von 99,9 % bedeutet; (Se) der Präzision; (Se%) der Präzision in % des beobachteten Mittelwertes; (Mx) der Treffergenauigkeit; (Mx%) der Treffergenauigkeit in % des beobachteten Mittelwertes; (EF) der Modelleffizienz; (PI_u) der unteren Grenze des Vorhersageintervalls oder der maximalen Überschätzung des Modells bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %; (PI_o) der oberen Grenze des Vorhersageintervalls oder der maximalen Unterschätzung des Modells bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %, (Fsim) dem F-Wert des simultanen F-Testes, dass das Absolutglied a=0 und der Regressionskoeffizient b=1; (FG) den Freiheitsgraden dieses F-Wertes; (a) dem Absolutglied sowie (b) dem Regressionskoeffizienten der Regression y_beobachtet= a+b*y_simuliert; (adj.r²) dem adjustierten Bestimmtheitsmaß sowie (r²) dem Bestimmtheitsmaß der Regression*

	Nr.	Baumart	Simz.	Simd.	$\bar{X}$	n	Bias	Bias%	t	Sig	PI_u	PI_o	Se	Se%	Mx	Mx%	EF	Fsim	Sig	FG		a	b	adj. r²	r²
Brusthöhendurchmesser [cm]	1	gesamt	1991- 2011/15	20-24	41,5	1762	0,087	0,2%	1,328	n.g.	-5,288	5,462	2,740	6,6%	2,741	6,6%	0,96	40,967	***	2	1760	1,833	0,958	0,959	0,959
	2	Fichte	1991- 2011/15	20-24	41,8	1259	0,070	0,2%	0,900	n.g.	-5,374	5,515	2,774	6,6%	2,775	6,6%	0,96	47,182	***	2	1257	2,286	0,947	0,959	0,959
	3	Lärche	1991- 2011/15	20-24	41,1	281	-0,027	-0,1%	-0,183	n.g.	-4,835	4,782	2,438	5,9%	2,439	5,9%	0,96	0,135	n.g.	2	279	-0,269	1,006	0,961	0,961
	4	Buche	1991- 2011/15	20-24	42,0	150	0,425	1,0%	1,933	n.g.	-4,918	5,769	2,695	6,4%	2,729	6,5%	0,96	5,430	**	2	148	2,083	0,960	0,964	0,965
	5	gesamt	1991-2011	20	41,1	340	0,036	0,1%	0,259	n.g.	-4,988	5,059	2,550	6,2%	2,550	6,2%	0,96	14,363	***	2	338	2,179	0,948	0,965	0,965
	6	Fichte	1991-2011	20	41,8	253	0,024	0,1%	0,149	n.g.	-5,013	5,061	2,552	6,1%	2,552	6,1%	0,96	18,989	***	2	251	2,842	0,933	0,966	0,967
	7	gesamt	1991-2012	21	40,4	390	0,061	0,2%	0,462	n.g.	-5,075	5,197	2,609	6,5%	2,610	6,5%	0,97	3,473	*	2	388	1,000	0,977	0,968	0,968
	8	Fichte	1991-2012	21	41,1	281	0,157	0,4%	0,998	n.g.	-5,055	5,369	2,643	6,4%	2,648	6,4%	0,97	4,434	*	2	279	1,325	0,971	0,970	0,970
	9	gesamt	1991-2013	22	42,7	360	-0,187	-0,4%	-1,377	n.g.	-5,276	4,901	2,584	6,0%	2,591	6,1%	0,96	10,356	***	2	358	1,756	0,955	0,959	0,959
	10	Fichte	1991-2013	22	42,4	236	-0,302	-0,7%	-1,835	n.g.	-5,297	4,693	2,530	6,0%	2,548	6,0%	0,95	14,101	***	2	234	2,446	0,936	0,957	0,957
	11	gesamt	1991-2014	23	41,6	340	0,345	0,8%	2,075	*	-5,699	6,390	3,068	7,4%	3,088	7,4%	0,94	12,694	***	2	338	2,668	0,944	0,945	0,945
	12	Fichte	1991-2014	23	41,9	244	0,407	1,0%	1,956	n.g.	-6,000	6,813	3,246	7,7%	3,271	7,8%	0,93	15,540	***	2	242	3,620	0,923	0,940	0,940
	13	gesamt	1991-2015	24	41,9	332	0,202	0,5%	1,280	n.g.	-5,449	5,852	2,868	6,8%	2,875	6,9%	0,95	6,694	**	2	330	1,853	0,960	0,954	0,954
	14	Fichte	1991-2015	24	41,8	245	0,042	0,1%	0,235	n.g.	-5,548	5,632	2,832	6,8%	2,832	6,8%	0,96	5,010	**	2	243	1,734	0,959	0,958	0,958
	15	gesamt	2001-2015	10	40,7	2116	0,073	0,2%	2,121	*	-3,016	3,162	1,575	3,9%	1,576	3,9%	0,99	16,613	***	2	2114	0,617	0,987	0,987	0,987
	16	Fichte	2001-2015	10	40,9	1530	0,101	0,2%	2,528	*	-2,979	3,182	1,570	3,8%	1,573	3,8%	0,99	19,144	***	2	1528	0,766	0,984	0,987	0,987
	17	Lärche	2001-2015	10	40,3	327	-0,140	-0,3%	-1,812	n.g.	-2,894	2,614	1,398	3,5%	1,405	3,5%	0,99	2,056	n.g.	2	325	-0,369	1,006	0,988	0,988
	18	Buche	2001-2015	10	41,0	180	0,243	0,6%	1,850	n.g.	-3,241	3,727	1,761	4,3%	1,778	4,3%	0,98	6,896	**	2	178	1,419	0,971	0,985	0,985
	19	gesamt	2006-2015	5	39,7	2385	0,031	0,1%	1,280	n.g.	-2,265	2,326	1,170	3,0%	1,171	3,0%	0,99	11,333	***	2	2383	0,346	0,992	0,993	0,993
	20	Fichte	2006-2015	5	39,7	1731	0,075	0,2%	2,597	**	-2,278	2,428	1,199	3,0%	1,202	3,0%	0,99	11,405	***	2	1729	0,401	0,992	0,993	0,993
	21	Lärche	2006-2015	5	39,6	349	-0,207	-0,5%	-3,675	***	-2,275	1,862	1,050	2,7%	1,070	2,7%	0,99	7,614	***	2	347	0,020	0,994	0,993	0,993
	22	Buche	2006-2015	5	40,6	194	0,055	0,1%	0,705	n.g.	-2,081	2,191	1,080	2,7%	1,082	2,7%	0,99	4,557	*	2	192	0,706	0,984	0,994	0,994
Kreisflächenzuwachs [cm²]	23	gesamt	1991-2011	20	307,81	1762	-0,926	-0,3%	-0,220	n.g.	-347,649	345,797	176,731	57,4%	176,734	57,4%	0,33	67,533	***	2	1760	80,428	0,736	0,374	0,375
	24	Fichte	1991-2011	20	322,04	1259	-4,885	-1,5%	-0,969	n.g.	-355,850	346,081	178,824	55,5%	178,891	55,5%	0,30	70,886	***	2	1257	94,838	0,695	0,367	0,368
	25	Lärche	1991-2011	20	254,88	281	3,108	1,2%	0,327	n.g.	-311,586	317,803	159,584	62,6%	159,614	62,6%	0,38	0,062	n.g.	2	279	5,637	0,990	0,375	0,377
	26	Buche	1991-2011	20	321,11	150	18,912	5,9%	1,379	n.g.	-314,019	351,843	167,927	52,3%	168,996	52,6%	0,38	4,556	*	2	148	81,596	0,793	0,409	0,413
	27	gesamt	2001/05-2011/15	10	162,79	2116	2,697	1,7%	1,119	n.g.	-214,839	220,233	110,900	68,1%	110,933	68,1%	0,30	24,916	***	2	2114	31,852	0,818	0,316	0,317
	28	Fichte	2001/05-2011/15	10	172,54	1530	3,605	2,1%	1,275	n.g.	-213,413	220,622	110,601	64,1%	110,660	64,1%	0,30	25,505	***	2	1528	38,589	0,793	0,321	0,321
	29	Lärche	2001/05-2011/15	10	120,86	327	-5,974	-4,9%	-1,100	n.g.	-199,544	187,596	98,245	81,3%	98,427	81,4%	0,28	0,610	n.g.	2	325	-4,634	0,989	0,281	0,283
	30	Buche	2001/05-2011/15	10	171,74	180	8,916	5,2%	0,937	n.g.	-243,726	261,558	127,676	74,3%	127,988	74,5%	0,18	4,489	*	2	178	55,931	0,711	0,211	0,216
	31	gesamt	2006/10-2011/15	5	81,10	2385	0,624	0,8%	0,381	n.g.	-156,248	157,497	79,981	98,6%	79,983	98,6%	0,18	10,171	***	2	2383	13,486	0,840	0,189	0,190
	32	Fichte	2006/10-2011/15	5	87,93	1731	3,278	3,7%	1,686	n.g.	-155,404	161,960	80,882	92,0%	80,948	92,1%	0,19	9,447	***	2	1729	17,102	0,837	0,195	0,196
	33	Lärche	2006/10-2011/15	5	49,90	349	-13,495	-27,0%	-3,426	***	-158,423	131,433	73,582	147,5%	74,812	149,9%	0,03	9,545	***	2	347	7,599	0,667	0,074	0,076
	34	Buche	2006/10-2011/15	5	83,98	194	-0,471	-0,6%	-0,082	n.g.	-159,005	158,063	80,173	95,5%	80,174	95,5%	0,07	5,607	**	2	192	33,222	0,601	0,112	0,117

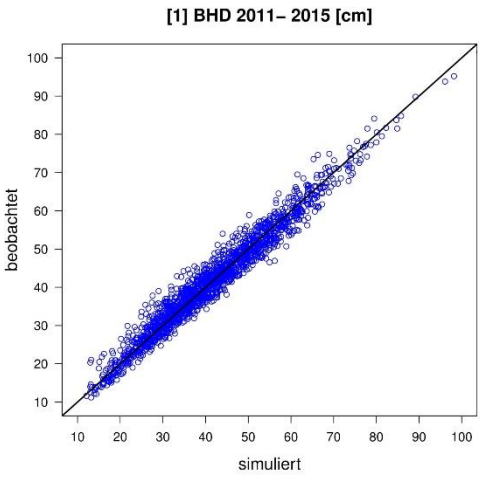


Abbildung 3: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Brusthöhendurchmesser nach einer Zuwachsperiode von 20-24 Jahren, n=1762

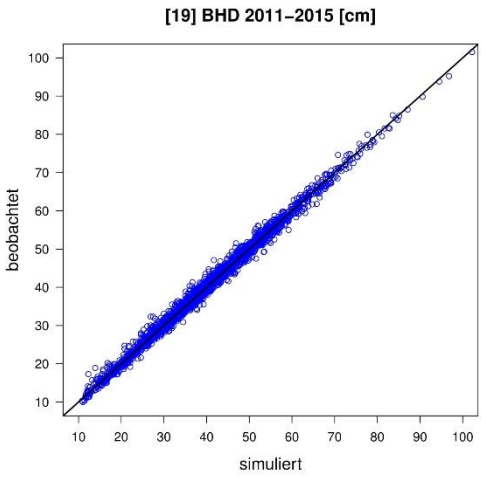


Abbildung 4: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Brusthöhendurchmesser nach einer Zuwachsperiode von 5 Jahren, n=2385

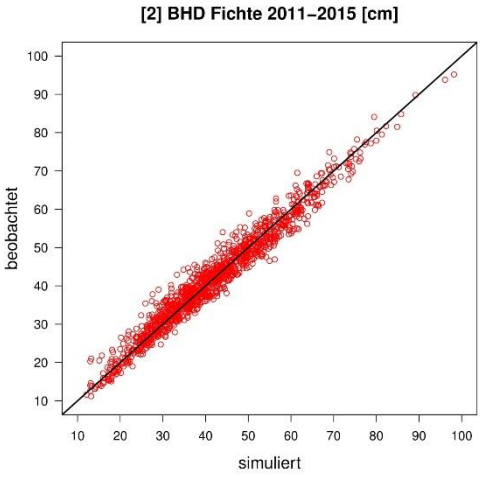


Abbildung 5:Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Brusthöhendurchmesser der Fichte nach einer Zuwachsperiode von 20-24 Jahren, n=1259

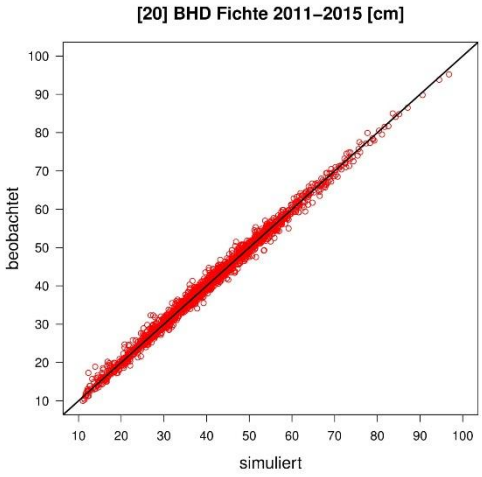


Abbildung 6: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Brusthöhendurchmesser der Fichte nach einer Zuwachsperiode von 5 Jahren, n=1731

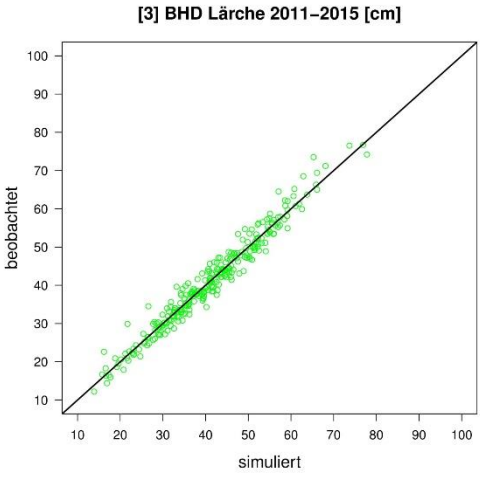


Abbildung 7: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Brusthöhendurchmesser der Lärche nach einer Zuwachsperiode von 20-24 Jahren, n=281

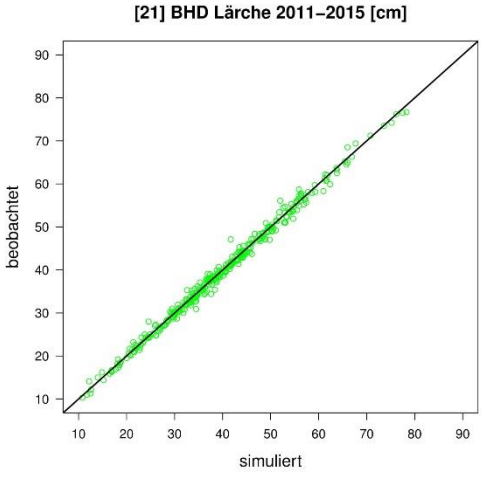


Abbildung 8: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Brusthöhendurchmesser der Lärche nach einer Zuwachsperiode von 5 Jahren, n=349

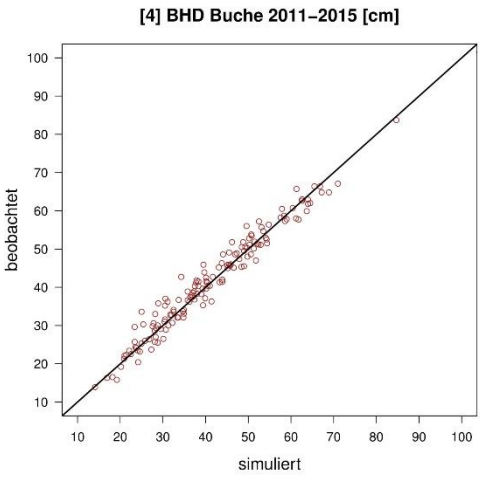


Abbildung 9: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Brusthöhendurchmesser der Buche nach einer Zuwachsperiode von 20-24 Jahren, n=150

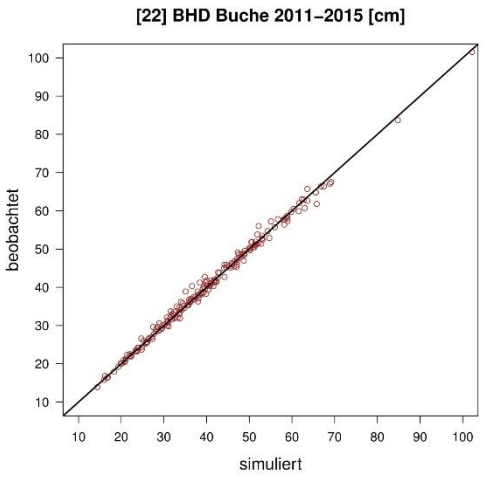


Abbildung 10: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Brusthöhendurchmesser der Buche nach einer Zuwachsperiode von 5 Jahren, n=194

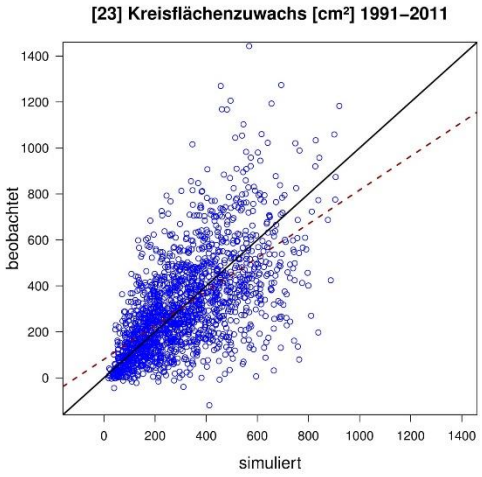


Abbildung 11: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Kreisflächenzuwächse nach einer Zuwachsperiode von 20 Jahren, n=1762

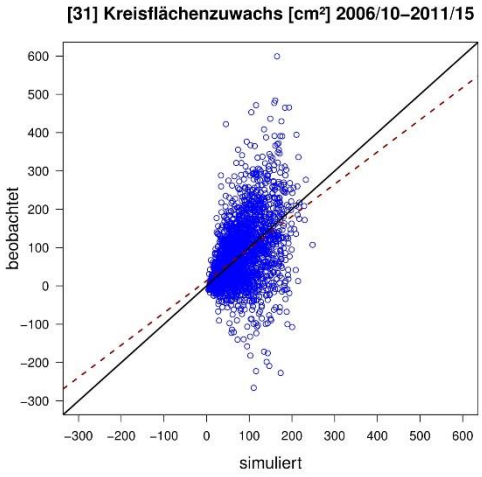


Abbildung 12: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Kreisflächenzuwächse nach einer Zuwachsperiode von 5 Jahren, n=2385

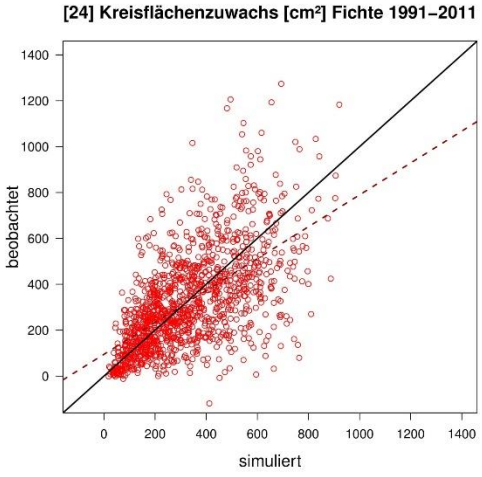


Abbildung 13: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Kreisflächenzuwächse der Fichte nach einer Zuwachsperiode von 20 Jahren, n=1259

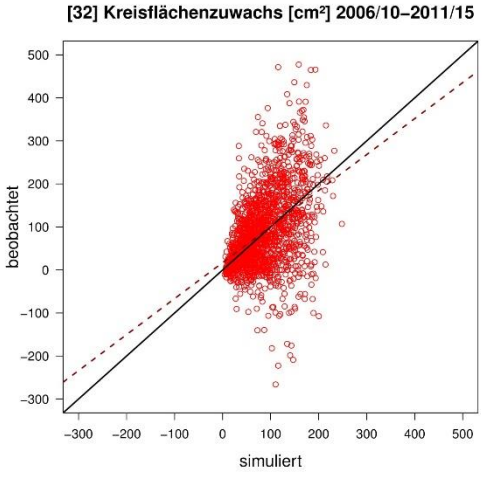


Abbildung 14: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Kreisflächenzuwächse der Fichte nach einer Zuwachsperiode von 5 Jahren, n=1731

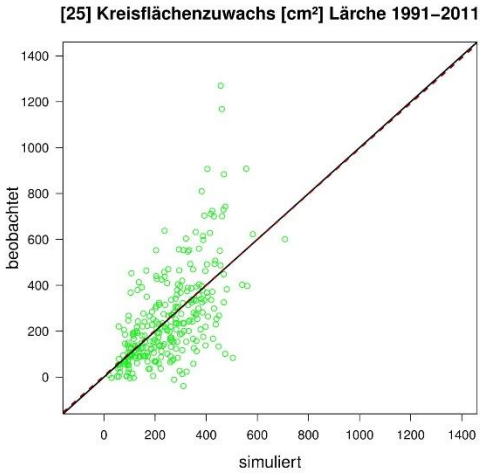


Abbildung 15: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Kreisflächenzuwächse der Lärche nach einer Zuwachsperiode von 20 Jahren, n=281

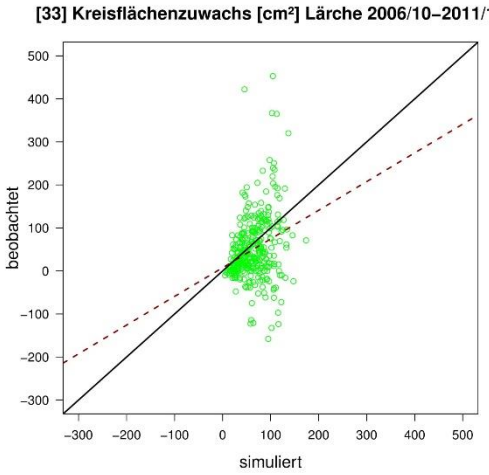


Abbildung 16: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Kreisflächenzuwächse der Lärche nach einer Zuwachsperiode von 5 Jahren, n=349

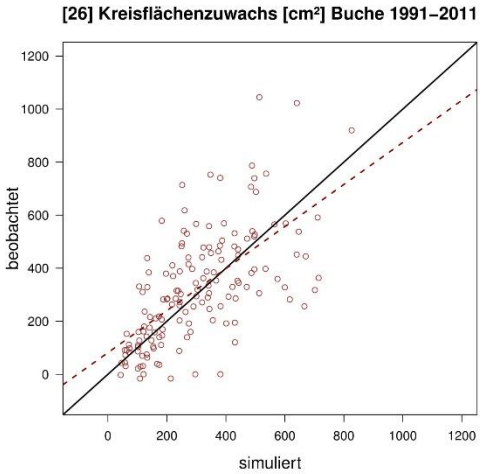


Abbildung 17: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Kreisflächenzuwächse der Buche nach einer Zuwachsperiode von 20 Jahren, n=150

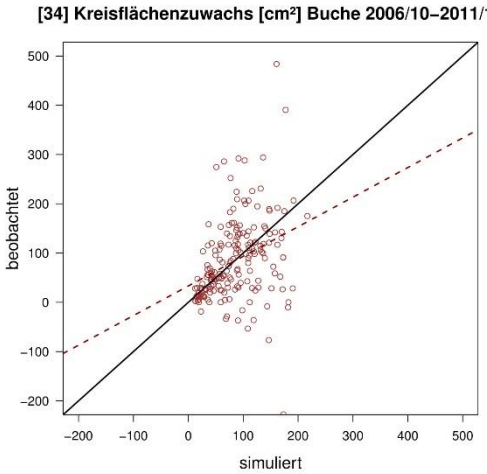


Abbildung 18: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Kreisflächenzuwächse der Buche nach einer Zuwachsperiode von 5 Jahren, n=194

5.1.2. Höhe und Höhenzuwachs

Die statistischen Validierungen zu Höhe und Höhenzuwachs sind in Tabelle 12 sowie in Abbildung 19 bis Abbildung 34 dargestellt.

Die mittlere beobachte Höhe beträgt in Abhängigkeit von der Baumart nach der langen Zuwachsperiode (20 bis 24 Jahre) zwischen 24,7 und 25,8 m, nach der 5-jährigen Zuwachsperiode zwischen 23,8 und 25 m. Die niedrigeren Gesamtwerte sind dadurch bedingt, dass neben den angeführten Baumarten auch noch andere in einer geringeren, für eine eigene Berechnung nicht ausreichenden Stichprobenzahl vorkommen. Der mittlere beobachtete Höhenzuwachs beträgt zwischen 17,6 und 25,2 dm nach der 20-jährigen Zuwachsperiode und zwischen 2,6 und 5,6 dm nach der 5-jährigen Zuwachsperiode.

Bei der Höhe und beim Höhenzuwachs zeigt sich über alle Untersuchungsperioden und Baumarten ein durchwegs negatives, höchstsignifikant von 0 verschiedenes Bias. Dies würde eine systematische Überschätzung der Höhen bedeuten. Es ist jedoch auch anzumerken, dass einige Höhenzuwächse aufgrund von Messungenauigkeiten negativ sind. Das Bias und auch das relative Bias nehmen bei der Höhe mit zunehmender Simulationsdauer zu. Beim Höhenzuwachs nimmt das Bias mit zunehmender Simulationsdauer zu, das relative Bias (Bias%) hingegen ab. PROGNAUS überschätzt die Höhen nach 20 Jahren im Mittel um 1,36 m und nach 5 Jahren im Mittel um 0,45 m, was eher als unbedeutend angesehen werden kann. Beim Höhenzuwachs ist dies anders zu bewerten, da speziell bei kurzen Simulationszeiten relative systematische Fehler in der Größe des Mittelwertes erreicht werden.

Das Vorhersageintervall der Höhe liegt bei 5%iger Irrtumswahrscheinlichkeit nach einer 20- bis 24-jährigen Zuwachsperiode bei einer maximalen Überschätzung von 4,92 m und einer maximalen Unterschätzung von 2,20 m. Nach der 5-jährigen Zuwachsperiode beträgt die Überschätzung maximal 2,20 m, die Unterschätzung maximal 1,31 m. Der Höhenzuwachs wird nach 20 Jahren vom Modell um maximal 44,6 dm über- und 20,2 dm unterschätzt. Nach 5 Jahren überschätzt PROGNAUS den Höhenzuwachs um maximal 17,5 dm, die maximale Unterschätzung beträgt 22 dm.

Die Präzision (Se) nimmt mit zunehmender Simulationslaufzeit bei Höhe und Höhenzuwachs ab, da die Streuung der Differenzen zunimmt. Bei der Höhe nimmt auch die relative Präzision (Se%) mit zunehmender Simulationsdauer ab, beim

Höhenzuwachs nimmt sie jedoch mit zunehmender Simulationsdauer zu. Hervorzuheben ist dabei insbesondere die geringe relative Präzision der 5-jährigen Zuwachsperiode. Ähnlich verhält sich die Treffergenauigkeit (Mx). Da bei Höhen und Höhenzuwachs das Bias jedoch größer ist, nimmt die Treffergenauigkeit im Vergleich zur Präzision einen höheren Wert an.

Modelleffizienz (EF) und Bestimmtheitsmaß (r^2) nehmen bei der Höhe sehr gute Werte an, beim Höhenzuwachs zeigt die Modelleffizienz an, dass das Modell mit Ausnahme der Lärche in der 20-jährigen Simulationsperiode schlechter als der beobachtete Mittelwert zu sein scheint. Die niedrigen Bestimmtheitsmaße bestätigen dies.

Die Hypothese, dass die lineare Beziehung zwischen simulierten und beobachteten Werten ein Absolutglied von 0 sowie einen Regressionskoeffizienten von 1 aufweist, muss aufgrund der höchstsignifikanten F-Werte (Fsim) abgewiesen werden.

Betrachtet man die Plots der Höhen und Höhenzuwächse, so kann bei der Höhe festgestellt werden, dass die Einzelbaumwerte gleichmäßig um die 45°-Solllinie streuen. Beim Höhenzuwachs verhält es sich anders. Speziell bei der 5-jährigen Zuwachsperiode kann eine massive Abweichung von dieser Linie festgestellt werden. Dies stützt die Annahme, die die oben beschriebenen und unten angeführten statistischen Validierungskennzahlen liefern.

