

- PRETZSCH, H. (2001): Modellierung des Waldwachstums, Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin, Wien, 341 S.
- PRETZSCH, H. (2002): Grundlagen der Waldwachstumsforschung, Blackwell Verlag, S. 414
- PRETZSCH, H. (2004): Der Zeitfaktor in der Waldwachstumsforschung, in LWF Wissen Nr. 47, S. 11–30.
- PRETZSCH, H., J. BLOCK, J. DIELER, P. H. DONG, U. KOHNLE, J. NAAGEL, H. SPELLMANN und A. ZINGG (2010): Comparison between the productivity of pure and mixed stands of Norway spruce and European beech along an ecological gradient. *Annals of Forest Science* 67: 712.
- PRETZSCH, H. und H. UTSCHIG (2000): Wachstumstrends der Fichte in Bayern., Mitteilungen aus der Bayerischen Staatsforstverwaltung, Bayerisches Staatsministerium für Ernährung Landwirtschaft und Forsten, München H. 49, 170 S.
- SCHOBER, R. (1975): Ertragstabellen wichtiger Baumarten. JD Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main.
- SCHOBER, R. (1972): Die Rotbuche 1971. Schriftenreihe der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Nds. Forstlichen Versuchsanstalt, Bd. 43/44, 333 S.
- SCHÜTZ, J. P. (2001): Der Plenterwald, Paul Parey, 207 Seiten.
- UTSCHIG, H. (2002): Analyse der Standraumökonomie von Einzelbäumen auf langfristig beobachteten Versuchsfeldern – Methoden, Programmentwicklung und erste Ergebnisse, *Forstw. Cbl.* 121 (2002), S. 335–348.
- UTSCHIG, H. (2000): Wachstum vorherrschender Buchen in Abhängigkeit von Standort und Behandlung, *Forst und Holz*, Jg. 55, H. 2, S. 44–50.
- UTSCHIG, H., M. NEUFANGER und TH. ZANKER (2011): Das 100-Baum-Konzept als Einstieg für Durchforstungsregeln in Mischbeständen, *AFZ*, H. 21, S. 4–6.
- ZINGG, A. (1996): Diameter and Basal Area Increment in Permanent Growth and Yield Plots in Switzerland. In: SPIECKER, H., MIELIKÄINEN, K., KÖHL, M., SKOVSGAARD, J. P. (eds). *Growth Trends in European Forests*. European Forest Institute Research Report No. 5. Berlin, Heidelberg, Springer. 239–265.
- ZINGG, A., F. FRUTIG, A. BÜRGI, R. LEMM, V. ERNI und H. BACHOFEN (2009): Ertragskundliche Leistung in den Plenterwald-Versuchsfeldern der Schweiz, *Schweizerische Zeitung für das Forstwesen*, Jg. 160 H. 6, S. 162–174
- ZINGG, A. (2011): Warum Plentern?. *Wald+Holz* 2011, 12: 23–27.

## Kontinuität durch Flexibilität – Standardisierte Datenauswertung im Rahmen eines waldwachstumskundlichen Informationssystems

(Mit 4 Abbildungen)

PETER BIBER<sup>\*)</sup>

(Angenommen April 2013)

### SCHLAGWÖRTER – KEY WORDS

*Waldwachstumskundliches Informationssystem; Datenauswertung.*

*Forest growth and yield; scientific information system; data evaluation.*

### 1. WANDEL ALS HERAUSFORDERUNG

Anlässlich einer akademischen Festveranstaltung des Forstwissenschaftlichen Fachbereichs der Universität Göttingen skizziert FRIEDRICH FRANZ am 27. Mai 1987 den technischen und inhaltlichen Rahmen zum Aufbau eines neuzeitlichen Informationssystems für die Forstwirtschaft. Vor dem Hintergrund der Waldschadensdiskussion der 80er Jahre und dem wieder auflebenden

Interesse an Mischbeständen identifiziert er neu entstandenen Informationsbedarf, dem mit den seinerzeit verfügbaren Arbeitsgrundlagen und technischen Mitteln nicht entsprochen werden kann. Daraus entwickelt er das Konzept eines umfassenden Informationssystems, dessen Fertigstellung er in wesentlichen Komponenten nicht vor 2010 für realistisch hält.

Waren die Überlegungen von FRANZ noch hauptsächlich an der forstlichen Produktion und verwandten Zielgrößen orientiert, sieht PRETZSCH schon fünfzehn Jahre später die „... Forstwirtschaft [...] auf dem Weg [...] zu einem umfassenden Waldökosystemmanagement ...“, für das „... Aussagen über Holzqualität, Wertleistung, Stabilität, Naturnähe, Strukturvielfalt, Biodiversität oder Erholungswert ebenso wichtig wie Zuwachs- und Ertragswerte“ sind (PRETZSCH, 2002; S. 14). In kurzer Zeit ist ein Paradigmenwechsel, der sich bei FRANZ schon andeutet, geradezu zu einem Leitthema geworden.

Als Brückendisziplin zwischen Grundlagen- und angewandten Wissenschaften ist die Waldwachstumsfor-

<sup>\*)</sup> Korrespondierender Autor: Dr. PETER BIBER. Lehrstuhl für Waldwachstumskunde, Technische Universität München, Hans-Carl-von-Carlowitz Platz 2, D-85354 Freising. E-Mail: [peter.biber@lrz.tum.de](mailto:peter.biber@lrz.tum.de).

schung von solchen Veränderungen in besonderer Weise betroffen. Sie führen zu neuen Fragen, die eine Aufweitung der Datengrundlage, eine Verbreiterung des Methodenspektrums und ein größeres Spektrum an Zielgrößen bedingen. Gleichzeitig ist aber ein hohes Maß an Kontinuität erforderlich, um der Zeitskala, auf der sich das Leben von Wäldern abspielt, gerecht zu werden (vgl. PRETZSCH, 2004). „Die Waldwachstumsforschung entwickelt sich“, wie PRETZSCH (2002, S. V) darstellt „mehr und mehr über ihr klassisches Gebiet hinaus.“

So gesehen benötigt schon die Waldwachstumsforschung für sich genommen ein Informationssystem, das eine möglichst standardisierte Koordination von Daten und Methoden gewährleistet, dabei aber nicht derart in sich geschlossen ist, dass veränderte inhaltliche und technische Anforderungen eine grundlegende Neukonzeption nötig machen würden. Unter einem Informationssystem möchte ich in diesem Zusammenhang weniger ein einziges Softwareprodukt verstehen als vielmehr ein langfristiges EDV-gestütztes Konzept, das sich technisch mit den bestehenden Möglichkeiten entwickeln muss. Das kann bedeuten, dass in größeren Zeitabständen Migrationen auf neue Betriebssysteme, Datenbanken und Programmiersprachen nötig werden, wobei die inhaltliche Kontinuität auf jeden Fall eingehalten werden muss. Wegen der fortschreitenden technischen Entwicklung und vor allem der Dynamik der inhaltlichen Anforderungen erscheint ein idealer Endzustand in der Praxis nicht erreichbar. Ähnlich wie das Normalwaldmodell einen unerreichbaren Idealzustand

beschreibt, kann aus der Sicht des Verfassers die Vorstellung eines idealen Informationssystems auch nur eine Richtlinie sein, an der sich ein Istzustand messen lassen muss.

Ausgehend von Überlegungen und der Situation am Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Technischen Universität München möchte ich die Konzeption eines Informationssystems für die Waldwachstumsforschung aus dem Blickwinkel des Weges von den verfügbaren Daten bis hin zur Beantwortung wissenschaftlicher und praktischer Fragen darstellen. Dabei werde ich besonders auf die Rolle von Standardauswertungen, wie sie am Lehrstuhl in einer Neufassung vorliegen, eingehen.

## 2. KONZEPTION EINES WALDWACHSTUMSKUNDLICHEN INFORMATIONSSYSTEMS

Mit dem zuvor beschriebenen Fokus auf Datengrundlage und Auswertungsfluss zeigt *Abbildung 1* die Konzeption eines modernen waldwachstumskundlichen Informationssystems. Eine Einteilung in die vier Schichten *Daten*, *Modelle*, *Standardauswertung* und *fragenorientierte Auswertung* bietet sich an.

