

DEUTSCHER VERBAND FORSTLICHER FORSCHUNGSANSTALTEN

- SEKTION ERTRAGSKUNDE -

Jahrestagung vom 25. - 27. Mai 1998

Kevelaer

Parametrisierung und Validierung des Wachstumsmodells SILVA 2.2 für Rein- und Mischbestände aus Fichte, Tanne, Kiefer, Buche, Eiche und Erle

von Markus Kahn und Hans Pretzsch,
Lehrstuhl für Waldwachstumskunde, München

Zusammenfassung

Das Wachstumsmodell SILVA 2.2 liegt in einer praktisch nutzbaren Parametrisierung für die Baumarten Fichte, Tanne, Kiefer, Buche, Eiche und Erle vor. Die Datengrundlage der Parametrisierung bilden Reinbestände der genannten Baumarten und Mischbestände aus Fichte/Buche, Kiefer/Buche, Eiche/Buche, Fichte/Tanne/Buche, Fichte/Kiefer und Fichte/Erle.

Vorgestellt werden Funktionen zur Schätzung von Kronenansatz und Kronendurchmesser, ebenso die Struktur des Standort-Leistung-Modells zur Schätzung einer potentiellen Höhenentwicklung und des Durchmesserzuwachspotential-Modells. Von zentralem Interesse sind die dem Wachstumsmodell SILVA 2.2 implementierten Prognosefunktionen zur Schätzung von Durchmesser- und Höhenzuwachs für Einzelbäume sowie die Mortalitätsfunktionen. Zu den wichtigsten Steuergrößen des Einzelbaumwachstums gehören baumindividuelle Konkurrenz- und Standortfaktoren.

Die Parametrisierung des Wachstumsmodells wird anhand unabhängigen Datenmaterials, welches zur Parametrisierung nicht verwendet worden ist, validiert. Damit wird eine Abschätzung der Prognosegenauigkeit mit Angabe eines Prognosefehlers möglich.

Durch die dem Wachstumsmodell SILVA 2.2 angekoppelten Module zur einfachen Erzeugung von Startwerten für Prognosestudien, zur Bestandesbehandlung, zur Naturverjüngung sowie zur ertragskundlichen, ökologischen und ökonomischen Analyse der Prognoseresultate steht ein praktisch breit nutzbares Wachstumsmodell zur Verfügung. SILVA 2.2 ist für Apple Macintosh- und Windows 95- bzw. Windows NT-Computer verfügbar.

1. Einleitung

Veränderungen bewegen die Welt. Wer Stabilität erwartet, wird als staunender Betrachter vom Zeitgeschehen überrollt. Dennoch ist der Wunsch nach Transparenz in die Ursachen und Wirkungen der Veränderungen allzu verständlich. Auch Modelle verändern sich, heute schneller denn je. Ertragstabellen galten lange Zeit als Fixpunkte forstwirtschaftlicher Weltbilder, gegenwärtig scheinen sie wie Sternschnuppen am Himmel sich auflösender Normen zu verglühn. Computergestützte Einzelbaummodelle ähneln in dieser Hinsicht eher planetarischen Gebilden, denn sie bewegen und verändern sich, wenn auch auf festen Bahnen.

Waldwachstumskundliche Modelle sind aber auch Vehikel, mit denen etwa Forsteinrichter und Betriebswirte Detail- und dynamische Komplexitäten waldwachstumskundlicher Prozesse bewältigen können. Detailkomplexität impliziert dabei die Komplexität durch die Vielzahl an Variablen (an Freiheitsgraden), die zur Einsteuerung eines leistungsfähigen Wachstumssimulators benötigt werden. Dynamische Komplexität entsteht vor allem durch die zeitliche Entkopplung zwischen Ursache und Wirkung (Schneebruch im Jungbestand kann zu

abilen und strukturreichen Fichtenwäldern im Alter führen, unterlassene Pflege in den Wäldern zwischen stark freigestellten Z-Bäumen mag das Gegenteil bewirken, aber wer vermag die Auswirkungen die tatsächlichen Ursachen zuzuordnen?).

Die erste Bringschuld ist also seitens der Waldwachstumskunde erbracht: die Bereitstellung von Wuchsmodellen zur Komplexitätsreduktion im unüberschaubaren Raum aus Standorten, Baumarten, Mischungsstrukturen und menschlichen Eingriffen. Dennoch, das Bedürfnis nach Verständnis und Transparenz der zugrundeliegenden Modelle erzwingt gerade wegen der hierzu unbegrenzten Zahl der Freiheitsgrade in Modellbedienung und Interpretation der Ergebnisse eine zweite Bringschuld: Vertrauen und Glaubwürdigkeit. Dies ist hier allerdings keine Frage der Moral, sondern eine Angelegenheit von Offenlegung einerseits und rigoröser statistischer Statistik andererseits. Veränderlichkeit in den Modellfunktionen garantiert Fortschritt, verlangt aber notwendig stete und umfassende Publikation der Ergebnisse, nicht zuletzt zur Verringerung der Transaktionskosten, die vor allem dann entstehen, wenn der Modellnutzer mit überraschenden Modellresultaten konfrontiert wird. Man muß das ständige Handeln des Wissenschaftlers zwischen Modellieren und Publizieren nicht unbedingt als Dilemma sehen, die Gegenwelt eines „publish or perish“ schimmert da weitaus bedrohlicher, doch wenn sie zu ähnlichen Verhaltensweisen anregt.

Hier soll ein Beitrag zur Erfüllung der zweiten Bringschuld geleistet werden: die Datengrundlage (Kapitel 2) sowie die Funktionsstrukturen des Wuchsmodells SILVA 2.2 werden mit ihrem aktuellsten Stand dargelegt, Bestimmtheitsmaße und Standardfehler der Regressionsanalytischen Statistiken für die Baumarten Fichte, Tanne, Kiefer, Buche, Eiche und Erle publiziert (Kapitel 3). Die Prognosefunktionen für die Baumarten Fichte, Kiefer, Buche und Eiche werden einem kritischen Validierungsversuch unterworfen, und Prognosefehler werden angegeben (Kapitel 4).

Datenmaterial

Für die Parametrisierung des Wuchsmodells SILVA 2.2 für die Baumarten Fichte, Tanne, Kiefer, Buche, Eiche und Erle steht ein enorm umfangreiches Datenmaterial zur Verfügung. Je nach Modellfunktion, etwa zur Schätzung des Standort-Leistung-Bezuges oder des Baumdurchmesserzuwachses, entstammt das Datenmaterial sehr unterschiedlichen Quellen. Wichtigste Grundlage für die Parametrisierung der Modelle zur Schätzung des Baumhöhen- und Baumdurchmesserzuwachses ist das langfristige Versuchsflächennetz des Münchener Lehrstuhls für Waldwachstumskunde, zu dem auch Versuchsflächen etwa in den Bundesländern Rheinland-Pfalz und Niedersachsen zählen. Der Parametrisierung der Wuchsmodelle liegen 288 Versuchspartellen mit 528 Aufnahmezeitpunkten (1954 bis 1996) und mehr als 155 Tausend Bäumen zugrunde. Wesentlicher Bestandteil des Datenmaterials sind hier zahlreiche, vor allem im letzten Jahrzehnt angelegte Wuchsreihen in Nadelbeständen. Das Standort-Leistung-Modell beruht auf insgesamt 3120 Aufnahmezeitpunkten, die bis in das letzte Jahrhundert zurückreichen und sich auch auf Versuchsflächen der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt in Göttingen sowie der Versuchsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft in Birmensdorf stützen. Der räumliche Ausdehnungsbereich dieses Datenmaterials reicht somit von den Tieflagen Schleswig-Holstein bis in die Gebirgsregionen der Schweiz.