*Tabelle 12: Kennzahlen der statistischen Validierung des Einzelbaumvergleiches der beobachteten und simulierten Höhe [m] sowie dem Höhenzuwachs [dm] mit (Nr.) der Berechnungsnummer; (Simz.) dem Simulationszeitraum; (Simd.) der Simulationsdauer; ($\bar{X}$) dem mittleren beobachteten Wert; (n) der Anzahl; (Bias) dem systematischen Fehler; (Bias%) dem systematischen Fehler in % des beobachteten Mittelwertes; (t) dem t-Wert für die Hypothese, dass das mittlere Bias Null ist, (Sig) dem Signifkanzniveau des Wertes in der davorstehenden Spalte, wobei (*) signifikant mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 %, (**) hochsignifikant mit einer Wahrscheinlichkeit von 99 % und (***) höchstsignifikant mit einer Wahrscheinlichkeit von 99,9 % bedeutet; (Se) der Präzision; (Se%) der Präzision in % des beobachteten Mittelwertes; (Mx) der Treffergenauigkeit; (Mx%) der Treffergenauigkeit in % des beobachteten Mittelwertes; (EF) der Modelleffizienz; (Pl_u) der unteren Grenze des Vorhersageintervalls oder der maximalen Überschätzung des Modells bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %; (Pl_o) der oberen Grenze des Vorhersageintervalls oder der maximalen Unterschätzung des Modells bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %, (Fsim) dem F-Wert des simultanen F-Testes, dass das Absolutglied a=0 und der Regressionskoeffizient b=1; (FG) den Freiheitsgraden dieses F-Wertes; (a) dem Absolutglied sowie (b) dem Regressionskoeffizienten der Regression y_beobachtet= a+b*y_simuliert; (adj.r^2) dem adjustierten Bestimmtheitsmaß sowie (r^2) dem Bestimmtheitsmaß der Regression*

	Nr.	Baumart	Simz.	Simd.	$\bar{X}$	n	Bias	Bias%	t	Sig	Pl_u	Pl_o	Se	Se%	Mx	Mx%	EF	Fsim	Sig	FG		a	b	adj. r^2	r^2
Höhe [m]	35	gesamt	1991-2011/15	20-24	24,7	312	-1,36	-5,5%	-13,305	***	-4,92	2,20	1,80	7,3%	2,26	9,2%	0,82	93,838	***	2	310	-0,013	0,948	0,885	0,886
	36	Fichte	1991-2011/15	20-24	25,0	136	-1,58	-6,3%	-11,125	***	-4,87	1,71	1,66	6,6%	2,29	9,2%	0,80	65,178	***	2	134	-0,142	0,946	0,898	0,899
	37	Lärche	1991-2011/15	20-24	25,6	84	-0,79	-3,1%	-4,017	***	-4,38	2,80	1,79	7,0%	1,96	7,7%	0,80	10,681	***	2	82	1,662	0,907	0,839	0,841
	38	Buche	1991-2011/15	20-24	25,8	47	-1,46	-5,7%	-5,377	***	-5,24	2,32	1,86	7,2%	2,37	9,2%	0,70	19,926	***	2	45	2,546	0,853	0,838	0,842
	39	gesamt	1991-2011	20	24,1	52	-0,98	-4,1%	-3,665	***	-4,91	2,94	1,94	8,0%	2,18	9,0%	0,86	9,080	***	2	50	1,183	0,913	0,896	0,898
	40	gesamt	1991-2011	21	24,0	66	-1,02	-4,2%	-4,603	***	-4,64	2,60	1,80	7,5%	2,07	8,6%	0,86	11,396	***	2	64	0,224	0,950	0,891	0,893
	41	gesamt	1991-2011	22	24,9	69	-1,55	-6,2%	-7,165	***	-5,15	2,06	1,79	7,2%	2,38	9,5%	0,78	25,346	***	2	67	-1,246	0,989	0,874	0,876
	42	gesamt	1991-2011	23	24,5	59	-1,55	-6,3%	-7,561	***	-4,74	1,63	1,58	6,4%	2,22	9,1%	0,77	28,531	***	2	57	-2,404	1,033	0,884	0,886
	43	gesamt	1991-2011	24	25,6	66	-1,62	-6,3%	-7,117	***	-5,35	2,11	1,85	7,2%	2,47	9,7%	0,79	27,427	***	2	64	0,282	0,930	0,883	0,885
	44	gesamt	2001-2015	10	24,4	374	-0,78	-3,2%	-11,704	***	-3,31	1,75	1,29	5,3%	1,50	6,2%	0,92	72,579	***	2	372	-0,007	0,969	0,944	0,944
	45	Fichte	2001-2015	10	24,6	171	-0,87	-3,5%	-9,072	***	-3,34	1,61	1,25	5,1%	1,52	6,2%	0,92	43,446	***	2	169	-0,041	0,968	0,947	0,947
	46	Lärche	2001-2015	10	25,3	95	-0,65	-2,6%	-4,768	***	-3,28	1,99	1,32	5,2%	1,47	5,8%	0,90	12,724	***	2	93	0,503	0,956	0,922	0,923
	47	Buche	2001-2015	10	25,3	59	-0,72	-2,9%	-4,680	***	-3,11	1,67	1,19	4,7%	1,39	5,5%	0,91	13,095	***	2	57	0,804	0,941	0,937	0,938
	48	gesamt	2006-2015	5	23,6	443	-0,45	-1,9%	-10,521	***	-2,20	1,31	0,89	3,8%	1,00	4,2%	0,97	60,697	***	2	441	0,057	0,979	0,978	0,978
	49	Fichte	2006-2015	5	23,8	212	-0,49	-2,1%	-7,767	***	-2,31	1,33	0,92	3,9%	1,05	4,4%	0,97	31,682	***	2	210	-0,084	0,983	0,977	0,977
	50	Lärche	2006-2015	5	25,0	102	-0,48	-1,9%	-5,525	***	-2,23	1,27	0,88	3,5%	1,00	4,0%	0,96	17,504	***	2	100	0,340	0,968	0,970	0,971
	51	Buche	2006-2015	5	25,0	64	-0,36	-1,4%	-3,941	***	-1,81	1,10	0,72	2,9%	0,81	3,2%	0,97	11,381	***	2	62	0,756	0,956	0,978	0,979
Höhenzuwachs [dm]	52	gesamt	1991-2011	20	22,5	312	-12,2	-54,3%	-13,144	***	-44,60	20,15	16,4	73,0%	20,5	91,0%	-0,25	93,075	***	2	310	-3,840	0,759	0,219	0,222
	53	Fichte	1991-2011	20	25,2	136	-14,3	-56,7%	-10,923	***	-44,56	15,99	15,3	60,6%	20,9	83,1%	-0,33	59,231	***	2	134	-13,531	0,981	0,291	0,296
	54	Lärche	1991-2011	20	23,2	84	-7,0	-30,1%	-3,943	***	-39,49	25,51	16,2	70,0%	17,7	76,3%	0,11	7,690	***	2	82	-6,246	0,975	0,241	0,251
	55	Buche	1991-2011	20	17,6	47	-13,1	-74,4%	-5,408	***	-46,78	20,64	16,6	94,3%	21,2	120,6%	-0,20	14,362	***	2	45	-11,167	0,938	0,250	0,267
	56	gesamt	2001/05-2011/15	10	9,8	374	-7,8	-79,7%	-11,704	***	-33,08	17,52	12,85	131,6%	15,03	153,9%	-0,20	70,614	***	2	372	-4,269	0,800	0,124	0,127
	57	Fichte	2001/05-2011/15	10	11,1	171	-8,7	-77,7%	-9,072	***	-33,38	16,05	12,48	112,1%	15,21	136,5%	-0,10	44,048	***	2	169	-15,459	1,343	0,273	0,277
	58	Lärche	2001/05-2011/15	10	8,1	95	-6,5	-79,3%	-4,768	***	-32,81	19,89	13,20	162,2%	14,71	180,8%	-0,17	11,933	***	2	93	-2,201	0,708	0,056	0,066
	59	Buche	2001/05-2011/15	10	9,2	59	-7,2	-78,5%	-4,680	***	-31,15	16,71	11,85	128,8%	13,91	151,2%	-0,62	18,006	***	2	57	6,229	0,181	-0,008	0,009
	60	gesamt	2006/10-2011/15	5	4,8	443	-4,5	-92,1%	-10,521	***	-21,97	13,07	8,90	184,2%	9,96	206,0%	-0,12	56,137	***	2	441	-3,150	0,860	0,109	0,111
	61	Fichte	2006/10-2011/15	5	5,6	212	-4,9	-87,6%	-10,521	***	-23,14	13,30	9,22	164,3%	10,46	186,3%	-0,11	30,086	***	2	210	-5,545	1,059	0,136	0,140
	62	Lärche	2006/10-2011/15	5	2,6	102	-4,8	-181,9%	-5,525	***	-22,33	12,71	8,79	332,6%	10,03	379,6%	-0,20	15,167	***	2	100	-4,139	0,910	0,073	0,082
	63	Buche	2006/10-2011/15	5	5,0	64	-3,6	-70,6%	-3,941	***	-18,13	11,01	7,23	143,4%	8,08	160,1%	-0,20	8,791	***	2	62	-0,216	0,611	0,053	0,068

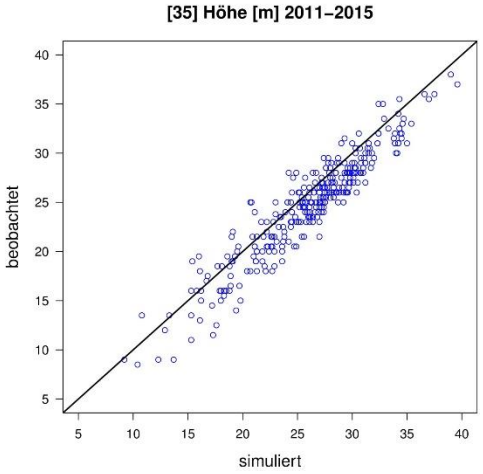


Abbildung 19: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Höhen der gemessenen Zentralstämme (ausg. gebrochene) nach einer Zuwachsperiode von 20-24 Jahren, n=312

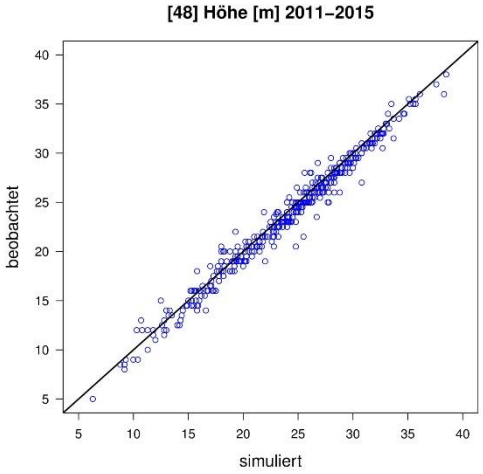


Abbildung 20: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Höhen der gemessenen Zentralstämme (ausg. gebrochene) nach einer Zuwachsperiode von 5 Jahren, n=443

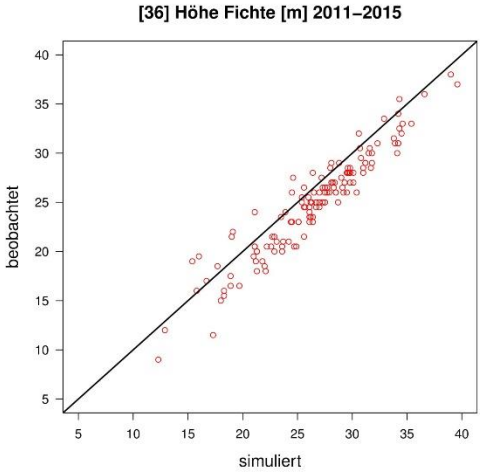


Abbildung 21: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Höhen der gemessenen Zentralstämme der Fichte (ausg. gebrochene) nach einer Zuwachsperiode von 20-24 Jahren, n=136

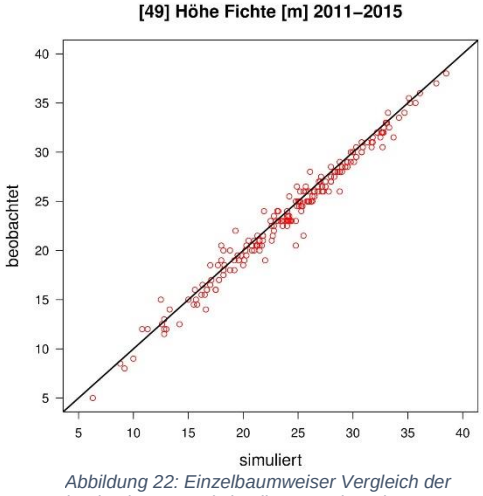


Abbildung 22: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Höhen der gemessenen Zentralstämme der Fichte (ausg. gebrochene) nach einer Zuwachsperiode von 5 Jahren, n=212

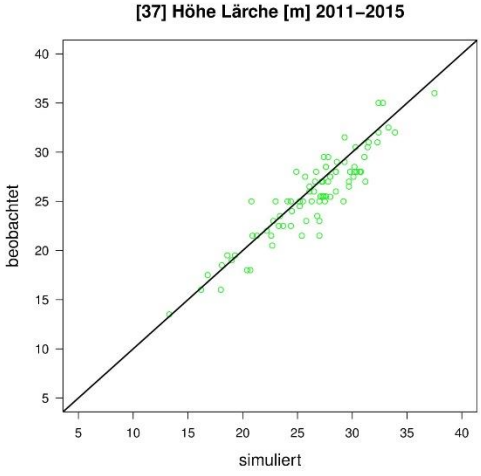


Abbildung 23: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Höhen der gemessenen Zentralstämme der Lärche (ausg. gebrochene) nach einer Zuwachsperiode von 20-24 Jahren, n=84

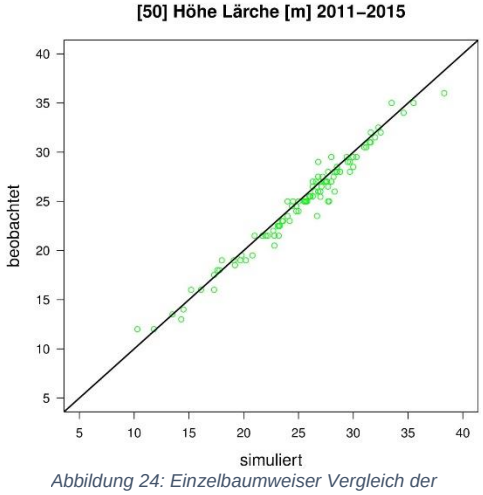


Abbildung 24: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Höhen der gemessenen Zentralstämme der Lärche (ausg. gebrochene) nach einer Zuwachsperiode von 5 Jahren, n=102

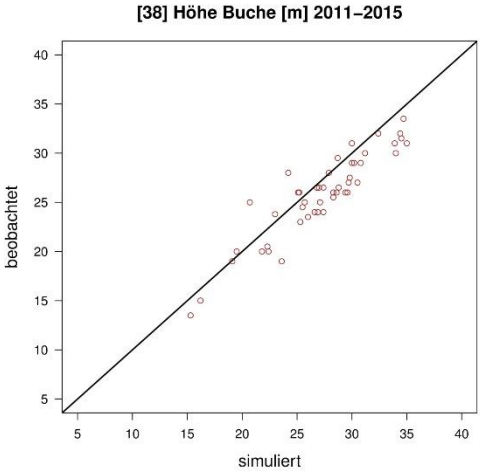


Abbildung 25: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Höhen der gemessenen Zentralstämme der Buche (ausg. gebrochene) nach einer Zuwachsperiode von 20-24 Jahren, n=47

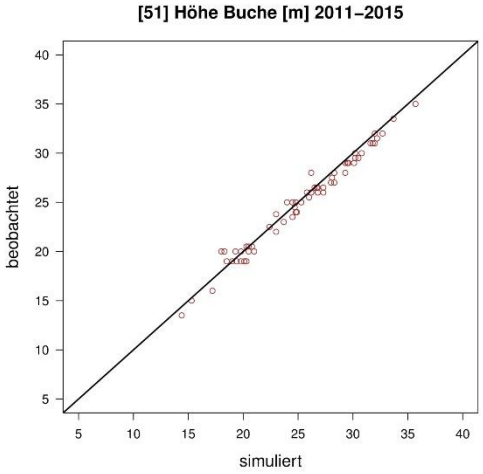


Abbildung 26: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Höhen der gemessenen Zentralstämme der Buche (ausg. gebrochene) nach einer Zuwachsperiode von 20-24 Jahren, n=64

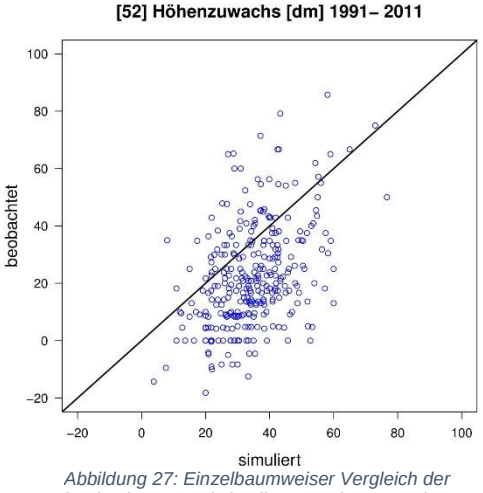


Abbildung 27: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Höhenzuwächse der gemessenen Zentralstämme (ausg. gebrochene) nach einer Zuwachsperiode von 20 Jahren, n=312

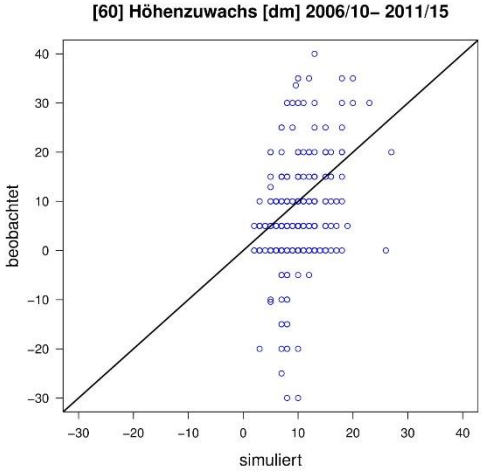


Abbildung 28: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Höhenzuwächse der gemessenen Zentralstämme (ausg. gebrochene) nach einer Zuwachsperiode von 5 Jahren, n=443

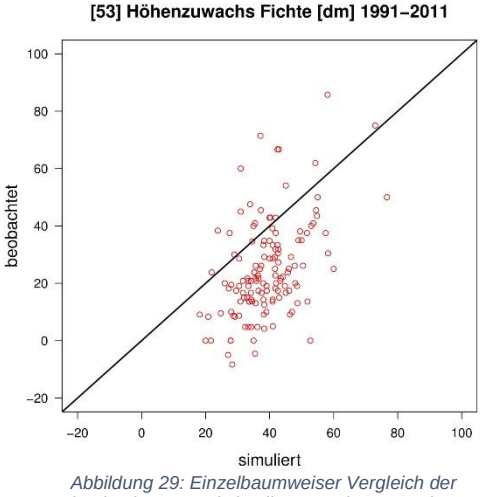


Abbildung 29: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Höhenzuwächse der gemessenen Zentralstämme der Fichte (ausg. gebrochene) nach einer Zuwachsperiode von 20 Jahren, n=136

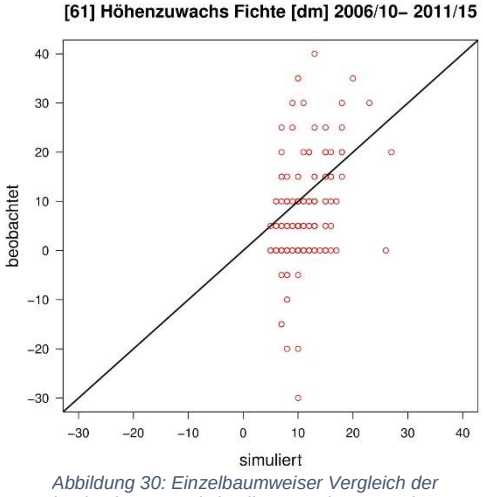


Abbildung 30: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Höhenzuwächse der gemessenen Zentralstämme der Fichte (ausg. gebrochene) nach einer Zuwachsperiode von 5 Jahren, n=212

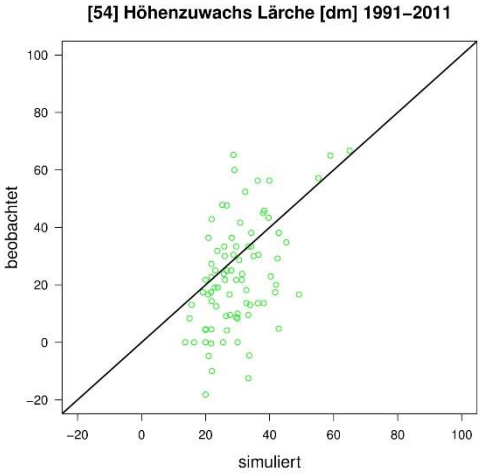


Abbildung 31: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Höhenzuwächse der gemessenen Zentralstämme der Lärche (ausg. gebrochene) nach einer Zuwachsperiode von 20 Jahren, n=84

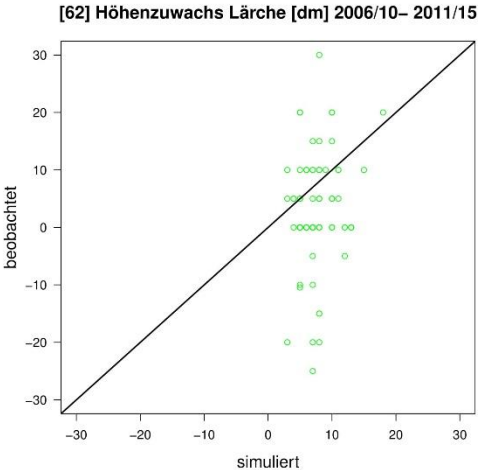


Abbildung 32: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Höhenzuwächse der gemessenen Zentralstämme der Lärche (ausg. gebrochene) nach einer Zuwachsperiode von 5 Jahren, n=102

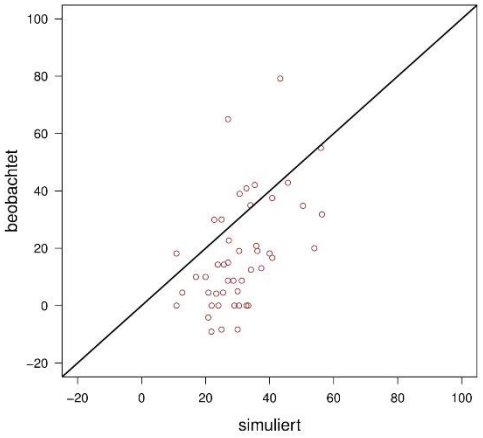


Abbildung 33: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Höhenzuwächse der gemessenen Zentralstämme der Buche (ausg. gebrochene) nach einer Zuwachsperiode von 20 Jahren, n=47

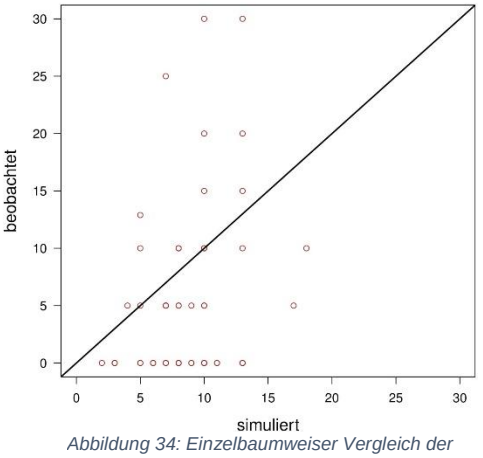


Abbildung 34: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Höhenzuwächse der gemessenen Zentralstämme der Buche (ausg. gebrochene) nach einer Zuwachsperiode von 20-24 Jahren, n=64

5.1.3. Volumen und Volumszuwachs

Bei Volumen und Volumszuwachs ist festzuhalten, dass sich diese aus den Größen Grundfläche, Höhe und Formzahl zusammensetzen. Da bei der Stichprobeninventur das Zentralstammkonzept verwendet wurde, kann es vorkommen, dass sich dieser aufgrund einer Nutzung über die Simulationslaufzeit ändern kann, was zu einer geänderten berechneten Höhe führt. Ziel der Evaluierung des Volumens war die Validierung des Gesamteffekts. Der Volumszuwachs wird bei der Simulation sowohl vom Kreisflächenzuwachsmodell von Monserud und Sterba (1996) sowie vom Höhenzuwachsmodell nach Nachtmann (2005) bestimmt. Die statistische Validierung des Volumens und Volumszuwachs sind in Tabelle 13 sowie Abbildung 35 bis Abbildung 50 dargestellt.

Das mittlere beobachtete Volumen liegt nach einer Zuwachsperiode von 20 bis 24 Jahren zwischen 1,62 und 1,85 m³ und nach einer Zuwachsperiode von 5 Jahren zwischen 1,50 und 1,73 m³. Die mittleren beobachten Volumszuwächse liegen nach einer Zuwachsperiode von 20 Jahren zwischen 0,365 und 0,459 m³ und nach einer Zuwachsperiode von 5 Jahren zwischen 0,056 und 0,113 m³.

Es zeigt sich sowohl beim Volumen als auch beim Volumszuwachs ein hoch- bis höchstsignifikanter, negativer systematischer Fehler (Bias). Dies bedeutet, dass das Volumen und der Volumszuwachs vom Modell überschätzt werden. Das Bias sowie das relative Bias (Bias%) nehmen beim Volumen mit zunehmender Simulationslaufzeit zu, beim Volumszuwachs nimmt das Bias mit der Simulationszeit zu, das relative Bias hingegen ab.

Nach der Vorhersagegenauigkeit wird das Volumen eines Einzelbaumes mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % nach einer Simulationslaufzeit von 20 bis 24 Jahren um maximal 0,678 m³ überschätzt, sowie um maximal 0,446 m³ unterschätzt. Der Volumszuwachs wird nach 20 Jahren um maximal 0,618 m³ überschätzt und um 0,406 m³ unterschätzt. Bei einer Simulationslaufzeit von 5 Jahren beträgt die Überschätzung des Volumens maximal 0,284 m³, die Unterschätzung maximal 0,222 m³. Der Volumszuwachs wird nach 5 Jahren um maximal 0,284 m³ über- und 0,222 m³ unterschätzt.

Die Präzision (Se) sowie die Treffergenauigkeit (Mx) nehmen beim Volumen mit zunehmender Simulationsdauer ab. Die relativen Präzisionswerte (Se%) sind beim

Volumen im Vergleich zum Brusthöhendurchmesser und zur Höhe weitaus höher, was für eine geringere Präzision spricht. Beim Volumszuwachs nimmt die Präzision mit zunehmender Simulationsdauer ab, die Präzision im Vergleich zum Mittelwert ist jedoch bei längeren Simulationsdauern besser.

Beim Volumen sind Modelleffizienz (EF) und Bestimmtheitsmaß (r^2) durchwegs in der Nähe von Eins, wobei diese wiederum mit der Simulationslaufzeit abnehmen. Eine Modelleffizienz in der angegebenen Größenordnung stellt ein nahezu perfektes Modell dar. Bei den Volumszuwächsen sind Modelleffizienz und Bestimmtheitsmaß erwartungsgemäß deutlich geringer, die Modelleffizienz ist aber mit Ausnahme von einzelnen Baumarten durchwegs größer Null. Dies bedeutet, dass das Modell besser als der beobachtete Mittelwert der Volumszuwächse ist.

Die Hypothese, dass der lineare Zusammenhang zwischen beobachteten und simulierten Werten ein Absolutglied von 0 und einen Regressionskoeffizienten von 1 aufweist, ist aufgrund der durchgängig höchstsignifikanten F-Werte sowohl für Volumen als auch für die Volumszuwächse abzulehnen.

Die Plots des Volumens zeigen über alle Simulationsperioden eine durchwegs gleichmäßige Streuung der Einzelbaumwerte um die Solllinie (45°-Linie). Bei den Volumszuwächsen zeigt sich bei den 20-jährigen Simulationsperioden ein gleichmäßiges Streuungsbild, wobei einzelne Ausreißer auch weit von der Linie entfernt liegen. Die 5-jährigen Volumszuwächse weichen von der 45°-Linie teilweise beträchtlich ab.