### 2.1 Daten

#### 2.1.1 Wald- und Baumdaten

Auf der Ebene der Daten ist ein Informationsbestand zentral, den ich als *Wald- und Baumdaten* bezeichnen möchte. Darunter soll alle quantitative Information über

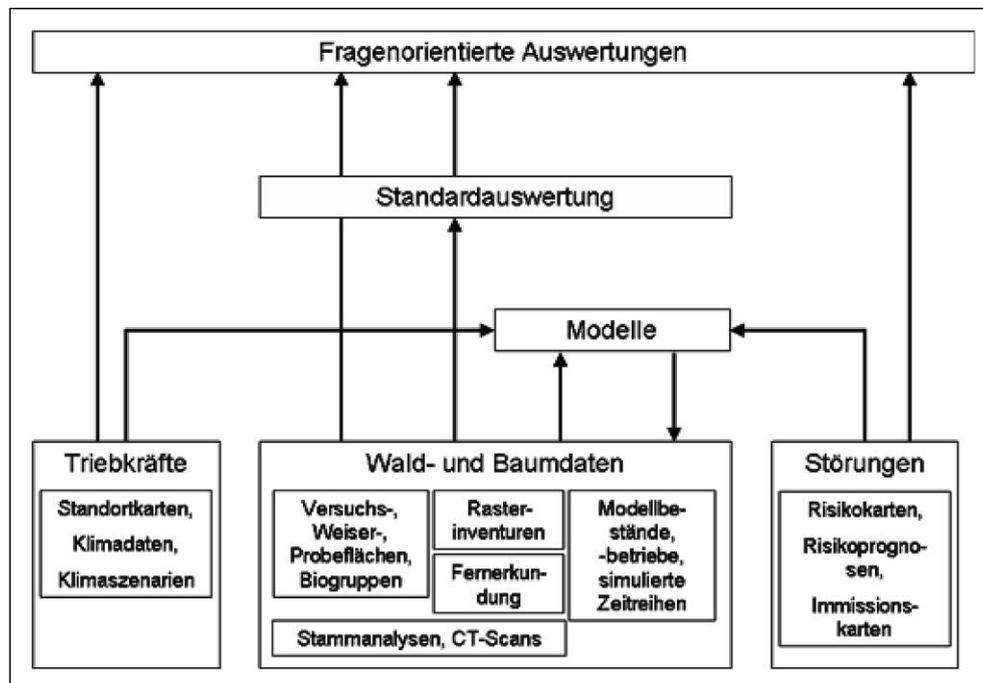


Abb. 1

Daten und Auswertungsfluss in einem waldwachstumskundlichen Informationssystem. Es werden vier Schichten unterschieden: 1) Daten (Wald- und Baumdaten, Triebkräfte, Störungen), 2) Modelle, 3) Standardauswertung, 4) fragenorientierte Auswertungen.

Data and evaluation flow in a scientific growth and yield information system. We distinguish four layers: 1) data (forest and tree data, driving forces, disturbances), 2) models, 3) standard evaluation, 4) question-oriented evaluation.

Bäume, Waldbestände, Betriebsklassen, Forstbetriebe bis hin zur Landschaftsebene verstanden werden. Unverzichtbare und bewährte Datengrundlage der Waldwachstumsforschung sind dabei nach wie vor klassische langfristig, d.h. über mehrere Jahrzehnte hinweg beobachtete Versuchsflächen (NAGEL et al., 2012; PRETZSCH et al., 2002a), die, ausgehend von klar definierten Fragestellungen, dem Testen von Hypothesen dienen. Ebenso zu den klassischen Datenquellen sind Weiser- und Probeflächen sowie Biogruppen von Bäumen zu rechnen. Sie unterscheiden sich von langfristigen Versuchsflächen im Wesentlichen durch kürzere Beobachtungszeiten bzw. im Fall von Biogruppen nur einmaligen Aufnahmen. Gemeinsamkeit aller dieser Datenquellen ist, dass an jedem Baum bzw. an einer Stichprobe von Bäumen einer Beobachtungseinheit mit terrestrischen Verfahren ein standardisierter Satz von Messgrößen (Brusthöhendurchmesser, Baumhöhe, Kronenansatzhöhe, horizontale Kronenausdehnung) in Abständen von mehreren Jahren gemessen wird. Teilweise sind auch die Positionen der einzelnen Bäume im Bestand bekannt.

Besonders auf Biogruppen, Probe- oder Weiserflächen werden zusätzlich Bohrkerne an Bäumen entnommen um das Zuwachsgeschehen retrospektiv verfolgen zu können. In diesem Kontext sind auch destruktive Stammanalysen zu nennen, bei denen an gefällten Bäumen in verschiedenen Höhen Stammscheiben entnommen werden, um die dreidimensionale Entwicklung des Stammes zu rekonstruieren. Soll der laufende Zuwachs in zeitlich hoher Auflösung festgestellt werden, können Permanent-Umfangmaßbänder angebracht werden.

Messtechnisch eng verwandt, konzeptionell jedoch komplementär zu den klassischen Versuchs- und Beobachtungsflächen sind rasterbasierte Waldinventuren wie die Bundeswaldinventur und Stichprobeninventuren auf Betriebsebene, die seit wenigen Jahrzehnten eine weitere Datenquelle darstellen. Sie dienen nicht primär wissenschaftlichen Fragestellungen sondern Monitoringzwecken, der forstlichen Planung und der Nachhaltigkeitskontrolle. Somit eignen sie sich hervorragend zur Herstellung von flächenrepräsentativen Aussagen, kaum aber zur Aufdeckung von ursächlichen Zusammenhängen. Im Hinblick auf wissenschaftliche Fragestellungen erhalten sie großen Wert in geschickter Kombination mit Daten von Dauerversuchsflächen (NAGEL et al., 2012).

Technisch ähnlich aufgebaut ist eine dritte, sehr junge Datenquelle, die hier als *Modellbestände*, *Modellbetriebe*, *simulierte Zeitreihen* bezeichnet wird. Bei den so bezeichneten Modellbeständen und Modellbetrieben handelt es sich um – häufig auf der Grundlage statistischer Verfahren – künstlich generierter Bestände oder Betriebe, die sich datentechnisch wie Versuchsflächenaufnahmen oder Inventurdaten darstellen (vgl. MOSHAMMER, 2006; DEGENHARDT und POMMERENING, 1999; LEWANDOWSKI und v. GADOW, 1997; BIGING et al., 1994). Ihre Bedeutung besteht darin, dass sie als idealtypische, so in der Realität nicht gegebene Ausgangssituationen für Szenariorechnungen mit Waldwachstumssimulatoren herangezogen werden und so das Spektrum an

verfügbaren Versuchsflächen ergänzen, jedoch nicht ersetzen können.

Simulierte Zeitreihen sind mit Simulationsmodellen erzeugte Entwicklungen von Bäumen, Beständen oder ganzen Forstbetrieben, die entweder auf Modellbeständen, Modellbetrieben oder realen Einheiten als Startsituation basieren. Häufig existieren je Startsituation mehrere simulierte Zeitreihen, die sich als verschiedene, einer gemeinsamen Fragestellung untergeordnete Szenarien verstehen.

Während sich die bisher angesprochenen Datenquellen inhaltlich in wesentlichen Punkten ähneln, liefern Verfahren der Fernerkundung zunehmend für die Waldwachstumsforschung relevante Information. Das Spektrum reicht vom Einsatz terrestrischer Laserscanner zur Erfassung von Einzelbauminformationen oder lokaler Bestandeskennwerte (SEIDEL et al., 2012; PRETZSCH et al., 2011), bis hin zu großflächig verfügbaren Produkten, die mit flugzeug- oder satellitengelegenen Radar- und optischen Sensoren erzeugt werden (OSSIG et al., 2011; ELATAWNEH et al., 2010; TORANO CAICOYA et al., 2010; METTE et al., 2004). Wegen der nach wie vor dynamischen Entwicklung auf diesem Gebiet sind schon die im kommenden Jahrzehnt erzielbaren Standards kaum vorherzusagen. Zu erwarten ist eine zunehmende Bedeutung dieser Verfahren im Hinblick auf die Erfassung von Waldstrukturen und ihrer Veränderung sowie die Ergänzung der nur an Rasterpunkten vorliegenden Inventurinformationen in der Fläche. Festzuhalten bleibt jedoch, dass wegen des fehlenden experimentellen Charakters auch Fernerkundungsdaten langfristige Versuche nicht ersetzen können, aber ähnlich wie Inventurdaten je nach Fragestellung eine sinnvolle Ergänzung darstellen.

Von zunehmender Bedeutung sind auch bildgebende Verfahren, die die innere Struktur von Baumstämmen sichtbar machen. Computertomographen erlauben einen Blick auf innere Holzmerkmale und deren Wechselwirkung mit Wachstumsvorgängen (NIKOLOVA et al., 2009).

