

## **DOKUMENTATION**

# **Datenmodelle der Österreichischen Waldinventur 2000/02**

T. GSCHWANTNER UND K. SCHADAUER

**Bundesamt und  
Forschungszentrum für Wald**

4

2004

**Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft  
Umwelt und Wasserwirtschaft**



**BFW-DOKUMENTATION 4/2004**  
Bundesamt und Forschungszentrum für Wald

---

**Datenmodelle der  
Österreichischen Waldinventur  
2000/02**

---

*Data Models of the  
Austrian National Forest Inventory  
2000/02*

T. GSCHWANTNER UND K. SCHADAUER

FDK 561.1:564:524.63:(436)



lebensministerium.at

BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT  
UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT

**Empfohlene Zitierung:**

Datenmodelle der Österreichischen Waldinventur 2000/02 / T. Gschwantner und K. Schadauer / BFW-Dokumentation; Schriftenreihe des Bundesamtes und Forschungszentrums für Wald, Wien, 2004, Nr. 4, 76 S.

ISSN 1811-3044

Copyright 2004 by

Bundesamt und Forschungszentrum für Wald

Für den Inhalt verantwortlich:

Dienststellenleiter Dipl.-Ing. Dr. Harald Mauser

Herstellung und Druck:

Bundesamt und Forschungszentrum für Wald

Seckendorff-Gudent Weg 8

A-1131 Wien

URL: <http://bfw.ac.at>

Bestellungen und Tauschverkehr:

Bundesamt und Forschungszentrum für Wald

Bibliothek

Seckendorff-Gudent Weg 8

A-1131 Wien

Tel. + 43-1-878 38 1216

Fax. + 43-1-878 38 1250

E-mail: [gudrun.schmidberger@bfw.gv.at](mailto:gudrun.schmidberger@bfw.gv.at)

Online Bestellungen: [http://bfw.ac.at/db/bibliothek\\_publicationen.bestellung](http://bfw.ac.at/db/bibliothek_publicationen.bestellung)

Nachdruck mit Quellenangabe gestattet

# Vorwort

Sehr geehrte Leserin, sehr geehrter Leser!

Mit der vorliegenden Nummer der „BFW-Dokumentation“ wollen wir Ihnen eine neue Publikationsreihe des Bundesamtes und Forschungszentrums für Wald vorstellen. In dieser sollen Zwischenberichte zu laufenden Projekten, Sammlungen umfangreicherer Datensätze und weitere Informationen wissenschaftlichen oder praxisorientierten Inhaltes präsentiert werden, die in dieser Ausführlichkeit nicht in anderen Publikationsreihen Platz finden. In der Regel sind diese Informationen für einen begrenzten Kreis von Interesse, daher wird die „BFW-Dokumentation“ nur in kleiner Auflage gedruckt. Sie ist aber auch über das Internet zugänglich.

Ich hoffe, dass wir mit dieser neuen Reihe eine hilfreiche Ergänzung zu den übrigen Publikationen des Bundesamtes und Forschungszentrums für Wald (z.B. BFW-Berichte, BFW-Praxisinformation) anbieten können.



Dipl. Ing. Dr. Harald Mauser

Leiter des BFW



## Kurzfassung

Die vorliegende Arbeit ist im Zuge der Auswertung der Österreichischen Waldinventur (ÖWI) 2000/02 entstanden und dokumentiert die für die Erstellung der Höhenzuwachsmodelle und *D03H*-Modelle wesentlichen Überlegungen und diesbezüglich durchgeführten Datenanalysen. Sie ist auch als Grundlage für die Modellformulierung und Weiterentwicklung der Datenmodelle nachfolgender Inventurperioden, sowie für weiterführende, im Zusammenhang mit der Höhenzuwachs- und *D03H*-Modellierung relevante Analysen am Datenmaterial der Österreichischen Waldinventur gedacht.

Ausgehend von Untersuchungen zur Datenstruktur, über die Darstellung verschiedener Ansätze von Höhenzuwachsmodellen und *D03H*-Modellen, wurden in den Voruntersuchungen verschiedene Modellvarianten getestet und die Erkenntnisse aus diesen Voruntersuchungen in die Formulierung der Datenmodelle der ÖWI 2000/02 einbezogen. Die zur Auswertung der ÖWI 2000/02 verwendeten Datenmodelle und alle für die Modellparametrisierung wesentlichen Aspekte sind im Kapitel 5 dargestellt und eingehend beschrieben. Für sämtliche Berechnungen der Voruntersuchungen und für die Parametrisierung der Datenmodelle wurde das Statistikprogramm SAS<sup>®</sup> verwendet.

## Danksagung

Bedanken möchten wir uns bei allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern am Institut für Waldinventur, die in die Felderhebungen eingebunden waren. Besonderer Dank gilt allen Kollegen, die an der Datenqualitätskontrolle mitgearbeitet haben, insbesondere den Herren Dipl. Ing. Richard Büchsenmeister und Dipl. Ing. Hubert Gugganig.

Bei Herrn Dr. Karl Gabler möchten wir uns für die Durchsicht dieser Arbeit, für seine konstruktive Kritik und Verbesserungsvorschläge bedanken.

Herrn Dr. Robert Hacker danken wir für seine hilfreiche Unterstützung bei der Klärung statistischer Fragen.

Bei Herrn Dr. Stefan Smidt bedanken wir uns für die Durchsicht des Manuskriptes und die nützlichen formalistischen Verbesserungsvorschläge.

Weiters bedanken wir uns bei Herrn Ing. Peter Winkelbauer für die Erstellung der Grafiken, und bei Herrn Ing. Heimo Matzik für die Gestaltung des Layouts.

# Abkürzungsverzeichnis

Kurzbezeichnung	Erklärung
$a, b, c, d$	Absolutglieder und Koeffizienten der $D03H$ -Modelle
$a, b_{i,i...1-8}$	Absolutglieder und Koeffizienten der Höhenzuwachsmodelle
$BHD$	Brusthöhdurchmesser in Dezimeter
$D03H$	Durchmesser in 3/10 der Baumhöhe (= „Oberer Durchmesser“) in Dezimeter
$D03H_{t_2 \text{ beob}} - D03H_{t_2 \text{ prog}}$	Modellresiduen: beobachteter $D03H_{t_2}$ minus prognostizierter $D03H_{t_2}$
$DatDiff$	Zeitdifferenz zwischen den Erhebungszeitpunkten $t_1$ und $t_2$ in Tagen
F bzw. F-Wert	Prüfgröße F des F-Tests
FG	Freiheitsgrade
$H$	Baumhöhe in Dezimeter
$id$	Brusthöhdurchmesserzuwachs in Dezimeter ( $id_{an}$ : mittlerer jährlicher Zuwachs des Brusthöhdurchmessers; $id_{t_2-t_1}$ : Brusthöhdurchmesserzuwachs zwischen den Erhebungszeitpunkten $t_1$ und $t_2$ ; $id_5$ : 5-jähriger Brusthöhdurchmesserzuwachs)
$ih$	Höhenzuwachs in Dezimeter ( $ih_{an}$ : mittlerer jährlicher Höhenzuwachs; $ih_{t_2-t_1}$ : Höhenzuwachs zwischen den Erhebungszeitpunkten $t_1$ und $t_2$ ; $ih_5$ : 5-jähriger Höhenzuwachs)
$ih_{an \text{ beob}} - ih_{an \text{ prog}}$	Modellresiduen: beobachteter $ih_{an}$ minus prognostizierter $ih_{an}$
$ih_{t_2-t_1 \text{ beob}} - ih_{t_2-t_1 \text{ prog}}$	Modellresiduen: beobachteter $ih_{t_2-t_1}$ minus prognostizierter $ih_{t_2-t_1}$
$K_1, K_2$	Koeffizienten ein und derselben Variable in zwei Modellen (s. Koeffizientenvergleich)
M	Modellansatz
max	Maximum des Brusthöhdurchmessers ( $D03H$ -Modell) in Dezimeter
MQ	Mittlere Abweichungsquadratsumme („Mean Square“)
$N$	Probestammzahl
ÖWI	Österreichische Waldinventur
p	Irrtumswahrscheinlichkeit
$R^2$	Bestimmtheitsmaß
$s_{12}$	Wurzel aus der Summe der quadrierten Standardfehler der Koeffizienten $K_1$ und $K_2$
SQ	Abweichungsquadratsumme („Sum of Squares“)
$t$ bzw. $t$ -Wert	Prüfgröße $t$ des $t$ -Tests
$t, t+5$	Erhebungszeitpunkt $t$ , Erhebungszeitpunkt $t$ plus 5 Jahre
$t_1, t_2$	Erhebungszeitpunkt $t_1$ , Erhebungszeitpunkt $t_2$
VIF	Variance Inflation Factor

# INHALT

Kurzfassung.....	I
Danksagung.....	I
Abkürzungsverzeichnis .....	II
1 Einleitung .....	1
2 Struktur der Inventurdaten .....	2
2.1 Messreihen .....	2
2.2 Ausgeschlossene Probestammdaten.....	6
2.3 Datenqualitätskontrolle .....	7
2.4 Länge der Zuwachszeiträume.....	7
3 Modellierungsansätze.....	9
3.1 Höhenzuwachsmodelle.....	9
3.2 <i>D03H</i> -Modell .....	11
4 Voruntersuchungen .....	14
4.1 Höhenzuwachsmodell .....	14
4.1.1 Länge des Zuwachszeitraumes.....	14
4.1.2 Modellierung mittlerer jährlicher Höhenzuwächse.....	17
4.1.3 Höhenzuwachsmodell mit Zeitdifferenz <i>DatDiff</i> als Erklärungsvariable .....	20
4.2 <i>D03H</i> – Modell.....	24
4.2.1 Vergleich der Modellansätze (9) und (11) .....	24
4.2.2 Vergleich der Prognosewerte von <i>D03H</i> -Modellen - Ansatz (11).....	30
5 Datenmodelle der ÖWI 2000/02 .....	33
5.1 Höhenzuwachsmodell .....	34
5.1.1 Datengrundlage .....	34
5.1.2 Modellparametrisierung .....	35
5.1.3 Koeffizienten.....	36
5.1.4 Residuenanalyse .....	38
5.2 <i>D03H</i> -Modell .....	48
5.2.1 Datengrundlage .....	48
5.2.2 Modellparametrisierung .....	50
5.2.3 Koeffizienten.....	54

5.2.4	Residuenanalyse .....	55
6	Zusammenfassung .....	67
7	Summary .....	69
8	Literatur .....	70
9	Abbildungs- und Tabellenverzeichnis.....	71

# 1 Einleitung

Die Baumhöhe  $H$  und der Durchmesser in  $3/10$  der Baumhöhe  $D03H$  wurden aufgrund des großen Arbeitsaufwandes nur zur Ersterhebung 1981/85 am gesamten Probestammkollektiv gemessen. In den Inventurperioden 1986/90, 1992/96 und 2000/02, erfolgten die Höhen- und  $D03H$ -Messungen an einer Substichprobe, deren Messdaten zur Parametrisierung statistischer Datenmodelle (Höhenzuwachsmodell,  $D03H$ -Modell) verwendet wurden. Mit diesen Modellen wurden die fehlenden Messwerte der Baumhöhe und des  $D03H$  für das nicht gemessene Probestammkollektiv prognostisch ermittelt. In weiterer Folge gehen die gemessenen und prognostisch ermittelten Baumhöhen und  $D03H$ s in die Volumsfunktionen der Österreichischen Waldinventur (BRAUN, 1969) ein.

SCHIELER (1997) stellte fest, dass sowohl das Höhenzuwachsmodell als auch das  $D03H$ -Modell für jede Beobachtungsperiode neu zu parametrisieren ist. Andernfalls ist – in Abhängigkeit von den Wachstumsbedingungen im Beobachtungszeitraum – mit einer Unter- oder Überschätzung der Höhenzuwächse und der  $D03H$ s zu rechnen.

KNIELING (1994) hat für die Daten der Inventurperiode 1986/90 ein Höhenzuwachsmodell für den 5-jährigen Höhenzuwachs entwickelt. Durch die Einführung eines Planungsjahres 1991 erhöhte sich die Periodenlänge von bisher fünf auf sechs Jahre, weshalb von SCHIELER (1997) ein 6-jähriger bzw. ein 11-jähriger Höhenzuwachs modelliert wurde.

Das  $D03H$ -Modell von KNIELING (1994) verwendet – in Anlehnung an BRAUN (1969) – das Produkt aus dem aktuellen Brusthöhendurchmesser  $BHD$  und dem Formquotienten vor fünf Jahren. Da die Residuen dieses Modellansatzes einen signifikanten Trend über dem Brusthöhendurchmesser aufwiesen, hat SCHIELER (1997) den bis dahin verwendeten multiplikativen Modellansatz in einen additiven Ansatz mit dem  $BHD$  zum Erhebungszeitpunkt  $t_2$  und dem Formquotienten zum Zeitpunkt  $t_1$  als Erklärungsvariablen abgeändert.

Mit der Inventurperiode 2000/02 wurden die bislang 5-jährigen auf 3-jährige Erhebungsperioden umgestellt. Aus dieser Umstellung resultieren unterschiedlich lange, 6- bis 8-jährige Zuwachszeiträume, die eine neuerliche Weiterentwicklung und Anpassung der Höhenzuwachsmodelle und  $D03H$ -Modelle an die geänderte Datenlage erforderte.

In der vorliegenden Arbeit werden die Überlegungen dokumentiert, die für die Formulierung und Auswahl der Datenmodelle der ÖWI 2000/02 entscheidend waren. Zum einen werden die Daten der Inventuren 1981/85, 1986/90, 1992/96 und 2000/02 einer strukturellen Analyse unterzogen. Zum anderen wurden in den Voruntersuchungen verschiedene Modellvarianten anhand der Daten der Baumart Fichte getestet. Danach sind die für die ÖWI 2000/02 verwendeten Höhenzuwachsmodelle und  $D03H$ -Modelle dargestellt.

## 2 Struktur der Inventurdaten

### 2.1 Messreihen

Auf den Probeflächen 00, 08, 16 und 24 des permanenten Stichprobenetzes der Österreichischen Waldinventur erfolgten die Höhenmessungen und die *D03H*-Messungen an einem im Laufe der Zeit unterschiedlich ausgewählten Probestammkollektiv. In den Inventurperioden 1981/85 und 1986/90 wurden im Rahmen einer Sondererhebung zusätzliche Höhen- und *D03H*-Messungen auf den Probeflächen 04 durchgeführt. Diese Daten wurden für die Modellbildung der aktuellen Inventurperiode 2000/02 nicht verwendet, weshalb im Folgenden nur die Höhen- und *D03H*-Messungen der Probeflächen 00, 08, 16 und 24 dargestellt sind. Aus den zu den vier Inventurperioden 1981/85, 1986/90, 1992/96 und 2000/02 auf den Probeflächen 00, 08, 16 und 24 durchgeführten Höhen- und *D03H*-Messungen (FBVA, 1981; FBVA, 1986; FBVA, 1992; FBVA, 2001) lassen sich 14 Messreihenkollektive bilden (Tabelle 2.1). Die Einwüchse der Inventurperiode 2000/02 sind in Tabelle 2.1 nicht enthalten.

**Tabelle 2.1:** Die Messreihenkollektive der Höhen- und *D03H*-Messung im Datenmaterial der permanenten Österreichischen Waldinventur; ja...Messung durchgeführt, nein...keine Messung; graue Felder...Baum war zur betreffenden Inventurperiode noch kein Probestamm; grüne Felder...für die Voruntersuchungen verwendete Messreihenkollektive; schraffierte Felder...für die Datenmodelle der ÖWI 2000/02 verwendete Messwertpaare.

Kollektiv	Inventurperiode			
	1981/85	1986/90	1992/96	2000/02
1	ja	nein	nein	nein
2	ja	ja	nein	nein
3	ja	nein	ja	nein
4	ja	nein	nein	ja
5	ja	ja	ja	nein
6	ja	ja	nein	ja
7	ja	nein	ja	ja
8	ja	ja	ja	ja
9		ja	nein	nein
10		ja	ja	nein
11		ja	nein	ja
12		ja	ja	ja
13			ja	nein
14			ja	ja

Die Probestammzahlen der 14 Messreihenkollektive sind in den Tabellen 2.2 und 2.3 nach Baumarten gegliedert dargestellt. Einige Baumarten wurden zu Gruppen zusammengefasst.

Dabei wurde die von SCHIELER (1997) zur Parametrisierung der Höhenzuwachsmodelle verwendete Baumartengruppierung verwendet.

Da für die Parametrisierung der Datenmodelle zwei zu verschiedenen Inventurperioden durchgeführte Höhen- und *D03H*-Messungen vorliegen müssen, kann nur ein Teil des in den Tabellen 2.1, 2.2 und 2.3 dargestellten Datenmaterials verwendet werden. Für die Voruntersuchungen zu den Höhenzuwachs- und *D03H*-Modellen wurden die in grüner Farbe gekennzeichneten Messreihenkollektive 4, 6, 7, 8, 11, 12 und 14 verwendet, also jene, für die in der Inventurperiode 2000/02 und in zumindest einer der vorangegangenen Inventurperioden 1981/85, 1986/90 oder 1992/96 eine Messung vorlag. Für die Parametrisierung der Höhenzuwachsmodelle und der *D03H*-Modelle der ÖWI 2000/02 wurden allerdings nur die Baumhöhen- und *D03H*-Messungen der Inventurperioden 1992/96 und 2000/02 in den Messreihenkollektiven 7, 8, 12 und 14 herangezogen, zumal die Veränderung des Vorrats, Zuwachses etc. gegenüber der vorangegangenen Erhebungsperiode 1992/96 festgestellt werden sollte.

2 Struktur der Inventurdaten

Tabelle 2.2: Probestammzahlen der 14 Kollektive an Höhenmessreihen nach Baumarten getrennt; grüne Felder...für die Voruntersuchungen verwendete Messreihen; schraffierte Felder...für die Datenmodelle der ÖWI 2000/02 verwendete Messreihenkollektive.

Kollektiv	Fichte*	Tanne	Lärche	W.Kiefer*	S.Kiefer	Zirbe	Buche*	Eiche*	H.Buche	Esche*	Ahorn	Birke	S.Erle	W.Erle	Pappel*	Weide	Summe
1	14914	1200	2029	2175	369	80	3158	590	244	398	409	198	108	83	34	17	26006
2	2956	146	241	452	57	83	300	128	21	88	39	35	34	19	69	17	4685
3	356	10	13	25	2	1	62	7	10	9	3	13	2	5	4	1	523
4	1494	145	253	201	18	21	331	68	32	41	50	25	13	20	11	6	2729
5	807	48	89	113	17	16	119	80	15	42	19	18	3	4	15	7	1412
6	3290	191	344	484	50	59	506	135	47	108	67	44	27	19	31	7	5409
7	20	0	1	1	0	0	7	1	2	2	0	0	0	3	0	1	38
8	1355	182	348	388	69	43	576	153	51	98	72	39	28	16	17	1	4436
9	983	34	61	79	5	2	130	40	19	33	21	14	23	8	19	2	1473
10	1356	48	105	126	9	10	154	61	24	40	26	26	26	19	18	7	2055
11	801	25	67	70	5	5	124	29	13	34	21	13	17	10	11	4	1249
12	1439	54	128	139	10	13	239	64	28	72	36	28	26	25	29	13	2303
13	1450	43	79	81	9	4	214	83	85	119	29	25	35	64	30	20	2370
14	4950	245	375	406	44	54	756	250	130	291	105	83	80	89	64	44	7946
Summe	37151	2371	4133	4720	664	371	6676	1689	721	1375	897	561	422	384	352	147	62634

2 Struktur der Inventurdaten

Tabelle 2.3: Probestammzahlen der 14 Kollektive an D03H-Messreihen nach Baumarten getrennt; grüne Felder...für die Voruntersuchungen verwendete Messreihen; schraffierte Felder...für die Datenmodelle der ÖWI 2000/02 verwendete Messreihenkollektive.

Kollektiv	Fichte*	Tanne	Lärche	W.Kiefer*	S.Kiefer	Zirbe	Buche*	Eiche*	H.Buche	Esche*	Ahorn	Birke	S.Erle	W.Erle	Pappel*	Weide	Summe
1	17112	1344	2268	2662	414	114	3123	638	218	420	418	203	138	85	55	27	29239
2	207	24	21	34	6	73	331	106	37	71	36	6	9	10	58	14	1043
3	677	49	84	120	15	5	121	29	12	26	19	13	1	3	6	0	1180
4	3314	222	470	518	58	32	524	126	33	76	84	39	29	10	16	4	5555
5	7	0	3	3	1	12	6	47	4	13	2	3	1	1	8	2	113
6	25	2	4	9	0	29	6	25	7	7	1	0	3	1	9	1	129
7	2082	163	318	360	64	16	397	106	21	59	52	31	24	7	4	0	3704
8	4	1	5	0	0	17	6	21	3	6	2	1	1	3	5	1	76
9	808	34	55	74	5	1	83	37	20	25	19	9	20	4	16	3	1213
10	1005	43	85	127	10	10	114	49	13	25	19	17	15	9	17	5	1563
11	494	23	50	55	5	5	68	22	7	17	14	11	7	5	9	3	795
12	845	48	105	92	9	12	153	44	8	41	20	17	11	9	17	1	1432
13	1160	45	68	76	6	3	156	77	31	88	19	18	28	30	33	17	1855
14	3692	221	325	347	40	26	462	171	48	150	63	45	54	35	43	20	5742
Summe	31432	2219	3861	4477	633	355	5550	1498	462	1024	768	413	341	212	296	98	53639

## 2.2 Ausgeschlossene Probestammdaten

Die Messdaten jener Probestämme, die Dürrlinge sind oder Wipfelbrüche aufweisen, wurden aus der Datengrundlage ausgeschlossen. Aus der Datenbasis des *D03H*-Modells mussten außerdem die Probestämme, die einen Zwiesel aufweisen, entfernt werden. In Tabelle 2.4 ist die Gesamtzahl der Probestämme  $N_{gesamt}$ , die Anzahl an Probestämmen mit Wipfelbrüchen  $N_{Wipfelbr.}$ , die Anzahl an Dürrlingen  $N_{Dürrling}$  in den Kollektiven 4, 6, 7, 8, 11, 12 und 14 der Höhen- und *D03H*-Messreihen ersichtlich. Für die *D03H*-Messreihen sind zusätzlich die Anzahlen gezwieselter Probestämme  $N_{Zwiesel}$  angegeben. Ebenfalls zu entnehmen ist die Anzahl der Probestämme  $N$ , die weder dürr sind, noch einen Wipfelbruch aufweisen, bzw. nicht gezwieselt sind. Dazu ist anzumerken, dass Bäume mit Wipfelbrüchen gleichzeitig dürr sein oder einen Zwiesel aufweisen können, wodurch sich

$$N \neq N_{gesamt} - N_{Wipfelbr.} - N_{Dürrling} \quad (1)$$

bzw.

$$N \neq N_{gesamt} - N_{Wipfelbr.} - N_{Dürrling} - N_{Zwiesel} \quad (2)$$

ergibt.

**Tabelle 2.4:** Die Gesamtzahl an Probestämmen  $N_{gesamt}$ , die Anzahl an Probestämmen mit Wipfelbrüchen  $N_{Wipfelbr.}$ , die Anzahl von Dürrlingen  $N_{Dürrling}$  und die Anzahl von Probestämmen mit Zwiesel  $N_{Zwiesel}$  in den verwendeten Höhen- und *D03H*-Messreihenkollektiven.  $N$  entspricht der Anzahl an Probestämmen, die weder dürr sind noch einen Wipfelbruch oder eine Zwieselung aufweisen.

Kollektiv	Höhenmessreihe				D03H-Messreihe				
	$N_{gesamt}$	$N_{Wipfelbr.}$	$N_{Dürrling}$	$N$	$N_{gesamt}$	$N_{Wipfelbr.}$	$N_{Dürrling}$	$N_{Zwiesel}$	$N$
<b>4</b>	2729	606	627	1853	5555	717	121	34	4725
<b>6</b>	5409	711	199	4605	129	13	1	6	110
<b>7</b>	38	9	6	27	3704	557	44	3	3124
<b>8</b>	4436	672	104	3720	76	8	2	0	67
<b>11</b>	1249	131	38	1093	795	83	5	3	707
<b>12</b>	2303	224	54	2052	1432	151	7	1	1278
<b>14</b>	7946	646	111	7226	5742	497	34	3	5216
<b>Gesamt</b>	24110	2999	1139	20576	17433	2026	214	50	15227

## 2.3 Datenqualitätskontrolle

Das Datenmaterial der Österreichischen Waldinventur wird standardmäßig einer eingehenden Datenkontrolle unterzogen. Diese Routinekontrollen beinhalten eine Reihe von Fehlerabfragen, die auf die gesamten Inventurdaten angewendet werden. Der nachfolgend beschriebene, für die Höhenzuwachsmodelle und *D03H*-Modelle relevante Teil der Datenkontrolle ist nur ein kleiner Teil der standardmäßig durchgeführten Datenqualitätskontrolle und –sicherung.

Die Messwerte wurden bereits im Zuge der Datenerhebungen im Wald einer einfachen Plausibilitätskontrolle unterzogen. Für die nach Abschluss der Erhebungsarbeiten durchgeführte Datenqualitätskontrolle wurden von den Messwerten, die in die Höhenzuwachsmodelle und *D03H*-Modelle als Variable eingehen (d.s. *BHD*, *H*, *D03H*), die Häufigkeitsverteilungen erzeugt. Zudem wurden von den *BHD*- und Höhenzuwachsen und von den *D03H*-Änderungen Häufigkeitsverteilungen erstellt. Von den beiden Randbereichen dieser Häufigkeitsverteilungen wurde die gleiche Anzahl an Werten (je nach Variable 100 - 150) ausgewählt und wie unten angeführt einer Überprüfung unterzogen. Eine Winsorisierung der Häufigkeitsverteilungen wurde nicht vorgenommen. Weiters wurden die Messwerte gegeneinander aufgetragen, also z.B.  $BHD_{t1}$  versus  $BHD_{t2}$ ,  $H_{t1}$  versus  $H_{t2}$ ,  $D03H_{t1}$  versus  $D03H_{t2}$ ,  $H_{t1}$  versus  $BHD_{t1}$ ,  $D03H_{t1}$  versus  $BHD_{t1}$ , um Probestämme mit einer offensichtlich ungewöhnlichen Relation der genannten Messwerte identifizieren zu können. Da sich gezeigt hat, dass baumartenspezifisch ungewöhnliche Werte unerkant bleiben können, musste dieselbe Vorgangsweise auch auf die einzelnen Baumarten bzw. Baumartengruppen angewendet werden. Die so selektierten ungewöhnlichen Messwerte wurden einer eingehenden gutachtlichen Überprüfung (Vergleich mit den Aufzeichnungen in den Feldmanualen, Vergleich mit früheren Messwerten, Vergleich mit Prognosewerten aus statistischen Modellen) unterzogen und durch einen verbesserten Wert ersetzt. In der Datengrundlage des Höhenzuwachsmodells wurde von 29 Probestämmen der *BHD* und von 66 Probestämmen die Höhe gutachtlich korrigiert. Das entspricht 0,22 % bzw. 0,51 % der Probestammzahl in der Datengrundlage des Höhenzuwachsmodells. In der Datengrundlage des *D03H*-Modells wurden die Messwerte von 21 *BHD*s, 115 *D03H*s und 47 Höhen durch gutachtlich korrigierte Werte ersetzt, was 0,21 %, 1,14 % und 0,46 % der Probestammzahl ausmacht.

## 2.4 Länge der Zuwachszeiträume

Durch die Umstellung der bisher 5-jährigen auf 3-jährige Erhebungsperioden ergab sich eine für die Modellbildung entscheidende Veränderung im Datenmaterial. Bisher wurden die Messungen zu den Erhebungszeitpunkten  $t1$  und  $t2$  in konstanten, 5- oder 6-jährigen Zeitabständen, durchgeführt. Mit der Inventurperiode 2000/02 änderte sich dieser Sachverhalt, sodass je nach Erhebungsperiode zwischen den Höhen- und *D03H*-Messungen 6 – 8 Jahre, 12 – 14 Jahre oder 17 – 19 Jahre liegen können (Abbildung 2.1).

## 2 Struktur der Inventurdaten

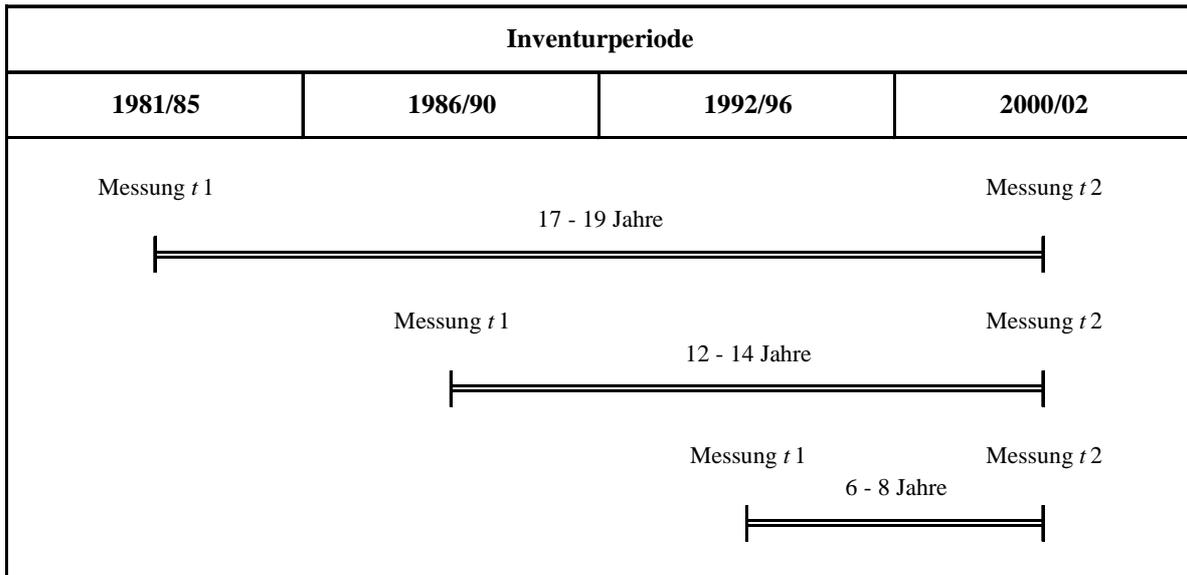


Abbildung 2.1: Zeitabstände zwischen der Inventurperiode 2000/02 und den vorangegangenen Erhebungen der permanenten Waldinventur 1981/85, 1986/90 und 1992/96.

## 3 Modellierungsansätze

### 3.1 Höhenzuwachsmodelle

Aufgrund der - durch die Umstellung auf eine dreijährige Erhebungsperiode - entstandenen wechselnden Länge der Zuwachszeiträume (6 – 8 Jahre) zwischen den Erhebungszeitpunkten  $t_1$  und  $t_2$ , musste von der bisherigen Vorgangsweise, 5-jährige Höhenzuwächse (KNIELING, 1994) bzw. 6- oder 11-jährige Höhenzuwächse (SCHIELER, 1997) zu modellieren, abgegangen werden. Aus dieser besonderen Datenlage ergeben sich drei mögliche Modellierungsansätze. Entweder werden

- mittlere jährliche Höhenzuwächse  $ih_{an}$  modelliert

oder

- es wird die Zeitdifferenz  $DatDiff$  zwischen aufeinander folgenden Höhenmessungen als zusätzliche Erklärungsvariable in das Höhenzuwachsmodell einbezogen

oder

- es werden für jeden Zeitabstand zwischen aufeinander folgenden Höhenmessungen separate Modelle, also 19-, 18-, 17-, 14-, 13-, 12-, 8-, 7- und 6-jährige Höhenzuwachsmodelle, parametrisiert.

Der letztgenannte Ansatz kann von vornherein ausgeschlossen werden, da für die meisten Baumarten keine ausreichende zahlenmäßige Besetzung dieser Modelle vorliegt.

KNIELING (1994) hat an den Daten der Österreichischen Waldinventur 1981/85 und der ersten Wiederholungsaufnahme 1986/90 ein Modell für den 5-jährigen Höhenzuwachs  $ih_5$  entwickelt. Aufgrund der von KNIELING (1994) durchgeführten Korrelationsanalysen kommen für die Beschreibung des fünfjährigen Höhenzuwachses  $ih_5$  die in Gleichung (3) enthaltenen Erklärungsvariablen in Betracht:

$$\begin{aligned}
 ih_5 = a + b_1 * BHD_{t_1} + b_2 * H_{t_1} + b_3 * \frac{1}{BHD_{t_1}} + b_4 * \frac{1}{H_{t_1}} + b_5 * id_5 + \\
 b_6 * \frac{id_5}{BHD_{t_1}} + b_7 * \frac{id_5}{H_{t_1}}
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

$BHD_{t_1}$  ist der Brusthöhendurchmesser zum Messzeitpunkt  $t_1$  (in dm),  $H_{t_1}$  die Baumhöhe zum Messzeitpunkt  $t_1$  (in dm), und  $id_5$  der fünfjährige Zuwachs des Brusthöhendurchmessers zwischen den Messungen zu  $t_1$  und  $t_2$  (in dm). Modelliert man - wie es die aktuelle Datenlage

erfordert - statt des fünfjährigen einen mittleren jährlichen Höhenzuwachs  $ih_{an}$  (dm), stellt sich das Höhenzuwachsmo­dell (3) in seiner abgewandelten Form als

$$ih_{an} = a + b_1 * BHD_{t1} + b_2 * H_{t1} + b_3 * \frac{1}{BHD_{t1}} + b_4 * \frac{1}{H_{t1}} + b_5 * id_{an} + b_6 * \frac{id_{an}}{BHD_{t1}} + b_7 * \frac{id_{an}}{H_{t1}} \quad (4)$$

dar, wobei  $BHD_{t1}$  wieder der Brusthö­hendurchmesser (in dm) zu  $t1$ ,  $H_{t1}$  die Baumhöhe (in dm) zu  $t1$ , und  $id_{an}$  der mittlere jährliche Brusthö­hendurchmesserzuwachs (in dm) zwischen den Messzeitpunkten  $t1$  und  $t2$ , ist.