Die Baumdurchmesser des Datenmaterials reichen von ca. 5 cm bis über 100 cm. Die verwendeten Versuchsbestände decken Grundflächen von mehr als 80 qm/ha und über 1400 VfmD/ha bei Fichte ebenso ab wie Stammzahlen von mehr als 17 Tausend Stück/ha bei der Baumart Kiefer (Tab. 1). Die Ertragsklassen übersteigen für alle Baumarten (außer bei der Erle) im besten Fall oft bei weitem eine I., im standörtlich ungünstigsten Fall erreichen sie nahezu eine IV. Ertragsklasse. Die CLARK und EVANS-Indizes bewegen sich in einem Rahmen zwischen 0.5 und 1.5, dokumentieren damit also Situationen sehr starker Klumpung bis hin zu großer Regelmäßigkeit. Auch die Durchmischung belegt anhand des Indexes nach PIELOU mit Werten zwischen -1 und +1 extreme Bestandesstrukturen. Die genannten Zahlen zeigen deutlich, daß sich die Parametrisierung des Wachstumsmodells SILVA 2.2 auf ein sowohl standörtlich als auch strukturell breit gestreutes Datenmaterial stützen kann, was insbesondere vor dem Hintergrund einer regressionsanalytischen Schätzung der Funktionskoeffizienten von hoher Bedeutung ist.

Tab. 1: Datenmaterial für die Parametrisierung der Zuwachsfunktionen von SILVA 2.2 aus insgesamt 288 Parzellen mit 528 Aufnahmen

Erläuterungen: hg = Grundflächenmittelhöhe [m], dg = Grundflächenmitteldurchmesser [cm], N = Stammzahl [Stück/ha], G = Bestandesgrundfläche [qm/ha], Vol = Bestandesvolumen [VfmD/ha], EKl = Ertragsklasse, BG = Bestockungsgrad, C&E = CLARK und EVANS-Index, Piel = PIELOU-Index, AP = vertikales Artenprofil, MWert = arithmetischer Mittelwert, Max = Maximalwert, Min = Minimalwert, Ertragstabeln: Buche SCHOBER 167 (mDf), Eiche JÜTTNER 1955 (mDf), Erle LOCKOW (1997), Fichte ASSMANN/Franz 1963 (mEN), Kiefer WIEDEMANN 1943 (mDf), Tanne HAUSSER 1956 (mDf).

		hg	dg	N	G	Vol	EKl	BG	C&E	Piel	AP
Buche	MWert	24.5	28.1	326	13	175	0.6	0.5	0.9	0.3	0.5
	Max	41.5	60.3	2431	47	880	2.3	1.5	1.7	1.0	1.1
	Min						-0.2	0.0	0.0	-0.6	0.0
Eiche	MWert	26.6	35.7	327	15	207	-0.1	0.6	1.1	0.2	0.3
	Max	37.3	83.3	7233	41	616	3.6	1.6	2.1	1.0	0.8
	Min						-1.5	0.0	0.0	-0.6	0.0
Erle	MWert	16.0	18.6	730	8	69	2.5	1.0	0.6	0.1	0.2
	Max	26.4	36.6	5733	28	355	3.2	1.3	1.5	1.0	1.0
	Min						1.8	0.9	0.0	-0.2	0.0
Fichte	MWert	24.7	29.9	911	24	295	40.9	0.5	1.1	0.4	0.6
	Max	43.1	59.6	9890	81	1430	45.3	1.6	1.9	1.0	1.1
	Min						26.9	0.0	0.0	-1.0	0.0
Kiefer	MWert	15.9	20.0	2947	18	121	0.5	0.7	1.1	0.6	0.5
	Max	37.2	60.1	17148	37	618	3.8	1.2	1.5	1.0	1.0
	Min						-1.2	0.0	0.0	-0.4	0.0
Tanne	MWert	27.1	38.6	73	8	112	2.0	0.2	0.9	0.0	0.4
	Max	45.1	67.0	294	29	393	3.6	0.7	1.9	0.8	0.8
	Min						-0.9	0.0	0.0	-1.0	0.0
Gesamt	MWert			1614	30	357		0.9	1.2	0.5	0.9
	Max			17148	81	1430		2.0	1.9	1.0	2.2
	Min							0.1	0.5	-1.0	0.0

ur Validierung der Modellfunktionen wurde auf ein unabhängiges Datenmaterial rückgegriffen, welches zur Parametrisierung nicht verwendet worden ist und insgesamt 10 Aufnahmen aus dem Beobachtungszeitraum von 1870 bis 1995 umfaßt.

Modellfunktionen von SILVA 2.2

1 Kronenansatzhöhe und Kronendurchmesser

ur Schätzung von Kronenansatz und Kronendurchmesser werden Modellfunktionen aufgestellt, die auf den Variablen Brusthöhendurchmesser und Baumhöhe beruhen. Das Modell zur Schätzung des Kronenansatzes lautet:

$$.1-1) \quad kra = h * (1 - e^{-(a_0 + a_1 * \frac{h}{bhd} + a_2 * bhd)})$$

bedeuten:

a	=	Kronenansatz, [m]
h	=	Baumhöhe, [m]
d	=	Brusthöhendurchmesser, [cm]
a ₀ , a ₁ , a ₂	=	baumartenspezifische Funktionsparameter

ie Parameter dieser wie auch aller folgenden Schätzgleichungen mit Standardfehlern, Bestimmtheitsmaßen und Stichprobenumfängen werden im Rahmen dieses Beitrages nicht tabuliert, können aber bei den Autoren in Tabellen- bzw. Dateiformat angefordert werden. ur Schätzung des Kronendurchmessers wird auf eine exponentielle Beziehung mit multipler Variablenansatz zurückgegriffen:

$$.1-2) \quad kd = e^{a_0 + a_1 * \ln(bhd) + a_2 * h + a_3 * \ln(\frac{h}{bhd})}$$

s bedeuten:

d	=	Kronendurchmesser, [m]
h	=	Baumhöhe, [m]
d	=	Brusthöhendurchmesser, [cm]
a ₀ , a ₁ , a ₂ , a ₃	=	baumartenspezifische Funktionsparameter

ie Variablen Kronenansatz und Kronendurchmesser werden benötigt, um mit den im Wachstumsmodell SILVA implementierten Kronenformmodellen räumliche Kronenformen zu erzeugen.