### 2.1.2 Triebkräfte

Waren in der Vergangenheit bodenkundliche Ansprachen vor Ort und Daten von nahe gelegenen Wetterstationen praktisch die einzigen Informationsquellen zu den für eine gegebene Fläche herrschenden Triebkräfte des Waldwachstums, haben sich mittlerweile flächige Standortkarten etabliert, auf die flexible digitale Standortinformationssysteme aufbauen (BECK et al., 2012). Mithilfe moderner Interpolationsverfahren können beobachtete Klimamesswerte und -zeitreihen bestmöglich auf einen gegebenen Standort bezogen werden. Neben retrospektiven Messdaten stehen aber auch simulierte Klimaszenarien in unterschiedlicher räumlicher und zeitlicher Auflösung zur Verfügung (vgl. DEUTSCHER WETTERDIENST, 2012).

### 2.1.3 Störungen

Klimatische und anthropogene Störungen können wesentliche erklärende Faktoren für die Dynamik von Wäldern sein. Moderne Klima-Risikokarten (KÖLLING et al., 2009) sowie räumlich explizite Risikoprognosen (HANEWINKEL et al., 2010) und Immissionskarten sind

verfügbar und eignen sich zur Verschneidung mit den oben dargestellten Wald- und Baumdaten.

Wenngleich die Informationen zu Triebkräften und Störungen teilweise mit Modellen erzeugt werden, bzw. Instrumente wie Risikokarten selbst als Modelle gesehen werden können, werden sie in der vorliegenden Konzeption zur Datenebene gerechnet, da die von ihnen gelieferte Information aus der Sicht des waldwachstumskundlichen Informationssystems von außen kommt.

## 2.2 Modelle

Wachstumsmodelle sind als Forschungswerkzeuge aus einem waldwachstumskundlichen Informationssystem nicht wegzudenken. Sie eignen sich dazu, Bestände oder Behandlungsvarianten, die empirisch nicht oder nicht ausreichend abgedeckt sind, modellhaft abzubilden. Waren in der Vergangenheit statische Modelle wie Ertragstafeln oder auf Bestandesebene arbeitende Simulatoren wie STAOET (FRANZ, 1968) die Mittel der Wahl, kommen heute struktursensitive empirische und ökophysiologische Modelle, die nicht nur auf gleichaltrige Reinbestände anwendbar sind, zum Einsatz. Am Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Technischen Universität München sind es die Modelle SILVA (PRETZSCH et al., 2002b) und BALANCE (RÖTZER et al., 2009), die für zahlreiche Fragestellungen mittlerweile standardmäßig zum Einsatz kommen (vgl. PRETZSCH, 2001).

Als Startsituation nutzen solche Modelle alle Arten von Wald- und Baumdaten wie unter 2.1.1 skizziert, wobei Anwendungen auf klassische Versuchs- und Beobachtungsflächen, Rasterinventurdaten sowie Modellbestände und -betriebe technisch bisher am ausgereiftesten sind. Zukünftig vielversprechend erscheinen Modelleinstellungen aus Fernerkundungsdaten. Vorhandene Informationen über Triebkräfte und Störungen (2.1.2, 2.1.3) können in unterschiedlicher Detailliertheit eingesteuert werden. Ergebnis der Modellanwendung sind simulierte Zeitreihen auf Bestandes-, Betriebs- oder Landschaftsebene wie unter 2.1.1 dargestellt.

Nicht zuletzt, um Waldwachstumsmodelle bestmöglich in den Informationsfluss von Wissenschaft und Praxis einzubinden, hat eine Arbeitsgruppe des Deutschen Verbands Forstlicher Forschungsanstalten Empfehlungen zur standardisierten Beschreibung und Weiterentwicklung von Waldwachstumssimulatoren herausgegeben (PRETZSCH et al., 2002c)

## 3. STANDARD AUSWERTUNG

Kernstück eines waldwachstumskundlichen Informationssystems ist eine auf lange Sicht standardisierte Vorgehensweise bei der Auswertung der Wald- und Baumdaten (2.1.1) die eine auch über lange Zeiträume hinweg vergleichbare Grundausrüstung an quantitativer Information gewährleistet.

Deren Bedeutung liegt zum einen darin, dass in manchen Fällen eine solche Standardauswertung bereits die Versuchsfrage beantwortet (z.B. „Welche Durchforstungsvariante erzielt den höchsten Zuwachs?“), zum anderen aber darin, dass sie wertvolle Metainformation

für die Auswahl von Daten für weiterführende Auswertungen bereithält (z.B. „Welche verfügbaren Versuche eignen sich für eine Querschnittsauswertung zum Produktivitätsvergleich von Rein- und Mischbeständen?“, s. Abschnitt 4). Darüber hinaus dient die Standardauswertung der periodischen Qualitätssicherung der aufgenommenen Daten.

### 3.1 Traditionelle Implementierung

Am Lehrstuhl für Waldwachstumskunde wurde seit den 1970er Jahren unter Leitung von Friedrich Franz eine Sammlung von Auswertungsprogrammen entwickelt, die auf die Auswertung klassischer Daten von Versuchs- Weiser- und Probeständen abgestimmt ist. Mithilfe dieser Programmsammlung, die eng mit den Namen Wolfgang Foerster, Heinrich Flurl, Eckhard Kennel, Reinhard Kennel, Franz Meyer, Anton Schmidt (in alphabetischer Reihenfolge) verbunden ist, wird für jede Fläche nach jeder neuen Aufnahme eine Zeitreihe von Bestandessummen- und Mittelwerten wie Stammzahl, Grundfläche, Volumen, Mitteldurchmesser und -höhe, Oberdurchmesser - und -höhe jeweils sowohl für den ausscheidenden und den verbleibenden Bestand berechnet. Hinzu kommen laufender Volumen- und Grundflächenzuwachs, die Gesamtwuchsleistung, der durchschnittliche Gesamtwuchs sowie die mittlere Grundflächenhaltung. Das Vorgehen und die Algorithmen entsprechen der DESER-Norm (JOHANN, 1993), die eine Vergleichbarkeit über einzelne Institutionen hinaus sicherstellt.

Diese Programme sind in der Programmiersprache FORTRAN abgefasst und sind seit ihrer Entstehung mehrfach von Betriebssystem zu Betriebssystem und von FORTRAN-Version zu FORTRAN-Version portiert worden, ohne dass es zu inhaltlichen Brüchen gekommen wäre. Trotz ihrer großen Zuverlässigkeit zeichnete sich in den letzten Jahren die Notwendigkeit einer grundlegenden Neufassung ab. Gründe hierfür sind eine gemessen an heutigen Maßstäben als umständlich empfundene Bedienung, die fehlende direkte Datenbankanbindung und mangelnde Möglichkeiten, die Zwischen- und Endergebnisse der Auswertung grafisch darzustellen.

### 3.2 Neufassung

Seit kurzer Zeit befindet sich eine Neufassung der Standardauswertung im Einsatz, deren Grundidee hohe Flexibilität unter Einhaltung der bewährten Standards ist. Als technischer Rahmen wurde die freie Programmiersprache R (R CORE TEAM, 2012) gewählt. R hat sich in den letzten Jahren zu einem wichtigen Werkzeug der wissenschaftlichen Datenauswertung entwickelt und wurde, da es eine enorme Bandbreite an statistischen Verfahren auf professionellem Niveau und hervorragende grafische Darstellungsmöglichkeiten anbietet, schon bisher am Lehrstuhl für Waldwachstumskunde genutzt.

Aus Anwendersicht stellt sich die Software als eine Bibliothek von spezialisierten R-Befehlen dar, also als eine Erweiterung der Programmiersprache R. Bewusst verzichtet wurde auf die Gestaltung einer eigenen Benutzeroberfläche, da dies nur Einbußen an Flexi-

bilität mit sich bringen und gleichzeitig einen unnötig hohen Pflege- und Entwicklungsaufwand bedingen würde.

Vielmehr besteht eine sinnvolle Arbeit mit R darin, die verwendeten Befehle in einem Skript festzuhalten, was keinen zusätzlichen Aufwand bedeutet, sondern durch die Arbeit selbst geschieht. Am Ende der Auswertung einer Parzelle oder eines ganzen Versuches steht dann ein Skript, das die gesamte Auswertung einschließlich aller dabei getroffenen Entscheidungen dokumentiert und bei Bedarf technisch exakt ohne weiteren Aufwand auch für Dritte nachvollziehbar macht. Ein derartiges Skript sollte im Zuge des Arbeitsfortschritts mit Kommentaren versehen werden, was erheblich zur Verständlichkeit beiträgt.

Eine weitere Stärke dieser Lösung besteht darin, dass ein Standardskript für den Normalfall existiert, das in der Mehrzahl der Auswertungssituationen nicht oder nur geringfügig modifiziert zu werden braucht. Gleichzeitig finden aber fortgeschrittene Nutzer eine Flexibilität vor, die beliebige Neukombinationen von Auswertungsbefehlen und Datenzugriffen erlaubt, wie es in Sonderfällen notwendig sein kann. Auf diese Weise können aus der Anwendung neue automatisierte Lösungen für spezielle Auswertungsprobleme wachsen. Mit zunehmender Versiertheit werden so aus Anwendern Entwickler.