Für die Berechnung des mittleren jährlichen Höhenzuwachses  $ih_{an}$  und des mittleren jährlichen Brusthö­hendurchmesserzuwachses  $id_{an}$  wäre es nahe liegend, den zwischen den Messzeitpunkten  $t1$  und  $t2$  geleisteten Zuwachs durch die Anzahl der im Zuwachszeitraum verstrichenen Jahre zu dividieren. Nach GSCHWANTNER (2004) erfolgen jedoch die Messungen zu  $t1$  und  $t2$  nur an etwa 50 % der Probestämme im selben Monat. An den restlichen 50 % der Probestämme werden die Höhenmessungen zu einem, im Vergleich zur vorangegangenen Messung zu  $t1$ , früheren oder späteren Monat durchgeführt. Deshalb ist es sinnvoller, den Höhenzuwachs mit dem genauen Zeitabstand  $DatDiff$ , der Zeitdifferenz zwischen den Messungen zu  $t1$  und  $t2$  in Tagen, zu gewichten. Somit errechnet sich der mittlere jährliche Höhenzuwachs  $ih_{an}$  als

$$ih_{an} = \frac{H_{t2} - H_{t1}}{DatDiff} * 365,25 \quad (5)$$

und der mittlere jährliche Durchmesserzuwachs  $id_{an}$  als

$$id_{an} = \frac{BHD_{t2} - BHD_{t1}}{DatDiff} * 365,25 \quad (6)$$

Eine zweite Möglichkeit, den unterschiedlich langen 6 – 8 jährigen Zuwachszeiträumen im Modell Rechnung zu tragen, besteht darin, dass man die Zeitdifferenz  $DatDiff$  zwischen den Messzeitpunkten  $t1$  und  $t2$  als zusätzliche Erklärungsvariable in das Höhenzuwachsmo­dell einbezieht. Der Modellansatz mit den von KNIELING (1994) vorgeschlagenen Erklärungsvariablen stellt sich dann dementsprechend modifiziert, folgendermaßen dar:

$$ih_{t_2-t_1} = a + b_1 * BHD_{t_1} + b_2 * H_{t_1} + b_3 * \frac{1}{BHD_{t_1}} + b_4 * \frac{1}{H_{t_1}} + b_5 * id_{t_2-t_1} + b_6 * \frac{id_{t_2-t_1}}{BHD_{t_1}} + b_7 * \frac{id_{t_2-t_1}}{H_{t_1}} + b_8 * DatDiff \quad (7)$$

$ih_{t_2-t_1}$  ist der Höhenzuwachs zwischen den Messzeitpunkten  $t_1$  und  $t_2$  (in dm),  $BHD_{t_1}$  und  $H_{t_1}$  wieder der Brusthöhendurchmesser (in dm) und die Baumhöhe (in dm) zu  $t_1$ ,  $id_{t_2-t_1}$  der Brusthöhendurchmesserzuwachs (in dm) zwischen  $t_1$  und  $t_2$ , und  $DatDiff$  die Zeitdifferenz zwischen Messzeitpunkten  $t_1$  und  $t_2$  in Tagen. Besonders darauf hinzuweisen ist, dass in die Modellbeziehung (7) die tatsächlich zwischen den Zeitpunkten  $t_1$  und  $t_2$  geleisteten Höhenzuwächse  $ih_{t_2-t_1}$  und Durchmesserzuwächse  $id_{t_2-t_1}$  - ungeachtet der Länge des Zuwachszeitraumes - eingehen.

### 3.2 D03H-Modell

Veränderungen des oberen Durchmessers  $D03H$  entstehen einerseits durch das Dickenwachstum, andererseits durch die vom Höhenwachstum bestimmte Verschiebung des  $D03H$ s am Stamm. SCHIELER (1997) hat drei mögliche Ansätze für die Entwicklung eines  $D03H$ -Modells verglichen:

In ein  $D03H$  – Veränderungsmodell müssen die Baumhöhen zu den Zeitpunkten  $t_1$  und  $t_2$  oder der Höhenzuwachs als Erklärungsvariable eingehen. Baumhöhen und somit auch Höhenzuwächse können jedoch nur mit sehr geringer Messgenauigkeit bestimmt werden, weshalb dieser Modellansatz als nicht zielführend erachtet werden kann.

Ein weiterer möglicher Modellansatz wäre die direkte Schätzung des  $D03H$  aus aktuellen Messwerten der Variablen  $BHD$  und Baumhöhe  $H$ , oder nur des  $BHD$ . Das würde aber bedeuten, dass Bäume mit gleichem Wertepaar von  $BHD$  und  $H$  bzw. gleichem  $BHD$  den selben  $D03H$  und somit den gleichen unechten Formquotienten erhalten würden, wodurch die Betrachtung des  $D03H$  in den Formzahlfunktionen nicht mehr nötig wäre.

Für alle bisher in der Österreichischen Waldinventur zum Einsatz gekommenen  $D03H$ -Modelle wurden Ansätze verwendet, durch die eine direkte Schätzung des  $D03H$  aus Messwerten zu  $t_1$  und  $t_2$  erfolgt. Neben den Messwerten selbst wurden auch abgeleitete Erklärungsvariable verwendet.

KNIELING (1994) wählte in Anlehnung an BRAUN (1969) folgende Modellbeziehung:

$$D03H_{t+5} = a + b * BHD_{t+5} * \frac{D03H_t}{BHD_t} \quad (8)$$

$BHD_t$  und  $D03H_t$  sind der Brusthöhendurchmesser und der obere Durchmesser zum Zeitpunkt  $t$ , der  $D03H_{t+5}$  und der  $BHD_{t+5}$  die Größen dieser Variablen nach Ablauf von fünf Jahren. Eine Überprüfung dieses Modellansatzes durch SCHIELER (1997) ergab, dass die berechneten oberen Durchmesser  $D03H_{t+5}$  einen Trend beinhalten, wodurch im unteren Brusthöhendurchmesserbereich die  $D03Hs$  über-, im oberen  $BHD$ -Bereich unterschätzt werden. Deshalb wandelte SCHIELER (1997) den ursprünglichen Modellansatz (8) wie folgt um:

$$D03H_{t_2} = a + b * BHD_{t_2} + d * \frac{D03H_{t_1}}{BHD_{t_1}} \quad (9)$$

$BHD_{t_1}$  und  $D03H_{t_1}$  sind der Brusthöhendurchmesser und der  $D03H$  zum Zeitpunkt  $t_1$ ,  $BHD_{t_2}$  und  $D03H_{t_2}$  die ebensolchen zum Zeitpunkt  $t_2$ . Da die Residuen dieses modifizierten Modells für die Baumarten Fichte, Tanne, Lärche und Weißkiefer über dem  $BHD_{t_2}$  im Bereich der stärkeren Durchmesser ( $BHD > 5,0$  dm) eine deutliche Asymmetrie, die auf eine Überschätzung des  $D03H$  in diesem Durchmesserbereich hinweist, erkennen lassen, hat SCHIELER (1997) den Modellansatz (9) für die genannten Baumarten abgeändert und einen zusätzlichen quadratischen  $BHD$ -Term aufgenommen, sodass sich die Funktion

$$D03H_{t_2} = a + b * BHD_{t_2} + c * BHD_{t_2}^2 + d * \frac{D03H_{t_1}}{BHD_{t_1}} \quad (10)$$

ergibt. Zwischen den Variablen  $BHD_{t_2}$  und  $BHD_{t_2}^2$  besteht naturgemäß eine hohe Interkorrelation, sodass der üblicherweise verwendete Schwellenwert von Variance Inflation Factor  $< 5$  bzw. der Toleranz  $< 0,2$  (VAN LAAR, 1991) überschritten wird. Deshalb hat SCHIELER (1997) den Modellansatz (10) in Anlehnung an MONSERUD und STERBA (1996) in

$$D03H_{t_2} = a + c * (BHD_{t_2} - \max)^2 + d * \frac{D03H_{t_1}}{BHD_{t_1}} \quad (11)$$

umgeformt. Der Ausdruck  $\max$  ist das Maximum von Funktion (10) über dem  $BHD_{t_2}$ . Für die Bestimmung von  $\max$  müssen zuerst die Koeffizienten der Funktion (10) geschätzt werden. Danach wird die erste partielle Ableitung nach  $BHD_{t_2}$  gebildet und null gesetzt, woraus sich das Maximum dann als

$$\max = \frac{-b}{2 * c} \quad (12)$$

errechnet. Der Wert von  $\max$  kann anschließend in die Modellbeziehung (11) eingesetzt und die Koeffizienten  $a$ ,  $c$ , und  $d$  regressionsanalytisch geschätzt werden.

Schlussendlich war zu klären, wie die durch die Umstellung auf eine dreijährige Erhebungsperiode entstandenen unterschiedlich langen Zeiträume zwischen den Erhebungen zu  $t_1$  und  $t_2$  zu behandeln sind. Da der Verlauf des Zuwachses entlang der Baumhöhe von verschiedenen Faktoren wie Witterung, Bestandesbehandlung, Änderung der soziologischen Stellung während der Zuwachsperiode etc. beeinflusst wird (STERBA, 1981), kann man davon ausgehen, dass durch die Verwendung der Messdaten  $BHD_{t_1}$ ,  $D03H_{t_1}$ ,  $BHD_{t_2}$  und  $D03H_{t_2}$  von unterschiedlich langen, 6- bis 8-jährigen Zuwachszeiträumen, ein zeitlicher Effekt nicht auszuschließen ist. Eine Möglichkeit besteht darin, die Zeitdifferenz  $DatDiff$  zwischen den Messungen zu  $t_1$  und  $t_2$  in die Modelle einzubeziehen. Da die Zeitdifferenz  $DatDiff$  jedoch nicht signifikant ( $p > 0,05$ ) in die  $D03H$ -Modelle einging, wurden die Modellbeziehungen (9) und (11) analog zu SCHIELER (1997) verwendet. Die 6- bis 8-jährigen Zuwachszeiträume sollten eine geringfügige Erhöhung der Varianz zur Folge haben. Im Vergleich zu den  $D03H$ -Modellen von KNIELING (1994) und SCHIELER (1997) müssten die  $D03H$ -Modelle der ÖWI 2000/02 also etwas niedrigere Bestimmtheitsmaße aufweisen.

## 4 Voruntersuchungen

### 4.1 Höhenzuwachsmodell

Infolge des großen Höhenmessfehlers weisen die Höhenzuwachsmodelle von KNIELING (1994) und SCHIELER (1997) geringe Bestimmtheitsmaße auf. Um eine Verbesserung des erklärbaren Varianzanteils zu erreichen, wurde in den Voruntersuchungen eine möglichst umfangreiche Datengrundlage, also alle Probestämme verwendet, für die in der Inventurperiode 2000/02 und in einer der vorangegangenen Erhebungsperioden 1981/85, 1986/90 oder 1992/96 Höhenmessungen vorliegen. Das entspricht den Messreihenkollektiven 4, 6, 7, 8, 11, 12 und 14 aus Tabelle 2.1. Weiters wurde durch die Voruntersuchungen geklärt, welcher der beiden Modellansätze (4) oder (7) für die vorliegende Datengrundlage besser geeignet ist. Zudem war es von Interesse, ob sich Probestämme, die seit der Ersterhebung 1981/85 erhoben werden, von jenen, die erst zu einer späteren Inventurperiode 1986/90 oder 1992/96 als Einwüchse in das Probestammkollektiv aufgenommen wurden, hinsichtlich des Höhenzuwachses unterscheiden. Für die Voruntersuchungen wurden nur die Daten der Fichte verwendet.

#### 4.1.1 Länge des Zuwachszeitraumes

Aus den Messreihenkollektiven 4, 6, 7, 8, 11, 12 und 14 lassen sich die Höhenzuwächse entweder aus zeitlich möglichst weit auseinander liegenden Messwertpaaren oder aus zeitlich möglichst eng beisammen liegenden Messwertpaaren berechnen. Für die Fichte ist die zahlenmäßige Besetzung der möglichst weit auseinander liegenden Messwertpaare in Abbildung 4.1 dargestellt. Demnach erfolgte die erste Höhenmessung an 5909 Fichten in der Periode 1981/85, 1961 Fichten sind in der Periode 1986/90 eingewachsen und somit deren Höhe zum ersten Mal gemessen worden, und weitere 4523 Fichten wurden in der Periode 1992/96 zum ersten Mal erhoben. Die letzte Messung fand immer 2000/02 statt.

#### 4 Voruntersuchungen

Inventurperiode				Kollektiv	N
1981/85	1986/90	1992/96	2000/02		
				4 + 6 + 7 + 8	5909
				11 + 12	1961
				14	4523

**Abbildung 4.1:** Die Anzahl an Fichten ( $N$ ) in den Messreihenkollektiven 4, 6, 7, 8, 11, 12 und 14 mit zeitlich möglichst weit auseinander liegenden Höhenmessungen.

Die in Abbildung 4.1 dargestellten Probestammkollektive sind in Tabelle 4.1 durch die Mittelwerte und Standardabweichungen des Brusthöhendurchmessers  $BHD_{t1}$ , der Baumhöhe  $H_{t1}$ , des mittleren jährlichen Durchmesserzuwachses  $id_{an}$  und des mittleren jährlichen Höhenzuwachses  $ih_{an}$  näher beschrieben. Daraus geht hervor, dass jene Fichten, die seit der Ersterhebung 1981/85 erhoben werden (Kollektiv 4 + 6 + 7 + 8), einen größeren mittleren Brusthöhendurchmesser, eine größere mittlere Höhe, aber einen geringeren Durchmesserzuwachs und einen geringeren Höhenzuwachs als die eingewachsenen Fichten der Perioden 1986/90 (Kollektiv 11 + 12) und 1992/96 (Kollektiv 14) aufweisen.

#### 4 Voruntersuchungen

**Tabelle 4.1:** Mittelwerte von Brusthöhdurchmesser  $BHD_{t1}$ , Baumhöhe  $H_{t1}$ , Durchmesserzuwachs  $id_{an}$  und Höhenzuwachs  $ih_{an}$  und deren Standardabweichungen (in Klammern) der Fichten bei zeitlich möglichst weit auseinander liegenden Höhenmessungen (Einheit: Dezimeter).  $t_1$ ...Erhebungszeitpunkt  $t_1$ ,  $t_2$ ...Erhebungszeitpunkt  $t_2$ ,  $N$ ...Anzahl an Fichten im jeweiligen Kollektiv.

Kollektiv		4 + 6 + 7 + 8	11 + 12	14	Gesamt
Messung	$t_1$	1981/85	1986/90	1992/96	1981/85, 1986/90, 1992/96
	$t_2$	2000/02	2000/02	2000/02	2000/02
$N$		5909	1961	4523	12393
Mittelwert	$BHD_{t1}$	3,178 (1,607)	2,258 (1,565)	2,445 (1,500)	2,765 (1,612)
	$H_{t1}$	206,29 (84,52)	155,81 (94,35)	173,71 (90,77)	186,41 (90,64)
	$id_{an}$	0,040 (0,024)	0,050 (0,029)	0,051 (0,033)	0,045 (0,029)
	$ih_{an}$	2,51 (1,71)	3,71 (2,12)	3,97 (2,69)	3,24 (2,29)

Verwendet man zur Berechnung des Höhenzuwachses aus den Messreihenkollektiven 4, 6, 7, 8, 11, 12 und 14 (Tabelle 2.1) hingegen die kürzestmöglich beisammen liegenden Höhenmessungen, stellt sich die zahlenmäßige Besetzung der Messwertpaare gemäß Abbildung 4.2 dar.

Inventurperiode				Kollektiv	$N$
1981/85	1986/90	1992/96	2000/02		
				4 + 6 + 7 + 8	1075
				11 + 12	3515
				14	7803

**Abbildung 4.2:** Die Anzahl an Fichten ( $N$ ) in den Messreihenkollektiven 4, 6, 7, 8, 11, 12 und 14 mit zeitlich möglichst eng beisammen liegenden Höhenmessungen.

In Tabelle 4.2 sind wieder die in Abbildung 4.2 dargestellten Probestammkollektive durch deren mittleren Brusthöhdurchmesser  $BHD_{t1}$ , der mittleren Baumhöhe  $H_{t1}$ , des

durchschnittlichen jährlichen Durchmesserzuwachses  $id_{an}$ , und des durchschnittlichen jährlichen Höhenzuwachses  $ih_{an}$  beschrieben. In Klammern sind die Standardabweichungen der Mittelwerte ersichtlich. Hier zeigt sich, dass zwischen jenen Probestämmen, die seit 1981/85 erhoben werden (Kollektiv 4 + 6 + 7 + 8) und jenen, die 1986/90 als Einwüchse ins Probestammkollektiv hinzugekommen sind (Kollektiv 11 + 12), keine allzu großen Unterschiede hinsichtlich des Brusthöhendurchmessers, der Höhe und des mittleren jährlichen *BHD*-Zuwachses festzustellen sind. Wohl aber unterscheiden sich die Einwüchse der Inventurperiode 1992/96 (Kollektiv 14) von den Einwüchsen der Periode 1986/90 (Kollektiv 11 + 12) und jenen Probestämmen, die seit 1981/85 erhoben werden (Kollektiv 4 + 6 + 7 + 8).

**Tabelle 4.2: Mittelwerte des Brusthöhendurchmessers  $BHD_{t1}$ , der Baumhöhe  $H_{t1}$ , des Durchmesserzuwachses  $id_{an}$  und des Höhenzuwachses  $ih_{an}$  und deren Standardabweichungen (in Klammern) der Fichten bei zeitlich möglichst eng beisammen liegenden Höhenmessungen (Einheit: Dezimeter).  $t1$ ...Erhebungszeitpunkt  $t1$ ,  $t2$ ...Erhebungszeitpunkt  $t2$ ,  $N$ ...Anzahl an Fichten im jeweiligen Kollektiv.**

Kollektiv		4 + 6 + 7 + 8	11 + 12	14	Gesamt
Messung	$t1$	1981/85	1986/90	1992/96	1981/85, 1986/90, 1992/96
	$t2$	2000/02	2000/02	2000/02	2000/02
$N$		1075	3515	7803	12393
Mittelwert	$BHD_{t1}$	3,146 (1,817)	3,165 (1,597)	2,782 (1,624)	2,922 (1,644)
	$H_{t1}$	193,81 (92,53)	213,97 (88,24)	189,36 (90,15)	196,73 (90,47)
	$id_{an}$	0,039 (0,023)	0,041 (0,025)	0,047 (0,033)	0,045 (0,030)
	$ih_{an}$	2,21 (1,62)	2,67 (1,87)	3,57 (2,65)	3,20 (2,43)

#### 4.1.2 Modellierung mittlerer jährlicher Höhenzuwächse

Für die in Abbildung 4.1 dargestellte Datengrundlage wurden vier Modelle des Modellansatzes (4) parametrisiert: Ein Gesamtmodell für alle 12393 Probestämme, und drei getrennte für die Höhenzuwächse zwischen 1981/85 – 2000/02 (Kollektiv 4 + 6 + 7 + 8), 1986/90 – 2000/02 (Kollektiv 11 + 12) und 1992/96 – 2000/02 (Kollektiv 14). Um die Modelle vergleichen zu können, wurde für die Parametrisierung immer dieselbe Variablenauswahl – die sich für das Gesamtmodell ergab - getroffen. In Tabelle 4.3 sind die Koeffizienten, die Probestammzahlen  $N$  und die Bestimmtheitsmaße  $R^2$  dieser Modelle ersichtlich. Daraus geht hervor, dass das Höhenzuwachsmmodell mit dem längsten Zuwachszeitraum von 1981/85 – 2000/02 ein Bestimmtheitsmaß von 0,571 aufweist. Auch das Modell, das den mittleren jährlichen Höhenzuwachs zwischen 1986/90 – 2000/02 beschreibt, weist ein verhältnismäßig hohes Bestimmtheitsmaß von 0,567 auf, während das Modell mit dem kürzesten Zuwachszeitraum (1992/96 – 2000/02) nur noch 34,1 % der Varianz des Höhenzuwachses erklären kann.

#### 4 Voruntersuchungen

**Tabelle 4.3: Höhenzuwachsmodelle für den mittleren jährlichen Höhenzuwachs der Fichte bei Verwendung der zeitlich möglichst weit auseinander liegenden Höhenmessungen. *N*...Anzahl an Fichten im jeweiligen Kollektiv;  $R^2$ ...Bestimmtheitsmaß.**

Kollektiv	Koeffizient							<i>N</i>	$R^2$	
	<i>a</i>	<i>b</i> <sub>1</sub>	<i>b</i> <sub>2</sub>	<i>b</i> <sub>3</sub>	<i>b</i> <sub>4</sub>	<i>b</i> <sub>5</sub>	<i>b</i> <sub>6</sub>			<i>b</i> <sub>7</sub>
<b>4 + 6 + 7 + 8</b>	2,30	-0,34	-	-0,85	-	26,47	34,52	-	5909	0,571
<b>11 + 12</b>	4,03	-0,65	-	-1,19	-	23,22	24,05	-	1961	0,567
<b>14</b>	4,99	-0,72	-	-1,73	-	21,89	23,73	-	4523	0,341
<b>Gesamt</b>	3,37	-0,52	-	-0,97	-	27,41	23,98	-	12393	0,467

Ein ähnliches Bild zeigt sich in den Modellen für die mittleren jährlichen Höhenzuwächse der kürzestmöglichen Zuwachszeiträume (Tabelle 4.4). Allerdings weist hier das Höhenzuwachsmodell mit dem längsten Zuwachszeitraum – vermutlich infolge geringer zahlenmäßiger Besetzung - nicht das größte Bestimmtheitsmaß auf ( $R^2 = 0,517$ ). Das höchste Bestimmtheitsmaß wurde für die mittleren jährlichen Höhenzuwächse zwischen 1986/90 – 2000/02 erzielt ( $R^2 = 0,554$ ). Das Höhenzuwachsmodell für den Zeitraum 1992/96 – 2000/02 erreichte ein Bestimmtheitsmaß von 0,344. Offensichtlich hat die Erhöhung der Fallzahlen (7803 statt wie im vorherigen Modell 4523) nur geringe Auswirkungen auf den erklärbaren Varianzanteil.

**Tabelle 4.4: Höhenzuwachsmodelle für den mittleren jährlichen Höhenzuwachs der Fichte bei Verwendung der zeitlich möglichst eng beisammen liegenden Höhenmessungen. *N*...Anzahl an Fichten im jeweiligen Kollektiv;  $R^2$ ...Bestimmtheitsmaß.**

Kollektiv	Koeffizient							<i>N</i>	$R^2$	
	<i>a</i>	<i>b</i> <sub>1</sub>	<i>b</i> <sub>2</sub>	<i>b</i> <sub>3</sub>	<i>b</i> <sub>4</sub>	<i>b</i> <sub>5</sub>	<i>b</i> <sub>6</sub>			<i>b</i> <sub>7</sub>
<b>4 + 6 + 7 + 8</b>	1,85	-0,27	-	-0,99	-	21,81	48,79	-	1075	0,517
<b>11 + 12</b>	2,86	-0,44	-	-1,22	-	23,54	43,78	-	3515	0,554
<b>14</b>	4,43	-0,60	-	-1,57	-	20,73	28,33	-	7803	0,344
<b>Gesamt</b>	3,76	-0,54	-	-1,32	-	23,24	30,05	-	12393	0,395

Die Residuen der in den Tabellen 4.3 und 4.4 dargestellten Modellvarianten zeigen im Wesentlichen dieselbe Verteilung, die auf eine Unterschätzung der Höhenzuwächse für zuwachsstarke Probestämme hinweisen. Eine zufällige Streuung der Modellresiduen über den Vorhersagewerten liegt offensichtlich nicht vor, vielmehr ist ein negativer Trend erkennbar. Zur Verdeutlichung sind in Abbildung 4.3 und 4.4 die Residuen der beiden Gesamtmodelle dargestellt.

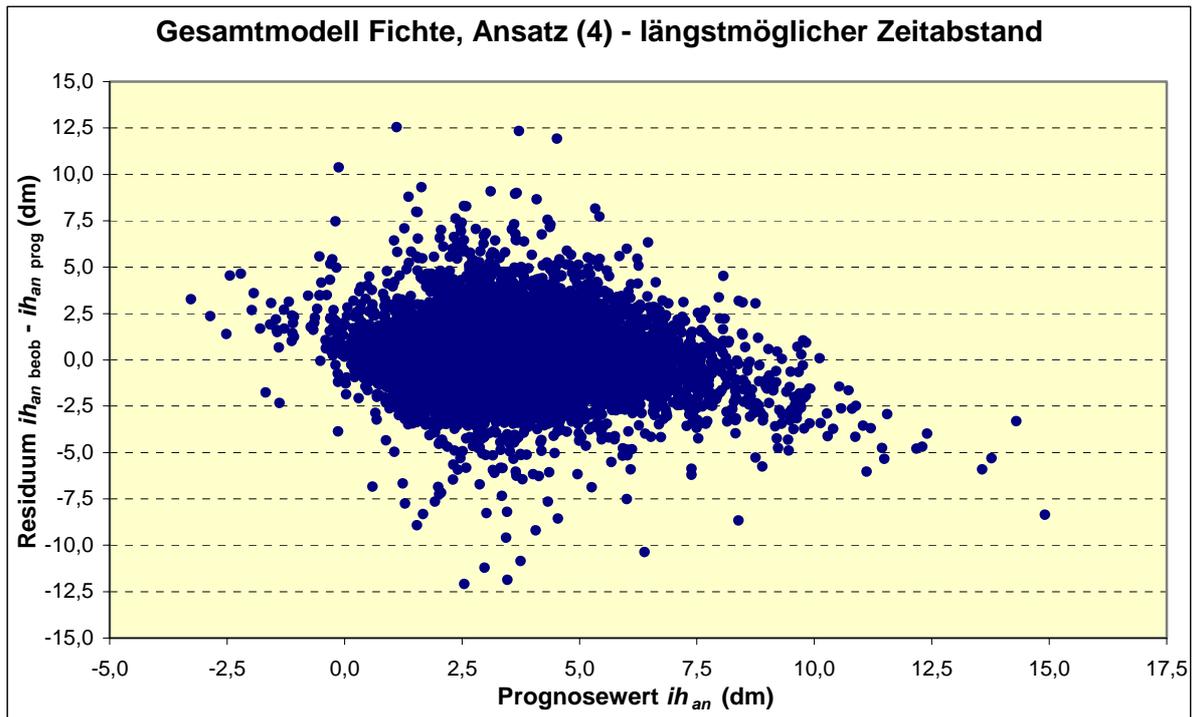


Abbildung 4.3: Residuen des Modellansatzes (4) für den mittleren jährlichen Höhenzuwachs der Fichte bei Verwendung zeitlich möglichst weit auseinander liegender Höhenmessungen.

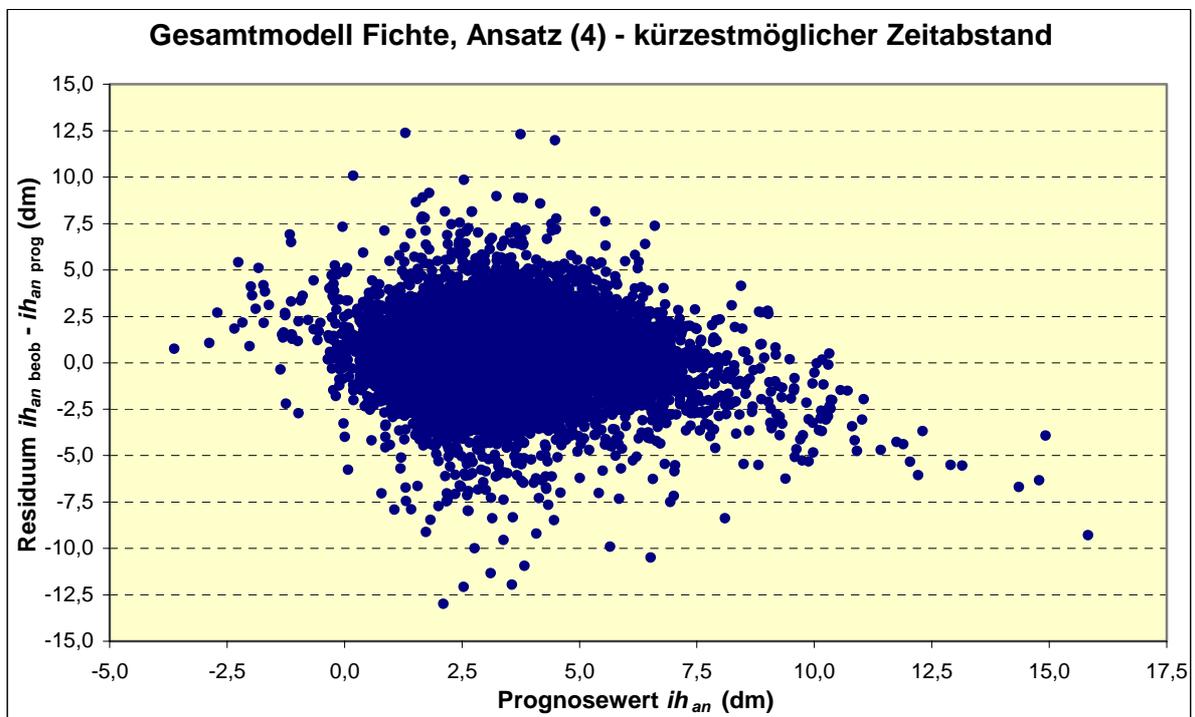


Abbildung 4.4: Die Residuen des Modellansatzes (4) für den mittleren jährlichen Höhenzuwachs der Fichte bei Verwendung zeitlich möglichst eng beisammen liegender Höhenmessungen.

In Tabelle 4.5 sind die Streuparameter der Modellresiduen aller Modellvarianten ersichtlich. Demnach sind die Residuen mit einer Ausnahme linksschief und hochgipfelig verteilt. Normalverteilte Residuen konnten für keines der Höhenzuwachsmodelle nachgewiesen werden (Kolmogorov-Smirnov-Test:  $p < 0,01$ ).

**Tabelle 4.5: Residuen der Höhenzuwachsmodelle für den mittleren jährlichen Höhenzuwachs.**

Kollektiv	Höhenzuwachsmodell Messungen möglichst weit auseinander liegend			Höhenzuwachsmodell Messungen möglichst eng beisammen liegend		
	Standard- abweichung	Schiefe	Kurtosis	Standard- abweichung	Schiefe	Kurtosis
<b>4 + 6 + 7 + 8</b>	1,120	0,102	0,993	1,128	0,294	1,227
<b>11 + 12</b>	1,398	0,176	0,527	1,248	0,193	0,965
<b>14</b>	2,181	0,001	2,573	2,148	-0,044	2,324
<b>Gesamt</b>	1,669	0,325	3,989	1,890	0,137	3,010

#### 4.1.3 Höhenzuwachsmodell mit Zeitdifferenz *DatDiff* als Erklärungsvariable

Für die in Abbildung 4.1 dargestellte Datengrundlage wurden wieder vier Höhenzuwachsmodelle nach dem Modellansatz (7) parametrisiert: Ein Gesamtmodell für alle 12393 Probestämme, und jeweils drei getrennte für die Höhenzuwächse zwischen 1981/85 – 2000/02, 1986/90 – 2000/02 und 1992/96 – 2000/02. Damit die Modelle untereinander verglichen werden können, wurde für alle Modelle die gleiche Variablenauswahl – die sich für das Gesamtmodell ergab – getroffen. Zunächst sind aus Tabelle 4.6 die Koeffizienten der Modellparameter, die Probestammzahlen und die Bestimmtheitsmaße der Höhenzuwachsmodelle ersichtlich. Daraus geht hervor, dass das Höhenzuwachsmodell mit dem längsten Zuwachszeitraum von 1981/85 – 2000/02 ein Bestimmtheitsmaß von 0,572 aufweist. Das Höhenzuwachsmodell für den Zuwachszeitraum 1986/90 – 2000/02 erreicht ebenfalls ein Bestimmtheitsmaß von 0,572. Das Modell mit dem kürzesten Zuwachszeitraum (1992/96 – 2000/02) erklärt 35,3 % der Varianz des Höhenzuwachses. Insgesamt kann festgehalten werden, dass der Modellansatz (7) etwas höhere Bestimmtheitsmaße liefert als der auf die gleiche Datengrundlage angewendete Modellansatz (4) (vgl. Tabelle 4.3). Ein Problem des Modellansatzes (7) ist der Umstand, dass der Zuwachszeitraum bzw. die Zeitdifferenz *DatDiff* nur in das Gesamtmodell signifikant ( $p < 0,05$ ) eingeht. Offenbar muss die Zeitdifferenz *DatDiff* eine ausreichend hohe Variation aufweisen, um signifikant in das Höhenzuwachsmodell eingehen zu können. Bei den getrennten Modellen ist die Variation zu gering (1981/85 – 2000/02: 17, 18 und 19 Jahre; 1986/90 – 2000/02: 12, 13 und 14 Jahre; 1992/96 – 2000/02: 6, 7, 8 Jahre), während das Gesamtmodell alle genannten Zuwachszeiträume umfasst.

#### 4 Voruntersuchungen

**Tabelle 4.6: Höhenzuwachsmodelle bei Verwendung der zeitlich möglichst weit auseinander liegenden Höhenmessungen und dem Zuwachszeitraum *DatDiff* als Erklärungsvariable. *N*...Anzahl an Fichten im jeweiligen Kollektiv; *R*<sup>2</sup>...Bestimmtheitsmaß.**

Kollektiv	Koeffizient									<i>N</i>	<i>R</i> <sup>2</sup>
	<i>a</i>	<i>b</i> <sub>1</sub>	<i>b</i> <sub>2</sub>	<i>b</i> <sub>3</sub>	<i>b</i> <sub>4</sub>	<i>b</i> <sub>5</sub>	<i>b</i> <sub>6</sub>	<i>b</i> <sub>7</sub>	<i>b</i> <sub>8</sub>		
<b>4 + 6 + 7 + 8</b>	42,92	-6,10	-	-14,79	-	26,75	33,80	-	-0,0003 n.s.	5909	0,572
<b>11 + 12</b>	45,13	-8,39	-	-15,68	-	22,81	24,66	-	0,0015 n.s.	1961	0,572
<b>14</b>	33,56	-5,05	-	-12,33	-	21,48	25,00	-	0,0005 n.s.	4523	0,353
<b>Gesamt</b>	32,20	-6,11	-	-14,25	-	25,54	30,22	-	0,0017 p<0,001	12393	0,571

Ein etwas anderes Bild zeigt sich in den Höhenzuwachsmodellen des Ansatzes (7) für die kürzestmöglichen Zuwachszeiträume (Tabelle 4.7). Hier weist das Höhenzuwachsmodell mit dem längsten Zuwachszeitraum (Kollektiv 4 + 6 + 7 + 8) ein im Vergleich zu Tabelle 4.6 etwas geringeres Bestimmtheitsmaß von 0,517 auf. Das Modell für den Zuwachszeitraum 1986/90 – 2000/02 (Kollektiv 11 + 12) erklärt 55,6 % der Varianz. Das Höhenzuwachsmodell für den Zeitraum 1992/96 – 2000/02 (Kollektiv 14) erreichte ein Bestimmtheitsmaß von 0,365, also ein um 0,012 verbessertes Bestimmtheitsmaß im Vergleich zu Tabelle 4.6. Offenbar hat die Erhöhung der Fallzahlen (7803 statt 4523) auch hier nur geringe Auswirkungen auf den erklärbaren Varianzanteil. Auch bei Verwendung der Datengrundlage aus Abbildung 4.2 geht der Zuwachszeitraum *DatDiff* nicht in alle Modellvarianten mit einem Signifikanzniveau von  $p < 0,05$  ein. Überraschenderweise ging der Zuwachszeitraum *DatDiff* neben dem Gesamtmodell auch in das Modell für den Zuwachszeitraum 1992/96 – 2000/02 (Kollektiv 14) ein.