*Tabelle 13: Kennzahlen der statistischen Validierung des Einzelbaumvergleiches des beobachteten und simulierten Volumens [m³] sowie dem Volumszuwachs [dm³] mit (Nr.) der Berechnungsnummer; (Simz.) dem Simulationszeitraum; (Simd.) der Simulationsdauer; ($\bar{X}$) dem mittleren beobachteten Wert; (n) der Anzahl; (Bias) dem systematischen Fehler; (Bias%) dem systematischen Fehler in % des beobachteten Mittelwertes; (t) dem t-Wert für die Hypothese, dass das mittlere Bias Null ist, (Sig) dem Signifkanzniveau des Wertes in der davorstehenden Spalte, wobei (*) signifikant mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 %, (**) hochsignifikant mit einer Wahrscheinlichkeit von 99 % und (***) höchstsignifikant mit einer Wahrscheinlichkeit von 99,9 % bedeutet; (Se) der Präzision; (Se%) der Präzision in % des beobachteten Mittelwertes; (Mx) der Treffergenauigkeit; (Mx%) der Treffergenauigkeit in % des beobachteten Mittelwertes; (EF) der Modelleffizienz; (Pl_u) der unteren Grenze des Vorhersageintervalls oder der maximalen Überschätzung des Modells bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %; (Pl_o) der oberen Grenze des Vorhersageintervalls oder der maximalen Unterschätzung des Modells bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %, (Fsim) dem F-Wert des simultanen F-Testes, dass das Absolutglied a=0 und der Regressionskoeffizient b=1; (FG) den Freiheitsgraden dieses F-Wertes; (a) dem Absolutglied sowie (b) dem Regressionskoeffizienten der Regression y_beobachtet= a+b*y_simuliert; (adj.r²) dem adjustierten Bestimmtheitsmaß sowie (r²) dem Bestimmtheitsmaß der Regression*

	Nr.	Baumart	Simz.	Simd.	$\bar{X}$	n	Bias	Bias%	t	Sig	Pl_u	Pl_o	Se	Se%	Mx	Mx%	EF	Fsim	Sig	FG		a	b	adj. r²	r²
Volumen [m³]	64	gesamt	1991- 2011/15	20-24	1,690	1720	-0,116	-6,9%	-16,768	***	-0,678	0,446	0,286	17,0%	0,309	18,3%	0,93	332,206	***	2	1718	0,047	0,910	0,951	0,951
	65	Fichte	1991- 2011/15	20-24	1,711	1230	-0,140	-8,2%	-17,051	***	-0,707	0,426	0,289	16,9%	0,321	18,8%	0,93	334,022	***	2	1228	0,043	0,901	0,954	0,954
	66	Lärche	1991- 2011/15	20-24	1,623	272	-0,041	-2,5%	-3,028	**	-0,478	0,397	0,222	13,7%	0,225	13,9%	0,95	5,003	**	2	270	-0,020	0,987	0,949	0,950
	67	Buche	1991- 2011/15	20-24	1,847	148	-0,094	-5,1%	-3,196	**	-0,802	0,615	0,357	19,3%	0,370	20,0%	0,92	29,774	***	2	146	0,142	0,879	0,943	0,943
	68	gesamt	1991-2011	20	1,630	327	-0,136	-8,3%	-9,002	***	-0,673	0,402	0,273	16,7%	0,305	18,7%	0,93	84,361	***	2	325	0,031	0,905	0,952	0,952
	69	Fichte	1991-2011	20	1,683	244	-0,165	-9,8%	-9,152	***	-0,719	0,390	0,281	16,7%	0,326	19,3%	0,92	76,844	***	2	242	0,016	0,902	0,948	0,948
	70	gesamt	1991-2012	21	1,604	380	-0,080	-5,0%	-6,231	***	-0,575	0,415	0,251	15,7%	0,264	16,5%	0,95	67,102	***	2	378	0,061	0,916	0,964	0,964
	71	Fichte	1991-2012	21	1,666	276	-0,088	-5,3%	-5,715	***	-0,589	0,414	0,255	15,3%	0,269	16,2%	0,95	62,066	***	2	274	0,069	0,911	0,969	0,969
	72	gesamt	1991-2013	22	1,749	355	-0,158	-9,1%	-9,596	***	-0,771	0,454	0,311	17,8%	0,349	20,0%	0,90	99,359	***	2	353	0,055	0,888	0,938	0,938
	73	Fichte	1991-2013	22	1,707	232	-0,200	-11,7%	-10,283	***	-0,787	0,386	0,297	17,4%	0,359	21,0%	0,89	118,913	***	2	230	0,052	0,868	0,944	0,944
	74	gesamt	1991-2014	23	1,660	330	-0,089	-5,4%	-5,572	***	-0,659	0,482	0,290	17,5%	0,303	18,3%	0,93	33,035	***	2	328	0,037	0,928	0,942	0,942
	75	Fichte	1991-2014	23	1,688	236	-0,107	-6,4%	-5,567	***	-0,693	0,478	0,296	17,6%	0,315	18,7%	0,92	33,245	***	2	234	0,043	0,916	0,941	0,941
	76	gesamt	1991-2015	24	1,815	328	-0,118	-6,5%	-7,116	***	-0,710	0,474	0,300	16,6%	0,323	17,8%	0,94	61,499	***	2	326	0,048	0,914	0,956	0,956
	77	Fichte	1991-2015	24	1,818	242	-0,151	-8,3%	-7,688	***	-0,753	0,451	0,305	16,8%	0,340	18,7%	0,94	68,902	***	2	240	0,034	0,906	0,961	0,961
	78	gesamt	2001-2015	10	1,628	2067	-0,061	-3,7%	-15,586	***	-0,408	0,286	0,177	10,9%	0,187	11,5%	0,98	251,697	***	2	2065	0,016	0,954	0,980	0,980
	79	Fichte	2001-2015	10	1,644	1497	-0,067	-4,1%	-14,439	***	-0,422	0,287	0,180	11,0%	0,193	11,7%	0,97	216,865	***	2	1495	0,016	0,951	0,980	0,980
	80	Lärche	2001-2015	10	1,559	318	-0,044	-2,8%	-5,258	***	-0,335	0,248	0,148	9,5%	0,154	9,9%	0,98	16,975	***	2	316	-0,011	0,980	0,978	0,978
	81	Buche	2001-2015	10	1,769	176	-0,049	-2,8%	-3,254	**	-0,442	0,345	0,199	11,2%	0,205	11,6%	0,97	20,226	***	2	174	0,052	0,945	0,979	0,979
	82	gesamt	2006-2015	5	1,542	2334	-0,031	-2,0%	-11,607	***	-0,284	0,222	0,129	8,4%	0,133	8,6%	0,99	164,321	***	2	2332	0,014	0,971	0,989	0,989
	83	Fichte	2006-2015	5	1,555	1696	-0,029	-1,8%	-8,854	***	-0,29	0,233	0,133	8,6%	0,136	8,8%	0,99	97,640	***	2	1694	0,014	0,973	0,989	0,989
	84	Lärche	2006-2015	5	1,501	340	-0,044	-3,0%	-7,458	***	-0,261	0,172	0,110	7,3%	0,118	7,9%	0,99	56,081	***	2	338	0,014	0,962	0,989	0,989
	85	Buche	2006-2015	5	1,736	190	-0,040	-2,3%	-4,064	***	-0,308	0,228	0,135	7,8%	0,141	8,1%	0,99	29,150	***	2	188	0,035	0,958	0,990	0,990
Volumszuwachs [m³]	86	gesamt	1991-2011	20	0,418	1720	-0,106	-25,4%	-16,850	***	-0,618	0,406	0,261	62,5%	0,282	67,5%	0,15	372,389	***	2	1718	0,085	0,634	0,409	0,409
	87	Fichte	1991-2011	20	0,431	1230	-0,128	-29,8%	-17,100	***	-0,645	0,388	0,263	61,1%	0,293	68,0%	0,09	329,710	***	2	1228	0,080	0,628	0,407	0,407
	88	Lärche	1991-2011	20	0,365	272	-0,038	-10,4%	-3,088	**	-0,436	0,361	0,202	55,3%	0,205	56,3%	0,40	7,510	***	2	270	0,018	0,862	0,432	0,434
	89	Buche	1991-2011	20	0,459	148	-0,086	-18,7%	-3,210	**	-0,730	0,559	0,325	70,8%	0,336	73,3%	-0,01	36,628	***	2	146	0,174	0,522	0,320	0,325
	90	gesamt	2001/05-2011/15	10	0,209	2067	-0,061	-29,0%	-15,586	***	-0,408	0,286	0,177	84,7%	0,187	89,6%	0,08	258,558	***	2	2065	0,038	0,635	0,265	0,265
	91	Fichte	2001/05-2011/15	10	0,219	1497	-0,067	-30,8%	-14,439	***	-0,422	0,287	0,180	82,6%	0,193	88,1%	0,04	211,866	***	2	1495	0,041	0,621	0,252	0,253
	92	Lärche	2001/05-2011/15	10	0,158	318	-0,044	-27,5%	-5,258	***	-0,335	0,248	0,148	93,4%	0,154	97,4%	0,12	18,600	***	2	316	0,005	0,758	0,213	0,216
	93	Buche	2001/05-2011/15	10	0,242	176	-0,049	-20,1%	-3,254	**	-0,442	0,345	0,199	82,0%	0,205	84,5%	0,05	24,968	***	2	174	0,079	0,563	0,257	0,261
	94	gesamt	2006/10-2011/15	5	0,103	2334	-0,031	-30,2%	-11,607	***	-0,284	0,222	0,129	125,6%	0,133	129,1%	0,04	136,280	***	2	2332	0,019	0,627	0,136	0,137
	95	Fichte	2006/10-2011/15	5	0,113	1696	-0,029	-25,3%	-8,854	***	-0,290	0,233	0,133	117,7%	0,136	120,4%	0,06	80,962	***	2	1694	0,021	0,648	0,137	0,138
	96	Lärche	2006/10-2011/15	5	0,056	340	-0,044	-79,1%	-7,458	***	-0,261	0,172	0,110	195,6%	0,118	211,0%	-0,30	54,864	***	2	338	0,030	0,259	0,014	0,017
	97	Buche	2006/10-2011/15	5	0,110	190	-0,040	-36,3%	-4,064	***	-0,308	0,228	0,135	123,2%	0,141	128,4%	-0,22	31,782	***	2	188	0,051	0,395	0,085	0,089

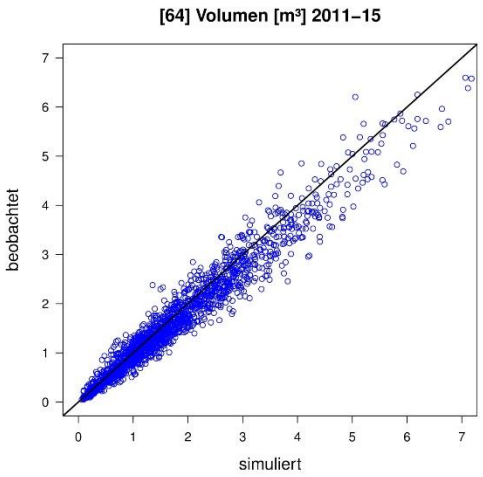


Abbildung 35: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Volumina (ausg. gebrochene Bäume) nach einer Zuwachsperiode von 20-24 Jahren, n=1720

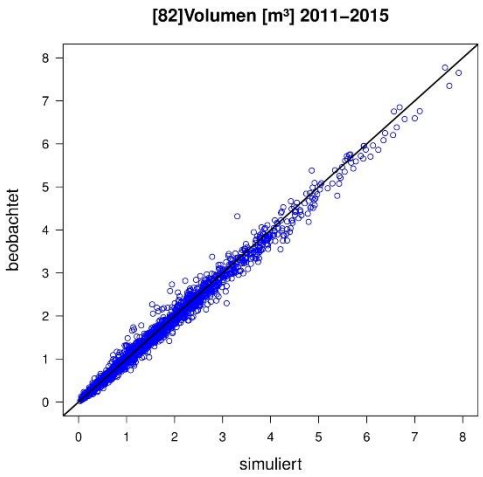


Abbildung 36: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Volumina (ausg. gebrochene Bäume) nach einer Zuwachsperiode von 5 Jahren, n=2334

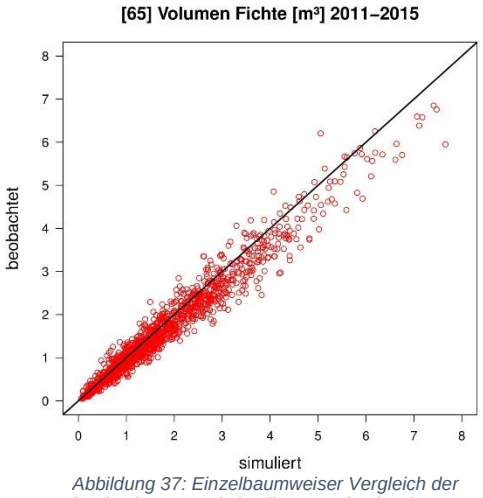


Abbildung 37: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Volumina (ausg. gebrochene Bäume) der Fichte nach einer Zuwachsperiode von 20-24 Jahren, n=1230

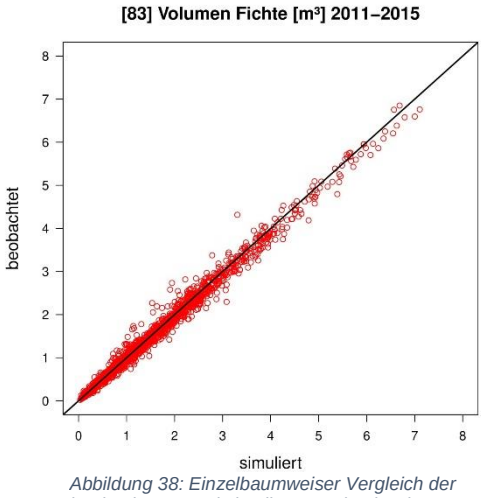


Abbildung 38: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Volumina (ausg. gebrochene Bäume) der Fichte nach einer Zuwachsperiode von 5 Jahren, n=1696

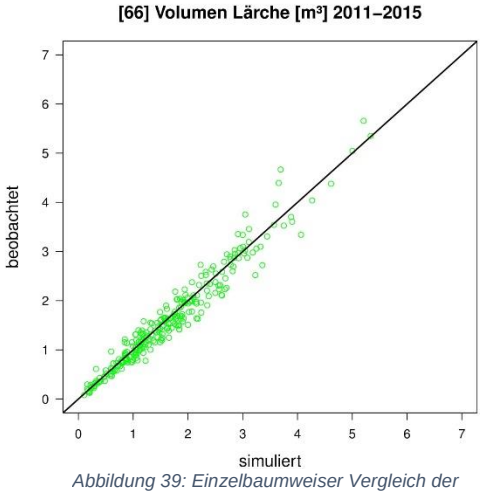


Abbildung 39: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Volumina (ausg. gebrochene Bäume) der Lärche nach einer Zuwachsperiode von 20-24 Jahren, n=272

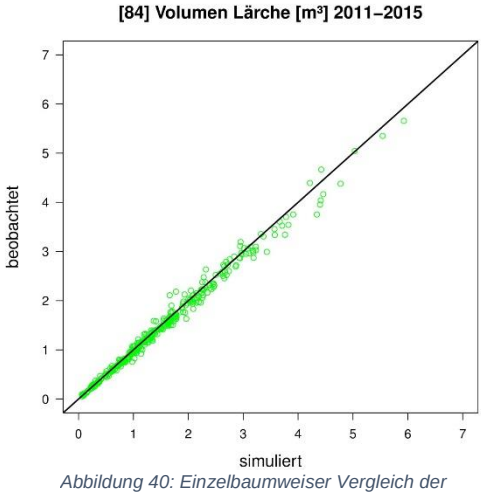


Abbildung 40: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Volumina (ausg. gebrochene Bäume) der Lärche nach einer Zuwachsperiode von 5 Jahren, n=340

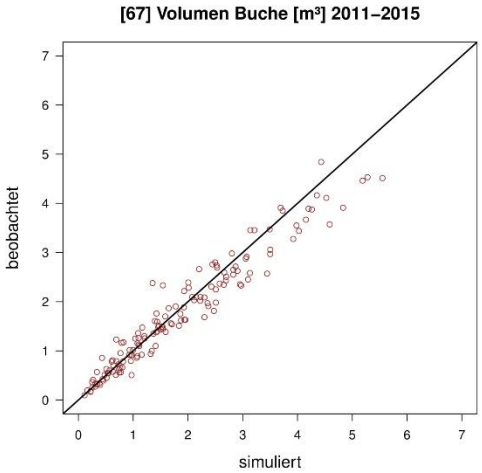


Abbildung 41: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Volumina (ausg. gebrochene Bäume) der Buche nach einer Zuwachsperiode von 20-24 Jahren, n=148

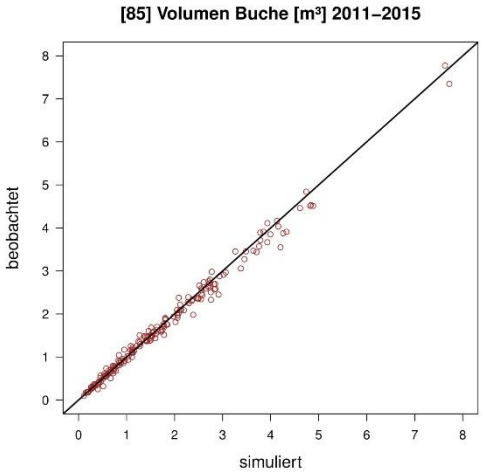


Abbildung 42: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Volumina (ausg. gebrochene Bäume) der Buche (nach einer Zuwachsperiode von 5 Jahren, n=190

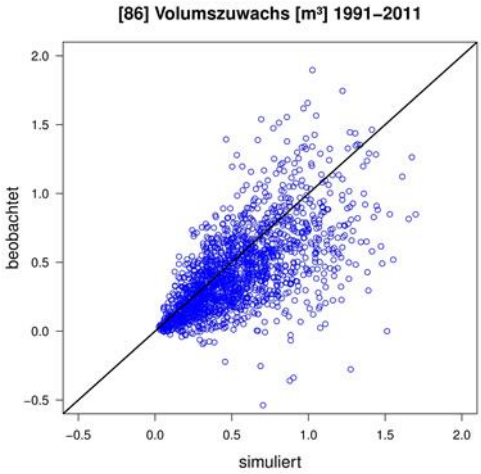


Abbildung 43: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Volumszuwächse (ausg. gebrochene Bäume) nach einer Zuwachsperiode von 20 Jahren, n=1720

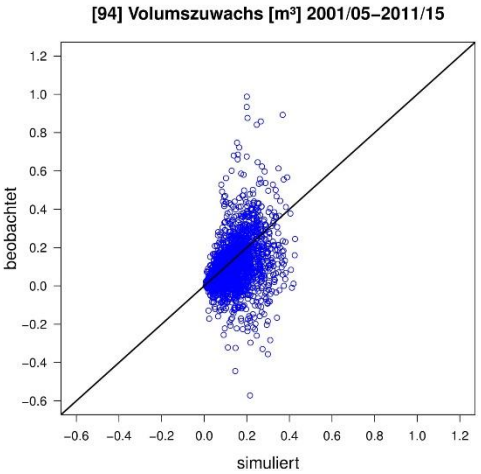


Abbildung 44: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Volumszuwächse nach einer Zuwachsperiode von 5 Jahren, n=2334

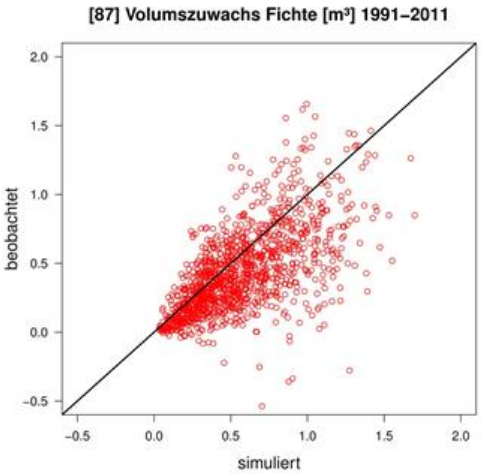


Abbildung 45: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Volumszuwächse (ausg. gebrochene Bäume) der Fichte nach einer Zuwachsperiode von 20 Jahren, n=1230

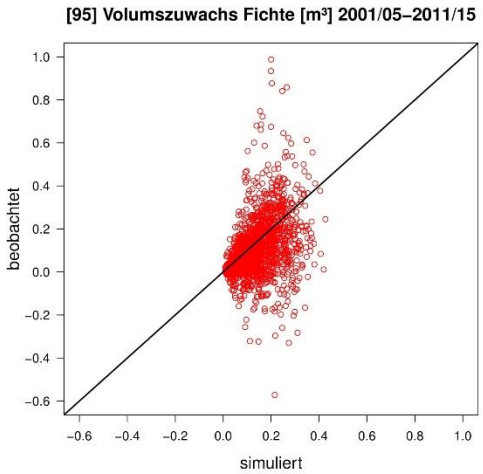


Abbildung 46: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Volumszuwächse (ausg. gebrochene Bäume) der Fichte nach einer Zuwachsperiode von 5 Jahren, n=1696

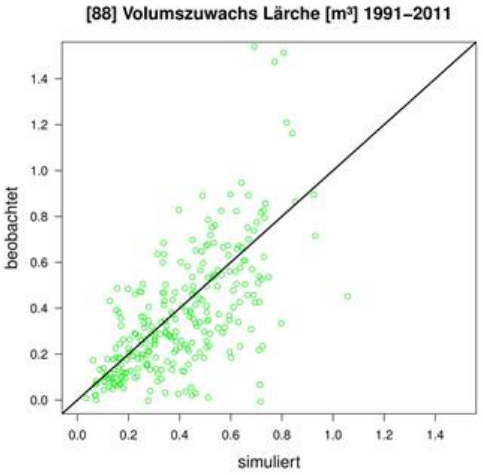


Abbildung 47: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Volumszuwächse (ausg. gebrochene Bäume) der Lärche nach einer Zuwachsperiode von 20 Jahren, n=272

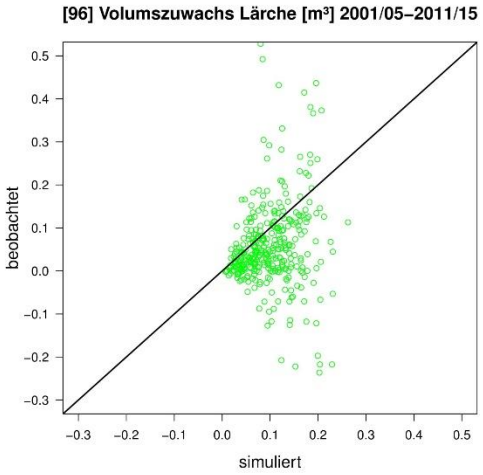


Abbildung 48: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Volumszuwächse (ausg. gebrochene Bäume) der Lärche nach einer Zuwachsperiode von 5 Jahren, n=340

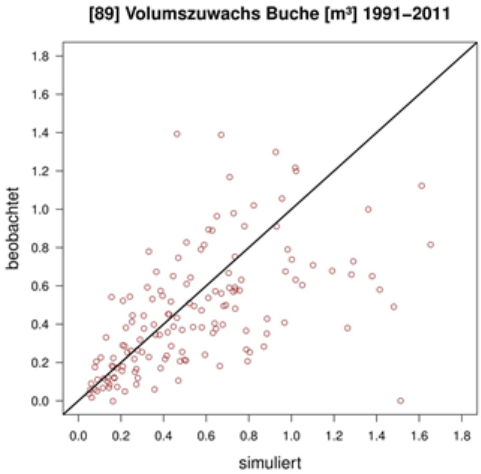


Abbildung 49: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Volumszuwächse (ausg. gebrochene Bäume) der Buche nach einer Zuwachsperiode von 20 Jahren, n=148

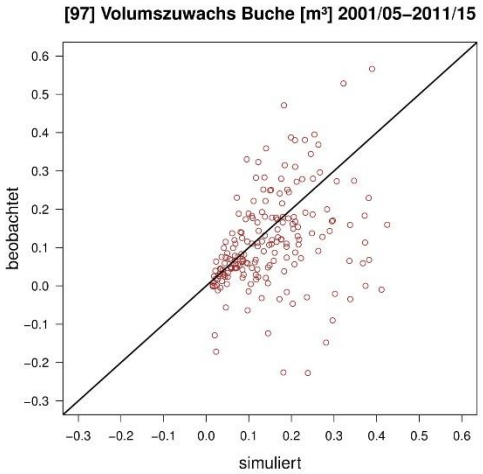


Abbildung 50: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Volumszuwächse (ausg. gebrochene Bäume) der Buche nach einer Zuwachsperiode von 5 Jahren, n=190

5.2. Probeflächenweiser Vergleich

5.2.1. Volumen/ha

Tabelle 14 sowie Abbildung 51 bis Abbildung 58 zeigen die Ergebnisse der statistischen Validierung des probeflächenweisen Vergleiches des Hektarvolumens. Nach einer Zuwachsperiode von 20 bis 24 Jahren liegt der beobachtete Gesamtmittelwert bei 454 m³/ha, nach einer Zuwachsperiode von 5 Jahren bei 446 m³, wobei diese Werte in Vorratsfestmeter Schaftholz berechnet wurden. Der Unterschied zwischen den beiden Vorräten ist dadurch bedingt, dass einige Flächen erst nach der Ersterhebung in die Winkelzählprobe eingewachsen sind und daher nur bei der 5-jährigen Simulationslaufzeit berücksichtigt wurden.

Der systematische Fehler (Bias) ist beim Gesamtergebnis sowie bei der Fichte der Simulationsperiode 20 bis 24 Jahre signifikant von 0 verschieden, alle anderen Berechnungen zeigen ein nicht signifikantes Bias. Nach der langen Simulationsperiode ist das Bias mit Ausnahme der Lärche negativ, nach der 5- jährigen Simulationsperiode mit Ausnahme der Buche positiv. Die relative Abweichung des systematischen Fehlers vom beobachteten Mittelwert (Bias%) nimmt gesamt mit zunehmender Simulationslaufzeit zu. Die Baumart Buche weist nach allen Simulationsperioden einen höheren relativen systematischen Fehler als die anderen Baumarten auf.

Bei 5%iger Irrtumswahrscheinlichkeit kann man nach 20- bis 24-jähriger Simulationslaufzeit davon ausgehen, dass das prognostizierte Volumen um maximal 225,4 m³/ha überschätzt, sowie um maximal 191,6 m³/ha unterschätzt wird. Nach 5-jähriger Zuwachsperiode ist mit einer Überschätzung von maximal 99,1 m³ und einer Unterschätzung von maximal 101,9 m³ zu rechnen.

Die Präzision (Se) und Treffergenauigkeit (Mx) nehmen mit zunehmender Simulationsdauer ab, gleiches gilt auch für die relative Präzision (Se%) sowie die relative Treffergenauigkeit (Mx%).

Die Modelleffizienz (EF) liegt nach einer Simulationsdauer von 5 Jahren gesamt nahe 1, was auf ein sehr effizientes, perfektes Modell hindeutet. Nach einer Simulationsdauer von 20 bis 24 Jahren nimmt sie auf 0,78 ab. Auch das Bestimmtheitsmaß zeigt sehr ähnliche Werte. Die prognostizierten Werte sind somit besser als der beobachtete Mittelwert.

Beim simultanen F-Test muss nach der 20- bis 24-jährigen Simulationslaufzeit die Nullhypothese, dass sich das Absolutglied nicht signifikant von 0 und der Regressionskoeffizient nicht signifikant von 1 unterscheidet aufgrund des höchstsignifikanten F-Wertes verworfen werden. Nach der 5-jährigen Simulationsperiode ist der F-Wert mit Ausnahme der Buche nicht signifikant.

Die Plots zeigen einen sehr guten linearen Zusammenhang zwischen beobachten und simulierten Werten, wobei man bei der 20- bis 24-jährigen Simulationsperiode im Vergleich zur 5-jährigen Simulationsperiode die deutliche höhere Streuung um die 45°-Solllinie erkennen kann. Beim Plot der Buche ist bei der 20- bis 24-jährigen Zuwachsperiode eine höhere Streuung im Gegensatz zu den anderen Baumarten zu erkennen.

5.2.2. Grundfläche/ha

Prinzipiell zeigt die Grundfläche/ha (Tabelle 15, Abbildung 59 bis Abbildung 66) ein dem Vorrat/ha sehr ähnliches Muster. Die mittlere beobachtete Grundfläche liegt nach der langen Zuwachsperiode bei 43,6 m²/ha, nach der 5-jährigen Zuwachsperiode liegt sie bei 43,7 m²/ha.

Es zeigt sich über alle Simulationsperioden mit Ausnahme von Lärche und Buche ein positives, hoch- bis höchstsignifikantes Bias, was eine Unterschätzung der beobachteten Werte bedeutet. Bei der Baumart Buche ist dieser systematische Fehler nicht gesichert und negativ, bei der Lärche nicht gesichert positiv. Das Bias sowie auch das relative Bias (Bias%) nehmen mit den Simulationslaufzeiten zu.

Das Vorhersageintervall zeigt nach 20- bis 24-jähriger Zuwachsperiode mit 5%iger Irrtumswahrscheinlichkeit, dass die Grundfläche um maximal 17,5 m²/ha überschätzt und um maximal 21,5 m²/ha unterschätzt wird. Nach 5-jähriger Simulationsperiode ist mit einer Überschätzung von maximal 7,7 m²/ha und einer Unterschätzung von maximal 10,4 m²/ha zu rechnen.