Die Software ist so konzipiert, dass Kompatibilität mit der Versuchsflächendatenbank des Lehrstuhls für Waldwachstumskunde besteht und somit auszuwertende Daten direkt abgerufen und in die Auswertungsroutinen eingesteuert werden können. Die Rückübertragung von Auswertungsergebnissen in die Datenbank erfolgt zu Kontrollzwecken bisher noch teilautomatisch, die Auswertungsergebnisse werden jedoch unmittelbar in einem datenbankfähigen Format erzeugt. Andere Datenquellen als die Standarddatenbank können ebenso verwendet werden, allerdings müssen die Daten zuvor manuell in die von den eigentlichen Auswertungsroutinen benötigten Formate gebracht werden.

Bisher mussten für grafische Darstellungen von Auswertungsergebnissen die Zahlen zunächst in geeignete andere Programme z. B. Standard-Tabellenkalulationen exportiert werden. Dies war mit einem vergleichsweise hohen Aufwand an manueller Routinearbeit verbunden. Die neue Lösung bedient sich der grafischen Möglichkeiten von R, sodass auf Wunsch Standardgrafiken in Publikationsqualität ohne weiteren Aufwand erzeugt werden können (s. Abb. 2, 3). Farben und Symbole für Baumarten und aufeinander folgende Aufnahmen werden durchgängig und einheitlich verwaltet.

Bisher wurde die neu entwickelte R-Bibliothek noch nicht als verteilbares R-Paket gefasst. Die Lösungen sind noch spezifisch auf die Datenbankstruktur des Münchner Lehrstuhls für Waldwachstumskunde zugeschnitten. Allerdings wird an beiden Punkten gearbeitet um eine Nutzung durch einen weiteren Personenkreis zu ermöglichen.

Die neu gefassten Auswertungsroutinen können in vier Themenbereiche gegliedert werden: 1. Durchmes-

servergleich, 2. Höhenausgleich, 3. Volumenberechnung, 4. Übersichtsrechnung.

### 3.2.1 Durchmesservergleich

Mit den zu dieser Rubrik gehörenden Routinen ist bei mehrfach aufgenommenen Flächen eine Plausibilitätsprüfung der Durchmesserzuwächse auf Einzelbaumebene möglich. Wichtigste Komponente ist die automatische Anpassung von Durchmesserzuwachsgeraden (PRODAN, 1965) für jede einzelne Aufnahme. Zuwachswerte, die sich außerhalb eines vom Benutzer einstellbaren Toleranzbereiches um die Gerade befinden, werden identifiziert und zur Prüfung empfohlen. Typische Eingabefehler wie vertauschte Stellen aber auch wirkliche Messfehler lassen sich auf dieser Stufe identifizieren. Ebenso wird auf fehlende bzw. fälschlich unterbrochene Durchmesserzeitreihen sowie Fehlcodierungen von auscheidenden Bäumen geprüft. Auf dieser Basis können Korrekturen in der Datenbank vorgenommen werden. Jede Änderung, die nicht einen eindeutig zu korrigierenden Fehler betrifft, wird protokolliert.

### 3.2.2 Höhenausgleich

Bei Standardaufnahmen von Versuchsflächen werden meist nur die Brusthöhendurchmesser aller Bäume vollständig erfasst, während die Baumhöhen nur an einer Stichprobe gemessen werden. Deshalb muss für jede Aufnahme regressionsanalytisch eine Bestandeshöhenkurve angepasst werden, die auch für Bäume, deren Höhen nicht gemessen wurden, eine erwartungstreue Höhenschätzung als Grundlage für spätere Volumenberechnungen erlaubt. An Höhenkurvenfunktionen stehen alle sechs bei KRAMER und AKCA (1987) benannten Funktionen zur Verfügung, darüber hinaus wurde zusätzlich die vielfach bewährte Michailov-Funktion

$$h = a \cdot e^{\frac{b}{d}}$$

mit  $h$  als der Baumhöhe und  $d$  als dem Brusthöhendurchmesser sowie  $a$  und  $b$  als Regressionsparameter implementiert.

Im Rahmen des Höhenausgleichs sind grafische Routinen zur okularen Plausibilitätsprüfung aufeinander folgender Aufnahmen verfügbar (Abb. 2, links). Diese sind die Grundlage für weitere Auswertungsentscheidungen wie z. B. ob Baumarten oder Aufnahmezeitpunkte kombiniert werden sollen. Häufig stellt sich bei der Höhenauswertung die Frage, wie mit Aufnahmezeitpunkten umzugehen ist, bei denen zu wenige Höhen für eine sinnvolle Kurvenanpassung gemessen wurden. Ebenso bilden regelmäßig die einzeln angepassten Höhenkurven verschiedener Aufnahmezeitpunkte kein plausibles Gesamtbild (vgl. Abb. 2, links). RÖHLE (1995), stellt dieses Problem ausführlich dar und schlägt das von ihm entwickelte Verfahren HSYS zur Abhilfe in solchen Fällen vor. Dieses Verfahren steht auch im Rahmen der neuen Auswertungsroutinen zur Verfügung. Darüber hinaus wurde im Anhalt an Ideen von SLOBODA (zitiert n. KRAMER und AKCA, 1987; S. 139) auch die Anpassung eines auf der Michailov-Funktion basierendes Höhenkurvensystems automatisiert, das sich im händischen

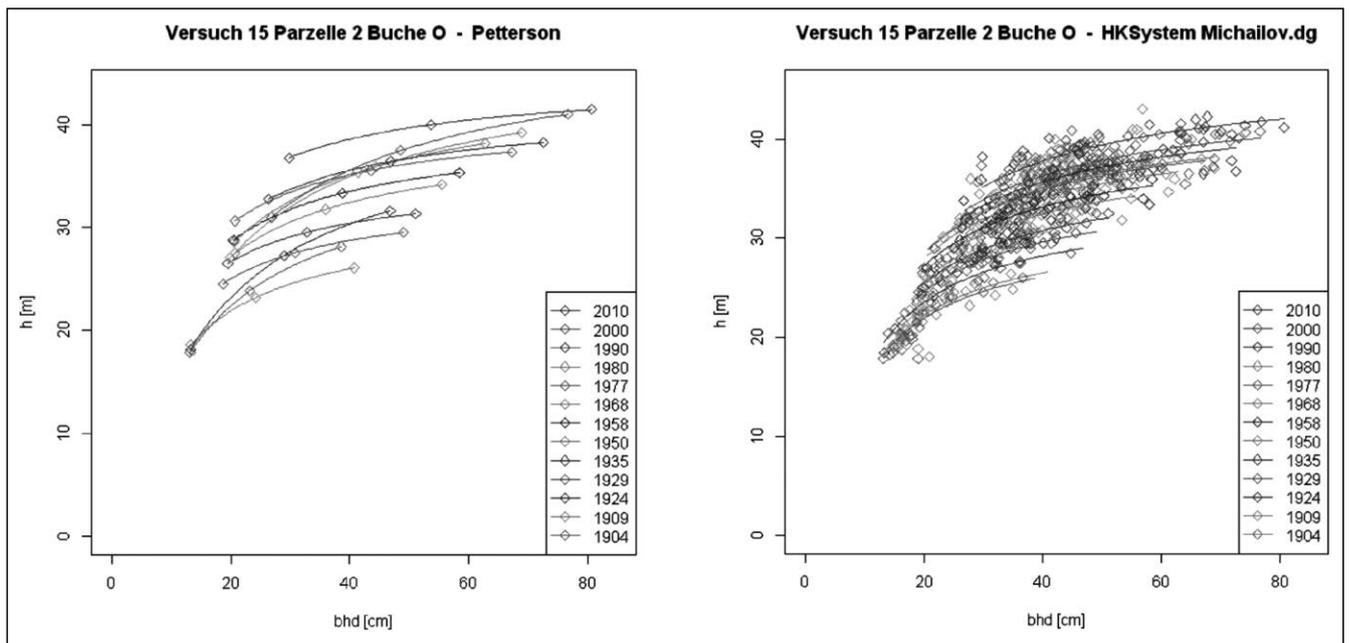


Abb. 2

Ausgleich der Durchmesser-Höhenbeziehungen einer langfristig beobachteten Versuchsfläche mit (links) voneinander je Aufnahme unabhängigen Bestandeshöhenkurven und (rechts) einem auf der Michailov-Funktion basierenden Höhenkurvensystem.