.2 Höhenwuchsleistung in Abhängigkeit vom Standort

Das Modell zur Schätzung der potentiellen Oberhöhen -und Baumhöhenentwicklung in Abhängigkeit vom Standort beruht auf mehr als 300 Versuchsflächen mit insgesamt 3120 Bestandesaufnahmen, die Lage der Versuchspartellen reicht von Schleswig-Holstein bis in die Schweiz. Die Modellfunktionen entsprechen weitgehend dem Ansatz wie bei KAHN und PRETZSCH (1997) beschrieben. Die Höhengschätzung vollzieht sich unter Einbeziehung der Standortvariablen: 1. CO₂-Gehalt der Luft, 2. NO_x-Gehalt der Luft, 3. Nährstoffversorgung des Bodens (gering, ..., hoch), 4. Mitteltemperatur in der Vegetationszeit, 5. Länge der

Vegetationszeit, 6. Jahrestemperaturamplitude, 7. Bodenfrische (sehr trocken, ..., naß), 8. Niederschlag in der Vegetationszeit und 9. Ariditätsindex nach de MARTONNE.

Eine Erweiterung erfährt die Höhenschätzung nun durch Verwendung einer dreiparametrischen Wachstumsfunktion nach CHAPMAN-RICHARDS anstelle der zweiparametrischen Funktion nach VON BERTALANFFY. Da insbesondere die Steigungsparameter der CHAPMAN-RICHARDS-Funktion stark korreliert sind, werden diese Parameter über eine monomolekulare Stützbeziehung fest miteinander verknüpft, so daß nach wie vor nur zwei Funktionsparameter in Abhängigkeit vom Standort geschätzt werden müssen. Diese Stützbeziehung wird durch eine zweiparametrische MITSCHERLICH-Funktion definiert (Baumhöhe zum Kulminationszeitpunkt = $f(\text{Kulminationszeitpunkt})$), die baumartenspezifisch parametrisiert ist.

3.3 Potentieller Durchmesserzuwachs des Einzelbaumes

Der potentielle Durchmesserzuwachs wird in Abhängigkeit des Baumdurchmessers modelliert. Dazu wird eine Zuwachsfunktion verwendet:

$$(3.3-1) \quad zd_{pot} = A * (1 - e^{-k*d})^p * k * p * e^{-k*d}$$

Es bedeuten:

zd_{pot}	=	potentieller Durchmesserzuwachs des Einzelbaumes [cm/5 Jahre]
d	=	Baumdurchmesser [cm]
A, k, p	=	Parameter

Um die Daten für eine statistische Parametrisierung der baumartenspezifischen Potentialfunktion zu gewinnen, wird der Durchmesser in BHD-Klassen eingeteilt. Für jede dieser Klassen werden deskriptive Statistiken der Durchmesserzuwächse errechnet, insbesondere das 95%-Perzentil. Diese Perzentilwerte können dann funktional ausgeglichen werden. Die Standortabhängigkeit des Durchmesserzuwachses wird weiter unten beschrieben.

3.4 Realer Höhenzuwachs von Einzelbäumen

Reale Höhenzuwächse einzelner Bäume sind i.d.R. schwer zu erfassen, insbesondere wenn nur einmalige Bestandesaufnahmen vorliegen (wie etwa bei den neu angelegten Wuchsreihen in Mischbeständen des Lehrstuhls für Waldwachstumskunde). Hier werden „reale“ Höhenzuwächse nach einem speziellen Verfahren durch Verschieben der Bestandeshöhenkurven abgeleitet. Dazu wird auf die MICHAILOFF-Bestandeshöhenkurve nach SLOBODA et al. (1993) zurückgegriffen:

$$(3.4-1) \quad h = h_m * (h_m - 1.3) * e^{a_0 * (1 - \frac{d_m}{bhd})} * e^{a_1 * (\frac{bhd}{d_m} - 1)}$$

Es bedeuten:

h	=	Baumhöhe, [m]
h_m	=	arithmetische Bestandesmittelhöhe, [m]
d_m	=	arithmetischer Bestandesmitteldurchmesser, [cm]
bhd	=	Brusthöhendurchmesser, [cm]
a_0, a_1	=	baumartenspezifische Funktionsparameter

... einem gegebenen Zeitpunkt sind d_m und h_m bekannt, z.B. für eine Aufnahme zum Zeitpunkt t . Aus Bohrspananalysen oder Wiederholungsmessungen läßt sich leicht die Veränderung des d_m ermitteln. Hält man die Parameter a_0 und a_1 für aufeinanderfolgende Zeitpunkte konstant, dann fehlt nur noch die Kenntnis über den Wert der Variablen h_m , um die Bestandeshöhenkurve zum Zeitpunkt $t+\Delta t$ zu definieren. Es wird nun angenommen, daß die Relation zwischen Oberhöhe und arithmetischer Mittelhöhe für die aufeinanderfolgenden Zeitpunkte konstant bleibt. Die Entwicklung der Oberhöhe kann aber aus dem Standortleistung-Modell geschätzt werden, so daß damit auch die Veränderung von h_m im Zeitraum Δt berechenbar wird. Über baumindividuelle Durchmesserzuwächse zd_{real} folgt dann als Schätzung eines „realen“ Höhenzuwachses:

$$4-2) \quad zh_{real} = h(h_m(t + \Delta t), d_m(t + \Delta t), d + zd_{real}) - h(h_m(t), d_m(t), d)$$

Die realen Durchmesserzuwächse der Einzelbäume können sowohl aus Bohrspananalysen als auch aus Wiederholungsmessungen resultieren.

5 Variablen zur Charakterisierung von Konkurrenzeffekten

Die Variablen zur Charakterisierung von Konkurrenzeffekten sind i.w. bekannt. Es handelt sich zum einen um die sogenannte Kronenkurrenz um Licht KKL (PRETZSCH, 1995):

$$5-1) \quad KKL_i = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (\beta_{ij} * \frac{KQF_j}{KQF_i} * TM(j))$$

bedeuten:

- KL = Kronenkurrenz um Licht
- β_{ij} = trigonometrisches Maß der Konkurrenz von Baum j auf Baum i
- KQF = Kronenquerfläche
- i = baumartenspezifischer Transmissionskoeffizient für Licht
- j = Bezugsbaum
- n = Konkurrent von Baum i, $j=1(1)n$

Der baumartenspezifische Lichttransmissionskoeffizient beträgt in Anlehnung an JENSEN (1984) 1 für Buche, 0.8 für Fichte, 0.5 für Eiche und 0.2 für Kiefer. Dadurch wird z.B. die Konkurrenz auf einen Bezugsbaum durch eine Fichte stets größer als etwa durch eine Kiefer, wenn die Winkel β_{ij} und die Kronenquerflächen KQF_j gleich sind.

Durch wiederholte Berechnung des KKL-Konkurrenzwertes vor und nach Durchforstung (bzw. dem Einfluß natürlicher Mortalität) kann die Änderung der Konkurrenz quantifiziert werden durch $\Delta KKL = KKL_{vorher} - KKL_{nachher}$. Randeffekten bei der Konkurrenzwertberechnung wird durch Verwendung einer linearen Expansionsmethode begegnet.