**Tabelle 4.7: Höhenzuwachsmodelle bei Verwendung der zeitlich möglichst eng beisammen liegenden Höhenmessungen und dem Zuwachszeitraum *DatDiff* als Erklärungsvariable. *N*...Anzahl an Fichten im jeweiligen Kollektiv; *R*<sup>2</sup>...Bestimmtheitsmaß.**

Kollektiv	Koeffizient									<i>N</i>	<i>R</i> <sup>2</sup>
	<i>a</i>	<i>b</i> <sub>1</sub>	<i>b</i> <sub>2</sub>	<i>b</i> <sub>3</sub>	<i>b</i> <sub>4</sub>	<i>b</i> <sub>5</sub>	<i>b</i> <sub>6</sub>	<i>b</i> <sub>7</sub>	<i>b</i> <sub>8</sub>		
<b>4 + 6 + 7 + 8</b>	34,45	-4,88	-	-17,09	-	22,26	47,45	-	-0,0002 n.s.	1075	0,517
<b>11 + 12</b>	36,31	-5,83	-	-16,08	-	23,72	43,20	-	0,0004 n.s.	3515	0,556
<b>14</b>	25,31	-4,16	-	-10,87	-	20,58	29,15	-	0,0020 p=0,003	7803	0,365
<b>Gesamt</b>	28,95	-4,77	-	-13,67	-	22,05	37,17	-	0,0012 p<0,001	12393	0,489

Auch die Residuen der Modellvarianten aus den Tabellen 4.6 und 4.7 zeigen im wesentlichen eine Verteilung, die einen negativen Trend erkennen lassen und auf eine Unterschätzung der Höhenzuwächse für zuwachsstarke Probestämme hinweisen. Vergleicht man aber die

korrespondierenden Abbildungen 4.3 und 4.5 sowie 4.4 und 4.6 so ist eine Verbesserung der Residuenverteilung festzustellen.

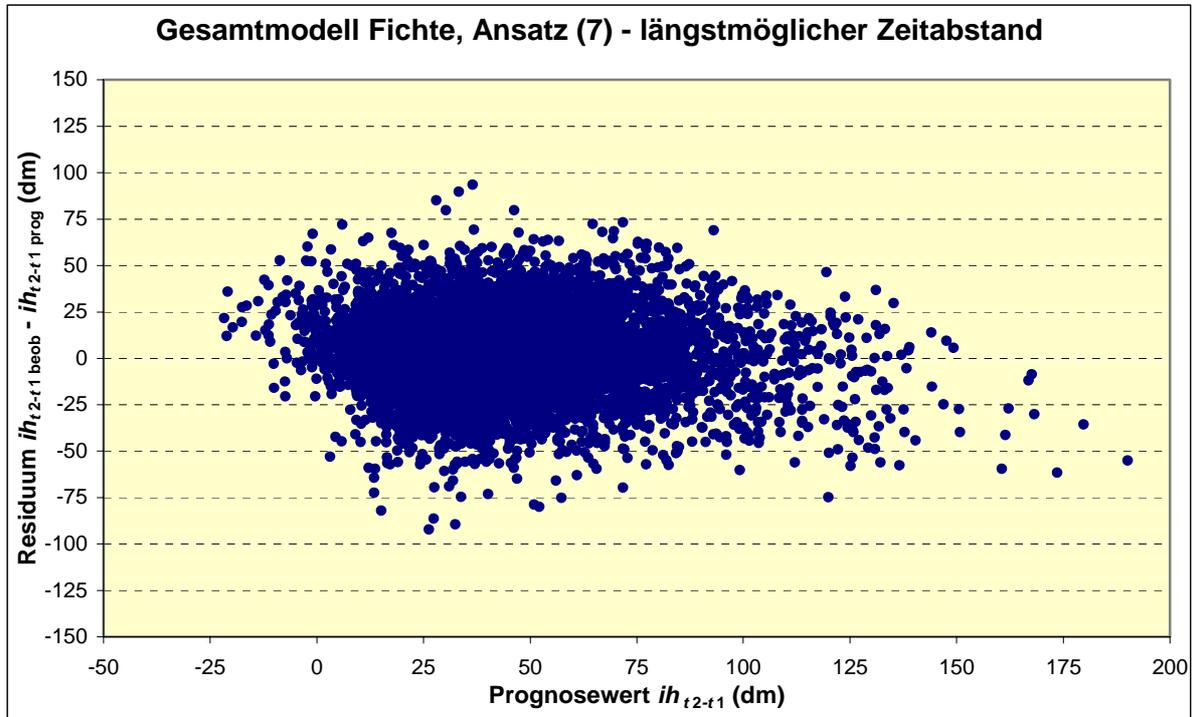


Abbildung 4.5: Residuen des Modellansatzes (7) bei zeitlich möglichst weit auseinander liegenden Höhenmessungen und dem Zuwachszeitraum *DatDiff* als Erklärungsvariable (Gesamtmodell).

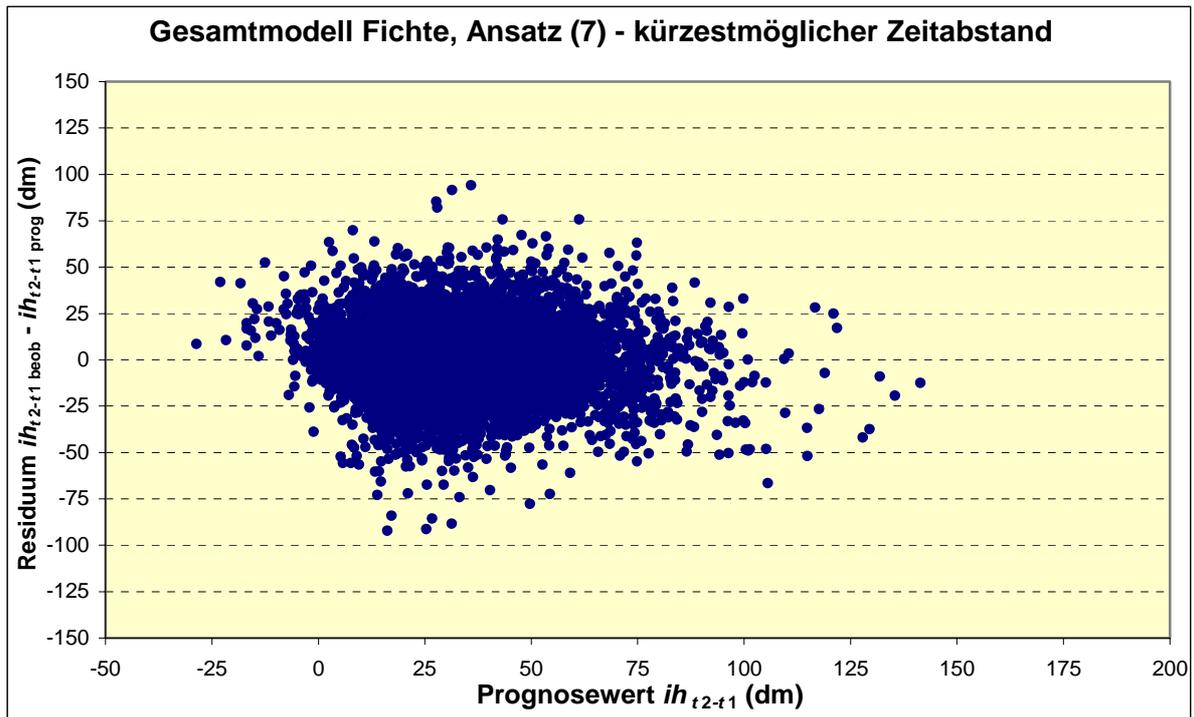


Abbildung 4.6: Residuen des Modellansatzes (7) bei zeitlich möglichst eng beisammen liegenden Höhenmessungen und dem Zuwachszeitraum *DatDiff* als Erklärungsvariable (Gesamtmodell).

Eine Normalverteilung der Residuen war im Allgemeinen nicht festzustellen. Allerdings konnte für die Modellresiduen des Kollektivs 12 (Zuwachszeitraum 1986/90 – 2000/02) die Hypothese normalverteilter Residuen mittels Kolmogorov-Smirnov-Test bei  $p = 0,065$  nicht abgelehnt werden. Aus Tabelle 4.8 ist ersichtlich, dass die Residuen - mit Ausnahme der des Modells für das Kollektiv 14 (Zuwachszeitraum 1992/96 – 2000/02) - gering linksschief und hochgipfelig verteilt sind.

Tabelle 4.8: Residuen der Höhenzuwachsmodelle mit dem Zuwachszeitraum *DatDiff* als Erklärungsvariable.

Kollektiv	Höhenzuwachsmodell Messungen möglichst weit auseinander liegend			Höhenzuwachsmodell Messungen möglichst eng beisammen liegend		
	Standard- abweichung	Schiefe	Kurtosis	Standard- abweichung	Schiefe	Kurtosis
<b>4 + 6 + 7 + 8</b>	20,123	0,077	1,021	20,273	0,261	1,131
<b>11 + 12</b>	18,064	0,162	0,488	16,644	0,185	1,015
<b>14</b>	15,175	-0,069	2,804	14,668	-0,093	2,565
<b>Gesamt</b>	18,285	0,091	1,332	15,966	0,056	1,943

## 4.2 D03H – Modell

### 4.2.1 Vergleich der Modellansätze (9) und (11)

Für die Voruntersuchungen zur *D03H* – Modellierung wurden nur die Messdaten von Fichten, an denen in den Inventurperioden 1992/96 und 2000/02 *D03H*-Messungen durchgeführt wurden, verwendet. Das entspricht den Messreihenkollektiven 7, 8, 12 und 14 in Tabelle 2.1. An diesem Sample wurde untersucht, ob für Fichten, die seit der Inventurperiode 1981/85 erhoben werden (Kollektiv 7 + 8), und jene Fichten die erst später in der Periode 1986/90 (Kollektiv 11 + 12) oder 1992/96 (Kollektiv 14) als Einwüchse in das Probestammkollektiv hinzugekommen sind, ein eigenes *D03H*-Modell parametrisiert werden muss. Weiters wurde überprüft, ob der Zeitpunkt des Einwachsens (Periode 1986/90 oder 1992/96) die Parametrisierung getrennter Modelle erfordert.

Zunächst sind in Tabelle 4.9 die genannten Kollektive hinsichtlich der Mittelwerte und Standardabweichungen der Modellvariablen Brusthöhendurchmesser, oberer Durchmesser und Formquotient näher beschrieben. Daraus geht hervor, dass sich die Fichten, die seit 1981/85 erhoben werden, von jenen, die 1986/90 oder 1992/96 eingewachsen sind, hinsichtlich des Brusthöhendurchmessers und des oberen Durchmessers unterscheiden. Zwischen den Einwüchsen 1986/90 und 1992/96 bestehen nur geringe Unterschiede.

**Tabelle 4.9: Mittelwerte und Standardabweichungen (in Klammer) der Variablen des *D03H* – Modells (Einheit: Dezimeter); *BHD*...Brusthöhendurchmesser; *D03H*...oberer Durchmesser; *max*...Maximum des Brusthöhendurchmessers; *t*<sub>1</sub> = Inventurperiode 1992/96, *t*<sub>2</sub> = Inventurperiode 2000/02; *N*...Anzahl an Fichten in den jeweiligen Kollektiven.**

Kollektiv		7 + 8	12	14	Gesamt
<i>N</i>		1896	934	3378	6208
Mittelwert	<i>BHD</i> <sub><i>t</i><sub>1</sub></sub>	3,672 (1,538)	2,973 (1,463)	2,962 (1,312)	3,181 (1,444)
	<i>BHD</i> <sub><i>t</i><sub>2</sub></sub>	3,918 (1,567)	3,324 (1,469)	3,318 (1,333)	3,502 (1,455)
	$(BHD_{t_2} - \max)^2$	336,70 (55,80)	358,47 (53,91)	358,31 (48,75)	351,73 (52,72)
	<i>D03H</i> <sub><i>t</i><sub>1</sub></sub>	2,820 (1,097)	2,306 (1,083)	2,325 (0,985)	2,473 (1,060)
	<i>D03H</i> <sub><i>t</i><sub>2</sub></sub>	2,955 (1,086)	2,531 (1,046)	2,548 (0,959)	2,670 (1,030)
	<i>D03H</i> <sub><i>t</i><sub>1</sub></sub> / <i>BHD</i> <sub><i>t</i><sub>1</sub></sub>	0,780 (0,074)	0,786 (0,072)	0,794 (0,073)	0,788 (0,073)

Für die vier in Tabelle 4.9 ersichtlichen Kollektive wurde jeweils ein *D03H*-Modell (Formel 9) parametrisiert: ein Gesamtmodell für alle 6208 Fichten, ein Modell für jene Fichten, die seit der Ersterhebung 1981/85 Probestämme sind (*N* = 1896), ein weiteres Modell für jene Fichten, die in der Periode 1986/90 eingewachsen sind (*N* = 934) und ein Modell für jene Fichten, die in der Periode 1992/96 eingewachsen sind (*N* = 3378). Besonders hinzuweisen ist darauf, dass die Messwerte immer aus den Perioden 1992/96 und 2000/02 stammen. Die

#### 4 Voruntersuchungen

Koeffizienten, Probestammzahlen und Bestimmtheitsmaße der Modelle sind Tabelle 4.10 zu entnehmen.

**Tabelle 4.10:  $D03H$  – Modelle der Fichte (Ansatz 9) für die vier Probestammkollektive;  $N$ ...Anzahl an Fichten im jeweiligen Kollektiv;  $R^2$ ...Bestimmtheitsmaß.**

$D03H_{t2} = a + b * BHD_{t2} + d * \frac{D03H_{t1}}{BHD_{t1}}$ (9)					
Kollektiv	Koeffizient			$N$	$R^2$
	$a$	$b$	$d$		
<b>7 + 8</b>	-1,2973	0,7033	1,9193	1896	0,943
<b>12</b>	-0,9663	0,7108	1,4441	934	0,947
<b>14</b>	-0,7596	0,7126	1,1876	3378	0,940
<b>Gesamt</b>	-0,9524	0,7080	1,4495	6208	0,943

Bei der Überprüfung der Modellresiduen wurde analog zu SCHIELER (1997) eine asymmetrische Verteilung der Fehlerterme im Bereich der stärkeren Brusthöhendurchmesser sichtbar, die auf eine Überschätzung des  $D03H$  für Probestämme mit  $BHD > 5$  dm hinweist. In Abbildung 4.7 ist die Asymmetrie der Residuen am Beispiel des Gesamtmodells dargestellt.

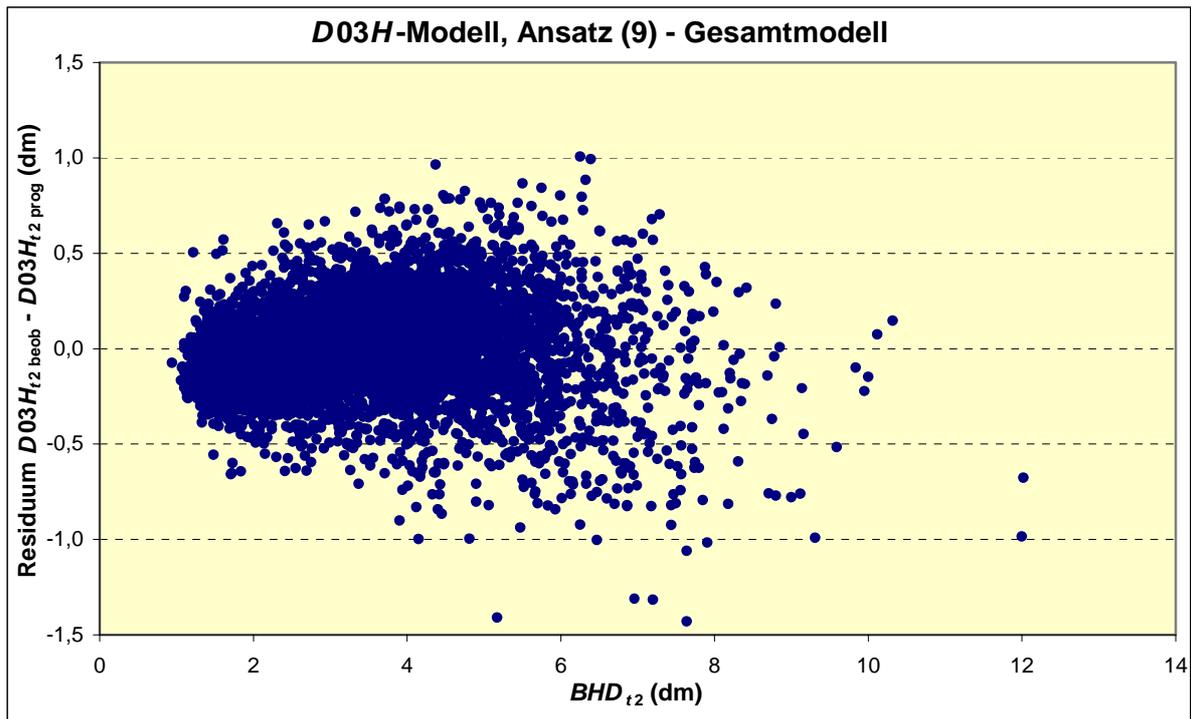


Abbildung 4.7: Die Residuenverteilung des  $D03H$ -Modells (9) über dem  $BHD_{t,2}$  (Gesamtmodell).

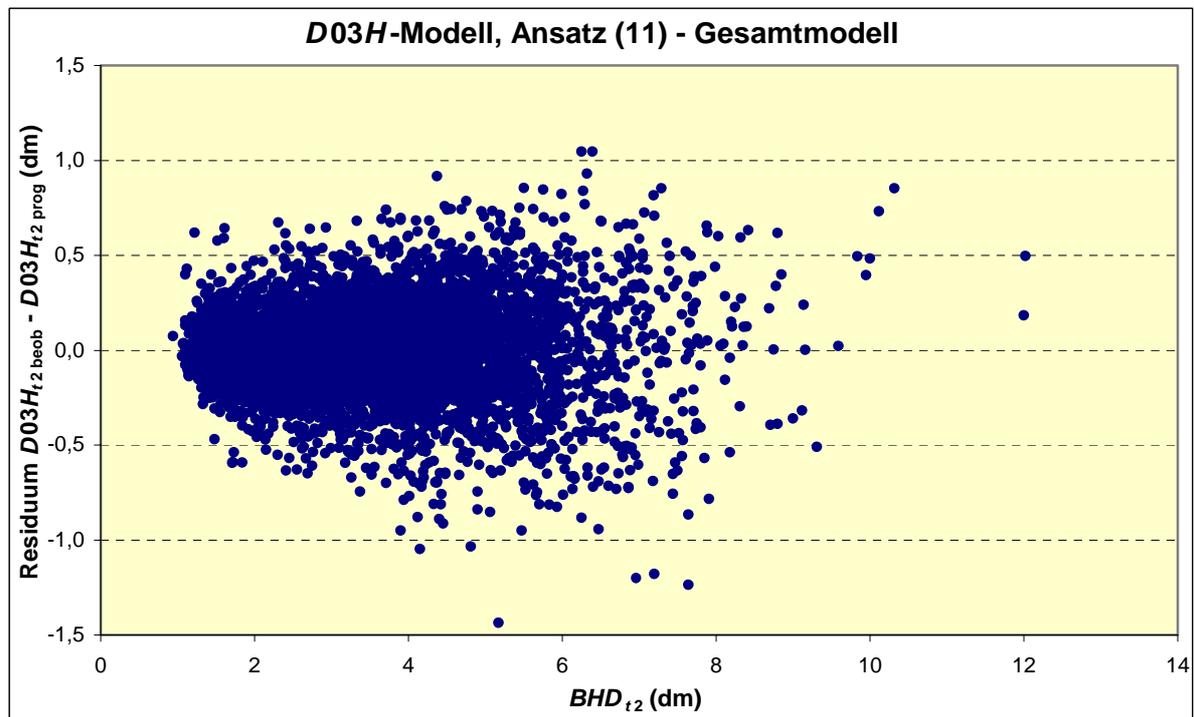
Zur Beseitigung der asymmetrischen Residuenverteilung hat SCHIELER (1997) einen zusätzlichen Term, den quadrierten Brusthöhendurchmesser  $BHD_{t,2}^2$ , in das Modell aufgenommen, der jedoch wegen zu hoher Interkorrelation mit dem unquadrierten  $BHD_{t,2}$ , in der Transformation  $(BHD_{t,2} - \max)^2$  in das  $D03H$ -Modell eingeht (Formel 11). Für die Voruntersuchungen wurde der von SCHIELER (1997) errechnete Wert von  $\max = 22,2$  verwendet. In Tabelle 4.11 sind die Koeffizienten, Probestammzahlen  $N$  und Bestimmtheitsmaße  $R^2$  dieses modifizierten Modellansatzes (11) dargestellt. Die Bestimmtheitsmaße dieses modifizierten Ansatzes sind um 0,2 – 0,4 % höher als die der vorhin in Tabelle 4.10 dargestellten Modelle des Ansatzes (9).

#### 4 Voruntersuchungen

**Tabelle 4.11:** Koeffizienten der *D03H*-Modelle im modifizierten Ansatz (11); *N*...Anzahl an Fichten im jeweiligen Kollektiv; *R*<sup>2</sup>...Bestimmtheitsmaß.

$D03H_{t_2} = a + c \cdot (BHD_{t_2} - \max)^2 + d \cdot \frac{D03H_{t_1}}{BHD_{t_1}} \quad (11)$						
Kollektiv	Koeffizient				<i>N</i>	<i>R</i> <sup>2</sup>
	<i>a</i>	<i>c</i>	max	<i>d</i>		
<b>7 + 8</b>	8,1277	-0,0198	22,2	1,9067	1896	0,947
<b>12</b>	8,3692	-0,0194	22,2	1,4165	934	0,951
<b>14</b>	8,5851	-0,0195	22,2	1,2063	3378	0,942
<b>Gesamt</b>	8,4129	-0,0196	22,2	1,4445	6208	0,947

In Abbildung 4.8 ist die Verteilung der Residuen des modifizierten Modellansatzes (11) dargestellt. Im Vergleich mit Abbildung 4.7 wird deutlich, dass durch die Hinzunahme des Ausdrucks  $(BHD_{t_2} - \max)^2$  tatsächlich eine Verbesserung der Residuenverteilung erreicht wird.



**Abbildung 4.8:** Residuenverteilung des modifizierten Modellansatzes (11) nach SCHIELER (1997) über dem  $BHD_{t_2}$  (Gesamtmodell).

Die durch visuelle Einschätzung feststellbare Verbesserung der Residuenverteilung zeigt sich auch in den wesentlichen Kennwerten der Residuenanalyse (Tabelle 4.12). Sowohl Standardabweichung als auch Schiefe und Kurtosis weisen im modifizierten Modellansatz günstigere Werte auf. Die Verteilung der Fehlerterme ist rechtsschief und hochgipfelig. Eine Normalverteilung der Residuen ist für keinen der beiden Ansätze nachweisbar (Kolmogorov-Smirnov-Test:  $p < 0,01$ ).

**Tabelle 4.12: Residuen der beiden  $D03H$ -Modellansätze (9) und (11).**

Kollektiv	$D03H$ -Modell, Ansatz (9)			$D03H$ -Modell, modifizierter Ansatz (11)		
	Standardabweichung	Schiefe	Kurtosis	Standardabweichung	Schiefe	Kurtosis
<b>7 + 8</b>	0,260	-0,584	4,410	0,250	-0,288	1,568
<b>12</b>	0,241	-0,159	1,761	0,233	-0,001	1,349
<b>14</b>	0,236	-0,332	2,241	0,231	-0,254	2,187
<b>Gesamt</b>	0,246	-0,418	3,360	0,238	-0,242	1,886

Trägt man die Prognosewerte der  $D03H_{t2}$  der Modellbeziehungen (9) und (11) über dem  $BHD_{t2}$  auf, so lässt sich ein wesentlicher Unterschied feststellen. Während sich die Prognosewerte des Ansatzes (9) linear über dem  $BHD_{t2}$  entwickeln, weisen die Prognosewerte des modifizierten Modellansatzes (11) im oberen  $BHD$ -Bereich eine Krümmung auf. Zur Verdeutlichung wurden die Prognosewerte der Gesamtmodelle der Ansätze (9) und (11) über dem Brusthöhendurchmesser  $BHD_{t2}$  in den Abbildungen 4.9 und 4.10 dargestellt.

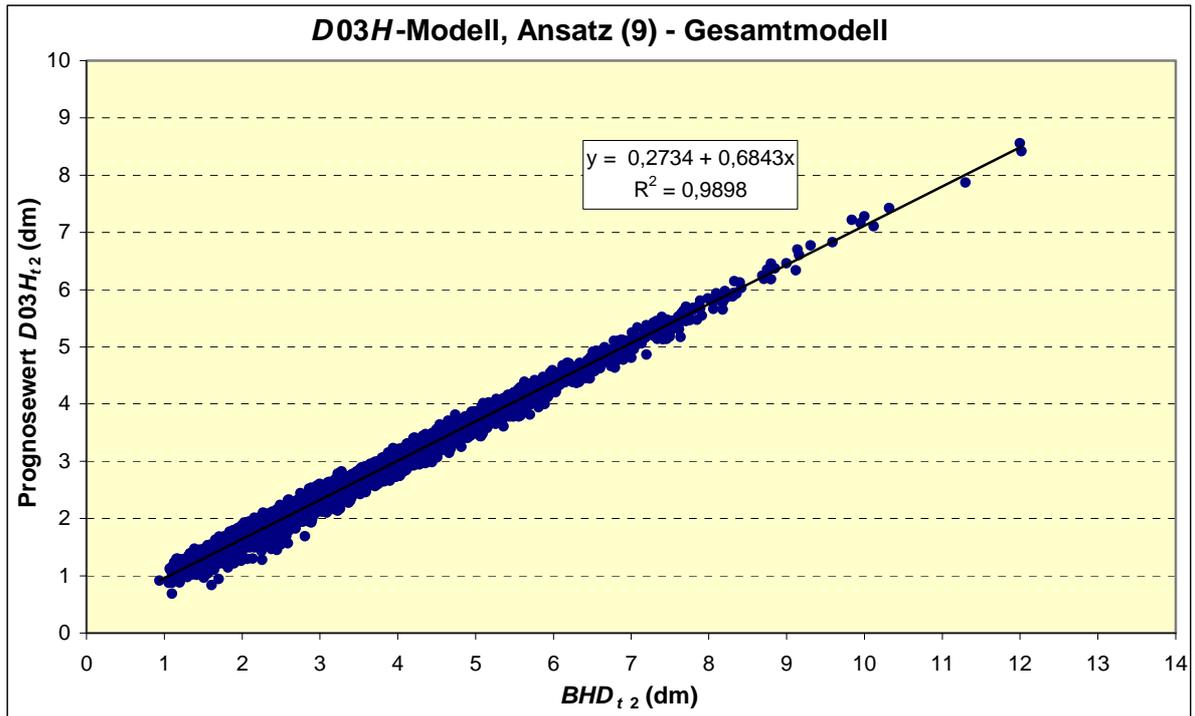


Abbildung 4.9: Die Prognosewerte des  $D03H$ -Modells Ansatz (9) über dem  $BHD_{t_2}$  (Gesamtmodell).

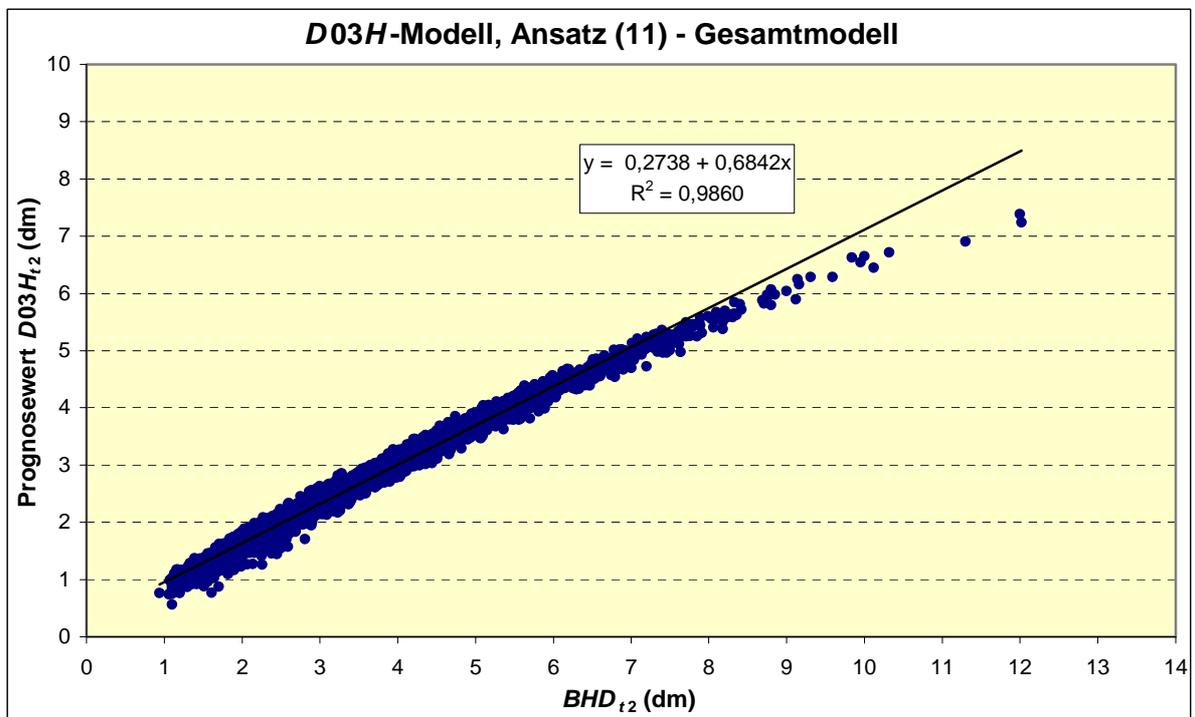


Abbildung 4.10: Die Prognosewerte des modifizierten Modellansatzes (11) nach SCHIELER (1997) über dem  $BHD_{t_2}$  (Gesamtmodell).

Diese Krümmung könnte ein Indiz dafür sein, dass durch den modifizierten Modellansatz der  $D03H_{t2}$  im höheren Durchmesserbereich unterschätzt wird. Andererseits ist es auch denkbar, dass der  $D03H$  mit zunehmendem  $BHD$  im Verhältnis zu diesem geringer wird.

#### 4.2.2 Vergleich der Prognosewerte von $D03H$ -Modellen - Ansatz (11)

Da sich die Modelle für die Einwüchse der Perioden 1986/90 (Kollektiv 12) und 1992/96 (Kollektiv 14) voneinander nur gering unterscheiden (Tabelle 4.11), wurde untersucht, ob der Zeitpunkt des Einwachsens für die Modellbildung von Bedeutung ist. Wenn die Parameterschätzung zeitunabhängig ist, dann sollten sich die Prognosewerte des  $D03H$ -Modells von SCHIELER (1997), das mit den Daten der in Periode 1986/90 eingewachsenen und 1992/96 wieder gemessenen Probestämme parametrisiert wurde, von jenen der neu parametrisierten Modelle nicht signifikant ( $p > 0,05$ ) unterscheiden. Für den Vergleich wurden die Messwerte der Inventurperioden 1992/96 und 2000/02 der Kollektive 12 und 14 (Einwüchse 1986/90 und 1992/96) verwendet. Für beide Kollektive 12 und 14 wurden die Prognosewerte der  $D03H_{t2}$  mit den Koeffizienten nach SCHIELER (1997) berechnet und mit den Vorhersagewerten der neuen  $D03H$ -Modelle (Tabelle 4.11) verglichen. Dabei stellte sich heraus, dass die Ausgleichskurve über die Prognosewerte des Modells von SCHIELER (1997) steiler ist als die Ausgleichskurve über die Prognosewerte der neuen Modelle (Abbildungen 4.11 und 4.12). Das Modell von SCHIELER (1997) prognostiziert somit im unteren Bereich des Brusthöhendurchmessers einen niedrigeren  $D03H$ , für stärkere Brusthöhendurchmesser einen im Vergleich zu den neuen Modellen höheren  $D03H$ .