Fitting diameter-height relationships with the data from a long-term research plot.

Left: Single curves, fitted separately for each survey. Right: A height curve system fitted to all surveys simultaneously.

Einsatz in der Auswertungspraxis der vergangenen Jahre hervorragend bewährt hat:  $h = (a_0 + a_1 \cdot x) \cdot e^{-(b_0 + b_1 \cdot x)}$ , wobei x entweder das Aufnahmejahr, das Bestandesalter oder der Grundflächenmitteldurchmesser des jeweiligen Bestandes (bzw. eines durch Art und Schicht definierten Unterkollektivs) zu verschiedenen Aufnahmezeitpunktes sind (vgl. Abb. 2, rechts). Die Parameter  $a_0, \dots, b_1$  werden regressionsanalytisch geschätzt.

Der Benutzer kann die mit verschiedenen Ausgleichsverfahren erhaltenen Ergebnisse grafisch dokumentieren. Die Ergebnisse des schließlich gewählten Verfahrens gehen nahtlos in die weiteren Auswertungsschritte ein.

### 3.2.3 Volumenberechnung

Der Kern des nächsten Auswertungsschrittes besteht in der Berechnung der Bestandesvolumina, die sich auf der Grundlage der zuvor angepassten Bestandeshöhenkurven aus dem Brusthöhendurchmesser und der geschätzten Höhe jedes einzelnen Baumes ergeben. Die Formzahl- bzw. Volumenfunktionen, die zur Anwendung kommen sollen, können vom Benutzer gewählt werden. Implementiert sind derzeit die überregional gültigen Derbholzgleichungen von FRANZ et al. (1971) und die Schaft- und Derbholzgleichungen von KENNEL (1969). Weitere, z. B. neu entstehende regional oder lokal gültige Verfahren können problemlos implementiert und als Optionen angeboten werden. Wichtigste Ausgabe dieses Auswertungsschrittes sind die Volumina jedes einzelnen Baumes zu jedem Aufnahmezeitpunkt sowie die summarischen Volumina, aufgeschlüsselt nach Baumart und

ggf. Bestandesschicht, nach verbleibendem, ausscheidendem und Gesamtbestand, sowohl mit Hektarbezug als auch mit Bezug auf die tatsächliche Ausdehnung der untersuchten Parzelle.

In gleicher Weise aufgeschlüsselt wie die Volumina wird zudem eine Vielzahl von waldwachstumskundlichen Kennwerten zur Verfügung gestellt wie z. B. Stammzahlen, Grundflächen, Höhen und Durchmesser unterschiedlich definierter Mittel- und Oberhöhenstämme, sowie eine Reihe von Kennwerten der Durchmesser-Verteilung.

### 3.2.4 Übersichtsrechnung

In diesem letzten Auswertungsschritt werden die Ergebnisse der Volumenberechnung zeitlich miteinander verbunden. Unter Berücksichtigung eventueller vor Beginn der Beobachtung angefallener Vornutzungen werden von Aufnahme zu Aufnahme die Gesamtwuchsleistung, der durchschnittliche Gesamtwuchs, der laufende Volumen- und Grundflächenzuwachs sowie die mittlere Grundflächenhaltung berechnet. Die Entwicklung der Stammzahlen und der Gesamtwuchsleistung werden auf Konsistenz geprüft.

Die Ergebnisse dieser Rechnungen werden zusammen mit denen der Volumenberechnung in Form einer ertragstafelähnlichen Übersichtstabelle verdichtet, die sowohl als druckfähige Textdatei als auch in Datenbankkompatibler Form bereitgestellt wird. Erstere ist so formatiert, dass ihr Erscheinungsbild weitestgehend dem bisher gewohnten entspricht. Bei Bedarf kann ein Satz

von Standardgrafiken in Publikationsqualität erzeugt werden (Abb. 3, 4)

Die Übersichtsrechnung führt somit zu einer über alle Flächen hinweg einheitlichen und vergleichbaren Standarddokumentation.

### 3.2.5 Zusätzliche Module und Weiterentwicklung

Das zuvor gezeigte Konzept der Standardauswertung stellt das Rückgrat jeder Auswertung einer Versuchs-Weiser- oder Probefläche dar. Darüber hinaus gibt es

Auswertungssituationen, die regelmäßig, aber nicht in allen Fällen entstehen. Dazu gehören u.a. die Erstellung von Kronenkarten und deren Auswertung auf Überschirmungsgrade, die Auswertung von Stammanalysen (PRETZSCH et al., 2012a), die retrospektive Zuwachs-analyse von Einzelbäumen und Beständen anhand von Bohrspandaten sowie die Auswertung von Verjüngungs-aufnahmen.

Für die meisten dieser Situationen liegen am Lehrstuhl für Waldwachstumskunde bereits Kernprogramme

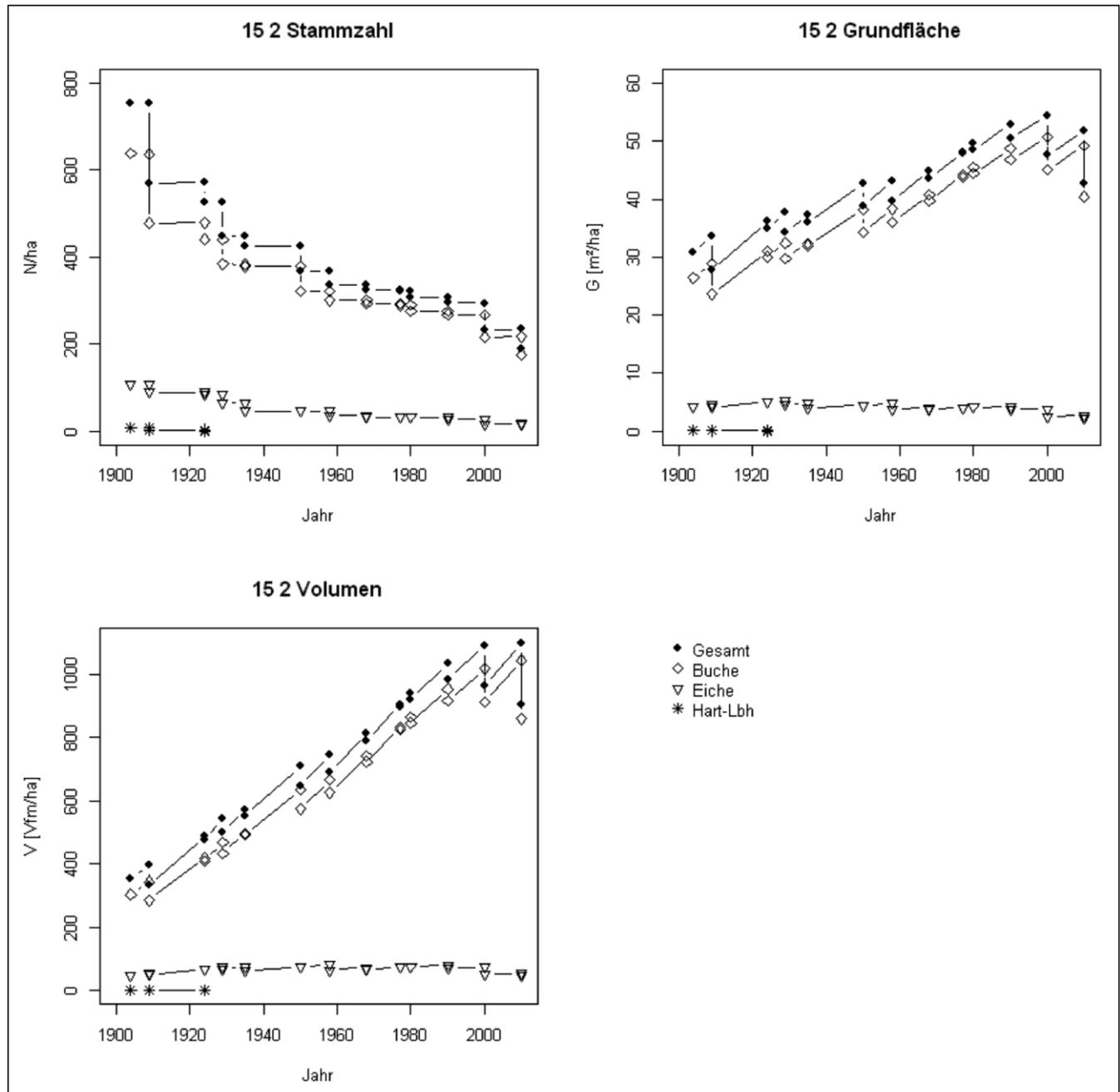


Abb. 3

Standardgrafiken zur Entwicklung von Stammzahl, Grundfläche und Volumen auf einer langfristig beobachteten Versuchsfläche.