Da oftmals die Konkurrenten eines Baumes nicht gleichmäßig um diesen herum verteilt sind, diese asymmetrische Verteilung der Konkurrenz wird durch die Variable NDIST berücksichtigt (PRETZSCH, 1995):

$$(3.5-2) \quad NDIST_i = DIST_i * \sqrt{N/A_i}$$

ES BEDEUTEN:

- NDIST_i = normierte Entfernung des Konkurrenzschwerpunktes von der Position des Bezugsbaumes i
 DIST_i = Entfernung des Konkurrenzschwerpunktes von der Position des Bezugsbaumes i
 A_i = Fläche definiert durch den Abstand zum am weitesten entfernten Konkurrenten
 N_i = Anzahl aller Bäume auf der Fläche A_i

Eine weitere Variable berücksichtigt Konkurrenzeffekte, die durch Baumartenmischungen in der Nachbarschaft eines Bezugsbaumes verursacht werden. Diese Nachbarschaft des Bezugsbaumes wird definiert durch einen Kreis mit dem Radius von mindestens 10 m und höchstens dem zweifachen Kronendurchmesser des Bezugsbaumes. Hier werden auch alle diejenigen Bäume berücksichtigt, die keine Konkurrenten im Sinne des KKL sind:

$$(3.5-3) \quad KMA_i = \left(\sum_{\substack{j=1 \\ s(j) \in N}}^n KM_j \right) / \left(\sum_{j=1}^n KM_j \right)$$

ES BEDEUTEN:

- KMA_i = Anteil der Kronenmantelfläche der Nadelbäume
 KM_j = Kronenmantelfläche von Baum j
 s(j) ∈ N = wahr, wenn Baum j ein Nadelbaum ist
 i = Index des Bezugsbaumes
 j = Index des Nachbarbaumes im betrachteten Umkreis, j=1(1)n, einschließlich i

3.6 Transformationen wichtiger Variablen

Die Variablen, aus denen die Modelle zur Schätzung des Höhen- sowie des Durchmesserzuwachses gebildet werden, unterliegen mehr oder weniger den gleichen Transformationen, so daß sie gemeinsam abgehandelt werden können. Eine erste Variable beschreibt den Einfluß der Kronenmantelfläche auf den Zuwachs:

$$(3.6-1) \quad WKrone = 1 - e^{-a_0 * KMFläche}$$

Es bedeuten:

- WKrone = Einfluß der Kronenmantelfläche auf den Zuwachs
 KMFläche = Kronenmantelfläche in m²
 a₀ = Parameter

Eine weitere Transformation bezieht den Effekt der Variablen KMA auf den Zuwachs ein:

$$(3.6-2) \quad WMischung = (1 + KMA)^{a_1}$$

Es bedeuten:

- WMischung = Einfluß der Baumartenmischung auf den Zuwachs
 KMA = Kronenmantelflächenanteil der Nadelbäume
 a₁ = Parameter

Analog wird die Wirkung asymmetrischer Konkurrenzverteilung auf den Zuwachs berücksichtigt:

$$3.6-3) \quad WNd_{ist} = (1 + NDIST)^{a_2}$$

Es bedeuten:

- WNd_{ist} = Wirkung asymmetrischer Konkurrenz auf den Zuwachs
- $NDIST$ = normierte Entfernung des Konkurrenzschwerpunktes
- a_2 = Parameter

Im Unterschied zum Funktionsaufbau, wie er 1997 bei KAHN und PRETZSCH beschrieben worden ist, werden die Parameter a_1 und a_2 diesmal also regressionsanalytisch geschätzt und nicht mit konstanten Beträgen festgelegt.

Weiterhin existiert eine relative höhenabhängige Variable:

$$3.6-4) \quad WHvita = (1 + h/h(100))^{a_3}$$

Es bedeuten:

- $WHvita$ = Wirkung der aktuellen relativen Baumhöhe auf den Zuwachs
- h = aktuelle Baumhöhe, [m]
- $h(100)$ = standortabhängiges Höhenpotential im Alter 100, [m]
- a_3 = Parameter

Der zentrale Einflußfaktor unter Berücksichtigung der KKL-Konkurrenz ist

$$3.6-5) \quad WKKL = KKL + a_4 * \Delta KKL$$

Es bedeuten:

- $WKKL$ = Wirkung der Lichtkonkurrenz auf den Zuwachs
- KKL = Konkurrenz um Licht
- ΔKKL = Änderung der Konkurrenz um Licht (Durchforstung, Mortalität)
- a_4 = Parameter

Die Transformationen $WMischung$, WNd_{ist} , $WHvita$ und $WKKL$ werden zu dem wichtigen Wirkungsfaktor $WKonkurrenz$ kombiniert, der so, abgesehen von den Regressionslösungen für die Funktionskoeffizienten, gleichermaßen für den Höhen- und den Durchmesserzuwachs gilt:

$$3.6-6) \quad WKonkurrenz = e^{-a_5 * WMischung * WNd_{ist} * WHvita * WKKL}$$

Es bedeuten:

- $WKonkurrenz$ = integrierte Wirkung der Konkurrenz auf den Zuwachs
- a_5 = Parameter

3.7 Höhenzuwachsmodell

Das Modell zur Schätzung des Höhenzuwachses ist nun:

$$(3.7-1) \quad zh = zh_{pot} * a_6 * WKrone * WKonkurrenz$$

Es bedeuten:

- zh = prognostizierter Höhenzuwachs, [m/5 Jahre]
- zh_{pot} = standortabhängiges Höhenzuwachspotential
- WKrone = Wirkung der Kronenmantelfläche auf den Zuwachs
- WKonkurrenz = integrierte Wirkung der Konkurrenz auf den Zuwachs
- a₆ = Parameter

Dabei handelt es sich also um einen Ansatz der Potentialmodifikation, wobei der prognostizierte Höhenzuwachs vom standortabhängigen Zuwachspotential, der Kronenmantelfläche und der baumindividuellen Konkurrenzsituation abhängig ist.

3.8 Durchmesserzuwachsmo­dell

Strukturell ist das Durchmesserzuwachsmo­dell nahezu identisch mit dem Höhenzuwachsmo­dell. Hier sind ebenfalls die Wirkungsfaktoren WKrone und WKonkurrenz involviert, doch kommt jetzt ein standortabhängiger Modifikator hinzu. Bei dem Höhenzuwachsmo­dell wird der Standort bereits im Höhenpotentialwert berücksichtigt. Der standortabhängige Durchmesserzuwachsmo­difikator lautet:

$$(3.8-1) \quad WSto = (w_6 * w_8 * KOF_1)^{1-\gamma} * (1 - (1 - w_6) * (1 - w_8) * (1 - KOF_1))^\gamma$$

Es bedeuten:

- WSto = Wirkung standörtlicher Faktoren auf den Durchmesserzuwachs
- w₆ = Wirkungswert der Mitteltemperatur in der Vegetationszeit aus dem Standort-Leistungsmodell
- w₈ = Wirkungswert des Niederschlags in der Vegetationszeit aus dem Standort-Leistungsmodell
- KOF₁ = Komplexer ökologischer Faktor „Nährstoffversorgung“ aus dem Standort-Leistungsmodell
- γ = Parameter

Es handelt sich bei dieser Verknüpfung also um eine Aggregation, wie sie mathematisch auch in dem Standort-Leistung-Modell zur Schätzung des Höhenpotentials verwendet wird. In den Faktor WSto fließen ein die Mitteltemperatur und die Niederschlagssumme in der Vegetationszeit sowie ein komplexer ökologischer Faktor zur Nährstoffversorgung. Dieser komplexe Faktor beinhaltet die Standorteigenschaften CO₂- und NO_x-Gehalt der Luft sowie Nährstoffversorgung des Bodens. Der Aggregationsoperator γ wird regressionsanalytisch geschätzt. Somit wird das Niveau des Durchmesserzuwachses von Temperatur, Niederschlag und Nährstoffausstattung des Standortes abhängig.