#### 4 Voruntersuchungen

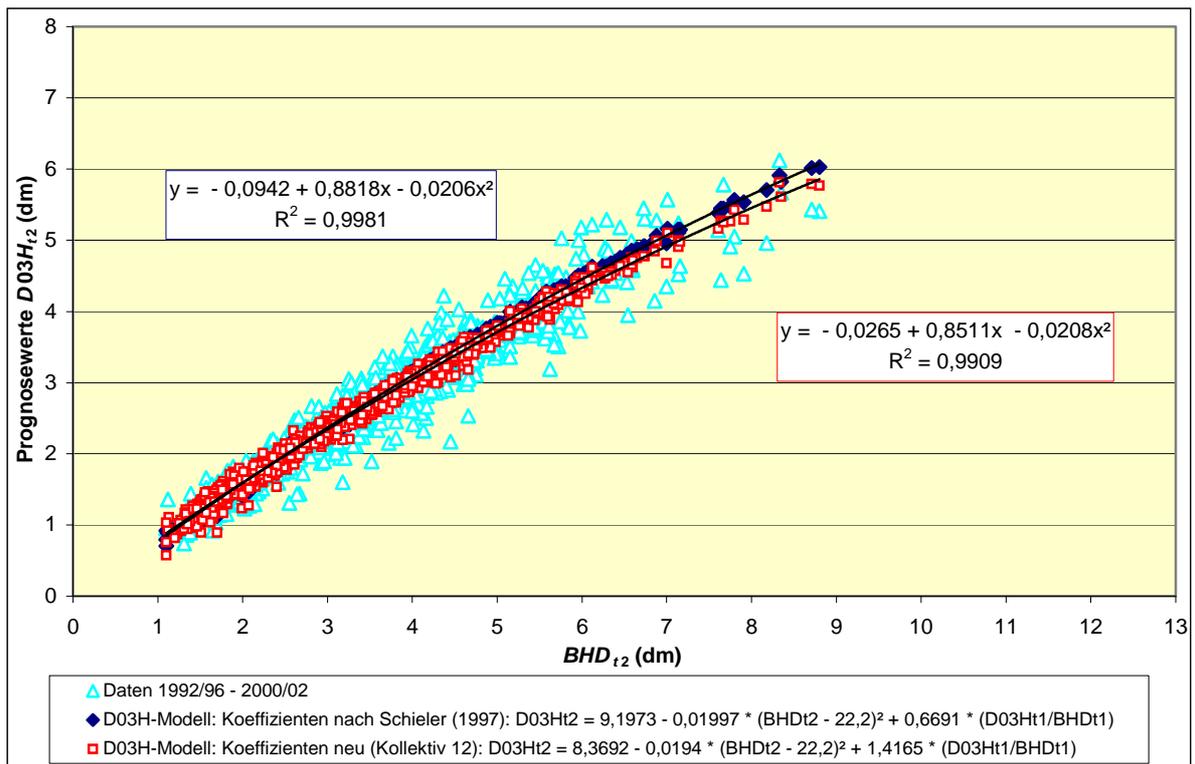
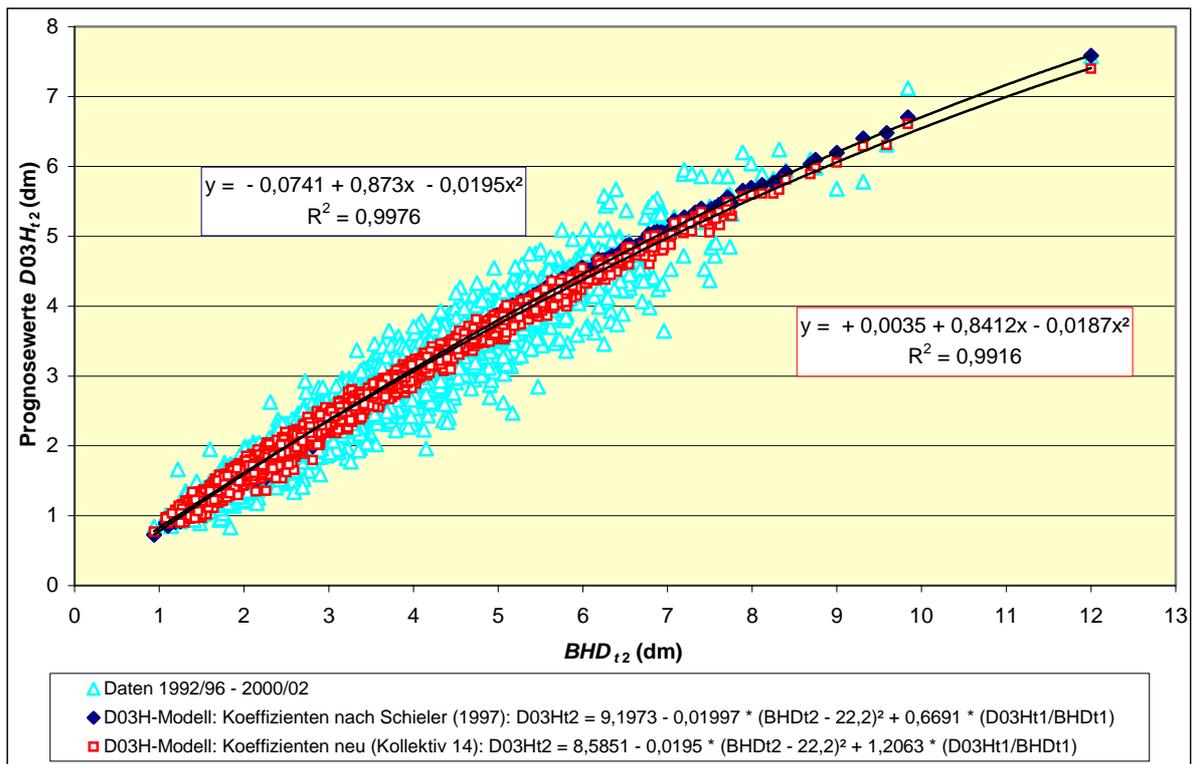


Abbildung 4.11: Die Prognosewerte von *D03H*-Modellen des Ansatzes (11): Mit den Koeffizienten von SCHIELER (1997) errechnete Prognosewerte (blau) und mit den neuen Koeffizienten für die 1986/90 eingewachsenen Fichten (Kollektiv 12) (rot) errechnete Prognosewerte.

#### 4 Voruntersuchungen



**Abbildung 4.12:** Die Prognosewerte des *D03H*-Modells, Ansatz (11): Mit den Koeffizienten von SCHIELER (1997) errechnete Prognosewerte (blau) und mit den neuen Koeffizienten für die 1992/96 eingewachsenen Fichten (Kollektiv 14) errechnete Prognosewerte (rot).

Vergleicht man die Prognosewerte des *D03H*-Modells von SCHIELER (1997) mit jenen der neuen *D03H*-Modelle mittels paarweisen *t*-Tests, ergeben sich hochsignifikante ( $p < 0,001$ ) Unterschiede zwischen den mittleren Vorhersagewerten (Tabelle 4.13). Man kann also in Übereinstimmung mit SCHIELER (1997) festhalten, dass die *D03H*-Modelle für jede Inventurperiode neu zu parametrisieren sind.

**Tabelle 4.13:** Paarweiser Vergleich der *D03H*-Modelle, Ansatz (11): Mittlere Prognosewerte errechnet mit den Koeffizienten von SCHIELER (1997), verglichen mit den Prognosewerten aus den neuen *D03H*-Modellen für die 1986/90 (Kollektiv 12) und 1992/96 (Kollektiv 14) eingewachsenen Fichten.

Vergleich	Mittelwert	Standard-abweichung	<i>N</i>	<i>t</i> -Wert	<i>p</i>
SCHIELER (1997)	2,565	1,063	934	15,96	< 0,001
neu (Kollektiv 12)	2,528	1,020			
SCHIELER (1997)	2,573	0,961	3378	19,90	< 0,001
neu (Kollektiv 14)	2,556	0,930			

## 5 Datenmodelle der ÖWI 2000/02

Für die Parametrisierung der Datenmodelle der ÖWI 2000/02 wurde nur jenes Probestammkollektiv verwendet, das in den Erhebungsperioden 1992/96 und 2000/02 - also in der letzten und vorletzten Inventurperiode - Baumhöhen- bzw. *D03H*-Messungen aufweist. Die Verwendung von weiter zurückliegenden Messwerten der Perioden 1981/85 und 1986/90 würde bedeuten, dass das auf Basis der Datenmodelle errechnete Inventurergebnis nicht die Änderung im Vergleich zur vorangegangenen Erhebung 1992/96 wiedergibt, sondern eine „gemischte Änderung gegenüber allen vorangegangenen Inventuren 1981/85, 1986/90 und 1992/96“.

Die für die Modellparametrisierung verwendeten Datensätze sind in Form von Access-Datenbanken und im Textformat auf zwei CDs dokumentiert. In Tabelle 5.1 sind zunächst in Übereinstimmung mit der eingangs gezeigten Tabelle 2.1, die für die Datenmodelle der ÖWI 2000/02 verwendeten Messreihenkollektive bzw. Messwertpaare ersichtlich. Für die Parameterschätzung wurden nur die schraffiert gekennzeichneten Abschnitte der Messreihenkollektive 7, 8, 12 und 14 also die Messungen in der Inventurperiode 1992/96 und 2000/02 verwendet.

**Tabelle 5.1:** Für die Datenmodelle der ÖWI 2000/02 verwendete Messreihenkollektive; ja...Messung durchgeführt, nein...keine Messung; graue Felder...Baum war zur betreffenden Inventurperiode noch kein Probestamm; grüne Felder für die Voruntersuchung verwendete Messreihenkollektive; schraffierte Felder...für die Datenmodelle der ÖWI 2000/02 verwendete Messwertpaare.

Kollektiv	Inventurperiode			
	1981/85	1986/90	1992/96	2000/02
1	ja	nein	nein	nein
2	ja	ja	nein	nein
3	ja	nein	ja	nein
4	ja	nein	nein	ja
5	ja	ja	ja	nein
6	ja	ja	nein	ja
7	ja	nein	ja	ja
8	ja	ja	ja	ja
9		ja	nein	nein
10		ja	ja	nein
11		ja	nein	ja
12		ja	ja	ja
13			ja	nein
14			ja	ja

## 5.1 Höhenzuwachsmodell

### 5.1.1 Datengrundlage

Anhand der Mittelwerte und Standardabweichungen der Modellvariablen ist die für die Parametrisierung der Höhenzuwachsmodelle der ÖWI 2000/02 verwendete Datengrundlage nach Durchführung der Datenqualitätskontrolle (s. Punkt 2.3) für alle Baumartengruppierungen dargestellt (Tabelle 5.2). Nicht in dieser Darstellung enthalten sind jene Probestämme, die Dürrlinge sind oder Wipfelbrüche aufweisen.

**Tabelle 5.2: Die Datengrundlage zur Parametrisierung der Höhenzuwachsmodelle, dargestellt durch die Mittelwerte und Standardabweichungen (in Klammern) der Erklärungsvariablen (Einheit: Dezimeter);  $N$ ...Probestammzahl.**

Baumart	Kollektiv	Erklärungsvariable								N
		$ih_{an}$	$BHD_{t1}$	$H_{t1}$	$\frac{1}{BHD_{t1}}$	$\frac{1}{H_{t1}}$	$id_{an}$	$\frac{id_{an}}{BHD_{t1}}$	$\frac{id_{an}}{H_{t1}}$	
Fichte*	7+8	2,53 (2,30)	3,64 (1,62)	230,4 (75,5)	0,350 (0,210)	0,005 (0,003)	0,037 (0,029)	0,012 (0,012)	0,0002 (0,0002)	2048
	12+14	3,94 (2,66)	2,48 (1,52)	174,9 (90,5)	0,639 (0,477)	0,008 (0,006)	0,050 (0,033)	0,031 (0,033)	0,0004 (0,0005)	5768
Tanne	7+8+12+14	2,68 (2,26)	3,82 (1,77)	231,5 (80,7)	0,364 (0,307)	0,005 (0,004)	0,053 (0,038)	0,017 (0,016)	0,0003 (0,0002)	402
Lärche	7+8+12+14	2,72 (2,36)	3,61 (1,69)	217,5 (78,8)	0,394 (0,336)	0,006 (0,004)	0,034 (0,026)	0,014 (0,021)	0,0002 (0,0003)	725
W.Kiefer*	7+8+12+14	2,41 (2,68)	2,86 (1,04)	193,6 (62,5)	0,432 (0,279)	0,006 (0,004)	0,032 (0,023)	0,016 (0,022)	0,0002 (0,0004)	743
S.Kiefer	7+8+12+14	1,44 (1,63)	3,18 (1,38)	156,1 (54,3)	0,409 (0,282)	0,008 (0,004)	0,028 (0,024)	0,011 (0,013)	0,0002 (0,0003)	106
Zirbe	7+8+12+14	1,38 (1,13)	4,21 (1,86)	145,3 (44,1)	0,326 (0,304)	0,008 (0,005)	0,022 (0,017)	0,007 (0,011)	0,0002 (0,0002)	72
Buche*	7+8+12+14	2,23 (3,36)	3,07 (1,76)	195,0 (79,0)	0,524 (0,449)	0,007 (0,004)	0,038 (0,031)	0,018 (0,023)	0,0002 (0,0003)	1450
Eiche*	7+8+12+14	2,49 (3,28)	3,23 (1,76)	182,2 (67,8)	0,463 (0,368)	0,007 (0,004)	0,046 (0,031)	0,020 (0,024)	0,0003 (0,0003)	439
H.Buche	7+8+12+14	2,46 (3,45)	1,74 (1,17)	134,6 (55,9)	0,867 (0,525)	0,009 (0,004)	0,029 (0,028)	0,024 (0,031)	0,0003 (0,0003)	197
Esche*	7+8+12+14	3,40 (3,74)	2,33 (1,49)	177,2 (75,1)	0,683 (0,492)	0,007 (0,004)	0,050 (0,036)	0,031 (0,034)	0,0003 (0,0003)	420
Ahorn	7+8+12+14	3,07 (3,23)	2,54 (1,57)	162,9 (60,1)	0,589 (0,433)	0,007 (0,003)	0,042 (0,033)	0,025 (0,031)	0,0003 (0,0003)	191
Birke	7+8+12+14	3,15 (3,45)	1,87 (1,12)	142,8 (53,5)	0,773 (0,489)	0,008 (0,004)	0,034 (0,030)	0,028 (0,034)	0,0003 (0,0004)	131
S.Erle	7+8+12+14	3,26 (3,59)	1,97 (0,93)	165,2 (66,2)	0,690 (0,450)	0,007 (0,004)	0,039 (0,031)	0,029 (0,038)	0,0003 (0,0004)	116
W.Erle	7+8+12+14	3,41 (3,10)	1,39 (0,77)	105,3 (41,8)	0,932 (0,451)	0,011 (0,005)	0,041 (0,034)	0,040 (0,046)	0,0005 (0,0005)	101
Pappel*	7+8+12+14	4,64 (4,16)	3,30 (2,34)	203,6 (86,4)	0,508 (0,408)	0,006 (0,003)	0,082 (0,065)	0,038 (0,047)	0,0005 (0,0005)	105
Weide	7+8+12+14	4,73 (3,12)	1,81 (1,25)	118,9 (59,2)	0,831 (0,504)	0,010 (0,005)	0,081 (0,061)	0,063 (0,051)	0,0009 (0,0007)	48
Gesamt	7+8+12+14	3,19 (2,88)	2,86 (1,66)	189,3 (85,0)	0,545 (0,435)	0,007 (0,005)	0,044 (0,033)	0,024 (0,029)	0,0003 (0,0004)	13062

Baumarten, die mit „\*“ versehen sind, stellen Baumartengruppen dar. Die Baumartengruppierung entspricht jener des Höhenzuwachsmodells von SCHIELER (1997). In Tabelle 5.3 sind die in Gruppen zusammengefassten Baumarten ersichtlich.

Tabelle 5.3: Baumartengruppierung für das Höhenzuwachsmodell der ÖWI 2000/02.

Gruppe	Baumarten
Fichte*	Fichte, Douglasie, sonstige Nadelbaumarten
Weißkiefer*	Weißkiefer, Weymouthskiefer
Buche*	Buche, Sorbus- und Prunusarten, Linden, sonstige Hart- und Weichlaubbaumarten
Eiche*	Eiche, Edelkastanie
Esche*	Esche, Ulme, Robinie
Pappel*	Aspe, Weißpappel (Silberpappel), Schwarzpappel, Hybridpappel

### 5.1.2 Modellparametrisierung

Wie in den Voruntersuchungen gezeigt wurde, kann nur der Modellansatz (4), der den mittleren jährlichen Höhenzuwachs  $ih_{an}$  als

$$ih_{an} = a + b_1 * BHD_{t1} + b_2 * H_{t1} + b_3 * \frac{1}{BHD_{t1}} + b_4 * \frac{1}{H_{t1}} + b_5 * id_{an} + b_6 * \frac{id_{an}}{BHD_{t1}} + b_7 * \frac{id_{an}}{H_{t1}} \quad (4)$$

beschreibt, verwendet werden, da der Zeitabstand *DatDiff* zwischen den Höhenmessungen zu den Erhebungszeitpunkten  $t1$  und  $t2$  nur dann in die Modelle signifikant eingehen würde, wenn auch die weiter zurück liegenden Erhebungsperioden 1981/85 und 1986/90 in die Modelle einbezogen werden. Bei Verwendung der Messwertpaare 1992/96 – 2000/02 ist offenbar die Variation der Zuwachszeiträume *DatDiff* zu gering, um einen signifikanten Einfluss ( $p < 0,05$ ) auf den Höhenzuwachs zu haben.

Aus den Erklärungsvariablen des Modells (4) wurden die signifikanten ( $p < 0,05$ ) Variablen mittels schrittweiser Regression ausgewählt. Zudem wurde darauf geachtet, dass zwischen den Erklärungsvariablen keine zu hohen Interkorrelationen auftreten. Diese Bedingung wurde dadurch erreicht, dass nur jene Variablenkombinationen zugelassen wurden, die einen Variance Inflation Factor  $VIF \leq 5$  bzw. eine Toleranz von  $< 0,2$  aufweisen (VAN LAAR, 1991). Diese Vorgangsweise ergab für einige Baumarten Höhenzuwachsmodelle, deren Residuen heteroskedastisch verteilt waren. Deshalb wurde in diesen Fällen die Variablenauswahl abgeändert, und ein etwas geringeres Bestimmtheitsmaß in Kauf genommen. Vor allem die Variablen  $\frac{id_{an}}{BHD_{t1}}$  und  $\frac{id_{an}}{H_{t1}}$  hatten eine ungünstige Auswirkung auf die Verteilung der Fehlerterme.

Wie aus der Darstellung der Datengrundlage in Tabelle 5.2 hervorgeht, unterscheiden sich die in den Perioden 1986/90 und 1992/96 eingewachsenen Fichten (Kollektive 12 + 14) von jenen Fichten, die seit der ersten Erhebung am permanenten Stichprobenetz 1981/85 gemessen werden (Kollektiv 7 + 8), hinsichtlich der Modellvariablen mehr oder weniger stark. Folglich war es nahe liegend, für die genannten Kollektive zwei separate Modelle zu parametrisieren. Mittels Varianzvergleich (F-Test) wurde überprüft, ob durch die Trennung in zwei Modelle eine im Vergleich zum Gesamtmodell signifikante Verringerung der Abweichungsquadratsumme erreicht werden kann (Tabelle 5.4).

**Tabelle 5.4: Signifikante Verringerung der Abweichungsquadratsumme SQ durch Parametrisierung getrennter Modelle für die Baumart Fichte. SQ...Abweichungsquadratsumme, FG...Freiheitsgrade, MQ...mittlere quadratische Abweichung.**

Modell		SQ	FG	MQ
getrennt in die Kollektive	7 + 8	8125,6	2045	4,48
	12 + 14	26837,0	5763	
Summe		34962,6	7808	
Gesamtmodell (7 + 8 + 12 + 14)		35903,0	7811	
Differenz		940,4	3	313,47
F - Wert		70,01***		

Eine weitere Möglichkeit wäre, drei Modelle – eines für die Fichten, die seit 1981/85 (Kollektiv 7 + 8) erhoben werden, eines für jene, die 1986/90 eingewachsen (Kollektiv 12) sind und eines für die Fichten, die 1992/96 eingewachsen sind (Kollektive 14), zu parametrisieren. Durch diese drei Modelle wird aber eine insgesamt kleinere Verringerung der Abweichungsquadratsumme (Summe SQ = 35550,2) erreicht, für die sich ein weitaus geringerer F-Wert von 12,9 ergibt. Für die restlichen Baumarten war die Parametrisierung von getrennten Höhenzuwachsmodellen infolge zu geringer zahlenmäßiger Besetzung nicht sinnvoll.

### 5.1.3 Koeffizienten

Die Koeffizienten der für die ÖWI 2000/02 verwendeten Höhenzuwachsmodelle, deren Bestimmtheitsmaße  $R^2$  und die Probestammzahlen  $N$  sind der nachfolgenden Tabelle 5.5 zu entnehmen. Baumarten, die mit „\*“ versehen sind, entsprechen den in Tabelle 5.3 dargestellten Baumartengruppierungen.

Tabelle 5.5: Die Koeffizienten der Höhenzuwachsmodelle der ÖWI 2000/02, die Bestimmtheitsmaße  $R^2$  und Probestammzahlen  $N$  der Datengrundlage.

Baumart	Kollektiv	Koeffizient							$R^2$	$N$		
		$a$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	$b_5$	$b_6$			$b_7$	
Fichte*	7+8	2,53	-0,328	-	-	-	-	-	32,03	-	0,199	2048
	12+14	5,23	-0,780	-	-1,719	-	-	-	21,49	1570	0,339	5768
Tanne	7+8+12+14	5,05	-	-0,01010	-	-196,5	-	-	-	4112	0,200	402
Lärche	7+8+12+14	3,69	-0,198	-0,00381	-	-	-	16,69	-	-	0,117	725
Weißkiefer*	7+8+12+14	3,12	-0,637	-	-	-	-	35,29	-	-	0,199	743
Schwarzkiefer	7+8+12+14	1,52	-0,247	-	-	-	-	25,59	-	-	0,166	106
Zirbe	7+8+12+14	-	-	0,00745	-	-	-	-	43,2	-	0,677	72
Buche*	7+8+12+14	3,08	-	-0,01003	-	-	-	28,87	-	-	0,108	1450
Eiche*	7+8+12+14	3,48	-	-0,01105	-	-	-	22,30	-	-	0,092	439
Hainbuche	7+8+12+14	3,58	1,079	-0,02800	-	-	-	-	-	3009	0,162	197
Esche*	7+8+12+14	3,90	-	-0,01276	-	-	-	35,57	-	-	0,177	420
Ahorn	7+8+12+14	2,53	-0,417	-	-	-	-	38,36	-	-	0,198	191
Birke	7+8+12+14	5,03	-	-0,02383	-	-	-	45,34	-	-	0,353	131
Schwarzzerle	7+8+12+14	3,51	1,372	-0,02806	-	-	-	43,89	-	-	0,281	116
Weißzerle	7+8+12+14	1,80	-	-	-	-	-	-	-	3504	0,296	101
Pappel*	7+8+12+14	4,88	-	-0,01174	-	-	-	26,11	-	-	0,206	105
Weide	7+8+12+14	3,89	-	-0,00809	-	-	-	22,27	-	-	0,229	48

## 5.1.4 Residuenanalyse

### 5.1.4.1 Residuenverteilung der verwendeten Höhenzuwachsmodelle

Die Residuen der in Tabelle 5.5 enthaltenen Höhenzuwachsmodelle sind in den nachfolgenden Residuenplots, die die Residuen über den Prognosewerten darstellen, ersichtlich (Abbildungen 5.1 bis 5.17).

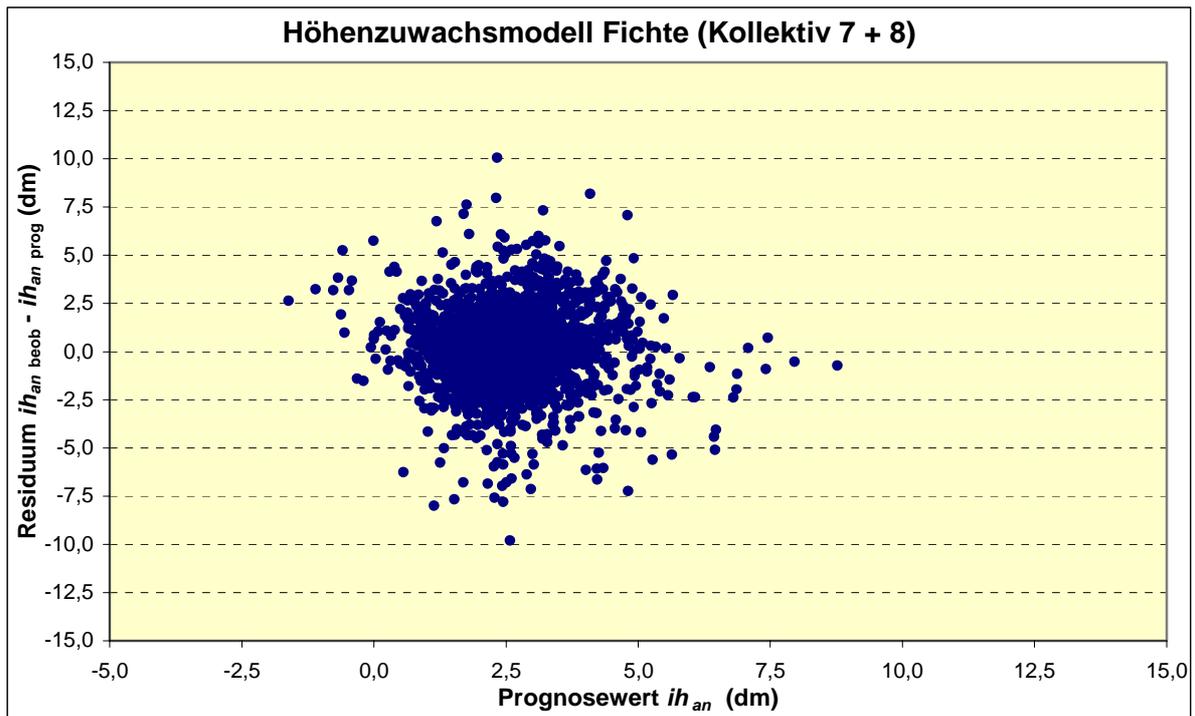


Abbildung 5.1: Residuenverteilung des Höhenzuwachsmodells für Fichte (Kollektiv 7 + 8).

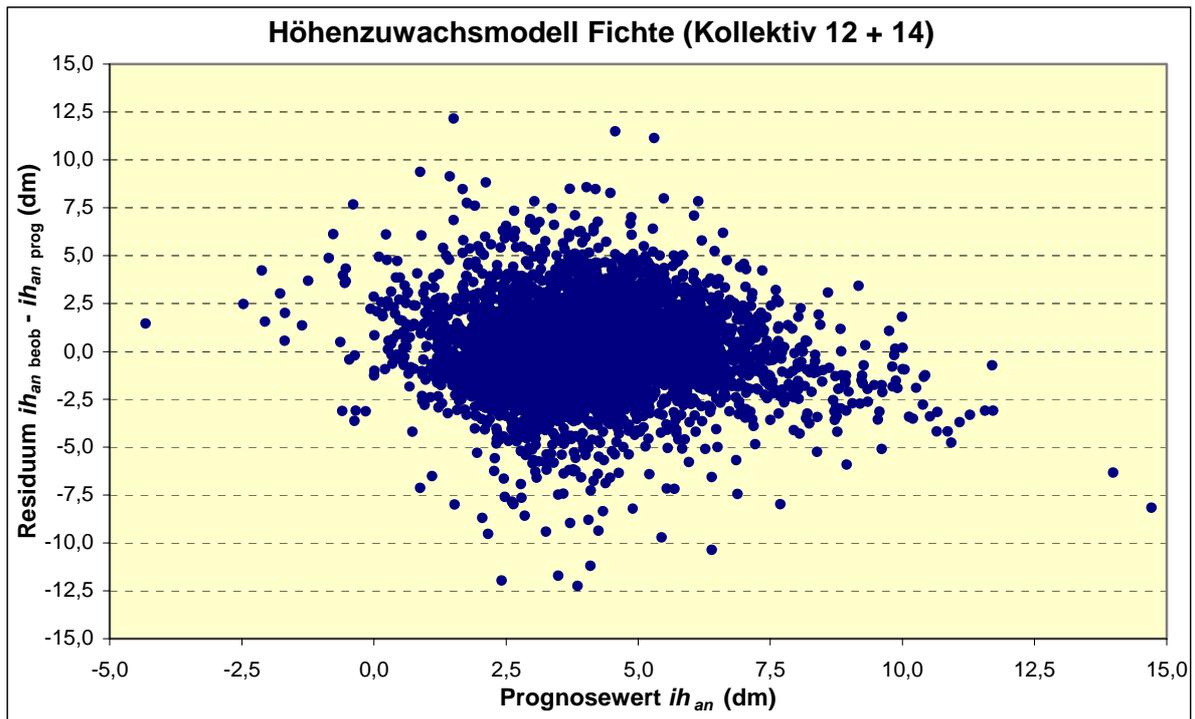


Abbildung 5.2: Residuenverteilung des Höhenzuwachsmodells für Fichte (Kollektiv 12 + 14).

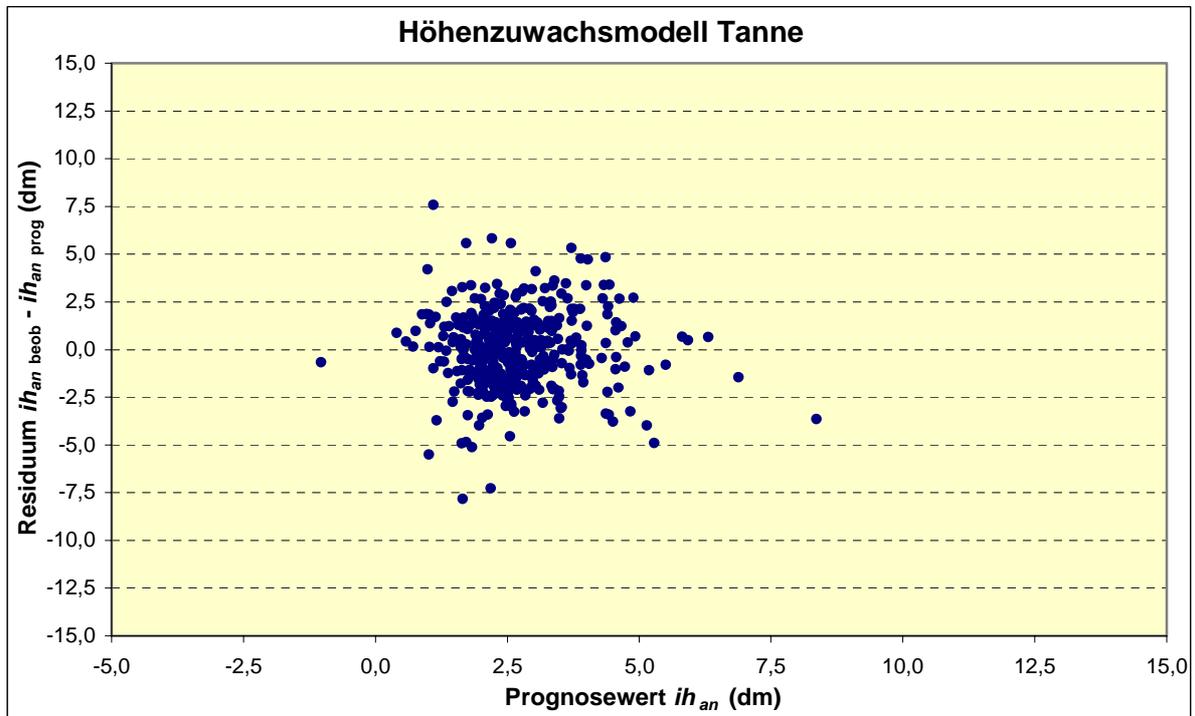


Abbildung 5.3: Residuenverteilung des Höhenzuwachsmodells für Tanne.

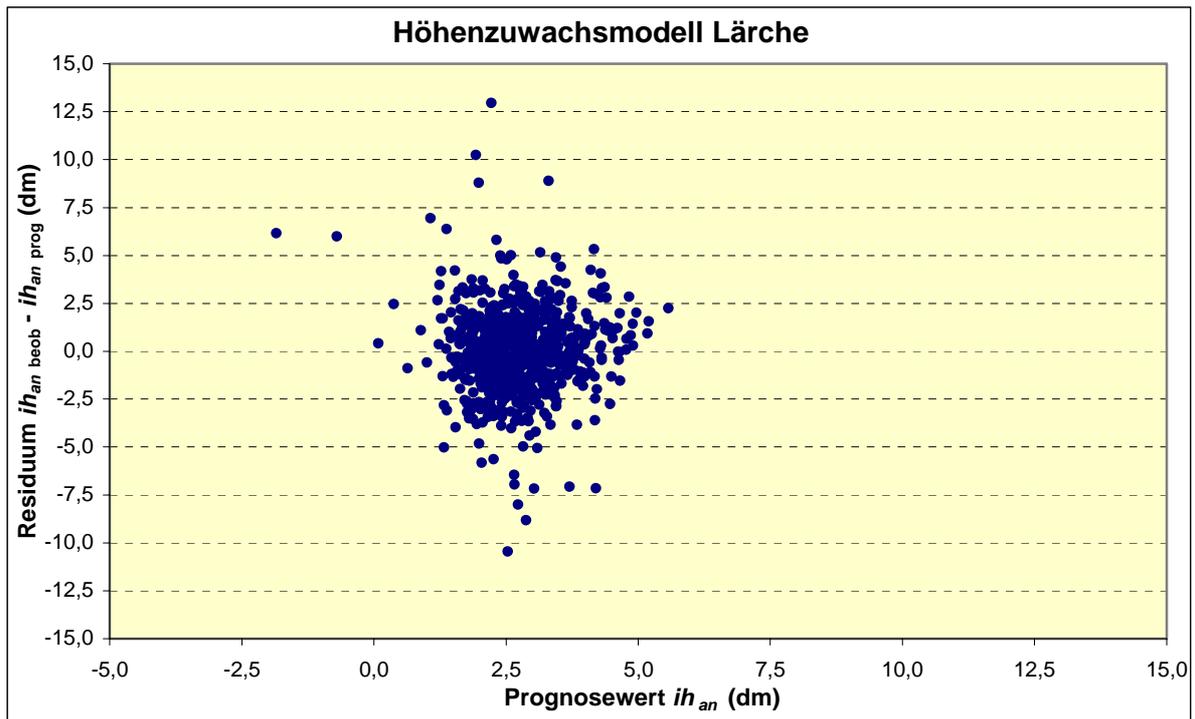


Abbildung 5.4: Residuenverteilung des Höhenzuwachsmodells für Lärche.

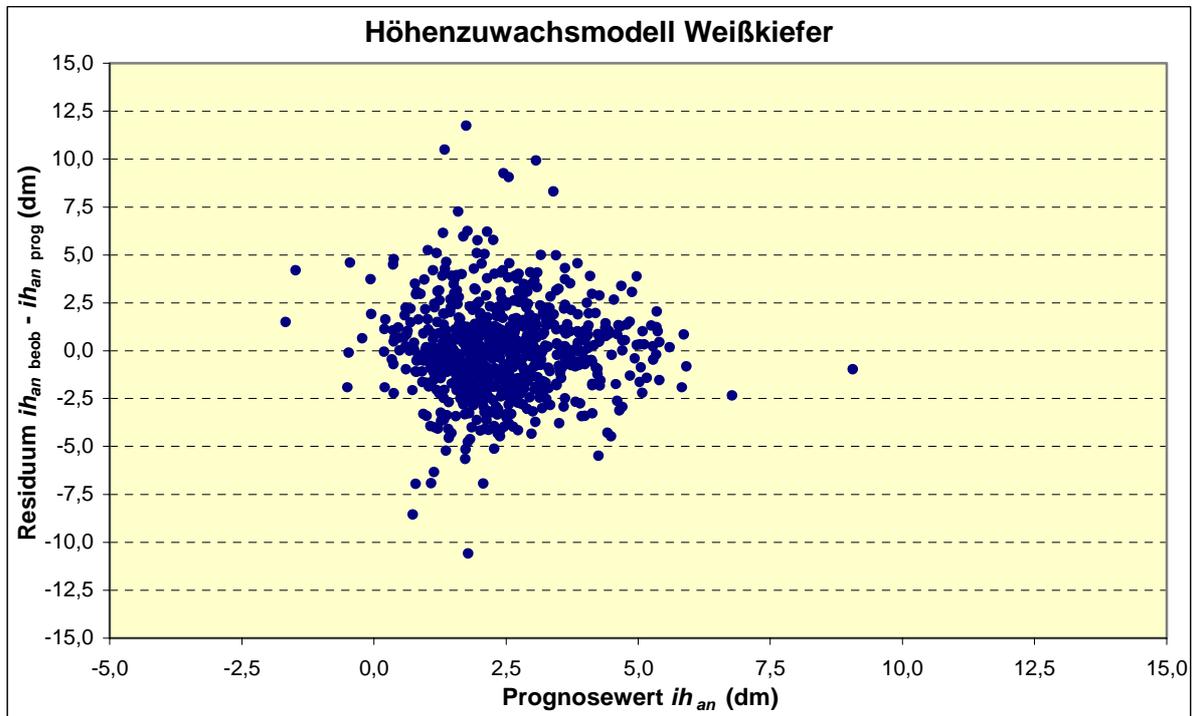


Abbildung 5.5: Residuenverteilung des Höhenzuwachsmodells für Weißkiefer.