Präzision (Se) und Treffergenauigkeit (Mx) nehmen wiederum mit zunehmender Simulationslaufzeit ab, gleiches gilt für deren relative Werte Se% und Mx%. Die relativen Werte von Präzision und Treffergenauigkeit sind mit jenen des Volumens/ha

in derselben Größenordnung, wobei die Präzision der Hektargrundfläche geringfügig besser ist.

Die Modelleffizienz (EF) und das Bestimmtheitsmaß (r^2) nehmen mit zunehmender Simulationsdauer ab, liegen aber auch bei den langen Simulationszeiten in einem sehr guten Bereich.

Beim simultanen F-Test zeigen sich bei den Gesamtergebnissen sowohl über alle Simulationslaufzeiten höchst- bis hochsignifikante F-Werte, sodass die Nullhypothese, dass das Absolutglied 0 und der Regressionskoeffizient 1 ist, verworfen werden muss.

Auch die Plots zeigen im Vergleich zum Vorrat ein sehr ähnliches Muster. Anzumerken ist hier, dass die beobachtete Grundfläche aufgrund der Zählbreite 4 der Bitterlich-Winkelzählprobe (Bitterlich, 1948) nur Vielfache der Zahl 4 annehmen kann. Bei der Buche kann nach der langen Simulationsperiode eine höhere Streuung festgestellt werden

5.2.3. Tabellen und Plots von Volumen/ha und Grundfläche/ha

*Tabelle 14: Kennzahlen der statistischen Validierung des probeflächenweisen Vergleiches des beobachteten und simulierten Hektarvolumens [m³/ha] mit (Nr.) der Berechnungsnummer; (Simz.) dem Simulationszeitraum; (Simd.) der Simulationsdauer; ($\bar{X}$) dem mittleren beobachteten Wert; (n) der Anzahl; (Bias) dem systematischen Fehler; (Bias%) dem systematischen Fehler in % des beobachteten Mittelwertes; (t) dem t-Wert für die Hypothese, dass das mittlere Bias Null ist, (Sig) dem Signifkanzniveau des Wertes in der davorstehenden Spalte, wobei (*) signifikant mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 %, (**) hochsignifikant mit einer Wahrscheinlichkeit von 99 % und (***) höchstsignifikant mit einer Wahrscheinlichkeit von 99,9 % bedeutet; (Se) der Präzision; (Se%) der Präzision in % des beobachteten Mittelwertes; (Mx) der Treffergenauigkeit; (Mx%) der Treffergenauigkeit in % des beobachteten Mittelwertes; (EF) der Modelleffizienz; (PI_u) der unteren Grenze des Vorhersageintervalls oder der maximalen Überschätzung des Modells bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %; (PI_o) der oberen Grenze des Vorhersageintervalls oder der maximalen Unterschätzung des Modells bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %, (Fsim) dem F-Wert des simultanen F-Testes, dass das Absolutglied a=0 und der Regressionskoeffizient b=1; (FG) den Freiheitsgraden dieses F-Wertes; (a) dem Absolutglied sowie (b) dem Regressionskoeffizienten der Regression y_beobachtet= a+b*y_simuliert; (adj.r²) dem adjustierten Bestimmtheitsmaß sowie (r²) dem Bestimmtheitsmaß der Regression*

	Nr.	Baumart	Simz.	Simd.	$\bar{X}$	n	Bias	Bias%	t	Sig	PI_u	PI_o	Se	Se%	Mx	Mx%	EF	Fsim	Sig	FG		a	b	adj. r²	r²
Volumen/ha [m³]	1	gesamt	1991-2011/15	20-24	453,9	221	-16,9	-3,7%	-2,378	*	-225,4	191,6	105,6	23,3%	106,9	23,6%	0,780	8,021	***	2	219	29,528	0,901	0,794	0,795
	2	Fichte	1991-2011/15	20-24	335,8	218	-14,7	-4,4%	-2,264	*	-203,5	174,2	95,6	28,5%	96,7	28,8%	0,793	7,434	***	2	216	18,048	0,907	0,806	0,806
	3	Lärche	1991-2011/15	20-24	126,6	117	1,9	1,5%	0,515	n.g.	-76,9	80,6	39,6	31,3%	39,6	31,3%	0,881	6,877	**	2	115	15,033	0,895	0,893	0,894
	4	Buche	1991-2011/15	20-24	125,6	73	-7,9	-6,3%	-1,113	n.g.	-129,0	113,3	60,4	48,1%	60,9	48,5%	0,649	8,908	***	2	71	22,884	0,770	0,716	0,720
	5	gesamt	2001/05-2011/15	10	465,6	219	-4,7	-1,0%	-0,998	n.g.	-140,8	131,5	68,9	14,8%	69,1	14,8%	0,897	2,029	n.g.	2	217	13,339	0,962	0,898	0,899
	6	Fichte	2001/05-2011/15	10	346,7	215	-0,7	-0,2%	-0,173	n.g.	-120,2	118,7	60,5	17,4%	60,5	17,4%	0,913	2,126	n.g.	2	213	13,585	0,959	0,914	0,915
	7	Lärche	2001/05-2011/15	10	142,4	106	-3,0	-2,1%	-1,102	n.g.	-58,0	52,1	27,6	19,4%	27,8	19,5%	0,942	4,040	*	2	104	5,372	0,943	0,946	0,946
	8	Buche	2001/05-2011/15	10	139,4	66	-6,2	-4,5%	-1,240	n.g.	-88,2	75,8	40,8	29,2%	41,2	29,6%	0,825	6,633	**	2	64	15,429	0,851	0,853	0,855
	9	gesamt	2006/10-2011/15	5	445,9	237	1,4	0,3%	0,419	n.g.	-99,1	101,9	50,9	11,4%	50,9	11,4%	0,947	1,303	n.g.	2	235	11,799	0,977	0,947	0,947
	10	Fichte	2006/10-2011/15	5	332,6	232	2,4	0,7%	0,815	n.g.	-86,8	91,6	45,2	13,6%	45,2	13,6%	0,952	2,526	n.g.	2	230	12,252	0,970	0,953	0,953
	11	Lärche	2006/10-2011/15	5	141,6	109	0,4	0,2%	0,162	n.g.	-45,0	45,7	22,8	16,1%	22,8	16,1%	0,960	0,855	n.g.	2	107	3,829	0,975	0,961	0,961
	12	Buche	2006/10-2011/15	5	135,8	68	-5,3	-3,9%	-1,465	n.g.	-65,7	55,0	30,0	22,1%	30,5	22,4%	0,906	7,304	**	2	66	10,234	0,890	0,922	0,923

*Tabelle 15: Kennzahlen der statistischen Validierung des probeflächenweisen Vergleiches der beobachteten und simulierten Hektargrundfläche [m²/ha] mit (Nr.) der Berechnungsnummer; (Simz.) dem Simulationszeitraum; (Simd.) der Simulationsdauer; ($\bar{X}$) dem mittleren beobachteten Wert; (n) der Anzahl; (Bias) dem systematischen Fehler; (Bias%) dem systematischen Fehler in % des beobachteten Mittelwertes; (t) dem t-Wert für die Hypothese, dass das mittlere Bias Null ist, (Sig) dem Signifkanzniveau des Wertes in der davorstehenden Spalte, wobei (*) signifikant mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 %, (**) hochsignifikant mit einer Wahrscheinlichkeit von 99 % und (***) höchstsignifikant mit einer Wahrscheinlichkeit von 99,9 % bedeutet; (Se) der Präzision; (Se%) der Präzision in % des beobachteten Mittelwertes; (Mx) der Treffergenauigkeit; (Mx%) der Treffergenauigkeit in % des beobachteten Mittelwertes; (EF) der Modelleffizienz; (PI_u) der unteren Grenze des Vorhersageintervalls oder der maximalen Überschätzung des Modells bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %; (PI_o) der oberen Grenze des Vorhersageintervalls oder der maximalen Unterschätzung des Modells bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %, (Fsim) dem F-Wert des simultanen F-Testes, dass das Absolutglied a=0 und der Regressionskoeffizient b=1; (FG) den Freiheitsgraden dieses F-Wertes; (a) dem Absolutglied sowie (b) dem Regressionskoeffizienten der Regression y_beobachtet= a+b*y_simuliert; (adj.r²) dem adjustierten Bestimmtheitsmaß sowie (r²) dem Bestimmtheitsmaß der Regression*

	Nr.	Baumart	Simz.	Simd.	$\bar{X}$	n	Bias	Bias%	t	Sig	PI_u	PI_o	Se	Se%	Mx	Mx%	EF	Fsim	Sig	FG		a	b	adj. r²	r²
Grundfläche/ha [m²]	13	gesamt	1991-2011/15	20-24	43,6	221	2,0	4,6%	3,008	**	-17,5	21,5	9,9	22,6%	10,1	23,1%	0,735	8,888	***	2	219	6,179	0,899	0,754	0,755
	14	Fichte	1991-2011/15	20-24	32,5	218	1,7	5,1%	2,766	**	-16,0	19,3	8,9	27,5%	9,1	28,0%	0,780	5,175	**	2	216	3,336	0,946	0,789	0,790
	15	Lärche	1991-2011/15	20-24	11,9	117	0,7	5,9%	1,836	n.g.	-7,5	8,9	4,1	34,7%	4,2	35,2%	0,837	5,294	**	2	115	1,758	0,906	0,849	0,850
	16	Buche	1991-2011/15	20-24	11,0	73	-0,1	-1,4%	-0,247	n.g.	-10,6	10,3	5,2	47,3%	5,2	47,3%	0,617	8,338	***	2	71	2,569	0,755	0,686	0,690
	17	gesamt	2001/05-2011/15	10	44,9	219	1,7	3,8%	3,984	***	-10,8	14,2	6,3	14,1%	6,6	14,6%	0,867	8,577	***	2	217	2,905	0,972	0,876	0,877
	18	Fichte	2001/05-2011/15	10	33,7	215	1,8	5,2%	4,352	***	-9,9	13,4	5,9	17,5%	6,2	18,3%	0,889	9,562	***	2	213	2,119	0,989	0,898	0,899
	19	Lärche	2001/05-2011/15	10	13,4	106	0,1	0,7%	0,412	n.g.	-4,3	4,4	2,2	16,3%	2,2	16,3%	0,956	1,915	n.g.	2	104	0,594	0,962	0,957	0,957
	20	Buche	2001/05-2011/15	10	12,2	66	-0,2	-1,9%	-0,570	n.g.	-6,7	6,3	3,2	26,6%	3,2	26,6%	0,831	5,968	**	2	64	1,604	0,852	0,855	0,858
	21	gesamt	2006/10-2011/15	5	43,7	237	1,3	3,1%	4,519	***	-7,7	10,4	4,6	10,5%	4,8	11,0%	0,930	10,447	***	2	235	1,859	0,988	0,936	0,936
	22	Fichte	2006/10-2011/15	5	32,8	232	1,2	3,7%	4,300	***	-7,2	9,7	4,3	13,0%	4,5	13,6%	0,941	9,370	***	2	230	1,482	0,991	0,946	0,946
	23	Lärche	2006/10-2011/15	5	13,5	109	0,4	2,7%	1,887	n.g.	-3,6	4,3	2,0	14,8%	2,0	15,0%	0,961	2,300	n.g.	2	107	0,612	0,981	0,963	0,963
	24	Buche	2006/10-2011/15	5	11,9	68	-0,2	-2,0%	-0,913	n.g.	-4,5	4,0	2,1	17,7%	2,1	17,8%	0,930	2,472	n.g.	2	66	0,514	0,938	0,934	0,935

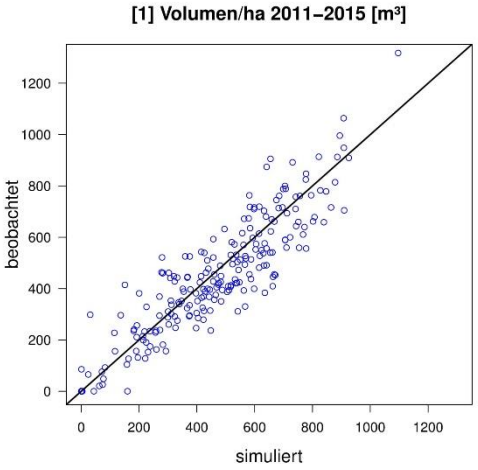


Abbildung 51: Probeflächenweiser Vergleich der Volumina/ha nach einer Zuwachsperiode von 20-24 Jahren, n=221

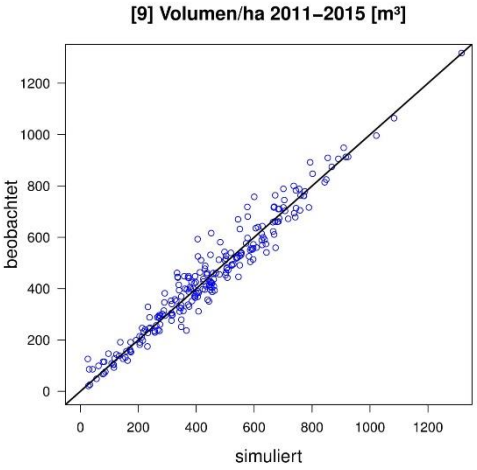


Abbildung 52: Probeflächenweiser Vergleich der Volumina/ha nach einer Zuwachsperiode von 5 Jahren, n=237

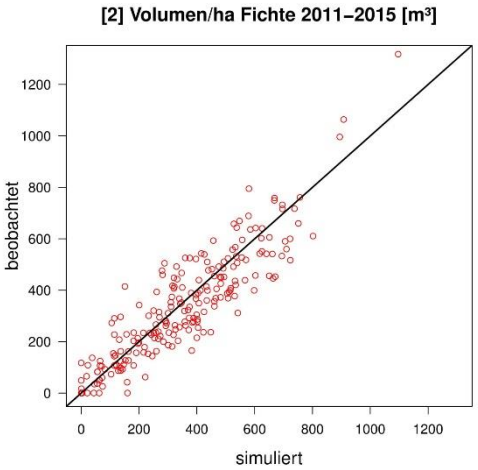


Abbildung 53: Probeflächenweiser Vergleich der Volumina/ha der Fichte nach einer Zuwachsperiode von 20-24 Jahren, n=218

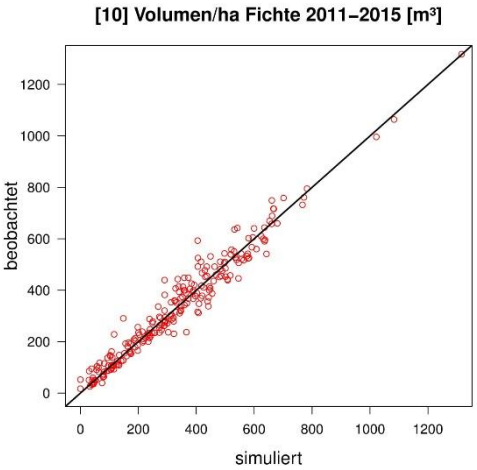


Abbildung 54: Probeflächenweiser Vergleich der Volumina/ha der Fichte nach einer Zuwachsperiode von 5 Jahren, n=232

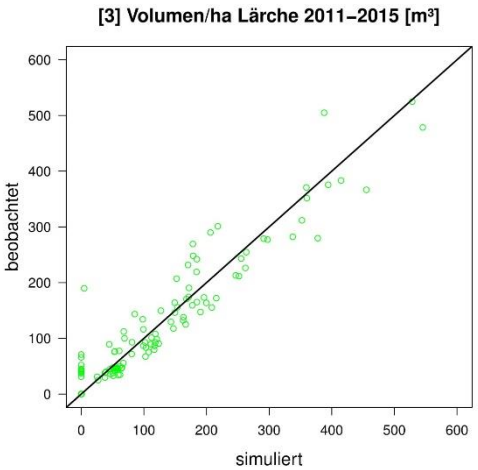


Abbildung 55: Probeflächenweiser Vergleich der Volumina/ha der Lärche nach einer Zuwachsperiode von 20-24 Jahren, n=117

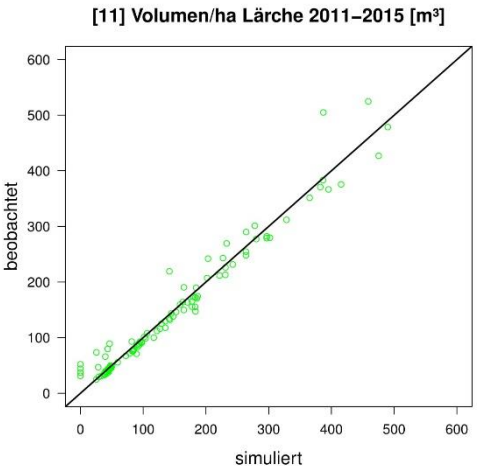


Abbildung 56: Probeflächenweiser Vergleich der Volumina/ha der Lärche nach einer Zuwachsperiode von 5 Jahren, n=109

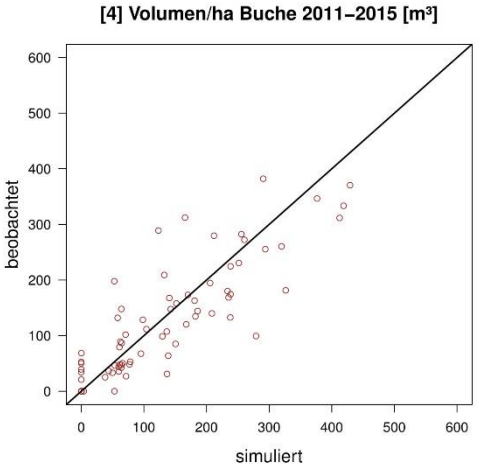


Abbildung 57: Probeflächenweiser Vergleich der Volumina/ha der Buche nach einer Zuwachsperiode von 20-24 Jahren, n=73

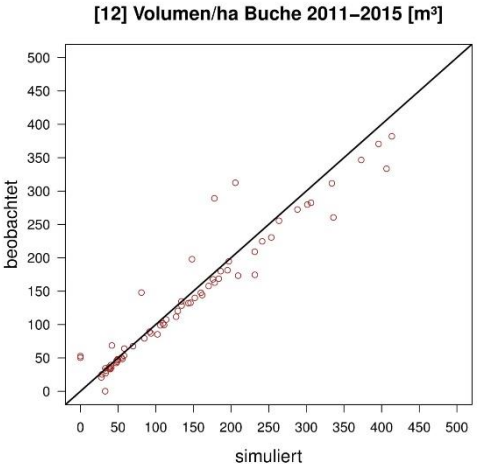


Abbildung 58: Probeflächenweiser Vergleich der Volumina/ha der Buche nach einer Zuwachsperiode von 5 Jahren, n=68

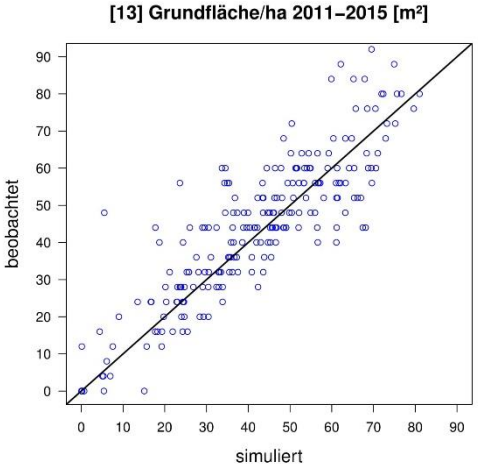


Abbildung 59: Probeflächenweiser Vergleich der Grundflächen/ha nach einer Zuwachsperiode von 20-24 Jahren, n=221

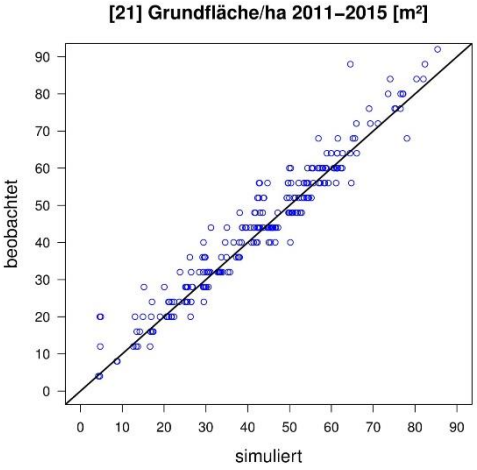


Abbildung 60: Probeflächenweiser Vergleich der Grundflächen/ha nach einer Zuwachsperiode von 5 Jahren, n=237

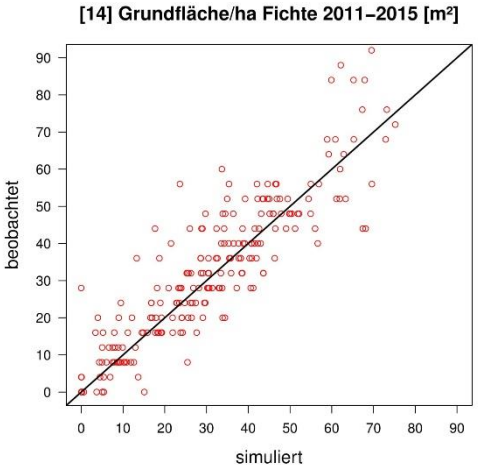


Abbildung 61: Probeflächenweiser Vergleich der Grundflächen/ha der Fichte nach einer Zuwachsperiode von 20-24 Jahren, n=218

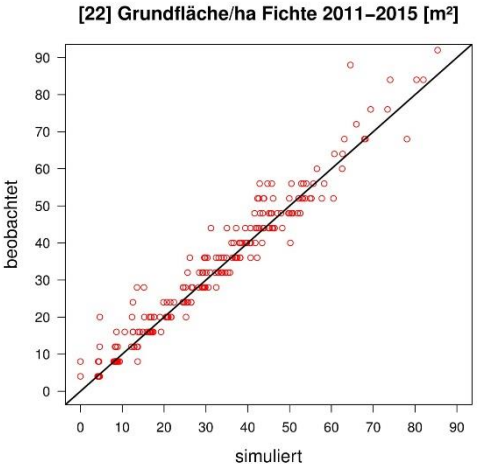


Abbildung 62: Probeflächenweiser Vergleich der Grundflächen/ha der Fichte nach einer Zuwachsperiode von 5 Jahren, n=232

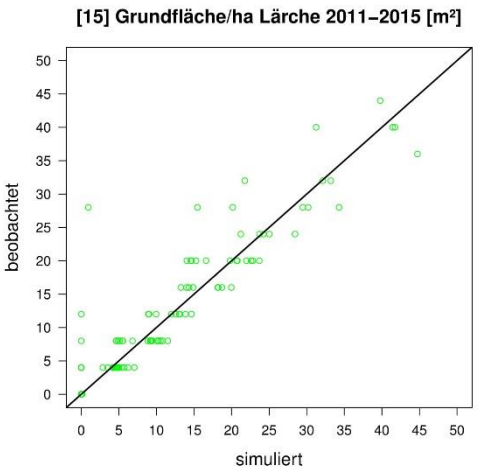


Abbildung 63: Probeflächenweiser Vergleich der Grundflächen/ha der Lärche nach einer Zuwachsperiode von 20-24 Jahren, n=117

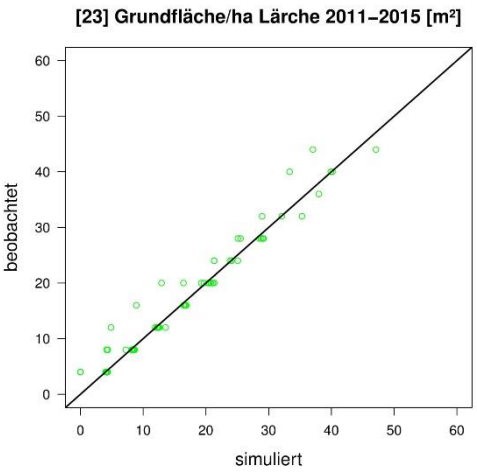


Abbildung 64: Probeflächenweiser Vergleich der Grundfläche/ha der Lärche nach einer Zuwachsperiode von 5 Jahren, n=109

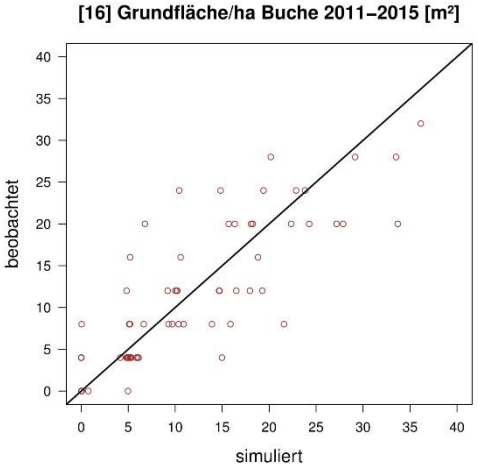


Abbildung 65: Probeflächenweiser Vergleich der Grundflächen/ha der Buche nach einer Zuwachsperiode von 20-24 Jahren, n=73

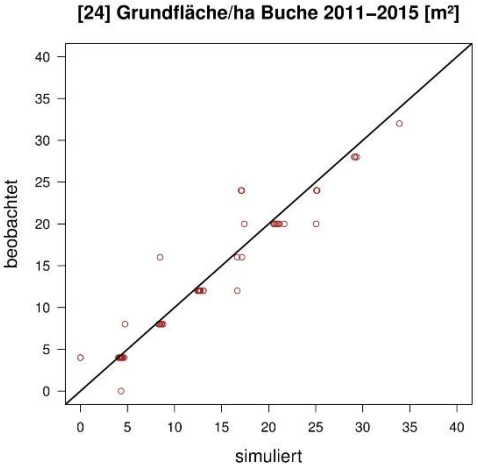


Abbildung 66: Probeflächenweiser Vergleich der Grundflächen/ha der Buche nach einer Zuwachsperiode von 5 Jahren, n=68

5.2.4. Vorratsverlauf

Aus Tabelle 16 sowie den Abbildungen des Vorratsverlaufes (Abbildung 67 bis Abbildung 71) geht hervor, dass der absolute durchschnittliche beobachte Vorrat vom simulierten durchschnittlichen Vorrat nach 20 bis 24 Jahren um maximal 42,0 VfmS/ha abweicht. Die Abweichungen schwanken je nach Erhebungszyklus. An den Abbildungen (Abbildung 67 bis Abbildung 71) kann man erkennen, dass der simulierte Vorrat/ha auch nach 20- bis 24-jähriger Simulationslaufzeit nicht wesentlich abweicht und auch immer im Vertrauensintervall des beobachteten Vorrates liegt. Den besten Zusammenhang zwischen beobachten und simulierten Vorrat zeigt die Erhebungsperiode 2, wo die Abweichung nach 11 Jahren weniger als einen Zehntel Vorratsfestmeter beträgt. Nach dieser unterschätzt der simulierte Vorrat den beobachten Vorrat gering. Allgemein kann ausgesagt werden, dass der mittlere Vorrat selbst nach 20- bis 24-jähriger Simulationsperiode unter der Voraussetzung, dass die tatsächlichen Nutzungen bekannt sind, im Mittel mit einer maximalen Abweichung von rund 42 VfmS/ha bestimmt werden kann. Die Nullwerte des Minimums des beobachteten Vorrates kommen daher, dass die betroffene Fläche während der Simulationslaufzeit gänzlich genutzt wurde.

Tabelle 16: Durchschnittlicher beobachteter und simulierter Vorrat [VfmS/ha] der einzelnen Erhebungszyklen über die Zeit sowie das Minimum, das Maximum, die Standardabweichung (Stabw.) und das Vertrauensintervall (VI) des gemessenen Vorrates bei 5%iger Irrtumswahrscheinlichkeit und n der Anzahl der Probeflächen.