Für die nichtlineare Regression zur Schätzung der Funktionskoeffizienten des Durchmesserzuwachsmo­dells wird als abhängige Variable der Grundflächenzuwachs des Baumes definiert. Das Grundflächenzuwachspotential errechnet sich als zg_{pot}=(bhd+zd_{pot})²-bhd². Der Grundflächenzuwachs des Baumes wird nun geschätzt über

$$(3.8-2) \quad zg = zg_{pot} * a_6 * WSto * WKrone * WKonkurrenz$$

Es bedeuten:

- zg = prognostizierter Grundflächenzuwachs, [cm²/5 Jahre]
- zg_{pot} = Grundflächenzuwachspotential
- WSto = standortabhängiger Zuwachsmo­difikator
- WKrone = Wirkung der Kronenmantelfläche auf den Zuwachs
- WKonkurrenz = integrierte Wirkung der Konkurrenz auf den Zuwachs
- a₆ = Parameter

aus folgt dann für den Durchmesserzuwachs des Einzelbaumes:

$$8-3) \quad zd = \sqrt{bhd^2 + zg} - bhd$$

bedeuten:

- = prognostizierter Durchmesserzuwachs, [cm/5 Jahre]
- = prognostizierter Grundflächenzuwachs, [cm²/5 Jahre]
- = aktueller Baumdurchmesser, [cm]

i der regressionsanalytischen Parametrisierung des Durchmesser- und des Flächenzuwachsmo-
dells wurden für alle Baumarten identische Modellstrukturen gewählt, was
r allem Vorteile bei der Funktionsimplementierung mit sich bringt. Da nicht alle Parameter
allen Modellen bei allen Baumarten zwangsläufig signifikant sind, wurden diese nicht
signifikanten Parameter neutralisiert bzw. konstant gehalten.

9) Residuen, Zuwachs und Witterung

n Baum ohne Konkurrenz und mit gut ausgebauter Krone wächst nicht permanent entlang
r Potentialkurve. Das Wachstumspotential wird von konkurrenzfrei wachsenden Bäumen nur
Perioden mit optimalen Witterungsbedingungen erreicht. Es gibt verschiedene
öglichkeiten, bei der Zuwachsmo-
dellierung mit den Witterungsschwankungen umzugehen.
n Ansatz könnte z.B. sein, das witterungsabhängige Zuwachsniveau bereits bei der
Parametrisierung zu berücksichtigen. Dieses Niveau ließe sich etwa über Bohrpan- oder
Korrelationsanalysen zuverlässig quantifizieren. Hier wird dieses Niveau genutzt, um die Streuung
r Residuen, die bei der Prognose wieder auf die Schätzungen verteilt werden, zu reduzieren.
Der witterungsbedingte Anteil ist im Rahmen einer Prognose für alle Bäume einer
Zuwachsperiode gleich. Die Residuen aus der Zuwachsregression sind hingegen stets
baumindividuell.

10 Mortalität

Das Mortalitätsmodell ist im Vergleich mit der von DURSKY (1997) entwickelten Version
unverändert geblieben, jedoch zusätzlich zu Fichte und Buche auch auf die Baumarten Kiefer
und Eiche erweitert worden. Eine Ergänzung erfährt dieser Mortalitätsansatz, indem eine
rekurrenzdruckabhängige Mortalitätsvariable eingeführt wird. Dabei wird angenom-
men, daß die Variable $\ln(1+KKL)$ über konstantem Baumvolumen normalverteilt ist. Dann
lassen sich Mittelwert und Standardabweichung der Zufallsvariablen $\ln(1+KKL)$ schätzen
über polynomiale, baumartenspezifische Funktionen in Abhängigkeit vom Baumvolumen. Für
jeden Baum läßt sich dann während der Simulation prüfen, mit welcher Wahrscheinlichkeit
eine aktuelle Konkurrenzsituation in einem realistischen Wertebereich liegt.

11 Bestimmtheitsmaße und Standardfehler

Bestimmtheitsmaße und Standardfehler der Regressionsanalysen mögen von beschränktem
Nutzen sein. Sie sind nicht das Maß allein, mit dem zwischen brauchbaren oder unbrauchbaren

Modellen unterschieden wird. Gleichwohl sind sie ein Baustein zur Modellbeurteilung, im nächsten Kapitel 4 werden zum Thema Validierung weitere Bausteine folgen.

Die Funktionen zur Schätzung von Kronendurchmesser und Kronenansatzhöhe zeichnen sich durch relativ hohe Bestimmtheitsmaße aus (Tab. 2): sie liegen zwischen 0.5 und 0.9, die Stichprobenumfänge sind hoch. Die mittleren quadratischen Fehler sind sehr baumartenpezifisch ausgeprägt. Das Standort-Leistungs-Modell wird ebenfalls durch hohe Bestimmtheitsmaße charakterisiert, allerdings wird ja auch eine Wachstumsgröße geschätzt (beim Zuwachs wären die Bestimmtheiten auch bei gleicher Datengrundlage deutlich geringer).

Tab. 2: Stichprobenumfänge, Bestimmtheitsmaße und mittlere quadratische Fehler wichtiger Regressionsmodelle des Wachstumssimulators SILVA 2.2

N = Stichprobenumfang, r^2 = Bestimmtheitsmaß, MSE = mittlerer quadratischer Fehler

	Fichte	Tanne	Kiefer	Buche	Eiche	Erle
Kronendurchmesser						
N	8416	1726	2804	12733	6436	698
r^2	0.73	0.48	0.80	0.62	0.85	0.92
MSE	0.73	1.82	0.65	2.94	1.24	0.22
abhängige Variable:	Kronendurchmesser [m]					
Kronenansatz						
N	8705	1898	2584	14075	6281	699
r^2	0.79	0.64	0.93	0.73	0.78	0.92
MSE	6.31	15.56	2.09	10.67	4.67	2.03
abhängige Variable:	Kronenansatz [m]					
Oberhöhe in Abhängigkeit vom Standort						
N	904	207	500	1224	285	-
r^2	0.94	0.83	0.89	0.81	0.90	-
MSE	5.83	13.48	2.85	7.77	3.04	-
abhängige Variable:	Höhe [m]					
Höhenzuwachs						
N	15549	2040	14201	13180	3080	377
r^2	0.58	0.02	0.52	0.52	0.84	0.97
MSE	0.10	0.18	0.08	0.07	0.03	0.03
abhängige Variable:	Höhenzuwachs [m/5Jahre]					
Durchmesserzuwachs						
N	15549	2040	14201	13180	3080	377
r^2	0.69	0.45	0.68	0.74	0.66	0.82
MSE	2380	2983	262	2009	1605	260
abhängige Variable:	Grundflächenzuwachs [cm ² /5Jahre]					

Die Bestimmtheitsmaße bei den wichtigen Modellen zur Schätzung des Höhen- und des Durchmesserzuwachses sind bemerkenswert hoch. Sehr zufriedenstellend sind z.B. auch die niedrigen mittleren quadratischen Fehler beim Höhenzuwachsmoell. Beim Durchmesser sind sie absolut etwas schwieriger einzuschätzen, weil Grundflächenzuwächse in cm²/5Jahre numerisch i.d.R. keine gängigen Größenordnungen vermitteln. Die Stichprobenumfänge dokumentieren, daß der Parametrisierung hier ein enorm umfangreiches Datenmaterial zugrunde liegt. Der Unterschied der Stichprobenumfänge nach Tabelle 2 im Vergleich zu den