Standard diagrams for a long-term research plot, showing how tree number, basal area and stand volume developed for about eleven decades.

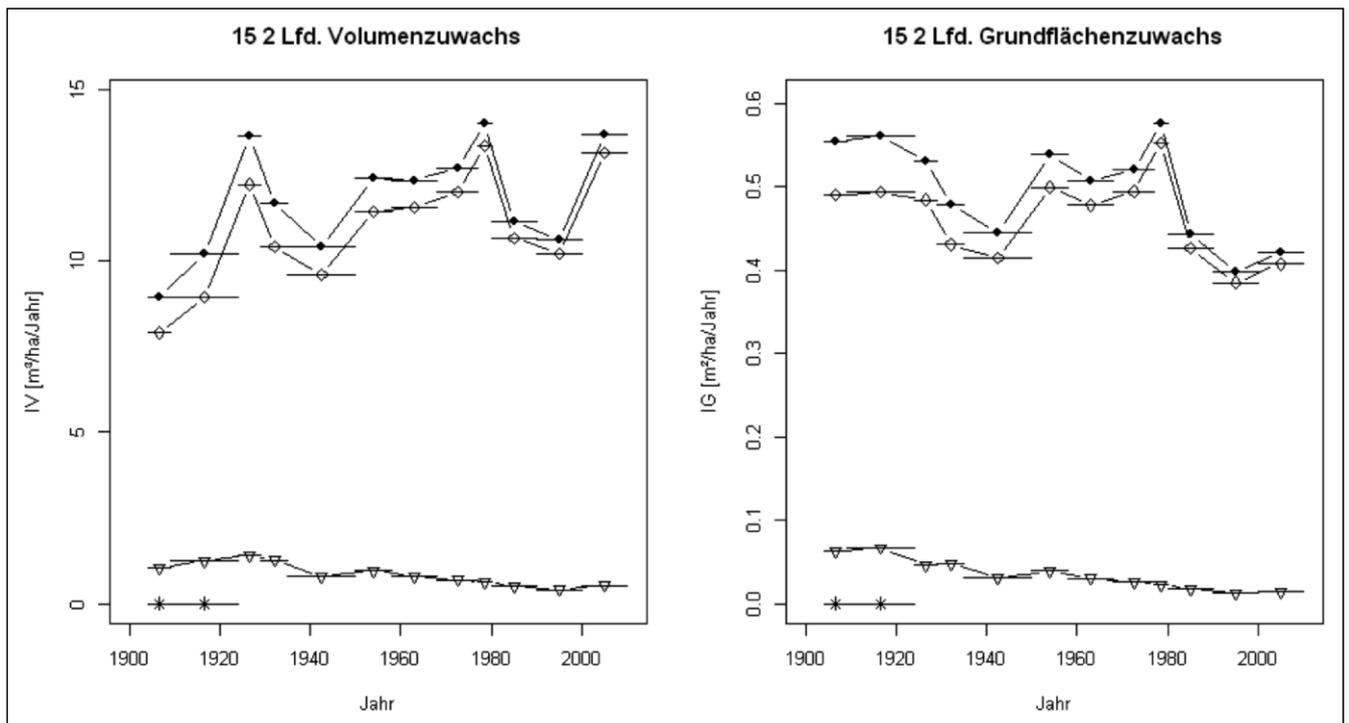


Abb. 4

Standardgrafiken zum laufenden jährlichen Volumen- und Grundflächenzuwachs auf einer langfristig beobachteten Versuchsfläche.

Standard diagrams showing the stand volume and basal area increment for a long-term research plot.

in R vor, die in der Regel im Kontext spezieller Fragestellungen entwickelt wurden und nun im Hinblick auf Harmonisierung mit der Standardauswertung überarbeitet werden.

Weitere zukünftige Entwicklungen leiten sich daraus ab, dass in Untersuchungen zur Produktivität immer häufiger Biomassen und Biomassenzuwächse auf Baum- und Bestandesebene neben klassische Variablen wie Volumen und Volumenzuwachs treten, so dass sich eine Aufnahme von Biomassenberechnungen im Anhalt an von ZIANIS et al. (2005) und SEIFERT (2003) skizzierten Methoden in die Standardauswertung mittelfristig anbietet. Ähnliches gilt für die Berechnung von lokalen Bestandesdichten als standardisiertes Konkurrenzmaß für Einzelbäume im Bestand (vgl. PRETZSCH und BIBER, 2010; DIELER, 2011).

#### 4. FRAGENORIENTIERTE AUSWERTUNGEN

Die Untersuchung ständig neuer, aufeinander aufbauender, quer miteinander vernetzter Fragestellungen ist Voraussetzung wissenschaftlichen Erkenntnisgewinns. Eine Auswahl der in jüngster Vergangenheit am Lehrstuhl für Waldwachstumskunde empirisch bearbeiteten Fragen umfasst z.B. Kronenallometrie und Mischungseffekte (PRETZSCH und DIELER, 2012), Zuwachsverteilung von Bäumen innerhalb von Beständen und ihre Standortabhängigkeit (PRETZSCH et al., 2012b; PRETZSCH und BIBER, 2010), Produktivität und Ressourceneffizienz in Abhängigkeit von Klima und räumlicher Artmischung

(PRETZSCH et al., 2012c), Wurzel-Spross-Allometrie (PRETZSCH et al., 2012d), Stressreaktionen und Fazilitation (PRETZSCH et al., 2012e) und Stabilisierbarkeit von Hochlagenwäldern durch Melioration (ULBRICHT et al., 2012). Solche Auswertungen stützen sich auf fortgeschrittene statistische Verfahren und sind wegen Ihrer Spezifität kaum standardisierbar. Sie nutzen je nach Fragestellung die zuvor genannten Wald- und Baumdaten, Ergebnisse der Standardauswertung und Information zu Triebkräften und Störungen (vgl. Abb. 1).

#### 5. SYNTHESE

Trotz wechselnder und vielfältiger Fragestellungen spielt die Standardauswertung in zweierlei Hinsicht eine bedeutende Rolle. Einerseits bauen weiterführende Auswertungen häufig direkt auf den Standardergebnissen auf, so können z.B. Volumina und Volumenzuwächse oder Höhenentwicklungen auf Bestandesebene wichtige Ziel- oder Eingangsgrößen sein. Andererseits macht die Standardauswertung erst die Basisinformationen verfügbar, die für eine Auswahl von geeigneten Flächen z.B. für weiterführende Querschnittsauswertungen notwendig sind (s. Abschnitt 3). Wie bereits erwähnt, wird R am Lehrstuhl für Waldwachstumskunde wegen seiner umfangreichen statistischen und grafischen Möglichkeiten in hohem Maß auch für weiterführende Auswertungen genutzt. Die personell und inhaltlich breite technische Kompetenz, die sich auf diese Weise entwickelt, trägt wiederum zur Pflege der Standardauswertung bei,

die sich so gesehen als zentraler Mittler zwischen der Ebene der Daten und Modelle sowie der Beantwortung wissenschaftlicher Fragestellungen darstellt.

Die Entwicklung eines solchen Informationssystems bedingt auch, dass fragenorientierte Auswertungen oder deren Ergebnisse mit der Zeit zu Komponenten der Standardauswertung werden können. Laufende Arbeiten zur Ableitung von Stammformen aus Harvesteraufzeichnungen lassen neue, möglicherweise regionalspezifische Formzahl- oder Volumengleichungen erwarten, die wiederum als Option in die Standardauswertung eingehen können. Auf diese Weise entsteht Differenzierung nicht nur fachintern, sondern auch in Gestalt von erweiterten Schnittstellen für Nachbardisziplinen wie die Forstökonomie und Methoden für die Praxis.

Wenngleich der Gedanke nahe liegt, ein solches waldwachstumskundliches Informationssystem könne Kernstück eines zukünftigen Informationssystems für die gesamte Forstwirtschaft im Franz'schen Sinn sein und zu einem solchen ausgebaut werden, ist aus Sicht des Verfassers Skepsis angebracht. Groß erscheint die Gefahr des *Dinosauriersyndroms*, einer mit wachsender Größe und Komplexität einhergehenden Trägheit. Für ein übergreifendes, von der Praxis zu nutzendes Informationssystem sind nicht alle Komponenten eines wissenschaftlichen Informationssystems relevant. So ist z. B. eine detaillierte Beschreibung des Durchmesser-Höhen-Zusammenhangs und seiner zeitlichen Dynamik zwar essentiell für die wissenschaftliche Auswertung von Versuchsflächen, wäre aber in einem großen Informationssystem für die Forstwirtschaft nur Komplexität und Bedienungsaufwand erhöhender Ballast. Standardisierte Einheitshöhenkurvensysteme, die zur Anwendung keine Benutzerentscheidung benötigen, sind hier völlig ausreichend. Die Verbindung von praxisorientiertem und wissenschaftlichem Informationssystem besteht im Beispiel nicht in direkter Integration, sondern darin, dass standardisierte Einheitshöhenkurven das Ergebnis von Arbeiten mit einem wissenschaftlichen Informationssystem sind.