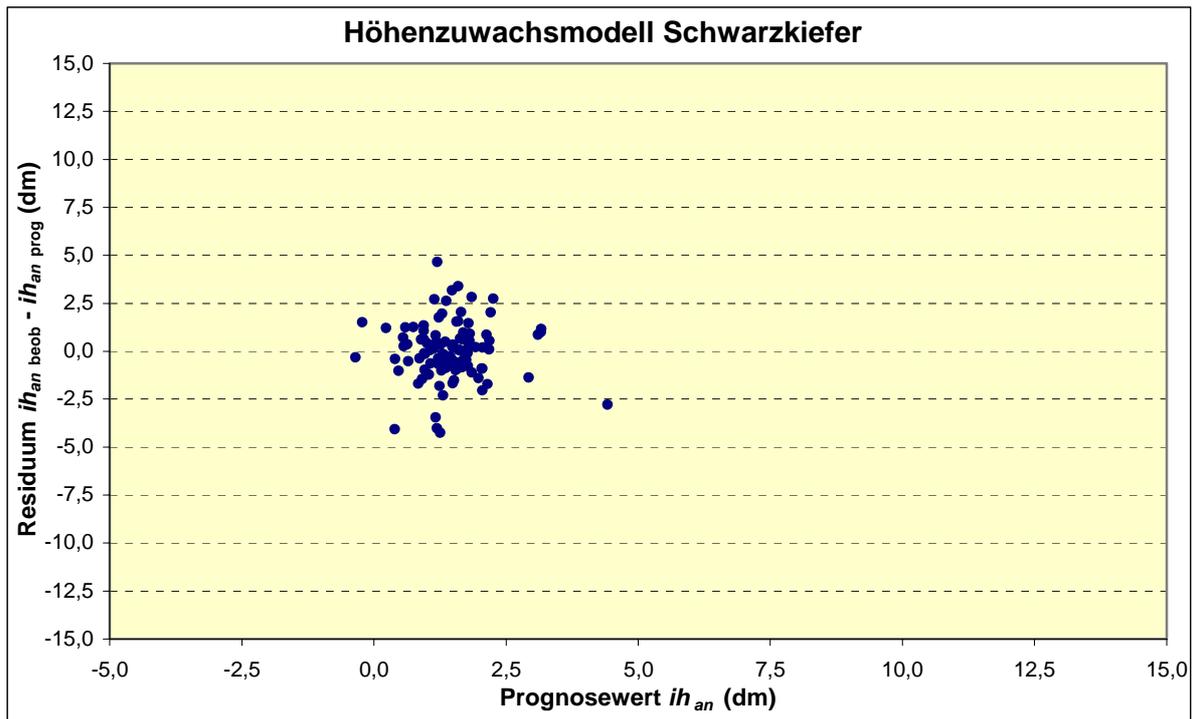


Abbildung 5.6: Residuenverteilung des Höhenzuwachsmodells für Schwarzkiefer.

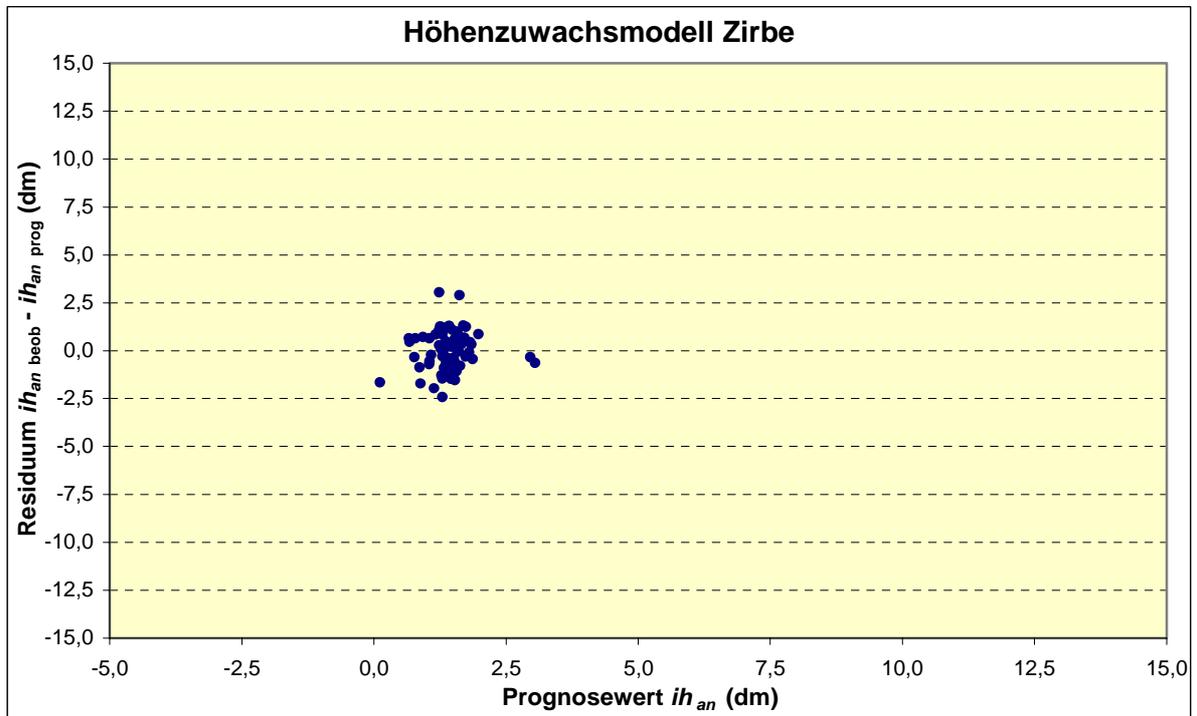


Abbildung 5.7: Residuenverteilung des Höhenzuwachsmodells für Zirbe.

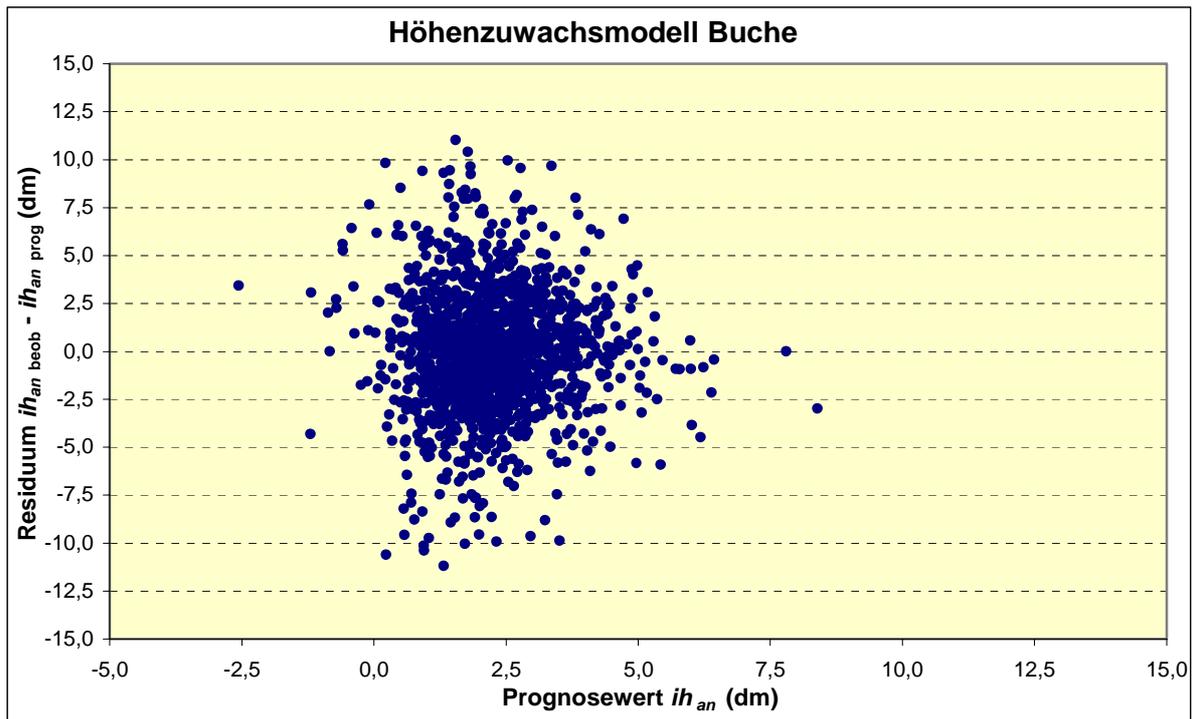


Abbildung 5.8: Residuenverteilung des Höhenzuwachsmodells für Buche.

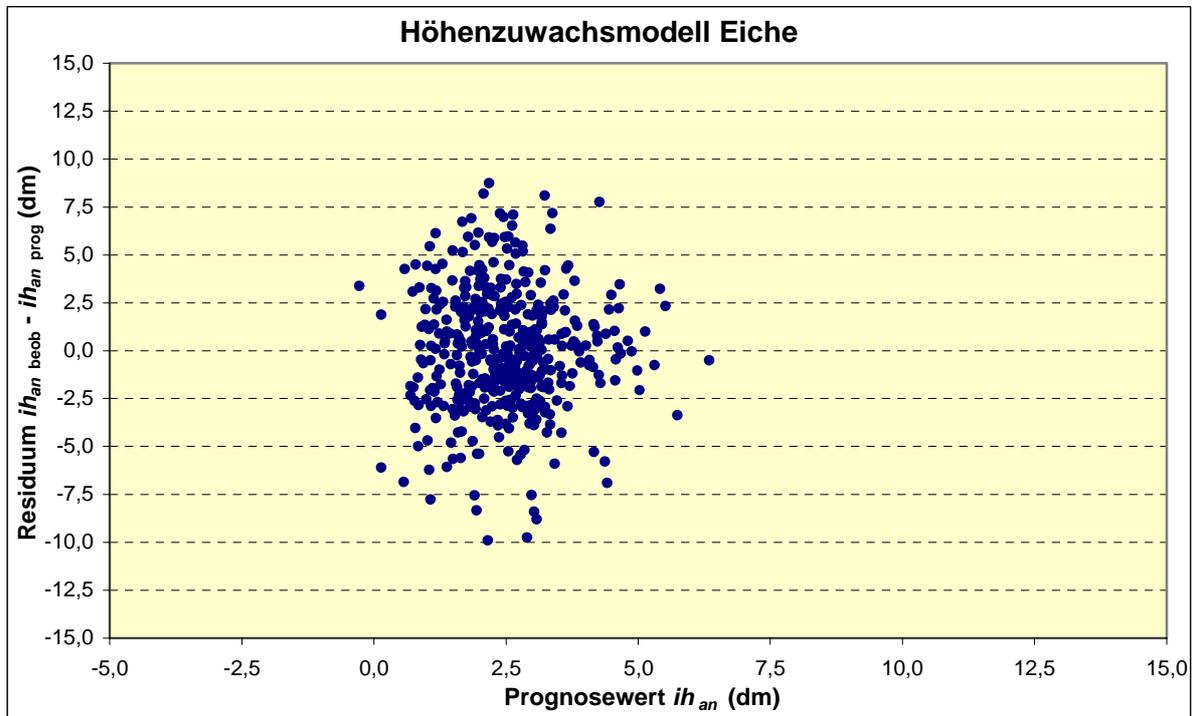


Abbildung 5.9: Residuenverteilung des Höhenzuwachsmodells für Eiche.

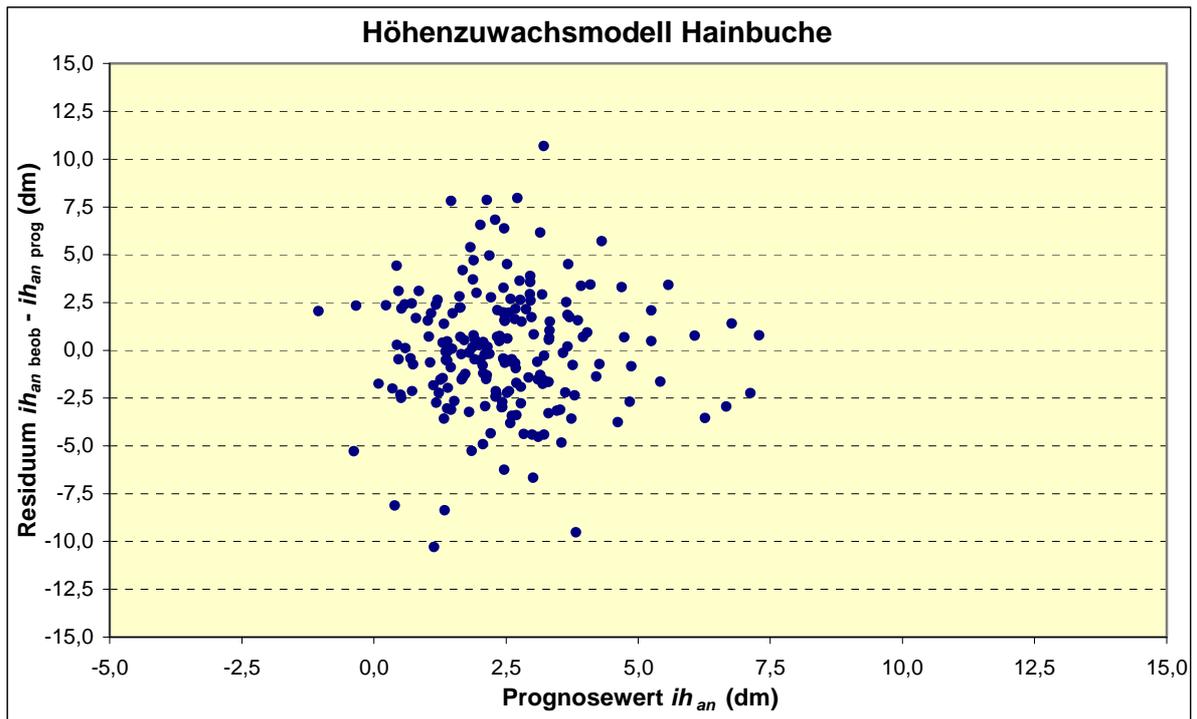


Abbildung 5.10: Residuenverteilung des Höhenzuwachsmodells für Hainbuche.

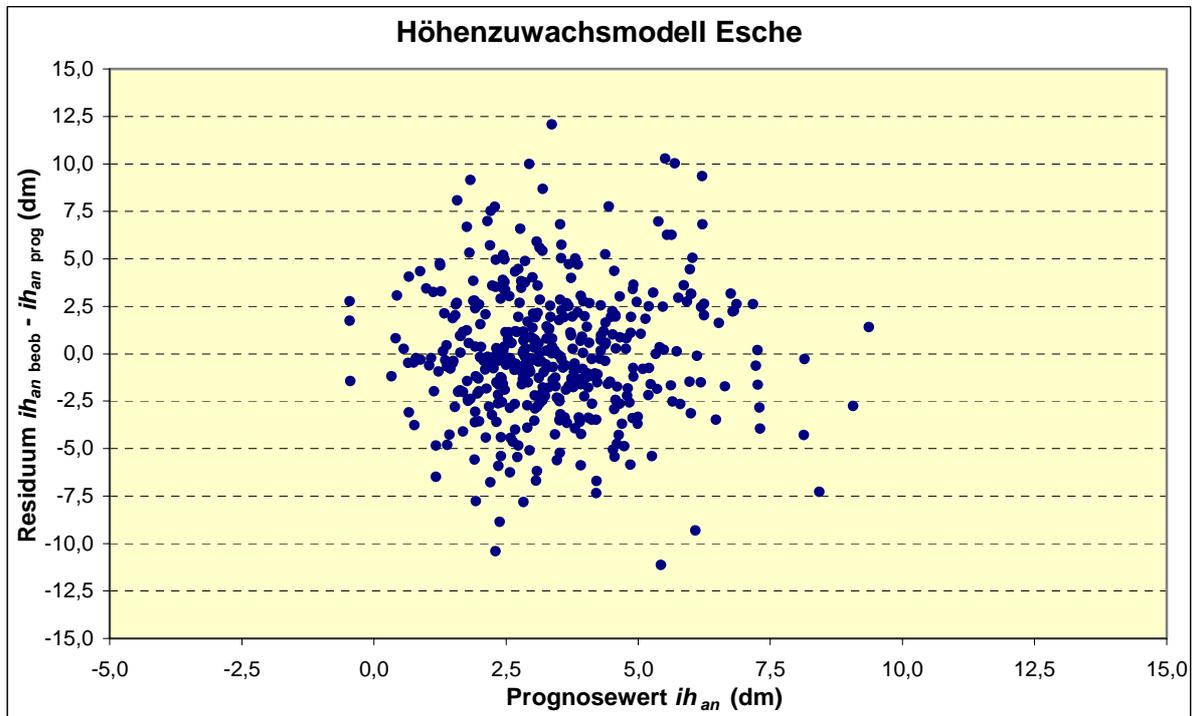


Abbildung 5.11: Residuenverteilung des Höhenzuwachsmodells für Esche.

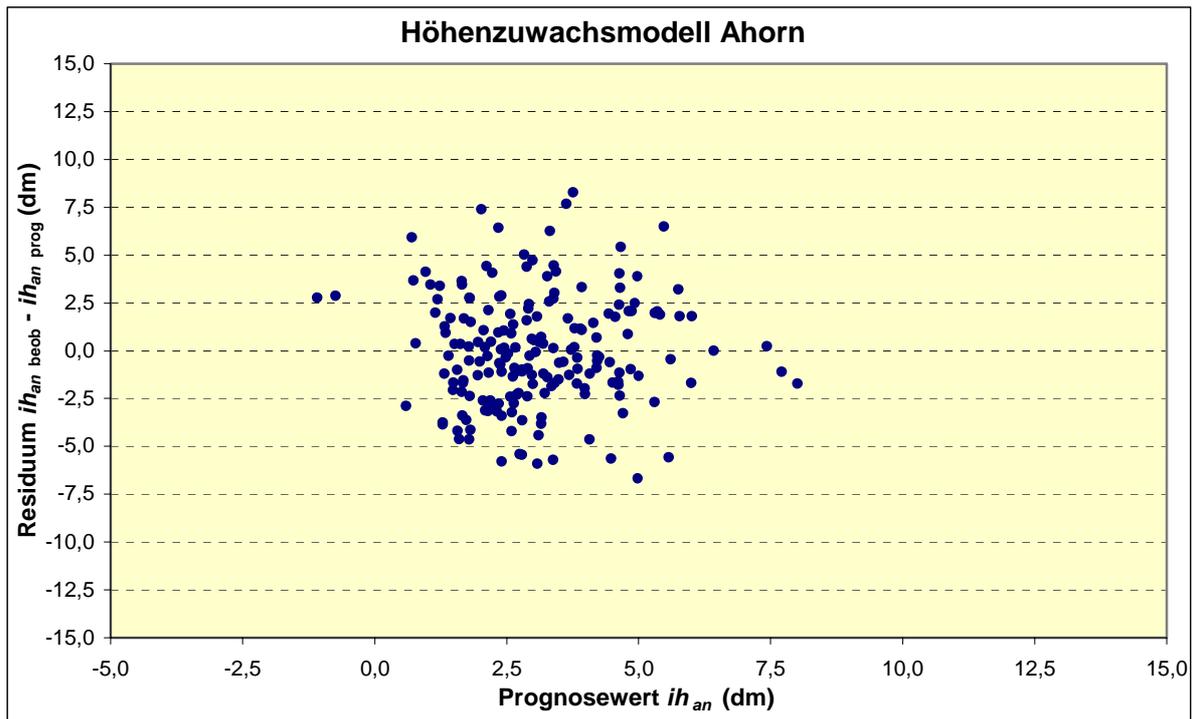


Abbildung 5.12: Residuenverteilung des Höhenzuwachsmodells für Ahorn.

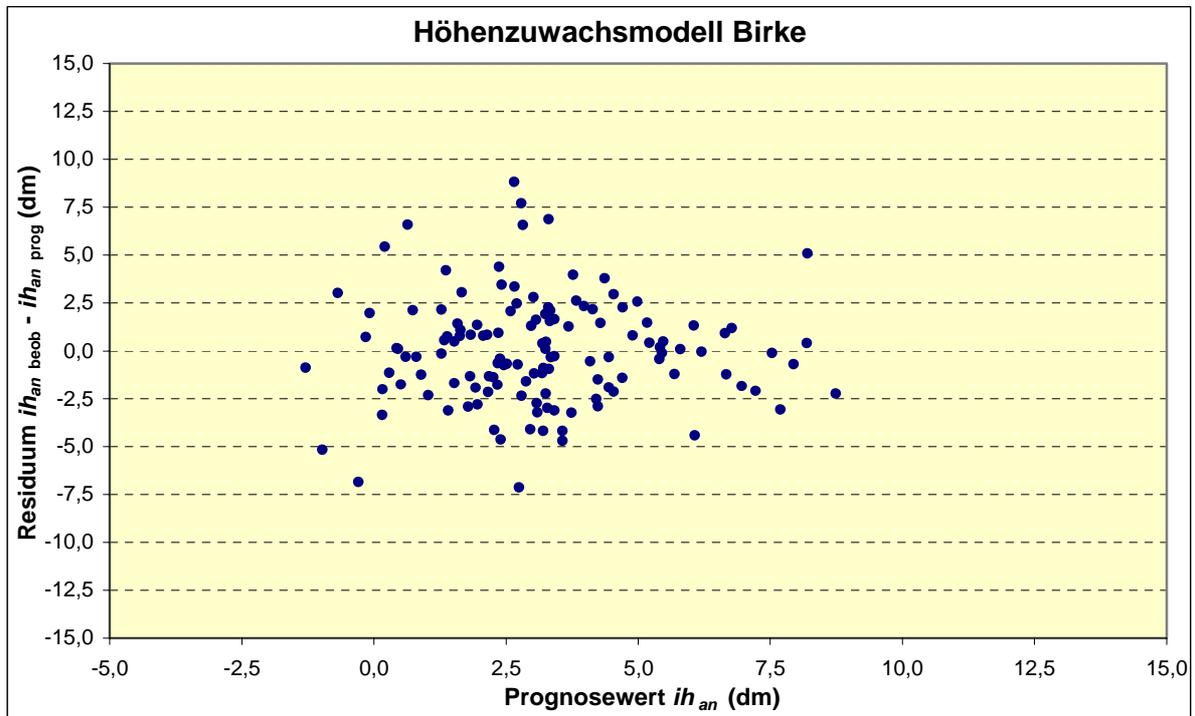


Abbildung 5.13: Residuenverteilung des Höhenzuwachsmodells für Birke.

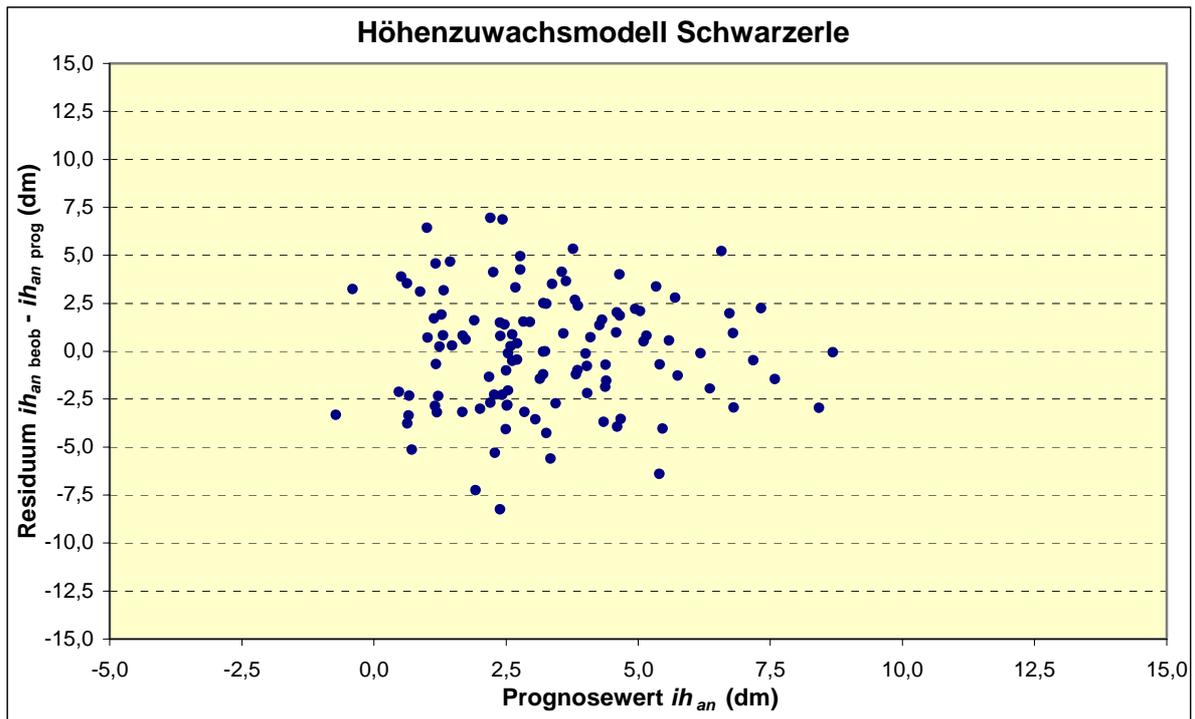


Abbildung 5.14: Residuenverteilung des Höhenzuwachsmodells für Schwarzerle.

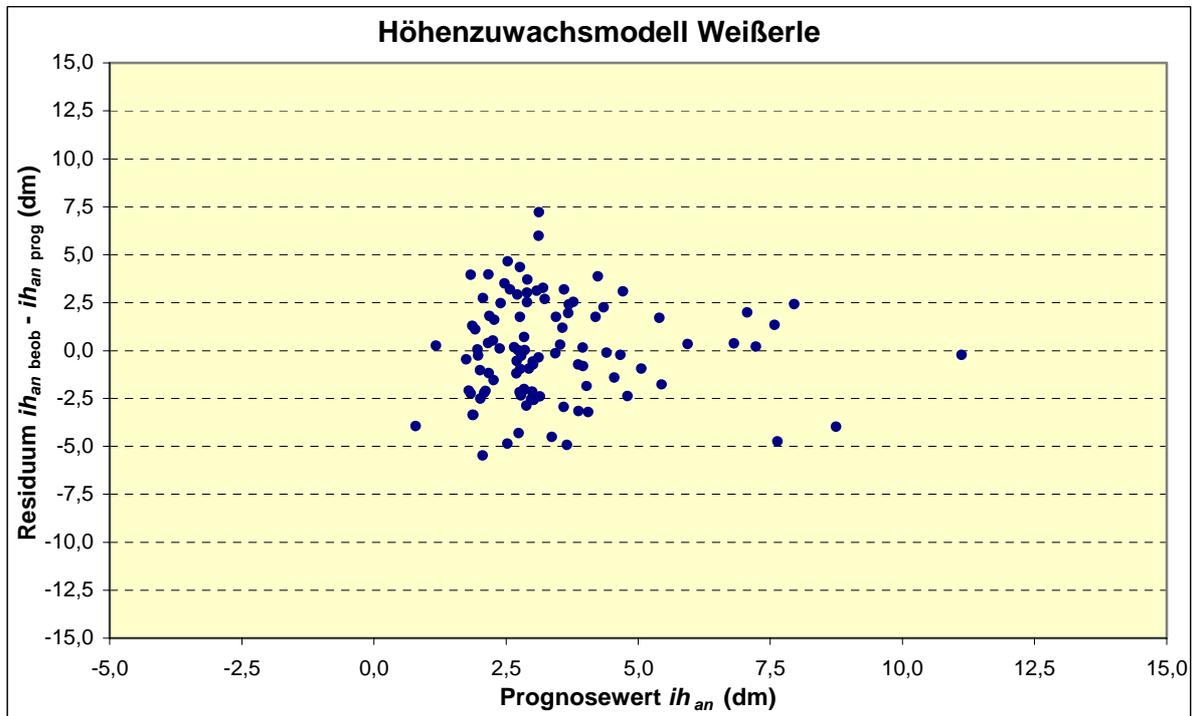


Abbildung 5.15: Residuenverteilung des Höhenzuwachsmodells für Weißerle.

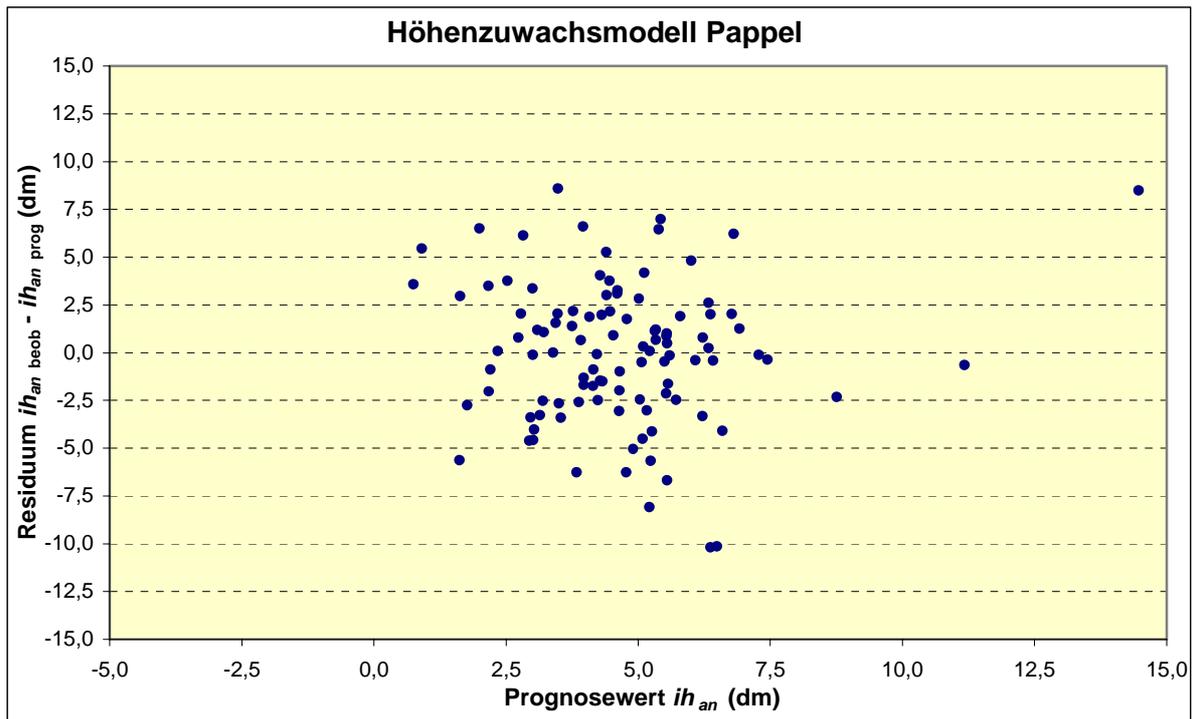


Abbildung 5.16: Residuenverteilung des Höhenzuwachsmodells für Pappel.

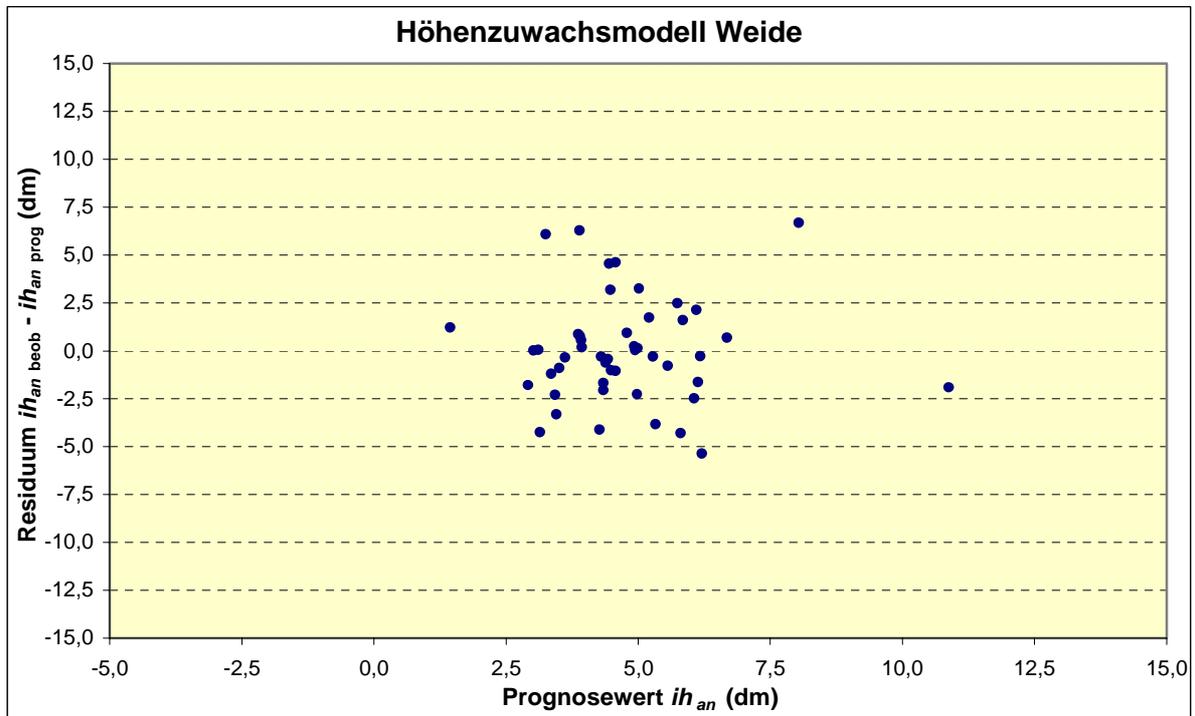


Abbildung 5.17: Residuenverteilung des Höhenzuwachsmodells für Weide.

### 5.1.4.2 Streumaße der Residuen der Höhenzuwachsmodelle

Die Standardabweichung, Schiefe und Kurtosis der Residuen der verwendeten Höhenzuwachsmodelle aus Tabelle 5.5 sind in Tabelle 5.6 dargestellt. Zur Überprüfung der Normalverteilung der Modellresiduen ist der p-Wert des Kolmogorov-Smirnov-Tests angegeben. Demnach ist die Residuenverteilung entweder gering rechts- oder linksschief und in den meisten Fällen hochgipfelig. Die Hypothese normalverteilter Residuen wurde im Allgemeinen für alle Modelle mit hohen Fallzahlen abgelehnt ( $p < 0,05$ ). Für Höhenzuwachsmodelle, die keine hohen Fallzahlen aufweisen, konnte die Annahme normalverteilter Fehlerterme im Allgemeinen nicht abgelehnt werden ( $p > 0,05$ ).