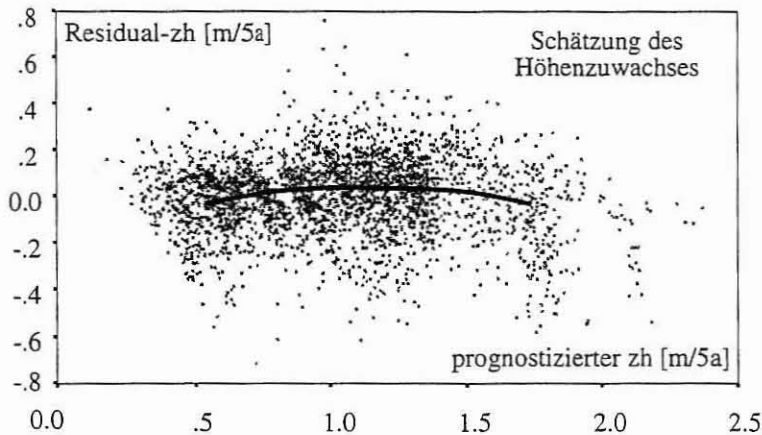
pitel 2 genannten insgesamt verfügbaren 155 Tausend Einzelbaumdaten macht aber ch, daß nicht alle Bäume zur Parametrisierung verwendet worden sind, so daß räumliche itliche Korrelationen zwischen Zuwächsen und Zustandsdaten eher begrenzt sind.

Validierung der Zuwachsprognosen

Validierung des Wachstumsmodells soll im wesentlichen auf 3 Ebenen erfolgen: ualanalyse, biologische Plausibilität, Prognosefehler. Auch die Bewertung der nmtheitsmaße und Standardfehler der Modellfunktionen stellte bereits eine Ebene der ierung dar: schließlich wird die Parametrisierung der Modellfunktionen (und deren fikation) solange wiederholt, bis Bestimmtheiten und Standardfehler zufriedenstellende enordnungen annehmen.

Residuen

esidualanalyse ist noch ausschließlich funktionsbezogen, d.h. sie bezieht sich noch nicht en Fehler des Gesamtmodells. Die Residuen sollten zunächst im Mittelwert keinen Bias eisen, was i.d.R. gewährleistet ist. Oftmals zeigen Residuen über den prognostizierten en allerdings geringe Trends, die auf Modellstrukturen und Interaktionen zwischen blen zurückzuführen sind (Abb. 1).



1: Residuen über den prognostizierten Werten für das Höhenzuwachstmodell bei der Baumart Eiche. Der Trend der Residuen wird bei der Prognose berücksichtigt.

ie Trends können bei der Prognose berücksichtigt werden, indem Mittelwerte und ungen der Residuen in Abhängigkeit von dem prognostizierten Wert zunächst ematisch nachgebildet werden, um errechnete Residuen dann zufällig dem Prognosewert teilen. Unerwünscht sind auch heteroskedastische Residuen, weil sie anzeigen, daß die ichte der Residuen über den prognostizierten Werten ungleich verteilt sind. Eine ichtung der Daten für die Regression ist allerdings wegen oftmals hoher Variablenzahlen problematisch, denn wenn man versucht, in dem gruppierten Produktraum aller Variablen hmäßige Anzahlen zu erreichen, erlangen dünn besetzte Gruppen (deren äsentativität man oft kaum kennt) ein sehr hohes Gewicht. Schließlich sind die dicht

besetzten Gruppen in ihrem Aussagewert statistisch auch zuverlässiger, auch wenn sie dann bei der Regression dünn besetzte Datenbereiche etwas dominieren.

4.2 Biologische Plausibilität

Erstmals wird nun der Fehler des Gesamtmodells betrachtet. Als Fehlerquellen kommen hier nun sämtliche Modellbausteine infrage: Parameter, Funktionen, Modellstrukturen, Programmier- und Bedienungsfehler, bezogen auf die Modelle STRUGEN (Struktur), STAOPROD (Standort), STRUMOD (Durchforstung), Kronenaufbau, Konkurrenzalgorithmen, Mortalität, Fortschreibungsprozeduren, Auswertungsroutinen usw..

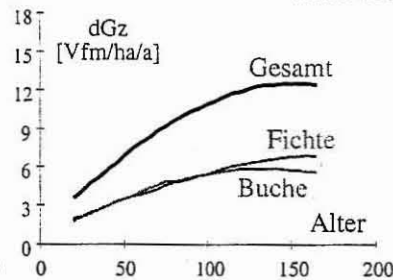
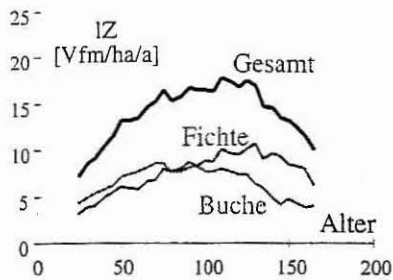
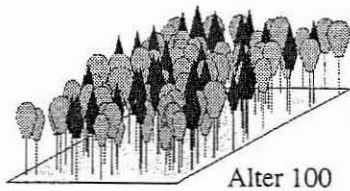
Als Beispiel wird das Kriterium „biologische Plausibilität“ herangezogen. Diese wird überprüft anhand des laufenden sowie des durchschnittlichen Derbholzvolumenzuwachses für 2 verschieden strukturierte Fichten-Buchen-Mischbestände. Beide Bestände stehen auf dem gleichen wuchskräftigen Standort im Wuchsbezirk Oberbayerisches Tertiäres Hügelland. Es wird eine Einzelmischung der Baumarten angenommen, die Grundfläche beider Baumarten beträgt jeweils 10 qm/ha, die Gesamtbestände starten also mit 20 qm/ha. Beide Ausgangsbestände unterscheiden sich nur darin, daß die Mittelhöhe (hg) in Variante 1 für die Fichte 9 m, die der Buche 13 m beträgt, in Variante 2 ist die Fichte 2 m höher, die Buche 2 m niedriger. Es wird nun die Bestandesentwicklung über 100 Jahre fortgeschrieben, wobei also die Frage untersucht wird, welchen Einfluß die in den Baumhöhen unterschiedlich strukturierten Bestände auf den Volumenzuwachs haben werden. Es wird nicht durchforstet.

Im Resultat entwickeln sich die Bestände vollkommen anders (Abb. 2). Bei Variante 1 wird im Alter 150 ein dGz_{max} von ca. 13 VfmD/ha/Jahr erzielt, die Fichte kann sich nur schwer gegen die Buche durchsetzen. Der laufende Volumenzuwachs des Gesamtbestandes kulminiert wegen der spät nachziehenden Fichte erst im Alter 120 mit etwa 18 VfmD/ha/Jahr. Demgegenüber erreicht die Variante 2 (Start-hg Fichte und Buche je 11 m) die Kulmination des laufenden Volumenzuwachs schon im Alter 80 mit nahezu 25 VfmD/ha/Jahr, und auch der dGz_{max} wird schon im Alter 120 mit deutlich mehr als 15 VfmD/ha/Jahr erzielt.