Erhebungszyklus	Jahr	Vorrat simuliert	Vorrat beobachtet	Minimum	Maximum	Stabw.	n	VI
1	1991	547,0	547,0	34,7	1262,2	286,5	40	91,6
1	2001	538,8	505,7	98,4	1422,7	299,4	40	95,8
1	2006	494,7	464,7	97,6	1085,5	223,6	40	71,5
1	2011	481,5	449,7	0,0	1063,8	247,4	40	79,1
2	1991	450,9	450,9	33,1	872,6	226,1	47	66,4
2	2002	493,3	493,3	79,2	934,8	220,0	47	64,6
2	2007	469,5	475,1	26,3	984,4	210,6	47	61,8
2	2012	465,6	474,4	25,7	996,0	215,9	47	63,4
3	1991	514,7	514,7	119,3	1340,6	237,0	45	71,2
3	2003	508,4	491,4	88,7	1417,5	245,5	45	73,8
3	2008	475,8	464,6	93,3	1333,9	228,4	45	68,6
3	2013	481,3	439,5	0,0	1317,6	258,1	45	77,5
4	1991	450,3	450,3	47,0	946,4	207,8	43	64,0
4	2004	490,5	464,8	97,5	983,4	197,2	43	60,7
4	2009	474,5	446,9	20,9	1006,1	206,4	43	63,5
4	2014	476,2	441,1	0,0	948,4	213,0	43	65,5
5	1991	481,5	481,5	43,5	1182,5	270,0	46	80,2
5	2005	485,7	482,4	130,6	1030,5	194,5	46	57,8
5	2010	461,4	482,1	31,9	1035,2	206,2	46	61,2
5	2015	451,2	462,5	0,0	905,3	211,4	46	62,8

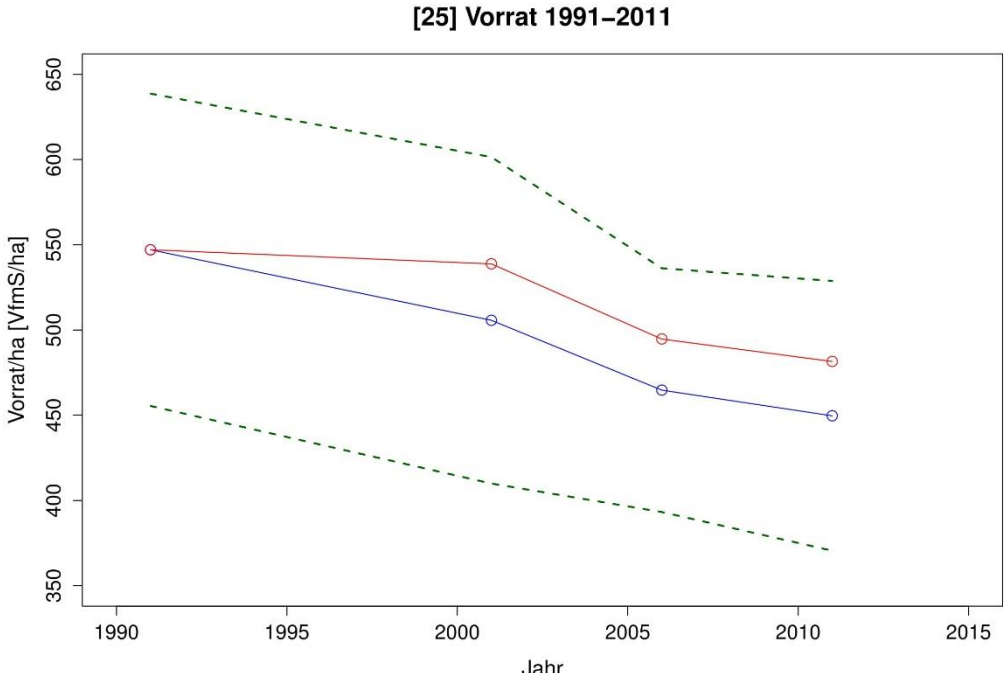


Abbildung 67: Verlauf des durchschnittlichen gemessenen (blaue Linie) und simulierten (rote Linie) Hektarvorrates über alle Aufnahmeperioden von 1991 bis 2011. Die kleinen Kreise stellen die Erhebungs- beziehungsweise Vergleichspunkte dar. Die strichlierte Linie zeigt die untere und obere Grenze des Vertrauensintervalls (Konfidenzintervall) des gemessenen Vorrates bei 5%iger Irrtumswahrscheinlichkeit. n=37

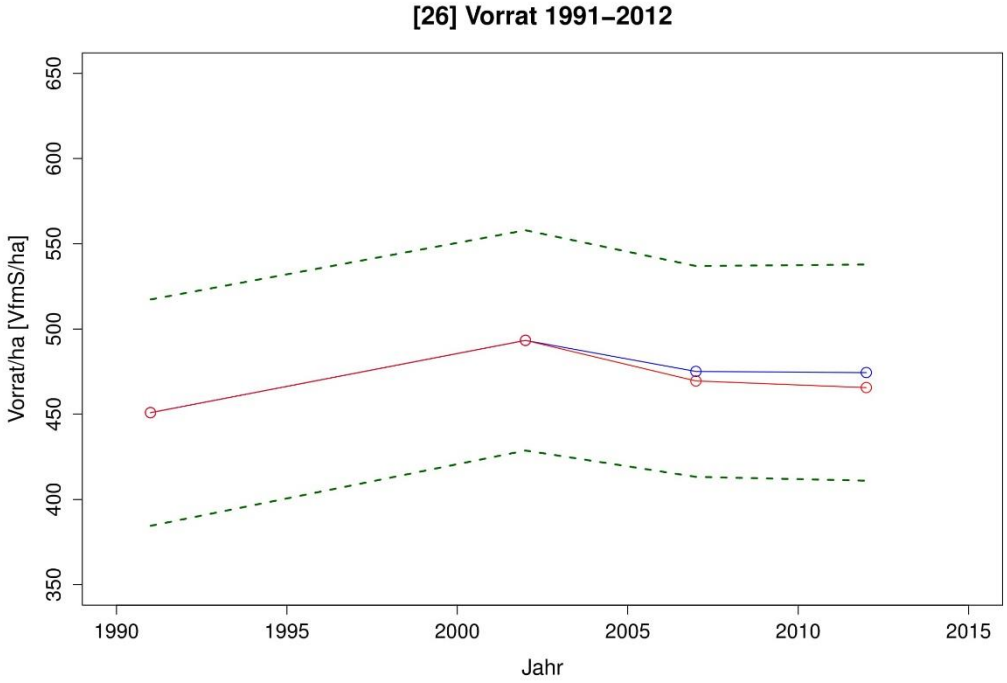


Abbildung 68: Verlauf des durchschnittlichen gemessenen (blaue Linie) und simulierten (rote Linie) Hektarvorrates über alle Aufnahmeperioden von 1991 bis 2012. Die kleinen Kreise stellen die Erhebungs- beziehungsweise Vergleichspunkte dar. Die strichlierte Linie zeigt die untere und obere Grenze des Vertrauensintervalls (Konfidenzintervall) des gemessenen Vorrates bei 5%iger Irrtumswahrscheinlichkeit. n=46

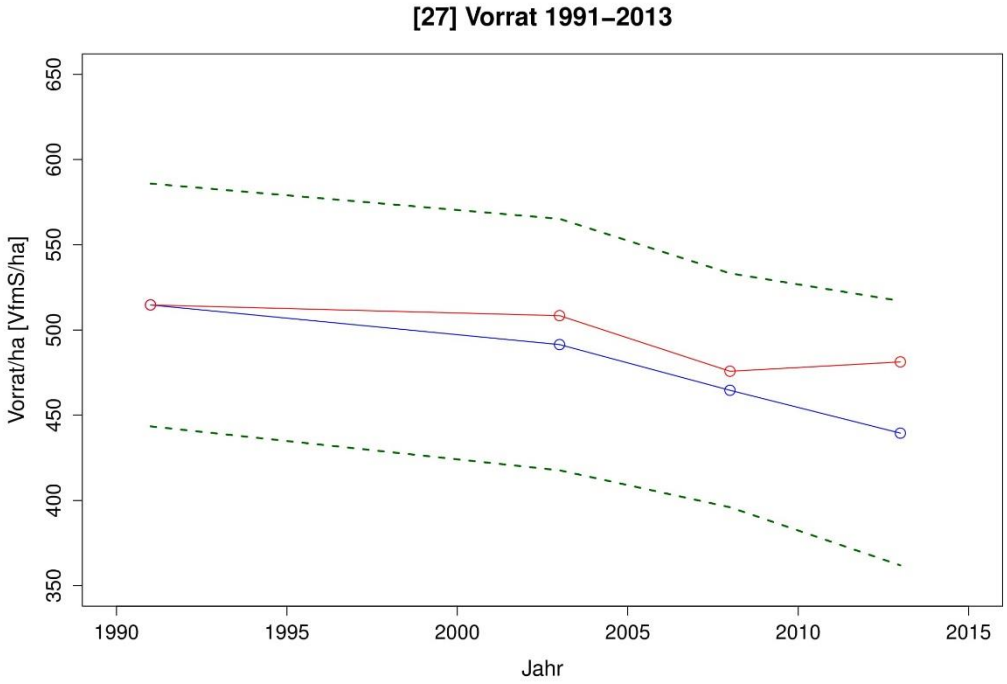


Abbildung 69: Verlauf des durchschnittlichen gemessenen (blaue Linie) und simulierten (rote Linie) Hektarvorrates über alle Aufnahmeperioden von 1991 bis 2013. Die kleinen Kreise stellen die Erhebungs- beziehungsweise Vergleichspunkte dar. Die strichlierte Linie zeigt die untere und obere Grenze des Vertrauensintervalls (Konfidenzintervall) des gemessenen Vorrates bei 5%iger Irrtumswahrscheinlichkeit. n=43

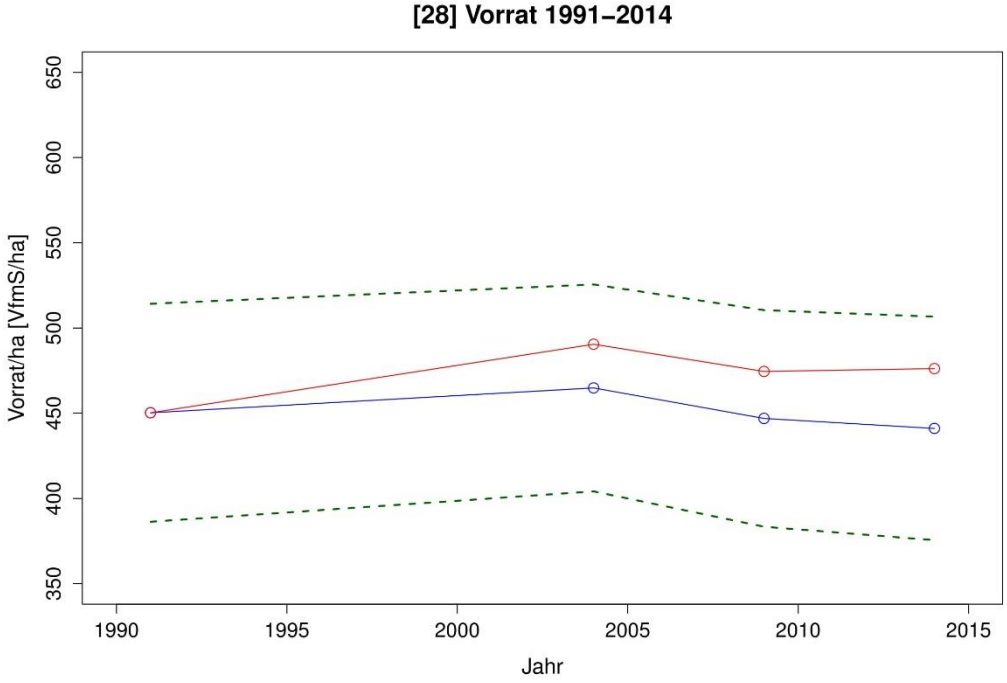


Abbildung 70: Verlauf des durchschnittlichen gemessenen (blaue Linie) und simulierten (rote Linie) Hektarvorrates über alle Aufnahmeperioden von 1991 bis 2014. Die kleinen Kreise stellen die Erhebungs- beziehungsweise Vergleichspunkte dar. Die strichlierte Linie zeigt die untere und obere Grenze des Vertrauensintervalls (Konfidenzintervall) des gemessenen Vorrates bei 5%iger Irrtumswahrscheinlichkeit. n=43

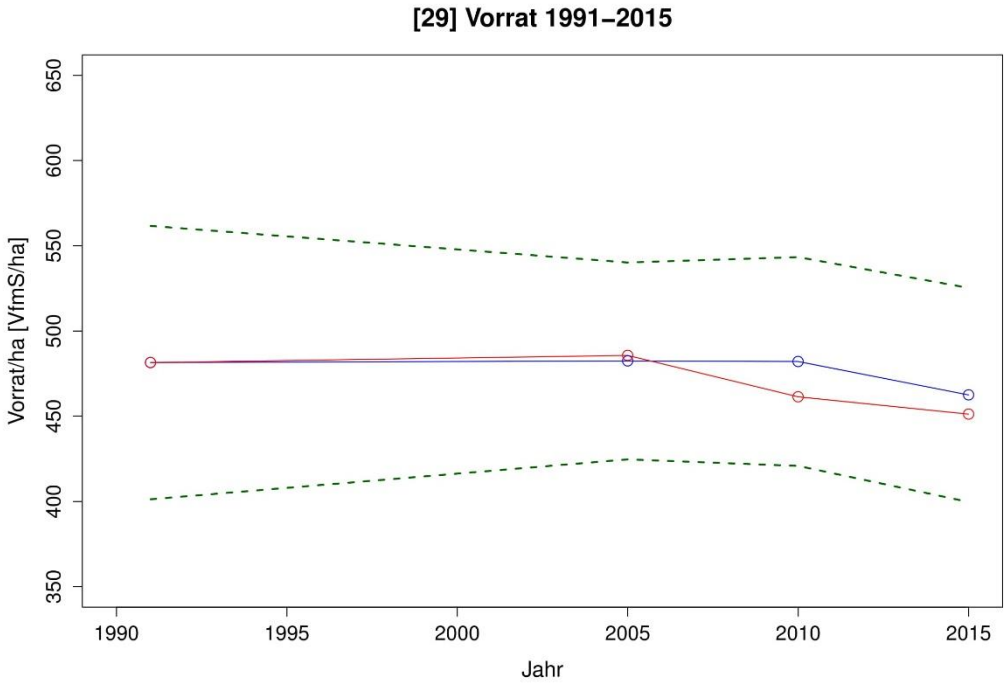


Abbildung 71: Verlauf des durchschnittlichen gemessenen (blaue Linie) und simulierten (rote Linie) Hektarvorrates über alle Aufnahmeperioden von 1991 bis 2015. Die kleinen Kreise stellen die Erhebungs- beziehungsweise Vergleichspunkte dar. Die strichlierte Linie zeigt die untere und obere Grenze des Vertrauensintervalls (Konfidenzintervall) des gemessenen Vorrates bei 5%iger Irrtumswahrscheinlichkeit. n=44

5.3. Lokale Kalibrierung/ multiple Regression

Die lokale Kalibrierung dient dazu, die Simulation noch besser an die örtlichen Gegebenheiten im Forstrevier Gahns anzupassen. Die folgende Regressionsgleichung berechnet je nach Koeffizienten den 5- oder 20-jährigen Kreisflächenzuwachs eines Einzelbaumes. In den unten angeführten Tabellen (Tabelle 17 bis Tabelle 19) sind die Koeffizienten der multiplen Regressionsanalyse dargestellt. Bei den Dummyvariablen ist wie folgt vorzugehen: Wenn der betreffende Typ zutreffend ist, so sind die betreffenden Regressionskoeffizienten mit 1 zu multiplizieren. Die Dummyvariable 0 bedeutet, dass der Typ nicht zutrifft und der jeweilige Faktor geht somit auch nicht in die Kreisflächenberechnung ein. Liegt beispielsweise bei der Berechnung des 20-jährigen Fichtenzuwachs die Wasserhaushaltsklasse Wb vor, so ist dieser Faktor mit 1 zu multiplizieren, der Regressionskoeffizient Wm wird mit 0 multipliziert. Die Regressionsgleichung lautet:

$$ig_{beobachtet[\boldsymbol{cm}^2]} = a + b * ig_{simuliert[\boldsymbol{cm}^2]} + \sum W_i * Dummy + \sum B_i * Dummy + \sum v_i * Dummy + c1 * Seehöhe[hm] + c2 * Seehöhe[hm]^2 + \mathrm{d1} * \mathrm{Neigung}\,[\%/100] + \mathrm{d2} * \mathrm{Neigung}[\%/100]^2 + d3 * Neigung[\%/100] * \sin(Expostion[°]) + d4 * Neigung[\%/100] * \cos(Expostion[°]) \quad (20)$$

wobei ig dem Kreisflächenzuwachs, a dem Absolutglied der multiplen Regression, b dem Regressionskoeffizienten des simulierten Kreisflächenzuwachses, c_i den Regressionskoeffizienten der Seehöhe sowie der quadrierten Seehöhe, di den Regressionskoeffizienten der Neigung und Exposition, W_i den Regressionskoeffizienten der Wasserhaushaltsklassen, B_i den Regressionskoeffizienten der Bodengruppen und v_i den Regressionskoeffizienten der Vegetationstypen entspricht.

Tabelle 17: Koeffizienten der multiplen Regression für das Absolutglied und die Regressionskoeffizienten des simulierten Kreisflächenzuwaches sowie der Wasserhaushaltsklassen und Bodengruppen nach MA 49 zur Berechnung des 5- oder 20-jährigen Kreisflächenzuwachses [cm²] der Hauptbaumarten im Forstrevier Gahns

		Koeffizienten für Absolutglied, gemessener ig, Wasserhaushaltsklassen und Bodengruppen			
Baumart	**Zuwachsperiode [Jahre]**	**a**	**b**	**Wm**	**bE**
Fichte	20	143,3599485	0,659924702		31,12071778
Lärche	20	-10,93341599	0,971633865		
Buche	20	91,56953202	0,789113939	-85,76606887	
Fichte	5	34,29786574	0,793442047		
Lärche	5	24,0496649	0,6725854	-37,2395998	
Buche	5	49,8569422	0,4958901	-36,922068	

Tabelle 18: Regressionskoeffizienten der Seehöhe, Exposition und Neigung zur Berechnung des 5- oder 20-jährigen Kreisflächenzuwachses [cm²] der Hauptbaumarten im Forstrevier Gahns

		Koeffizienten für Seehöhe, Exposition und Neigung sowie Bestimmtheitsmaße der Regression							
Baumart	**Zuwachsperiode [Jahre]**	**c1**	**c2**	**d1**	**d2**	**d3**	**d4**	**r^2**	**adj. r^2**
Fichte	20			-209,2504751	86,12338706	-28,89947662	-55,01838452	0,4136	0,4103
Lärche	20							0,4202	0,4139
Buche	20							0,4788	0,4681
Fichte	5			-67,48194085	19,47436306	-13,01600898	-18,0765805	0,2339	0,2304
Lärche	5							0,1367	0,1241
Buche	5							0,2236	0,2072

Tabelle 19: Regressionskoeffizienten der Vegetationstypen nach MA 49 zur Berechnung des 5- oder 20-jährigen Kreisflächenzuwachses [cm²] der Hauptbaumarten im Forstrevier Gahns

	Koeffizienten für Vegetationstypen						
Baumart	**Zuwachsperiode [Jahre]**	**v10**	**v20**	**v28**	**v29**	**v31**	**v48**
Fichte	20					37,61375862	
Lärche	20	111,223984					87,49034716
Buche	20						547,5408597
Fichte	5	17,41163238			-21,98077043	13,09890784	
Lärche	5		-22,8764154	-47,6439714		-25,5513486	
Buche	5				-36,9565189		226,3171813

6. Diskussion

6.1. Brusthöhendurchmesser und Kreisflächenzuwachs

Beim Brusthöhendurchmesser zeigt sich, dass über alle Simulationslaufzeiten das Bias sehr klein ist. Nach der 20- bis 24-jährigen Zuwachsperiode liegt dieses bei 0,087 cm und ist nicht signifikant. Es zeigt sich ein maximales relatives Bias (Bias%) von ± 1 % zum gemessenen Mittelwert. Im Vergleich dazu finden Sterba et al. (2001) für 20- bis 23-jährige Simulationslaufzeiten ein absolutes, signifikantes Bias von maximal -0,54 cm im Versuch Ottenstein (korrigiertes Höhenmodell) bei 23-jähriger Simulationsdauer. Ledermann (2010) stellt nach einer Simulationsdauer von 25 Jahren ein absolutes, signifikantes Bias von -0,27 cm fest, was einem relativen Bias von -0,9 % entspricht. Auch Vospernik und Eckmüllner (2012) finden ein kleines Bias von -0,3 bis 3,5 cm absolut sowie 0,9 bis 10,7 % relativ, wobei hier zu beachten ist, dass ein negatives Bias bei Vospernik und Eckmüllner (2012) und Sterba et al. (2001) im Gegensatz zu Ledermann (2010) und der gegenständlichen Untersuchung eine Unterschätzung bedeutet. Das gefundene relative Bias (Bias%) scheint somit dem zu entsprechen, was auch in vorangegangenen Untersuchungen gefunden wurde.

In der Literatur wird von einer relativen Präzision von ± 5 bis ± 8 % berichtet (Canavan und Ramm, 2000; Mäkinen et al., 2008; Vospernik und Eckmüllner, 2012). Ledermann (2010) findet eine relative Präzision von ± 2,3 bis ± 15,3 %. Die absolute Präzision beträgt bei Vospernik und Eckmüllner (2012) nach 8- bis 12-jähriger Simulationsdauer ± 2,3 cm gesamt, nach 30-jähriger Simulationsdauer ± 2,7 cm. Verglichen mit den oben angeführten Werten liegt die Präzision gesamt am Gahns je nach Simulationsdauer zwischen ± 2,74 und ± 1,17 cm und die relative Präzision zwischen ± 3,0 und ± 7,4 %. Die ermittelten Werte liegen somit im Rahmen der Literatur. Die Treffergenauigkeit liegt aufgrund des kleinen Bias bei ähnlichen Werten.

Die Modelleffizienz (EF) liegt nach den 20- bis 24-jährigen Simulationsperioden je nach Baumart zwischen 0,93 und 0,96, nach der 5- und 10-jährigen liegt sie je nach Baumart zwischen 0,98 und 0,99. Auch das Bestimmtheitsmaß hat denselben Trend und nimmt ähnliche Werte wie die Modelleffizienz an. Sterba et al. (2001) finden Modelleffizienzen von 0,702 bis 0,976. Mit Ausnahme der Hirschlacke sind die Modelleffizienzen und Bestimmtheitsmaße am Gahns besser. Ledermann (2010) findet für die 5-jährige Simulationsperiode nahezu idente Werte von Modelleffizienz und Bestimmtheitsmaß,

vergleicht man die 20- bis 24-jährige Simulationsperiode am Gahns mit der 25-jährigen von Ledermann (2010), so liegen seine Werte deutlich darunter.

Der simultane F-Test im Sinne von Dent and Blackie (1979) ist außer für die Lärche signifikant bis höchstsignifikant, was nicht mit der Hypothese, dass das Absolutglied 0 und der Regressionskoeffizient 1 beträgt, verträglich ist. Auch bei Ledermann (2010) ist dieser F-Test höchstsignifikant. Es zeigt sich jedoch in den Plots (Abbildung 3 bis Abbildung 10), dass ein guter Zusammenhang zwischen beobachtetem und simuliertem Brusthöhendurchmesser besteht.

Im Vergleich zum Brusthöhendurchmesser (BHD) ist der systematische Fehler beim Kreisflächenzuwachs über alle Simulationsperioden hochsignifikant von Null verschieden. Auch Sterba et al. (2001) finden mit Ausnahme der Hirschlacke signifikant von Null verschiedene systematische Fehler. Bei Ledermann (2010) ist nur das Bias des 5-jährigen Kreisflächenzuwachses signifikant von Null verschieden. Absolut sind die systematischen Fehler mit Ausnahme der Hirschlacke geringer als bei Sterba et al. (2001). Das relative Bias liegt nach der 20-jährigen Simulationsperiode bei -0,3 %, nach der 5-jährigen Simulationsperiode liegt es bei 0,8 %. Damit sind die relativen Werte weitaus niedriger als bei Ledermann (2010). Der Schluss von Sterba et al. (2001), dass kleine Werte eher überschätzt und größere unterschätzt werden, kann wie Abbildung 11 bis Abbildung 18 zeigen, nicht bestätigt werden. Die Abbildungen zeigen eher den umgekehrten Schluss. Der Grund dafür liegt wahrscheinlich darin, dass besonders bei den 5-jährigen Kreisflächenzuwächsen die Messfehler teilweise größer als der Kreisflächenzuwachs sind. Auch in Ledermann (2010) wurde dieser Schluss nicht bestätigt.

Die Präzision des Kreisflächenzuwachses liegt nach der 20-jährigen Zuwachsperiode bei ± 176,7 cm², nach der 5-jährigen Zuwachsperiode liegt sie bei ± 80,0 cm². Bei Ledermann (2010) lag die Präzision für den 5-jährigen Kreisflächenzuwachs bei ± 34,6 cm², nach 25-jähriger Simulationsdauer bei ± 38,9 cm². Die Präzision sowie auch die relative Präzision ist somit bei Ledermann (2010) deutlich besser als am Gahns. Die relative Präzision nimmt mit zunehmender Simulationsdauer zu. Bei Ledermann (2010) wurde der umgekehrte Trend festgestellt. Der Grund dafür, dass der 5-jährige Kreisflächenzuwachs eine so geringe relative Präzision aufweist liegt wahrscheinlich darin, dass bei geringerem beobachteten Kreisflächenzuwachs der Messfehler in Relation zum beobachteten Kreisflächenzuwachs groß ist. Der beobachtete

Kreisflächenzuwachs nimmt mit zunehmender Simulationsdauer schneller zu als der Wert der absoluten Präzision (Se), da letztere nicht nur vom Messfehler des beobachteten Zuwachses sondern auch noch vom Modellfehler abhängt. Werden mehrere Zuwachsperioden hintereinander simuliert, so können sich die Modellfehler aufheben, was auch ein Grund für die Zunahme der relativen Präzision mit der Simulationsdauer sein könnte.

Die Plots (Abbildung 11 bis Abbildung 18) zeigen, dass der Anteil an negativen Kreisflächenzuwächsen bei der 5-jährigen Periode relativ groß ist und auch Größen im Bereich des Zuwachses annimmt. Dies kann de facto nicht sein, da Bäume generell wachsen. Würde man die Werte mit diesen großen Messfehlern jedoch entfernen, so würde man ein Bias erzeugen, da auch Zuwächse zu groß gemessen worden sein könnten. Hier ist kritisch anzumerken, dass große Bäume oft schwieriger zu messen sind und eine negative Brusthöhendurchmesserdifferenz eines großen Baumes sich in selbiger Größenordnung stärker auf den Kreisflächenzuwachs auswirkt, als selbige negative Differenz bei einem kleinen Baum.

Die Modelleffizienz des Kreisflächenzuwachses liegt nach einer 20-jährigen Zuwachsperiode bei 0,33, nach einer 5-jährigen Zuwachsperiode bei 0,18. Sie nimmt also mit zunehmender Simulationsdauer deutlich zu. Gleiches gilt für die Bestimmtheitsmaße. In der Studie von Ledermann (2010) wird wiederum der umgekehrte Schluss festgestellt. Nach 25-jähriger Simulationsdauer erreicht Ledermann (2010) Modelleffizienzen von 0,42, welche doch deutlich über jenen der 20-jährigen Zuwachsperiode am Gahns liegen. Bei Sterba et al. (2001) liegen die Modelleffizienzen des Kreisflächenzuwachses in allen Untersuchungen über 0,5. Dennoch ist das Modell am Gahns noch besser, als der beobachtete Mittelwert. Nach Hasenauer (2000) liegt das aus der Österreichischen Waldinventur errechnete Bestimmtheitsmaß (r^2) für Fichte bei 0,55 nach 5-jähriger Zuwachsperiode. Somit kann zusammengefasst werden, dass die am Gahns erreichten Bestimmtheitsmaße weit unter jenen der angeführten Untersuchungen liegen. Dies könnte wiederum mit der Messungenauigkeit der Ausgangsdaten und damit, dass sich dieser Fehler mit längerer Simulationszeit ausgleicht, begründet werden.

Die Hypothese, dass die Absolutglieder 0 und die Regressionskoeffizienten 1 sind muss aufgrund der signifikanten bis hochsignifikanten F-Werte abgewiesen werden. Die Plots deuten jedoch darauf hin, dass es zwar zu einer großen Streuung um die

45°-Solllinie kommt, die eingezeichnete strichlierte Regressionslinie weist aber darauf hin, dass es zu keiner systematischen Über- oder Unterschätzung kommt, zumal die hochsignifikanten t-Werte und das durchwegs positive Bias auf eine Unterschätzung hindeuten.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass der Brusthöhendurchmesser mit PROGNAUS über eine Simulationslaufzeit von 20 bis 24 Jahren sehr gut prognostiziert werden kann. Der Kreisflächenzuwachs kann jedoch nur mit sehr schlechter Präzision prognostiziert werden, was beim 5-jährigen Kreisflächenzuwachs höchstwahrscheinlich auf die großen Messungenauigkeiten zurückzuführen ist.

6.2. Höhe und Höhenzuwachs

Anders als bei Brusthöhendurchmesser und Kreisflächenzuwachs ist bei Höhe- und Höhenzuwachs deutlich weniger an Literatur zu finden. Als Vergleichsstudien kommen Sterba et al. (2001), Vospernik und Eckmüllner (2012) sowie Mäkinen et al. (2008) in Frage.