**Tabelle 5.6: Streumaße der Residuen der verwendeten Höhenzuwachsmodelle, Signifikanzniveau  $p$  des Kolmogorov-Smirnov-Tests auf Normalverteilung der Residuen, sowie die Probestammzahlen  $N$ .**

Baumart	Kollektiv	Standard- abweichung	Schiefe	Kurtosis	p	N
Fichte*	7+8	2,061	-0,023	1,585	< 0,010	2048
	12+14	2,166	-0,008	2,197	< 0,010	5768
Tanne	7+8+12+14	2,022	-0,053	1,083	0,143	402
Lärche	7+8+12+14	2,220	0,213	3,815	< 0,010	725
Weißkiefer*	7+8+12+14	2,397	0,423	2,495	< 0,010	743
Schwarzkiefer	7+8+12+14	1,489	-0,076	1,441	0,099	106
Zirbe	7+8+12+14	1,017	0,332	0,799	> 0,150	72
Buche*	7+8+12+14	3,173	0,010	0,887	< 0,010	1450
Eiche*	7+8+12+14	3,124	-0,023	0,354	0,087	439
Hainbuche	7+8+12+14	3,157	0,008	1,116	> 0,150	197
Esche*	7+8+12+14	3,398	0,210	0,853	0,011	420
Ahorn	7+8+12+14	2,891	0,247	-0,027	> 0,150	191
Birke	7+8+12+14	2,773	0,400	0,820	> 0,150	131
Schwarzerle	7+8+12+14	3,049	-0,072	-0,231	> 0,150	116
Weißerle	7+8+12+14	2,602	0,144	-0,355	> 0,150	101
Pappel*	7+8+12+14	3,710	-0,165	0,262	> 0,150	105
Weide	7+8+12+14	2,739	0,564	0,410	0,106	48

## 5.2 *D03H*-Modell

### 5.2.1 Datengrundlage

Anhand der Mittelwerte und Standardabweichungen der Modellvariablen ist in Tabelle 5.7 die Datengrundlage (nach Durchführung der Datenqualitätskontrolle - siehe Punkt 2.3) für die *D03H*-Modelle der ÖWI 2000/02 getrennt nach der verwendeten Baumartengruppierung dargestellt. Nicht in dieser Darstellung enthalten sind Probestämme, die Wipfelbrüche oder Zwiesel aufweisen oder die Dürrlinge sind.

**Tabelle 5.7: Die Datengrundlage für die Parametrisierung der  $D03H$ -Modelle der ÖWI 2000/02, dargestellt durch die Mittelwerte und Standardabweichungen (in Klammern) der Erklärungsvariablen (Einheit: Dezimeter);  $N$ ...Probestammzahl.**

Baumart	Kollektiv	Erklärungsvariable			$N$
		$D03H_{t2}$	$BHD_{t2}$	$\frac{D03H_{t1}}{BHD_{t1}}$	
Fichte*	7 + 8	2,94 (1,09)	3,90 (1,56)	0,780 (0,074)	1937
	12	2,53 (1,04)	3,31 (1,46)	0,786 (0,072)	937
	14	2,55 (0,96)	3,32 (1,33)	0,794 (0,073)	3334
Tanne	7 + 8	3,57 (1,32)	4,59 (1,86)	0,803 (0,066)	129
	12 + 14	3,27 (1,11)	4,23 (1,58)	0,801 (0,068)	242
Lärche	7 + 8	3,23 (1,00)	4,36 (1,44)	0,754 (0,070)	269
	12 + 14	2,85 (0,99)	3,84 (1,46)	0,767 (0,087)	391
Weißkiefer*	7 + 8 + 12 + 14	2,41 (0,66)	3,17 (0,89)	0,770 (0,066)	667
Schwarzkiefer	7 + 8 + 12 + 14	2,78 (0,95)	3,58 (1,29)	0,799 (0,062)	99
Zirbe	7 + 8 + 12 + 14	3,34 (1,20)	4,19 (1,55)	0,809 (0,062)	57
Buche*	7 + 8	2,80 (1,18)	3,62 (1,52)	0,778 (0,078)	382
	12 + 14	2,60 (1,08)	3,40 (1,35)	0,780 (0,083)	585
Eiche*	7 + 8 + 12 + 14	2,84 (1,15)	3,63 (1,46)	0,796 (0,083)	339
Hainbuche	7 + 8 + 12 + 14	1,61 (0,52)	2,19 (0,69)	0,732 (0,098)	75
Esche*	7 + 8 + 12 + 14	2,28 (0,94)	3,00 (1,17)	0,772 (0,090)	246
Ahorn	7 + 8 + 12 + 14	2,11 (0,72)	2,85 (0,92)	0,755 (0,076)	124
Birke	7 + 8 + 12 + 14	1,76 (0,64)	2,49 (0,85)	0,725 (0,090)	87
Erle*	7 + 8 + 12 + 14	1,78 (0,58)	2,37 (0,73)	0,769 (0,089)	138
Pappel*	7 + 8 + 12 + 14	2,95 (1,27)	3,92 (1,69)	0,772 (0,090)	75
Weide	7 + 8 + 12 + 14	2,11 (1,14)	3,02 (1,52)	0,694 (0,095)	23
Gesamt	7 + 8 + 12 + 14	2,67 (1,05)	3,50 (1,44)	0,783 (0,077)	10136

Baumarten, die mit „\*“ versehen sind, beinhalten mehrere zu Gruppen zusammengefasste Baumarten. Die verwendete Baumartengruppierung entspricht jener des Höhenzuwachsmo­dells von SCHIELER (1997), mit Ausnahme der Schwarz- und Weißerle, für die ein gemeinsames Modell parametrisiert wurde. In Tabelle 5.8 sind die in Gruppen zusammengefassten Baumarten ersichtlich.

Tabelle 5.8: Baumartengruppierung für das *D03H*-Modell der ÖWI 2000/02.

Gruppe	Baumarten
Fichte*	Fichte, Douglasie, sonstige Nadelbaumarten
Weißkiefer*	Weißkiefer, Weymouthskiefer
Buche*	Buche, Sorbus- und Prunusarten, Linden, sonstige Hart- und Weichlaubbaumarten
Eiche*	Eiche, Edelkastanie
Esche*	Esche, Ulme, Robinie
Erle*	Schwarzerle, Weißerle
Pappel*	Aspe, Weißpappel (Silberpappel), Schwarzpappel, Hybridpappel

### 5.2.2 Modellparametrisierung

Je nach Baumart kam einer der beiden Funktionstypen, nämlich der Ansatz

$$D03H_{t_2} = a + b * BHD_{t_2} + d * \frac{D03H_{t_1}}{BHD_{t_1}} \quad (9)$$

oder der Ansatz

$$D03H_{t_2} = a + c * (BHD_{t_2} - \max)^2 + d * \frac{D03H_{t_1}}{BHD_{t_1}} \quad (11)$$

zur Anwendung. Dass der Modellansatz (11) nicht für alle Baumarten verwendet werden konnte, hatte in den meisten Fällen seine Ursache darin, dass für den Ausdruck  $BHD_{t_2}^2$  in Funktion

$$D03H_{t_2} = a + b * BHD_{t_2} + c * BHD_{t_2}^2 + d * \frac{D03H_{t_1}}{BHD_{t_1}} \quad (10)$$

kein signifikanter ( $p < 0,05$ ) Koeffizient geschätzt werden konnte. Eine Verwendung der nicht signifikanten ( $p > 0,05$ ) Koeffizienten wurde unterlassen, weil sich aus diesen unplausible negative oder sehr hohe positive Maxima errechnen würden. Das Problem unplausibler Maxima wurde auch für einige Baumarten bei signifikanten Koeffizienten ( $p < 0,05$ ) des Terms  $BHD_{t_2}^2$  festgestellt. Beispielsweise ergab sich für die Esche ein Maximum von  $\max = -14,3$  und für die Weide ein Maximum von  $\max = -41,1$ . Konnte aus den genannten Gründen

kein plausibles max bestimmt werden, wurde für die betreffende Baumart der Modellansatz (9) verwendet. Weiters wurde darauf geachtet, ob die Verteilung der Residuen durch den Ausdruck  $(BHD_{t2} - \max)^2$  tatsächlich günstiger wurde und ob eine Verbesserung im Bestimmtheitsmaß erzielt werden konnte. In Tabelle 5.9 sind alle Probestammkollektive, für die Maxima bestimmt wurden, angeführt.

**Tabelle 5.9: Messreihenkollektive für die Maxima bestimmt wurden, die Werte von max, und die Probestammzahl N.**

Baumart	Kollektiv	max	N
Fichte*	7 + 8	26,83	1937
	12	19,30	937
	14	24,19	3334
	12 + 14	22,85	4271
	7 + 8 + 12 + 14	24,37	6208
Tanne	7 + 8	29,95	129
	14	22,54	197
	12 + 14	24,63	242
	7 + 8 + 12 + 14	31,62	371
Lärche	7 + 8	26,84	269
	12	17,29	97
	14	20,00	294
	12 + 14	19,78	391
	7 + 8 + 12 + 14	22,95	660
Weißkiefer*	12 + 14	18,72	374
	7 + 8 + 12 + 14	21,14	667
Buche*	7 + 8	39,22	382
	7 + 8 + 12 + 14	49,84	967

Wie aus der Darstellung der Datengrundlage zur *D03H*-Modellierung in Tabelle 5.7 ersichtlich, bestehen zwischen den Probestämmen, die seit der Periode 1981/85 erhoben werden (Kollektiv 7 + 8) und den in den Perioden 1986/90 und 1992/96 eingewachsenen Bäumen (Kollektiv 12 + 14) Unterschiede hinsichtlich der Modellparameter. Zwischen den Fichten der Kollektive 12 und 14 sind die Unterschiede gering.

Es musste also herausgefunden werden, für welche Kollektive getrennte Modelle zu parametrisieren sind. Grundsätzlich bieten sich zwei verschiedene Methoden an. Beim Koeffizientenvergleich wird mittels *t*-Test dahingehend geprüft, ob sich die Koeffizienten  $K_1$  und  $K_2$  einer Modellvariable in zwei Modellen signifikant ( $p < 0,05$ ) voneinander unterscheiden, wobei sich die Prüfgröße *t* als

$$t = \frac{K_1 - K_2}{s_{12}} \quad (13)$$

errechnet.  $s_{12}$  berechnet sich aus

$$s_{12} = \sqrt{s_1^2 + s_2^2} \quad (14)$$

Diese Methode des Koeffizientenvergleichs hat den entscheidenden Nachteil, dass damit zwar feststellbar ist, ob zwischen den Koeffizienten einzelner Modellvariablen signifikante ( $p < 0,05$ ) Unterschiede bestehen, nicht jedoch, ob sich die Modelle selbst signifikant unterscheiden. Dazu sind in Tabelle 5.10 beispielhaft die *D03H*-Modelle der Fichte für die Kollektive 12 und 14 im modifizierten Ansatz (11) nach SCHIELER (1997) mittels Koeffizientenvergleich gegenübergestellt.

**Tabelle 5.10: Koeffizientenvergleich der *D03H*-Modelle für die Kollektive 12 und 14 der Baumart Fichte. M...Modellansatz.**

Kollektiv	M	Koeffizient + Standardfehler			
		<i>a</i>	<i>c</i>	max	<i>d</i>
12	11	7,3591 (0,0857)	-0,02304 (0,00018)	19,30	1,4036 (0,1102)
14	11	9,2876 (0,0483)	-0,01760 (0,00008)	24,19	1,2063 (0,0566)
<i>t</i> -Wert		-19,61***	-28,31***	-	1,59 n.s.

Daraus geht hervor, dass im Modell für das Kollektiv 12 die Koeffizienten *a* und *c* signifikant ( $p < 0,05$ ) niedriger sind als im Modell für das Kollektiv 14. Hingegen ist der Koeffizient *d* größer, zwar nicht signifikant ( $p > 0,05$ ), aber dennoch wird durch ihn die Wirkung der Koeffizienten *a* und *c* zum Teil ausgeglichen. Ob und in welchem Ausmaß sich die beiden Modelle insgesamt unterscheiden, kann also durch den Koeffizientenvergleich nur mäßig gut festgestellt werden.

Aus diesem Grund wurde die Methode des Varianzvergleichs angewendet. Dadurch kann – wie bereits für das Höhenzuwachsmodell der Fichte gezeigt – überprüft werden, ob durch die Parametrisierung getrennter Modelle (für die Kollektive 7 + 8, 12 und 14 bzw. 7 + 8 und 12 + 14) eine signifikante Verringerung der Abweichungsquadratsumme erreicht werden kann. In Tabelle 5.11 sind die getrennten *D03H*-Modelle, durch die eine signifikante Reduktion der Abweichungsquadratsumme erreicht wurde, dargestellt.

**Tabelle 5.11: Signifikante Verringerung der Abweichungsquadratsumme durch Parametrisierung getrennter Modelle; M...Modellansatz, SQ...Abweichungsquadratsumme, FG...Freiheitsgrade, MQ...mittlere quadratische Abweichung.**

Baumart	M	Kollektiv	SQ	FG	MQ	F-Wert	
Fichte*	11	7 + 8	118,761	1934	0,056	9,31*	
		12	50,525	934			
		14	177,169	3331			
		Summe	346,455	6199			
		Gesamt (7 + 8 + 12 + 14)		349,578	6205		
		Differenz		3,123	6		0,521
Tanne	11	7 + 8	10,824	126	0,076	2,90*	
		12 + 14	16,886	239			
		Summe	27,710	365			
		Gesamt (7 + 8 + 12 + 14)		28,371	368		
		Differenz		0,661	3		0,220
Lärche	11	7 + 8	19,097	266	0,067	4,55*	
		12 + 14	24,531	388			
		Summe	43,628	654			
		Gesamt (7 + 8 + 12 + 14)		44,538	657		
		Differenz		0,911	3		0,304
Buche*	9	7 + 8	29,922	379	0,077	6,68*	
		12 + 14	44,300	582			
		Summe	74,222	961			
		Gesamt (7 + 8 + 12 + 14)		75,770	964		
		Differenz		1,548	3		0,516

Für die Weißkiefer und die Buche wird die Modellwahl näher erläutert, da es für diese Baumarten schwierig war, das geeignetste Modell zu finden. Wie aus Tabelle 5.9 zu entnehmen ist, konnten für die Weißkiefer nur für das Gesamtmodell (Kollektiv 7 + 8 + 12 + 14) und für die Einwüchse der Inventurperioden 1986/90 und 1992/96 (Kollektive 12 + 14) Maxima bestimmt werden. Daraus ergibt sich, dass für die Weißkiefer bei Verwendung des Modellansatzes (11) keine getrennten Modelle mit plausiblen Maxima parametrisiert werden können. Daher wurde überprüft, ob bei Verwendung des Modellansatzes (9) durch die Parametrisierung getrennter Modelle (für die Kollektive 7 + 8 und 12 + 14) eine signifikante ( $p < 0,05$ ) Reduktion der Abweichungsquadratsumme erzielt werden konnte. Da dies nicht der Fall war ( $F\text{-Wert} = 2,34$ ;  $p > 0,05$ ) wurden die Abweichungsquadratsummen der Gesamtmodelle der Ansätze (9) und (11) einander gegenübergestellt (Tabelle 5.12).

Tabelle 5.12: Die Abweichungsquadratsummen SQ für die Gesamtmodelle der Weißkiefer in den Modellansätzen (9) und (11); N...Probestammzahl.

Modellansatz	Kollektiv	SQ	N
(9)	7 + 8 + 12 + 14	26,733	667
(11)	7 + 8 + 12 + 14	26,443	667

Demnach weist der modifizierte Modellansatz (11) nach SCHIELER (1997) eine etwas günstigere Abweichungsquadratsumme auf als der Modellansatz (9). Da zudem die Verteilung der Residuen des Ansatzes (11) etwas günstiger ist als die des Ansatzes (9), wurde für die Weißkiefer ein Gesamtmodell des Ansatzes (11) parametrisiert.

Für die Buche konnte nur für das Gesamtmodell (Kollektiv 7 + 8 + 12 + 14) und für das Kollektiv 7 + 8 ein (mehr oder minder plausibles) Maximum bestimmt werden (Tabelle 5.9). Daraus ergibt sich, dass bei Verwendung des Modellansatzes (11) nur ein Gesamtmodell (Kollektiv 7 + 8 + 12 + 14) parametrisiert werden kann. Wie in Tabelle 5.11 gezeigt, kann bei Verwendung des Modellansatzes (9) die Abweichungsquadratsumme durch Parametrisierung separater Modelle für die Kollektive 7 + 8 und 12 + 14 von  $SQ = 75,770$  auf  $SQ = 74,222$  signifikant reduziert werden ( $F = 6,68$ ;  $p < 0,05$ ). Im Vergleich dazu beträgt die Abweichungsquadratsumme des Gesamtmodells (Kollektiv 7 + 8 + 12 + 14) im Modellansatz (11)  $SQ = 75,200$  (Tabelle 5.13). Folglich war es nahe liegend für die Buche den Modellansatz (9) zu verwenden und getrennte *D03H*-Modelle für die Kollektive 7 + 8 und 12 + 14 zu parametrisieren.

Tabelle 5.13: Die Abweichungsquadratsummen SQ der zur Wahl stehenden Modellansätze (9) und (11) für die Buche; N...Probestammzahl.

Modellansatz	Kollektiv	SQ	N
(9)	7 + 8	29,922	382
	12 + 14	44,300	585
	Summe	74,222	967
(11)	7 + 8 + 12 + 14	75,200	967

### 5.2.3 Koeffizienten

Die Koeffizienten, Bestimmtheitsmaße  $R^2$  und Probestammzahlen  $N$  der verwendeten *D03H*-Modelle sind der nachfolgenden Tabelle 5.14 zu entnehmen. Mit „\*“ versehene Baumarten entsprechen den Baumartengruppierungen aus Tabelle 5.8.

Tabelle 5.14: Die Koeffizienten der *D03H*-Modelle der ÖWI 2000/02; *M*...Modellansatz; *R*<sup>2</sup>...Bestimmtheitsmaß; *N*...Probestammzahl.

Baumart	Kollektiv	M	Koeffizient					<i>R</i> <sup>2</sup>	<i>N</i>
			<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	max	<i>d</i>		
Fichte*	7+8	11	9,7963		-0,01576	26,83	1,8868	0,948	1937
	12		7,3591		-0,02304	19,30	1,4036	0,950	937
	14		9,2876		-0,01760	24,19	1,2063	0,942	3334
Tanne	7+8	11	11,4634		-0,01453	29,95	1,8625	0,951	129
	12+14		9,2342		-0,01730	24,63	1,5888	0,943	242
Lärche	7+8	11	9,5193		-0,01605	26,84	2,4590	0,929	269
	12+14		7,3440		-0,02226	19,78	1,5831	0,936	391
Weißkiefer*	7+8+12+14	11	8,1898		-0,02029	21,14	1,0125	0,910	667
Schwarzkiefer	7+8+12+14	9	-1,3499	0,7292			1,9048	0,954	99
Zirbe	7+8+12+14	9	-0,9118	0,7689			1,2725	0,938	57
Buche*	7+8	9	-1,5298	0,7378			2,1274	0,944	382
	12+14		-1,0740	0,7704			1,3533	0,936	585
Eiche*	7+8+12+14	9	-1,3297	0,7597			1,7687	0,944	339
Hainbuche	7+8+12+14	9	-0,3139	0,6659			0,6295	0,843	75
Esche*	7+8+12+14	9	-0,8201	0,7730			1,0186	0,931	246
Ahorn	7+8+12+14	9	-0,7643	0,7416			1,0082	0,910	124
Birke	7+8+12+14	9	-0,9491	0,7195			1,2667	0,879	87
Erle*	7+8+12+14	9	-0,4127	0,7380			0,5710	0,878	138
Pappel*	7+8+12+14	9	-0,7090	0,7373			1,0047	0,942	75
Weide	7+8+12+14	9	-1,4774	0,7562			1,8810	0,957	23

## 5.2.4 Residuenanalyse

### 5.2.4.1 Residuenverteilung der verwendeten *D03H*-Modelle

Die Residuen der in Tabelle 5.14 enthaltenen *D03H*-Modelle sind in den nachfolgenden Residuenplots ersichtlich (Abbildungen 5.18 bis 5.37).

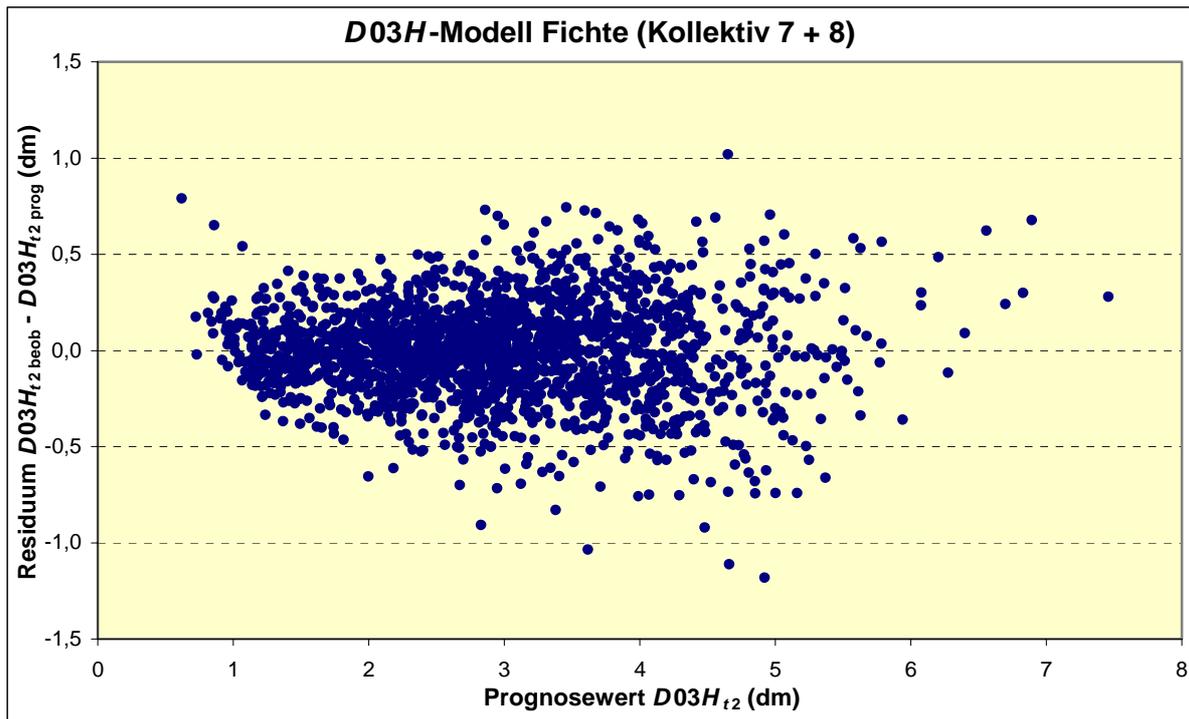


Abbildung 5.18: Residuenverteilung des *D03H*-Modells für Fichte (Kollektiv 7 + 8).

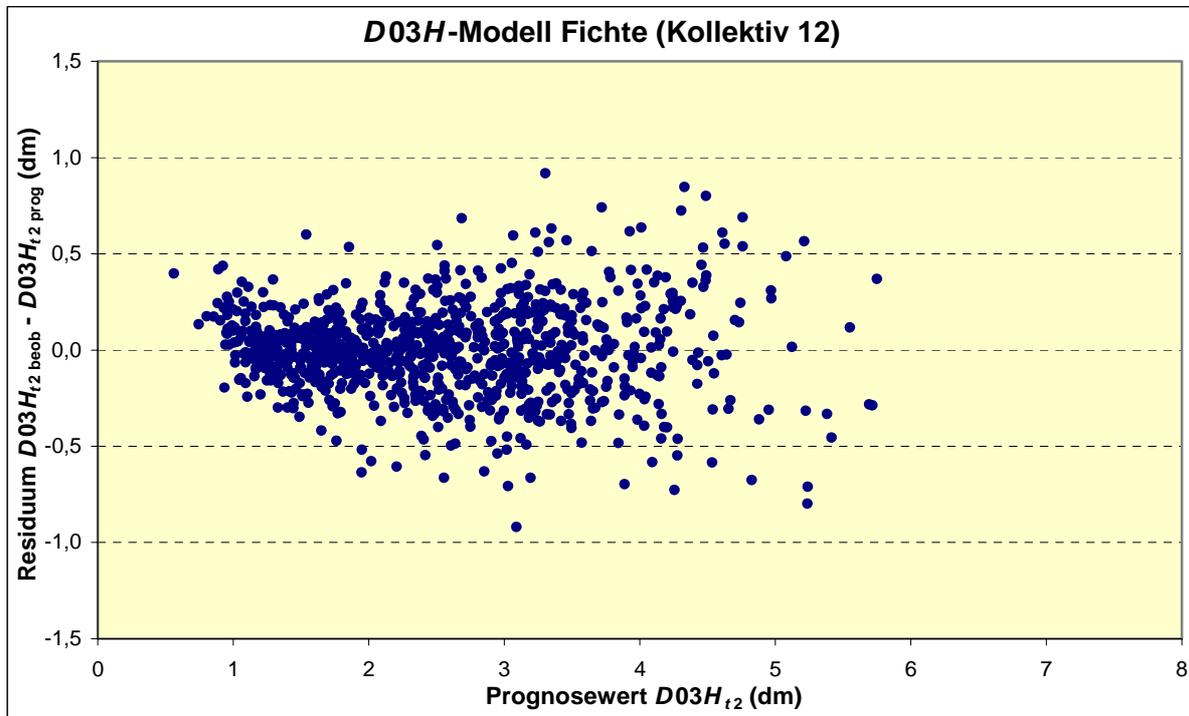


Abbildung 5.19: Residuenverteilung des *D03H*-Modells für Fichte (Kollektiv 12).

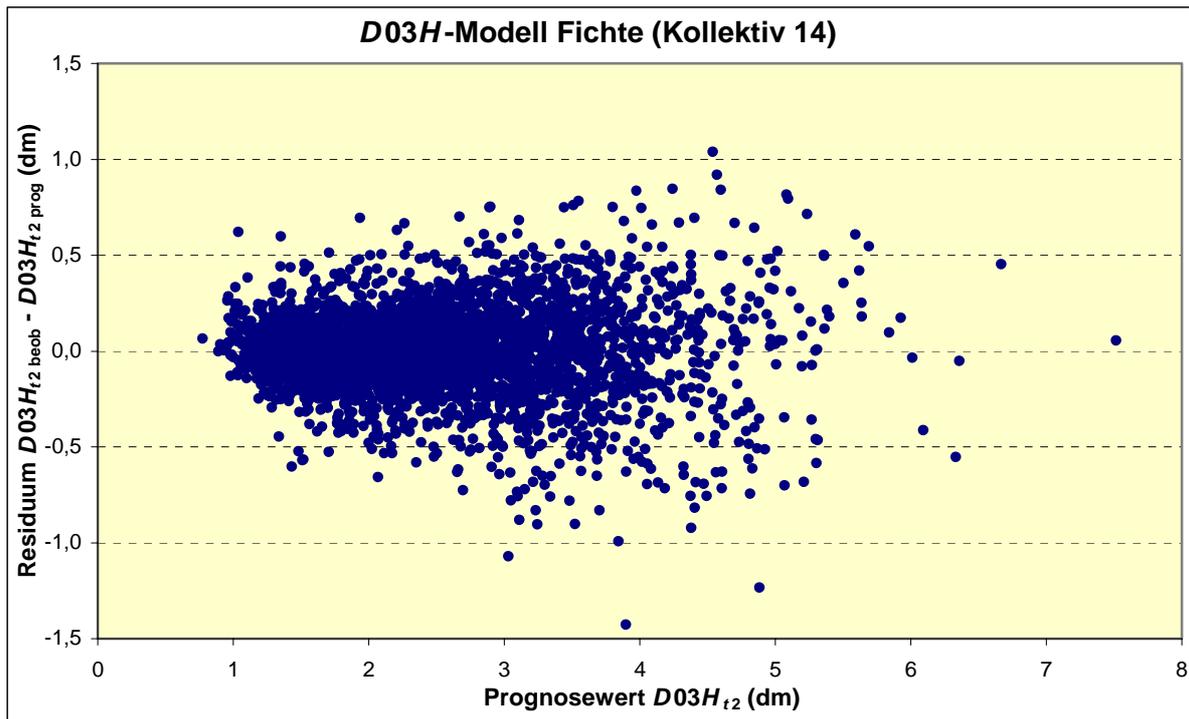


Abbildung 5.20: Residuenverteilung des *D03H*-Modells für Fichte (Kollektiv 14).

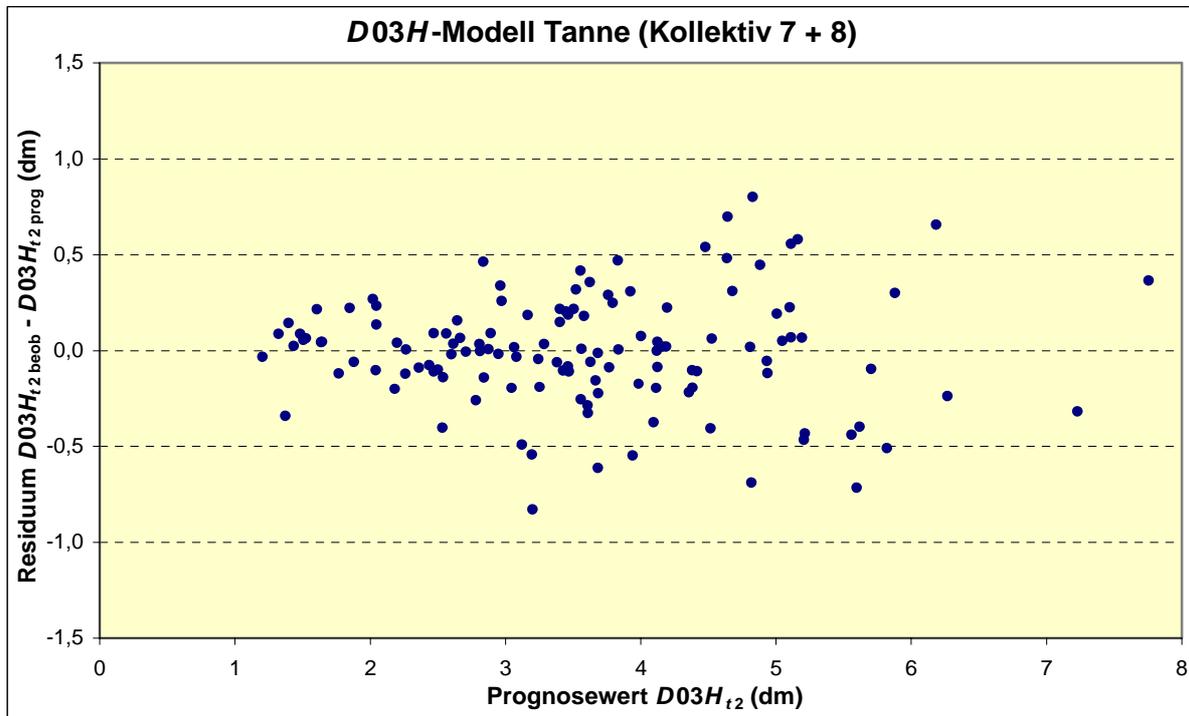


Abbildung 5.21: Residuenverteilung des *D03H*-Modells für Tanne (Kollektiv 7 + 8).

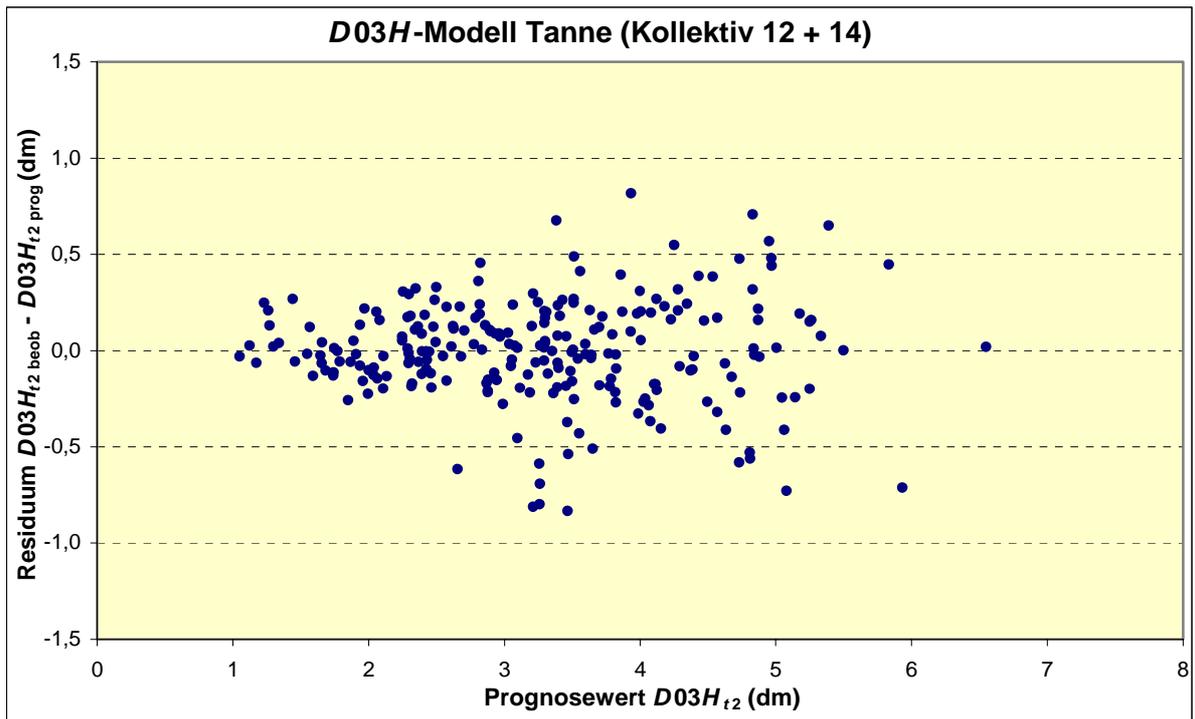


Abbildung 5.22: Residuenverteilung des *D03H*-Modells für Tanne (Kollektiv 12 + 14).