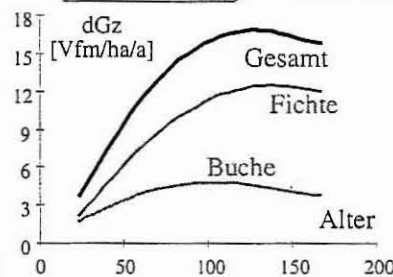
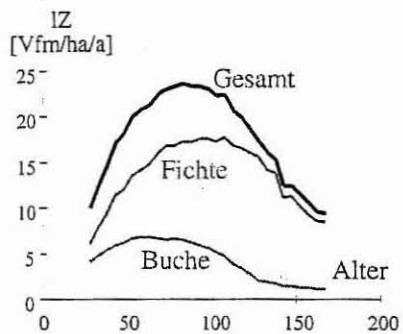
Da sich die Prüfung der biologischen Plausibilität hier i.w. auf einem qualitativen Niveau bewegt, das auch nur schwer zu beurteilen ist, soll nun ein quantitativer Validierungsansatz folgen.

A
4
F
V
S
r
N
I
E
C
I
S
r
e
H
J

1. Start: hg Fichte=9 m; hg Buche=13 m



2. Start: hg Fichte=11m; hg Buche=11m



2: Wachstumsdynamik in Mischbeständen aus Fichte und Buche. Startwerte: Einzelbaummischung, wuchskräftiger Standort, Grundfläche je Baumart 10qm/ha, keine Durchforstung, Prognose mit SILVA 2.2 über 100 Jahre.

Prognosefehler bei Vergleich Zuwachsprognose mit Wirklichkeit

Die Ermittlung eines Prognosefehlers des Gesamtmodells wird auf das nahezu gesamte Stichprobenflächennetz des Lehrstuhls für Waldwachstumskunde zurückgegriffen, wobei nur die Versuchsflächen genutzt werden, die für die Parametrisierung der Zuwachsfunktionen verwendet worden sind. Dabei handelt es sich nun um 1010 Aufnahmen in Rein- und Mischbeständen aus Fichte, Kiefer, Buche und Eiche aus dem Beobachtungszeitraum 1870 bis 1990. Dieser Datenpool wird in 2 Stufen eingesetzt: Stufe 1 mit 40% zufällig ausgewählten Flächen dient der Adjustierung der Modellfunktionen, Stufe 2 mit den restlichen Flächen der Ermittlung des Prognosefehlers.

Ablauf auf Stufe 1 vollzieht sich wie folgt: für jeden Bestand werden dg, hg, G und Standortinformationen (vgl. Kap. 3.2) vom Wuchsmodell SILVA eingelesen. SILVA errechnet standortabhängige Höhenwuchsleistungen, baut Stammzahl-Durchmesser-Verteilungen auf und errechnet Baumhöhen über ein Einheitshöhenkurvensystem und erzeugt ein horizontales Höhenverteilungsmuster. Dieser Ausgangsbestand wird dann ohne Durchforstungseingriffe 5 Jahre lang fortgeschrieben, natürliche Mortalität führt allerdings zu Stammzahlabnahmen. Dieser

Vorgang (dg, hg, ...) wird für jeden Bestand 10 mal wiederholt. Aus den daraus folgenden 10 Volumenzuwächsen wird ein baumartenspezifischer arithmetischer Mittelwert berechnet. Die 10 Wiederholungen werden vorgenommen, da nahezu alle Prozesse bis auf die Standorthöhenkurven von Zufallsprozessen überlagert werden (Witterung, Residuen, ...), die durch den Mittelwert stabilisiert werden. Dieser Mittelwert des laufenden Volumenzuwachses wird dem wirklichen Bestandesvolumenzuwachs gegenübergestellt. Über alle Bestände dieser ersten Validierungsstufe wird nun der baumartenspezifische Bias der Volumenzuwachsschätzung ermittelt, SILVA wird in der Zuwachsschätzung adjustiert, und der gesamte Vorgang vollzieht sich erneut. Nach einigen Schritten iterativer Anpassung terminiert das Verfahren, die Zuwachsschätzung ist für das gegebene Bestandeskollektiv biasfrei.

Nun folgt die zweite Stufe der Validierung mit 60% der Bestände des gesamten Datenpools: Die Schritte sind identisch mit denen bei Stufe 1, mit der einzigen Ausnahme, daß keine Adjustierung der Modellfunktionen mehr erfolgt. Nach Beendigung aller Schritte von Stufe 2 liegt also jetzt eine Liste vor, die für jeden Bestand den wirklichen fünfjährigen Volumenzuwachs und von den 10 Wiederholungen der Prognosen einen mittleren geschätzten Volumenzuwachs enthält.

Für die Auswertung der Resultate der Stufe 2 wird zunächst bestandes- und baumartenweise die Differenz im Volumenzuwachs errechnet als

$$(4.3-1) \quad iv_{diff} \% = \frac{iv_{real} - iv_{SILVA}}{iv_{real}} * 100$$

Es bedeuten:

- $iv_{diff} \%$ = prozentuale Differenz im Volumenzuwachs
- iv_{real} = wirklicher Volumenzuwachs auf der Versuchsfläche, [VfmD/ha/5Jahre]
- iv_{SILVA} = aus 10 Wiederholungen mittlerer prognostizierter Volumenzuwachs, [VfmD/ha/5Jahre]

Nach Baumarten getrennt werden dann über alle Versuchsbestände der Validierungsstufe 2 ein Mittelwert errechnet sowie Standardweichung und Standardfehler bestimmt. Dieser Standardfehler der Volumenzuwachsdifferenz ist der Prognosefehler des 5-jährigen Volumenzuwachses für Bestandeskollektive. Die Resultate der Berechnungen sind in Tabelle 3 zusammengefaßt.

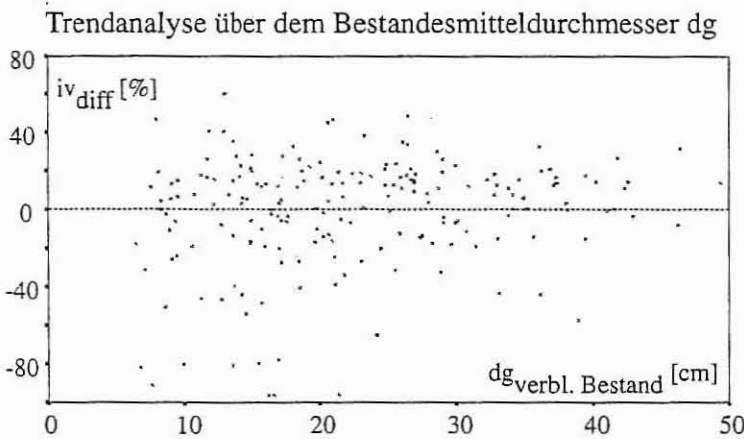
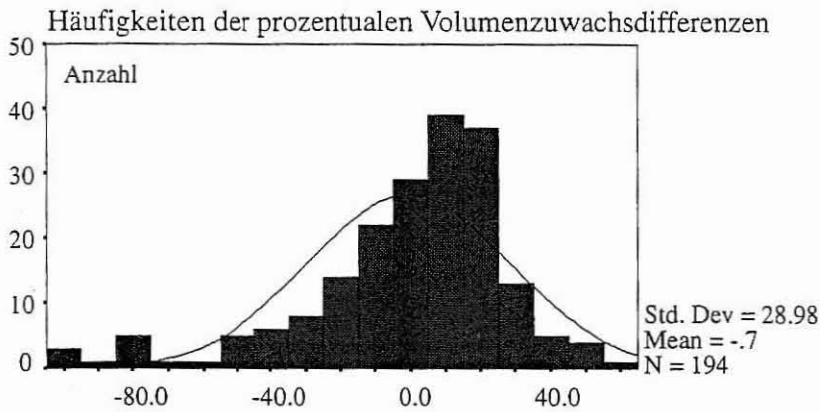
Tab. 3: Prognosefehler des 5-jährigen Volumenzuwachses für Bestandeskollektive