Bei der Höhe sind alle vorgefundenen systematischen Abweichungen höchstsignifikant von Null verschieden. Das Bias beträgt nach 20- bis 24-jähriger Simulationslaufzeit -1,36 m, nach 5-jähriger Simulationslaufzeit beträgt es gesamt -0,45 m, was eine Überschätzung der Höhe bedeutet. Im Vergleich dazu stellen Sterba et al. (2001) eine hochsignifikante Überschätzung von 5,95 m bei nicht korrigiertem Höhenmodell in Ottenstein sowie eine nicht gesicherte Unterschätzung von 0,34 m im Versuch Hirschlacke fest. Dabei ist anzumerken, dass Sterba et al. (2001) das Höhenzuwachsmodell nach Hasenauer (1999) verwendeten, in PROGNAUS wird aktuell jenes von Nachtmann (2005) verwendet. Mäkinen et al. (2008) finden ein relatives Bias von -4,5 bis -3,2 % bei 5-jähriger Versuchsdauer, bei 20-jähriger Versuchsdauer ein relatives Bias von –6,6 bis -6,4 %, was eine Überschätzung bedeutet. Am Gahns liegt das relative Bias der Höhe bei -5,5 % für den 20- bis 24-jährigen Untersuchungszeitraum und bei -1,9 % nach 5- jährigem Simulationszeitraum. Über alle Untersuchungsperiode und Baumarten beträgt es maximal -6,3 %. Auch mit der Untersuchung von Vospernik und Eckmüllner (2012) passt es sehr gut zusammen, die ein relatives Bias von maximal ± 10 % finden.

Mäkinen et al. (2008) stellten eine relative Präzision von ± 5,9 bis ± 6,0 für eine 5-jährige und von ± 11,4 bis ± 11,6 % für eine 20-jährige Simulationslaufzeit fest. Am Gahns liegt die Präzision bei ± 3,8 % für die 5-jährige und bei ± 7,3 % für die 20- bis 24-jährige Zuwachsperiode. Vospernik und Eckmüllner (2012) finden ähnliche Werte, was darauf hindeutet, dass die Präzision am Gahns mit der facheinschlägigen Literatur vergleichbar ist.

Die Modelleffizienz der 20- bis 24-jährigen Zuwachsperiode liegt bei 0,82 gesamt, für Buche bei 0,70. Im Vergleich dazu finden Sterba et al. (2001) Modelleffizienzen von -3,071 in Ottenstein (vor Korrektur des Höhenzuwachsmodells) bis 0,963 im Versuch Hirschlacke, wobei in Ottenstein festgestellt wurde, dass das Höhenzuwachsmodell von PROGNAUS nicht passt. Die Bestimmtheitsmaße liegen bei Sterba et al. (2001) zwischen 0,594 und 0,976, am Gahns liegen sie für die 20- bis 24-jährige Simulationsperiode bei 0,886. Vospernik und Eckmüllner (2012) stellen Bestimmtheitsmaße von 0,679 und 0,881 fest.

Der simultane F-Test ist über alle Simulationsperioden und Baumarten höchstsignifikant. Die Plots (Abbildung 19 bis Abbildung 26) zeigen jedoch, dass ein relativ guter Zusammenhang zwischen beobachteten und simulierten Höhen über alle Simulationsperioden besteht. Auch bei Sterba et al. (2001) waren alle simultanen F-Tests höchstsignifikant.

Der systematische Fehler des Höhenzuwachses ist über alle Simulationsperioden höchstsignifikant von Null verschieden. Der Höhenzuwachs wird aufgrund der negativen Werte von PROGNAUS überschätzt. Auch Sterba et al. (2001) stellten über alle Untersuchungen mit Ausnahme von Weißenburg einen hoch- bis höchstsignifikanten systematischen Fehler von –59,49 bis 3,36 dm über einen Zeitraum von 20 bis 23 Jahren fest, wobei hier der negative Wert eine Unterschätzung, der positive eine Überschätzung bedeutet.

Die relative Präzision und Treffergenauigkeit nehmen mit zunehmender Simulationsdauer zu. Nach 5-jähriger Simulationsdauer wird eine Präzision von ± 184,2 % erreicht, was bedeutet, dass das Höhenmodell praktisch nicht brauchbar ist. Im Vergleich dazu liegt die Präzision des 20-jährigen Höhenzuwachses bei ± 73 %. Grund dafür sind vermutlich wiederum die enormen Schwankungen in der Höhenmessgenauigkeit und deren Relation zum beobachteten Mittelwert sowie unter Umständen auch der Ausgleich der Modellfehler mit längerer Simulationslaufzeit. Auch

Nachtmann (2005) hat von diesen Problemen bei der Parametrisierung des Höhenzuwachsmodells berichtet. Er stellt eine Standardabweichung bei Höhenmessungen von ± 2 m fest. Werden für den 5-jährigen beobachteten Höhenzuwachs die gemessen 0,48 m vom Gahns angenommen, so würde dieser weitaus kleiner als die Messgenauigkeit sein.

Vom Vorhersageintervall kann man ableiten, dass die erwartete Genauigkeit einer zukünftigen Schätzung eine sehr große Bandbreite annimmt. Bei 20-jähriger Zuwachsperiode liegt der Fehlerrahmen einer zukünftigen Schätzung auf einer Bandbreite von circa ± 32,4 dm, bei 5-jähriger auf einer Bandbreite von circa ± 17,5 dm, wobei im Vergleich dazu der gemessene durchschnittliche Höhenzuwachs nach 20-jähriger Zuwachsperiode gesamt 22,5 dm und nach 5- jähriger Zuwachsperiode 4,8 dm beträgt.

Die Modelleffizienzen bestätigen mit ihren durchwegs negativen Werten, dass der beobachtete Mittelwert besser als das Modell ist. Mit zunehmender Simulationsdauer nehmen die Modelleffizienzen zu. Die Werte liegen nach 20-jähriger Zuwachsperiode bei -0,2, nach 5-jähriger Zuwachsperiode betragen sie -0,12. Sterba et al. (2001) stellten Modelleffizienzen von -4,592 bis 0,557 (nach Korrektur des Höhenmodells) fest, wobei anzumerken ist, dass damals das Höhenzuwachsmodell von Hasenauer (1999) verwendet wurde. Nachtmann (2005) führte nach der Parametrisierung des Höhenzuwachsmodells eine Validierung durch und stellte für das aktuelle Höhenzuwachsmodell Modelleffizienzen von -0,245 bis 0,072 fest. Die Validierung der Daten vom Gahns ist somit ähnlich den Ergebnissen von Nachtmann (2005).

Es wurde am Gahns ein Bestimmtheitsmaß gesamt von 0,222 für die 20-jährige Zuwachsperiode sowie von 0,111 nach 5-jähriger Zuwachsperiode festgestellt. Bei Sterba et al. (2001) liegt das Bestimmtheitsmaß für den 20- bis 23-jährigen Höhenzuwachs je nach Untersuchung zwischen 0,037 bis 0,581. Vospernik und Eckmüllner (2012) finden Bestimmtheitsmaße von 0,063 und 0,147 für 8 bis 30-jährige Zuwachsperioden, was bedeutet, dass bei der Evaluierung des Höhenzuwachsmodells auch in anderen Untersuchungen ähnliche Bestimmtheitsmaße gefunden wurden.

Somit kann festgehalten werden, dass das Höhenzuwachsmodell zur Bestimmung der Höhenzuwächse nicht sehr gut mit den gemessenen Werten zusammenpasst. Dadurch kann jedoch nicht schlussgefolgert werden, dass das Höhenzuwachsmodell

für den Gahns nicht passt, da auch Nachtmann (2005) sowie Vospernik und Eckmüllner (2012) zu ähnlichen Validierungskennzahlen gekommen sind. Der Grund dafür wird vermutlich die Ungenauigkeit der Höhenmessungen sein, die sowohl in den Ausgangsdaten am Gahns sowie auch in den zur Parametrisierung des Höhenzuwachsmodells verwendeten Ausgangsdaten vorkam und bei Höhenmessungen generell nicht vermeidbar ist. Auch an den Plots für den 5-jährigen Höhenzuwachs kann man deutlich erkennen, dass praktisch kaum ein Zusammenhang zwischen den beobachten und simulierten Werten besteht. Besonders ausgeprägt ist dies bei der Buche (Abbildung 34) und Lärche (Abbildung 32), wo nach der 5-jährigen Zuwachsperiode praktisch kein Zusammenhang auf der 45°-Solllinie mehr zu erkennen ist.

6.3. Volumen und Volumszuwachs

Da sich das Volumen aus Kreisfläche, Höhe und Formzahl zusammensetzt, ergeben sich die Validierungskennzahlen aus dessen Ausgangsgrößen.

Für das Volumen finden Vospernik und Eckmüllner (2012) ein relatives Bias für den Gesamtbestand von 2,6 % für eine 15-jährige Simulationsperiode in Arnoldstein und ein relatives Bias von 7,2 % nach 30-jähriger Simulationsperiode in Litschau. Beide bedeuten eine Überschätzung. Auch am Gahns kommt es zu einer Überschätzung mit einem relativen hochsignifikanten Bias von -6,9 % für eine 20- bis 24-jährige sowie einem relativen hochsignifikanten Bias von -2,0 % für die 5-jährige Zuwachsperiode. Der systematische Fehler am Gahns ist also jenem ähnlich, den Vospernik und Eckmüllner (2012) gefunden haben.

Die relative Präzision und Treffergenauigkeit liegen am Gahns bei ± 17,0 % und ± 18,3 % für die 20- bis 24-jährige Zuwachsperiode und bei ± 8,4 und ± 8,6 % für die 5-jährige Zuwachsperiode. Bei Vospernik und Eckmüllner (2012) liegen die relative Präzision und Treffergenauigkeit bei ± 20,1 % für eine 15-jährige Zuwachsperiode sowie bei ± 23,1 % für eine 8- bis 12-jährige Zuwachsperiode. Da sich das Volumen aus Kreisfläche und Höhe zusammensetzt, sind Präzision und Treffergenauigkeit schlechter, als jene der Ausgangsgrößen. Verglichen mit der angeführten Literatur nehmen sie jedoch ähnliche Werte an.

Bestimmtheitsmaß und Modelleffizienz nehmen ähnliche Werte wie bei Vospernik und Eckmüllner (2012) an, wobei die Werte am Gahns tendenziell besser sind.

Die Plots (Abbildung 35 bis Abbildung 42) zeigen einen guten Zusammenhang zwischen beobachteten und simulierten Werten. Der Grund, warum einige Werte stärker von der 45°-Solllinie abweichen als bei Brusthöhendurchmesser und Höhe liegt vermutlich darin, dass bei den Volumen auch jene Einzelbaumwerte enthalten sind, bei denen sich der Zentralstamm über die Simulationslaufzeit geändert hat.

Für den Volumszuwachs findet Pretzsch (2002) ein relatives Bias von -1,9 bis 4,8 % für eine 5-jährige Simulationsperiode, Vospernik und Eckmüllner (2012) finden relative Bias von 7,1 bis 15,4 %, wobei ein negativer Wert in beiden Fällen eine Unterschätzung bedeutet. Froese und Robinson (2007) stellen ein Gesamtbias von -1,5 % (Unterschätzung) fest. Am Gahns ist der relative systematische Fehler hoch- bis höchstsignifikant von Null verschieden und liegt gesamt zwischen -25,4 und -30,2 %, wobei das Bias mit zunehmender Simulationsperiode abnimmt und in diesem Fall im Gegensatz zu den anderen Studien bei einem negativen Wert von einer Überschätzung ausgegangen werden kann. Der relative systematische Fehler ist somit am Gahns deutlich größer als bei Pretzsch (2002), Vospernik und Eckmüllner (2012) sowie Froese und Robinson (2007).

Präzision und Treffergenauigkeit nehmen in der Literatur breit gestreute Werte an. So findet Pretzsch (2002) relative Treffergenauigkeiten von ± 18,54 % bis ± 38,62 % nach 5-jähriger Zuwachsperiode, Vospernik und Eckmüller (2012) stellen relative Präzisionen von ± 34,6 bis ± 152,4 % fest, die relativen Treffergenauigkeiten liegen gesamt zwischen ± 38,5 und ± 152, 4 %. Froese und Robinson (2007) finden für die Präzision etwas niedrigere Werte von ± 11,5 %. Am Gahns liegt die relative Präzision nach 20-jähriger Zuwachsperiode bei ± 62,5 %, nach 5-jähriger Simulationsperiode liegt sie nur mehr bei ± 125,6 %. Ähnliche Werte nimmt die Treffergenauigkeit an. Der Grund für die Abnahme der relativen Präzision und Treffergenauigkeit bei kürzerer Simulationsdauer kann wie beim Kreisflächen- und Höhenzuwachs einerseits in der Relation der Messfehler zum beobachteten Zuwachs (diese nimmt mit der Simulationslaufzeit zu) sowie auch darin liegen, dass die Modellfehler bei wiederholter Anwendung (mehrere 5-jährige Simulationsperioden) des Modells ausgeglichen werden können.

Auch die Zunahme der Bestimmtheitsmaße und Modelleffizienzen mit zunehmender Simulationsdauer deuten darauf hin, dass die Messfehler bei den kurzen Simulationsperioden teilweise größer sind, als der tatsächliche Zuwachs. Der simulierte Wert kann im Gegensatz zum beobachteten Wert nie negative Zuwachswerte annehmen. Vospernik und Eckmüllner (2012) finden Bestimmtheitsmaße von 0,090 bis 0,45, wobei die 0,090 nach 8- bis 12-jähriger Zuwachsperiode in Nasswald beobachtet wurden. Nasswald gehört demselben Forstbetrieb wie der Gahns an. Die Modelleffizienzen liegen bei Vospernik und Eckmüllner (2012) zwischen -1,104 in Nasswald und 0,324 in Arnoldstein. Am Gahns wurden Bestimmtheitsmaße von 0,409 nach 20-jähriger Zuwachsperiode sowie von 0,137 nach 5-jähriger Zuwachsperiode gefunden. Die Modelleffizienzen liegen nach 20-jähriger Zuwachsperiode bei 0,15 und nach 5-jähriger Simulationsperiode bei 0,04. Einzelne Baumarten nehmen auch negative Werte an.

An den Plots (Abbildung 43 bis Abbildung 50) kann man eine breite Streuung um die 45°-Solllinie erkennen. Größere Ausreißer können dadurch zustande kommen, dass sich die Zentralstämme über die Simulationsperioden ändern. Besonders beim Volumszuwachs der Buche (Abbildung 49) kann eine sehr große Streuung festgestellt werden. Der Grund, dass die Buche im Vergleich zu den Nadelhölzern eine höhere Streuung aufweist könnte darin liegen, dass bei Laubhölzern aufgrund des nur sehr schwierig festzustellenden Wipfels die Höhenmessungen noch mit zusätzlichen Fehlern behaftet sind.

Die am Gahns errechneten Werte sind mit jenen von Vospernik und Eckmüllner (2012) sowie Froese und Robinson (2007) durchaus vergleichbar. Trotz der sehr schlechten Modelleffizienzen beim Vergleich der Zentralstämme konnten beim Volumen trotzdem durchwegs positive Werte erzielt werden. Die Modelleffizienzen des Kreisflächenzuwachses sind besser als jene des Volumszuwachses. Die Bestimmtheitsmaße des 20-jährigen Volumszuwachses sind besser als jene des 20-jährigen Kreisflächenzuwachses sowie des 20-jährigen Höhenzuwachses. Dies könnte dadurch bedingt sein, dass bei der Berechnung des Volumens auch jene Bäume berücksichtigt wurden, deren Höhe in den Ausgangsdaten aus einer Höhenkurve berechnet wurde.

6.4. Volumen/ha und Grundfläche/ha

Da für die Validierung von Waldwachstumsmodellen meist Einzelbaumvergleiche angestellt werden, wurden in keiner Literatur Volumsvergleiche gefunden.

Das Bias des Volumens/ha beträgt nach 20- bis 24-jähriger Simulationsperiode -16,9 m³/ha und ist signifikant von 0 verschieden. Nach 5-jähriger Simulationsperiode beträgt der systematische Fehler 1,4 m³/ha und ist nicht mehr signifikant von Null verschieden. Es kommt somit selbst über einen Simulationszeitraum von 20 bis 24 Jahren nur zur sehr kleinen systematischen Fehlern. Auch bei den Baumarten nimmt das Bias ähnliche Werte an. Der höchste relative systematische Fehler wird bei der Buche nach 20- bis 24-jähriger Simulationsperiode erreicht und beträgt -6,3 %.

Auch Präzision und Treffergenauigkeit nehmen praktikable Werte an. So kann nach einer Simulationsperiode von 20 bis 24 Jahren von einer Präzision von ± 23,3 % ausgegangen werden, die Werte der Baumarten sind jedoch höher. Höchste Werte nimmt wiederum die Buche mit ± 48,1 % an.

Betrachtet man das Vorhersageintervall so ist auffällig, dass dieses eine große Bandbreite umfasst. Hier muss jedoch angemerkt werden, dass es nicht nur den Simulationsfehler, sondern auch die Messfehler der Ausgangsdaten berücksichtigt.

Modelleffizienzen und Bestimmtheitsmaße nehmen mit zunehmender Simulationsdauer deutlich ab. Nach 5-jähriger Simulationsperiode können je nach Baumart Modelleffizienzen von bis zu 0,96 erreicht werden, das Bestimmtheitsmaß der Lärche beträgt 0,960, wobei die anderen Baumarten ähnlich gute Werte annehmen.

Der simultane F-Test zeigt nach 20- bis 24-jähriger Simulationsperiode hoch- bis höchstsignifikant von Null verschiedene Werte. Nach 5-jähriger Zuwachsperiode ist der F-Wert nicht mehr signifikant.

Die Plots der beobachteten und simulierten Volumina/ha zeigen einen guten Zusammenhang zwischen beobachten und simulierten Werten. Mit zunehmender Simulationsdauer nimmt auch die Streuung um die 45°-Solllinie zu. Auffällig sind jene Werte, die bei Lärche und Buche (Abbildung 55 bis Abbildung 58) simulierte Werte nahe Null annehmen und beobachtet deutlich größere Werte aufweisen. Dies kann durch das in PROGNAUS verwendete Baumsplitting nach Ledermann und Eckmüllner (2004) erklärt werden. Erreicht ein Baum der Stichprobe bei einer Zählbreite von k=4

eine Grundfläche von 5,33 m², so wird ein identer Baum eingefügt und dessen Stammzahl je Hektar auf beide Bäume aufgeteilt. Der Nachteil dieser Variante ist jedoch, dass nur Baumarten aufgeteilt werden können, die bereits in der Stichprobe waren. Wächst zum Beispiel in eine Stichprobe, in der sich bisher nur Fichten befunden haben über den Grenzkreis eine Lärche ein, so kann dies durch das Baumsplitting nicht nachgestellt werden. Dass die Einwüchse über die Kluppschwelle nach Einwuchsmodell (Ledermann, 2002) vorratsmäßig stärker zu tragen kämen, ist aufgrund der doch recht kurzen Simulationsdauer nicht möglich. Weiters mussten alle eingewachsenen simulierten Bäume, die die Kluppschwelle der Stichprobeninventur nicht erreichten, entfernt werden.

Auch eine vollständige Nutzung und anschließende Neuanlage können der Grund für größere Abweichungen der Probeflächenvorräte sein.

Bei der Grundfläche je Hektar zeigt sich ein ähnliches Bild wie beim Vorrat. Das relative Bias nimmt wider Erwarten leicht größere Werte als das Bias des Vorrates an. Dies könnte dadurch bedingt sein, dass die gemessene Grundfläche in 4 m²-Schritten abgestuft ist. Präzision und Treffergenauigkeit nehmen erwartungsgemäß gering bessere Werte an als beim Vorrat, da die Höhe bei der Grundfläche keine Rolle spielt. Nach der 5-jährigen Zuwachsperiode sind Bias und Präzision sehr gut, was auf eine sehr genaue Schätzung nach 5 Jahren hindeutet. Modelleffizienz und Bestimmtheitsmaß nehmen gering schlechtere Werte an, vermutlich wiederum durch die 4 m²-Abstufung der gemessenen Grundfläche bedingt.

Zusammengefasst kann gesagt werden, dass unter Bekanntsein der aktuellen Nutzungen mit PROGNAUS durchaus praktikable Probeflächenwerte, wie aus der Präzision und Treffergenauigkeit hervorgeht, auch noch nach 20- bis 24-jähriger Simulationsperiode erreicht werden können.

6.5. Vorratsverlauf

Aus Tabelle 16 kann man ableiten, dass der durchschnittliche simulierte Probeflächenvorrat nach 20- bis 24-jähriger Simulationsdauer zwischen -9,5 und 2,4 % vom gemessenen Vorrat abweicht, wobei der Vorrat in drei Fällen um bis zu 9,5 % überschätzt und zweimal schwach unterschätzt wird. Der simulierte durchschnittliche Vorrat liegt immer im Konfidenzintervall des gemessenen Vorrates. Ledermann (2010) findet nach 50-jähriger Simulationsperiode Überschätzungen des Vorrates von

maximal 8 %. Im Vergleich zu Ledermann (2010) ist jedoch anzumerken, dass er das Mortalitätsmodell nicht verwendet hat und die tatsächlich durch Mortalität ausgeschiedenen Bäume durch Nutzung entfernt wurden. Weiters hat Ledermann (2010) einen Vergleich einzelner Parzellen durchgeführt. Dies kann den Umstand erklären, dass bereits nach der halben Simulationslaufzeit (20-24 Jahre) Überschätzungen auftreten, die Ledermann (2010) erst nach 50-jähriger Simulationslaufzeit erreicht. Unter Anbetracht dessen, dass weder Einwüchse naturgetreu eingefügt, sondern durch das Einwuchsmodell (Ledermann, 2001) sowie Baumsplitting (Ledermann und Eckmüllner, 2004) nachgestellt wurden und auch die Mortalität vom Mortalitätsmodell abgeleitet wurde, kann man mit dem Ergebnis durchaus zufrieden sein und dieses als praxisübliche Genauigkeit ansehen.

6.6. Lokale Kalibrierung

Vergleicht man die adjustieren Bestimmtheitsmaße der multiplen sowie der Einfachregression (Tabelle 20) der 5- und 20-jährigen Kreisflächenzuwächse, so kann bei allen Baumarten und Simulationsperioden eine Erhöhung des adjustierten Bestimmtheitsmaßes festgestellt werden. Bei der Parametrisierung des Kreisflächenzuwachsmodells von Monserud und Sterba (1996) erreichte die Fichte ein Bestimmtheitsmaß von 58,2 %, die Lärche eines von 43,2 % und die Buche ein Bestimmtheitsmaß von 62 %. Von diesen Bestimmtheitsmaßen wurden bei der Fichte 4,6 %, bei der Lärche 6,7 % sowie bei der Buche 3,5 % durch die Parameter Topographie, Bodentyp sowie Vegetation erklärt. Anzumerken ist, dass Monserud und Sterba (1996) ein logarithmisches Modell verwendet haben, was einen direkten Vergleich der Bestimmtheitsmaße nicht ermöglicht.

Tabelle 20: Verbesserung der adjustierten Bestimmtheitsmaße (adj. r^2) durch die multiple Regression im Vergleich zur Einfachregression des beobachteten Kreisflächenzuwachses in Abhängigkeit vom simulierten Kreisflächenzuwachs

Baumart	Simulationsdauer	adj. r^2 Einfachregression	adj. r^2 multiple Regression	Verbesserung
Fichte	20	0,367	0,4103	11,79%
Lärche	20	0,375	0,4139	10,34%
Buche	20	0,409	0,4681	14,44%
Fichte	5	0,195	0,2304	18,00%
Lärche	5	0,074	0,1241	68,19%
Buche	5	0,112	0,2072	84,39%

Bei den Wasserhaushaltsklassen ist auffällig, dass die Wasserhaushaltsklasse „mäßig frisch“ (Wm) am Gahns die Buche sowohl bei der 5-jährigen als auch bei der 20-

jährigen Zuwachsperiode negativ beeinflusst. Bei den Bodengruppen hatte nur der Kalk-Braunlehm (bE) einen signifikant positiven Einfluss auf das 20-jährige Fichtenwachstum. Bei den Vegetationstypen ist hervorzuheben, dass die Referenzvariante das Nudum darstellte, ein Vegetationstyp, den es in der Kartierung der ÖWI nicht gibt. Das Wachstum wird von der Seehöhe im Vergleich zum Kreisflächenzuwachsmodell nicht mehr zusätzlich beeinflusst. Exposition und Neigung beeinflussen nur den 5- und 20-jährigen Fichtenzuwachs zusätzlich signifikant. Dass einige Parameter entweder nur den 5- oder 20-jährigen Zuwachs signifikant beeinflussen kann eventuell darauf zurückgeführt werden, dass die 5-jährige Zuwachsperiode aufgrund von Messfehlern, die in der Höhe des Zuwachses liegen können, eine höhere Schwankungsbreite aufweisen.

Es kann jedoch keine Aussage zu allen Wasserhaushaltsklassen, Vegetationstypen sowie Bodengruppen getroffen werden, da manche eine zu geringe (<10 Probeflächen) Stichprobenzahl aufwiesen.

Durch die Hinzunahme der MA 49 Standortsparameter kann erreicht werden, dass die adjustierten (um die Freiheitsgrade bereinigten) Bestimmtheitsmaße deutlich zunehmen. Dies bedeutet, dass entweder die MA 49 Standortsparameter nicht mit hinreichender Genauigkeit in die Codierung der Österreichischen Waldinventur übersetzt werden konnten oder am Gahns manche Standortsparameter einen höheren Einfluss als bei Monserud und Sterba (1996) auf den Kreisflächenzuwachs haben. Um klären zu können, ob das auf den Gahns adaptierte Modell für die Quellenschutzforste tatsächlich besser als PROGNAUS (Monserud und Sterba, 1996) geeignet ist, müsste eine Validierung an unabhängigem Datenmaterial, wie beispielsweise an einer anderen Großeinheit der MA 49, durchgeführt werden.

Weiters ist anzumerken, dass beim F- und H-Humus das arithmetische Mittel der ÖWI-Probeflächen verwendet wurden. Auch bei den Gründigkeiten wurde ein Wert für jeden Bodentyp in einem Übersetzungsschlüssel festgelegt. Dadurch wird die Mächtigkeit des F- und H-Humus auf jeder Probefläche als konstant angenommen sowie eine sich ändernde Gründigkeit innerhalb der einzelnen Bodentypen nicht berücksichtigt. Dies kann mitunter dazu führen, dass die Bestimmtheitsmaße der Validierung von PROGNAUS (Monserud und Sterba, 1996) niedriger sind, als wenn diese Parameter erhoben und berücksichtigt worden wären.

7. Schlussfolgerungen

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Frage der Anwendbarkeit von PROGNAUS auf die Stichprobeninventur der MA 49 eine Genauigkeitsfrage ist und davon abhängt, welche Abweichungen der Anwender bereit ist zu akzeptieren. Es kann schlussgefolgert werden, dass nach der statistischen Modellevaluierung der Einzelbaumdaten alle Modelle anwendbar sind und keine massiven systematischen Fehler festgestellt werden konnten. Die beobachteten Werte entsprechen nach simultanem F-Test (Dent und Blackie, 1979) fast nie den berechneten Werten, sie unterscheiden sich also statistisch signifikant. Die Plots zeigen jedoch mit Ausnahme des Höhenzuwachses immer gute Zusammenhänge. Die niedrigen Modelleffizienzen und Bestimmtheitsmaße des Höhenzuwachsmodells wurden auch schon von Nachtmann (2005) bei einer Evaluierung an unabhängigem Datenmaterial festgestellt.

Dass bei den Zuwachsgrößen (Kreisflächen-, Höhen-, und Volumszuwachs) die Präzision und Treffergenauigkeit mit der Simulationsdauer zunehmen liegt vermutlich an den großen Messfehlern in den Ausgangsdaten, die beim Höhenzuwachs wie Nachtmann (2005) feststellt, größer als der 5-jährige Zuwachs sein können. Dies kann damit begründet werden, dass mit zunehmender Simulationslaufzeit die relative Präzision meist besser wird, da der beobachtete Zuwachs schneller zunimmt als der Wert der absoluten Präzision. Diese wird neben dem Messfehler der beobachteten Größe auch vom Modellfehler beeinflusst. Auch dieser könnte ein Grund für die besseren relativen Präzisionen der längeren Simulationsperioden sein, da sich Modellfehler bei wiederholter Anwendung des Modells (mehrere 5-jährige Zuwachsperioden hintereinander) aufheben können.