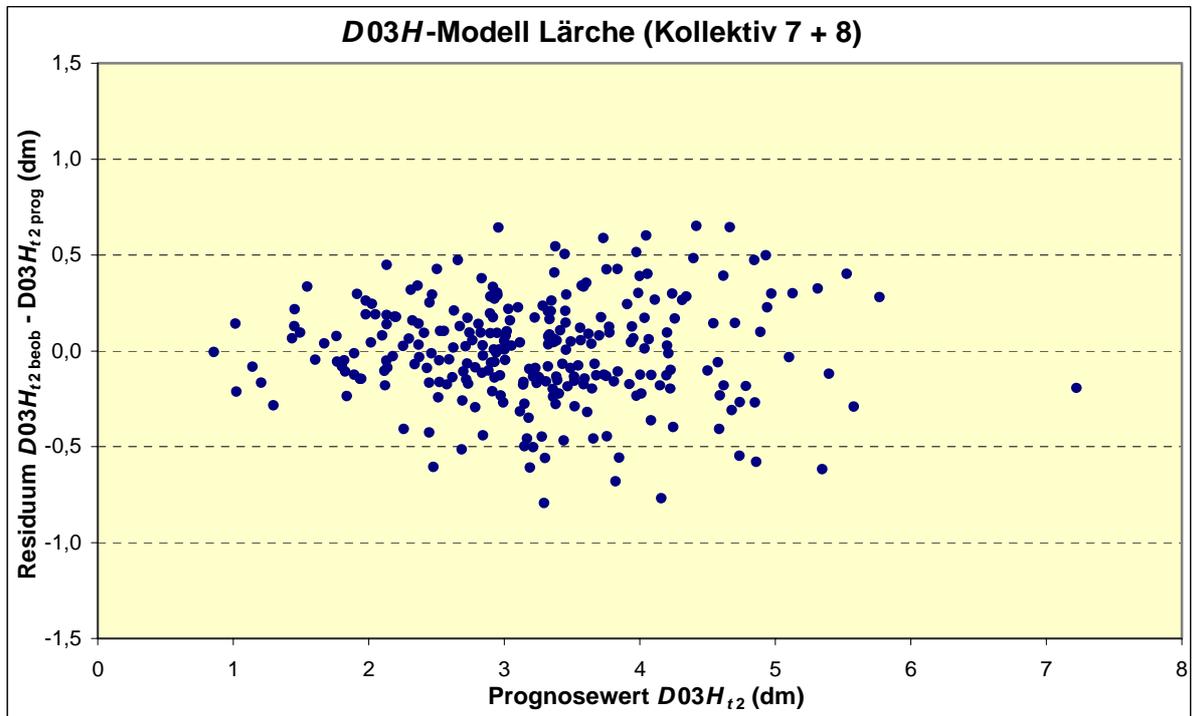


Abbildung 5.23: Residuenverteilung des *D03H*-Modells für Lärche (Kollektiv 7 + 8).

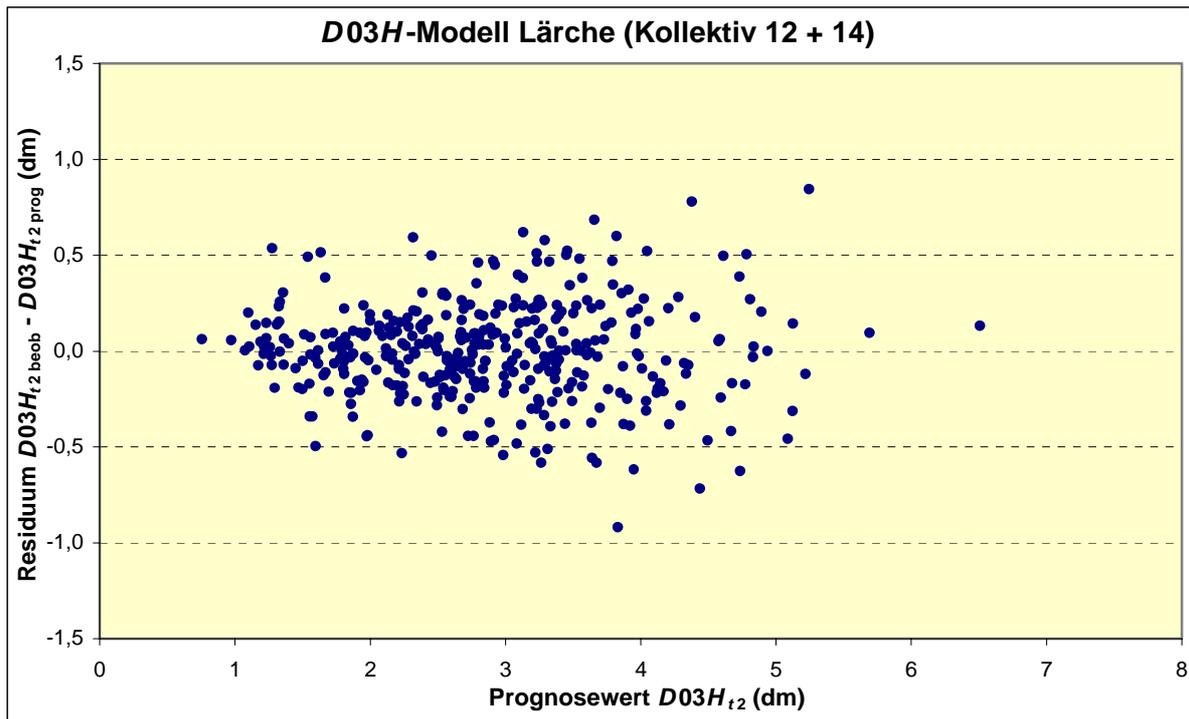


Abbildung 5.24: Residuenverteilung des *D03H*-Modells für Lärche (Kollektiv 12 + 14).

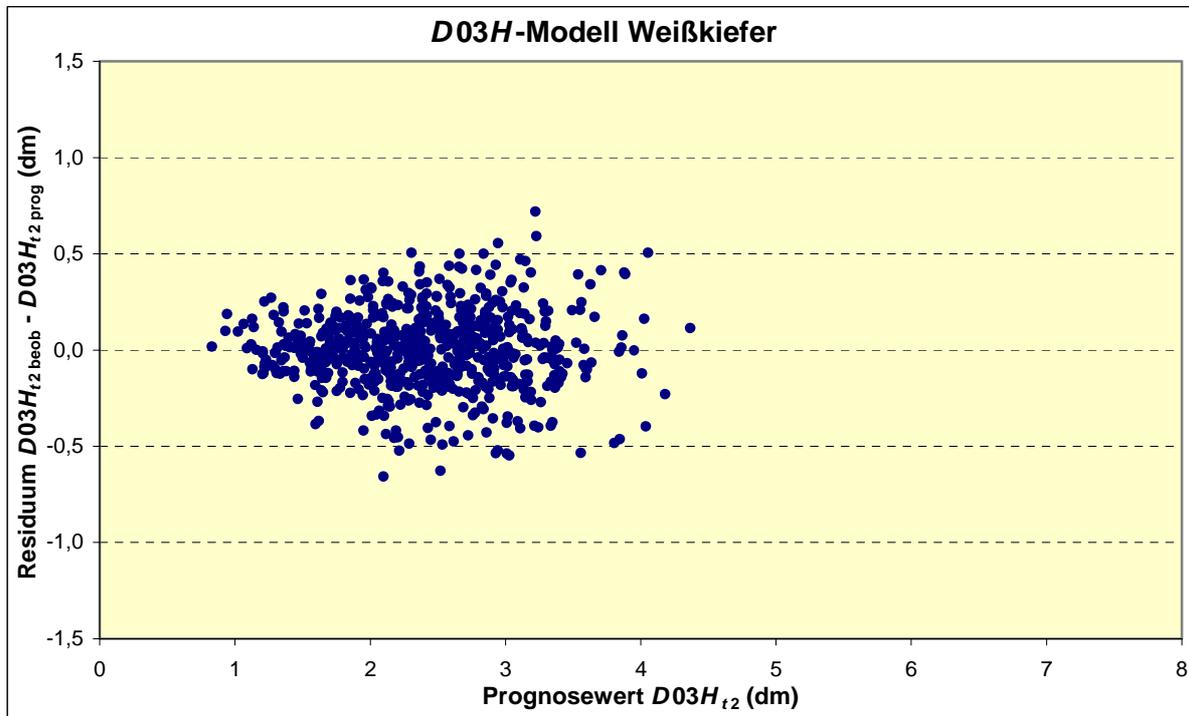


Abbildung 5.25: Residuenverteilung des *D03H*-Modells für Weißkiefer.

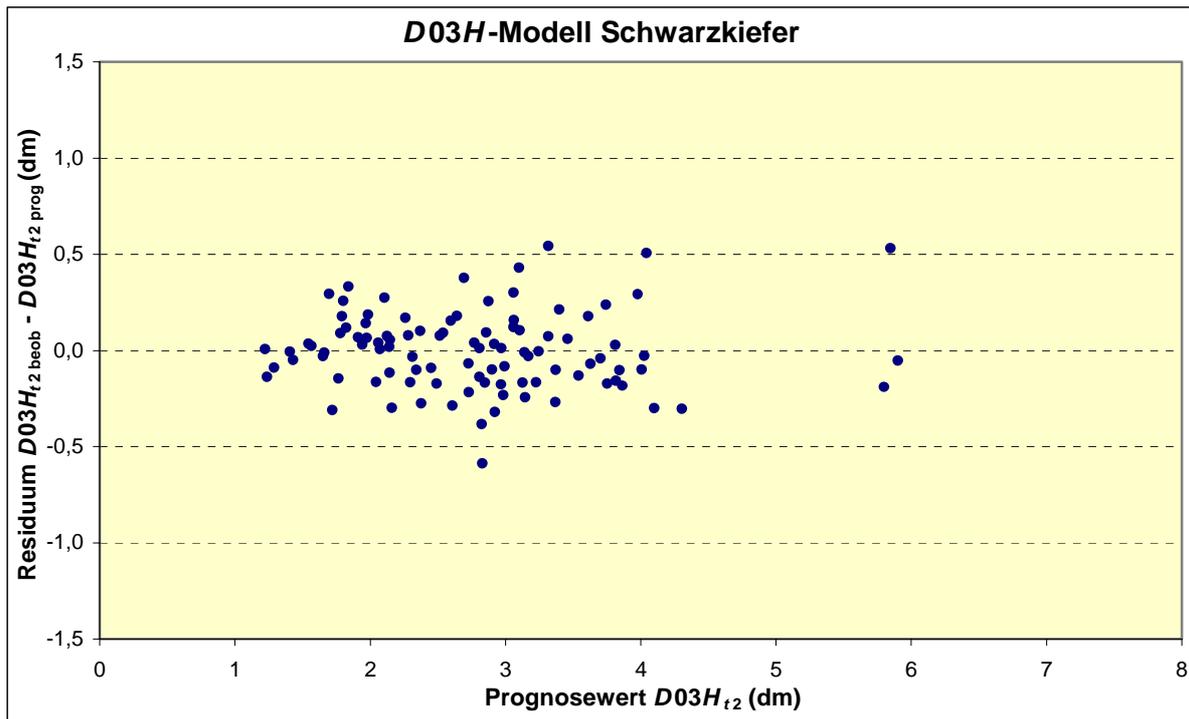


Abbildung 5.26: Residuenverteilung des *D03H*-Modells für Schwarzkiefer.

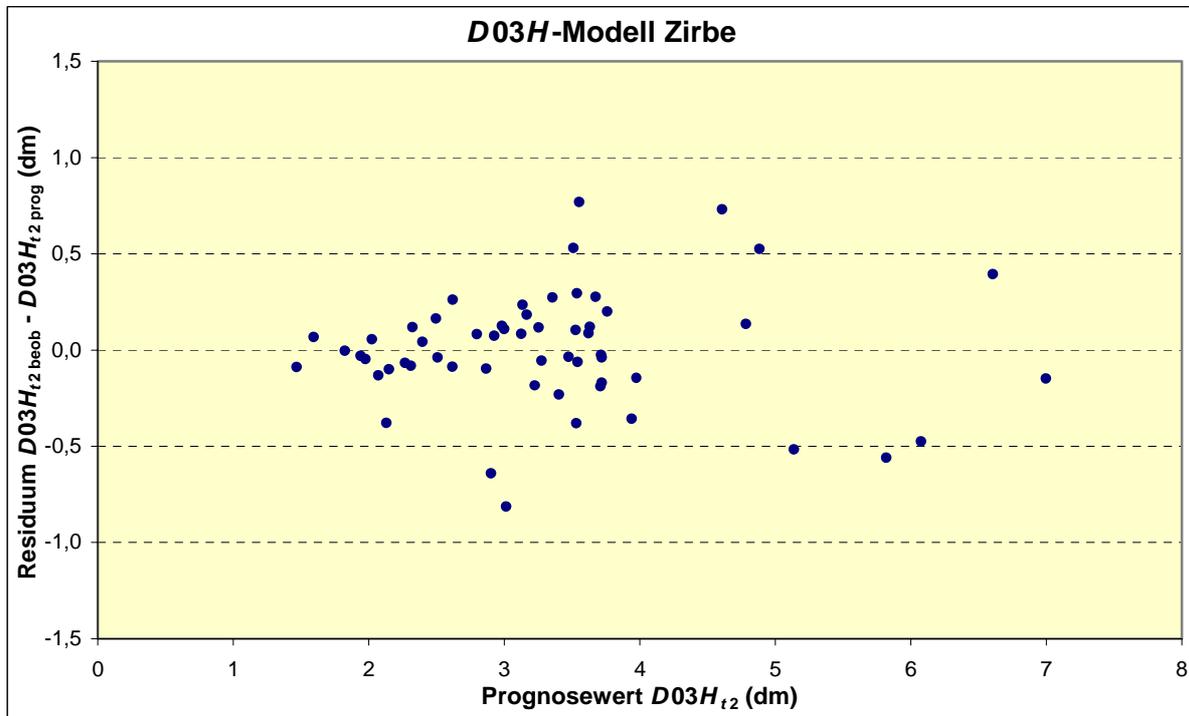


Abbildung 5.27: Residuenverteilung des *D03H*-Modells für Zirbe.

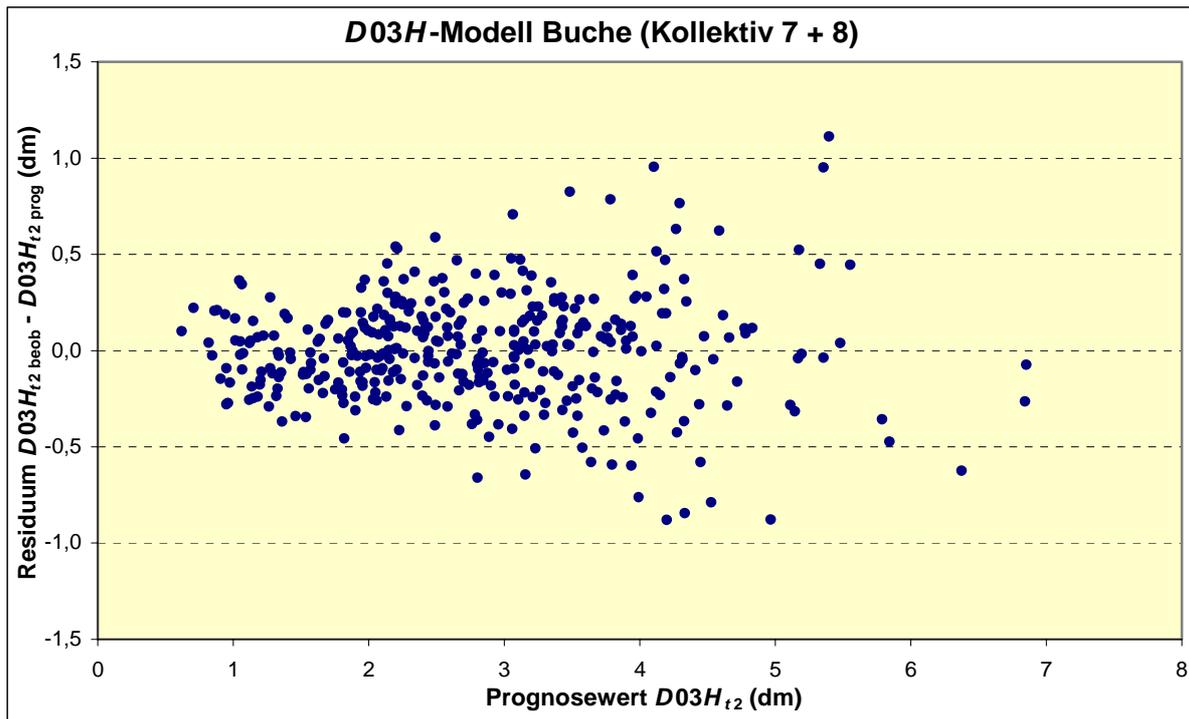


Abbildung 5.28: Residuenverteilung des *D03H*-Modells für Buche (Kollektiv 7 + 8).

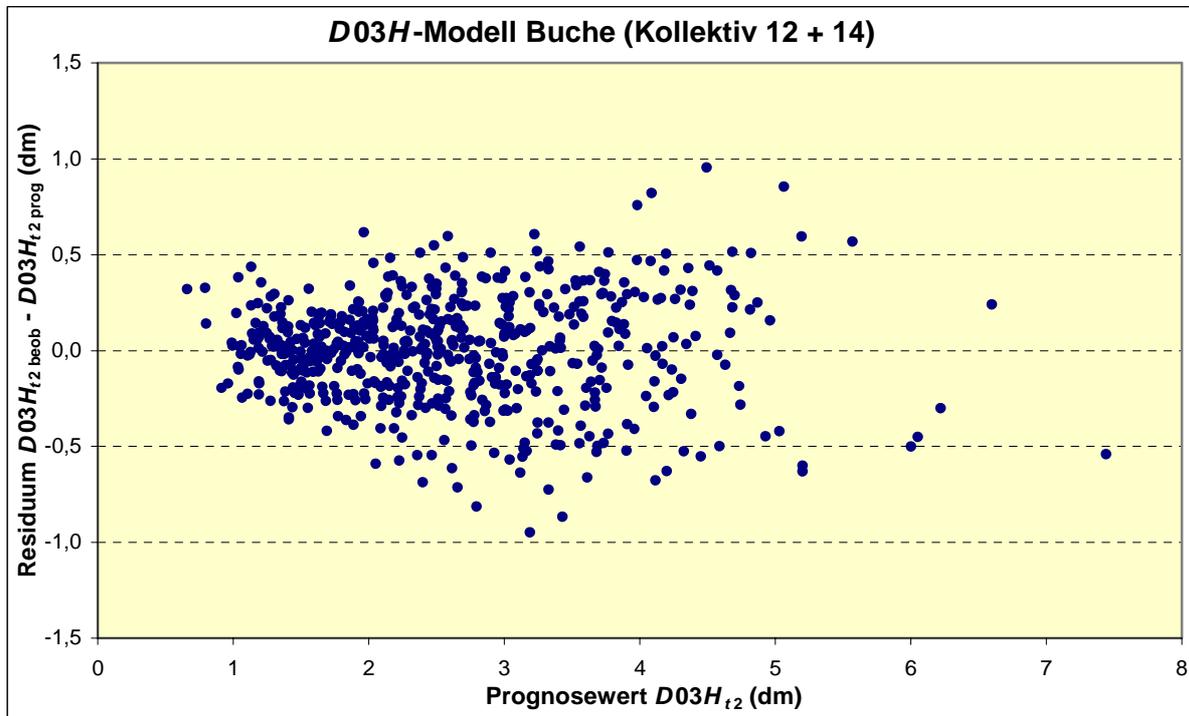


Abbildung 5.29: Residuenverteilung des *D03H*-Modells für Buche (Kollektiv 12 + 14).

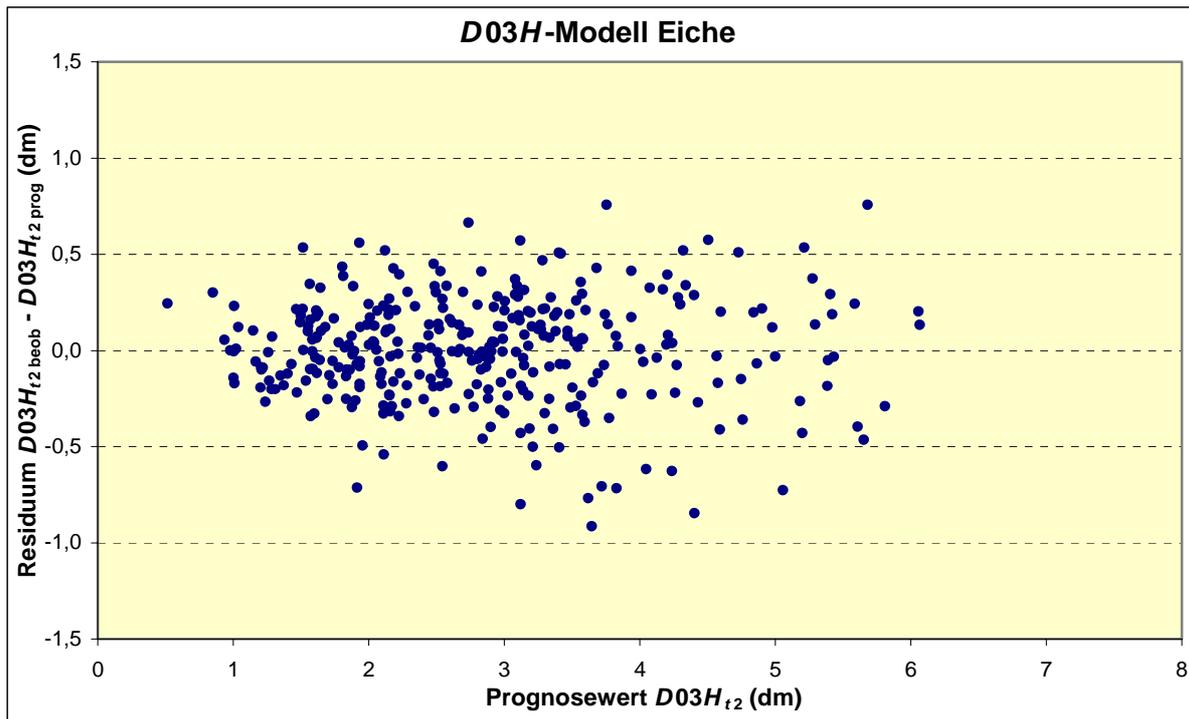


Abbildung 5.30: Residuenverteilung des *D03H*-Modells für Eiche.

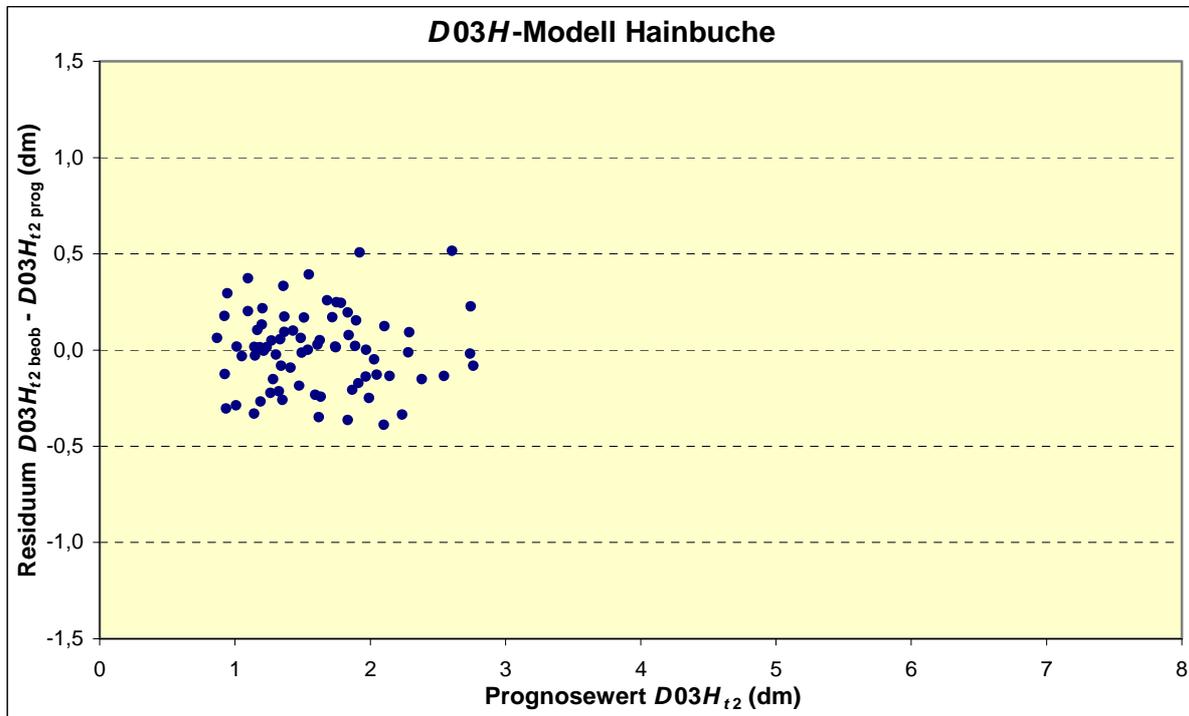


Abbildung 5.31: Residuenverteilung des *D03H*-Modells für Hainbuche.

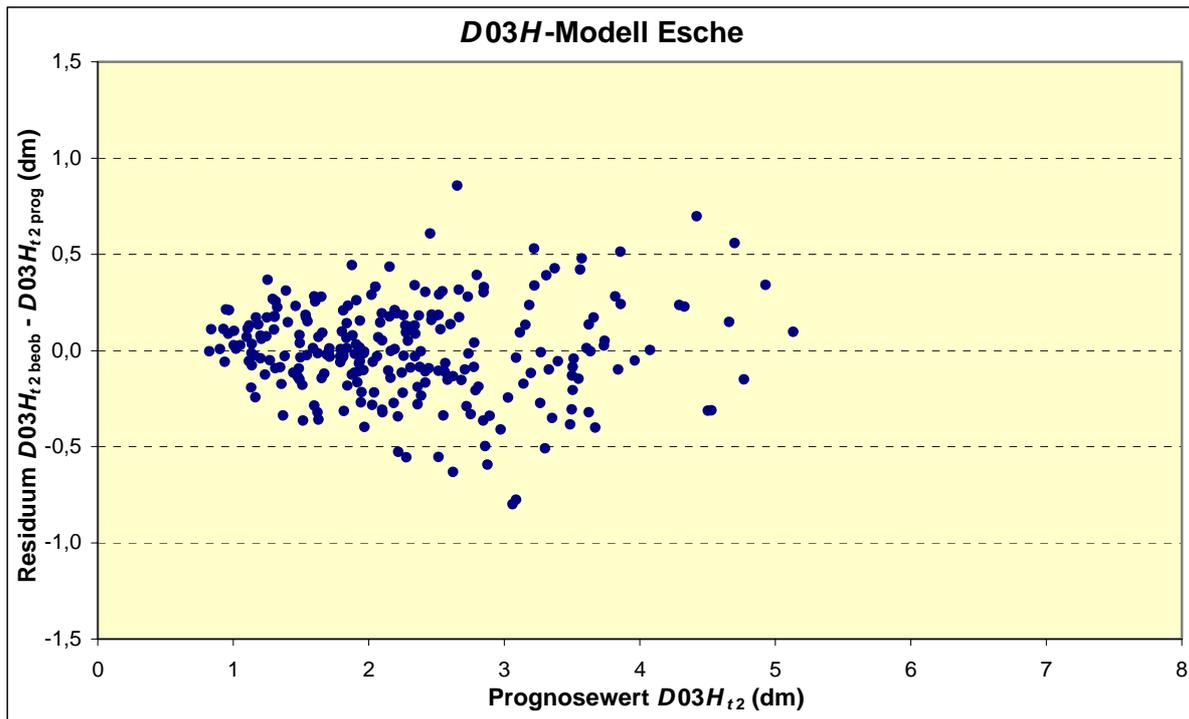


Abbildung 5.32: Residuenverteilung des *D03H*-Modells für Esche.

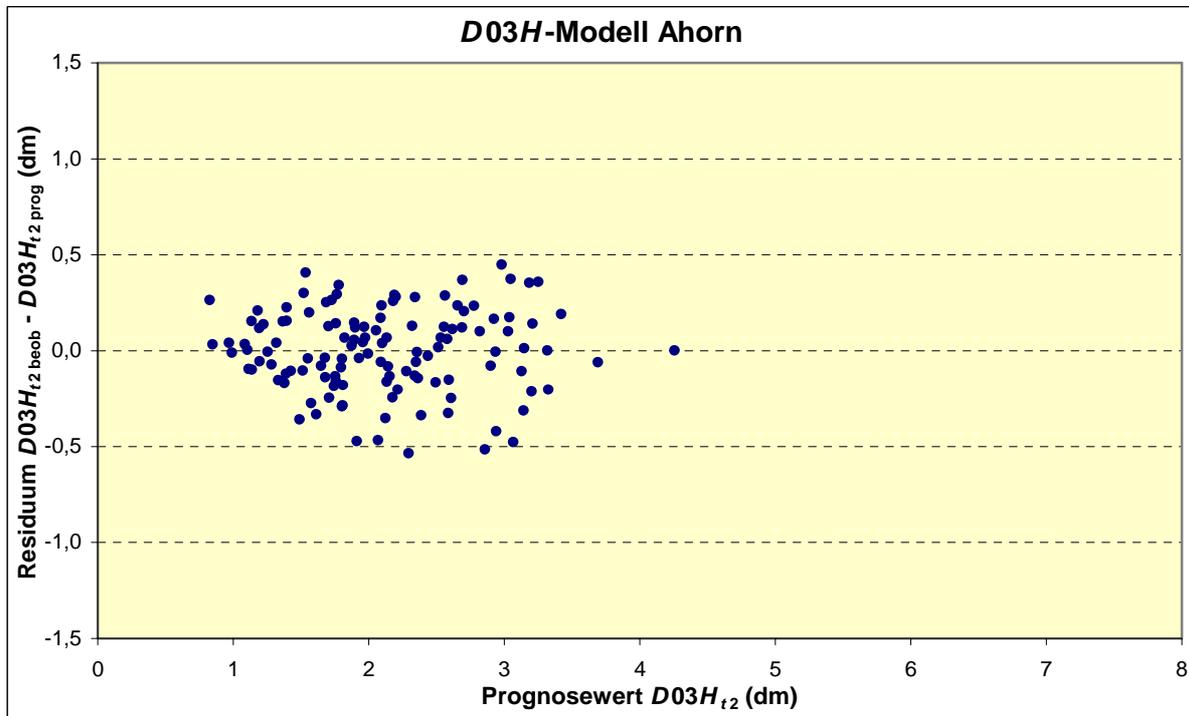


Abbildung 5.33: Residuenverteilung des *D03H*-Modells für Ahorn.

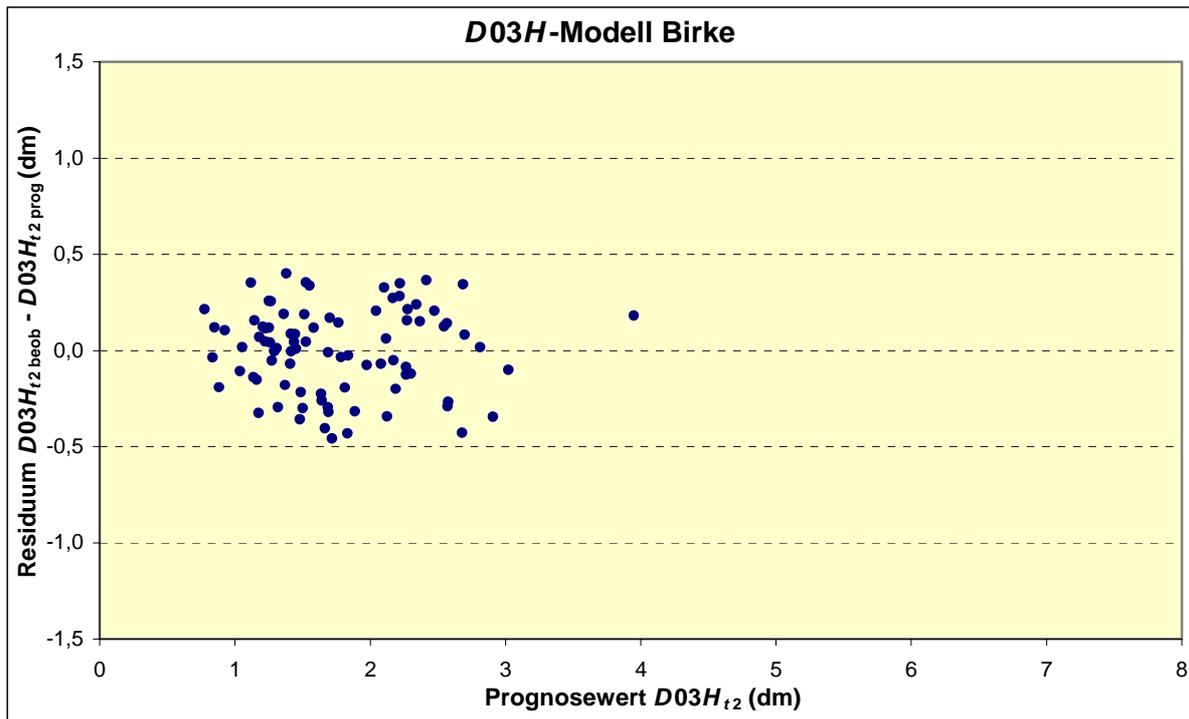


Abbildung 5.34: Residuenverteilung des *D03H*-Modells für Birke.

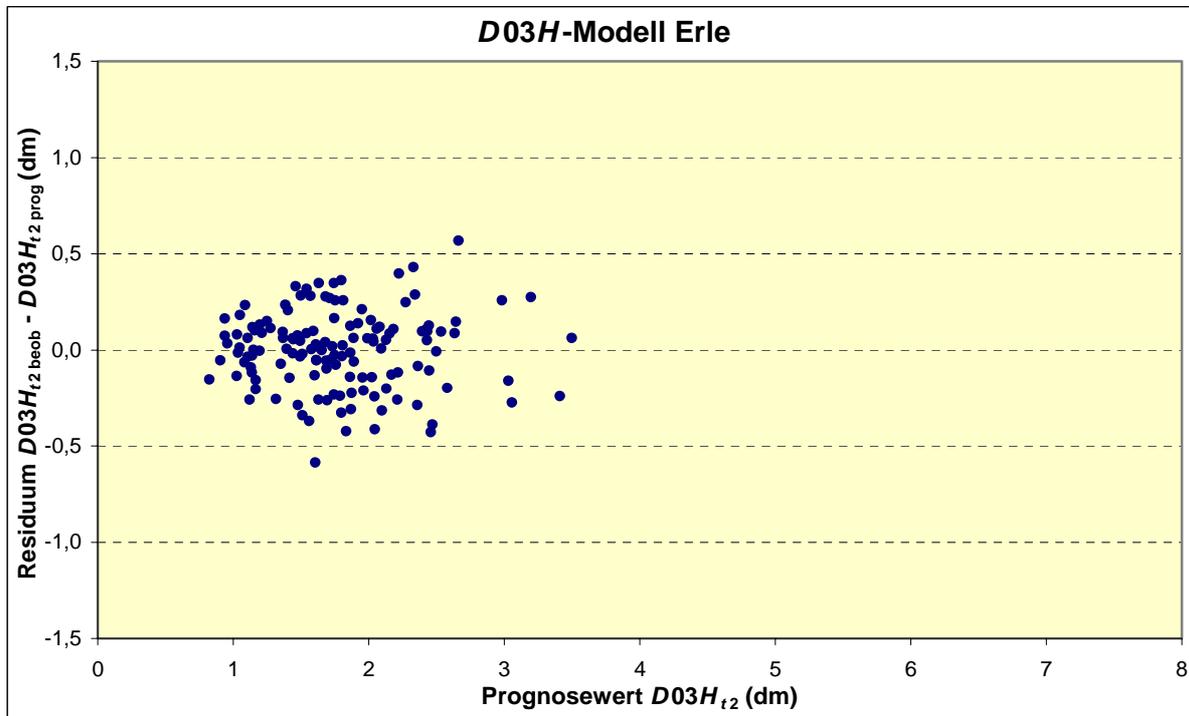


Abbildung 5.35: Residuenverteilung des *D03H*-Modells für Erle (Schwarz- und Weißerle).