Die Vision für das hier besprochene wissenschaftliche Informationssystem ist also nicht der Übergang in ein großes, auf die Praxis ausgerichtetes Informationssystem. Vielmehr besteht sie in einer selbständigen, auf die wissenschaftliche Arbeit ausgelegten Einheit, die durch ihre Flexibilität Bestand hat, auf diese Weise Kontinuität gewährleistet und damit zum stetigen Informationsfluss zwischen Wissenschaft und Praxis beiträgt, der FRIEDRICH FRANZ stets ein Anliegen war.

## 6. ZUSAMMENFASSUNG

Vor dem Hintergrund wechselnder Paradigmen für Forstwirtschaft und Forstwissenschaft kann ein waldwachstumskundliches Informationssystem nur dadurch Kontinuität gewährleisten, dass es sich flexibel in veränderliche Rahmen einfügt. Vor diesem Hintergrund wird das Konzept eines solchen Informationssystems aufgezeigt, das funktionell in die Schichten Daten, Modelle, Standardauswertung und fragenorientierte Auswertungen gegliedert werden kann (Abb. 1). Dreh- und Angelpunkt eines solchen Konzepts sind die Methoden und

Implementierungen einer Standardauswertung, die Ergebnisvergleichbarkeit über mehrere Jahrzehnte hinweg gewährleisten muss (Abb. 2, 3, 4). Auf der Basis von Überlegungen am Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Technischen Universität München wird gezeigt, wie sich eine neu gefasste Standardauswertung technisch und inhaltlich in ein übergeordnetes Konzept einfügt.

## 7. SUMMARY

Title of the paper: *Continuity by Flexibility – Standardised Data Evaluation within a Scientific Growth and Yield Information System.*

Paradigms in forestry and forest science are rapidly changing. In order to warrant continuity, a scientific growth and yield information system needs to be flexible enough to adapt to versatile framework requirements. Against this background, we show such an information system's conception which can be divided into the four layers data, models, standard evaluation, question-oriented evaluation from a functional point of view (fig. 1). Standard evaluation is a crucial element as it has to guarantee result comparability over decades (fig. 2, 3, 4). Based on ideas and concepts at the Chair of Forest Growth and Yield at Technische Universität München, Germany, we show, how a newly designed standard evaluation procedure fits technically and as regards contents into an overarching concept.

## 8. RÉSUMÉ

Titre de l'article: *Continuité par la flexibilité – Exploitation des données standardisée dans le cadre d'un système d'information pour la croissance forestière.*

Devant l'arrière-plan de paradigmes changeants en gestion forestière et en science forestière, un système d'information de la croissance forestière ne peut garantir la continuité que s'il s'intègre de manière flexible dans des cadres modifiés. Devant cet arrière-plan nous mettons en évidence le concept d'un tel système d'information qui peut être divisé en quatre niveaux de données, modèles, évaluation standard et dépouillement des données orientées par des questions (Figure 1). Le pivot et la clef de voûte d'un tel concept sont les méthodes et la mise en œuvre d'une évaluation standard qui doit garantir la comparabilité des résultats au-delà de plusieurs décennies (Figures 2, 3, 4). Sur la base des réflexions de la Chaire de croissance et de production forestière à l'Université technique de Munich il a été montré comme une évaluation standard nouvellement établie s'intégrait dans un concept prioritaire, au regard de la technique et du contenu.

## 9. LITERATUR

- BECK, J., E. DIETZ und W. FALK (2012): Digitales Standortinformationssystem für Bayern. LWF aktuell **87**: 20–23.
- BIGING, G. S., T. A. ROBARDS, E. C. TURNBLOM und P. C. VANDEUSEN (1994): The predictive Models and Procedures used in the Forest Stand Generator. STAG. *Hilgardia*, **61**(1), 36 S.

- DEGENHARDT, A. und A. POMMERENING (1999): Simulative Erzeugung von Bestandesstrukturen auf der Grundlage von Probekreisdaten. Vortrag anlässlich der 12. Tagung der Sektion Forstliche Biometrie und Informatik des Deutschen Verbandes Forstlicher Forschungsanstalten vom 29. September–1. Oktober 1999 in Göttingen. 15 S.
- DEUTSCHER WETTERDIENST (2012): Deutscher Klimaatlas. Online verfügbar unter [www.dwd.de/klimaatlas](http://www.dwd.de/klimaatlas).
- DIELER, J. (2011): Effekt von Mischung und Konkurrenz auf die Kronenmorphologie von Fichte (*Picea abies* [L.] Karst.) und Buche (*Fagus sylvatica* L.). Tagungsband der Sektion Ertragskunde im DVFFA, Cottbus: 57–68.
- ELATAWNEH, A., A. RAPPL, T. SCHNEIDER, A. THIELE und S. HINZ (2010): Nutzung von Satellitendaten für die forstliche Betriebsplanung. Allg. Forst Z. Waldwirtsch. Umweltvorsorge **65**: 6–9.
- FRANZ, F. (1987): Zum Aufbau eines neuzeitlichen Informationssystems für die Forstwirtschaft. Forstarchiv, Jg. **58** (4): 131–137.
- FRANZ, F., J. BACHLER, B. DECKELMANN, E. KENNEL, R. KENNEL, A. SCHMIDT und U. WOTSCHIKOWSKY (1973): Bayerische Waldinventur 1970/71, Inventurabschnitt I: Großrauminventur Aufnahme- und Auswertungsverfahren. Forstliche Forschungsberichte München 11. 143 S.
- FRANZ, F. (1968): Das EDV-Programm WSTAOET – zur Herleitung mehrgliedriger Standort-Leistungstafeln. Unpubliziertes Manuskript, Lehrstuhl für Waldwachstumskunde, München. Zitiert nach PRETZSCH, H. 2009. Forest Dynamics, Growth and Yield. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, 664 S.
- HANEWINKEL, M., S. HUMMEL und A. ALBRECHT (2010): Assessing natural hazards in forestry for risk management: a review, European Journal of Forest Research **130**(3): 329–351.
- JOHANN, K. (1993): DESER-Norm 1993. Normen der Sektion Ertragskunde im Deutschen Verband Forstlicher Forschungsanstalten zur Aufbereitung von waldwachstumskundlichen Dauerversuchen. Tagungsbericht von der Jahrestagung 1993 der Sektion Ertragskunde im Deutschen Verband Forstlicher Forschungsanstalten in Unterreichenbach-Kapfenhardt. – S. 96–104.
- KENNEL, R. (1969): Formzahl- und Volumentafeln für Buche und Fichte. Institut für Ertragskunde der Forstlichen Forschungsanstalt München, 55 S.
- KÖLLING, C., M. BACHMANN, W. FALK, S. GRÜNERT, R. SCHALLER, S. TRETTER und G. WILHELM (2009): Klimarisikokarten für heute und morgen. Der klimagerechte Waldumbau bekommt vorläufige Planungsunterlagen. AFZ/DerWald **64**: 806–810.
- KRAMER, H. und A. AKCA (1987): Leitfaden zur Waldmesslehre. J.D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a. M. Zweite Auflage, 266 S.
- LEWANDOWSKI, A. und K. v. GADOW (1997): Ein heuristischer Ansatz zur Reproduktion von Waldbeständen. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung **168**(9): 170–174.
- METTE, T., K. PAPATHANASSIOU, I. HAJNSEK, H. PRETZSCH und P. BIBER (2004): Applying a common allometric equation to convert forest height from pol-InSAR data to forest biomass. Proc. IGARSS, vol. 1: 269–272.
- MOSHAMMER, R. (2006): Vom Inventurpunkt zum Forstbetrieb. AFZ- Der Wald. **61**(21): 1164–1165.
- NAGEL, J., H. SPELLMANN und H. PRETZSCH (2012): Zum Informationspotenzial langfristiger forstlicher Versuchsfelder und periodischer Waldinventuren für die waldwachstumskundliche Forschung. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, Jg. **183**(5/6): 111–116.
- NIKOLOVA, P., H. BLASCHKE, R. MATYSSEK, H. PRETZSCH und TH. SEIFERT (2009): Combined application of computer tomography and light microscopy for analysis of conductive xylem area in coarse roots of European beech and Norway spruce. Eur J Forest Res **128**: 145–153.
- OSSIG, B., H. RAPPL und T. SCHNEIDER (2011): Unterstützung terrestrischer Inventuren aus dem Weltall? Verknüpfung von terrestrischen Inventuren und Fernerkundung. Allg. Forst Z. Waldwirtsch. Umweltvorsorge **66**(19): 11–13.
- PRETZSCH, H., E. DAUBER und P. BIBER (2012a): Species-Specific and Ontogeny-Related Stem Allometry of European Forest Trees: Evidence from Extensive Stem Analyses. Forest Science in press.
- PRETZSCH, H., J. DIELER und T. RÖTZER (2012b): Principles of Growth Partitioning Between Trees in Forest Stands Under Stress. In: R. MATYSSEK et al. (eds.). Growth and Defence in Plants, Ecological Studies 220, DOI 10.1007/978-3-642-30645-7\_14, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2012. 311–329.
- PRETZSCH, H., J. DIELER, T. SEIFERT und T. RÖTZER (2012c): Climate effects on productivity and resource-use efficiency of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) and European beech (*Fagus sylvatica* [L.] in stands with different spatial mixing patterns. Trees – Structure and Function.
- PRETZSCH, H., E. UHL, P. BIBER, G. SCHÜTZE und D. COATES (2012d): Change of allometry between coarse root and shoot of Lodgepole pine (*Pinus contorta* DOUGL. ex. LOUD.) along a stress gradient in the sub-boreal forest zone of British Columbia. Scandinavian Journal of Forest Research April 2012: 1–13.
- PRETZSCH, H., G. SCHÜTZE und E. UHL (2012e): Resistance of European tree species to drought stress in mixed pure forests: evidence of stress release by inter-specific facilitation. Plant Biology. DOI 10.1111/j.1438-8677.2012.00670.x.
- PRETZSCH, H., S. SEIFERT und P. HUANG (2011): Beitrag des terrestrischen Laserscannings zur Erfassung der Struktur von Baumkronen. Schweiz Z Forstwes **162**(6): 186–194.
- PRETZSCH, H. und P. BIBER (2010): Size-symmetric versus size-asymmetric competition and growth partitioning among trees in forest stands along an ecological gradient in Central Europe. Can. J. For. Res. **40**: 370–384.
- PRETZSCH, H. (2004): Der Zeitfaktor in der Waldwachstumsforschung. LWF Wissen **47**: 11–30.
- PRETZSCH, H. (2001): Modellierung des Waldwachstums. Parey Buchverlag, 341 S.
- PRETZSCH, H. (2002): Grundlagen der Waldwachstumsforschung. Parey Buchverlag, 414 S.
- PRETZSCH, H., H. UTSCHIG und M. BACHMANN (2002a): Innovation durch Kontinuität – Das ertragskundliche Versuchswesen in Bayern. In: BLEYMÜLLER, H. et al. (Hrsg.). 250 Jahre Bayerische Staatsforstverwaltung – Rückblicke, Einblicke, Ausblicke. Mitteilungen aus der Bayerischen Staatsforstverwaltung. Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, München: 425–443.
- PRETZSCH, H., P. BIBER und J. DURSKEY (2002b): The single tree-based stand simulator SILVA: construction, application and evaluation. For. Ecol. Manage. **162**: 3–21.
- PRETZSCH, H., P. BIBER, J. DURSKEY, K. VON GADOW, H. HASENAUER, G. KÄNDLER, G. KENK, E. KUBLIN, J. NAGEL, T. PUKKALA, J. G. SKOVSGAARD, R. SODTKE und H. STERBA (2002c): Recommendations for Standardized Documentation and Further Development of Forest Growth Simulators. Forstw. Cbl. **121**: 138–151.