Die lokale Kalibrierung und der damit verbundene Anstieg der Bestimmtheitsmaße deutet darauf hin, dass entweder aufgrund des Übersetzungsschlüssels und der teilweise fehlenden Standortsparameter nicht alle Standortseigenschaften in PROGNAUS ausreichend berücksichtigt werden konnten oder am Gahns einzelne Standortsparameter stärkere Auswirkungen als bei den Kalibrierungsdaten von PROGNAUS haben. Um diese Aussage absichern zu können, müsste das adaptierte Modell sowie das Ausgangsmodell an für die Parametrisierung nicht verwendeten Daten, wie zum Beispiel einer anderen Großeinheit der MA 49, validiert werden.

Viel wichtiger als für jeden einzelnen Baum richtige Daten zu bekommen ist für einen Forstbetrieb, dass die Flächendaten wie Vorratshaltung im Mittel stimmen. Die Validierungskennzahlen von Grundfläche und Vorrat je Hektar bestätigen, dass selbst über einen Zeitraum von 20 bis 24 Jahren noch Simulationsergebnisse mit praxisüblicher Genauigkeit erreicht werden können. Auch der Vorratsvergleich zeigt, dass der durchschnittliche simulierte Vorrat nach 20- bis 24-jähriger Simulationsdauer um maximal 9,5 % vom gemessenen abweicht.

Beim Flächenvergleich der Baumarten hat sich gezeigt, dass es Probleme bei der Nachstellung von Einwüchsen über den Grenzkreis geben kann. Dies ist dadurch bedingt, dass auf einer Probefläche auch andere, als die bereits vorhandenen Baumarten, über den Grenzkreis einwachsen könnte, was beim Baumsplitting nach Ledermann und Eckmüllner (2004) nicht berücksichtigt wird.

PROGNAUS könnte somit bei der MA 49 zur Erstellung von Prognosen verwendet werden. Die Ergebnisse der Validierung der Zuwachsgrößen zeigen, dass auf die permanente Stichprobeninventur dennoch nicht verzichtet werden kann, da insbesondere beim Höhenzuwachs die Modelleffizienz knapp unter 0 liegt, was bedeutet, dass das Modell etwas schlechter als der Mittelwert ist.

Weiters könnte PROGNAUS für die Erstellung von Leistungstabellen (Ledermann, 2007) verwendet werden, um von den klassischen Ertragstafeln (Marschall, 1975) wegzukommen. Aus der vorhandenen 20- bis 24-jährigen Simulationsperiode könnten für den Forstbetrieb problemlos Leistungstabellen abgeleitet werden. Diese Leistungstabellen haben jedoch den Nachteil, dass bei der Gesamtwuchsleistung davor ausgeschiedene Bäume nicht berücksichtigt werden können.

Sollte PROGNAUS bei der MA 49 angewendet werden wird empfohlen, die MA 49 Standortsparameter in das Modell aufzunehmen sowie alle benötigten Eingangsparameter bei der Stichprobeninventur zu erheben.

8. Zusammenfassung

Der Trend von der traditionellen Forstwirtschaft mit Fichtenmonokulturen zu Mischwäldern stellt die Ertragskunde vor große Herausforderungen. Da die MA 49 - Forst- und Landwirtschaftsbetrieb der Stadt Wien als oberstes Betriebsziel nicht die Holznutzung sondern den Schutz der Quellen ausweist, spielen reich strukturierte, gesunde Mischbestände in diesem Betrieb eine besonders große Rolle. Wurden die klassischen Ertragstafeln aus Reinbeständen entwickelt, so konnte Hasenauer (1994) feststellen, dass die klassischen Ertragstafeln bei der Anwendung auf Mischbestände mit einigen Problemen behaftet sind. Eine Möglichkeit, diese Problematik zu umgehen, ist die Entwicklung von Einzelbaumwachstumsmodellen. Beispiele für solche Einzelbaumwachstumsmodelle sind WASIM (Eckmüllner, 1990), MOSES (Hasenauer, 1994) sowie SILVA (Pretzsch, 2002). Ein in Österreich bekanntes Waldwachstumsmodell ist PROGNAUS (Monserud und Sterba, 1996), welches eine abstandsunabhängige, direkte, einzelbaumweise Schätzung von Zuwächsen ohne Eingabe von Potenzialen ermöglicht. PROGNAUS besteht aus mehreren Teilmodellen. Beispiele dafür sind das Kreisflächenzuwachsmodell (Monserud und Sterba, 1996) oder das Höhenzuwachsmodell (Nachtmann, 2005).

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, das Kreisflächenzuwachsmodell (Monserud und Sterba, 1996) sowie das Höhenzuwachsmodell (Nachtmann, 2005) von PROGNAUS an den Stichprobendaten des Forstrevieres Gahns der MA 49 zu validieren. Dabei wurden Simulationen über die Zeiträume 5, 10 sowie 20 bis 24 Jahre durchgeführt. Um die Daten der MA 49 simulieren zu können, musste zuerst eine Übersetzungstabelle für fehlende und anders erhobene Standortsparameter erstellt werden.

Basierend auf diesen Simulationen wurde dann ein einzelbaumweiser sowie ein flächenweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Werte durchgeführt. Die Beurteilung erfolgte anhand einer Reihe von statistischen Validierungskennzahlen.

Die Ergebnisse zeigen, dass PROGNAUS ohne erhebliche systematische Abweichungen an den Daten der MA 49 angewendet werden kann. Das Bias der Zuwachsgrößen Kreisflächenzuwachs, Höhenzuwachs sowie Volumszuwachs liegt gesamt zwischen -0,926 cm^2 und 2,697 cm^2, -12,2 dm und -4,5 dm und zwischen -0,106 und -0,031 m^3. Die relative Präzision und Treffergenauigkeit liegen beim Kreisflächenzuwachs gesamt zwischen ± 57,4 und ± 98,6 %, beim Höhenzuwachs liegt

die relative Präzision zwischen ± 73,0 und ± 184,2 %, die relative Treffergenauigkeit zwischen ± 91,0 und ± 206,0 %. Beim Kreisflächenzuwachs liegen die Modelleffizienzen gesamt zwischen 0,18 und 0,33, beim Höhenzuwachs zwischen -0,20 und -0,12. Das Bestimmtheitsmaß nimmt beim Kreisflächenzuwachs gesamt Werte zwischen 0,190 und 0,375 an, beim Höhenzuwachs liegt es zwischen 0,111 und 0,222. Das Kreisflächenzuwachsmodell (Monserud und Sterba, 1996) liefert im Vergleich zu anderen Validierungen (z.B. Sterba et al., 2001; Vospernik und Eckmüllner, 2012; Ledermann, 2010) ähnliche Ergebnisse. Die schlechtesten Validierungskennzahlen liefert das Höhenzuwachsmodell bei der Validierung des Höhenzuwachses. Der Vergleich mit der Literatur (Nachtmann, 2005) hat jedoch gezeigt, dass auch in anderen Validierungen ähnliche Validierungskennzahlen festgestellt werden konnten. Die Abweichungen der simulierten von den beobachteten Werten sind meist signifikant, die Plots zeigen jedoch, dass mit Ausnahme des Höhenzuwachses ein meist guter Zusammenhang besteht. Die Fehler des Höhenzuwachsmodells können jedoch zu einem großen Teil auf die hohe Messungenauigkeit der Höhenmessungen zurückgeführt werden, da nach 5-jähriger Messwiederholung der Messfehler größer als der Höhenzuwachs sein kann (Nachtmann, 2005).

Auch die flächenweisen Vergleiche liefern Werte mit praxisüblicher Genauigkeit, wenngleich die Abweichungen aufgrund der Anwendung des Mortalitätsmodells (Monserud und Sterba, 1999) sowie des Baumsplittings (Ledermann und Eckmüllner, 2004) und des Einwuchsmodells (Ledermann, 2002) zu größeren Abweichungen führen. Das Bias des Volumens/ha liegt gesamt zwischen -16,9 und 1,4 m³/ha, das Bias der Grundfläche/ha zwischen 1,3 und 2 m²/ha. Die relative Präzision des Volumens/ha liegt gesamt zwischen ± 11,4 und ± 23,3 %, jene der Grundfläche/ha zwischen ± 10,5 und ± 22,6 %. Die relative Treffergenauigkeit des Volumens/ha beträgt gesamt zwischen ± 11,4 % und ± 23,6 %, jene der Grundfläche/ha liegt zwischen ± 11,0 % und ± 23,1 %. Die Modelleffizienz nimmt beim Volumen/ha Werte zwischen 0,780 und 0,947 an, bei der Grundfläche/ha Werte zwischen 0,735 und 0,930. Das Bestimmtheitsmaß des Volumens/ha liegt gesamt zwischen 0,795 und 0,947, jenes der Grundfläche/ha zwischen 0,755 und 0,936. Der Vergleich der mittlernen beobachteten mit den mittleren simulierten Vorräten liefert über eine Simulationsperiode von 20 bis 24 Jahren sehr gute Ergebnisse.

Eine lokale Kalibrierung hat gezeigt, dass durch Hinzunahme der MA 49 Standortsparameter ein höheres adjustiertes Bestimmtheitsmaß als bei der Einfachregression erreicht werden kann.

PROGNAUS kann somit bei der MA 49 unter Akzeptanz der errechneten Genauigkeiten für waldwachstumskundliche Prognosen verwendet werden.

9. Summary

The shift away from traditional forestry with spruce monocultures to mixed forests is a big challenge for forest science. The operational goal of the Vienna Municipal Department 49, Forestry Office and Urban Agriculture of the City of Vienna is the protection of water sources. So, mixed forests play a very important role. Classical yield tables (e.g. Marschall, 1975) were developed by using pure forest stands. The application of such yield tables for mixed forest stands can be problematic. A possibility to deal with this problem is the development of individual-tree growth models. Examples for such models are WASIM (Eckmüllner, 1991), MOSES (Hasenauer, 1994) or SILVA (Pretzsch, 2002). The probably best known forest growth model in Austria is PROGNAUS (Monserud and Sterba, 1996) which was developed by using the data from the Austrian National Forest Inventory (ANFI). PROGNAUS is a distance-independent individual-tree growth model and consists of a set of sub-models. Examples for these models are the basal area increment model (Monserud and Sterba, 1996) or the height increment model which was developed by Nachtmann (2005).

The aim of this master thesis was to validate the basal are increment model (Monserud and Sterba, 1996) and the height increment model (Nachtmann, 2005) of PROGNAUS by using data from the Vienna Municipal Department 49. Therefore, simulations with durations of 5, 10 as well as for 20 to 24 years were used. In order to run the model, a translation table for missing and differently upraised site parameters was developed. Based on this simulation, a tree- and stand wise comparison of observed and predicted values was carried out. The judgement occurred based on the statistical validation parameters.

The results show, that PROGNAUS can be applied to data from MA 49 without considerable systematic deviations. The overall bias of basal area increment, height increment and volume increment ranges from -0.926 cm^2 to 2.697 cm^2, -12.2 dm to -4.5 dm, -0.106 to -0.031 m^3, respectively. The overall relative precision and accuracy of basal area increment are between ± 57.4 and ± 98.6%. The overall relative precision of height increment is between ± 91.0 and ± 206.0%. The overall model efficiency of the basal area increment lies between 0.18 and 0.33, those from the height increment between -0.20 and -0.12. The overall proportion of variation varies between 0.190 to 0.375 for the basal area increment and between 0.111 to 0.222 for height increment. The basal area increment model (Monserud and Sterba, 1996) fits very well and the

validation of the basal area increment model points out results comparable to other validations (Sterba et al., 2001; Ledermann, 2010; Vospernik and Eckmüllner, 2012). In contrast to the validation of the basal are increment model the validation of the height increment model shows worse validation parameters, but nevertheless, the comparison with other validations (Nachtmann, 2005) indicates, that there were very similar validation parameters found. The deviations of the predicted from the observed values were mostly significant but the plots mostly show a rather good correlation between observed and predicted values.

The poor performance of the height increment model can be attributed to the inaccuracy of the height measurements. Within a five-year-period, the measurement errors can be greater than height increment.

Furthermore, the stand-wise comparison submitted values with common practical accuracy. The overall bias of volume per hectare ranges from -16.9 to 1.4 m^3, those of the basal area per hectare ranges from 1.3 to 2 m^2/ha. The overall relative precision of the volume per hectare is between ± 11.4 and ± 23.3 %., those of the basal area per hectare ranges from± 10.5 to 22.6 %. The overall relative accuracy of the volume/ha is between ± 11.4 and ± 23.6 %, those of the basal area/ha lies between ± 11.0 and ± 23.1 %. The model efficiency is between 0.780 and 0.947 for the volume per hectare and between 0.735 and 0.930 for the basal area per hectare. The overall proportion of variation range is 0.795 to 0.974 for the volume/ha and 0.755 to 0.936 for basal area/ha. After a simulation period of 20 to 24 years the comparison of the average observed and predicted volumes per hectare has also delivered good results.

A local calibration of the basal area increment model has shown that MA 49 site parameters can improve the model predictions.

10. Literaturverzeichnis

Arbeitskreis „Aktiver Quellenschutz“ der Stadt Wien (2015): Regelwerk, Grundsätze zur Bewirtschaftung der Quellenschutzgebiete der Stadt Wien. unpubl.

Bitterlich, W. (1948): Die Winkelzählprobe. Allgemeine Forst- und Holzwirtschaftszeitung, 59 (4): 4-5.

Canavan, S. J. and Ramm, C. W. (2000): Accuracy and Precision of 10 Year Predictions for Forest Vegetation Simulator- Lake States. Norh. J. Appl. For., 17(2): 67-70.

Dent J., Blackie, M. (1979): Systems Simulation in Agriculture. Applied Science, London

Eckmüllner, O. (1990): Spielerisch durchforsten lernen: WASIM Waldwachstumssimulation. Holzwirtschaft, Wald und Holz Rundschau, 46: 24-25.

Froese, R. E., Robinson, A. P. (2007): A validation and evaluation of the Prognosis individual- tree basal area increment model. Can. J. For. Res, 37: 1438-1449.

Hasenauer, H. (1994): Ein Einzelbaumwachstumssimulator für ungleichaltrige Fichten-, Kiefern- und Buchen- Fichtenmischbestände. Forstl. Schriftenreihe. Univ. f. Bodenkultur, Wien, 152p.

Hasenauer, H. (1999): Höhenzuwachsmodelle für die wichtigsten Baumarten Österreichs. Forstwissenschaftliches Centralblatt, 118: 14-23.

Hasenauer, H. (2000): Die simultanen Eigenschaften von Waldwachstumsmodellen. Blackwell Wissenschafts- Verlag, Berlin, Wien, 131p.

Hasenauer, H., Monserud, R. A. (1996): A Crown Model for Austrian Forests. Forest Ecology and Management, 84: 49-60.

Kilian, W., Müller, F., Starlinger, F. (1974): Die forstlichen Wuchsgebiete Österreichs: eine Naturraumgliederung nach waldökologischen Gesichtspunkten. Forstl. Bundesversuchsanst., Wien, FBVA- Berichte, 82, 60p.

Kindermann, G. E. (1998): Die Flächenanteile der Baumarten. Diplomarbeit, Univ. f. Bodenkultur, 45p.

Knieling, A. (1994): Methodische Beiträge zur Auswertung der Österreichischen Forstinventur nach 1980. Dissertation, Univ. f. Bodenkultur, Wien, 129p.

Koeck, R. (2008): Waldhydrologische Aspekte und Waldbaukonzepte in karstalpinen Quellenschutzgebieten in den nördlichen Kalkalpen. Dissertation, Univ. f. Bodenkultur, Wien, 325p.

Koeck, R. (o. J.): Handbuch zum Kater II Projekt. Universität für Bodenkultur, Wien, 191p. unpubl.

Krajicek, J.E., Brinkmann, K.E. und Gingrich, S.F. (1961): Crown Competition- a measure of densitiy. For. Sci., 7: 35-42.

Kraft, G. (1884): Beiträge zur Lehre von Durchforstungen, Schlagstellungen und Lichtungshieben. Klindworth's Verlag, Hannover.

Ledermann, T. (2002): Ein Einwuchsmodell aus den Daten der Österreichischen Waldinventur 1981- 1996. Forstwissenschaftliches Centralblatt, 119: 40-77.

Ledermann, T. (2004): PROGNAUS- ein Waldwachstumsmodell zur Fortschreibung von Inventurdaten. Internetplattform Waldwissen.net. http://www.waldwissen.net/technik/inventur/bfw_prongaus

Ledermann, T. (2007): Programmdokumentation Prognaus for Windows Version Px 1.1. Univ. für Bodenkultur, Wien. 33p

Ledermann, T. (2010): Evaluierung des Waldwachstumsmodells PROGNAUS. In: M. Neumann (Hrsg.)/ Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft, Wien, 2010, BFW- Berichte, 143:61-75.

Ledermann, T., Eckmüllner, O. (2004): A method to attain uniform resolution of the competition variable Basal-Area-in-Larger Trees (BAL) during forest growth projections of small plots. Ecological Modelling, 171, 195-206

MA 49- Forst- und Landwirtschaftsbetrieb der Stadt Wien (1991): Aufnahmeschlüssel zur Ersteinrichtung der Permanenten Stichprobeninventur in den Quellenschutzwäldern der MA 49- Forstamt und Landwirtschaftsbetrieb der Stadt Wien. unpubl

MA 49- Forst- und Landwirtschaftsbetrieb der Stadt Wien (1992): Bericht zur Forstlichen Standortskartierung im Revier Gahns. unpubl.

MA 49- Forst- und Landwirtschaftsbetrieb der Stadt Wien (2010): Operat für das Forstrevier Gahns, Laufzeit 2010- 2019. unpubl.

MA 49- Forst- und Landwirtschaftsbetrieb der Stadt Wien (2011): Aufnahmeschlüssel 2011-2015. Vierterhebungen ab 2011 im Rahmen der permanenten Stichprobeninventur in den Quellenschutzwäldern der MA 49- Forstamt und Landwirtschaftsbetrieb der Stadt Wien. unpubl.

Mäkinen, A., Kangas, A., Kalliovirta, J., Rasinmäki, J. and Välinmäki, E. (2008): Comparison of treewise and standwise forest simulators by means of quantile regression. Forest Ecology and Management, 255: 2709-2717.

Marschall, J. (1975): Hilfstafeln für die Forsteinrichtung, Österr. Agrarverlag, Wien.

Mayer, D. G., Butler, D. G. (1993): Statistical validation. Ecol. Mod., 68: 21-32.

Mende, W., Albrecht, K.F. (2001): Beschreibung und Interpretation des Fichtenwachstums mit Hilfe des Evolon- Modells. Forstwissenschaftliches Centralblatt, 120: 53–67.

Monserud, R. A. und Sterba, H. (1996): A basal area increment model for individual trees growing in even- and uneven-aged forest stands in Austria. Forest Ecology and Management, 80: 57-80.

Monserud, R. A. und Sterba, H. (1999): Modelling individual tree mortality for Austrian forest species. Forest Ecology and Management, 113: 109- 123.

Mrkvicka, A. Ch. (1992): Erstaufnahme im Naturwaldreservat Schneeberg- Süd (Niederösterreich). Diplomarbeit Univ. für Bodenkultur, Wien, 127p.

Munro, D. D. (1974): Forest Growth Models- A Prognosis. In: J. Fries (Ed.), Growth models for tree and stand simulation, Royal College of Forestry, Department of Forest Yiel Research, Res. Note No. 30, Stockholm, Schweden, pp. 7-21.

Nachtmann, G. (2005): Der Höhenzuwachs österreichischer Baumarten in Abhängigkeit von Standort und Konkurrenz. Diplomarbeit. Univ. f. Bodenkultur, Wien, 77p.

Pollanschütz, J. (1974): Formzahlfunktionen der Hauptbaumarten Österreichs. Allgem. Forstzeitung, 85: 342-343.

Pretzsch, H. (1992): Konzeption und Konstruktion von Wuchsmodellen für Rein- und Mischbestände. Forstwissenschaftliche Fakultät der Universität München und der Bayer. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt München, Forstliche Forschungsberichte München, 115

Pretzsch, H., Biber, P. und Dursky, J. (2002): The single tree- based stand simulator SILVA: construction, application and evaluation. Forest Ecology and Management, 162: 3-21.

Reynolds, M. R. (1984): Estimating the error in model predictions. Forest Science, 30: 454-469.

Stage, A. R., (1973): Prognosis model for stand development. USDA Forest Service Research Paper INT- 137.

Schieler, K. (1997): Methode der Zuwachsberechnung der Österreichischen Forstinventur 1986/90. Österr. Forstzeitung, 104 (4): 22-23.

Sterba, H., Korol, N. Rössler, G. (2001): Ein Ansatz zur Evaluierung eines Einzelbaumwachstumssimulators für Fichtenreinbestände. Forstwissenschaftliches Centralblatt, 120: 406-421.

Vospernik, S., Eckmüllner, O. (2012): Evaluation of the individual tree growth model Prognaus. Forstwissenschaftliches Centralblatt, 129: 22-55.

Wykoff, W. R. (1990): A Basal Area Increment Model for Individual Conifers in the Northern Rocky Mountains. Forest Science, 36:1077-1104.

Weger, W. (1990): Das Wachstum der Fichte im Eisacktal. Diplomarbeit. Univ. f. Bodenkultur Wien, 64p

11. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Benutzeroberfläche Prognaus for Windows px 1.1 10
Abbildung 2: Lageskizze des Forstrevieres Gahns 12
Abbildung 3: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Brusthöhendurchmesser nach einer Zuwachsperiode von 20-24 Jahren, n=1762 38
Abbildung 4: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Brusthöhendurchmesser nach einer Zuwachsperiode von 5 Jahren, n=2385 38
Abbildung 5:Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Brusthöhendurchmesser der Fichte nach einer Zuwachsperiode von 20-24 Jahren, n=1259 38
Abbildung 6: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Brusthöhendurchmesser der Fichte nach einer Zuwachsperiode von 5 Jahren, n=1731 38
Abbildung 7: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Brusthöhendurchmesser der Lärche nach einer Zuwachsperiode von 20-24 Jahren, n=281 38
Abbildung 8: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Brusthöhendurchmesser der Lärche nach einer Zuwachsperiode von 5 Jahren, n=349 38
Abbildung 9: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Brusthöhendurchmesser der Buche nach einer Zuwachsperiode von 20-24 Jahren, n=150 39
Abbildung 10: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Brusthöhendurchmesser der Buche nach einer Zuwachsperiode von 5 Jahren, n=194 39
Abbildung 11: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Kreisflächenzuwächse nach einer Zuwachsperiode von 20 Jahren, n=1762 39
Abbildung 12: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Kreisflächenzuwächse nach einer Zuwachsperiode von 5 Jahren, n=2385 39
Abbildung 13: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Kreisflächenzuwächse der Fichte nach einer Zuwachsperiode von 20 Jahren, n=1259 39
Abbildung 14: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Kreisflächenzuwächse der Fichte nach einer Zuwachsperiode von 5 Jahren, n=1731 39
Abbildung 15: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Kreisflächenzuwächse der Lärche nach einer Zuwachsperiode von 20 Jahren, n=281 40
Abbildung 16: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Kreisflächenzuwächse der Lärche nach einer Zuwachsperiode von 5 Jahren, n=349 40
Abbildung 17: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Kreisflächenzuwächse der Buche nach einer Zuwachsperiode von 20 Jahren, n=150 40
Abbildung 18: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Kreisflächenzuwächse der Buche nach einer Zuwachsperiode von 5 Jahren, n=194 40
Abbildung 19: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Höhen der gemessenen Zentralstämme (ausg. gebrochene) nach einer Zuwachsperiode von 20-24 Jahren, n=312 44
Abbildung 20: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Höhen der gemessenen Zentralstämme (ausg. gebrochene) nach einer Zuwachsperiode von 5 Jahren, n=443 44
Abbildung 21: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Höhen der gemessenen Zentralstämme der Fichte (ausg. gebrochene) nach einer Zuwachsperiode von 20-24 Jahren, n=136 44
Abbildung 22: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Höhen der gemessenen Zentralstämme der Fichte (ausg. gebrochene) nach einer Zuwachsperiode von 5 Jahren, n=212 44
Abbildung 23: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Höhen der gemessenen Zentralstämme der Lärche (ausg. gebrochene) nach einer Zuwachsperiode von 20-24 Jahren, n=84 44
Abbildung 24: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Höhen der gemessenen Zentralstämme der Lärche (ausg. gebrochene) nach einer Zuwachsperiode von 5 Jahren, n=102 44
Abbildung 25: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Höhen der gemessenen Zentralstämme der Buche (ausg. gebrochene) nach einer Zuwachsperiode von 20-24 Jahren, n=47 45
Abbildung 26: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Höhen der gemessenen Zentralstämme der Buche (ausg. gebrochene) nach einer Zuwachsperiode von 20-24 Jahren, n=64 45

Abbildung 27: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Höhenzuwächse der gemessenen Zentralstämme (ausg. gebrochene) nach einer Zuwachsperiode von 20 Jahren, n=312 45
Abbildung 28: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Höhenzuwächse der gemessenen Zentralstämme (ausg. gebrochene) nach einer Zuwachsperiode von 5 Jahren, n=443 45
Abbildung 29: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Höhenzuwächse der gemessenen Zentralstämme der Fichte (ausg. gebrochene) nach einer Zuwachsperiode von 20 Jahren, n=136 45
Abbildung 30: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Höhenzuwächse der gemessenen Zentralstämme der Fichte (ausg. gebrochene) nach einer Zuwachsperiode von 5 Jahren, n=212 45
Abbildung 31: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Höhenzuwächse der gemessenen Zentralstämme der Lärche (ausg. gebrochene) nach einer Zuwachsperiode von 20 Jahren, n=84 46
Abbildung 32: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Höhenzuwächse der gemessenen Zentralstämme der Lärche (ausg. gebrochene) nach einer Zuwachsperiode von 5 Jahren, n=102 46
Abbildung 33: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Höhenzuwächse der gemessenen Zentralstämme der Buche (ausg. gebrochene) nach einer Zuwachsperiode von 20 Jahren, n=47 46
Abbildung 34: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Höhenzuwächse der gemessenen Zentralstämme der Buche (ausg. gebrochene) nach einer Zuwachsperiode von 20-24 Jahren, n=64 46
Abbildung 35: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Volumina (ausg. gebrochene Bäume) nach einer Zuwachsperiode von 20-24 Jahren, n=1720 50
Abbildung 36: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Volumina (ausg. gebrochene Bäume) nach einer Zuwachsperiode von 5 Jahren, n=2334 50
Abbildung 37: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Volumina (ausg. gebrochene Bäume) der Fichte nach einer Zuwachsperiode von 20-24 Jahren, n=1230 50
Abbildung 38: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Volumina (ausg. gebrochene Bäume) der Fichte nach einer Zuwachsperiode von 5 Jahren, n=1696 50
Abbildung 39: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Volumina (ausg. gebrochene Bäume) der Lärche nach einer Zuwachsperiode von 20-24 Jahren, n=272 50
Abbildung 40: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Volumina (ausg. gebrochene Bäume) der Lärche nach einer Zuwachsperiode von 5 Jahren, n=340 50
Abbildung 41: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Volumina (ausg. gebrochene Bäume) der Buche nach einer Zuwachsperiode von 20-24 Jahren, n=148 51
Abbildung 42: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Volumina (ausg. gebrochene Bäume) der Buche (nach einer Zuwachsperiode von 5 Jahren, n=190 51
Abbildung 43: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Volumszuwächse (ausg. gebrochene Bäume) nach einer Zuwachsperiode von 20 Jahren, n=1720 51
Abbildung 44: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Volumszuwächse nach einer Zuwachsperiode von 5 Jahren, n=2334 51
Abbildung 45: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Volumszuwächse (ausg. gebrochene Bäume) der Fichte nach einer Zuwachsperiode von 20 Jahren, n=1230 51
Abbildung 46: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Volumszuwächse (ausg. gebrochene Bäume) der Fichte nach einer Zuwachsperiode von 5 Jahren, n=1696 51
Abbildung 47: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Volumszuwächse (ausg. gebrochene Bäume) der Lärche nach einer Zuwachsperiode von 20 Jahren, n=272 52
Abbildung 48: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Volumszuwächse (ausg. gebrochene Bäume) der Lärche nach einer Zuwachsperiode von 5 Jahren, n=340 52
Abbildung 49: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Volumszuwächse (ausg. gebrochene Bäume) der Buche nach einer Zuwachsperiode von 20 Jahren, n=148 52
Abbildung 50: Einzelbaumweiser Vergleich der beobachteten und simulierten Volumszuwächse (ausg. gebrochene Bäume) der Buche nach einer Zuwachsperiode von 5 Jahren, n=190 52
Abbildung 51: Probeflächenweiser Vergleich der Volumina/ha nach einer Zuwachsperiode von 20-24 Jahren, n=221 58
Abbildung 52: Probeflächenweiser Vergleich der Volumina/ha nach einer Zuwachsperiode von 5 Jahren, n=237 58
Abbildung 53: Probeflächenweiser Vergleich der Volumina/ha der Fichte nach einer Zuwachsperiode von 20-24 Jahren, n=218 58