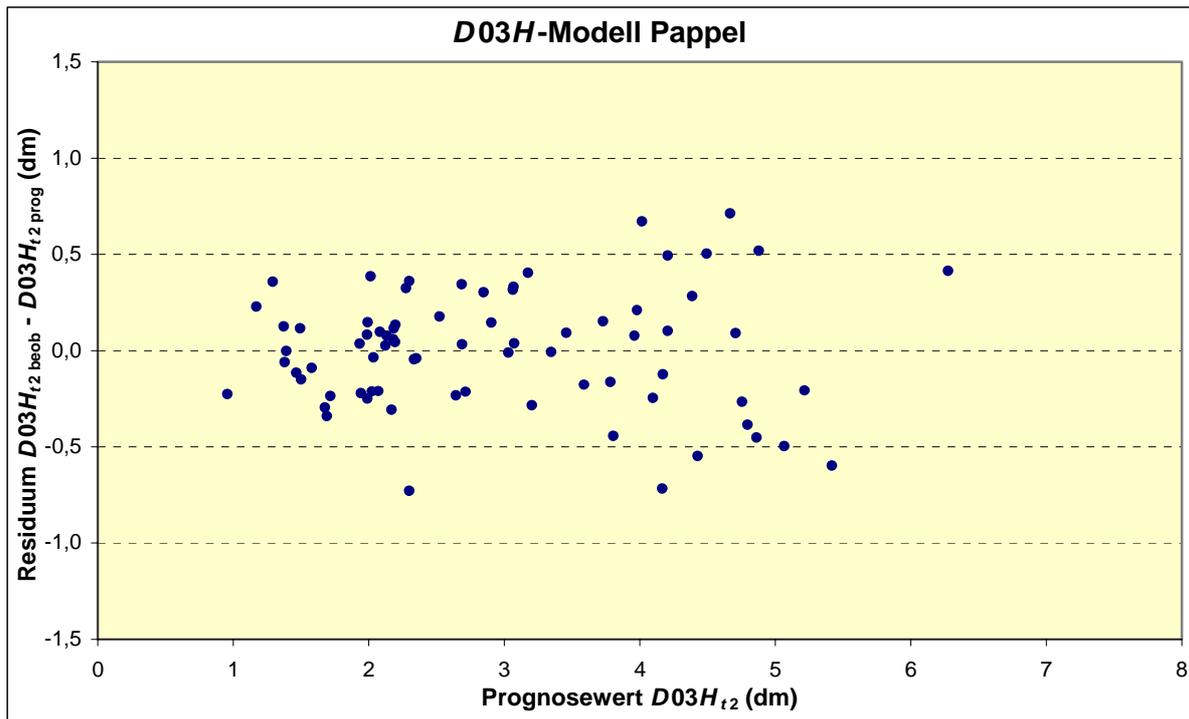


Abbildung 5.36: Residuenverteilung des *D03H*-Modells für Pappel.

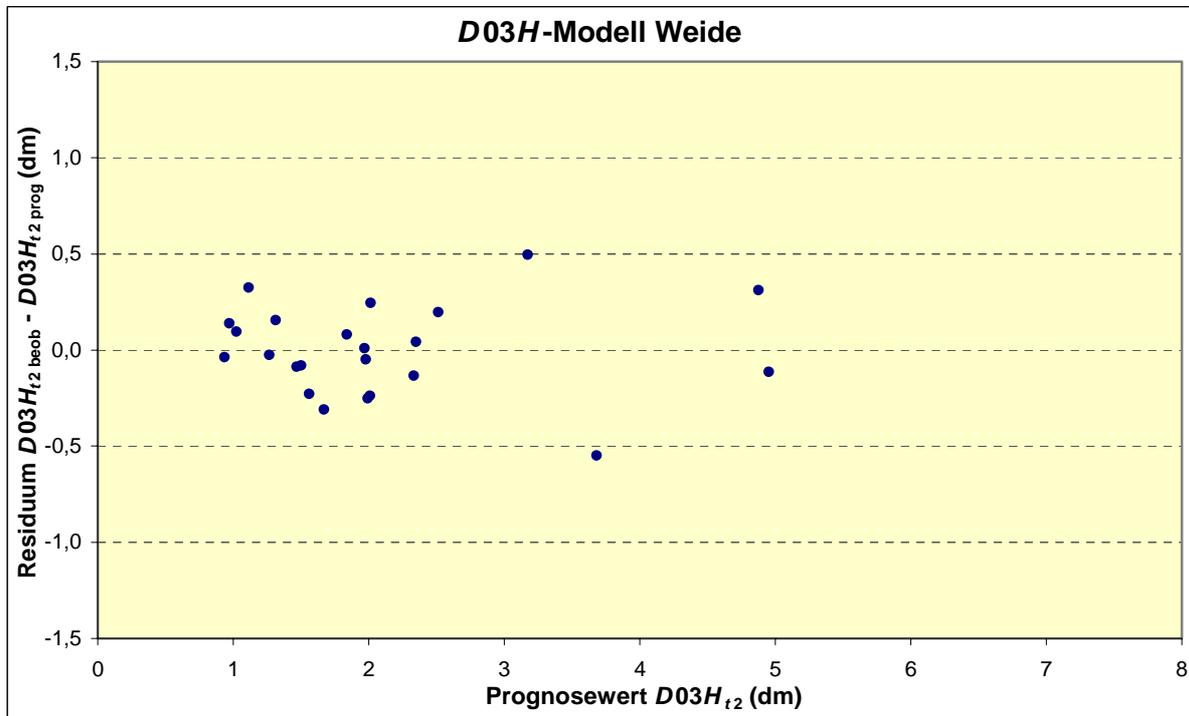


Abbildung 5.37: Residuenverteilung des *D03H*-Modells für Weide.

### 5.2.4.2 Streumaße der Modellresiduen der D03H-Modelle

In Tabelle 5.15 sind die Standardabweichung, die Schiefe und die Kurtosis der Modellresiduen der verwendeten D03H-Modelle ersichtlich. Demnach sind die Residuen gering rechts- oder linksschief und fast immer hochgipfelig verteilt. Zur Überprüfung der Modellresiduen auf Normalverteilung sind die p-Werte des Kolmogorov-Smirnov-Tests angegeben. Die Hypothese normalverteilter Modellresiduen musste im Allgemeinen für D03H-Modelle mit hohen Fallzahlen abgelehnt werden ( $p < 0,05$ ). Für Modelle mit geringen Fallzahlen hingegen konnte keine signifikante Abweichung der Residuen von der Normalverteilung nachgewiesen werden.

**Tabelle 5.15: Die Streumaße der Residuen der verwendeten D03H-Modelle, die Signifikanzniveaus  $p$  des Kolmogorov-Smirnov-Tests auf Normalverteilung der Residuen, und die Probestammzahl  $N$ .**

Baumart	Kollektiv	Standard- abweichung	Schiefe	Kurtosis	p	N
Fichte*	7 + 8	0,248	-0,200	1,110	< 0,010	1937
	12	0,232	0,001	1,320	< 0,010	937
	14	0,231	-0,281	2,140	< 0,010	3334
Tanne	7 + 8	0,291	-0,087	0,566	0,024	129
	12 + 14	0,265	-0,334	1,267	0,014	242
Lärche	7 + 8	0,267	-0,165	0,197	0,093	269
	12 + 14	0,251	0,039	0,828	0,029	391
Weißkiefer*	7 + 8 + 12 + 14	0,199	-0,080	0,647	0,020	667
Schwarzkiefer	7 + 8 + 12 + 14	0,204	0,291	0,539	> 0,150	99
Zirbe	7 + 8 + 12 + 14	0,299	-0,064	1,155	0,105	57
Buche*	7 + 8	0,280	0,182	1,551	0,058	382
	12 + 14	0,275	-0,198	0,464	< 0,010	585
Eiche*	7 + 8 + 12 + 14	0,273	-0,339	0,701	> 0,150	339
Hainbuche	7 + 8 + 12 + 14	0,205	0,231	-0,190	> 0,150	75
Esche*	7 + 8 + 12 + 14	0,248	-0,092	0,849	> 0,150	246
Ahorn	7 + 8 + 12 + 14	0,215	-0,303	-0,277	> 0,150	124
Birke	7 + 8 + 12 + 14	0,221	-0,235	-0,811	> 0,150	87
Erle*	7 + 8 + 12 + 14	0,201	-0,132	0,064	> 0,150	138
Pappel*	7 + 8 + 12 + 14	0,307	-0,088	-0,098	> 0,150	75
Weide	7 + 8 + 12 + 14	0,237	-0,094	0,339	> 0,150	23

## 6 Zusammenfassung

Schlagworte: Österreichische Waldinventur, *D03H*-Modell, Höhenzuwachsmodell, Inventurdaten, Zuwachsperiode

Mit der ÖWI 2000/02 erfolgte die Umstellung der bis dahin 5-jährigen auf 3-jährige Erhebungsperioden. Daraus ergibt sich, dass die Erhebungen auf den Probestämmen nicht wie bisher in gleichlangen 5-jährigen (Inventurperioden 1981/85 – 1986/90) bzw. 6-jährigen (Inventurperioden 1986/90 – 1992/96) Zeitabständen erfolgen, sondern dass zwischen den Erhebungen der Perioden 1992/96 und 2000/02 unterschiedlich lange Zuwachszeiträume von 6 bis 8 Jahren liegen. Für die Modellbildung war auch die Tatsache maßgeblich, dass zwischen den Probestämmen, die seit der ersten Erhebung 1981/85 erhoben werden, und jenen, die in der Periode 1986/90 und 1992/96 eingewachsen sind, Unterschiede hinsichtlich verschiedener Messgrößen wie *BHD*, Höhe, *D03H*, *BHD*- und Höhenzuwachs bestehen.

Dies machte eine Weiterentwicklung bzw. Anpassung der bisher verwendeten Höhenzuwachsmodele und *D03H*-Modelle von KNIELING (1994) und SCHIELER (1997) notwendig. Vor der eigentlichen Erstellung der Datenmodelle der ÖWI 2000/02 wurden in Voruntersuchungen verschiedene Modellvarianten getestet. Aufgrund der Erkenntnisse aus den Voruntersuchungen wurden für die ÖWI 2000/02 folgende Modellansätze verwendet:

Für den Höhenzuwachs erwies sich jener abgeänderte Ansatz des Modells von KNIELING (1994) als günstigste Modellvariante, der den mittleren jährlichen Höhenzuwachs zwischen den Inventurperioden 1992/96 und 2000/02 beschreibt. Getrennte Modelle für Probestämme, die seit 1981/85 erhoben werden und jene, die 1986/90 oder 1992/96 eingewachsen sind, wurden nur für die Fichte parametrisiert. Für die restlichen Baumarten war eine Teilung der Datengrundlage aufgrund zu schwacher zahlenmäßiger Besetzung nicht möglich. Die Höhenzuwachsmodele mancher Baumarten zeigten heteroskedastische Residuenverteilungen. In diesen Fällen wurde die Variablenauswahl abgeändert, um eine Verbesserung der Heteroskedastizität der Fehlerterme zu erreichen, was etwas geringere Bestimmtheitsmaße zur Folge hatte.

Für die *D03H*-Modellierung wurden die von SCHIELER (1997) vorgeschlagenen zwei Modelltypen verwendet. Die Verwendung der Modellansätze hing davon ab, welcher der zwei Ansätze an die Daten der jeweiligen Baumart besser angepasst werden konnte. Eine Berücksichtigung der unterschiedlich langen Zuwachszeiträume von 6 – 8 Jahren war nicht notwendig, da durch die Modelle ein sehr hoher Anteil der Varianz von meist über 90 % erklärt wurde. Für die Baumarten Fichte, Tanne, Lärche und Buche wurde die Datengrundlage in Probestämme, die seit der Periode 1981/85 erhoben werden und Probestämme, die in der Periode 1986/90 bzw. 1992/96 in das Probestammkollektiv eingewachsen sind, getrennt und separate *D03H*-Modelle parametrisiert. Dadurch konnte den Unterschieden in der Probestammpopulation zwischen den Probestämmen, die seit 1981/85 erhoben werden und

jenen, die in den Erhebungsperioden 1986/90 oder 1992/96 eingewachsen sind, Rechnung getragen werden, was sich in einem höheren Anteil an erklärter Varianz widerspiegelt.

## 7 Summary

Keywords: Austrian National Forest Inventory, *D03H*-model, height increment model, increment period, inventory data

The Austrian National Forest Inventory has collected data on a permanent sample grid during the years of 1981/85, 1986/90, 1992/96 and 2000/02. In contrary to earlier inventory periods (1981/85, 1986/90 and 1992/96), which lasted five years, the most recent inventory 2000/02 was carried out in a time span of three years. This reduction resulted in varying increment periods of 6 to 8 years between 1992/96 and 2000/02. Furthermore we found out, that a higher proportion of variance can be explained, if separate models are parameterised for the sub-samples of (1) sample trees that have been measured since the first permanent inventory 1981/85 and (2) respectively (3) sample trees that were ingrowth or ongrowth trees in the inventories 1986/90 or 1992/96. The mentioned sub-samples showed differences concerning tree size parameters (diameter at breast height *DBH*, diameter at 3/10 of tree height *D03H*, tree height *H*) and increment parameters (*DBH*-increment *id*, height increment *ih*), and therefore required the parameterisation of separate models.

In preliminary examinations we evaluated several modifications of the height increment models and *D03H*-models of the Austrian National Forest Inventory (KNIELING, 1994; SCHIELER, 1997). Based on the findings obtained from our preliminary model examinations, we concluded that following modelling approaches provide the best results:

Height increment model: A modified version of KNIELINGs (1994) height increment model was used to describe the mean annual height increment between the inventories 1992/96 and 2000/02. Separate models were parameterised only for spruce. All other tree species had too small sample sizes to be subdivided into sub-samples. Some height increment models didn't meet the condition of homoscedastic residual distribution. In these cases the model was altered by replacing variables that have unfavourable effects on the residual distribution. This procedure reduced the proportion of explained variance to a small extent.

*D03H*-model: SCHIELERs (1997) two model approaches were employed for the inventory 2000/02. The application of one of the two model approaches was differing with tree species and depending on the fit to the data. Presumably due to the varying length of increment periods (6 – 8 years), our *D03H*-models explained a slightly lower proportion of variance compared to the models of SCHIELER (1997), but still revealed a  $R^2$  of over 90 % for most tree species. Therefore, we didn't take into consideration to modify SCHIELERs (1997) modelling approaches by including the length of increment period. For spruce, fir, larch and beech, the data sets were subdivided and separate *D03H*-models were parameterised. All other tree species had too small sample sizes or the sum of squared residuals wouldn't be significantly reduced by fitting separate models.

## 8 Literatur

- BITTERLICH, W. 1956: Die Relaskopmessung in ihrer Bedeutung für die Forstwirtschaft. Österr. Vierteljahresschr. f. Forstw. 97, Wien, 86 – 98.
- BRAUN, R. 1969: Österreichische Forstinventur – Methodik der Auswertung und Standardfehler-Berechnung. Mitteilungen der Forstlichen Bundes-Versuchsanstalt Wien Nr. 84, 60 S.
- FBVA, 1981: Instruktion für die Feldarbeit der Österreichischen Forstinventur 1981 – 1985. Forstliche Bundesversuchsanstalt Wien, 173 S.
- FBVA, 1986: Beiheft zur Instruktion für die Feldarbeit der Österreichischen Forstinventur 1981 – 1985. Forstliche Bundesversuchsanstalt Wien, 42 S.
- FBVA, 1992: Instruktion für die Feldarbeit der Österreichischen Forstinventur 1992 – 1996. Forstliche Bundesversuchsanstalt Wien, 159 S.
- FBVA, 2001: Instruktion für die Feldarbeit der Österreichischen Forstinventur 2000/2002. Forstliche Bundesversuchsanstalt Wien, 209 S.
- GSCHWANTNER, T. 2004: Zuwachsänderungen nach den Daten der Österreichischen Waldinventur und ihre klimatischen Ursachen. Dissertation an der Universität für Bodenkultur, Wien. 123 S.
- KNIELING, A. 1994: Methodische Beiträge zur Auswertung der Österreichischen Forstinventur nach 1980. Dissertation an der Universität für Bodenkultur, Wien. 129 S.
- MONSERUD, R.A. and STERBA, H. 1996: A basal area increment model for individual trees growing in even- and uneven-aged forest stands in Austria. For. Ecol. Manage. 80, 57 – 80.
- SCHIELER, K. 1997: Methoden der Zuwachsberechnung der Österreichischen Waldinventur. Dissertation an der Universität für Bodenkultur, Wien. 92 S.
- STERBA, H. 1981: Radial increment along the bole of trees – problems of measurement and interpretation. Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt, 142/I, 67 – 74.
- VAN LAAR, A. 1991: Forest Biometry. University of Stellenbosch. 590 S.

## 9 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

### Abbildungen

Abbildung 2.1: Zeitabstände zwischen der Inventurperiode 2000/02 und den vorangegangenen Erhebungen der permanenten Waldinventur 1981/85, 1986/90 und 1992/96. ....	8
Abbildung 4.1: Die Anzahl an Fichten ( $N$ ) in den Messreihenkollektiven 4, 6, 7, 8, 11, 12 und 14 mit zeitlich möglichst weit auseinander liegenden Höhenmessungen. ....	15
Abbildung 4.2: Die Anzahl an Fichten ( $N$ ) in den Messreihenkollektiven 4, 6, 7, 8, 11, 12 und 14 mit zeitlich möglichst eng beisammen liegenden Höhenmessungen. ....	16
Abbildung 4.3: Residuen des Modellansatzes (4) für den mittleren jährlichen Höhenzuwachs der Fichte bei Verwendung zeitlich möglichst weit auseinander liegender Höhenmessungen. ....	19
Abbildung 4.4: Die Residuen des Modellansatzes (4) für den mittleren jährlichen Höhenzuwachs der Fichte bei Verwendung zeitlich möglichst eng beisammen liegender Höhenmessungen. ....	19
Abbildung 4.5: Residuen des Modellansatzes (7) bei zeitlich möglichst weit auseinander liegenden Höhenmessungen und dem Zuwachszeitraum $DatDiff$ als Erklärungsvariable (Gesamtmodell). ....	22
Abbildung 4.6: Residuen des Modellansatzes (7) bei zeitlich möglichst eng beisammen liegenden Höhenmessungen und dem Zuwachszeitraum $DatDiff$ als Erklärungsvariable (Gesamtmodell). ....	23
Abbildung 4.7: Die Residuenverteilung des $D03H$ -Modells (9) über dem $BHD_{t2}$ (Gesamtmodell). ....	26
Abbildung 4.8: Residuenverteilung des modifizierten Modellansatzes (11) nach SCHIELER (1997) über dem $BHD_{t2}$ (Gesamtmodell). ....	27
Abbildung 4.9: Die Prognosewerte des $D03H$ -Modells Ansatz (9) über dem $BHD_{t2}$ (Gesamtmodell). ....	29
Abbildung 4.10: Die Prognosewerte des modifizierten Modellansatzes (11) nach SCHIELER (1997) über dem $BHD_{t2}$ (Gesamtmodell). ....	29
Abbildung 4.11: Die Prognosewerte von $D03H$ -Modellen des Ansatzes (11): Mit den Koeffizienten von SCHIELER (1997) errechnete Prognosewerte (blau) und mit den neuen Koeffizienten für die 1986/90 eingewachsenen Fichten (Kollektiv 12) (rot) errechnete Prognosewerte. ....	31

Abbildung 4.12:	Die Prognosewerte des <i>D03H</i> -Modells, Ansatz (11): Mit den Koeffizienten von SCHIELER (1997) errechnete Prognosewerte (blau) und mit den neuen Koeffizienten für die 1992/96 eingewachsenen Fichten (Kollektiv 14) errechnete Prognosewerte (rot). .....	32
Abbildung 5.1:	Residuenverteilung des Höhenzuwachsmodells für Fichte (Kollektiv 7 + 8). .....	38
Abbildung 5.2:	Residuenverteilung des Höhenzuwachsmodells für Fichte (Kollektiv 12 + 14). .....	39
Abbildung 5.3:	Residuenverteilung des Höhenzuwachsmodells für Tanne.....	39
Abbildung 5.4:	Residuenverteilung des Höhenzuwachsmodells für Lärche.....	40
Abbildung 5.5:	Residuenverteilung des Höhenzuwachsmodells für Weißkiefer.....	40
Abbildung 5.6:	Residuenverteilung des Höhenzuwachsmodells für Schwarzkiefer.....	41
Abbildung 5.7:	Residuenverteilung des Höhenzuwachsmodells für Zirbe. ....	41
Abbildung 5.8:	Residuenverteilung des Höhenzuwachsmodells für Buche. ....	42
Abbildung 5.9:	Residuenverteilung des Höhenzuwachsmodells für Eiche.....	42
Abbildung 5.10:	Residuenverteilung des Höhenzuwachsmodells für Hainbuche. ....	43
Abbildung 5.11:	Residuenverteilung des Höhenzuwachsmodells für Esche. ....	43
Abbildung 5.12:	Residuenverteilung des Höhenzuwachsmodells für Ahorn. ....	44
Abbildung 5.13:	Residuenverteilung des Höhenzuwachsmodells für Birke.....	44
Abbildung 5.14:	Residuenverteilung des Höhenzuwachsmodells für Schwarzerle.....	45
Abbildung 5.15:	Residuenverteilung des Höhenzuwachsmodells für Weißerle. ....	45
Abbildung 5.16:	Residuenverteilung des Höhenzuwachsmodells für Pappel.....	46
Abbildung 5.17:	Residuenverteilung des Höhenzuwachsmodells für Weide. ....	46
Abbildung 5.18:	Residuenverteilung des <i>D03H</i> -Modells für Fichte (Kollektiv 7 + 8).....	56
Abbildung 5.19:	Residuenverteilung des <i>D03H</i> -Modells für Fichte (Kollektiv 12).....	56
Abbildung 5.20:	Residuenverteilung des <i>D03H</i> -Modells für Fichte (Kollektiv 14).....	57
Abbildung 5.21:	Residuenverteilung des <i>D03H</i> -Modells für Tanne (Kollektiv 7 + 8).....	57
Abbildung 5.22:	Residuenverteilung des <i>D03H</i> -Modells für Tanne (Kollektiv 12 + 14)...	58
Abbildung 5.23:	Residuenverteilung des <i>D03H</i> -Modells für Lärche (Kollektiv 7 + 8). ....	58
Abbildung 5.24:	Residuenverteilung des <i>D03H</i> -Modells für Lärche (Kollektiv 12 + 14). ..	59
Abbildung 5.25:	Residuenverteilung des <i>D03H</i> -Modells für Weißkiefer.....	59
Abbildung 5.26:	Residuenverteilung des <i>D03H</i> -Modells für Schwarzkiefer. ....	60

Abbildung 5.27:	Residuenverteilung des <i>D03H</i> -Modells für Zirbe.....	60
Abbildung 5.28:	Residuenverteilung des <i>D03H</i> -Modells für Buche (Kollektiv 7 + 8). ....	61
Abbildung 5.29:	Residuenverteilung des <i>D03H</i> -Modells für Buche (Kollektiv 12 + 14). .	61
Abbildung 5.30:	Residuenverteilung des <i>D03H</i> -Modells für Eiche. ....	62
Abbildung 5.31:	Residuenverteilung des <i>D03H</i> -Modells für Hainbuche. ....	62
Abbildung 5.32:	Residuenverteilung des <i>D03H</i> -Modells für Esche. ....	63
Abbildung 5.33:	Residuenverteilung des <i>D03H</i> -Modells für Ahorn. ....	63
Abbildung 5.34:	Residuenverteilung des <i>D03H</i> -Modells für Birke.....	64
Abbildung 5.35:	Residuenverteilung des <i>D03H</i> -Modells für Erle (Schwarz- und Weißerle). .....	64
Abbildung 5.36:	Residuenverteilung des <i>D03H</i> -Modells für Pappel.....	65
Abbildung 5.37:	Residuenverteilung des <i>D03H</i> -Modells für Weide. ....	65

## Tabellen

Tabelle 2.1:	Die Messreihenkollektive der Höhen- und <i>D03H</i> -Messung im Datenmaterial der permanenten Österreichischen Waldinventur; ja...Messung durchgeführt, nein...keine Messung; graue Felder...Baum war zur betreffenden Inventurperiode noch kein Probestamm; grüne Felder...für die Voruntersuchungen verwendete Messreihenkollektive; schraffierte Felder...für die Datenmodelle der ÖWI 2000/02 verwendete Messwertpaare. ....	2
Tabelle 2.2:	Probestammzahlen der 14 Kollektive an Höhenmessreihen nach Baumarten getrennt; grüne Felder...für die Voruntersuchungen verwendete Messreihen; schraffierte Felder...für die Datenmodelle der ÖWI 2000/02 verwendete Messreihenkollektive.....	4
Tabelle 2.3:	Probestammzahlen der 14 Kollektive an <i>D03H</i> -Messreihen nach Baumarten getrennt; grüne Felder...für die Voruntersuchungen verwendete Messreihen; schraffierte Felder...für die Datenmodelle der ÖWI 2000/02 verwendete Messreihenkollektive.....	5
Tabelle 2.4:	Die Gesamtzahl an Probestämmen $N_{gesamt}$ , die Anzahl an Probestämmen mit Wipfelbrüchen $N_{Wipfelbr.}$ , die Anzahl von Dürrlingen $N_{Dürrling}$ und die Anzahl von Probestämmen mit Zwiesel $N_{Zwiesel}$ in den verwendeten Höhen- und <i>D03H</i> -Messreihenkollektiven. $N$ entspricht der Anzahl an Probestämmen, die weder dürr sind noch einen Wipfelbruch oder eine Zwieselung aufweisen.....	6
Tabelle 4.1:	Mittelwerte von Brusthöhendurchmesser $BHD_{t1}$ , Baumhöhe $H_{t1}$ , Durchmesserzuwachs $id_{an}$ und Höhenzuwachs $ih_{an}$ und deren Standardabweichungen (in	

Klammern) der Fichten bei zeitlich möglichst weit auseinander liegenden Höhenmessungen (Einheit: Dezimeter). $t_1$ ...Erhebungszeitpunkt $t_1$ , $t_2$ ...Erhebungszeitpunkt $t_2$ , $N$ ...Anzahl an Fichten im jeweiligen Kollektiv.....	16
Tabelle 4.2: Mittelwerte des Brusthöhendurchmessers $BHD_{t_1}$ , der Baumhöhe $H_{t_1}$ , des Durchmesserzuwachses $id_{an}$ und des Höhenzuwachses $ih_{an}$ und deren Standardabweichungen (in Klammern) der Fichten bei zeitlich möglichst eng beisammen liegenden Höhenmessungen (Einheit: Dezimeter). $t_1$ ...Erhebungszeitpunkt $t_1$ , $t_2$ ...Erhebungszeitpunkt $t_2$ , $N$ ...Anzahl an Fichten im jeweiligen Kollektiv.....	17
Tabelle 4.3: Höhenzuwachsmodelle für den mittleren jährlichen Höhenzuwachs der Fichte bei Verwendung der zeitlich möglichst weit auseinander liegenden Höhenmessungen. $N$ ...Anzahl an Fichten im jeweiligen Kollektiv; $R^2$ ...Bestimmtheitsmaß.....	18
Tabelle 4.4: Höhenzuwachsmodelle für den mittleren jährlichen Höhenzuwachs der Fichte bei Verwendung der zeitlich möglichst eng beisammen liegenden Höhenmessungen. $N$ ...Anzahl an Fichten im jeweiligen Kollektiv; $R^2$ ...Bestimmtheitsmaß.....	18
Tabelle 4.5: Residuen der Höhenzuwachsmodelle für den mittleren jährlichen Höhenzuwachs. ....	20
Tabelle 4.6: Höhenzuwachsmodelle bei Verwendung der zeitlich möglichst weit auseinander liegenden Höhenmessungen und dem Zuwachszeitraum $DatDiff$ als Erklärungsvariable. $N$ ...Anzahl an Fichten im jeweiligen Kollektiv; $R^2$ ...Bestimmtheitsmaß.....	21
Tabelle 4.7: Höhenzuwachsmodelle bei Verwendung der zeitlich möglichst eng beisammen liegenden Höhenmessungen und dem Zuwachszeitraum $DatDiff$ als Erklärungsvariable. $N$ ...Anzahl an Fichten im jeweiligen Kollektiv; $R^2$ ...Bestimmtheitsmaß.....	21
Tabelle 4.8: Residuen der Höhenzuwachsmodelle mit dem Zuwachszeitraum $DatDiff$ als Erklärungsvariable. ....	23
Tabelle 4.9: Mittelwerte und Standardabweichungen (in Klammer) der Variablen des $D03H$ – Modells (Einheit: Dezimeter); $BHD$ ...Brusthöhendurchmesser; $D03H$ ...oberer Durchmesser; $max$ ...Maximum des Brusthöhendurchmessers; $t_1$ = Inventurperiode 1992/96, $t_2$ = Inventurperiode 2000/02; $N$ ...Anzahl an Fichten in den jeweiligen Kollektiven.....	24
Tabelle 4.10: $D03H$ – Modelle der Fichte (Ansatz 9) für die vier Probestammkollektive; $N$ ...Anzahl an Fichten im jeweiligen Kollektiv; $R^2$ ...Bestimmtheitsmaß.....	25
Tabelle 4.11: Koeffizienten der $D03H$ -Modelle im modifizierten Ansatz (11); $N$ ...Anzahl an Fichten im jeweiligen Kollektiv; $R^2$ ...Bestimmtheitsmaß.....	27
Tabelle 4.12: Residuen der beiden $D03H$ -Modellansätze (9) und (11). ....	28
Tabelle 4.13: Paarweiser Vergleich der $D03H$ -Modelle, Ansatz (11): Mittlere Prognosewerte errechnet mit den Koeffizienten von SCHIELER (1997), verglichen mit	

den Prognosewerten aus den neuen <i>D03H</i> -Modellen für die 1986/90 (Kollektiv 12) und 1992/96 (Kollektiv 14) eingewachsenen Fichten.....	32
Tabelle 5.1: Für die Datenmodelle der ÖWI 2000/02 verwendete Messreihenkollektive; ja...Messung durchgeführt, nein...keine Messung; graue Felder...Baum war zur betreffenden Inventurperiode noch kein Probestamm; grüne Felder für die Voruntersuchung verwendete Messreihenkollektive; schraffierte Felder...für die Datenmodelle der ÖWI 2000/02 verwendete Messwertpaare.....	33
Tabelle 5.2: Die Datengrundlage zur Parametrisierung der Höhenzuwachsmodelle, dargestellt durch die Mittelwerte und Standardabweichungen (in Klammern) der Erklärungsvariablen (Einheit: Dezimeter); <i>N</i> ...Probestammzahl.....	34
Tabelle 5.3: Baumartengruppierung für das Höhenzuwachsmodell der ÖWI 2000/02.....	35
Tabelle 5.4: Signifikante Verringerung der Abweichungsquadratsumme <i>SQ</i> durch Parametrisierung getrennter Modelle für die Baumart Fichte. <i>SQ</i> ...Abweichungsquadratsumme, <i>FG</i> ...Freiheitsgrade, <i>MQ</i> ...mittlere quadratische Abweichung. ....	36
Tabelle 5.5: Die Koeffizienten der Höhenzuwachsmodelle der ÖWI 2000/02, die Bestimmtheitsmaße $R^2$ und Probestammzahlen <i>N</i> der Datengrundlage.....	37
Tabelle 5.6: Streumaße der Residuen der verwendeten Höhenzuwachsmodelle, Signifikanzniveau <i>p</i> des Kolmogorov-Smirnov-Tests auf Normalverteilung der Residuen, sowie die Probestammzahlen <i>N</i> .....	47
Tabelle 5.7: Die Datengrundlage für die Parametrisierung der <i>D03H</i> -Modelle der ÖWI 2000/02, dargestellt durch die Mittelwerte und Standardabweichungen (in Klammern) der Erklärungsvariablen (Einheit: Dezimeter); <i>N</i> ...Probestammzahl.....	49
Tabelle 5.8: Baumartengruppierung für das <i>D03H</i> -Modell der ÖWI 2000/02.....	50
Tabelle 5.9: Messreihenkollektive für die Maxima bestimmt wurden, die Werte von max, und die Probestammzahl <i>N</i> .....	51
Tabelle 5.10: Koeffizientenvergleich der <i>D03H</i> -Modelle für die Kollektive 12 und 14 der Baumart Fichte. <i>M</i> ...Modellansatz.....	52
Tabelle 5.11: Signifikante Verringerung der Abweichungsquadratsumme durch Parametrisierung getrennter Modelle; <i>M</i> ...Modellansatz, <i>SQ</i> ...Abweichungsquadratsumme, <i>FG</i> ...Freiheitsgrade, <i>MQ</i> ...mittlere quadratische Abweichung. ....	53
Tabelle 5.12: Die Abweichungsquadratsummen <i>SQ</i> für die Gesamtmodelle der Weißkiefer in den Modellansätzen (9) und (11); <i>N</i> ...Probestammzahl.....	54
Tabelle 5.13: Die Abweichungsquadratsummen <i>SQ</i> der zur Wahl stehenden Modellansätze (9) und (11) für die Buche; <i>N</i> ...Probestammzahl.....	54

Tabelle 5.14: Die Koeffizienten der <i>D03H</i> -Modelle der ÖWI 2000/02; M...Modellansatz; $R^2$ ...Bestimmtheitsmaß; $N$ ...Probestammzahl.....	55
Tabelle 5.15: Die Streumaße der Residuen der verwendeten <i>D03H</i> -Modelle, die Signifikanzniveaus $p$ des Kolmogorov-Smirnov-Tests auf Normalverteilung der Residuen, und die Probestammzahl $N$ .....	66