N = Stichprobenumfang; mittl. $iv_{diff} \%$ = mittlere Volumenzuwachsdifferenz in %; Stdabw. $iv_{diff} \%$ = Standardabweichung des mittleren Volumenzuwachsdifferenzprozentages; Prognosefehler = Standardfehler in % (Fehler von mittl. $iv_{diff} \%$)

	N	mittl. $iv_{diff} \%$	Stdabw. $iv_{diff} \%$	Prognosefehler
Fichte	220	-1.9	19.84	1.3
Kiefer	115	0.6	38.62	3.6
Buche	194	-0.7	28.98	2.1
Eiche	86	4.8	18.54	2.0

Die Prognosefehler liegen also zwischen 1.3 und 3.6%. Um zu überprüfen, ob die mittleren Zuwachsdifferenzen einen Trend aufweisen in Abhängigkeit von Bestandeskennwerten, werden die $iv_{diff} \%$ -Werte baumartenweise über dem Grundflächenmitteldurchmesser dg des

leibenden Bestandes graphisch dargestellt (Abb. 3). Hier ergaben sich keine systematischen Abweichungen.



b. 3: Häufigkeiten der prozentualen Volumenzuwachsdifferenzen (wirklicher Volumenzuwachs - mittlerer Prognosezuwachs relativ zum wirklichen Zuwachs) bei der Baumart Buche und Trendanalyse über dem Bestandesmitteldurchmesser.

Diskussion

Das Wuchsmodell SILVA 2.2 steht inzwischen auf einer enorm breiten Datengrundlage und deckt mit Parametrisierungen für Fichte, Tanne, Kiefer, Buche, Eiche und Erle auch die wichtigsten Baumarten in Baum- und Bestandeswachstum nach. Eine abschließende Parametrisierung wird es nicht geben. Vielleicht gibt es einmal eine letzte, weil man zu anderen Modellstrukturen übergeht und wieder neu zu zählen beginnt.

Im Kapitel 3 wurden die aktuellen Modellfunktionen vorgestellt, diese Funktionen allein zeigen aber noch nicht das Modell aus. Die Modellstruktur ist entscheidend, also das technische Ineinandergreifen der Funktionen und ihr inhaltliches Zusammenwirken. Die Parameter der Modellfunktionen wurden hier nicht aufgelistet, sie ließen sich ohnehin nur aktuell präsentieren, weil deren Gesamtumfang doch sehr groß ist. Die Parameter der Funktionen können bei den Autoren angefordert werden, die sie gerne zur Verfügung stellen. Wichtig ist zumindest die Veröffentlichung der Bestimmtheitsmaße und Standardfehler, da sie auf einer etwas höher aggregierten Modell- und Verständnisebene Einblick und Durchblick

gewähren. Die Bestimmtheitsmaße sind i.d.R. für alle Modellbausteine relativ hoch, die Standardfehler eher klein.

Von zentraler Bedeutung sind die vollzogenen Schritte zur Validierung des Gesamtmodells, die immer stärker von Interessengruppen eingefordert wird, welche Wachstumsmodelle als Vehikel für weiterführende Untersuchungen und auch alltägliche Arbeiten nutzen wollen. Die durchgeführte Ermittlung eines Prognosefehlers für Schätzungen des Volumenzuwachses ist dabei ein ganz entscheidender Punkt. Es ist allerdings zu berücksichtigen, daß der ermittelte baumartenspezifische Fehler von 1.3 bis 3.6 % für Bestandeskollektive gilt, wobei die Modellfunktionen für einen sehr langen Zeitraum (1870 bis 1995) adjustiert wurden. Der Volumenzuwachsfehler für Einzelbestände oder kürzere Bezugszeiträume ist sehr viel größer (die Standardabweichung der Zuwachsdifferenzen liegt zwischen 19% und 39%). Würden die Adjustierungszeiträume kürzer, dann könnte es passieren, daß systematische Zuwachsfehleinschätzungen auftreten. Daher ist es enorm wichtig, bei der Modellparametrisierung und -adjustierung auf die Daten eines langfristigen Versuchswesens zurückzugreifen.

Die methodische Bedeutung der Modelladjustierung ist darin zu sehen, daß die Modellfunktionen mit Fehlerabschätzung regionalisiert werden können, was etwa auf Basis von Inventurdaten erfolgen kann. Und obwohl die Prognosefehler hier schon sehr klein sind, muß berücksichtigt werden, daß die Informationen zur Einsteuerung der Validierungsprognosen geradezu marginal waren (dg, hg, G, Standort). Bei Nutzung der von privaten und staatlichen Forstverwaltungen teuer erhobenen Daten etwa von Kontrollstichproben dürften die Ausgangswerte für die Zuwachsprognose mit SILVA qualitativ weit besser sein.

6 Literatur

- DURSKY, J. (1997): Modellierung der Absterbeprozesse in Rein- und Mischbeständen aus Fichte und Buche, Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, 168. Jg., H. 7/8, S. 131-134
KAHN, M., und PRETZSCH, H. (1997): Das Wachstumsmodell SILVA - Parametrisierung der Version 2.1 für Rein- und Mischbestände, AFJZ, 168. Jg., H. 6/7, S. 115-123
PRETZSCH, H. (1995): Zum Einfluß des Baumverteilungsmusters auf den Bestandeszuwachs, AFJZ, 166. Jg., H. 9/10, S. 190-201
SLOBODA, B., GAFFREY, D. und N. MATSUMURA (1993): Regionale und lokale Systeme von Höhenkurven für gleichaltrige Waldbestände, AFJZ, 164. Jg., H. 12, S. 225-228

Anschrift der Autoren:

Prof. Dr. Hans Pretzsch (Lehrstuhlvorstand) und Dr. Markus Kahn (Projektassistent), Lehrstuhl für Waldwachstumskunde, Forstliche Fakultät der Ludwig-Maximilians Universität München, Am Hochanger 13, D-85354 Freising, Tel. ++49-8161-714711, Fax. ++49-8161-714721, Email H.Pretzsch@lrz.uni-muenchen.de und M.Kahn@lrz.uni-muenchen.de.

Der vorliegende Beitrag entspricht der Textfassung eines Vortrages auf der Jahrestagung der Sektion Ertragskunde des Deutschen Verbandes Forstlicher Forschungsanstalten in Kevelaer, vom 25. Mai bis 27. Mai 1998.