Abbildung 54: Probeflächenweiser Vergleich der Volumina/ha der Fichte nach einer Zuwachsperiode von 5 Jahren, n=232 58
Abbildung 55: Probeflächenweiser Vergleich der Volumina/ha der Lärche nach einer Zuwachsperiode von 20-24 Jahren, n=117 58
Abbildung 56: Probeflächenweiser Vergleich der Volumina/ha der Lärche nach einer Zuwachsperiode von 5 Jahren, n=109 58
Abbildung 57: Probeflächenweiser Vergleich der Volumina/ha der Buche nach einer Zuwachsperiode von 20-24 Jahren, n=73 59
Abbildung 58: Probeflächenweiser Vergleich der Volumina/ha der Buche nach einer Zuwachsperiode von 5 Jahren, n=68 59
Abbildung 59: Probeflächenweiser Vergleich der Grundflächen/ha nach einer Zuwachsperiode von 20-24 Jahren, n=221 59
Abbildung 60: Probeflächenweiser Vergleich der Grundflächen/ha nach einer Zuwachsperiode von 5 Jahren, n=237 59
Abbildung 61: Probeflächenweiser Vergleich der Grundflächen/ha der Fichte nach einer Zuwachsperiode von 20-24 Jahren, n=218 59
Abbildung 62: Probeflächenweiser Vergleich der Grundflächen/ha der Fichte nach einer Zuwachsperiode von 5 Jahren, n=232 59
Abbildung 63: Probeflächenweiser Vergleich der Grundflächen/ha der Lärche nach einer Zuwachsperiode von 20-24 Jahren, n=117 60
Abbildung 64: Probeflächenweiser Vergleich der Grundfläche/ha der Lärche nach einer Zuwachsperiode von 5 Jahren, n=109 60
Abbildung 65: Probeflächenweiser Vergleich der Grundflächen/ha der Buche nach einer Zuwachsperiode von 20-24 Jahren, n=73 60
Abbildung 66: Probeflächenweiser Vergleich der Grundflächen/ha der Buche nach einer Zuwachsperiode von 5 Jahren, n=68 60
Abbildung 67: Verlauf des durchschnittlichen gemessenen (blaue Linie) und simulierten (rote Linie) Hektarvorrates über alle Aufnahmeperioden von 1991 bis 2011. Die kleinen Kreise stellen die Erhebungs- beziehungsweise Vergleichspunkte dar. Die strichlierte Linie zeigt die untere und obere Grenze des Vertrauensintervalls (Konfidenzintervall) des gemessenen Vorrates bei 5%iger Irrtumswahrscheinlichkeit. n=37 62
Abbildung 68: Verlauf des durchschnittlichen gemessenen (blaue Linie) und simulierten (rote Linie) Hektarvorrates über alle Aufnahmeperioden von 1991 bis 2012. Die kleinen Kreise stellen die Erhebungs- beziehungsweise Vergleichspunkte dar. Die strichlierte Linie zeigt die untere und obere Grenze des Vertrauensintervalls (Konfidenzintervall) des gemessenen Vorrates bei 5%iger Irrtumswahrscheinlichkeit. n=46 62
Abbildung 69: Verlauf des durchschnittlichen gemessenen (blaue Linie) und simulierten (rote Linie) Hektarvorrates über alle Aufnahmeperioden von 1991 bis 2013. Die kleinen Kreise stellen die Erhebungs- beziehungsweise Vergleichspunkte dar. Die strichlierte Linie zeigt die untere und obere Grenze des Vertrauensintervalls (Konfidenzintervall) des gemessenen Vorrates bei 5%iger Irrtumswahrscheinlichkeit. n=43 63
Abbildung 70: Verlauf des durchschnittlichen gemessenen (blaue Linie) und simulierten (rote Linie) Hektarvorrates über alle Aufnahmeperioden von 1991 bis 2014. Die kleinen Kreise stellen die Erhebungs- beziehungsweise Vergleichspunkte dar. Die strichlierte Linie zeigt die untere und obere Grenze des Vertrauensintervalls (Konfidenzintervall) des gemessenen Vorrates bei 5%iger Irrtumswahrscheinlichkeit. n=43 63
Abbildung 71: Verlauf des durchschnittlichen gemessenen (blaue Linie) und simulierten (rote Linie) Hektarvorrates über alle Aufnahmeperioden von 1991 bis 2015. Die kleinen Kreise stellen die Erhebungs- beziehungsweise Vergleichspunkte dar. Die strichlierte Linie zeigt die untere und obere Grenze des Vertrauensintervalls (Konfidenzintervall) des gemessenen Vorrates bei 5%iger Irrtumswahrscheinlichkeit. n=44 64
Abbildung 72: Wuchsräume und deren Codierung gemäß der Österreichischen Waldinventur (vgl. Ledermann, 2007) 99

12. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Angesprochene Baummerkmale in der Stichprobeninventur der MA 49 14
Tabelle 2: Angesprochene Flächenmerkmale in der Stichprobeninventur der MA 49 15
Tabelle 3: Angesprochene Verjüngungsmerkmale in der Stichprobeninventur der MA 49 15
Tabelle 4: quantitativer Übersetzungsschlüssel Gründigkeit 19
Tabelle 5: Aufteilungsschlüssel der Bodenmosaike 19
Tabelle 6: Übersetzungsschlüssel Gründigkeit 19
Tabelle 7: Übersetzungsschlüssel Feuchteklasse 20
Tabelle 8: Übersetzungsschlüssel Bodengruppe 21
Tabelle 9: Übersetzungsschlüssel Vegetationstyp 1. Teil 22
Tabelle 10: Übersetzungsschlüssel Vegetationstyp 2. Teil 23
Tabelle 11: Kennzahlen der statistischen Validierung des Einzelbaumvergleiches des beobachteten und simulierten Brusthöhendurchmessers [cm] sowie des Kreisflächenzuwachses [cm²] mit (Nr.) der Berechnungsnummer; (Simz.) dem Simulationszeitraum; (Simd.) der Simulationsdauer; ($\overline{X}$) dem mittleren beobachteten Wert; (n) der Anzahl; (Bias) dem systematischen Fehler; (Bias%) dem systematischen Fehler in % des beobachteten Mittelwertes; (t) dem t-Wert für die Hypothese, dass das mittlere Bias Null ist, (Sig) dem Signifkanzniveau des Wertes in der davorstehenden Spalte, wobei (*) signifikant mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 %, (**) hochsignifikant mit einer Wahrscheinlichkeit von 99 % und (***) höchstsignifikant mit einer Wahrscheinlichkeit von 99,9 % bedeutet; (Se) der Präzision; (Se%) der Präzision in % des beobachteten Mittelwertes; (Mx) der Treffergenauigkeit; (Mx%) der Treffergenauigkeit in % des beobachteten Mittelwertes; (EF) der Modelleffizienz; (PI_u) der unteren Grenze des Vorhersageintervalls oder der maximalen Überschätzung des Modells bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %; (PI_o) der oberen Grenze des Vorhersageintervalls oder der maximalen Unterschätzung des Modells bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %, (Fsim) dem F-Wert des simultanen F-Testes, dass das Absolutglied a=0 und der Regressionskoeffizient b=1; (FG) den Freiheitsgraden dieses F-Wertes; (a) dem Absolutglied sowie (b) dem Regressionskoeffizienten der Regression y_beobachtet= a+b*y_simuliert; (adj.R^2) dem adjustierten Bestimmtheitsmaß sowie (R^2) dem Bestimmtheitsmaß der Regression 37
Tabelle 12: Kennzahlen der statistischen Validierung des Einzelbaumvergleiches der beobachteten und simulierten Höhe [m] sowie dem Höhenzuwachs [dm] mit (Nr.) der Berechnungsnummer; (Simz.) dem Simulationszeitraum; (Simd.) der Simulationsdauer; ($\overline{X}$) dem mittleren beobachteten Wert; (n) der Anzahl; (Bias) dem systematischen Fehler; (Bias%) dem systematischen Fehler in % des beobachteten Mittelwertes; (t) dem t-Wert für die Hypothese, dass das mittlere Bias Null ist, (Sig) dem Signifkanzniveau des Wertes in der davorstehenden Spalte, wobei (*) signifikant mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 %, (**) hochsignifikant mit einer Wahrscheinlichkeit von 99 % und (***) höchstsignifikant mit einer Wahrscheinlichkeit von 99,9 % bedeutet; (Se) der Präzision; (Se%) der Präzision in % des beobachteten Mittelwertes; (Mx) der Treffergenauigkeit; (Mx%) der Treffergenauigkeit in % des beobachteten Mittelwertes; (EF) der Modelleffizienz; (PI_u) der unteren Grenze des Vorhersageintervalls oder der maximalen Überschätzung des Modells bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %; (PI_o) der oberen Grenze des Vorhersageintervalls oder der maximalen Unterschätzung des Modells bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %, (Fsim) dem F-Wert des simultanen F-Testes, dass das Absolutglied a=0 und der Regressionskoeffizient b=1; (FG) den Freiheitsgraden dieses F-Wertes; (a) dem Absolutglied sowie (b) dem Regressionskoeffizienten der Regression y_beobachtet= a+b*y_simuliert; (adj.R^2) dem adjustierten Bestimmtheitsmaß sowie (R^2) dem Bestimmtheitsmaß der Regression 43
Tabelle 13: Kennzahlen der statistischen Validierung des Einzelbaumvergleiches des beobachteten und simulierten Volumens [m^3] sowie dem Volumszuwachs [dm^3] mit (Nr.) der Berechnungsnummer; (Simz.) dem Simulationszeitraum; (Simd.) der Simulationsdauer; ($\overline{X}$) dem mittleren beobachteten Wert; (n) der Anzahl; (Bias) dem systematischen Fehler; (Bias%) dem systematischen Fehler in % des beobachteten Mittelwertes; (t) dem t-Wert für die Hypothese, dass das mittlere Bias Null ist, (Sig) dem Signifkanzniveau des Wertes in der davorstehenden Spalte, wobei (*) signifikant mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 %, (**) hochsignifikant mit einer Wahrscheinlichkeit von 99 % und (***) höchstsignifikant mit einer Wahrscheinlichkeit von 99,9 % bedeutet; (Se) der Präzision; (Se%) der Präzision in % des beobachteten Mittelwertes; (Mx) der Treffergenauigkeit; (Mx%) der Treffergenauigkeit in % des beobachteten Mittelwertes; (EF) der Modelleffizienz; (PI_u) der unteren Grenze des Vorhersageintervalls oder der maximalen Überschätzung des

Modells bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %; (PI_o) der oberen Grenze des Vorhersageintervalls oder der maximalen Unterschätzung des Modells bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %, (Fsim) dem F-Wert des simultanen F-Testes, dass das Absolutglied a=0 und der Regressionskoeffizient b=1; (FG) den Freiheitsgraden dieses F-Wertes; (a) dem Absolutglied sowie (b) dem Regressionskoeffizienten der Regression y_beobachtet= a+b*y_simuliert; (adj.R^2) dem adjustierten Bestimmtheitsmaß sowie (R^2) dem Bestimmtheitsmaß der Regression 49

Tabelle 14: Kennzahlen der statistischen Validierung des probeflächenweisen Vergleiches des beobachteten und simulierten Hektarvolumens [m^3/ha] mit (Nr.) der Berechnungsnummer; (Simz.) dem Simulationszeitraum; (Simd.) der Simulationsdauer; ($\overline{X}$) dem mittleren beobachteten Wert; (n) der Anzahl; (Bias) dem systematischen Fehler; (Bias%) dem systematischen Fehler in % des beobachteten Mittelwertes; (t) dem t-Wert für die Hypothese, dass das mittlere Bias Null ist, (Sig) dem Signifkanzniveau des Wertes in der davorstehenden Spalte, wobei (*) signifikant mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 %, (**) hochsignifikant mit einer Wahrscheinlichkeit von 99 % und (***) höchstsignifikant mit einer Wahrscheinlichkeit von 99,9 % bedeutet; (Se) der Präzision; (Se%) der Präzision in % des beobachteten Mittelwertes; (Mx) der Treffergenauigkeit; (Mx%) der Treffergenauigkeit in % des beobachteten Mittelwertes; (EF) der Modelleffizienz; (PI_u) der unteren Grenze des Vorhersageintervalls oder der maximalen Überschätzung des Modells bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %; (PI_o) der oberen Grenze des Vorhersageintervalls oder der maximalen Unterschätzung des Modells bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %, (Fsim) dem F-Wert des simultanen F-Testes, dass das Absolutglied a=0 und der Regressionskoeffizient b=1; (FG) den Freiheitsgraden dieses F-Wertes; (a) dem Absolutglied sowie (b) dem Regressionskoeffizienten der Regression y_beobachtet= a+b*y_simuliert; (adj.R^2) dem adjustierten Bestimmtheitsmaß sowie (R^2) dem Bestimmtheitsmaß der Regression 56

Tabelle 15: Kennzahlen der statistischen Validierung des probeflächenweisen Vergleiches der beobachteten und simulierten Hektargrundfläche [m^2/ha] mit (Nr.) der Berechnungsnummer; (Simz.) dem Simulationszeitraum; (Simd.) der Simulationsdauer; ($\overline{X}$) dem mittleren beobachteten Wert; (n) der Anzahl; (Bias) dem systematischen Fehler; (Bias%) dem systematischen Fehler in % des beobachteten Mittelwertes; (t) dem t-Wert für die Hypothese, dass das mittlere Bias Null ist, (Sig) dem Signifkanzniveau des Wertes in der davorstehenden Spalte, wobei (*) signifikant mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 %, (**) hochsignifikant mit einer Wahrscheinlichkeit von 99 % und (***) höchstsignifikant mit einer Wahrscheinlichkeit von 99,9 % bedeutet; (Se) der Präzision; (Se%) der Präzision in % des beobachteten Mittelwertes; (Mx) der Treffergenauigkeit; (Mx%) der Treffergenauigkeit in % des beobachteten Mittelwertes; (EF) der Modelleffizienz; (PI_u) der unteren Grenze des Vorhersageintervalls oder der maximalen Überschätzung des Modells bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %; (PI_o) der oberen Grenze des Vorhersageintervalls oder der maximalen Unterschätzung des Modells bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %, (Fsim) dem F-Wert des simultanen F-Testes, dass das Absolutglied a=0 und der Regressionskoeffizient b=1; (FG) den Freiheitsgraden dieses F-Wertes; (a) dem Absolutglied sowie (b) dem Regressionskoeffizienten der Regression y_beobachtet= a+b*y_simuliert; (adj.R^2) dem adjustierten Bestimmtheitsmaß sowie (R^2) dem Bestimmtheitsmaß der Regression 57

Tabelle 16: Durchschnittlicher beobachteter und simulierter Vorrat [VfmS/ha] der einzelnen Erhebungszyklen über die Zeit sowie das Minimum, das Maximum, die Standardabweichung (Stabw.) und das Vertrauensintervall (VI) des gemessenen Vorrates bei 5%iger Irrtumswahrscheinlichkeit und n der Anzahl der Probeflächen. 61

Tabelle 17: Koeffizienten der multiplen Regression für das Absolutglied und die Regressionskoeffizienten des simulierten Kreisflächenzuwaches sowie der Wasserhaushaltsklassen und Bodengruppen nach MA 49 zur Berechnung des 5- oder 20-jährigen Kreisflächenzuwachses [cm^2] der Hauptbaumarten im Forstrevier Gahns 66

Tabelle 18: Regressionskoeffizienten der Seehöhe, Exposition und Neigung zur Berechnung des 5- oder 20-jährigen Kreisflächenzuwachses [cm^2] der Hauptbaumarten im Forstrevier Gahns 66

Tabelle 19: Regressionskoeffizienten der Vegetationstypen nach MA 49 zur Berechnung des 5- oder 20-jährigen Kreisflächenzuwachses [cm^2] der Hauptbaumarten im Forstrevier Gahns 67

Tabelle 20: Verbesserung der adjustierten Bestimmtheitsmaße (adj. R^2) durch die multiple Regression im Vergleich zur Einfachregression des beobachteten Kreisflächenzuwachses in Abhängigkeit vom simulierten Kreisflächenzuwachs 79

Tabelle 21: Übersetzungstabelle Wasserhaushalt. Die gelb markierte Wasserhaushaltsklasse stellt die Referenzeinheit zur Dummykodierung der multiplen Regression der lokalen Kalibrierung dar. 98

Tabelle 22: Übersetzungstabelle Vegetationstyp. Der gelb markierte Vegetationstyp stellt die Referenzeinheit zur Erstellung der Dummykodierung der lokalen Kalibrierung dar. 98

TABELLE 23: ÜBERSETZUNGSTABELLE BODENGRUPPE. DIE GELB MARKIERTE BODENGRUPPE STELLT DIE REFERENZEINHEIT ZUR DUMMYKODIERUNG DER MULTIPLEN REGRESSION DER LOKALEN KALIBRIERUNG DAR. 98
TABELLE 24: FEUCHTEKLASSEN LAUT ÖSTERREICHISCHER WALDINVENTUR (VGL. LEDERMANN, 2007) 100
TABELLE 25: RELIEF LAUT ÖSTERREICHISCHER WALDINVENTUR (VGL. LEDERMANN, 2007) 101
TABELLE 26: BODENGRUPPEN LAUT ÖSTERREICHISCHER WALDINVENTUR (VGL. LEDERMANN, 2007) 102
TABELLE 27: VEGETATIONSTYPEN LAUT ÖSTERREICHISCHER WALDINVENTUR (VGL. LEDERMANN, 2007) 103

13. Anhang

13.1. Regressionskoeffizienten der lokalen Kalibrierung

Tabelle 21: Übersetzungstabelle Wasserhaushalt. Die gelb markierte Wasserhaushaltsklasse stellt die Referenzeinheit zur Dummykodierung der multiplen Regression der lokalen Kalibrierung dar.

Wasserhaushalt MA 49	***Abkürzung MA 49***	***Kürzel Regression***
mäßig trocken	mt	Wmt
mäßig frisch	m	Wm
frisch	**f**	**Wf**
betont frisch	b	Wb
sehr frisch	s	Ws

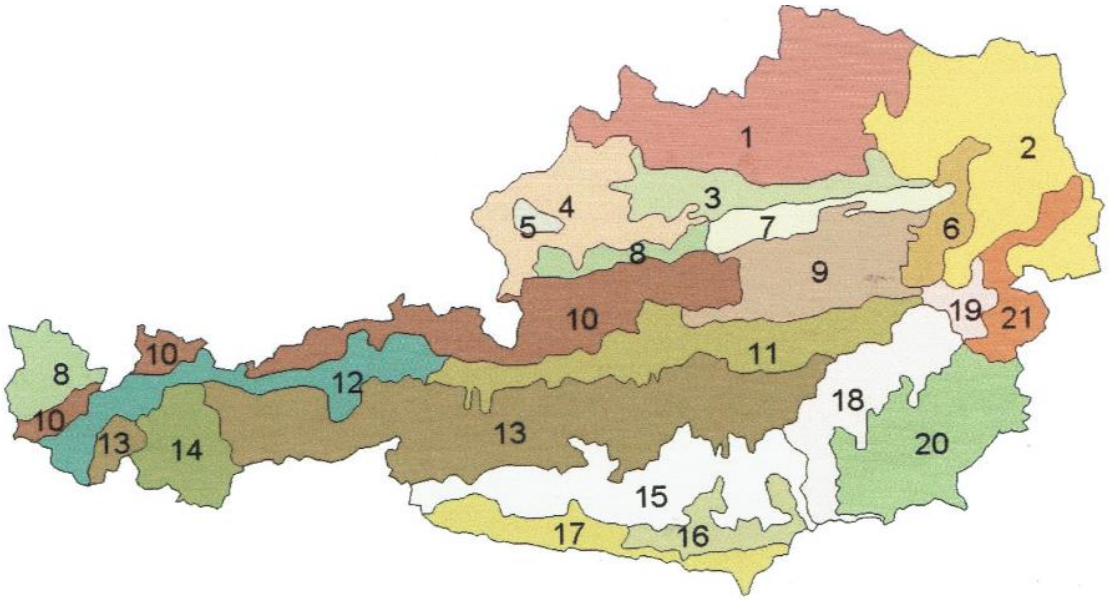
Tabelle 22: Übersetzungstabelle Vegetationstyp. Der gelb markierte Vegetationstyp stellt die Referenzeinheit zur Erstellung der Dummykodierung der lokalen Kalibrierung dar.

Vegetationstyp MA 49	***Abkürzung MA 49***	***Kürzel Regression***
Alpendosttyp	Aa	v2
Blaugrastyp	B	v4
Kleeblatt- Schaumkraut- Sauerkleetyp	CO	v10
Greiskrauttyp	Gr	v20
Greiskraut- Waldmeistertyp	GW	v21
Hochstaudentyp	Ho	v23
Schneerosen- Schattenkräutertyp	K	v28
hochmontanter Schattenkräutertyp	K'	v29
Kräuter- Sauerkleetyp	KS	v31
Weißhainsimsentyp	Ll	v37
Großhainsimsentyp	Lu	v39
Nudum	**N**	**v42**
Bunt- Reitgrastyp	R	v48
Schlagtyp	S	v51
Schlagkräutertyp, Schlagtyp ohne typische Schlagvegetation	S'	v52
mäßig frischer Kräutertyp	T	v58
hochmontane Ausprägung des mäßig frischen Kräutertyps	T'	v59
Weidetyp	W	v64
Waldmeistertyp	Wa	v65
Waldgestentyp	Wg	v66

Tabelle 23: Übersetzungstabelle Bodengruppe. Die gelb markierte Bodengruppe stellt die Referenzeinheit zur Dummykodierung der multiplen Regression der lokalen Kalibrierung dar.

Bodengruppe MA 49	***Abkürzung MA 49***	***Kürzel Regression***
Rendzina (A)	A	bA
Insellehm (B)	B	bB
Kalklehm-Rendzina (C)	**C**	**bC**
Kalk-Braunlehm (E)	E	bE
Pseudogley (H)	H	bH

13.2. Flächenmerkmale nach ÖWI



1. Mühl- und Waldviertel
2. Östliches (pannonisches) Trockengebiet
3. Nördliches Alpenvorland – Ostteil
4. Nördliches Alpenvorland – Westteil
5. Kobernaußerwald
6. Alpenostrand
7. Flyschalpen
8. Westliche Flyschalpen
9. Nördliche Kalkalpen – Ostteil
10. Nördliche Kalkalpen – Westteil
11. Nördliche Zentralalpen – Ostteil
13. Nördliche Zentralalpen – Westteil
14. Zentralalpen
15. Kontinentale Zentralalpen
16. Südliche Zentralalpen
17. Klagenfurter Becken
18. Österreichische Südalpen
19. Südöstliche Randalpen
20. Bucklige Welt
21. Südöstliches Hügel- u. Terrassenland
22. Mittelburgenländisches Bergland

Abbildung 72: Wuchsräume und deren Codierung gemäß der Österreichischen Waldinventur (vgl. Ledermann, 2007)

Tabelle 24: Feuchteklassen laut Österreichischer Waldinventur (vgl. Ledermann, 2007)

Code	Feuchteklasse	Beschreibung
1	Trocken	Im Jahresdurchschnitt herrscht Wassermangel. Meist Standorte auf Rücken und Oberhängen mit seichtgründigen, wasserdurchlässigen Böden in sonnseitiger Lage.
2	mäßig frisch	Der weite Übergangsbereich zwischen den Klassen 1 und 3, der weder den echten, minderertragsfähigen Trockenstandorten zugeordnet werden kann, noch eine ausgeglichene Wasserversorgung aufweist.
3	Frisch	Im Jahresdurchschnitt normale Wasserversorgung, höchstens kurzfristig kann Wasserknappheit auftreten. Der Boden ist die meiste Zeit des Jahres ausreichend durchfeuchtet.
4	Sehr frisch, hangsickerfeucht	Keine Trockenphase mehr möglich; Hangwasserzufuhr überwiegt den Abfluss. Meist Unterhänge oder Grabeneinhänge.
5	Feucht	Feuchte bis nasse Standorte. Im Jahresdurchschnitt herrscht Wasserüberschuss; Trockenperioden kommen nicht vor. Meist Unterhänge oder Grabeneinhänge und im Bereich von fließendem und stauendem Grund- und Hangwasser.

Tabelle 25: Relief laut Österreichischer Waldinventur (vgl. Ledermann, 2007)

Code	Relief	Beschreibung
1	Oberhang und Rücken	In diese Gruppe gehören alle konvexen Geländeformen. Neben den eigentlichen Oberhängen und Rücken, Kuppen, Hangrippen, Grate oder konvexe Geländebrüche. Gekennzeichnet durch verstärkten Wasserabfluss, die Wasserversorgung ist unzureichend.
2	Mittelhang	Mittlerer Teil geneigter Flächen, meist stetiger Hangverlauf. Wasserzufluss und -abfluss sind ausgeglichen.
3	Unterhang	Konkave Oberflächenformen mit überwiegender Wasserzufuhr; meist der untere Abschnitt größerer, geneigter Hangflächen (Hangfuß). Im Zentrum liegen meist Nassgallen oder Quellen.
4	Grabeneinhang	Wesentliche Merkmale sind Beschattung durch den Gegenhang, ausgeglichene Temperaturverhältnisse, Luftruhe und hohe Luftfeuchtigkeit („Grabenklima“). Sonderfall des Unterhanges.
5	Talboden	Ebene Tallage, die so breit ist, dass kein Unterhangeinfluss mehr besteht. Entlang von Wasserläufen ist meist eine Bachau mit jungen Schwemmböden ausgebildet.
6	Ebene	Alle ebenen Oberflächenformen mit Ausnahme der Talböden. In diese Gruppe gehören vor allem Plateaus, Hangverebnungen, höher gelegene Terassen sowie breite Fluss- und Stromauen.
7	Mulde	Konkave Form mit meist rundem Grundriss und allseitig flach ansteigenden Rändern. Neigen häufig zur Ausbildung von Kaltluftseen, Forstlagen und Anmooren. Mulden liegen meist in ebenem oder flachwelligem Gelände.

Tabelle 26: Bodengruppen laut Österreichischer Waldinventur (vgl. Ledermann, 2007)

Code	Bodentyp
1	Rohböden und Ranker
2	Braunerde auf Hangkolluvien auf ärmerem Kristallin
3	Braunerde und Kolluvien auf basenreichen Kristallin und kalkbeeinflusste Braunerde
4	Semipodsol auf Kristallin
5	Klimabedingter Podsol
6	Substratbedingter Podsol
7	Substratbedingter Podsol mit erhöhter Wasserzufuhr
8	Leichte Braunerde und podsolige Braunerde auf Lockersedimenten
9	Bindige Braunerde und Parabraunerde auf Moränen, Geschiebe, Staublehm und tonhältigem Ausgangsmaterial
10	Braunerde und Parabraunerde auf Löß
11	Pseudogley auf Flysch, Werfener Schichten, Fleckenmergel und anderem tonhältigen, festen Grundgestein
12	Pseudogley auf Löß
13	Pseudogley auf sonstigen Lockersedimenten
14	Hangpseudogley auf Löß
15	Alte Verwitterungsdecken (Braunlehm, Rotlehm)
16	Tschernosem
17	Rendsina und Rohböden auf Kalk
18	Mischböden aus Rendsina und Terra fusca
19	Terra fusca und Kalksteinlehm
20	Grundwassergley
21	Schwemmböden und Bachauböden
22	Fluß- und Stromauböden
23	Anmoor
24	Niedermoor
25	Hochmoor
26	Kunstböden

Tabelle 27: Vegetationstypen laut Österreichischer Waldinventur (vgl. Ledermann, 2007)

Code	**Vegetationstyp**
1	Schattenkräutertypen
2	Mäßig frische Kräutertypen
3	Wärmeliebende Kräutertypen
4	Sauerkleetypen
5	Üppiger Astmoos-Heidelbeer-Drahtschmiele-Typ
6	Niedriger Astmoos-Heidelbeer-Drahtschmiele-Typ
7	Moostyp
8	Drahtschmielentyp
9	Heidelbeer-Preiselbeer-Trockentyp
10	Besenheidetyp (Calluna-Typ)
11	Torfmoos-Heidelbeer-Drahtschmiele-Typ
12	Vergrasungen
13	Verhagerungstyp
14	Subalpine Zwergsträucher
15	Erika-Typ (Schneeheidetyp)
16	Weidetypen
17	Vegetationstypen auf Extremstandorten (Felsen und Rücken)
18	Nassgallenvegetation
19	Hochstauden
20	Auwaldtypen