- PRODAN, M. (1965): Holzmesslehre. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a. M., 644 S.
- R CORE TEAM (2012): R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.
- RÖHLE, H. (1995): Zum Wachstum der Fichte auf Hochleistungsstandorten in Südbayern. Mitteilungen aus der Bayerischen Staatsforstverwaltung (48): 272 S.
- RÖTZER, T., T. SEIFERT und H. PRETZSCH (2009): Modelling above and below ground carbon dynamics in a mixed beech and spruce stand influenced by climate. Eur J Forest Res **128**: 171182.
- SEIDEL, D., S. FLECK und Ch. LEUSCHNER (2012): Analyzing forest canopies with ground-based laser scanning: A comparison with hemispherical photography. AGR FOR-EST METEOROL, 154–155: 1–8.
- SEIFERT, T. (2003): Integration von Holzqualität und Holzsortierung in behandlungssensitive Wachstumsmodelle. Dissertation am Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Technischen Universität München. 314 S.
- TORANO CAICOYA, A., F. KUGLER, K. PAPATHANASSIOU, P. BIBER und H. PRETZSCH (2010): Biomass estimation as a function of vertical forest structure and forest height: potential and limitations for radar remote sensing. European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR), 2010-06-07–2010-06-10, Aachen, Germany. Proceedings of the European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR), 2010: 901–904.
- ULBRICHT, M., E. UHL, P. BIBER und H. PRETZSCH (2012): Lassen sich degradierte Fichtenhochlagenwälder (*Picea abies* [L.] KARST.) durch organisch-ökologische Melioration stabilisieren? Ergebnisse einer Langzeitstudie. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, 183. Jg. 7/8, 144–159.

## Mischung und Produktivität von Waldbeständen. Ergebnisse langfristiger ertragskundlicher Versuche<sup>1)</sup>

Aus dem Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Technischen Universität München

(Mit 9 Abbildungen und 1 Tabelle)

H. PRETZSCH<sup>2)</sup>, K. BIELAK, A. BRUCHWALD, J. DIELER, M. DUDZIŃSKA, H.-P. EHRHART,  
A. M. JENSEN, V. K. JOHANNSEN, U. KOHNLE, J. NAGEL, H. SPELLMANN, M. ZASADA, A. ZINGG

(Angenommen Dezember 2012)

### SCHLAGWÖRTER – KEY WORDS

*Konkurrenz; Begünstigung; Mehrzuwachs; Minderzuwachs; Stress-Gradienten-Hypothese; Mischung und Standort; Mischung und Bestandesdichte.*

*Competition; facilitation; over-yielding; under-yielding; stress-gradient-hypothesis; mixing and site conditions; mixing and stand density.*

### 1. BAUMARTENMISCHUNG UND PRODUKTIVITÄT

Die Wiederbewaldung devastierter Flächen im 19. Jahrhundert, der steigende Bedarf an Nadelrohholz, die

Aufforstung der Reparationshiebe nach dem 2. Weltkrieg mit ökonomischen Zielsetzungen und der starke Einfluss der Landwirtschaft auf die Forstwirtschaft führten etwa bis zur Mitte des 20. Jahrhunderts zu ausgedehnten Kiefern- und Fichten-Reinbeständen. Seither finden Mischbestände zunehmend größere Aufmerksamkeit in Forstwirtschaft (LEIBUNDGUT, 1987; SPELLMANN, 1995; KOHNLE und KLÄDTKE, 2010) und Forstwissenschaft (SCHERER-LORENZEN et al., 2005; SCHÜTZ et al., 2012). Das steigende Interesse an naturnäheren Waldbeständen erklärt sich dadurch, dass sie oftmals ökologische, ökonomische und sozio-ökonomische Wirkungen und Leistungen in ähnlichem oder sogar besserem Ausmaß gewährleisten als Reinbestände und die Risiken senken bzw. verteilen (HECTOR und BAQCHI, 2007; KNOKE et al., 2005). Neuere Studien unterstreichen vor allem die Bedeutung der Artendiversität für die Gewährleistung eines breiten Spektrums an Waldfunktionen (HECTOR und BAQCHI, 2007). Ein besonderes Interesse gilt dem Zusammenhang zwischen Baumartenmischung und Produktivität (PIOTTO, 2007; PRETZSCH, 2003; MORIN et al., 2011; ZHANG et al., 2012), weil die Biomasse-

<sup>1)</sup> Textfassung eines Vortrags anlässlich des Gedenkkolloquiums zum 10. Todestag von Prof. Dr. Dr. h. c. FRIEDRICH FRANZ am 27. Juli 2012 in Freising-Weihenstephan.

<sup>2)</sup> Korrespondierender Autor: Prof. Dr. Dr. h. c. HANS PRETZSCH, Lehrstuhl für Waldwachstumskunde, Wissenschaftszentrum Weihenstephan, Technische Universität München, Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 2, D-85354 Freising, Germany. Tel.: ++49-8161-714710, Fax: ++49-8161-714721. E-mail: [H.Pretzsch@lrz.tum.de](mailto:H.Pretzsch@lrz.tum.de), <http://www.wwk.forst.tu-muenchen.de>